

12

**Recours gracieux
avec apport d'études
complémentaires**

Siège Social

14 rue Jules Verne
63110 BEAUMONT

Direction

Gestion des DSP

et Services :

Administratifs,

Ressources Humaines,

Comptables,

& Informatiques.

☎ 04 73 28 84 87

📠 04 73 28 51 22

✉ contact@snc-cremation.fr

Manche (50)

Crématorium

De Saint-Lô

*(Projet en cours d'instruction
administrative)*

Siège social

&

Établissement Principal

**CRÉMATORIUM DE
SAINT-LÔ**

14 rue Jules Verne
BEAUMONT (63110)

Présidente : SAS MAISON GUERIN
représentée par son Président

Olivier GUERIN

Directrice Générale : SAS INFINI
DEVELOPPEMENT,

elle-même représentée par son
Président Denis DABRIGEON

S.A.S. au capital de 200 000 €
Siret : 100 428 606 000 14

APE 9603Z

RCS Clermont-Ferrand 100 428 606

CACF Clermont-Ferrand 6615414321

N° TVA intra : FR47100428606

Monsieur le Préfet
de la Région Normandie
Secrétariat général pour les affaires
régionales
7 Place de la Madeleine
CS16036
76036 ROUEN Cedex

Beaumont, le 15 avril 2026

Objet : Décision à l'issue d'un examen au cas par cas
Projet de création d'un crématorium sur la Commune de Saint-Lô
Décision n°2026-11172
Recours Administratif préalable (RPAO)

Lettre recommandée avec AR n°SD 880001131616975

Monsieur le Préfet,

Pour faire suite à la décision rendue par l'autorité environnementale publiée le 23 février 2026 soumettant à étude d'impact le projet de création d'un crématorium humain sur la Commune de Saint-Lô (50) à l'issue de l'examen au cas par cas,

Cette décision repose principalement sur l'insuffisance des éléments initialement fournis, notamment s'agissant de l'appréciation des incidences du projet sur la santé humaine et l'environnement.

Afin de répondre de manière complète aux observations formulées par l'Autorité environnementale, des études complémentaires ont été réalisées.

Ces éléments sont présentés de manière détaillée dans un mémoire technique annexé au présent recours, auquel il est expressément renvoyé et qui en constitue le support justificatif.

Cette démonstration permet désormais d'établir, de manière argumentée et documentée, l'absence d'incidences notables du projet.

1. Sur les émissions atmosphériques et les risques sanitaires

Une étude approfondie réalisée par le bureau d'études NUMTECH démontre que les émissions atmosphériques issues du crématorium, après traitement, présentent des concentrations largement inférieures aux valeurs limites réglementaires.

Cette étude comprend également une évaluation quantitative des risques sanitaires concluant à l'absence de risque pour les populations riveraines, y compris au regard de la proximité des habitations.

Ces éléments sont développés dans le mémoire technique annexé.

2. Sur les nuisances sonores

Une notice acoustique réalisée par le bureau ORFEA ACOUSTIQUE met en évidence que les niveaux sonores générés par le projet respectent les seuils réglementaires en vigueur.

L'émergence sonore est estimée à environ 2,5 dB, soit un niveau significativement inférieur à la limite réglementaire de 5 dB.

Par ailleurs, des mesures réalisées sur un crématorium existant présentant des caractéristiques similaires confirment l'absence de dépassement des seuils réglementaires, y compris à proximité immédiate des habitations.

Ces éléments sont détaillés dans le mémoire technique annexé.

3. Sur les incidences liées au trafic

Les données de comptage routier indiquent un trafic existant d'environ 6 540 véhicules par jour sur les axes desservant le site.

A titre indicatif, le nombre moyen de véhicules pour un convoi funéraire est généralement estimé entre 20 et 25 véhicules. Les hypothèses prévisionnelles d'activité du crématorium conduisent à envisager une moyenne de 3 cérémonies par jour. Sur cette base, le fonctionnement du crématorium générera un trafic estimé à environ 60 véhicules par jour, soit moins de 1 % du trafic actuel. Cette augmentation apparaît ainsi marginale et montre l'absence d'incidence notable liée au trafic du crématorium.

Le projet s'accompagne en outre d'un réaménagement de la rue Paul Lecacheux, ces travaux seront réalisés par la Ville de SAINT-LÔ. Ils visent à sécuriser les déplacements, à modérer les vitesses (zone 20 km/h) et à limiter les nuisances pour les riverains. Le parking du gymnase André Guilbert situé à proximité sera également réaménagé permettant de répartir le stationnement et ainsi limiter la présence de véhicules dans la rue Paul Lecacheux.

Ces éléments sont également détaillés dans le mémoire technique annexé.

4. Sur les nuisances olfactives

Le projet ne génère pas de nuisances olfactives perceptibles pour le voisinage.

Les installations intègrent un système complet de traitement des fumées (refroidissement, injection de réactifs, filtration), permettant de capter l'ensemble des composés susceptibles d'être à l'origine d'odeurs. Les gaz sont ainsi intégralement traités avant rejet à l'atmosphère, sans émission de fumées brutes.

Le bon fonctionnement de ces dispositifs est assuré par un suivi régulier, des contrôles fréquents et une maintenance préventive des installations. Ces éléments sont détaillés dans le mémoire technique annexé.

5. Sur la maîtrise des risques et des dysfonctionnements

Le projet intègre des dispositifs de contrôle et de maintenance renforcés permettant d'assurer un fonctionnement maîtrisé des installations. Des procédures spécifiques sont prévues en cas de dysfonctionnement, incluant notamment l'arrêt des crémations si nécessaire.

Ces dispositions garantissent la maîtrise des risques et sont décrites dans le mémoire technique annexé.

6. Appréciation globale du projet

Au regard de l'ensemble des éléments complémentaires apportés, et plus particulièrement des conclusions du mémoire technique annexé, il apparaît que le projet ne présente pas d'incidences notables sur l'environnement et la santé humaine.

Les études réalisées démontrent notamment que :

- ✓ les émissions atmosphériques sont maîtrisées et inférieures aux seuils réglementaires,
- ✓ les nuisances sonores sont limitées et conformes à la réglementation,
- ✓ le trafic généré est marginal,
- ✓ aucune nuisance olfactive significative n'est attendue,
- ✓ aucun risque sanitaire n'est identifié.

Le projet s'inscrit par ailleurs dans un environnement urbain déjà anthropisé, compatible avec ce type d'équipement.

7. Conclusion

Au regard de l'ensemble de ces données et des études complémentaires qui ont été menée et qui sont jointes à ce courrier,

Nous vous demandons, Monsieur le Préfet, de bien vouloir procéder au retrait de votre décision du 23 février 2026 conduisant le projet de création d'un crématorium sur la Commune de SAINT-LÔ à être soumis à évaluation environnementale,

Nous vous prions de bien vouloir considérer la présente comme valant recours administratif préalable à l'encontre de l'arrêté précité.

Nous vous prions d'agréer, Monsieur le Préfet, l'expression de nos salutations respectueuses.

Pour la Société d'exploitation du Crématorium de Saint-Lô,
Denis DABRIGEON,

CREMATORIUM DE SAINT-LÔ



PROJET DE CRÉMATORIUM DE SAINT-LÔ

Mémoire en réponse aux observations
de l'Autorité Environnementale

SOMMAIRE

1. Objet du mémoire
2. Présentation synthétique du projet
3. Études réalisées en réponse aux observations
4. Analyse des incidences du projet
 - 4.1. Incidences acoustiques
 - 4.2. Incidences liées au trafic
 - 4.3. Incidences sur la qualité de l'air
 - 4.4. Incidences olfactives
 - 4.5. Risques sanitaires
 - 4.6. Gestion des nuisances et des risques
5. Appréciation globale des incidences
6. Conclusion
7. Liste des annexes

1. Objet du mémoire

Le présent mémoire a pour objet de répondre aux observations formulées par l'Autorité Environnementale dans le cadre de l'examen au cas par cas du projet de création d'un crématorium sur la commune de Saint-Lô.

Il vise à démontrer, sur la base d'études complémentaires réalisées, que le projet ne présente pas d'incidences notables sur l'environnement et la santé humaine, et qu'il peut, en conséquence, être dispensé d'étude d'impact.

2. Présentation synthétique du projet

Le projet concerne la construction d'un crématorium en milieu urbain, à proximité immédiate du cimetière communal et du Haras national, dans un secteur déjà dédié aux activités funéraires.

Les principales caractéristiques sont les suivantes :

- activité exercée exclusivement en période diurne ,
- capacité moyenne sur la durée de la délégation : environ 1 000 crémations par an, sachant qu'en début d'activité le nombre estimé de crémations sera de l'ordre de 800 crémations /an pour tendre à 1 200 crémations / an en toute fin de période concédée ,
- fréquentation moyenne de 3 cérémonies par jour ,
- création d'un parking de 49 places sur site ,
- insertion dans un environnement déjà urbanisé et anthropisé.

3. Études réalisées en réponse aux observations

Afin de répondre aux demandes de l'Autorité environnementale, plusieurs études complémentaires ont été réalisées :

- une **notice acoustique** par le bureau ORFEA (*cf. annexe 1*) ,
- une **évaluation quantitative des risques sanitaires (EQRS)** par le bureau NUMTECH (*cf. annexe 2*) ,
- une **analyse des flux de circulation** sur la base de données départementales (*cf. annexe 3*) ,
- une **note d'aménagement urbain de la rue Paul Lecacheux** (*cf. annexe 4*) ,
- des **éléments techniques relatifs aux performances du four et au traitement des fumées** (*cf. annexes 5 et 6*).

Ces éléments permettent d'apporter une réponse complète aux interrogations exprimées.

4. Analyse des incidences du projet

4.1. Incidences acoustiques

L'étude acoustique met en évidence que :

- les habitations les plus proches sont situées à environ 90 mètres ,
- le fonctionnement est exclusivement diurne ,
- les niveaux sonores respectent les seuils réglementaires d'urgence.

Les nuisances sonores sont donc limitées et compatibles avec le caractère résidentiel du secteur.

(cf. annexe 1 - notice acoustique ORFEA)

4.2. Incidences liées au trafic

Le projet génère un trafic estimé à environ 60 mouvements de véhicules par jour, répartis sur différentes plages horaires.

À titre de comparaison :

- le trafic existant sur les axes à proximité est de l'ordre de 6 500 véhicules par jour.

Ainsi, le trafic induit par le projet représente une part marginale du trafic existant.

Par ailleurs, des mesures d'aménagement sont prévues :

- instauration d'une zone de rencontre limitée à 20 km/h ,
- organisation du stationnement sur site ,
- amélioration des cheminements piétons.

Ces dispositions contribuent à limiter les incidences sur la circulation et la sécurité.

(cf. annexes 3 et 4 - données départementales et note d'aménagement)

4.3. Incidences sur la qualité de l'air

Le projet prévoit l'installation d'un équipement de crémation de dernière génération intégrant :

- un système de filtration des fumées performant ,
- un dispositif complémentaire de traitement des oxydes d'azote (DeNOx) ,
- un contrôle renforcé (contrat de maintenance préventif et curatif, protocole en cas de panne, ...),

Les performances annoncées sont inférieures aux valeurs limites réglementaires, garantissant un impact très limité sur la qualité de l'air.

(cf. annexes 5 et 6 - données techniques et dispositifs de maîtrise des risques)

4.4. Incidences olfactives

Le fonctionnement du crématorium ne génère pas de nuisances olfactives perceptibles pour le voisinage.

Les installations intègrent un système complet de traitement des fumées reposant sur plusieurs étapes successives :

- refroidissement des gaz ,
- injection de réactifs neutralisants ,
- filtration sur manches.

Ce dispositif permet de capter l'ensemble des composés susceptibles de générer des odeurs (composés organiques, dioxines, gaz acides, mercure).

Les gaz rejetés à l'atmosphère sont ainsi traités en totalité, sans émission de fumées brutes.

Par ailleurs, le fonctionnement est encadré par :

- un suivi régulier des paramètres d'exploitation ,
- des contrôles fréquents du système de filtration ,
- une maintenance préventive et corrective ,
- des dispositifs de surveillance (analyse des fumées, contrôle visuel).

Ces éléments garantissent l'absence de nuisance olfactive significative.

(cf. annexes 5 et 6 - données techniques et dispositifs de maîtrise des risques)

4.5. Risques sanitaires

L'évaluation quantitative des risques sanitaires (EQRS) conclut à l'absence d'impact significatif sur la santé humaine.

Cette étude repose sur :

- l'identification des polluants émis ,
- l'utilisation de valeurs toxicologiques de référence reconnues ,
- la modélisation des expositions.

Les résultats démontrent que les niveaux d'exposition restent très inférieurs aux seuils de risque.

(cf. annexe 2 - EQRS NUMTECH)

4.6. Gestion des nuisances et des risques

Le projet prévoit des mesures robustes de maîtrise des risques :

- maintenance préventive et corrective encadrée contractuellement ,
- contrôle continu des émissions ,
- suivi régulier des installations ,
- procédures en cas de dysfonctionnement (arrêt, si nécessaire, des crémations avec maintien possible des cérémonies afin d'assurer la continuité du service public).

Ces dispositifs garantissent un fonctionnement sécurisé et maîtrisé de l'installation.

(cf. annexes 5 et 6 - données techniques et dispositifs de maîtrise des risques)

5. Appréciation globale des incidences

Au regard des études réalisées :

- les nuisances sonores sont faibles et conformes à la réglementation ,
- le trafic généré est marginal ,
- les émissions atmosphériques sont maîtrisées et inférieures aux seuils réglementaires,
- aucune nuisance olfactive significative n'est attendue ,
- aucun risque sanitaire significatif n'est identifié.

Le projet s'inscrit dans un environnement déjà urbanisé et compatible avec ce type d'équipement.

6. Conclusion

Les études complémentaires apportées permettent de lever l'ensemble des interrogations exprimées.

Elles démontrent de manière convergente que le projet ne présente pas d'incidences notables sur l'environnement et la santé humaine.

En conséquence, le projet peut être regardé comme ne relevant pas du champ des projets nécessitant la réalisation d'une étude d'impact.

7. Liste des annexes

- Annexe 1 : Notice acoustique ORFEA
- Annexe 2 : Évaluation des risques sanitaires (NUMTECH)
- Annexe 3 : Données de trafic départemental
- Annexe 4 : Note d'aménagement – Ville de Saint-Lô
- Annexe 5 : Données techniques – rejets atmosphériques
- Annexe 6 : Dispositifs de contrôle, maintenance et gestion des risques



NOTE ACOUSTIQUE

CREMATORIUM SAINT-LÔ

NOTE ACOUSTIQUE RELATIVE A L'IMPACT SONORE ENVIRONNEMENTAL EN VUE DE LA CONSTRUCTION DU CREMATORIUM DE LA SAINT LO

Client : CREMATORIUM DE LA SAINT LÔ
Contact : Madame Catherine TAILLANDIER
Etabli par : Cécile REZE, acousticienne
Approbateur : Waël LARAFI, acousticien
Date : 31/03/2026

La reproduction de ce rapport n'est autorisée que sous la forme de facsimilé photographique intégral.
Ce rapport contient : 12 pages

SOMMAIRE

1. SITE A L'ETUDE	3
1.1 Environnement	3
1.2 Activité du site	3
2. REGLEMENTATION	4
2.1 Code de la santé publique - Section 2 « Dispositions applicables aux bruits de voisinage »	4
3. DEFINITION DES GRANDEURS ACOUSTIQUES	6
3.1 Niveau de pression acoustique continu équivalent pondéré A	6
3.2 Emergences	6
3.3 Niveau acoustique fractile	7
4. MESURE DU NIVEAU DE BRUIT RESIDUEL	8
4.1 Appareillage utilisé	8
4.2 Période d'intervention.....	8
4.3 Conditions de mesurages	8
4.4 Emplacements des mesures	9
4.5 Résultats des mesures	9
5. SIMULATION DU PROJET	10
5.1 Sources de bruit.....	10
5.2 Cartographie sonore du projet.....	10
5.3 Résultats prévisionnels	11
5.4 Synthèse.....	11
6. ANNEXES.....	12
6.1 Fiches de mesures du bruit dans l'environnement	12

1. SITE A L'ETUDE

1.1 Environnement

Le projet est situé sur la commune de de Saint-Lô (50), au bout de la rue Paul Lecacheux.

L'environnement du site est le suivant :

- Projet en zone urbaine ;
- Haras National en limite de propriété Est du site ;
- habitations les plus proches à environ 92 m du site au Sud ;
- voie routière Rue du Maréchal Juin (D900) à environ 500m au Sud.

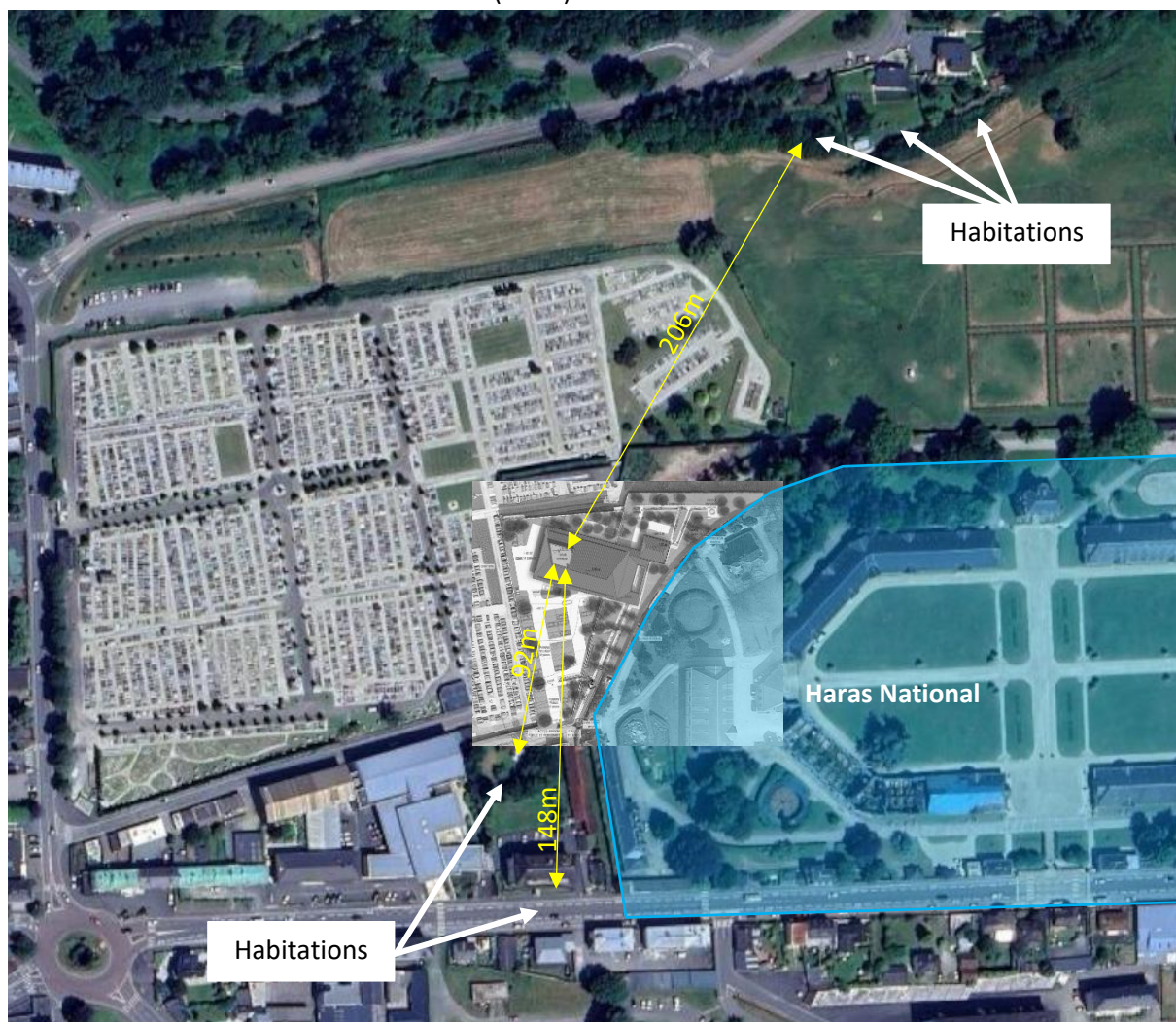


Figure 1 : Vue aérienne du site et de son environnement ¹

1.2 Activité du site

Le site est un crématorium. Les équipements techniques ne seront en fonctionnement qu'en période diurne.

Le code de la santé publique stipule qu'il est admis une émergence de 5,0 dB(A) de jour.

Les installations étant susceptibles de fonctionner toute la journée, aucun terme correctif ne sera considéré.

¹ Source Google maps : le site est susceptible d'avoir évolué depuis la date de la prise de vue

2. REGLEMENTATION

2.1 Code de la santé publique - Section 2 « Dispositions applicables aux bruits de voisinage »

Il est parfois fait référence au décret n°2006-1099 du 31 août 2006 dont les dispositions ont été reprises et recodifiées suivant le code, la section et les articles présentés ici.

2.1.1 Article R1336-5

« Aucun bruit particulier ne doit, par sa durée, sa répétition ou son intensité, porter atteinte à la tranquillité du voisinage ou à la santé de l'homme, dans un lieu public ou privé, qu'une personne en soit elle-même à l'origine ou que ce soit par l'intermédiaire d'une personne, d'une chose dont elle a la garde ou d'un animal placé sous sa responsabilité. »

2.1.2 Article R1336-6

« Lorsque le bruit [...] a pour origine une activité professionnelle [...] ou une activité sportive, culturelle ou de loisir, organisée de façon habituelle ou soumise à autorisation, l'atteinte à la tranquillité du voisinage ou à la santé de l'homme est caractérisée si l'émergence globale de ce bruit [...] est supérieure aux valeurs limites fixées [à l'article R. 1336-7].

Lorsque le bruit mentionné à l'alinéa précédent, perçu à l'intérieur des pièces principales de tout logement d'habitation, fenêtres ouvertes ou fermées, est engendré par des équipements d'activités professionnelles, l'atteinte est également caractérisée si l'émergence spectrale de ce bruit [...] est supérieure aux valeurs limites fixées [à l'article R. 1336-8].

Toutefois, l'émergence globale et, le cas échéant, l'émergence spectrale ne sont recherchées que lorsque le niveau de bruit ambiant mesuré, comportant le bruit particulier, est supérieur à 25 décibels pondérés A si la mesure est effectuée à l'intérieur des pièces principales d'un logement d'habitation, fenêtres ouvertes ou fermées, ou à 30 décibels pondérés A dans les autres cas. »

2.1.3 Article R1336-7

« L'émergence globale dans un lieu donné est définie par la différence entre le niveau de bruit ambiant, comportant le bruit particulier en cause, et le niveau du bruit résiduel constitué par l'ensemble des bruits habituels, extérieurs et intérieurs, correspondant à l'occupation normale des locaux et au fonctionnement habituel des équipements, en l'absence du bruit particulier en cause. »

Les valeurs limites de l'émergence sont de 5 décibels pondérés A en période diurne (de 7 heures à 22 heures) et de 3 décibels pondérés A en période nocturne (de 22 heures à 7 heures), valeurs auxquelles s'ajoute un terme correctif en dB(A), fonction de la durée cumulée d'apparition du bruit particulier : »

Durée cumulée d'apparition T du bruit particulier	Terme correctif
$T \leq 1$ minute	6 dB(A)
1 minute < $T \leq 5$ minutes	5 dB(A)
5 minutes < $T \leq 20$ minutes	4 dB(A)
20 minutes < $T \leq 2$ heures	3 dB(A)
2 heures < $T \leq 4$ heures	2 dB(A)
4 heures < $T \leq 8$ heures	1 dB(A)
$T > 8$ heures	0 dB(A)

2.1.4 Article R1336-8

« L'émergence spectrale est définie par la différence entre le niveau de bruit ambiant dans une bande d'octave normalisée, comportant le bruit particulier en cause, et le niveau de bruit résiduel dans la même bande d'octave, constitué par l'ensemble des bruits habituels, extérieurs et intérieurs, correspondant à l'occupation normale des locaux mentionnés au deuxième alinéa de l'article R.1336-6, en l'absence du bruit particulier en cause.»

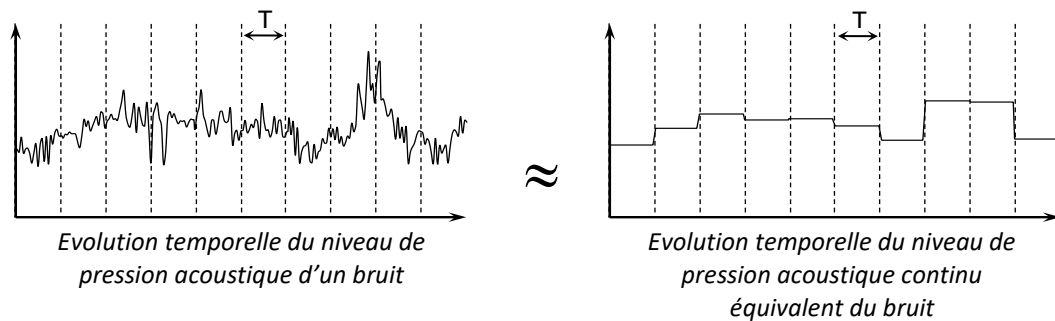
Les valeurs limites de l'émergence spectrale sont données dans le tableau ci-contre :

Bande d'octave normalisée centrée	Valeur limite d'émergence
125 Hz	7 dB
250 Hz	7 dB
500 Hz	5 dB
1000 Hz	5 dB
2000 Hz	5 dB
4000 Hz	5 dB

3. DEFINITION DES GRANDEURS ACOUSTIQUES

3.1 Niveau de pression acoustique continu équivalent pondéré A

Le niveau de pression acoustique continu équivalent d'un bruit est le niveau de pression acoustique d'un son continu et stable qui, sur une période T appelée durée d'intégration, à la même pression acoustique quadratique moyenne que le bruit considéré.



La pondération A appliquée à un spectre de pression acoustique, effectue une correction du niveau en fonction de la fréquence et permet de rendre compte de la sensibilité de l'oreille humaine qui n'est pas identique à toutes les fréquences.

Le niveau de pression acoustique continu équivalent pondéré A est noté $L_{Aeq,T}$ et sa valeur est exprimée en dB(A).

3.2 Emergences

L'émergence est évaluée en calculant la différence entre :

- le niveau de pression acoustique continu équivalent pondéré A du **bruit ambiant** (bruit de l'environnement incluant le bruit de l'installation en marche, objet de l'étude, que l'on nomme le **bruit particulier**) ;
- et le niveau de pression acoustique continu équivalent A du **bruit résiduel** (bruit de l'environnement en l'absence du bruit particulier, c'est à dire avec l'installation à l'arrêt).

Soit :

$$E = L_{Aeq, T_{part}} - L_{Aeq, T_{res}}$$

Avec :

- **E** : l'indicateur d'émergence de niveau en dB(A) ;
- $L_{Aeq, T_{part}}$: le niveau de pression acoustique continu équivalent pondéré A du bruit ambiant, déterminé pendant les périodes d'apparition du bruit particulier et dont la durée cumulée est T_{part} ;
- $L_{Aeq, T_{res}}$: le niveau de pression acoustique continu équivalent pondéré A du bruit résiduel, déterminé pendant les périodes d'absence du bruit particulier et dont la durée cumulée est T_{res} .

3.3 Niveau acoustique fractile

Par analyse statistique des niveaux de pression acoustique continus équivalents pondérés A obtenus sur des intervalles de temps t « courts », on peut déterminer le niveau de pression acoustique pondéré A qui est dépassé pendant N % de la période de mesure : on le nomme le **niveau de pression acoustique fractile** et on le note $L_{AN,t}$.

Par exemple, $L_{A50,1s}$ est le niveau de pression acoustique continu équivalent pondéré A dépassé pendant 50 % de la période de mesure, avec une durée d'intégration égale à 1 seconde.

Dans le cas général (voir définition de l'émergence), l'indicateur préférentiel est celui indiquant la différence entre les niveaux de pression continus équivalents pondérés A du bruit ambiant $L_{Aeq, Tpart}$ et du bruit résiduel $L_{Aeq, Tres}$, déterminés selon la norme NF S 31-010.

Dans certaines situations particulières, cet indicateur n'est pas suffisamment adapté et on préfère employer le niveau acoustique fractile.

Ces indicateurs sont utilisés lors de situations se caractérisant par la présence de bruits intermittents, porteurs de beaucoup d'énergie mais qui ont une durée d'apparition suffisamment faible pour ne pas présenter, à l'oreille, d'effet de masque du bruit d'une l'installation. Une telle situation se rencontre notamment lorsqu'il existe un trafic routier très discontinu.

4. MESURE DU NIVEAU DE BRUIT RESIDUEL

4.1 Appareillage utilisé

Les appareils utilisés pour faire les mesures sont :

Appareils	Marque	Type	N° de série de l'appareil	Type et n° de série du microphone	Type et n° de série du préamplificateur	Classe
Sonomètre	01dB	Black SOLO	65432	MCE 212 134898	PRE 21 S 16003	1

Tableau 1 : Liste des appareils de mesure utilisés

Ce matériel permet de :

- faire des mesures de niveau de pression et de niveau équivalent selon la pondération A ;
- faire des analyses temporelles de niveau équivalent et de valeur crête ;
- faire des analyses spectrales.

Les appareils de mesure sont calibrés, avant et après chaque série de mesurages, avec un calibre acoustique de classe 1.

Les logiciels d'exploitation des enregistrements sonores permettent de caractériser les différentes sources de bruit repérées lors des enregistrements (codage d'évènements acoustiques et élimination des évènements parasites), et de chiffrer leurs contributions effectives au niveau de bruit global.

La durée d'intégration du L_{Aeq} est de 1 seconde.

4.2 Période d'intervention

Les mesures ont été effectuées jeudi 26 mars 2026 de 14h00 à 15h00 par Yvan CHEVRIER, acousticien de la société ORFEA Acoustique.

4.3 Conditions de mesurages

Les mesures ont été réalisées conformément à la norme en vigueur NF S 31-010 de décembre 1996 relative aux mesures de bruit dans l'environnement.

Lors de la campagne de mesure, les conditions météorologiques étaient les suivantes :

- *couverture nuageuse* : ciel voilé ;
- *vent* : moyen de secteur nord ;
- *température* : 9°C environ ;
- *humidité en surface* : surface humide.

Toutes les conditions météorologiques de l'intervention ainsi que leur interprétation sont reportées dans les fiches de mesures en partie annexe. Il convient de noter qu'à courte distance l'influence des conditions météorologiques sur la propagation sonore est minime.

Les valeurs mesurées sont représentatives de la période de mesurage et dépendent de nombreux facteurs (circulation routière et ferroviaire, trafic aérien, activités humaines alentours et bruits de l'environnement en général). Elles sont donc susceptibles de variations quotidiennes, hebdomadaires ou saisonnières.

4.4 Emplacements des mesures

Les mesures ont été réalisées conformément à la localisation suivante :

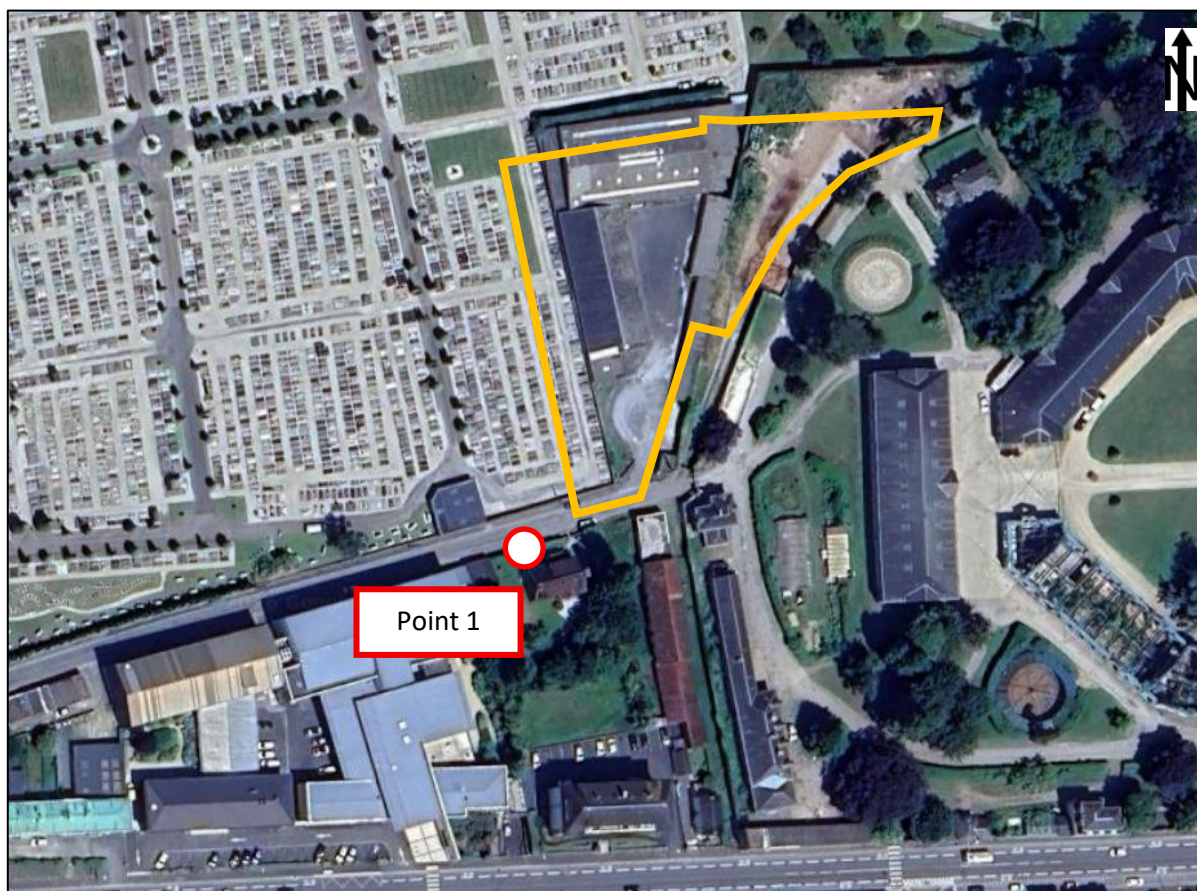


Figure 2 : Localisation des points de mesures

4.5 Résultats des mesures

Les niveaux globaux L_{Aeq} et indices fractiles L_{A90} et L_{A50} sont exprimés en dB(A). Tous ces niveaux sont arrondis à 0,5 dB près conformément à la norme NF S 31-010. Des fiches de mesure détaillées sont présentées en annexe.

Niveau de bruit résiduel Période diurne 07h-22h		Bande d'octave en dB								Global dB(A)
		63Hz	125Hz	250Hz	500Hz	1kHz	2kHz	4kHz	8kHz	
Point 1	L_{Aeq}	56,0	51,5	50,5	47,0	42,5	39,0	37,5	33,5	49,0
	L_{A90}	48,5	38,5	33,0	32,0	32,0	27,0	19,5	13,5	36,5
	L_{A50}	52,5	43,0	37,5	35,5	35,0	30,5	25,5	19,5	40,0

Tableau 2 : Résultats diurnes au Point n°1



Compte tenu de l'environnement sonore urbain, l'indice fractile L_{A90} est considéré comme étant représentatif du niveau de bruit résiduel habituel sur les périodes diurnes les plus calmes, cet indice sera donc retenu pour les calculs.

ORFEA Acoustique ne pourra être tenu responsable si d'autres équipements dépassent les exigences réglementaires ou si les niveaux de bruit résiduel indiqués dans les paragraphes précédents étaient amenés à diminuer.

5. SIMULATION DU PROJET

5.1 Sources de bruit

Les principaux équipements pouvant générer du bruit et pris en compte dans la présente note sont listée dans le tableau ci-après :

Puissance acoustique Lw	Spectral en dB								Global dBA
	63	125	250	500	1k	2k	4k	8k	
Système CLEANAIR	76,5	84,0	80,9	81,6	80,1	72,8	65,1	58,1	83,5
PAC Mode silencieux niveau 1	71,5	68,5	68,5	67,5	59,5	57,5	54,5	49,5	67,7

Une tolérance de +3dB a été pris en compte dans les calculs.

Il est à noter que si des variantes des équipements sont effectuées, l'entreprise devra fournir les feuilles de calculs justifiant la solution retenue, son dimensionnement et s'engager sur le respect des objectifs acoustiques du présent rapport.

Les sources de bruit sont localisées en toiture du crématorium (terrasse technique).

5.2 Cartographie sonore du projet

La cartographie suivante présente les niveaux sonores particuliers en dB(A) engendrés à 5m de hauteur par le site seul dans son état futur avec toutes les sources en fonctionnement :

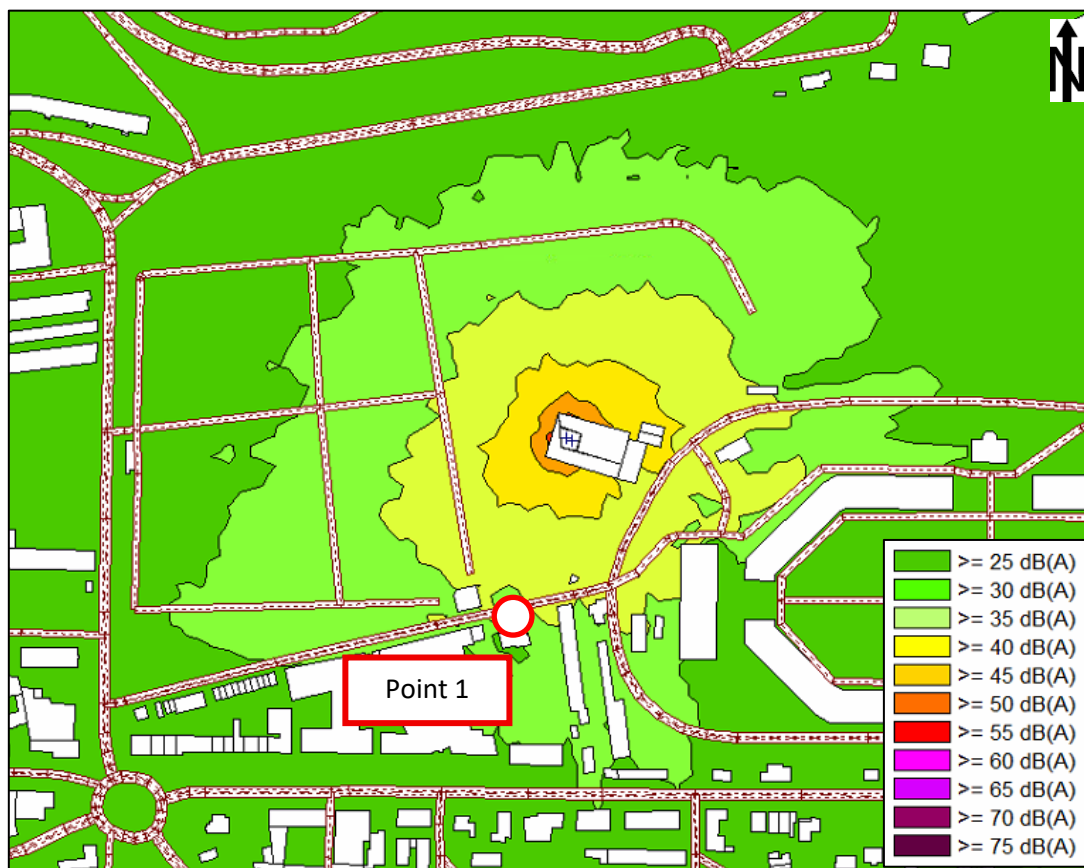


Figure 3 : Cartographie sonore du projet sans traitements

5.3 Résultats prévisionnels

Le tableau suivant présente les niveaux sonores simulés au point 1 (point le plus contraignant) en période diurne uniquement.

JOUR 07h – 22h	Niveaux par bande d'octave en dB								NIVEAU GLOBAL dB(A)
	63	125	250	500	1k	2k	4k	8k	
Bruit particulier simulé	27,4	33,8	32,4	34,6	32,3	23,8	12,8	0,0	35,7
Bruit résiduel retenu	48,5	38,5	33,0	32,0	32,0	27,0	19,5	13,5	36,5
Bruit ambiant calculé	48,5	39,8	35,7	36,5	35,2	28,7	20,3	13,7	39,1
Emergence théorique (arrondie à 0,5 dB près)	0,0	1,5	2,5	4,5	3,0	1,5	1,0	0,0	2,5
<i>Emergence admissible (décret bruits de voisinage)</i>	/	7,0	7,0	5,0	5,0	5,0	5,0	/	5,0

Tableau 3 : Résultats simulés au point 1

Les calculs prévisionnels d'émergences ne montrent aucun dépassement des seuils réglementaires de jour lorsque la PAC (en mode silencieux niveau 1) et le système CLEANAIR sont en fonctionnement.

5.4 Synthèse

Vis-à-vis du critère d'émergence, celle-ci est estimée à environ 2,5 dB, pour une émergence autorisée de 5,0 dB(A). L'impact sonore des équipements technique du projet est donc en deçà des seuils réglementaires exigés par le code de la santé public (articles R1336-5 à R1336-8).

Il est à noter que l'exploitant s'engage à réaliser, si nécessaire, des mesures de contrôle lors de la mise en œuvre des installations afin de confirmer le respect des différents seuils applicables.

Par ailleurs, il est à noter que le trafic routier estimé lié à l'exploitation du crématorium est de l'ordre de 50 véhicules légers par jour. Or le site est desservi par une voie classée relativement passante (rue Maréchal Juin, D900) ; l'augmentation de trafic ainsi que l'impact sonore émanant semble donc négligeable sur l'environnement.

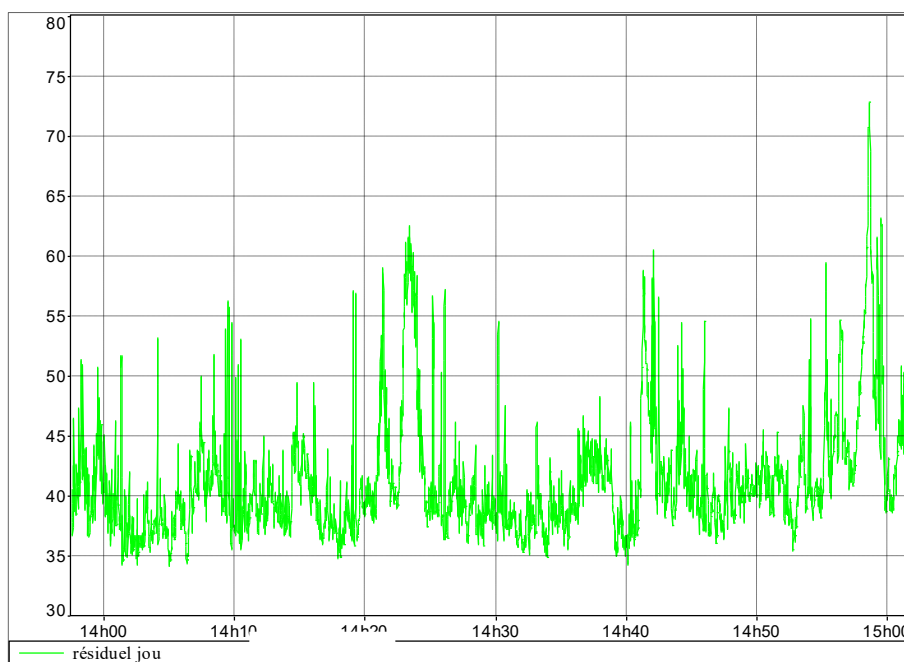
De même nous joignons un rapport d'étude d'impact acoustique réalisé sur un autre crématorium, situé à Yzeure dans l'Allier (03), et présentant des caractéristiques similaires au projet de crématorium de Saint-Lô. Les mesures réalisés en activité durant l'exploitation ont conclu qu'aucun dépassement des seuils réglementaires n'a été constaté au niveau de l'habitation la plus proche (90 mètres) et en limite de propriété du crématorium.

6. ANNEXES

6.1 Fiches de mesures du bruit dans l'environnement

Point 1	Mesure en extérieur BRUIT RESIDUEL - PERIODES JOUR	Fiche N° 1
POINT DE MESURE	LOCALISATION	PARAMETRES DE MESURAGE
		Appareil de mesure : Sonomètre Black Solo N° 65432 Classe 1 Période de mesurage : Le 26/03/2026 Durée : 1 heure Emplacement : Limite de propriété d'un riverain A 1,5 mètre du sol

EVOLUTION TEMPORELLE DU NIVEAU SONORE ($L_{Aeq,1s}$ EN dB(A))



Sources de bruit / Observations

Le point est impacté de manière prépondérante par l'activité humaine de la zone (souffleur de feuille, tondeuse), l'église, le trafic routier dense de la rue Maréchal Juin.

RESULTATS

Configuration/Période	Indice	Niveaux sonores par bandes d'octaves (dB)								Global (dB(A))
		63 Hz	125 Hz	250 Hz	500 Hz	1 kHz	2 kHz	4 kHz	8 kHz	
Résiduel jour	L_{Aeq}	56,1	51,6	50,3	46,9	42,6	38,8	37,4	33,5	48,9
	L_{A50}	48,5	38,4	32,8	32,2	32,1	27,2	19,5	13,7	36,6
	L_{A90}	52,3	42,8	37,7	35,3	34,8	30,6	25,4	19,6	39,9

RAPPORT DE MESURES ACOUSTIQUES

SNC CREMATORIUM Yzeure

Yzeure (03)



Client : SNC CREMATORIUM Yzeure

Contact : Madame PEREIRA

Etabli par : Cécile REZE, Acousticienne

Approbateur : Franck DUFIL, Ingénieur acousticien

N° Rapport : RAP1-A2110-004-01

Version : 1

Type d'étude : CONSTAT BV

Date : 19/10/2021

Référence Qualité : R2-DOC-004-20-BV-Constat

SOMMAIRE

1. CONTEXTE.....	3
1.1 Introduction	3
1.2 Objectifs des mesures acoustiques.....	3
1.3 Eléments transmis	3
2. REGLEMENTATION	4
2.1 Code de la santé publique - Section 2 « Dispositions applicables aux bruits de voisinage »..	4
3. DEFINITION DES GRANDEURS ACOUSTIQUES	6
3.1 Niveau de pression acoustique continu équivalent pondéré A	6
3.2 Emergences	6
4. SITE A L'ETUDE	7
4.1 Environnement	7
4.2 Activité du site.....	8
5. MESURES	10
5.1 Appareillage utilisé.....	10
5.2 Période d'intervention	10
5.3 Conditions de mesurages	10
5.4 Emplacements des mesures	11
5.5 Configurations de mesurage.....	11
6. RESULTATS	12
6.1 Emergences en période diurne	12
7. CONCLUSION	13
8. ANNEXES	14
8.1 Fiches de mesures du bruit dans l'environnement	14
8.2 Conditions de propagation d'après la norme NF S 31-010.....	17
9. GLOSSAIRE	19

1. CONTEXTE

1.1 Introduction

Madame PEREIRA, représentant la société INFINI DEVELOPPEMENT, a sollicité le bureau d'études ORFEA Acoustique pour la réalisation de mesures acoustiques dans le cadre du Code de la Santé Publique - Section 2 « Dispositions applicables aux bruits de voisinage » dont les dispositions figurent aux articles R. 1336-5 à R. 1336-10.

Ces mesures concernent les émissions sonores dans l'environnement du nouveau crématorium de la société SNC CREMATORIUM Yzeure (03)

1.2 Objectifs des mesures acoustiques

Les mesures doivent permettre la caractérisation des niveaux de bruit émis dans l'environnement par l'établissement et le positionnement de celui-ci au regard de la réglementation acoustique en vigueur.

1.3 Eléments transmis

La société INFINI DEVELOPPEMENT n'a transmis aucun élément particulier pour la réalisation de la présente étude.

2. REGLEMENTATION

2.1 Code de la santé publique - Section 2 « Dispositions applicables aux bruits de voisinage »

Il est parfois fait référence au décret n°2006-1099 du 31 août 2006 dont les dispositions ont été reprises et recodifiées suivant le code, la section et les articles présentés ici.

2.1.1 Article R1336-5

« Aucun bruit particulier ne doit, par sa durée, sa répétition ou son intensité, porter atteinte à la tranquillité du voisinage ou à la santé de l'homme, dans un lieu public ou privé, qu'une personne en soit elle-même à l'origine ou que ce soit par l'intermédiaire d'une personne, d'une chose dont elle a la garde ou d'un animal placé sous sa responsabilité. »

2.1.2 Article R1336-6

« Lorsque le bruit [...] a pour origine une activité professionnelle [...] ou une activité sportive, culturelle ou de loisir, organisée de façon habituelle ou soumise à autorisation, l'atteinte à la tranquillité du voisinage ou à la santé de l'homme est caractérisée si l'émergence globale de ce bruit [...] est supérieure aux valeurs limites fixées [à l'article R. 1336-7].

Lorsque le bruit mentionné à l'alinéa précédent, perçu à l'intérieur des pièces principales de tout logement d'habitation, fenêtres ouvertes ou fermées, est engendré par des équipements d'activités professionnelles, l'atteinte est également caractérisée si l'émergence spectrale de ce bruit [...] est supérieure aux valeurs limites fixées [à l'article R. 1336-8].

Toutefois, l'émergence globale et, le cas échéant, l'émergence spectrale ne sont recherchées que lorsque le niveau de bruit ambiant mesuré, comportant le bruit particulier, est supérieur à 25 décibels pondérés A si la mesure est effectuée à l'intérieur des pièces principales d'un logement d'habitation, fenêtres ouvertes ou fermées, ou à 30 décibels pondérés A dans les autres cas. »

2.1.3 Article R1336-7

« L'émergence globale dans un lieu donné est définie par la différence entre le niveau de bruit ambiant, comportant le bruit particulier en cause, et le niveau du bruit résiduel constitué par l'ensemble des bruits habituels, extérieurs et intérieurs, correspondant à l'occupation normale des locaux et au fonctionnement habituel des équipements, en l'absence du bruit particulier en cause. »

Les valeurs limites de l'émergence sont de 5 décibels pondérés A en période diurne (de 7 heures à 22 heures) et de 3 décibels pondérés A en période nocturne (de 22 heures à 7 heures), valeurs auxquelles s'ajoute un terme correctif en dB(A), fonction de la durée cumulée d'apparition du bruit particulier : »

Durée cumulée d'apparition T du bruit particulier	Terme correctif
$T \leq 1$ minute	6 dB(A)
1 minute < $T \leq 5$ minutes	5 dB(A)
5 minutes < $T \leq 20$ minutes	4 dB(A)
20 minutes < $T \leq 2$ heures	3 dB(A)
2 heures < $T \leq 4$ heures	2 dB(A)
4 heures < $T \leq 8$ heures	1 dB(A)
$T > 8$ heures	0 dB(A)

2.1.4 Article R1336-8

« L'émergence spectrale est définie par la différence entre le niveau de bruit ambiant dans une bande d'octave normalisée, comportant le bruit particulier en cause, et le niveau de bruit résiduel dans la même bande d'octave, constitué par l'ensemble des bruits habituels, extérieurs et intérieurs, correspondant à l'occupation normale des locaux mentionnés au deuxième alinéa de l'article R.1336-6, en l'absence du bruit particulier en cause »

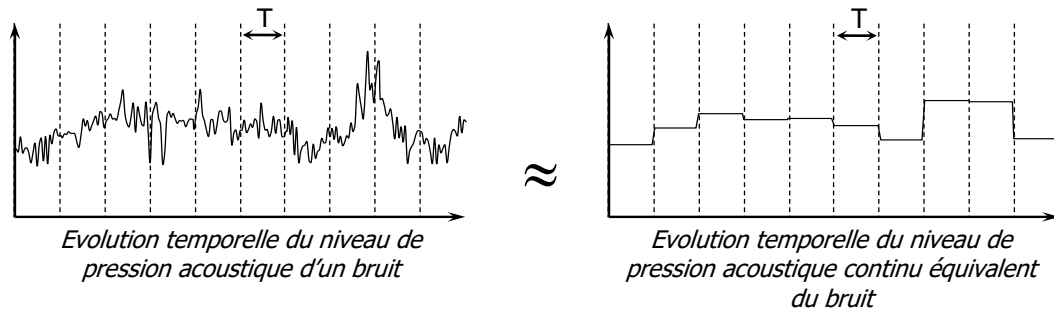
Les valeurs limites de l'émergence spectrale sont données dans le tableau ci-contre :

Bande d'octave normalisée centrée sur :	Valeur limite d'émergence
125 Hz	7 dB
250 Hz	7 dB
500 Hz	5 dB
1000 Hz	5 dB
2000 Hz	5 dB
4000 Hz	5 dB

3. DEFINITION DES GRANDEURS ACOUSTIQUES

3.1 Niveau de pression acoustique continu équivalent pondéré A

Le niveau de pression acoustique continu équivalent d'un bruit est le niveau de pression acoustique d'un son continu et stable qui, sur une période de temps T appelée durée d'intégration, à la même pression acoustique quadratique moyenne que le bruit considéré.



La pondération A appliquée à un spectre de pression acoustique, effectue une correction du niveau en fonction de la fréquence et permet de rendre compte de la sensibilité de l'oreille humaine qui n'est pas identique à toutes les fréquences.

Le niveau de pression acoustique continu équivalent pondéré A est noté $L_{Aeq,T}$ et sa valeur est exprimée en dB(A).

3.2 Emergences

L'émergence est évaluée en calculant la différence entre :

- le niveau de pression acoustique continu équivalent pondéré A du **bruit ambiant** (bruit de l'environnement incluant le bruit de l'installation en marche, objet de l'étude, que l'on nomme le **bruit particulier**) ;
- et le niveau de pression acoustique continu équivalent A du **bruit résiduel** (bruit de l'environnement en l'absence du bruit particulier, c'est à dire avec l'installation à l'arrêt).

Soit :

$$E = L_{Aeq, T_{part}} - L_{Aeq, T_{res}}$$

Avec :

- **E** : l'indicateur d'émergence de niveau en dB(A) ;
- **$L_{Aeq, T_{part}}$** : le niveau de pression acoustique continu équivalent pondéré A du bruit ambiant, déterminé pendant les périodes d'apparition du bruit particulier et dont la durée cumulée est T_{part} ;
- **$L_{Aeq, T_{res}}$** : le niveau de pression acoustique continu équivalent pondéré A du bruit résiduel, déterminé pendant les périodes d'absence du bruit particulier et dont la durée cumulée est T_{res} .

4. SITE A L'ETUDE

4.1 Environnement

Le site du crématorium de la société SNC CREMATORIUM Yzeure est situé rue du Repos à Yzeure (03).

L'environnement du site est le suivant :

- Les habitations les plus proches se situent à environ 90m du site à l'Ouest ;
- La voie routière D779 à environ 390m au nord du site avec un trafic élevé et continu. La D779 est une infrastructure de transports terrestre classé 4. La distance d'impact sonore de la départementale est de 30m ;
- Un poste électrique se situe à environ 80m à l'Est.

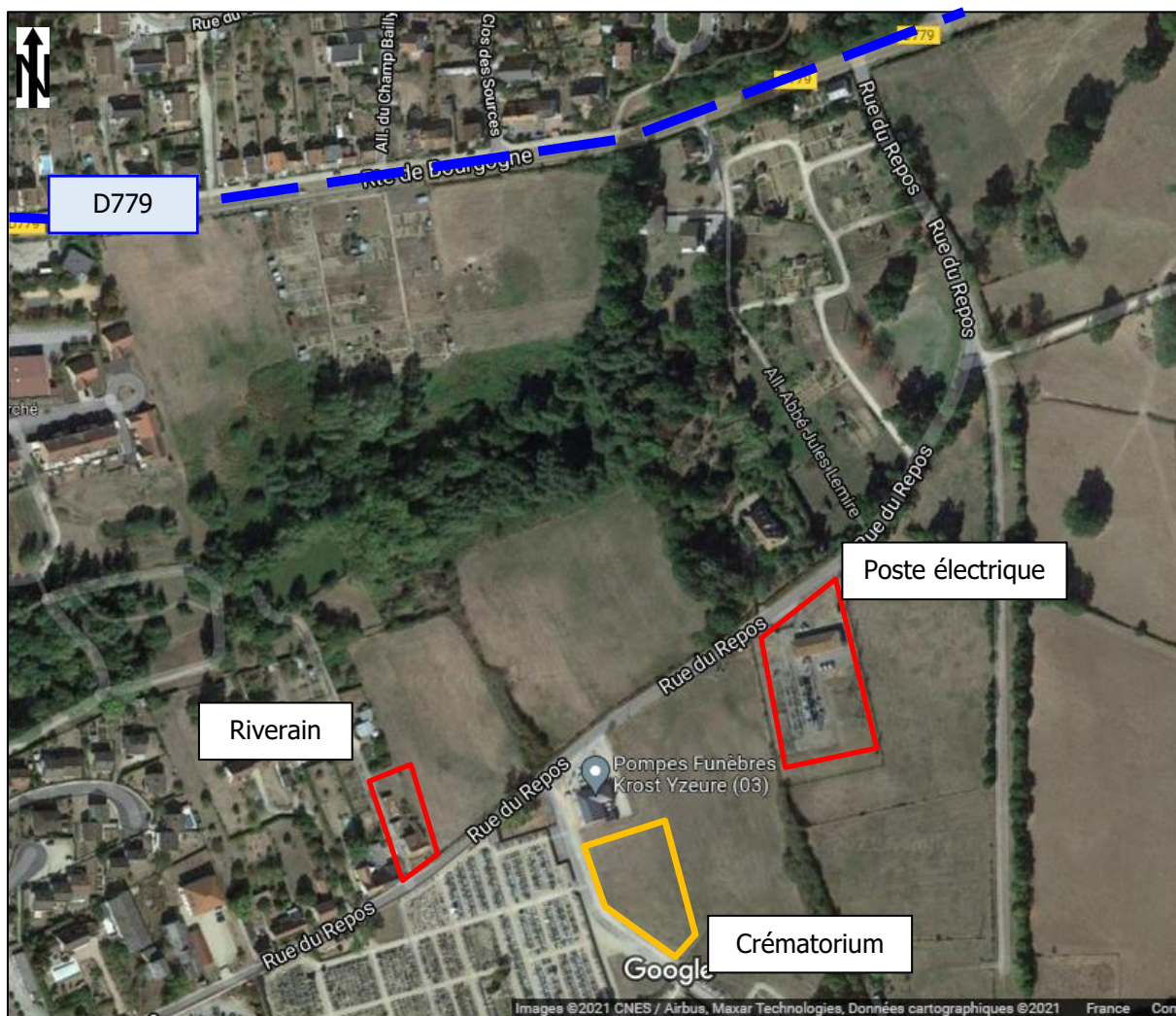


Figure 1 : Vue aérienne du site et de son environnement ¹

¹ Source Google maps : le site est susceptible d'avoir évolué depuis la date de la prise de vue

4.2 Activité du site

Le site du Crématorium d'Yzeure fonctionne de 8h à 19h du lundi au vendredi. Lors d'une journée, jusqu'à quatre crémations peuvent être réalisées dans le crématorium.

Le four est allumé en début de journée et éteint après la dernière crémation de la journée.

L'activité du site est variable d'un jour à l'autre.

Par conséquent, aucun terme correctif n'est admis en plus des 5,0 dB(A) autorisés de jour compte tenu des horaires de fonctionnement de l'établissement.

L'émergence admissible est donc de 5,0 dB(A) en période diurne.

Sont présentées ci-dessous les principales sources de bruit du site ayant un impact dans l'environnement :

Référence	Source de bruit	Photographie
S01	Four de crémation (Dans le local four)	
S02	Station de traitement des poussières (Dans le local four)	
S03	Aéroréfrigérants (À l'extérieur au niveau de l'entrée technique)	
B01	Bouches de ventilation à ventelles sur les façades Sud et Est (À l'extérieur au niveau de l'entrée technique)	
B02	Bouches de ventilation à ventelles sur la façade Nord (À l'extérieur au niveau de l'entrée technique)	

Tableau 1 : Liste des principales sources de bruit

Le plan de localisation des sources de bruit principales est présenté ci-dessous :



Figure 2 : Localisation des principales sources de bruit

5. MESURES

5.1 Appareillage utilisé

Les appareils utilisés pour faire les mesures sont :

Appareils	Marque	Type	N° de série de l'appareil	Type et n° de série du microphone	Type et n° de série du préamplificateur	Classe
Sonomètre	01dB	Gris SOLO	11659	MCE12 333502	PRE 21 S 12103	1
Sonomètre	01dB	Black SOLO	65893	MCE12 175330	PRE 21 S 16671	1

Tableau 2 : Liste des appareils de mesure utilisés

Ce matériel permet de :

- faire des mesures de niveau de pression et de niveau équivalent selon la pondération A ;
- faire des analyses temporelles de niveau équivalent et de valeur crête ;
- faire des analyses spectrales.

Les appareils de mesure sont calibrés, avant et après chaque série de mesurages, avec un calibre acoustique de classe 1.

Les logiciels d'exploitation des enregistrements sonores permettent de caractériser les différentes sources de bruit repérées lors des enregistrements (codage d'évènements acoustiques et élimination des évènements parasites), et de chiffrer leurs contributions effectives au niveau de bruit global.

La durée d'intégration du L_{Aeq} est de 1 seconde.

5.2 Période d'intervention

Les mesures ont été effectuées le 11/10/2021 par Cécile REZE, Acousticienne de la société ORFEA Acoustique.

5.3 Conditions de mesurages

Les mesures ont été réalisées conformément à la norme en vigueur NF S 31-010 de décembre 1996 relative aux mesures de bruit dans l'environnement.

Lors de la campagne de mesure, les conditions météorologiques étaient les suivantes :

- *couverture nuageuse* : ciel nuageux ;
- *vent* : Fort de secteur Nord ;
- *température* : 15°C le jour ;
- *humidité en surface* : surface humide.

Toutes les conditions météorologiques de l'intervention ainsi que leur interprétation sont reportées dans les fiches de mesures en partie annexe. Il convient de noter qu'à courte distance l'influence des conditions météorologiques sur la propagation sonore est minime.

Les valeurs mesurées sont représentatives de la période de mesurage et dépendent de nombreux facteurs (circulation routière et ferroviaire, trafic aérien, activités humaines alentours et bruits de l'environnement en général). Elles sont donc susceptibles de variations quotidiennes, hebdomadaires ou saisonnières.

5.4 Emplacements des mesures

Les mesures ont été réalisées conformément à la localisation suivante :

- Point 1 : à 1,5m du sol au niveau du jardin du riverain le plus proche du Crématorium ;
- Point 2 : à 1,5m du sol au niveau de l'accès technique, en limite de propriété au Nord-Est du Crématorium. Ce point de mesure permet de calculer les émergences en limite de propriété du Crématorium dans le cas où le terrain à l'Est du Crématorium deviendrait constructible (Habitations).

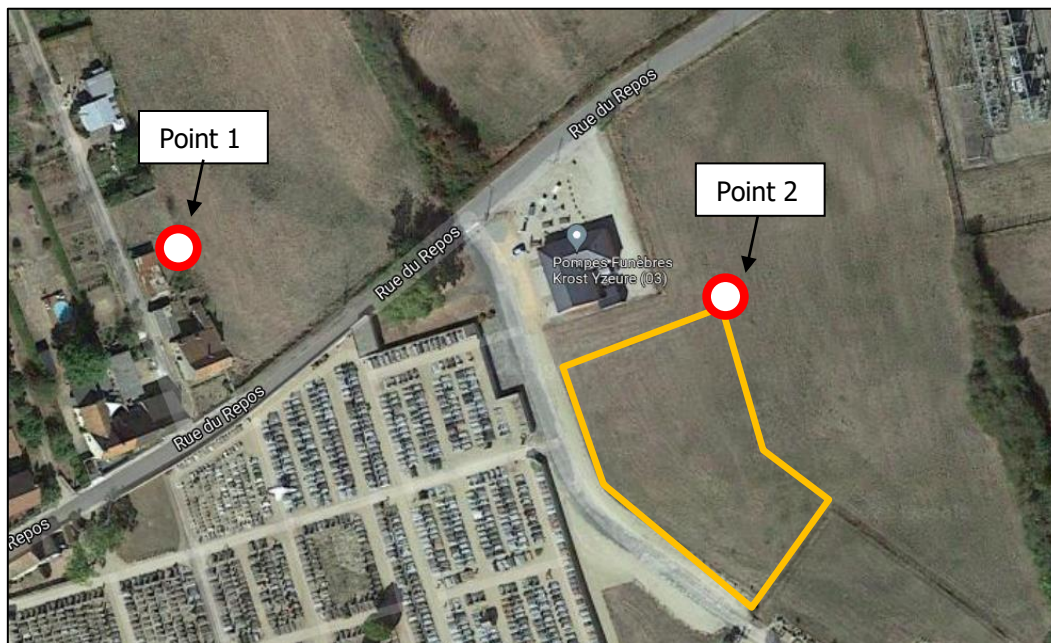


Figure 3 : Localisation des points de mesures

5.5 Configurations de mesurage

Les configurations de mesure étudiées ont été les suivantes :

- Fonctionnement du four et des équipements relatifs au four de 15h à 16h20 ;
- Arrêt du four et de tous les équipements relatifs au four à partir de 16h20.

Le constat sonore a été réalisé seulement pour la période diurne.

6. RESULTATS

Les niveaux sonores sont exprimés en niveaux équivalents L_{eq} . Tous ces niveaux sont arrondis à 0,5 dB près conformément à la norme NF S 31-010. Des fiches de mesure détaillées sont présentées en annexe.

6.1 Emergences en période diurne

POINT n°1 – En limite de propriété du riverain le plus proche		Niveaux par bande d'octave en dB						NIVEAU GLOBAL dB(A)
		125Hz	250Hz	500Hz	1000Hz	2000Hz	4000Hz	
Résiduel	Niveau de bruit résiduel	46,0	39,0	45,0	46,0	39,0	30,0	48,5
Ambiant	Niveau de bruit ambiant	47,5	40,0	44,5	44,5	38,5	33,0	47,5
	Emergence	1,5	1,0	0,5	0,0	0,0	30	0,0
	Emergence admissible	-	-	-	-	-	-	5,0
	Dépassement	-	-	-	-	-	-	NON

Tableau 3 : Résultats diurnes au Point n°1

POINT n°2 – En limite de propriété du Crématorium		Niveaux par bande d'octave en dB						NIVEAU GLOBAL dB(A)
		125Hz	250Hz	500Hz	1000Hz	2000Hz	4000Hz	
Résiduel	Niveau de bruit résiduel	58,0	44,0	47,5	47,5	43,0	35,0	51,0
Ambiant	Niveau de bruit ambiant	58,5	46,0	47,0	47,0	43,5	36,5	51,0
	Emergence	0,5	2,0	0,0	0,0	0,5	1,5	0,0
	Emergence admissible	-	-	-	-	-	-	5,0
	Dépassement	-	-	-	-	-	-	NON

Tableau 4 : Résultats nocturnes au Point n°2

Les points de mesure étant réalisés en extérieur, les émergences spectrales sont données à titre indicatif. Aucune comparaison réglementaire n'est réalisée pour ces indicateurs.

En revanche les seuils de niveaux globaux sont applicables.

Aucun dépassement des seuils réglementaires applicables n'est constaté de jour au niveau des deux points de mesure.

De plus, il est à noter que le Crématorium participe peu à l'environnement sonore du site. En effet, le poste électrique situé à l'Est du Crématorium, est la composante principale de l'environnement sonore du lieu.

Dans le cas où le terrain, situé à l'Est du Crématorium deviendrait constructible, les émergences dues au Crématorium devraient être faibles. Cependant, si les futures habitations font écran au poste électrique et réduise le niveau de bruit résiduel au point 2, les émergences pourraient augmenter. Par conséquent, il conviendra de réaliser des mesures afin de calculer les émergences au niveau de ces futures habitations potentielles.

7. CONCLUSION

Madame PEREIRA, représentant la société INFINI DEVELOPPEMENT, a sollicité le bureau d'études ORFEA Acoustique pour la réalisation de mesures acoustiques dans le cadre du Code de la Santé Publique - Section 2 « Dispositions applicables aux bruits de voisinage » dont les dispositions figurent aux articles R. 1336-5 à R. 1336-10.

Elles concernent les émissions sonores du Crématorium d'Yzeure dans l'environnement.

Les mesures ont permis d'établir qu'aucun dépassement des seuils réglementaires applicables n'a été constaté de jour au niveau des habitations les plus proches et en limite de propriété du Crématorium.

Rédacteur	Vérificateur	Approbateur
Cécile REZE	Franck DUFIL	Clément HUIN

8. ANNEXES

8.1 Fiches de mesures du bruit dans l'environnement

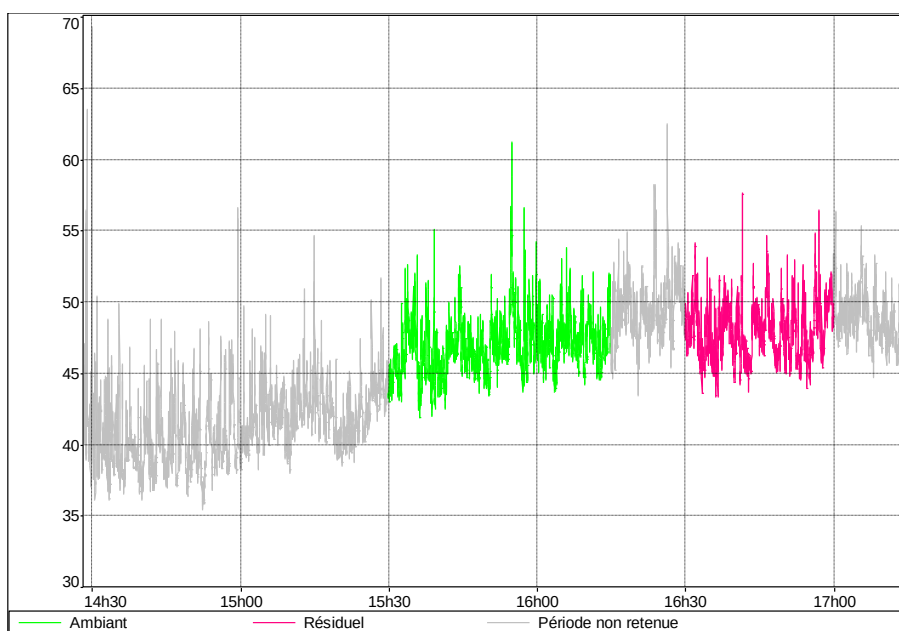
Point 1	Mesure en extérieur – En limite de propriété du riverain le plus proche	Fiche N°1
PERIODE JOUR		

POINT DE MESURE	LOCALISATION	PARAMETRES DE MESURAGE
		Appareil de mesure : Sonomètre Black Solo 12 N° 65893 Classe 1 Période de mesure : Le 11/10/2021 de 14h30 à 17h15 Durée : 2 heures 45 minutes Emplacement : En limite de propriété du riverain le plus proche A 1,5 mètre du sol

CONDITIONS METEOROLOGIQUES (selon NF S 31-010)

Période Jour U1/T3 Conditions défavorables pour la propagation sonore

EVOLUTION TEMPORELLE DU NIVEAU SONORE ($L_{Aeq/s}$ EN dB(A))



Sources de bruit / Observations

Le point 1 est peu impacté par le fonctionnement du four et des équipements relatifs au four du Crématorium. La période non retenue en vert correspond à des manipulations des équipements de mesures

RESULTATS

Configuration/Période	Indice	Niveaux sonores par bandes d'octaves (dB)								Global (dB(A))
		63 Hz	125 Hz	250 Hz	500 Hz	1 kHz	2 kHz	4 kHz	8 kHz	
Niveaux de bruit ambiant - Jour	L_{eq}	56,3	47,3	40,2	44,4	44,6	38,4	33,1	32,0	47,5
	L_{50}	53,8	45,3	38,6	43,6	43,7	37,0	29,8	21,9	46,6
Niveaux de bruit résiduel - jour	L_{eq}	55,9	46,1	39,2	45,2	45,8	38,8	30,2	27,3	48,4
	L_{50}	54,3	45,1	38,3	44,4	45,0	37,7	27,9	18,1	47,7

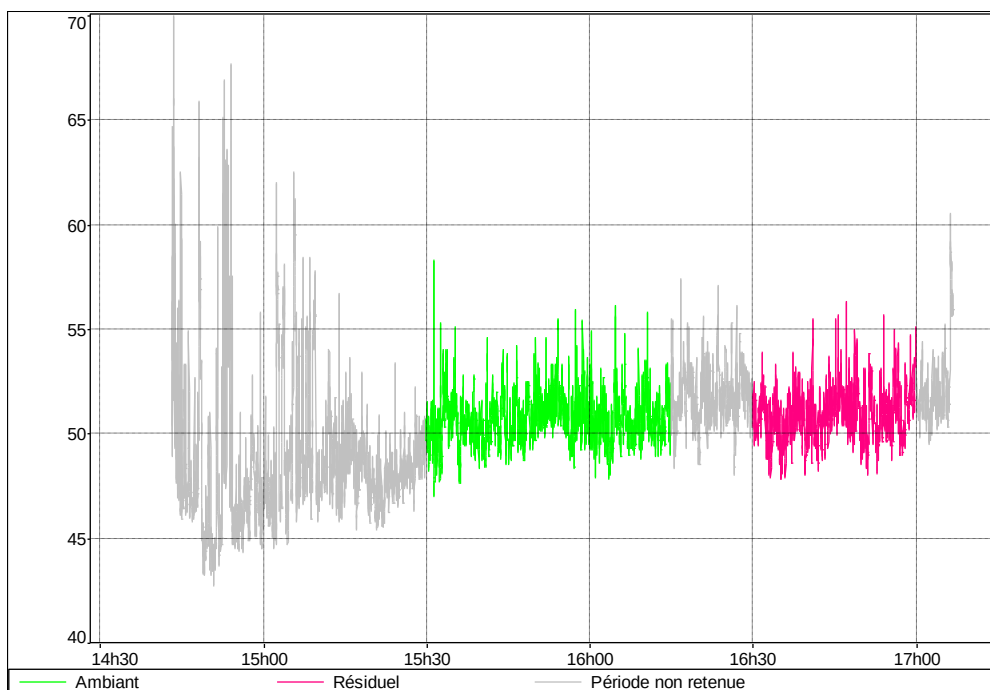
Point 2	Mesure en extérieur – En limite de propriété du crématorium	Fiche N° 2
PERIODE JOUR		

POINT DE MESURE	LOCALISATION	PARAMETRES DE MESURAGE
		Appareil de mesure : Sonomètre Grey Solo 4 N° 11659 Classe 1 Période de mesure : Le 11/10/2021 de 14h30 à 17h15 Durée : 2 heures 45 minutes Emplacement : En limite de propriété du Crématorium A 1,5 mètre du sol

CONDITIONS METEOROLOGIQUES (selon NF S 31-010)

Période Jour	U1/T3	Conditions défavorables pour la propagation sonore
--------------	-------	--

EVOLUTION TEMPORELLE DU NIVEAU SONORE ($L_{Aeq,1s}$ EN dB(A))



Sources de bruit / Observations

Le point 2 est peu impacté par le fonctionnement du four et des équipements relatifs au four du Crématorium. La période non retenue en vert correspond à des manipulations des équipements de mesures

RESULTATS

Configuration/Période	Indice	Niveaux sonores par bandes d'octaves (dB)								Global (dB(A))
		63 Hz	125 Hz	250 Hz	500 Hz	1 kHz	2 kHz	4 kHz	8 kHz	
Niveaux de bruit ambiant - Jour	L_{eq}	61,3	58,3	45,8	47,0	46,8	43,3	36,6	32,2	50,8
	L_{50}	60,7	58,1	44,8	46,3	46,3	42,9	35,7	24,5	50,5
Niveaux de bruit résiduels - jour	L_{eq}	61,0	57,8	44,1	47,3	47,6	43,2	35,2	30,1	51,0
	L_{50}	60,5	57,6	43,0	46,7	47,3	42,8	34,0	20,6	50,7

8.2 Conditions de propagation d'après la norme NF S 31-010

Afin d'évaluer les effets des conditions météorologiques sur la propagation sonore pendant la durée de mesurage pour une source et un récepteur donnés, la norme NF S 31-010 et l'amendement A1 de décembre 2008 définissent une méthodologie permettant de catégoriser les conditions de mesurage.

L'influence des conditions météorologiques sur la propagation sonore est d'autant plus importante que l'on s'éloigne de la source.

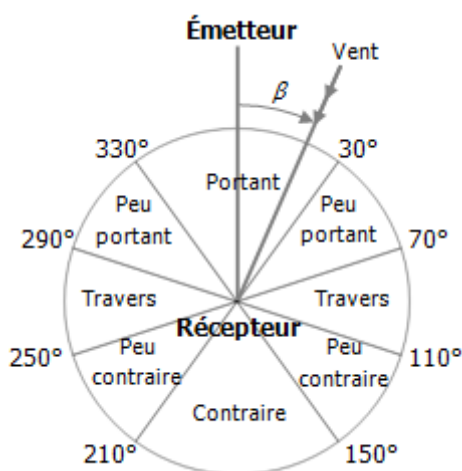
8.2.1 Définitions des conditions aérodynamiques

	Contraire	Peu contraire	De travers	Peu Portant	Portant
Vent fort	U1	U2	U3	U4	U5
Vent moyen	U2	U2	U3	U4	U4
Vent faible	U3	U3	U3	U3	U3

La vitesse du vent est caractérisée de façon conventionnelle à 2 m au-dessus du sol par les termes suivants :

- vent fort : vitesse du vent > 3m/s ;
- vent moyen : 1 m/s < vitesse du vent < 3m/s ;
- vent faible : vitesse du vent < 1 m/s.

Les différentes catégories de vent sont définies par référence au secteur d'où vient le vent :



8.2.2 Définition des conditions thermiques

Période	Rayonnement	Humidité en surface	Vent	Ti
Jour	Fort	Surface sèche	Faible ou moyen	T1
			Fort	T2
		Surface humide	Faible ou moyen ou fort	T2
	Moyen à faible	Surface sèche	Faible ou moyen ou fort	T2
		Surface humide	Faible ou moyen	T2
			Fort	T3
Période de lever ou de coucher du soleil				T3

Période	Couverture nuageuse	Vent	Ti
Nuit	Ciel nuageux	Faible ou moyen ou fort	T4
	Ciel dégagé	Moyen ou fort	T4
		Faible	T5

Les indices « jour » et « nuit » ont ici le sens courant et ne renvoient pas à une période réglementaire.

Le rayonnement est fonction de l'intensité de l'énergie solaire qui arrive au sol.

- un fort rayonnement se rencontre au moment où le soleil est au voisinage du zénith ($\pm 3h$) avec une absence totale de nuages, dans la période allant de l'équinoxe de printemps à celui d'automne ;
- un rayonnement moyen se rencontre dans l'une des circonstances suivantes :
 - soleil à $\pm 3h$ par rapport au zénith mais avec une couverture nuageuse au moins égale à 6 octas ;
 - 1h après le lever du soleil jusqu'à 3h avant le zénith avec une couverture nuageuse au plus égale à 4 octas ;
 - 3h après le zénith jusqu'à 1h avant le coucher du soleil avec une couverture nuageuse au plus égale à 4 octas.

La couverture nuageuse est appréciée de façon conventionnelle selon les deux catégories suivantes :

- ciel nuageux : correspond à plus de 20% du ciel caché (entre 3 et 8 octas) ;
- ciel dégagé : correspond à plus de 80% du ciel dégagé (inférieure ou égale à 2 octas).

L'humidité en surface peut se définir ainsi :

- surface sèche : il n'y a pas eu de pluie dans les 48h précédant le mesurage et pas plus de 2 mm dans le courant de la semaine précédant le mesurage ;
- surface humide : il est tombé au moins 4 mm à 5 mm d'eau dans les dernières 24h.

Ces états correspondent à des états particuliers. En réalité, la surface du sol passe de façon continue d'un état à l'autre. La description donnée consiste à préciser l'état dont elle est le plus proche.

8.2.3 Définition des conditions de propagation Grille U_i/T_i :

	U1	U2	U3	U4	U5
T1		--	-	-	
T2	--	-	-	Z	+
T3	-	-	Z	+	+
T4	-	Z	+	++	++
T5		+	+	++	

- Conditions défavorables pour la propagation sonore
- Conditions défavorables pour la propagation sonore
- Z Conditions homogènes pour la propagation sonore
- + Conditions favorables pour la propagation sonore
- ++ Conditions favorables pour la propagation sonore

9. GLOSSAIRE

Bruit ambiant

Bruit total composé de l'ensemble des bruits émis par les sources proches et éloignées existantes, dans une situation donnée pendant un intervalle de temps donné.

Bruit particulier

Bruit émis par une source identifiée spécifiquement.

Bruit résiduel

Bruit ambiant d'un site sans l'activité et sans les sources de bruit incriminées influençant son niveau.

Emergence

L'émergence est la différence arithmétique entre le niveau de bruit ambiant (avec source de bruit incriminée) et le niveau de bruit résiduel (sans source de bruit incriminée) au cours d'un intervalle d'observation.

Décibel

Le décibel est une unité de mesure logarithmique en acoustique. C'est un terme sans dimension. Il est noté **dB**.

Bandes d'Octaves, de Tiers d'Octaves et Niveau Global

Deux fréquences sont dites séparées d'une octave si le rapport de la plus élevée à la plus faible est égal à 2. Dans le cas du tiers d'octave, ce rapport est de 2 à la puissance 1/3.

Le niveau global correspond à la somme énergétique de toutes les bandes d'octaves. Il est noté **L**.

Niveau sonore

Le niveau sonore d'un bruit est évalué par l'amplitude de la variation de pression par rapport à la pression atmosphérique moyenne.

Le niveau sonore est généralement exprimé en décibel dB et calculé comme suit :

$$L_p = 20 \log \left(\frac{p}{p_0} \right)$$

Avec :

p₀ = 2.10⁻⁵ Pascal (pression de référence : seuil d'audibilité)

p = pression acoustique

Cette grandeur est dépendante de l'environnement de la source.

Afin de caractériser un bruit fluctuant par une seule valeur, on calcule le niveau de pression acoustique continu équivalent **L_{eq}**. Le niveau sonore équivalent représente le niveau sonore qui contiendrait autant d'énergie que le niveau réel fluctuant sur la durée de l'intervalle considéré. Cet indicateur pondéré A s'écrit **L_{Aeq}** et s'exprime en dB(A).

Spectre sonore

Un spectre sonore est la décomposition fréquentielle d'un son. Cette décomposition est couramment réalisée en octave ou tiers d'octave.

Pondération A

La pondération A est un filtre particulier dont l'objet est de corriger un signal afin de tenir compte de la non-linéarité de perception de l'oreille humaine.

Lorsqu'on applique cette correction sur un niveau sonore, celui-ci s'exprime en dB(A).

Il existe d'autres pondérations moins courantes qui peuvent être utilisées dans des cas particuliers, les pondérations B et C.

Indices statistiques (ou indices fractiles)

Cet indice représente le niveau de pression acoustique dépassé pendant X% de l'intervalle de temps considéré. Les indices les plus souvent utilisés sont les suivants :

- **L₁₀** : niveau sonore atteint ou dépassé pendant 10 % du temps de la mesure,
- **L₅₀** : niveau sonore atteint ou dépassé pendant 50% du temps de la mesure,
- **L₉₀** : niveau sonore atteint ou dépassé pendant 90% du temps de la mesure.

Tonalité marquée

La tonalité marquée est détectée dans un spectre non pondéré de tiers d'octave quand la différence de niveau entre une bande de fréquence et les quatre adjacentes atteint ou dépasse 10 dB pour les bandes de tiers d'octave 50 à 315Hz et 5 dB pour les bandes de tiers d'octave 400 à 1250 Hz et 1600 à 8000 Hz. Dans le cas d'un bruit à tonalité marquée, le bruit ne peut dépasser 30% de la durée de fonctionnement sur les périodes diurnes et nocturnes.

Agence d'ANTONY
5-7 rue Marcelin Berthelot
92160 Antony
T : 01 46 89 30 29
agence.orly@orfea-acoustique.com

Agence de PARIS
11 rue des Cordelières
75013 Paris
T : 01 55 06 04 87
F : 05 55 86 34 54
agence.paris@orfea-acoustique.com

Agence de GONESSE
RN 370 - Espace Godard
95500 Gonesse
T : 01 39 88 69 25
agence.roissy@orfea-acoustique.com

ORFEA Acoustique Normandie-CAEN
Centre Odysée - Bât. F.
4 avenue de Cambridge
14200 Hérouville Saint Clair
T : 02 31 24 33 60 / F : 02 31 24 36 14
agence.caen@orfea-acoustique.com

ORFEA Acoustique Bretagne-RENNES
Rue de la Terre Victoria
Parc d'affaires Edonia - Bât. B
35760 Saint Grégoire
T : 02 23 40 06 06 / F : 02 23 40 00 66
agence.rennes@orfea-acoustique.com

Agence de POITIERS
Centre d'affaires Antarès
BP 70183 Téléport 4
86962 Futuroscope Chasseneuil
T : 05 49 49 48 22 / F : 05 49 49 41 24
agence.poitiers@orfea-acoustique.com

Agence de BORDEAUX
8 rue du Pr. André Lavignolle - Bât. 3
33049 Bordeaux Cedex
T : 05 56 07 38 49
F : 05 56 10 11 71
agence.bordeaux@orfea-acoustique.com

Siège social et Agence de BRIVE
33 rue de l'Île du Roi - BP 40098
19103 Brive Cedex
T : 05 55 86 34 50
F : 05 55 86 34 54
agence.brive@orfea-acoustique.com

Agence de METZ
Quartier des Entrepreneurs
29 rue de Sarre
57070 Metz
T : 01 55 06 04 87
F : 05 55 86 34 54
contact@orfea-acoustique.com

Agence de CLERMONT-FERRAND
Bâtiment Le Triangle - 1er étage
21 rue de Sarliève
63800 COURNON D'AUVERGNE
T : 04 73 83 58 34
F : 04 73 74 35 46
agence.clermont@orfea-acoustique.com

Agence de LYON
Villa Créatis - 2 rue des Mûriers
69009 Lyon
T : 04 78 36 35 30
F : 05 55 86 34 54
agence.lyon@orfea-acoustique.com

Agence de VALENCE
28 rue Paul Henri Spaak
26000 Valence
T : 04 75 25 50 18
F : 05 55 86 34 54
agence.valence@orfea-acoustique.com

Agence de LIMOGES
22 rue Atlantis, immeuble Antarès
Parc d'Ester - BP 56959
87069 Limoges Cedex
T : 05 55 56 31 25 / F : 05 55 86 34 54
agence.limoges@orfea-acoustique.com

ORFEA Acoustique FRANCE - T : 05 55 56 31 25 - contact@orfea-acoustique.com



www.orfea-acoustique.com

ORFEA Acoustique - SAS au capital de 151 740 €
SIRET 414 127 092 000 16 | RCS BRIVE 414 127 092
TVA intra-communautaire FR 50 414 127 092
ORFEA Acoustique Normandie - SARL au capital de 50 000 €

ORFEA Acoustique Normandie-Bretagne
SARL au capital de 50 000 €
SIRET 499 732 493 000 22 | RCS CAEN 499 732 493
TVA intra-communautaire FR 23 499 732 493

NACE 7112B | NAF 742C | TVA payée sur les encaissements



Rapport d'étude

Réf : 338.1025/EQRS – v3.0 – Avril 2026

Création d'un crématorium à St-Lô (50)

Évaluation Quantitative des Risques Sanitaires (EQRS), dont modélisation de la dispersion atmosphérique des émissions

Pour le compte de :

SNC Crématorium St-Lô



● Intervenants

CLIENT		ECORCE ICPE CONSEIL/SNC	
Coordonnées		5 rue Henri Becquerel – Lyon – 69009	
Contacts		Alexandre PAQUET Chargé d'affaires Environnement et Risques Industriels en alternance E-mail : alexandre.paquet@icpe-conseil.fr Mobile : +33 6 11 10 93 49 Catherine Taillandier E-mail : catherine.taillandier@dabrigeon.fr	
PRESTATAIRE		NUMTECH	
Coordonnées		5 rue des Planchettes – 63000 Clermont-Ferrand – 06 72 11 52 38	
Contacts		Emmanuelle Duthier Cheffe 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	13/04/2026	Version initiale	
2.0	14/04/2026	-	
3.0	16/04/2026	Modification annexe 4	
REDACTION		VERIFICATION	
Léa BRITO Ingénieure d'étude 		Alisson GODART Cheffe de Projet Qualité de l'Air 	

● Résumé

NUMTECH a été sollicité par ECORCE ICPE CONSEIL afin d'évaluer les risques sanitaires relatifs aux rejets d'un projet de crématorium à St-Lô dans La Manche (50).

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 à une série de substances ont été étudiés. Les niveaux d'expositions des populations riveraines au projet 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.

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 la voie d'exposition respiratoire conduisent à l'obtention d'un risque inférieur au seuil sanitaire ($QD < 1$). La somme de risques effectuées pour les effets chroniques cancérogènes conduit également à l'obtention d'un risque inférieur au seuil sanitaire ($ERI < 1.10^{-5}$).

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	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	9
1.2.4	Principes conducteurs à la réalisation de l'étude	9
2	Caractérisation du site et de son environnement	11
2.1	Présentation du projet 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	Population résidente	12
2.3.2	Populations fréquentant le domaine d'étude	12
2.3.3	Usages de l'environnement	15
2.4	Présence d'activités industrielles	17
2.5	Inventaire et choix des substances émises, et émissions	20
3	Identification des dangers	22
3.1	Méthode	22
3.2	Etude des dangers	22
4	Inventaire et choix des valeurs toxicologiques de référence	24
4.1	Définition	24
4.2	Sources de données	24
4.2.1	Cas particulier du benzène	26
4.2.2	Cas particulier du mercure	26
4.3	Choix des valeurs toxicologiques de référence	27
5	Évaluation des expositions	29
5.1	Voies et vecteurs d'exposition	29
5.1.1	Exposition par inhalation	29
5.1.2	Exposition par ingestion	29
5.1.3	Exposition par voie cutanée	30
5.2	Schéma conceptuel d'exposition	31
5.3	Calcul des doses d'exposition par inhalation	31
5.3.1	Paramètres d'exposition retenus	32
5.3.2	Calcul des niveaux d'exposition	33
5.4	Calcul des doses d'exposition par ingestion	37
5.4.1	Définition du scénario d'exposition	39

5.4.2	Paramètres du scénario d'exposition	41
5.4.3	Estimation des doses journalières d'exposition	41
6	Caractérisation des risques sanitaires	42
6.1	Méthode	42
6.1.1	Quotients de danger pour les substances à effets à seuil de dose	42
6.1.2	Excès de risque individuel pour les substances à effets sans seuil de dose	43
6.2	Exposition par voie respiratoire	44
6.2.1	Exposition aiguë	44
6.2.2	Expositions chroniques	45
6.2.3	Cas particulier des poussières fines (PM ₁₀ et PM _{2.5})	45
6.3	Exposition pour la voie digestive	49
6.4	Risques cumulés	49
6.4.1	Risques cumulés pour les effets à seuil de dose	50
7	incertitudes	51
7.1	Incertaines ayant pour effet de sous-estimer les risques	51
7.1.1	Sélection des substances retenues dans l'étude	51
7.2	Incertaines ayant pour effet de surestimer les risques	51
7.2.1	Taux d'exposition journalier	51
7.2.2	Fréquence d'exposition annuelle pour des expositions chroniques	51
7.2.3	Spéciation des COV	51
7.2.4	Estimation des concentrations intérieures et extérieures (Ci)	52
7.3	Incertaines dont l'effet sur les risques est inconnu (ou variable)	52
7.3.1	Mélanges de substances	52
7.3.2	Durée d'exposition	52
7.3.3	Incertaine associée au choix des VTR	53
7.3.4	Variables humaines d'exposition	53
7.3.5	Modélisation de la dispersion atmosphérique	53
7.3.6	Modélisation des transferts dans la chaîne alimentaire	53
7.3.7	Incertaine 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	56
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		66
Annexe 4 : Synthèse des hypothèses MODUL'ERS		67

● Figures

Figure 1. Environnement proche de l'installation	11
Figure 2. Localisation des sites sensibles	14
Figure 3. Zones de cultures sur le domaine d'étude	17
Figure 4. Localisation des anciens sites industriels et activités de services	18
Figure 5. Logigramme pour le choix des VTR (note n°DGS/EA1/DGPR/2014/307 du 31 octobre 2014)	25
Figure 6. Schéma conceptuel d'exposition considéré dans le cadre de cette étude	31
Figure 7. Variabilité spatiale de l'exposition moyenne annuelle (cas du dioxyde d'azote)	34
Figure 8. Variabilité spatiale de l'exposition maximale horaire (cas du dioxyde d'azote)	35
Figure 9. Variabilité spatiale de l'exposition maximale journalière (cas du dioxyde d'azote) ..	36
Figure 10. Modèle d'exposition selon l'outil MODULERS	39
Figure 11. Variabilité spatiale des dépôts atmosphériques en PM _{2.5}	40

● Tableaux

Tableau 1. Population recensée dans le domaine d'étude (source : INSEE, 2019)	12
Tableau 2. Sites sensibles sur le domaine d'étude	14
Tableau 3. Typologie des sols dans le domaine d'étude (source : Corine Land Cover 2018) ..	16
Tableau 4. Liste et localisation des ICPE présentes sur le domaine d'étude (source : Géorisques)	18
Tableau 5. Liste des anciens sites industriels et activités de services (BASIAS) présents sur le domaine d'étude (source : Géorisques)	19
Tableau 6. Valeurs Limites à l'Emission	20
Tableau 7. Principales substances inventoriées, voie et durée d'exposition et système cibles associés	22
Tableau 8. Présence ou absence de VTR pour les substances recensées à l'émission du crématorium	26
Tableau 9. VTR aiguës pour la voie respiratoire (unité : $\mu\text{g}/\text{m}^3$)	27
Tableau 10. VTR chroniques pour les effets à seuil de dose par voie respiratoire (unité : $\mu\text{g}/\text{m}^3$)	27
Tableau 11. VTR chroniques pour les effets sans seuil de dose par voie respiratoire (unité : $\mu\text{g}/\text{m}^3$)	28
Tableau 12. VTR chroniques pour les effets à seuil de dose par voie digestive (unité : $\mu\text{g}/\text{kg}/\text{j}$)	28
Tableau 13. Paramètres retenus pour le scénario d'exposition considéré	33
Tableau 14. Concentrations atmosphériques maximales (Ci , $\mu\text{g}/\text{m}^3$) obtenues sur le domaine d'étude pour les substances retenues dans l'ERS	37
Tableau 15. Dépôts atmosphériques obtenus au niveau du site ingestion	40
Tableau 16. DJE cumulées maximales obtenues après 30 ans de fonctionnement ($\text{mg}/\text{kgPC}/\text{j}$)	41
Tableau 17. Quotients de danger et comparaison aux VTR ou valeurs guide pour une exposition aiguë	44
Tableau 18. Quotients de danger obtenus pour une exposition chronique dans le domaine d'étude	45
Tableau 19. Détermination des ERI	45
Tableau 20. Comparaison aux valeurs guides pour une exposition aiguë	46
Tableau 21. ERI pour une exposition aiguë	46
Tableau 22. Comparaison aux valeurs guides pour une exposition chronique	46
Tableau 23. Détermination des ERI par inhalation	47
Tableau 24. Quotients de danger (QD) obtenus pour la voie digestive	49
Tableau 25. Caractéristiques des sources (SOURCES : ICPE CONSEIL et Rapport d'essai sur le crématorium de St-Nicolas D'Alhiermont)	61

1 INTRODUCTION

1.1 Contexte

NUMTECH est sollicitée par ECORCE ICPE CONSEIL afin d'évaluer les risques sanitaires relatif aux rejets d'un projet de crématorium humain à St-Lô (50).

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 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

1.2.3 STRUCTURE DU RAPPORT

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

- 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 les rejets du site.

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,

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

- la proportionnalité : le degré d'approfondissement doit être cohérent avec l'importance des incidences prévisibles de la pollution.

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 du projet et de son environnement proche

Le projet de crématorium humain de Saint-Lô se localise à l'est du centre-ville, juste au nord de la D900, en bordure ouest du Haras national de Saint-Lô, dans le département de La Manche (50). Les émissions à l'atmosphère se font par l'intermédiaire d'une seule cheminée. La Figure 1 présente la localisation du site en projet.



Figure 1. Environnement proche de l'installation

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 projet. Cette étendue a été fixée par l'intermédiaire de l'étude de dispersion réalisée dans le cadre de cette étude en considérant les émissions en oxydes d'azote (NO_x) émis par le projet de crématorium humain. 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 POPULATION RESIDENTE

Le domaine d'étude se situe sur 4 communes : principalement sur la commune de Saint-Lô, et dans une moindre mesure sur les communes de Saint-Georges-Montcocq, Le Mesnil-Rouxelin et Agneaux. Afin d'estimer le nombre de personnes résidant dans la zone d'étude, des données carroyées (carreaux de 200 mètres) proposées par l'INSEE ont été utilisées. Elles sont issues de la source Revenus Fiscaux Localisés 2019. D'après ces informations, la zone d'étude comprend 18 088 habitants. Le profil d'âge de cette population est présenté dans le Tableau 1.

Tableau 1. Population recensée dans le domaine d'étude (source : INSEE, 2019)

Classe d'âge	Nombre d'individus
0-3 ans	572
4-5 ans	371
6-10 ans	914
11-17 ans	1 508
18-24 ans	1 575
25-39 ans	3 113
40-54 ans	3 337
55-64 ans	2 421
65-79 ans	2 855
80 ans et +	1 411
Age incertain	11
TOTAL	18 088

2.3.2 POPULATIONS FREQUENTANT LE DOMAINE D'ETUDE

Dans la zone d'étude considérée dans le cadre de l'ERS, une recherche des sites appelés « sites sensibles » a été réalisée. 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 » pouvant être 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 bases de données inspectées relatives aux sites sensibles.

2.3.2.1 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, **6 crèches sont recensées sur le domaine d'étude**. Ils sont localisés sur la Figure 2 et recensés dans le Tableau 2. On y retrouve notamment la crèche Fontaine Venise à moins de 800 m au sud-ouest des limites du site.

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 Etablissements 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, **13 établissements scolaires sont recensés sur le domaine d'étude**. Ils sont localisés sur la Figure 2 et recensés dans le Tableau 2. On y retrouve notamment le collège Louis Pasteur et l'école Jules Ferry situé à moins de 200 m des limites du site.

2.3.2.2 Personnes fréquentant les établissements sanitaires et sociaux

D'après les informations disponibles dans le FINESS⁷, **9 établissements sanitaires et sociaux sont recensés sur le domaine d'étude**. Ils sont localisés sur la Figure 2 et listés dans le Tableau 2. La clinique Saint-Jean notamment se trouve à moins de 800 m à l'est des limites du site.

2.3.2.3 Personnes exerçant une activité physique

Le recensement des sites utilisés pour la pratique sportive, ainsi que leur localisation, est déduit de la base de données du ministère des Sports et des jeux olympiques et paralympiques⁸. D'après les données collectées, **11 sites de pratiques sportives sont recensés sur le domaine d'étude**. On y retrouve notamment le pôle hippique de St-Lô situé à 100 m à l'est du site. Ils sont localisés sur la Figure 2 et recensés dans le Tableau 2.

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

⁶ www.data.gouv.fr

⁷ Fichier National des Etablissements Sanitaires et Sociaux

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

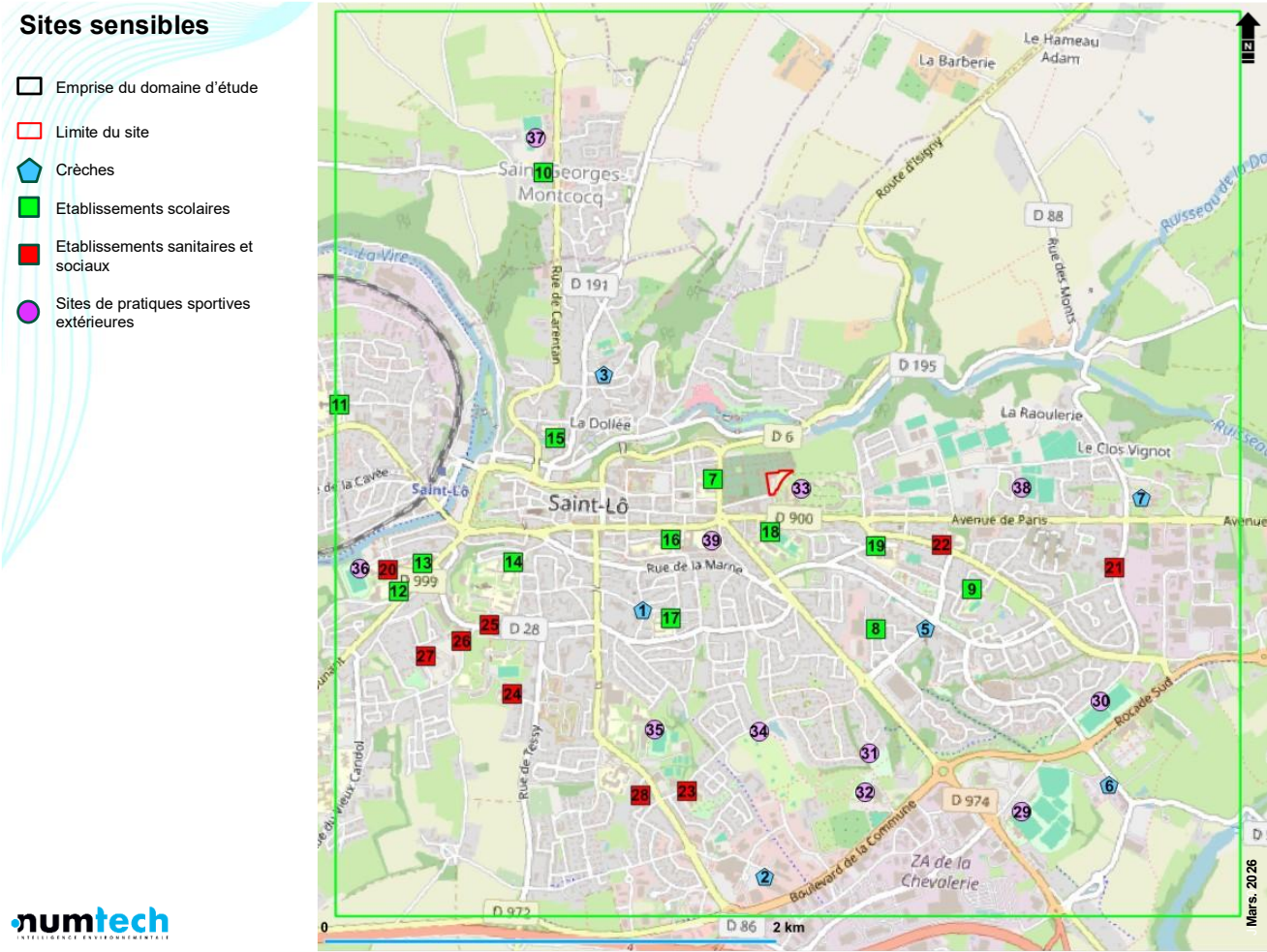


Figure 2. Localisation des sites sensibles

Tableau 2. Sites sensibles sur le domaine d'étude

Id		Sites sensibles	Ville	Distance au site d'étude
Crèches				
1		Crèche Fontaine Venise	St-Lô	750 m
2		Micro-crèche KIBICHOU St-Lô – rue Popielujko	St-Lô	1.7 km
3		Multi-accueil Nelson Mandela	St-Lô	850 m
4		Crèche Val St Jean	St-Lô	900 m
5		Crèche PIM PAM POMME	St-Lô	2 km
6		Micro-crèche KIBICHOU St-Lô – avenue de Paris	St-Lô	1.6 km
Etablissements scolaires				
7		Ecole Jules Ferry	St-Lô	200 m
8		Ecole Calmette-Guérin	St-Lô	750 m
9		Ecole Jules Verne	St-Lô	1 km
10		Ecole Les Fontenelles	St-Georges-Montcocq	1.6 km
11		Institut St-Lô	Agneaux	1.9 km
12		Collège Georges Lavalley	St-Lô	1.7 km
13		Ecole de L'Yser	St-Lô	1.6 km
14		Ensemble scolaire du Bon Sauveur	St-Lô	1.2 km
15		Ecole Les Palliers	St-Lô	900 m
16		Ensemble scolaire interparoissial	St-Lô	450 m
17		Ecole Raymond Brulé	St-Lô	700 m
18		Collège Louis Pasteur	St-Lô	150 m
19		Ecole Samuel Beckett	St-Lô	500 m
Etablissements sanitaires et sociaux				

20	IEM ADAPT St-Lô	St-Lô	1.7 km
21	IME La Fresnelière	St-Lô	1.5 km
22	Clinique St-Jean	St-Lô	750 m
23	EHPAD Fontaine Fleury	St-Lô	1.4 km
24	EHPAD Résidence Anne Le Roy	St-Lô	1.4 km
25	Hôpital du Buot	St-Lô	1.4 km
26	CMP Addictologie – FBS Manche	St-Lô	1.5 km
27	IME Maurice Marie	St-Lô	1.6 km
28	EHPAD Demeure du Bois Ardent	St-Lô	1.4 km
Sites de pratiques sportives extérieurs			
29	Complexe sportif des Ronchettes – Stade Louis Villemer	St-Lô	1.8 km
30	Stade de l'Aurore	St-Lô	1.7 km
31	Aire de jeux	St-Lô	1.2 km
32	Centre Aquatique	St-Lô	1.4 km
33	Pôle Hippique – Haras national de St-Lô	St-Lô	100 m
34	Golf compact de St-Lô	St-Lô	1 km
35	Complexe sportif St-Lois	St-Lô	1.2 km
36	Stade Jean Berthelem	St-Lô	1.8 km
37	Complexe sportif Avenue du Cotentin	St-Georges-Montcocq	1.8 km
38	Complexe sportif Chemin de la Madeleine	St-Lô	1 km
39	City-stade Lycée Louis Verrier	St-Lô	320 m

2.3.3 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 dans le Tableau 3, le domaine d'étude est en majorité agricole puisque les surfaces à usage agricole représentent presque la moitié de la surface d'étude (46%). Le reste de la zone d'étude est urbaine (37%) et à usage industriel (17%).

Tableau 3. Typologie des sols dans le domaine d'étude (source : Corine Land Cover 2018)

Type	surface (ha)	part
Tissu urbain discontinu	585	37%
Zones industrielles ou commerciales et installations publiques	278	17%
Terres arables hors périmètres d'irrigation	151	9%
Prairies et autres surfaces toujours en herbes à usage agricole	586	37%
TOTAL	1600	100%

Les données Agreste, relatives à la statistique agricole, permettent de recenser les activités d'élevage en 2020 dans les communes de St-Lô, Agneaux, St-Georges-Montcocq et Le Mesnil-Rouxelin. En 2020, 9 exploitations de vaches laitières sont recensées sur les communes de St-Lô et St-Georges-Montcocq et 9 exploitations de vaches nourrices sont recensées sur les communes de St-Lô et Le-Mesnil-Rouxelin.

Les sites internet des villes de St-Lô, Agneaux, St-Georges-Montcocq et Le Mesnil-Rouxelin ne mentionnent pas l'existence de jardins partagées sur les communes.

Concernant les cultures végétales, le registre parcellaire agricole de 2024 permet de se rendre compte des différents types de cultures végétales sur le domaine d'étude. La Figure 3 indique quels types de cultures végétales sont susceptibles de se trouver sur le domaine.

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 privatifs de type avicoles, destinés à l'autoconsommation de viande ou d'œufs. C'est notamment le cas au niveau des jardins familiaux, lesquels sont également connus pour faciliter l'autoconsommation de fruits et légumes.

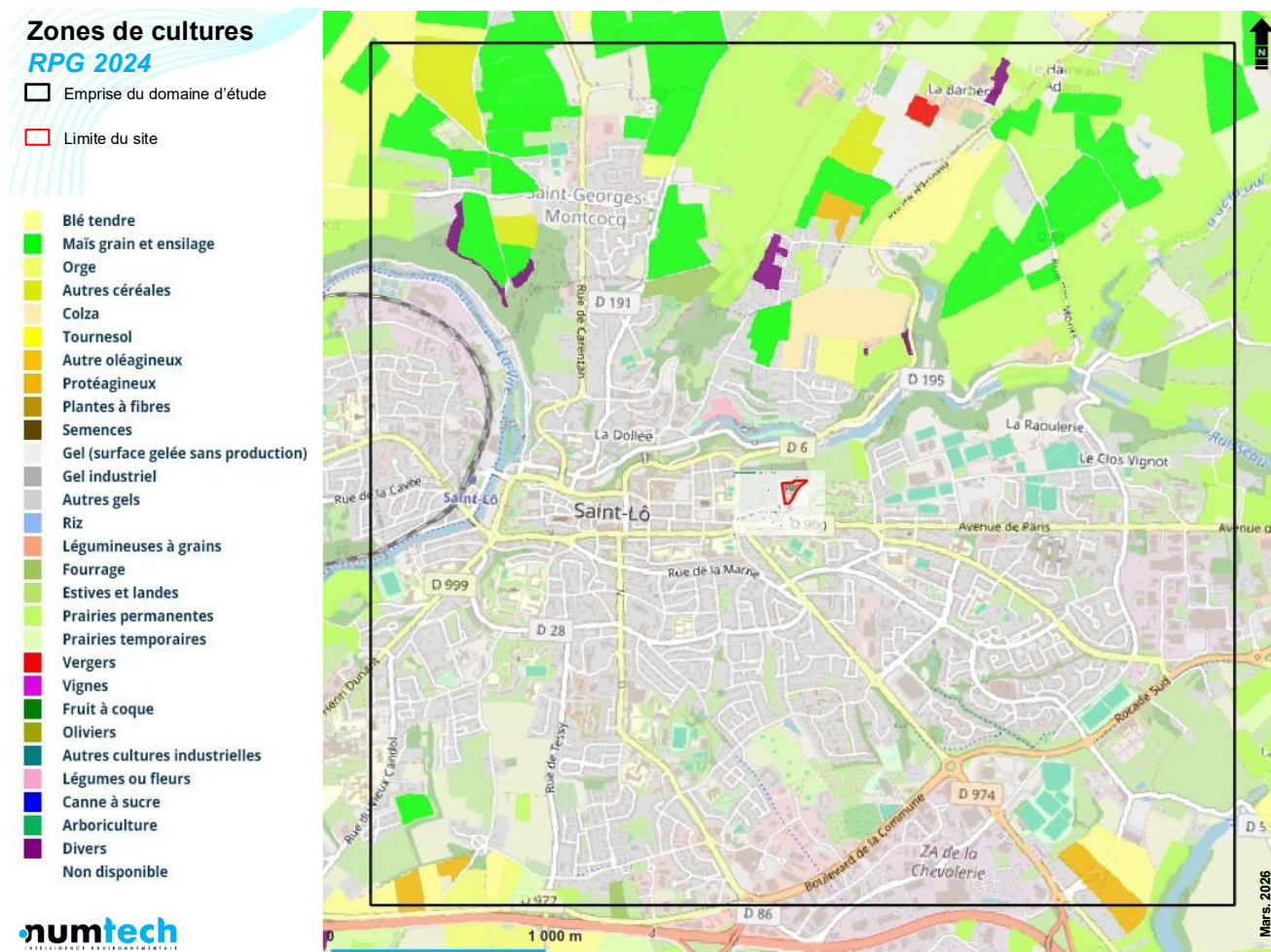


Figure 3. Zones de cultures sur le domaine d'étude

D'après le SANDRE (Service National d'Administration des Données et Référentiels sur l'Eau) qui fournit le zonage des aires d'alimentation de captage, aucune aire de captage d'eau ne se trouve sur le domaine d'étude.

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 site étudié, et notamment de la présence d'autres sources émettrices en présence.

D'après les données de la base Géorisques, le domaine d'étude comprend 6 installations classées pour la protection de l'environnement, 36 anciens sites industriels ou activités de service (BASIAS) et 1 site ou sol pollué (BASOL).

L'ancien site BASOL a engendré la pollution de 3 terrains côtes à côtes là où se trouve aujourd'hui le collège Georges Lavalley et le groupe scolaire de l'Yser, à 1.6 km à l'ouest du site en projet. Sur ces terrains se trouvaient auparavant l'Usine à gaz de St-Lô.

Les installations classées pour la protection de l'environnement (ICPE) sont présentées dans le Tableau 4 ci-dessous et les anciens sites industriels ou activités de services sont localisés sur la Figure 4 et présentés dans le Tableau 5.

Tableau 4. Liste et localisation des ICPE présentes sur le domaine d'étude (source : Géorisques)

Nom de l'ICPE	Activité	Latitude	Longitude
AUTOMOBILES ET RECYCLAGES CLOSMENIL DECONSTRUCTION	Collecte, traitement et élimination des déchets ; récupération	49.123	-1.105
STEF LOGISTIQUE NORMANDIE	Entreposage et services auxiliaires des transports	49.125	-1.103
SCEA ENEE	Culture et production animale, chasse et services annexes	49.135	-1.07
REVIVAL	Collecte, traitement et élimination des déchets ; récupération	49.107	-1.082
COLAS Ile de France SAS	Fabrication d'autres produits minéraux non métalliques	49.102	-1.073
CHOUQUAIS (EARL)	Elevage porcin	49.127	-1.055

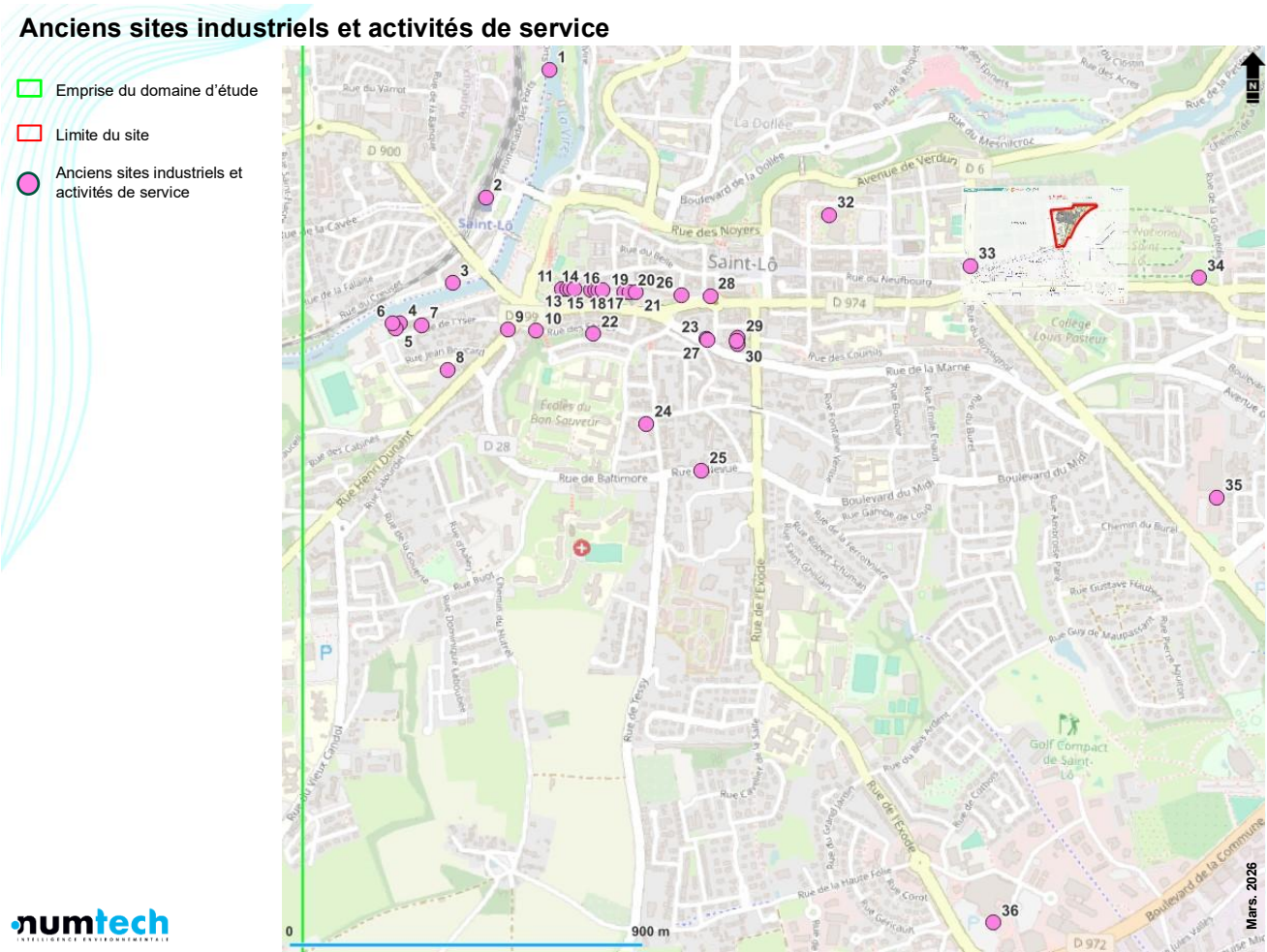


Figure 4. Localisation des anciens sites industriels et activités de services

Tableau 5. Liste des anciens sites industriels et activités de services (BASIAS) présents sur le domaine d'étude (source : Géorisques)

Id	Nom de l'ASIAS	Latitude	Longitude
1	BROUILLET ET CIE	49.120	-1.098
2	BOSSARD	49.117	-1.100
3	YOUF	49.115	-1.101
4	VILLEMER	49.114	-1.103
5	SOCIETE REGIONALE D'EXPLOITATION	49.114	-1.103
6	LEBAS	49.114	-1.103
7	FONTAINE	49.114	-1.102
8	DEBON F.	49.113	-1.101
9	RENAULT	49.114	-1.099
10	TANQUERAY	49.114	-1.098
11	CORCEL	49.115	-1.097
12	LECLERC ED.	49.115	-1.097
13	BORDERIEUX SA	49.115	-1.097
14	PIGNARD	49.115	-1.097
15	LIEGEARD	49.115	-1.096
16	LEJEUNE	49.115	-1.096
17	DAVID	49.115	-1.096
18	BREHIER	49.115	-1.096
19	BEDU	49.115	-1.095
20	ROUSSEL ET SAINTHUILLE	49.115	-1.095
21	GUILLOUET	49.115	-1.095
22	MALLERET	49.114	-1.096
23	LECHEVALLIER	49.114	-1.092
24	BRIARDS	49.112	-1.094
25	LEVANNIER	49.111	-1.092
26	GUEGUEN	49.115	-1.093
27	LETRIEGUILLY	49.114	-1.092
28	BERTAUX	49.115	-1.092
29	DRAVERT	49.114	-1.091
30	LEFEVRE	49.114	-1.091
31	GARAGE RENAULT	49.114	-1.091
32	FRANCOIS	49.117	-1.088
33	GODARD	49.116	-1.083
34	LANCE	49.116	-1.075
35	LECAPITAINE	49.111	-1.074
36	SER (Société Economique de Rennes)	49.101	-1.081

2.5 Inventaire et choix des substances émises, et émissions

Les substances prises en compte dans le cadre de cette étude sanitaire correspondent aux substances réglementées à l'émission et précisées dans l'article 26 de l'arrêté du 6 juin 2018. Cet arrêté liste les substances réglementées, ainsi que les valeurs-limites à l'émission (VLE) auxquelles sont astreints les nouveaux crématoriums.

Le tableau suivant présente les différentes concentrations à l'émission retenues dans l'étude.

Tableau 6. Valeurs Limites à l'Emission

Substances	Valeurs Limites à l'Emission (mg/Nm ³)
Gaz	
NO_x	500
SO₂	120
CO	50
COV	20
HCl	30
Particules	
Poussières	10
Hg	0.2
PCDD/F	0.1 ng/m ³

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 volatils, en l'absence d'information précise sur la composition de cette famille de substances, l'hypothèse simplificatrice majorante 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, ceux-ci sont composés du monoxyde d'azote (NO) et du dioxyde d'azote (NO₂). Ce dernier étant le composé le plus nocif, et le seul à disposer d'une valeur guide, il est donc nécessaire de connaître la répartition NO_x/NO₂ dans l'environnement, à partir d'une simulation effectuée sur les NO_x. Cependant, la connaissance de cette répartition n'est pas directe, la méthodologie est décrite en Annexe 2. 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). Durant les procédés d'incinération, à l'émission, les NO_x sont essentiellement composés de NO, représentant d'après la littérature¹⁰ environ 95% des émissions en NO_x. Par défaut, nous considérons donc une

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 J. Tezanou, T. Rogaume, F. Richard, T. Andzi Barhe, F. Jabouille, Laboratoire de Combustion et de Détonique, ENSMA, 2009, Influence of waste composition on nox emissions from incinerators.

hypothèse de 5% de NO₂ parmi les NO_x à l'émission. A noter que ce ratio peut considérablement varier si un système déNox est utilisé.

Pour la famille des poussières, selon l'inventaire d'émission de l'OMINEA¹¹, 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 PM2.5 (poussières dont le diamètre aérodynamique est égal ou inférieur à 2.5µm). Ces pourcentages ont été retenus dans le cadre de cette étude.

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.

¹¹ Rapport Organisation et méthodes des inventaires nationaux des émissions atmosphériques en France, Ed. 2025, Chapitre 4, Crémation.

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 humain.

3.1 Méthode

Pour chacune des substances recensées susceptibles d'être émise par l'installation en projet, 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 cancérogènes et celles sur les effets non cancérogènes. 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 7 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 7. Principales substances inventoriées, voie et durée d'exposition et système cibles associés

Substances	Systèmes cibles									
	Respiratoire	Oculaire	Hématologique et immunitaire	Cardiovasculaire	Nerveux	Digestif	Musculo-squelettique	Urinaire	Cutané	Reproductif et développemental
Benzène	-	-	CR, CO	-	AR, CR, CO	-	-	-	-	-

Chlorure d'hydrogène	AR	-	-	-		AO, CO	-	-	-	-
Dioxyde d'azote	AR, CR	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Dioxyde de soufre	AR, CR	CR	-	-	-	-	-	-	-	-
Monoxyde de carbone	-	-	-	CR	AR, CR	AR	-	-	-	-
Mercure	AR, AO, CR	-	-	AO, CO	AR, CR, CO	AR, AO, CR, CO	CR, CO	AR, AO, CR, CO	-	CR, CO
Dioxines-furanes	AR	-	-	-	CO	-	-	-	AR, CO	-
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 5 présente le logigramme permettant de choisir les VTR selon les recommandations de la note ministérielle.

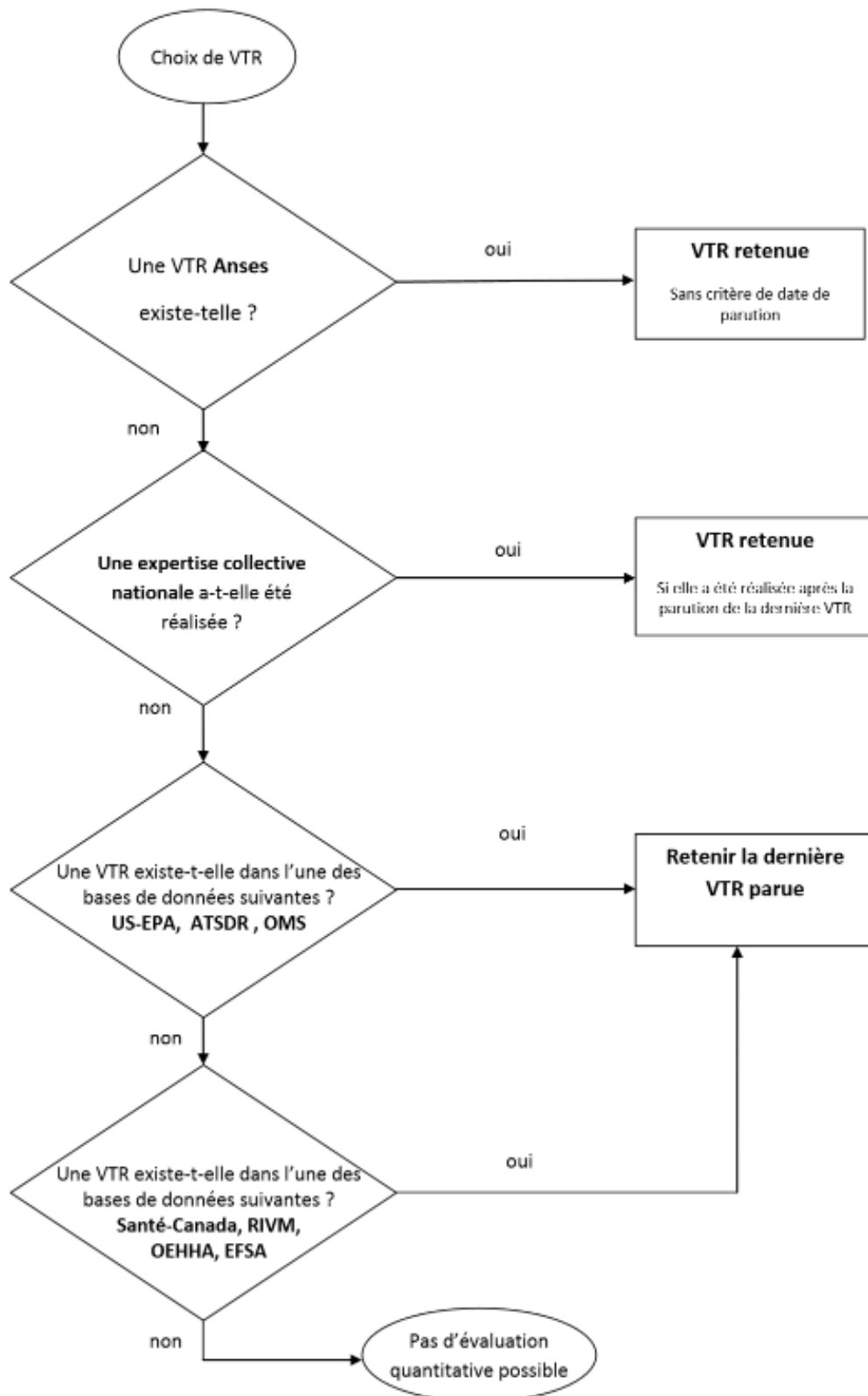


Figure 5. Logigramme pour le choix des VTR (note n°DGS/EA1/DGPR/2014/307 du 31 octobre 2014)

Le Tableau 8 indique, pour l'ensemble des substances susceptibles d'être émises par le crématorium, si des VTR 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 8. 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
Benzène	71-43-2	X	X	X
Chlorure d'hydrogène	7647-01-0	X	X	-
Dioxyde d'azote	10102-44-0	X	X	-
Dioxyde de soufre	7446-09-5	X	-	-
Monoxyde de carbone	630.08-0	X	-	-
Mercure élémentaire	7439-97-6	-	X	
Mercure inorganique	7439-97-6	-	X	X
Mercure organique	7439-97-6	-	-	X
Dioxines-furanes	1746-01-6	-	X	X
PM ₁₀	-	X	X	-
PM _{2.5}	-	X	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 ambiante.

4.2.2 CAS PARTICULIER DU MERCURE

Le mercure existe sous trois formes principales : le mercure élémentaire (Hg°), 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.

4.3 Choix des valeurs toxicologiques de référence

Les VTR utilisées en évaluation de risques sanitaires doivent avoir des fondements uniquement sanitaires. Cependant, certaines valeurs émises par l'OMS (appelées « valeurs guides¹² ») sont établies en tenant compte de considérations supplémentaires (environnementales, techniques, économiques...). Lorsque de telles valeurs guides sont utilisées (à défaut de VTR), elles sont traitées à part des VTR dans le reste de l'étude et il ne sera pas réalisé de caractérisation des risques comme avec une VTR mais seulement une comparaison des valeurs-guides (VG) avec les doses d'exposition.

Les Tableau 9 à Tableau 12 synthétisent les VTR retenues selon les recommandations de la note N°DGS/EA1/DGPR/2014/307 du 31 octobre 2014. Le détail de ces VTR est présenté en Annexe 3.

Tableau 9. VTR aiguës pour la voie respiratoire (unité : $\mu\text{g}/\text{m}^3$)

Substances	N°CAS	VTR aiguë ($\mu\text{g}.\text{m}^{-3}$)	Durée	Système cible	Référence
Benzène	71-43-2	29	1-14j	Hématologique et immunitaire	ATSDR 2007, Choix Anses 2024
Chlorure d'hydrogène	7647-01-0	2100	1h	Respiratoire	OEHA, 2008
Dioxyde d'azote	10102-44-0	200*	1h	Respiratoire	OMS, 2021
Dioxyde d'azote	10102-44-0	25*	24h (P99)	Respiratoire	OMS, 2021
Dioxyde de soufre	7446-09-5	30	1-14j	Respiratoire	Expertise Ineris, 2011 (ATSDR, 1998)
Monoxyde de carbone	630-08-0	30000	1h	Cardiovasculaire	Expertise Ineris, 2018 (Afsset, 2007)
PM ₁₀	-	45*	24h	Respiratoire	OMS, 2021
PM _{2.5}	-	15*	24h	Respiratoire	OMS, 2021
PM ₁₀	-	Pour $[\text{PM}_{10}] \leq 20 \mu\text{g}.\text{m}^{-3}$: ERU = $7,34.10^{-8} (\mu\text{g}.\text{m}^{-3})^{-1}$ Pour $[\text{PM}_{10}] > 20 \mu\text{g}.\text{m}^{-3}$: ERU = $7,71.10^{-9} (\mu\text{g}.\text{m}^{-3})^{-1} + 1,33.10^{-6}$	24h	Cardiovasculaire	ANSES, 2025
PM _{2.5}	-	Pour $[\text{PM}_{2.5}] \leq 10 \mu\text{g}.\text{m}^{-3}$: ERU = $1,65.10^{-7} (\mu\text{g}.\text{m}^{-3})^{-1}$ Pour $[\text{PM}_{2.5}] > 10 \mu\text{g}.\text{m}^{-3}$: ERU = $7,69.10^{-9} (\mu\text{g}.\text{m}^{-3})^{-1} + 1,56.10^{-6}$	24h	Cardiovasculaire	ANSES, 2025

*valeurs-guide

Tableau 10. VTR chroniques pour les effets à seuil de dose par voie respiratoire (unité : $\mu\text{g}/\text{m}^3$)

Substances	N°CAS	VTR	Système cible	Référence
Benzène	71-43-2	10	Hématologique et immunitaire	Anses, 2008
Chlorure d'hydrogène	7647-01-0	20	Respiratoire	EPA, 1995
Dioxyde d'azote	10102-44-0	10*	Respiratoire	OMS, 2021
PM ₁₀	-	15*	Respiratoire	OMS, 2021
PM _{2.5}	-	5*	Respiratoire	OMS, 2021
Dioxines-furanes	-	4.10^{-5}	Hématologique et immunitaire, Urinaire, Digestif, Respiratoire,	Expertise INERIS, 2015 (OEHA, 2000)

¹² 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.

			Cardiovasculaire, Métabolique, endocrinien et nutritionnel	
Mercure inorganique	7439-97-6	1	Urinaire	OMS, 2000
Mercure élémentaire	7439-97-6	0.03	Nerveux	Expertise INERIS, 2010 (OEHHA, 2008)

*valeurs-guide

Tableau 11. VTR chroniques pour les effets sans seuil de dose par voie respiratoire (unité : $\mu\text{g}/\text{m}^3$)

Substances	N°CAS	VTR	Système cible	Référence
Benzène	71-43-2	$1.6 \cdot 10^{-6}$	Hématologique et immunitaire	Anses, 2024
PM _{2.5}	-	$1.28 \cdot 10^{-2}$	Mortalité	Anses, 2023

Cas particulier des poussières fines (PM₁₀ et PM_{2.5})

Depuis janvier 2023, l'ANSES propose une nouvelle VTR long-terme relative aux poussières fines (PM_{2.5}), et plus récemment (2025), l'ANSES propose également des VTR pour une exposition à court-terme relative aux poussières fines (PM₁₀ et PM_{2.5}). Ces VTR associées à des effets sans seuil de dose sont basées sur les risques relatifs liés à l'exposition aux poussières fines ambiantes, aussi utilisées dans les évaluations quantitatives de l'impact sanitaire de la pollution atmosphérique. Dans son rapport d'expertise, l'ANSES indique que ces VTR doivent être utilisées en complément des autres VTR caractérisant les substances présentes dans ces poussières atmosphériques. L'ANSES précise aussi qu'il n'existe pas de consensus ou recommandation sur des niveaux acceptables de risque sanitaire lié à l'exposition aux particules de l'air ambiant, contrairement à certaines substances chimiques pour lesquelles un niveau de risque de cancer de 10^{-5} ou 10^{-6} est considéré. Les PM_{2.5} feront donc 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 pas encore actuellement possible de caractériser par manque de consensus entre les différentes institutions/administrations.

Tableau 12. VTR chroniques pour les effets à seuil de dose par voie digestive (unité : $\mu\text{g}/\text{kg}/\text{j}$)

Substances	N°CAS	VTR	Système cible	Référence
Dioxines-furanes	-	$2.9 \cdot 10^{-7}$	Reproductif et développementale	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 INERIS, 2016 (EFSA, 2012)

*valeurs-guide

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 projet 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 Voies et vecteurs d'exposition

La population de la zone d'étude est exposée aux substances présentes dans son environnement essentiellement par voies respiratoire, orale et cutanée. Ce chapitre décrit les vecteurs d'exposition pris en compte pour chacune des voies d'exposition en fonction du contexte local.

5.1.1 EXPOSITION PAR INHALATION

Les rejets de substances pris en compte pour l'ERS sont exclusivement les émissions atmosphériques canalisées et en régime « stationnaire »¹³, aussi, la voie d'exposition à considérer en premier lieu est l'inhalation des substances émises à l'atmosphère. La pollution de fond présente dans la zone d'étude n'a pas été prise en compte conformément aux recommandations du guide méthodologique de l'Ineris qui suggère que pour ce type d'étude, seuls les impacts induits par les installations étudiées doivent être considérés.

Etant données les conditions de fonctionnement prévues des installations, il paraît pertinent de considérer à la fois les expositions respiratoires de type aigu et de type chronique (à noter que 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 notre étude).

5.1.2 EXPOSITION PAR INGESTION

La zone entourant le projet 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.

¹³ ne tient pas compte des phases de démarrage

- **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 suivant :

- 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 porcs, de volailles, de boeufs, d'oeufs 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 volaille, de bœufs et de porcs,
- Les œufs,
- Le lait.

5.1.2.1 Médias d'exposition orale exclus

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. On recense 1 site ou sol pollué sur le domaine d'étude à 1.6 km à l'est des limites du projet. En revanche on ne recense aucun point de captage ou de zones de baignade. Nous avons donc estimé que, dans cette ERS, l'eau n'est pas un média à considérer.

5.1.3 EXPOSITION PAR VOIE CUTANEE

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 sont 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.

5.2 Schéma conceptuel d'exposition

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

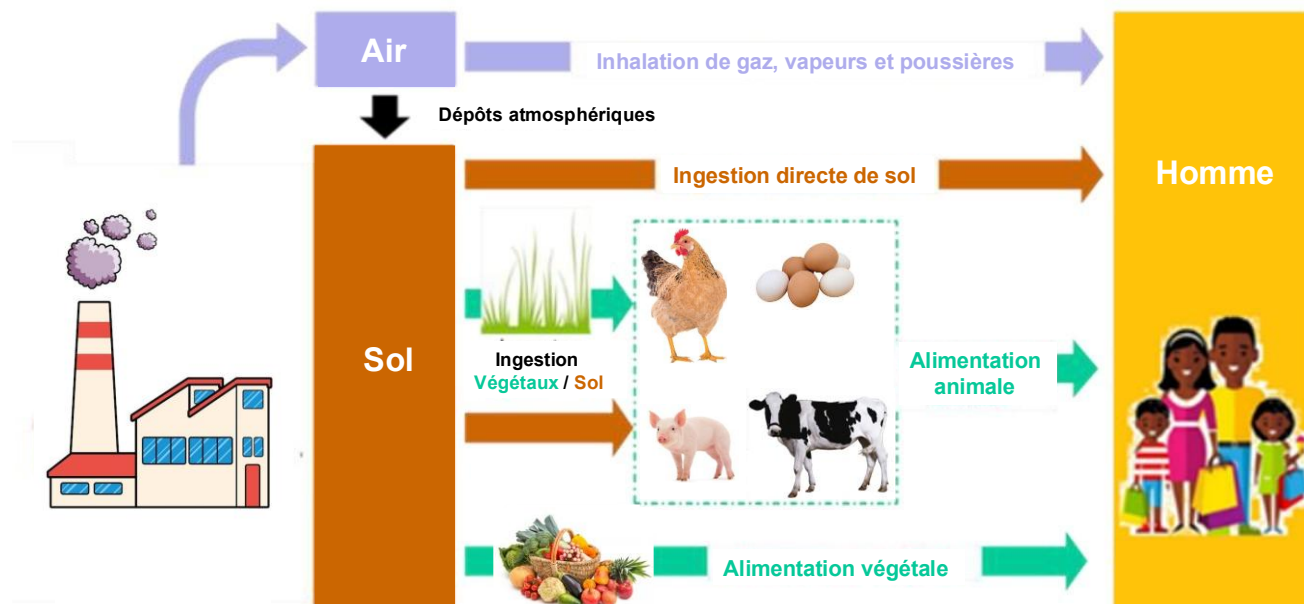


Figure 6. Schéma conceptuel d'exposition considéré dans le cadre de cette étude

5.3 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)

5.3.1 PARAMETRES D'EXPOSITION RETENUS

Les paramètres d'exposition retenus dans le cadre du scénario étudié sont présentés dans les paragraphes ci-dessous.

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 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 le site.

$$T_i = 1$$

Fréquence d'exposition (F)

Les effets toxiques aigus correspondent à des expositions de courte durée (durée d'exposition comprise entre 1 heure et 14 jours). Aussi, pour ce type d'exposition, nous considérerons que la fréquence d'exposition F est égale à 1.

$$F = 1 \text{ pour les expositions aiguës et chroniques}$$

Durée d'exposition (DE)

Pour les substances à effet sans seuil, la durée d'exposition (DE) est à intégrer au calcul de CMI. Une étude sur le temps de résidence des Français (basée sur la durée des abonnements privés à Electricité de France) (Nedellec *et al.*, 1998)¹⁴ 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 (95^{ème} percentile des durées de résidence aux Etats-Unis) (EPA, 1997)¹⁵. Dans notre étude, seul le scénario d'exposition résidentiel étant considéré, nous attribuons la valeur 30 ans au paramètre d'exposition DE.

$$DE = 30 \text{ ans}$$

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

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 C_i 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

¹⁴ 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.

¹⁵ Environmental Protection Agency (EPA), 1997, Exposure Factors Handbook, volume 1 : General Factors.

de filtration des bâtiments (cas des poussières) (Mosqueron et Nedellec, 2001)¹⁶. 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 13 synthétise les paramètres relatifs au scénario d'exposition retenu.

Tableau 13. Paramètres retenus pour le scénario d'exposition considéré

Nom du scénario	Point retenu pour la caractérisation du risque	Voies d'exposition	Durée d'exposition	Durée d'exposition
Majorant	Point le plus impacté en dehors des limites de site	Respiratoire et orale	Aigu et chronique	24 heures/24 365 jours/an 30 ans

5.3.2 CALCUL DES NIVEAUX D'EXPOSITION

L'étude de dispersion permet de visualiser et de quantifier la redistribution dans l'environnement des substances émises par le projet de crématorium de St-Lô (50). Dans l'étude de dispersion dont les hypothèses figurent en Annexe 2, les concentrations dans l'air (C_i) de ces polluants ont été estimées à l'aide du modèle gaussien ADMS version 6. Ce modèle de dispersion a été spécialement développé pour évaluer l'impact des rejets atmosphériques d'une grande variété de sources industrielles. Les concentrations à l'émission modélisées sont présentées dans le chapitre 2.5.

Pour déterminer les concentrations moyennes inhalées (CMI) de chaque substance retenue dans l'ERS pour lesquelles des valeurs guides ou des VTR à seuil de dose sont disponibles, les concentrations moyennes annuelles (C_i) estimées par modélisation, sur l'ensemble du domaine d'étude, sont intégrées dans l'Équation 1. Suivant le type d'exposition considéré (aiguë ou chronique), les valeurs de concentrations dans l'air C_i considérées sont :

- pour les expositions de type chronique : **les concentrations moyennes annuelles**,
- pour les expositions de type aigu : **les concentrations maximales** sur une heure ou 24 heures (suivant la durée d'exposition associée à la VTR aiguë ou à la valeur guide retenue).

Les figures suivantes présentent la variabilité spatiale d'exposition associée à :

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

Les différents tableaux du chapitre relatif à la caractérisation des risques présentent les concentrations en substances estimées au niveau du point en dehors des limites du projet le plus impacté. Ces tableaux présentent ces niveaux d'exposition et les comparent aux valeurs sanitaires présentées dans le chapitre précédent.

¹⁶ 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.

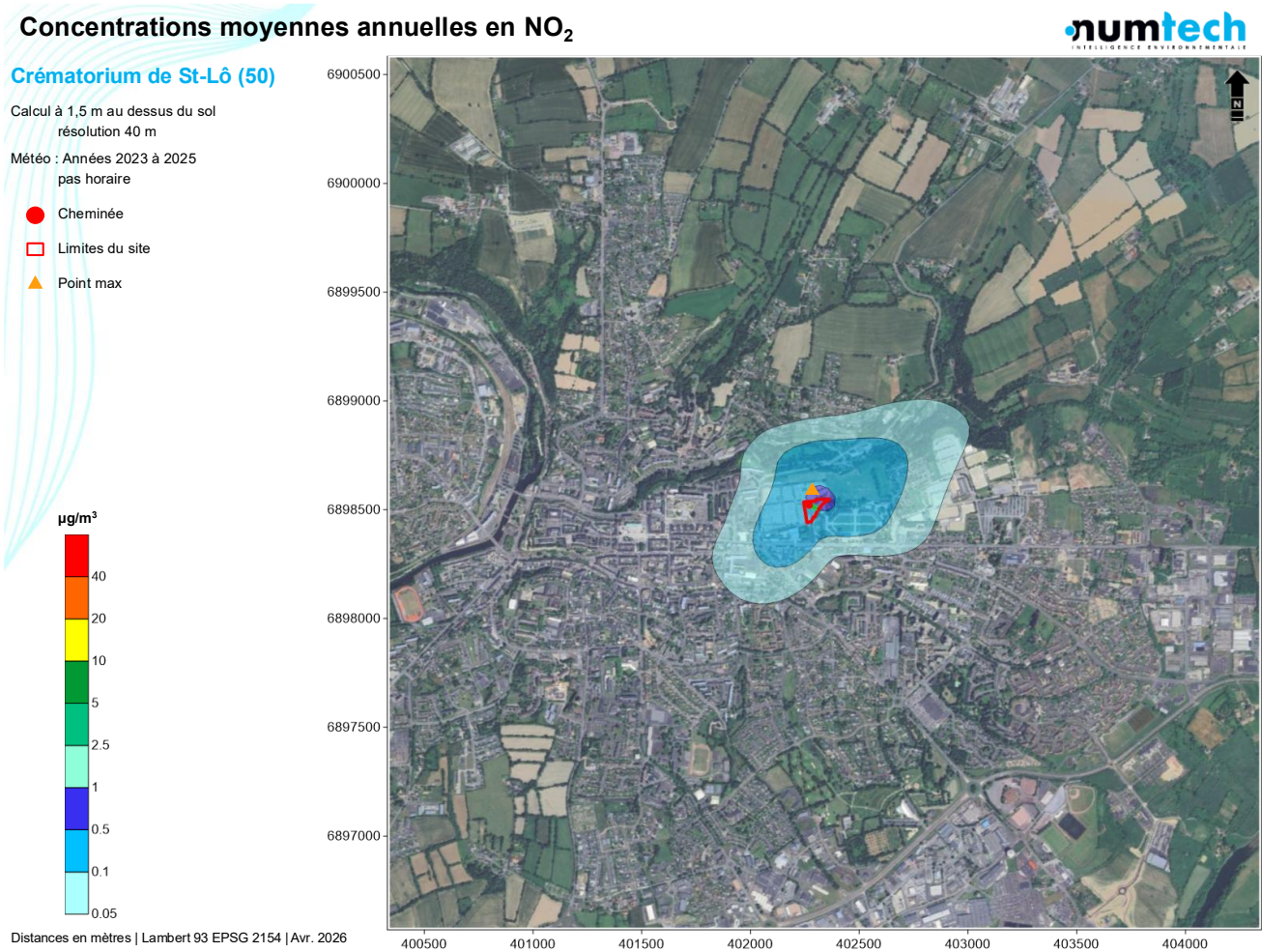
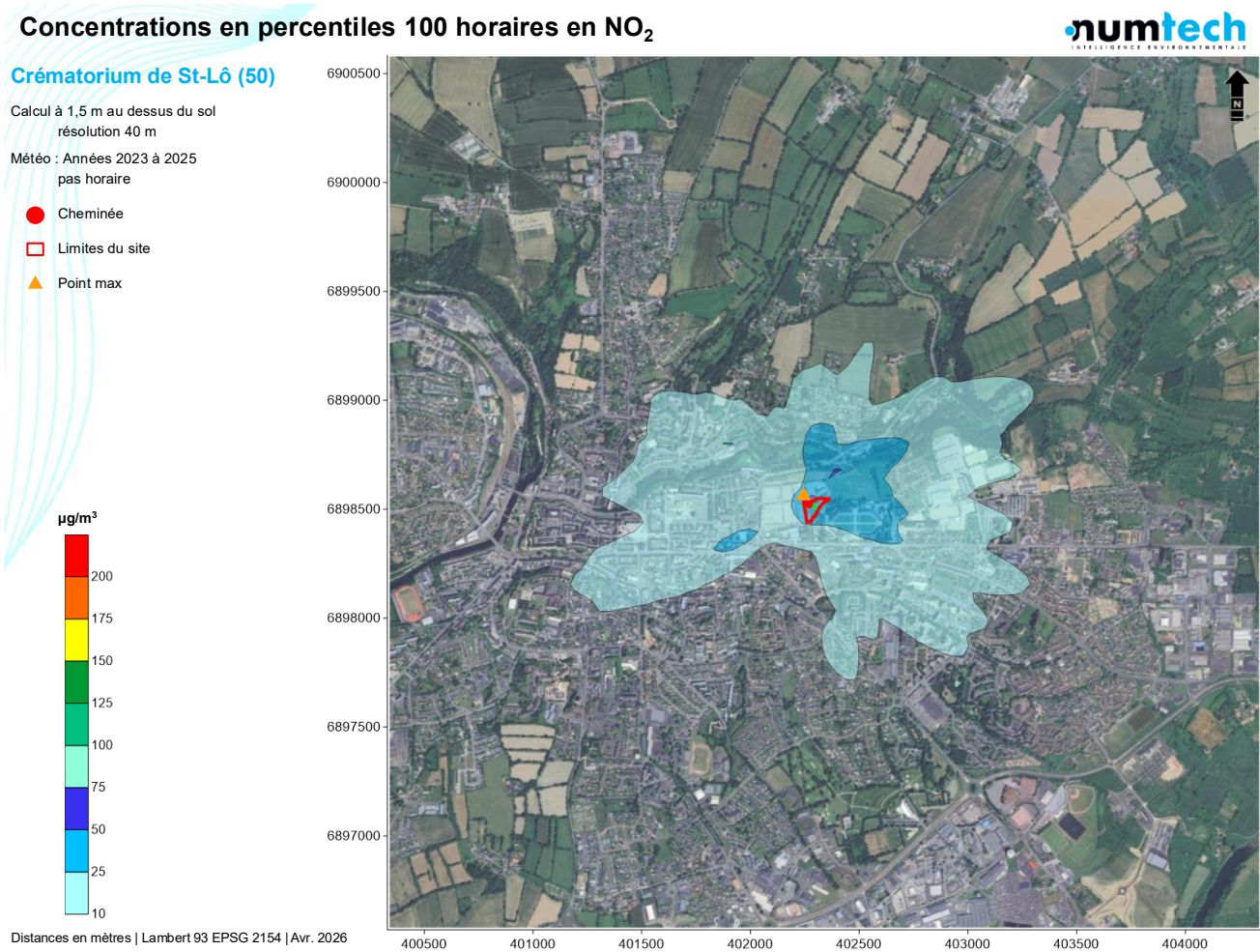


Figure 7. Variabilité spatiale de l'exposition moyenne annuelle (cas du dioxyde d'azote)



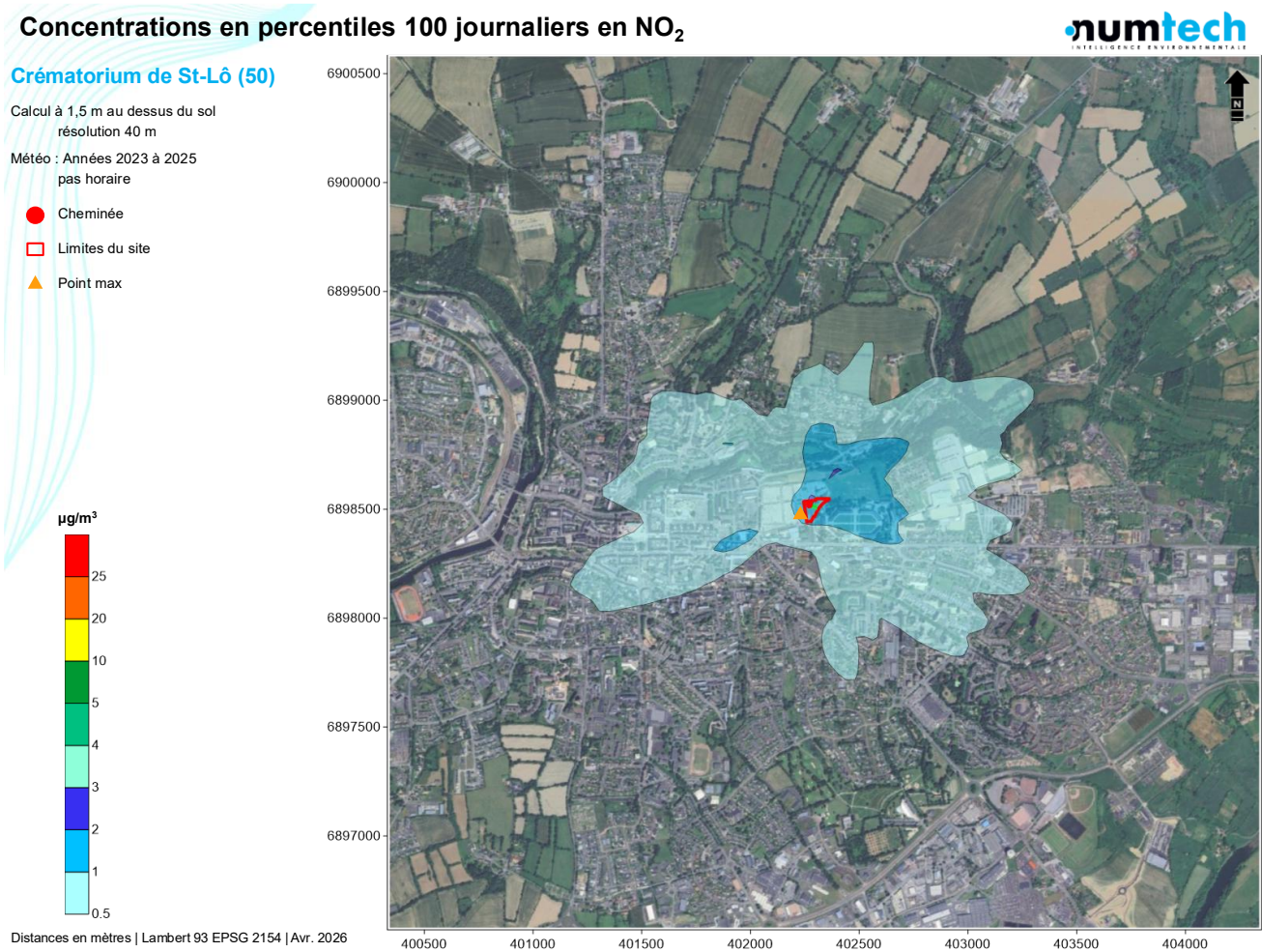


Figure 9. Variabilité spatiale de l'exposition maximale journalière (cas du dioxyde d'azote)

Le point le plus impacté (représenté par un triangle orange) varie en fonction de la durée d'exposition et est situé à proximité des limites du projet.

Le tableau suivant présente les concentrations maximales aiguës et les concentrations moyennes annuelles maximales obtenues sur le domaine d'étude.

Tableau 14. Concentrations atmosphériques maximales (C_i , $\mu\text{g}/\text{m}^3$) obtenues sur le domaine d'étude pour les substances retenues dans l'ERS

Substances	Scénario majorant	
	Concentration aiguë maximale ¹⁷	Concentration moyenne annuelle
Benzène	1.3	0.12
HCl	40.2	0.19
NO ₂	64.8 (1h)/8.9(24h)	0.73
SO ₂	7.7	0.75
CO	67.0	0.31
PM ₁₀	0.049	0.54
PM _{2.5}	0.049	0.50
Hg	-	0.0012
PCDD/F	-	0.0012

5.4 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 ($\text{mg} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{jour}^{-1}$)

C_i : Concentration d'exposition liée au milieu i (alimentation, sol) ($\text{mg} \cdot \text{kg}^{-1}$)

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 ($\text{mg} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{jour}^{-1}$)

¹⁷ le temps d'intégration de la concentration aiguë est cohérent avec la VTR associée à la substance (**Erreur ! Source du renvoi introuvable.**)

DJE_i : Dose journalière d'exposition liée à une exposition au milieu *i* (mg.kg⁻¹.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, viande de porc etc.).

Les données d'entrée principales de l'outil MODUL'ERS sont les dépôts au sol estimés pour les polluants atmosphériques via l'étude de dispersion. 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 Reglages to Sol	Constantes Reglages to Copy of Sol	Constantes Reglages to Cereales	Constantes Reglages to Fourrage	Constantes Reglages to Legumes racines	Constantes Reglages to Legumes feuilles	Constantes Reglages to Legumes fruits	Constantes Reglages to Fruits	Constantes Reglages to Tubercules	Constantes Reglages to Vache	Constantes Reglages to Poule	Constantes Reglages to Porc	
			Par expo to Sol racinaire	Par expo to Sol superficiel	Par expo to Cereales		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 Vache	Par expo to Poule	Par expo to Porc	
			Par Envir to Sol racinaire	Par Envir to Sol superficiel	Par Envir to Cereales	Par Envir to Fourrage	Par Envir to Legumes racines	Par Envir to Legumes feuilles	Par Envir to Legumes fruits	Par Envir to Fruits					
					Sol racinaire to Cereales		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 Vache	Sol superficiel to Poule		Sol superficiel to Niveaux Exposition Risque
													Cereales to Poule	Cereales to Porc	
												Fourrage to Vache			
															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
															Vache to Niveaux Exposition Risque
															Poule to Niveaux Exposition Risque
															Porc to Niveaux Exposition Risque
															Niveaux Exposition Risque

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

5.4.1 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.

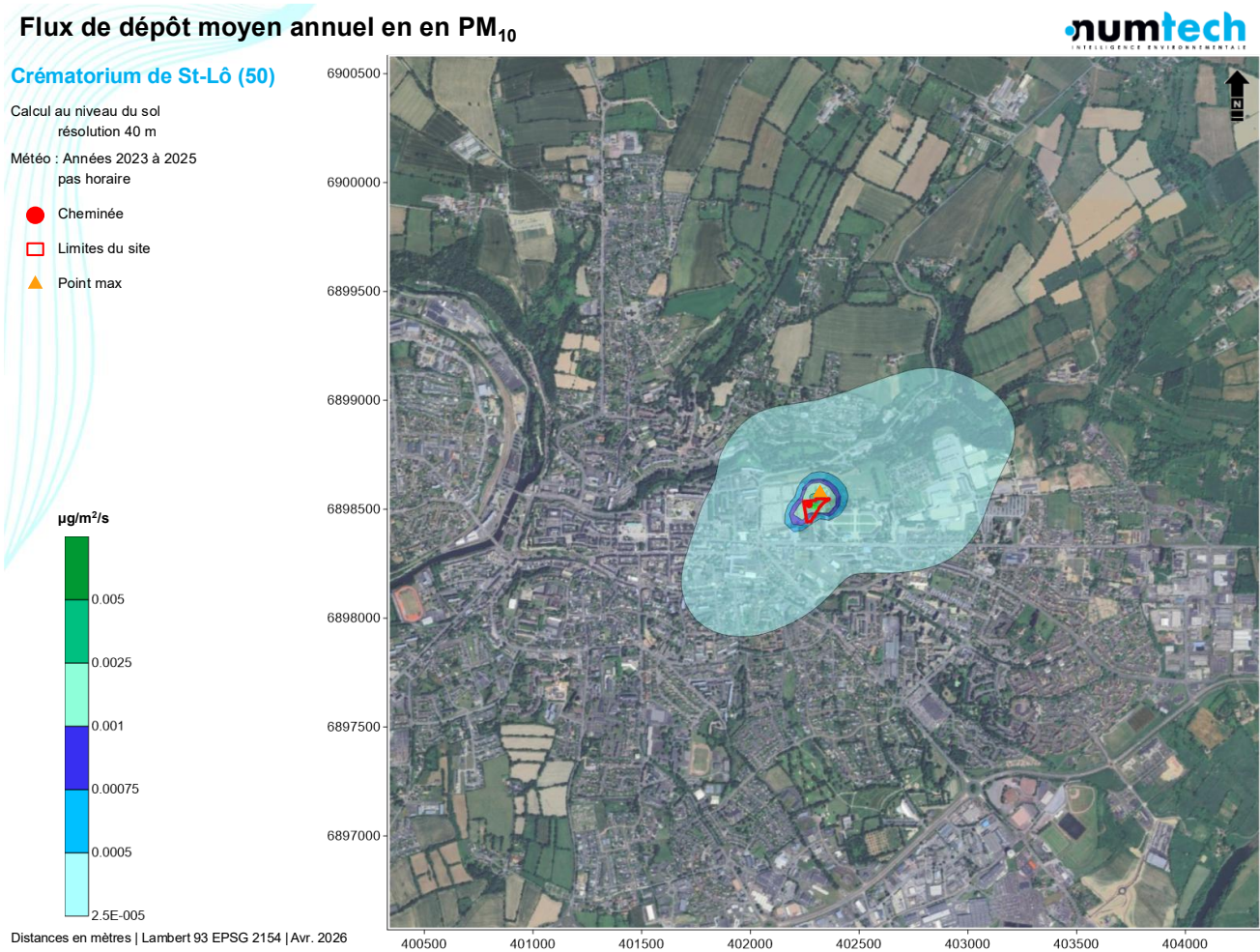


Figure 11. Variabilité spatiale des dépôts atmosphériques en PM_{2.5}

Comme indiqué sur la Figure 11, 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, le point le plus impacté en dehors des limites du projet par les dépôts 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’un point bleu en Figure 11.

Bien que la Figure 11 présente les dépôts atmosphériques associés aux PM_{2.5}, ces résultats peuvent être extrapolés aux dépôts atmosphériques du mercure et des dioxines, en effet, même si les niveaux de dépôts sont différents car les émissions diffèrent, la variabilité spatiale des niveaux de dépôts associés au mercure et dioxines est la même que celle estimée pour les PM_{2.5}.

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

Tableau 15. Dépôts atmosphériques obtenus au niveau du site ingestion

Substances	Dépôt total	unité
PM _{2.5}	3.6E-07	mg/m²/s
Mercure	9.0E-09	mg/m²/s
Dioxines	1.2E-15	mg/m²/s



5.4.2 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).

5.4.2.1 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.

5.4.3 ESTIMATION DES DOSES JOURNALIERES D'EXPOSITION

Dans la suite de l'étude, la DJE retenue pour la caractérisation des risques correspond à celle obtenue après 30 ans de fonctionnement.

Le Tableau 16 présente les doses journalières d'exposition (DJE) cumulées (pour l'ensemble des médias d'exposition considérés) par classe d'âge.

Tableau 16. DJE cumulées maximales obtenues après 30 ans de fonctionnement (mg/kgPC/j)

Classe d'âge (année)	Dioxines	Mercure inorganique	Mercure organique
0 - 1	2.7E-12	9.4E-06	5.0E-06
1 - 3	5.2E-12	1.7E-05	7.5E-06
3 - 6	3.2E-12	1.0E-05	4.8E-06
6 - 11	2.0E-12	6.3E-06	3.0E-06
11 - 15	1.1E-12	3.3E-06	1.5E-06
15 - 18	8.5E-13	2.5E-06	1.2E-06
18 et +	8.1E-13	2.4E-06	1.3E-06

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 :

$$QD = \frac{CMI}{VTR}$$

voie respiratoire

$$QD = \frac{DJE}{VTR}$$

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 (ERU_i) par la concentration moyenne inhalée 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 (-)

ERU_i : 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)¹⁸.

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'environnement¹⁹, 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^{20, 21}. 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.

¹⁸ Organisation mondiale de la santé (OMS), 2004, Guidelines for Drinking-water Quality, third edition, Volume 1, 540 p.

¹⁹ 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.

²⁰ Haut Conseil de la Santé Publique. 2011, Evaluation des risques sanitaires dans les analyses de zone.

²¹ Ineris, 2011. Guide pour la conduite d'une étude de zone. DRC-11-115717-01555B

- **Domaine de conformité : $ERI < 10^{-5}$ et $QD < 1$**

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

Dans le paragraphe qui suit, sont présentés les résultats pour toutes les substances retenues pour une exposition aiguë puis pour une exposition chronique sauf pour les poussières fines qui sont présentées à part.

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 17).

Tableau 17. Quotients de danger et comparaison aux VTR ou valeurs guide pour une exposition aiguë

Substances	Exposition estimée ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	VTR aiguë ($\mu\text{g}.\text{m}^{-3}$)	QD (-)
Benzène	1.3	29	4.4E-02
HCl	40.2	2 100	1.9E-02
NO ₂	64.8 (1h)/8.9(24h)	200 (1h) / 25 (24h)	<VG*
SO ₂	7.7	30	2.6E-01
CO	67.0	30 000	2.2E-03

*Valeur-guide

D'après les résultats obtenus, les émissions du projet de crématorium de St-Lô ne sont pas susceptibles d'induire des risques préoccupants pour les populations riveraines ($QD < 1$), et ce, quelle que soit la substance étudiée. L'exposition aiguë aux substances émises (lors de conditions météorologiques brèves défavorables à la dispersion des panaches de fumées) ne sont pas susceptibles d'induire des effets néfastes sur la santé des riverains de ces installations.

Pour le NO₂, substance pour laquelle des valeurs guides sont disponibles, aucun dépassement n'est observé au niveau du point hors site le plus impacté.

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 18).

Tableau 18. Quotients de danger obtenus pour une exposition chronique dans le domaine d'étude

Substances	VTR ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	Exposition estimée ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	QD chronique (-)
Benzène	9.7	0.12	1.3E-02
HCl	20	0.19	9.4E-03
NO ₂	10*	0.73	<VG*
Hg	0.03	0.0012	4.2E-02
PCDD/F	4.10 ⁻⁵	6.2.10 ⁻¹⁰	1.6E-05

*Valeur-guide

Les calculs de QD chroniques présentés dans le précédent tableau permettent d'indiquer que les niveaux en substances induits par le seul projet de crématorium de St-Lô ne sont pas susceptibles d'induire des risques préoccupants pour la population riveraine (QD<1) quelle que soit la substance étudiée.

Pour le NO₂, substance pour laquelle des valeurs guides sont disponibles, aucun dépassement de valeur-guide annuelle n'est observé.

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, 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 ». Dans le cas particulier des poussières fines, l'ERI estimé considère la VTR de l'ANSES de janvier 2023. Ce niveau de risque doit être considéré à part des autres substances comme détaillé au paragraphe 4.3, l'ANSES indiquant qu'il n'existe pas de consensus sur le sujet au moment de la rédaction de leur expertise. Ce niveau d'ERI est par ailleurs inférieur à celui qui serait calculé à partir des valeurs guides de l'OMS.

Tableau 19. Détermination des ERI

Substances	VTR	Exposition estimée ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	ERI
Benzène	1.60E-06	5.4E-02	8.6E-08

6.2.3 CAS PARTICULIER DES POUSSIÈRES FINES (PM₁₀ ET PM_{2.5})

6.2.3.1 Exposition aiguë

Pour les expositions à court-terme, une comparaison aux valeurs guides de l'OMS ainsi qu'un calcul de risques sans seuil (ERI) peut être réalisé pour les poussières. Les expositions estimées sont celles simulées suite à l'étude de dispersion au point le plus impacté en dehors des limites du projet. Ces

expositions sont donc majorantes et ne sont pas représentatives de l'exposition des populations qui sont quant à elles exposées à des concentrations nettement plus faibles.

Tableau 20. Comparaison aux valeurs guides pour une exposition aiguë

Substances	Exposition estimée ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	VG aiguë ($\mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$)	Conclusion
PM ₁₀	0.54	45	<VG
PM _{2.5}	0.50	15	<VG

*valeurs-guide

Les ERI sont calculés en considérant des concentrations moyennes journalières conformément à la définition de la VTR.

Tableau 21. ERI pour une exposition aiguë

Substances	Exposition estimée ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	VTR aiguë ($\mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$) ⁻¹	ERI
PM ₁₀	0.54	7.34E-08	3.94E-08
PM _{2.5}	0.50	1.65E-07	8.32E-08

A noter toutefois que 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.

Les PM_{2.5} 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. 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.

D'après ces résultats, l'exposition aiguë aux poussières émises par le projet de crématorium humain de St-Lô sont inférieures aux valeurs guide et entraînent un ERI inférieur au seuil classiquement retenu de 1.10^{-5} .

6.2.3.2 Exposition chronique

Effets à seuil de dose

Pour les expositions chroniques, une comparaison aux valeurs guides de l'OMS ainsi qu'un calcul de risques sans seuil (ERI) peut être réalisé pour les poussières.

Le tableau suivant présente les résultats obtenus pour ce type d'effet et cette voie d'exposition en considérant le point le plus impacté en dehors des limites du projet :

Tableau 22. Comparaison aux valeurs guides pour une exposition chronique

Substances	VTR ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	Exposition estimée ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	Conclusion
PM ₁₀	15*	0.049	<VG
PM _{2.5}	5*	0.049	<VG

*Valeur guide

Aucun dépassement de valeur-guide annuelle n'est observé suite aux émissions en poussières du projet de crématorium humain de St-Lô.

Effets sans seuil de dose

Dans le cas d'exposition chronique respiratoire, un calcul d'ERI est effectué au niveau du point le plus impacté en dehors des limites du projet. Le tableau suivant présente les résultats obtenus pour ce type d'effet et cette voie d'exposition :

Tableau 23. Détermination des ERI par inhalation

Substances	VTR ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) ⁻¹	Exposition estimée ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	ERI
PM ₁₀	1.28E-02	1.34E-02	1.71E-04
PM _{2.5}	1.28E-02	2.08E-02	2.67E-04

En 2025, l'ANSES a actualisé les valeurs toxicologiques de référence (VTR) pour les particules en suspension PM_{2.5} et PM₁₀, afin de mieux caractériser les effets sanitaires associés à l'exposition par inhalation. Ces VTR, exprimées sous forme de coefficients sans seuil, reflètent le fait qu'aucun niveau d'exposition n'est considéré comme totalement dépourvu de risque.

Pour les PM_{2.5}, la VTR à long terme est fixée à $1,28 \times 10^{-2} (\mu\text{g} \cdot \text{m}^{-3})^{-1}$.

Pour les PM₁₀, l'ANSES recommande de convertir la concentration d'exposition aux PM₁₀ en concentration de PM_{2.5} puis d'appliquer la VTR long terme élaborée pour les PM_{2.5}. La conversion se fait en considérant le ratio entre les concentrations en PM_{2.5} et les concentrations en PM₁₀ propre à la zone. Ce ratio a été estimé à 0.65 à partir des résultats de mesure en moyenne annuelle au niveau de la station de mesure de Caen Chemin Vert (la plus proche mesurant des concentrations de fond en poussières fines).

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 PM_{2.5} 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 PM_{2.5} équivalente à la valeur cible recommandée par l'OMS en moyenne annuelle de $5 \mu\text{g}/\text{m}^3$ est de 5,7E-02.

Les PM_{2.5} 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.

Pour les effets long terme des PM_{2.5}, il est surtout intéressant d'évaluer le risque par rapport à une situation de fond constatée localement. Pour affiner l'interprétation des PM_{2.5}, l'ANSES propose notamment d'utiliser l'ELR (excès de risque vie entière, qui correspond à un ERI) selon la fonction paramétrique suivante pour évaluer les effets à long terme :

$$\text{ELR} = 2,19 \cdot 10^{-5} \times [\text{PM}_{2,5}]^3 - 1,51 \cdot 10^{-3} \times [\text{PM}_{2,5}]^2 + 3,61 \cdot 10^{-2} \times [\text{PM}_{2,5}] - 8,83 \cdot 10^{-2}$$

En considérant une concentration moyenne annuelle d'exposition aux $PM_{2,5}$, mesurée au niveau de la station de Caen Chemin Vert, représentative d'un niveau de fond urbain, de $9 \mu g/m^3$ et la VTR (fonction paramétrique), l'ERI calculé serait de $7.34.10^{-2}$ par rapport à une concentration de fond en $PM_{2,5}$ de $5 \mu g.m^{-3}$. Autrement dit, cela correspond à 8 cas supplémentaires pour 100 habitants exposés par rapport à la population exposée à une concentration de $5 \mu g/m^3$. L'exposition aux seules émissions du projet de crématorium conduirait quant à lui à 3 cas supplémentaires pour 10000 habitants exposés par rapport à une population non exposées aux émissions du site.

6.3 Exposition pour la voie digestive

Dans le paragraphe 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 24. 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	5.0E-06	9.4E-06	2.7E-12	2.5E-02	1.6E-02	9.4E-03
1 - 3	7.5E-06	1.7E-05	5.2E-12	3.7E-02	2.8E-02	1.8E-02
3 - 6	4.8E-06	1.0E-05	3.2E-12	2.4E-02	1.7E-02	1.1E-02
6 - 11	3.0E-06	6.3E-06	2.0E-12	1.5E-02	1.1E-02	7.0E-03
11 - 15	1.5E-06	3.3E-06	1.1E-12	7.6E-03	5.5E-03	4.0E-03
15 - 18	1.2E-06	2.5E-06	8.5E-13	5.9E-03	4.1E-03	3.0E-03
18 et +	1.3E-06	2.4E-06	8.1E-13	6.5E-03	4.0E-03	2.9E-03
VTR (mg/kg/j)	0.2	0.6	2.9E-10	-	-	-

D'après les résultats obtenus (Tableau 24), 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

Les risques cumulés correspondent aux effets sanitaires susceptibles d'être induits par l'exposition des populations à plusieurs substances simultanément. Actuellement, la démarche des ERS ne permet pas de prendre en compte la synergie ou l'antagonisme des effets. Par conséquent, comme indiqué dans les différents guides (InVS, Ineris) publiés en France, les risques cumulés sont appréhendés pour chaque système-cible *via* une simple addition des risques déterminés pour différentes substances pour chaque système-cible.

Les paragraphes suivants précisent les méthodes d'estimation des risques cumulés pour les effets à seuil ou sans seuil de dose. Comme indiqué dans le guide de l'Ineris, rappelons toutefois que les critères d'acceptabilité fixés par la circulaire du 9 août 2013 s'appliquent aux résultats substance par substance, sans additionner les QD et les ERI. Pour la gestion des risques, la somme des QD et des ERI ne doit pas occulter la hiérarchisation des substances et des voies d'exposition. L'addition des indicateurs vient donc en complément de l'analyse des indicateurs individuels et de leur hiérarchisation.

6.4.1 RISQUES CUMULÉS POUR LES EFFETS À SEUIL DE DOSE

- **Risques aigus**

Dans une approche simplificatrice et majorante, la somme des quotients de danger aigus est effectuée sans tenir compte de l'effet critique associé à chaque VTR utilisée. La somme de QD présentés en Tableau 17 est estimée à 0.3 soit en deçà du seuil sanitaire ($QD < 1$).

- **Risques chroniques**

Dans une approche simplificatrice et majorante, la somme des quotients de danger chronique est effectuée sans tenir compte de l'effet critique associé à chaque VTR utilisée. La somme de QD présentés en Tableau 17 est estimée à 0.15 soit en deçà du seuil sanitaire ($QD < 1$). Par conséquent, en tenant compte des différentes hypothèses simplificatrices utilisées pour ces calculs (additivité simple des risques, sans prise en compte du mécanisme d'action), les seules émissions étudiées ne sont pas susceptibles d'induire des effets sur la santé des populations riveraines de cette installation.

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 généralement 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 ; les incertitudes dont l'effet est inconnu 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 à l'émission. 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 TAUX D'EXPOSITION JOURNALIER

Il a été fait l'hypothèse que le taux d'exposition journalier était égal à 1. Cette hypothèse majore le temps d'exposition journalier réel aux émissions de l'installation, les riverains pouvant être amenés à sortir du domaine d'étude pour des raisons professionnelles ou personnelles (congrés, week-end...). Un travail a montré que les résultats de l'ERS pouvaient être minorés de 30 % par rapport à une hypothèse « 100% du temps passé au domicile » (Boudet, 1999)²². Toutefois, cette proportion ne peut pas être appliquée dans le cadre de cette étude, les contextes étant différents.

7.2.2 FRÉQUENCE D'EXPOSITION ANNUELLE POUR DES EXPOSITIONS CHRONIQUES

Il a été fait l'hypothèse que la fréquence d'exposition était égale à 1. Cette hypothèse majore le temps d'exposition annuel. En réalité, les riverains sont souvent amenés à sortir du domaine d'étude pour des raisons professionnelles ou personnelles (congrés, week-end...). Cette hypothèse peut donc amener à une majoration de l'exposition aux émissions de l'installation.

7.2.3 SPECIATION DES COV

Pour la famille des composés organiques volatils, en l'absence d'information précise sur la composition de cette famille de substances, une hypothèse simplificatrice majorante a été retenue. Ainsi, cette famille a été assimilée à du benzène (composé le plus toxique).

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

7.2.4 ESTIMATION DES CONCENTRATIONS INTERIEURES ET EXTERIEURES (CI)

Nous faisons l'hypothèse que les concentrations induites par l'installation 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 effectivement similaires aux concentrations extérieures (cas du dioxyde d'azote).

A noter toutefois que ces informations s'appliquent aux seules substances émises par le projet. En effet, indépendamment des émissions de du projet de crématorium de St-Lô, les populations sont susceptibles d'être plus exposées à l'intérieur de leur logement à des substances induites par leurs habitudes de vie ou par les matériaux qui la composent (COV notamment).

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 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)²⁴, 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.

7.3.2 DUREE D'EXPOSITION

Dans le cadre des calculs de risques à effets sans seuil de dose, nous faisons l'hypothèse que les riverains sont exposés pendant 30 ans au cours de leur vie. Il peut exister des variations locales importantes pour l'estimation de cette durée d'exposition, qui peuvent amener à une sous-estimation ou surestimation du risque selon la durée d'exposition dans un même lieu et selon les niveaux d'exposition, plus ou moins élevés, dans les autres lieux fréquentés. Toutefois, d'après la littérature, cette durée d'exposition correspondrait au 95^{ème} percentile de la distribution de probabilité associée à

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.

²⁴ 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.

ce paramètre. Autrement dit, cette hypothèse est susceptible de majorer la réalité pour 95% des populations en France.

7.3.3 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 selon les recommandations de la note de la DGS du 31 octobre 2014 a été effectuée. Cette démarche de sélection d'une VTR ne repose pas sur les critères de choix strictement scientifiques, mais sur la notoriété de l'organisme producteur de VTR. Le niveau d'incertitude est quantifiable, toutefois, une analyse critique ne paraît pas pertinente dans la mesure où même si elle était réalisée, le choix attendu par l'administration est celui qui fait référence actuellement, à savoir la note de 2014.

7.3.4 VARIABLES HUMAINES D'EXPOSITION

Pour l'ensemble des paramètres d'exposition à renseigner pour l'estimation des concentrations moyennes inhalées, 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. 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.

7.3.5 MODELISATION DE LA DISPERSION ATMOSPHERIQUE

Les concentrations atmosphériques en substances investiguées dans cette étude proviennent de l'étude de dispersion basée sur la modélisation des phénomènes d'émission et de dilution dans l'atmosphère des polluants rejetés par le projet. Or par définition, la modélisation simplifie les phénomènes et génère des incertitudes. Ces incertitudes sont liées d'une part au modèle et à sa conception, et d'autre part aux données d'entrée (conditions météorologiques, scénarios d'émission, etc.).

Ces sources d'incertitude sont plus importantes pour les niveaux d'exposition estimés sur de courtes périodes (risques aigus). En effet, à l'inverse des calculs de risques chroniques qui reposent sur des résultats de modélisation moyennés sur une longue période (une année), les calculs de risques aigus se basent sur des résultats ponctuels intégrés sur une heure ou une journée tout au plus. Une période d'intégration très courte rend les résultats beaucoup plus incertains car moins robustes statistiquement (valeur ponctuelle donnée pour une condition météorologique et une heure ou une journée précise) et dépendant fortement du modèle retenu.

7.3.6 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.

7.3.7 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 NOAEL à partir d'un LOAEL, 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.

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 du crématorium humain en projet de St-Lô dans la Manche (50). 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 du projet. 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 projet de crématorium humain, et retenues dans l'ERS, aucun dépassement des seuils sanitaires n'a été estimé ($QD < 1$, $ERI < 10^{-5}$), et ce, pour l'ensemble des substances considérées.

Pour les oxydes d'azote, substance pour laquelle aucune VTR n'est disponible, aucun dépassement de valeur guide n'a été déterminé sur le domaine d'étude

Pour les poussières fines (PM_{10} et $PM_{2.5}$), aucun dépassement de valeur guide n'a été déterminé sur le domaine d'étude et les ERI calculés sont inférieurs au seuil de 1.10^{-5} .

A noter toutefois que 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.

Les $PM_{2.5}$ et les PM_{10} 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.

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 oxydes d'azote et les poussières fines (PM_{10} et $PM_{2.5}$), aucune VTR n'est disponible mais il existe des valeur-guides annuelles. Aucun dépassement de ces valeur-guides annuelles n'est observé.

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

D'après les résultats obtenus les ERI estimés peuvent être qualifiés de non préoccupants selon la terminologie de l'Ineris, car inférieurs au seuil de 10^{-5} (un cas en excès pour 100 000 personnes exposées).

En ce qui concerne les poussières fines (PM_{10} et $PM_{2.5}$), les ERI obtenus sont supérieurs au seuil classiquement retenu de 1.10^{-5} .

Notez que 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.

Les $PM_{2.5}$ et les PM_{10} 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.

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.

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

8.3 Risques cumulés

Les risques aigus cumulés induits par les seules émissions du projet de crématorium ne sont pas susceptibles de dépasser la valeur-seuil de 1.

Les risques chroniques cumulés à seuil de dose induits par les seules émissions de l'installation ne sont, également, pas susceptibles de dépasser la valeur-seuil de 1. Par conséquent, en tenant compte des différentes hypothèses simplificatrices utilisées pour ces calculs (additivité simple des risques, sans prise en compte du mécanisme d'action), les seules émissions étudiées ne sont pas susceptibles d'induire des effets sur la santé des populations riveraines de cette installation.

Annexe 1 : Dynamique du mercure après combustion (HHRAP)

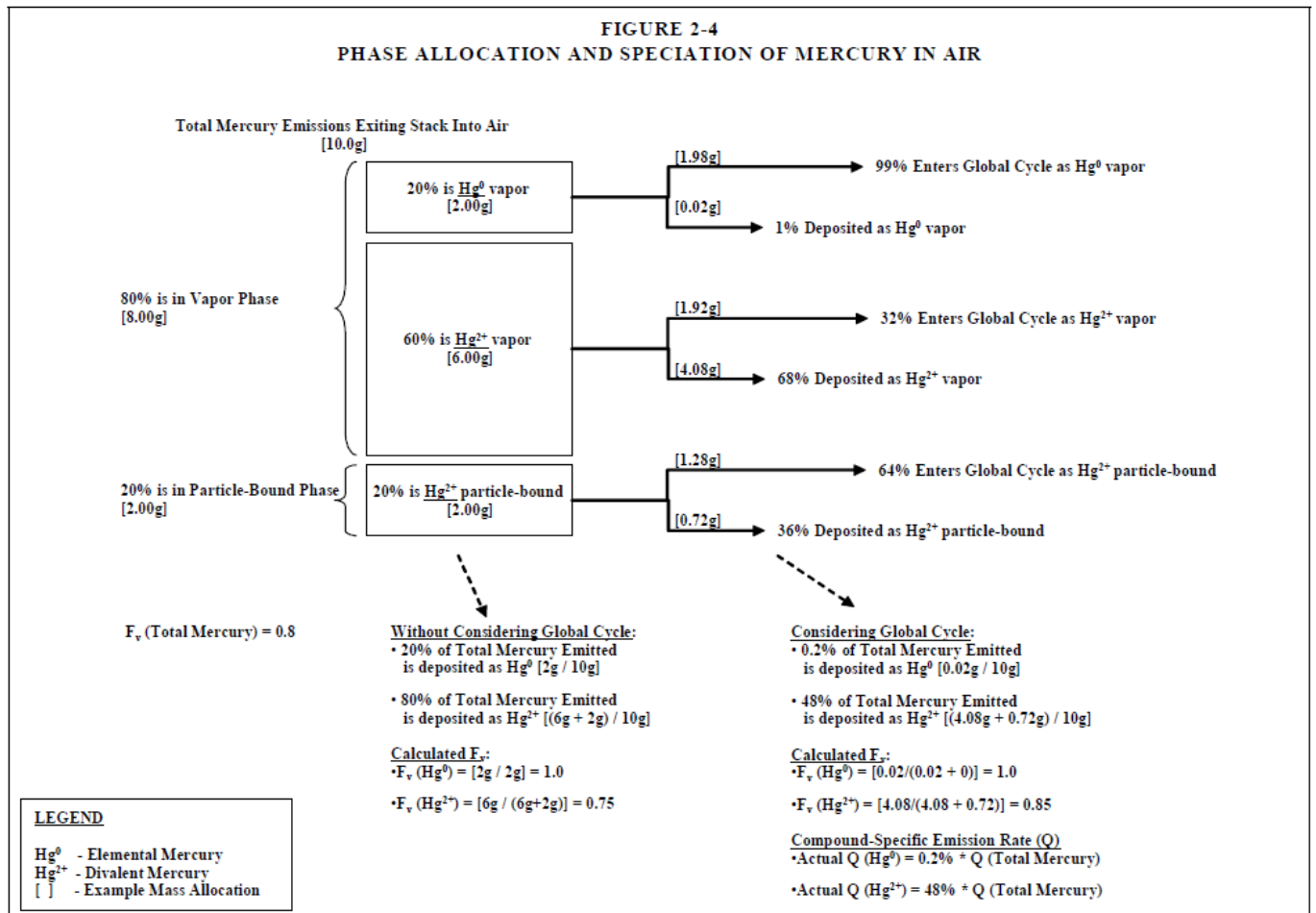


Figure A - Comportement du mercure dans l'air et dans la chaîne alimentaire après un procédé de combustion (HHRAP)

Annexe 2 : La modélisation de la dispersion atmosphérique

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

1. Caractéristiques du modèle de dispersion

Modèle de dispersion mis en œuvre pour l'étude : modèle gaussien de seconde génération **ADMS version 6** :

- **modèle développé spécifiquement pour la réalisation d'études d'impact**, qui allie à la fois capacité à réaliser des calculs sur une période météorologique permettant de prendre en compte une large gamme de situations météorologiques (jusqu'à 5 années de données horaires), tout en prenant en compte des phénomènes complexes (effets de relief et de bâti, phénomènes de dépôt, surélévation, météorologie complexe,...) ;
- **modèle internationalement reconnu et validé** par comparaison à des mesures dans l'environnement (validé suite à l'utilisation du « Model Validation Kit », voir Hanna et al. 1999²) ;
- **type de modèle adapté à la réalisation de l'étude** compte tenu des caractéristiques de l'installation et de son projet, du domaine d'étude et des objectifs ;
- description de la stabilité atmosphérique par la méthode d'**analyse d'échelle de Monin-Obukhov** ;
- **cycle diurne du développement de la couche de mélange atmosphérique** pris en compte grâce au calcul de la hauteur de couche limite qui tient compte des heures précédentes dans la journée ;
- **surélévation des panaches à l'émission** pris en compte via **un modèle intégral de trajectoire 3D** en sortie de cheminée ;
- phénomènes d'accumulation et de recirculation non pris en compte (ADMS est un modèle qui calcule la contribution directe des panaches de la seule installation étudiée).

2. Hypothèses de Modélisation

Domaine d'étude / grille de calcul

- Etendue : 4 x 4 km²
- Résolution : 40 m
- Position : centré sur le projet

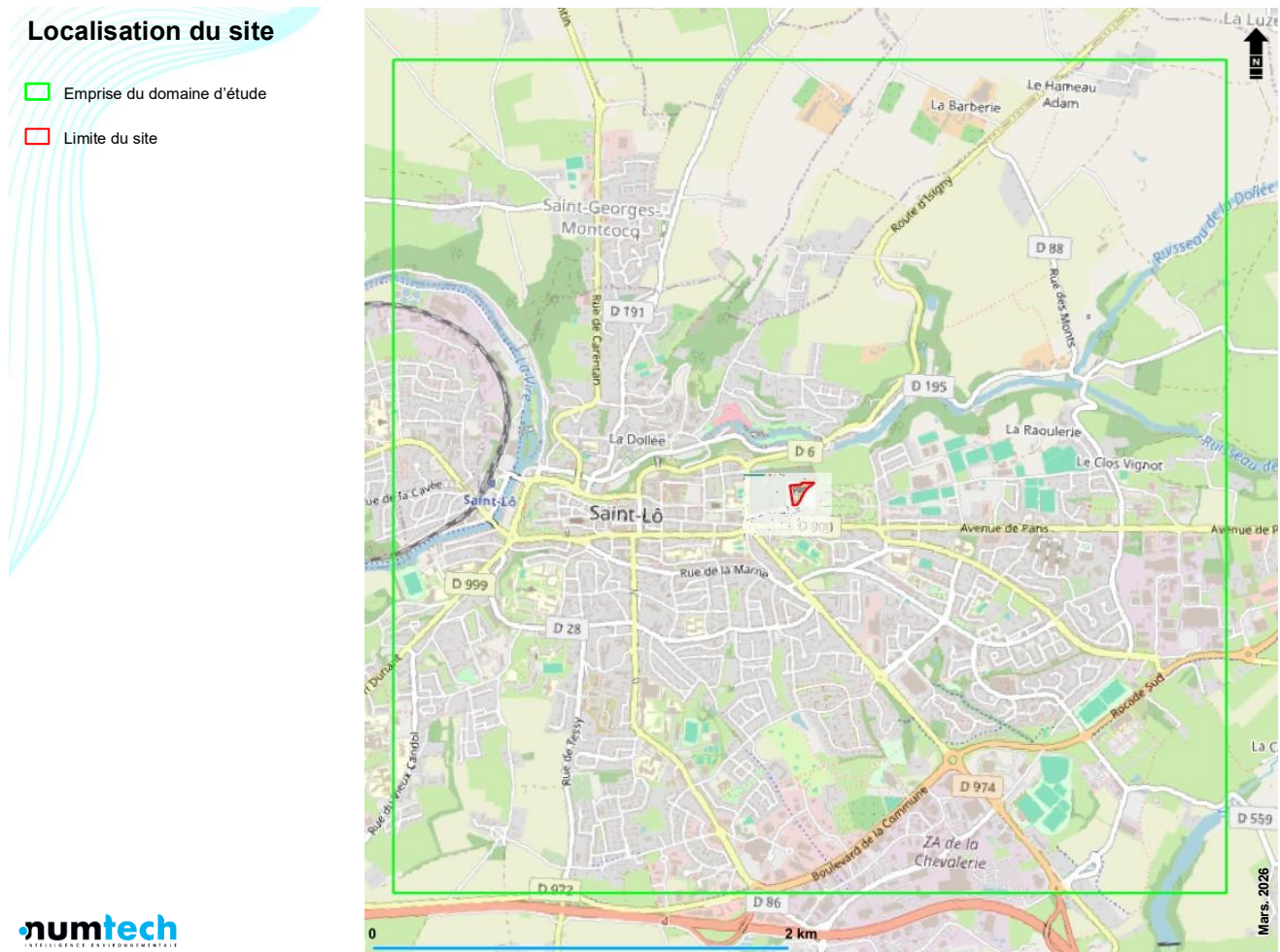


Figure B. Localisation de l'étendue de la grille de calcul et du site d'étude

Polluants modélisés

☒ Gazeux (5) :

- NO_x
- SO₂
- CO
- HCl
- COVnm

☒ Particulaires (4) :

- PM₁₀

- PM_{2.5}
- PCDD/F
- Hg

Caractéristiques des polluants :

Gaz :

Les polluants gazeux sont assimilés à des traceurs passifs à l'exception du NO₂, pour lequel les principales réactions chimiques sont prises en compte.

Cas particulier du NO₂

La famille des oxydes d'azote (NO_x) est composée du monoxyde d'azote (NO) et du dioxyde d'azote (NO₂). Ce dernier étant le composé le plus nocif, et le seul à disposer d'une valeur guide, il est donc nécessaire de connaître la répartition NO_x/NO₂ dans l'environnement, à partir d'une simulation effectuée sur les NO_x. Cependant, la connaissance de cette répartition n'est pas directe, puisqu'elle est très variable et dépend de nombreux facteurs : répartition NO/NO₂ à la source, ensoleillement, niveaux de fond en NO, NO₂ et O₃, temps de transport depuis la source. Afin de déterminer la fraction de NO₂ contenue dans les concentrations de NO_x simulées par le modèle dans l'environnement, le module photochimique disponible dans le modèle ADMS a été activé. Pour ces calculs, la pollution de fond horaire en NO, NO₂ et O₃ a été intégrée, sur la base des mesures de Atmo Auvergne-Rhône-Alpes disponibles à la station St-Lô Eglise, au pas de temps horaire.

Par conséquent dans le cas particulier des NO_x, les concentrations simulées par le modèle intègrent cette pollution de fond, et non uniquement la contribution du projet comme pour les autres polluants. Un post-traitement est donc appliqué afin d'estimer la contribution seule du projet (ce post-traitement ne consiste pas simplement à retrancher une pollution de fond moyenne, il est nécessaire de recalculer un équilibre chimique).

Particules :

Polluant	Densité	Diamètre
PM ₁₀	1 000 kg/m ³	10 µm
PM _{2.5}	1 000 kg/m ³	2.5 µm
PCDD/F	1 000 kg/m ³	1 µm
Hg	1 000 kg/m ³	2.5 µm

Sources modélisées

☒ Source canalisée : 1 sources ponctuelles – type cheminée verticale

Tableau 25. Caractéristiques des sources (SOURCES : ICPE CONSEIL et Rapport d’essai sur le crématorium de St-Nicolas D’Aliermont)

Source	Hauteur par rapport au sol (m)	Diamètre (m)	Température d’émission (°C)	Vitesse d’émission réelle (m/s)	Débit à l’émission réel (m3/h)
Cheminée	6.61	0.3	136	8.8	2238.3



Caractéristiques à l’émission

Tableau B. Caractéristiques à l’émission de la cheminée (source : Article 26 de l’arrêté du 6 juin 2018)

Nom du polluant	Valeur limites à l’émission (mg/Nm³) selon l’art 26 de l’arrêté du 6 Juin 2018	Taux d’émission (g/s)
-----------------	--	-----------------------

Gaz		
NO _x **	500	0.21
SO ₂	120	0.05
CO	50	0.02
HCl	30	0.012
COVnm	20	0.008
Particules		
PM	10	4.2E-3
PM ₁₀	9*	3.7E-3
PM _{2.5}	8*	3.3E-3
Hg	0.2	8.3E-5
PCDD/F	0.1 ng/Nm ³	4.2E-11

*L'article 26 de l'arrêté du 6 juin 2018 ne mentionne une VLE uniquement pour les poussières totales. La base de données OMINEA a été consultée afin de déterminer la répartition des poussières en PM₁₀ et PM_{2.5}. Pour un crématorium humain 90% des émissions correspondent à des PM₁₀ et 80% à des PM_{2.5}.

** Durant les procédés d'incinération, les NO_x sont essentiellement composés de NO, représentant d'après la littérature²⁵ environ 95% des émissions en NO_x. Par défaut, nous considérons donc une hypothèse de 5% de NO₂ parmi les NO_x à l'émission. A noter que ce ratio peut considérablement varier si un système déNox est utilisé.

Variabilité temporelle des émissions

☒ Prises en compte selon les données fournies par ICPE CONSEIL.

Le crématorium sera ouvert du lundi au samedi, considérant une crémation toutes les 2h de 8h30 à 16h30.

Météorologie locale

☐ Observations

☒ Simulations

Les données météorologiques simulées extraites proviennent du modèle météorologique pronostique AROME développé par Météo France. Il produit des données à haute résolution (3km). Les données au point le plus proche du site d'étude ont été extraites (49.125 ; -1.075). Les données extraites sont la Vitesse (m/s) et la direction de vent (°) ; la température (°C) ; les précipitations (mm/h) ; la nébulosité (octa) et le rayonnement solaire (W/m²).

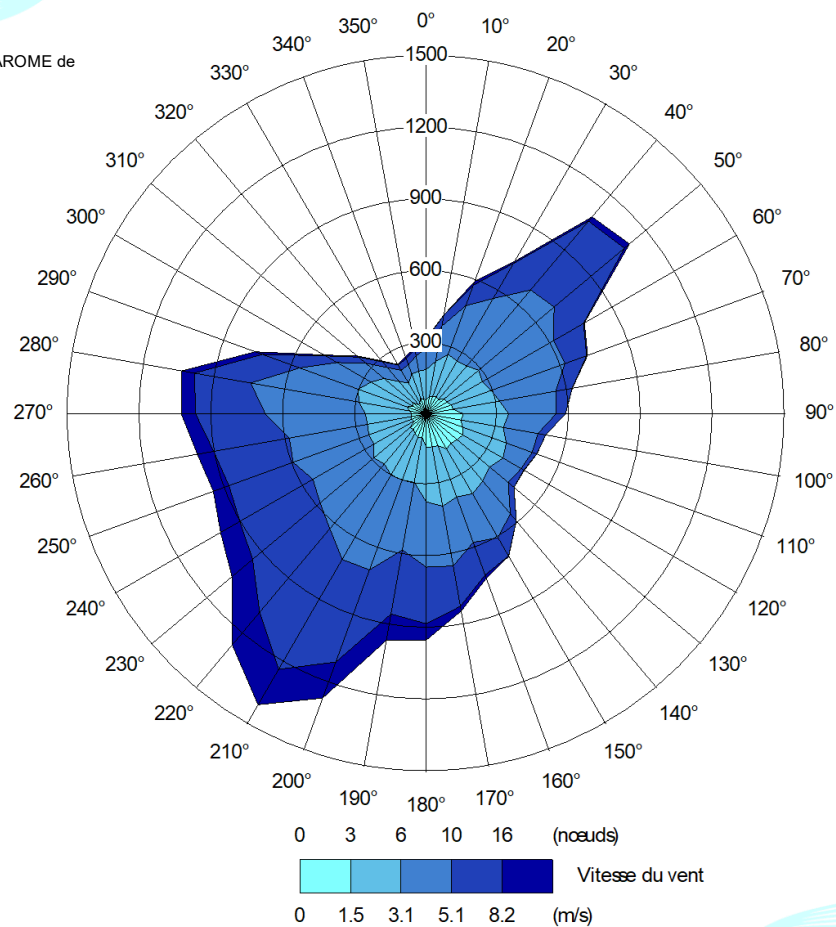
Période du 1er Janvier 2023 au 31 Décembre 2025

²⁵ J. Tezanou, T. Rogaume, F. Richard, T. Andzi Barhe, F. Jabouille, Laboratoire de Combustion et de Détonique, ENSMA, 2009, Influence of waste composition on nox emissions from incinerators.

Fréquence des données : horaire

Rose des vents

- Données simulées au point AROME de coordonnées (49.125;-1.075)
- Années 2023-2025
- Fréquence horaire



numtech
 INTELLIGENCE ENVIRONNEMENTALE

Avr. 2026

Figure C. Rose des vents

Conditions de vent calme

- ☒ Prises en compte : 4% de conditions de vents calmes (vents de vitesse < 0.75 m/s)
- ☐ Non prises en compte

Effet du bâti et des obstacles

- ☒ Pris en compte

Le bâtiment principal a été pris en compte dans la simulation. Il est représenté sur la Figure B et sa hauteur associée y est notifiée en noir.

- ☐ Non pris en compte

Nature des sols rencontrés

- ☒ variable. Source des données : Corinne Land Cover (SeOS) – Résolution 32 m
- ☐ homogène.

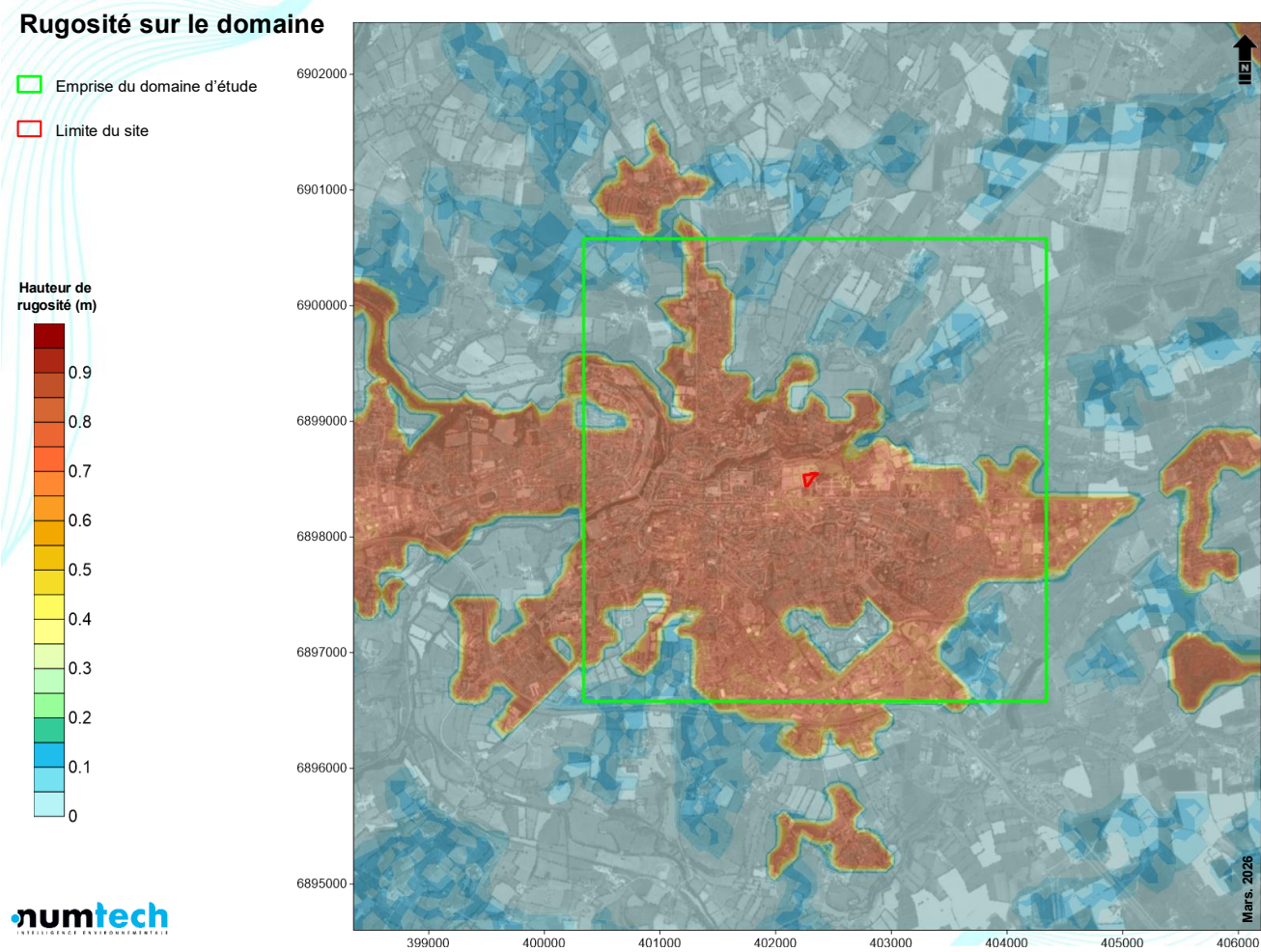


Figure D. Rugosité du domaine d'étude

Effet du relief

- ☒ Pris en compte. Source des données : BDALTI25 – Résolution 32 m.
- ☐ Non pris en compte (environnement plat).

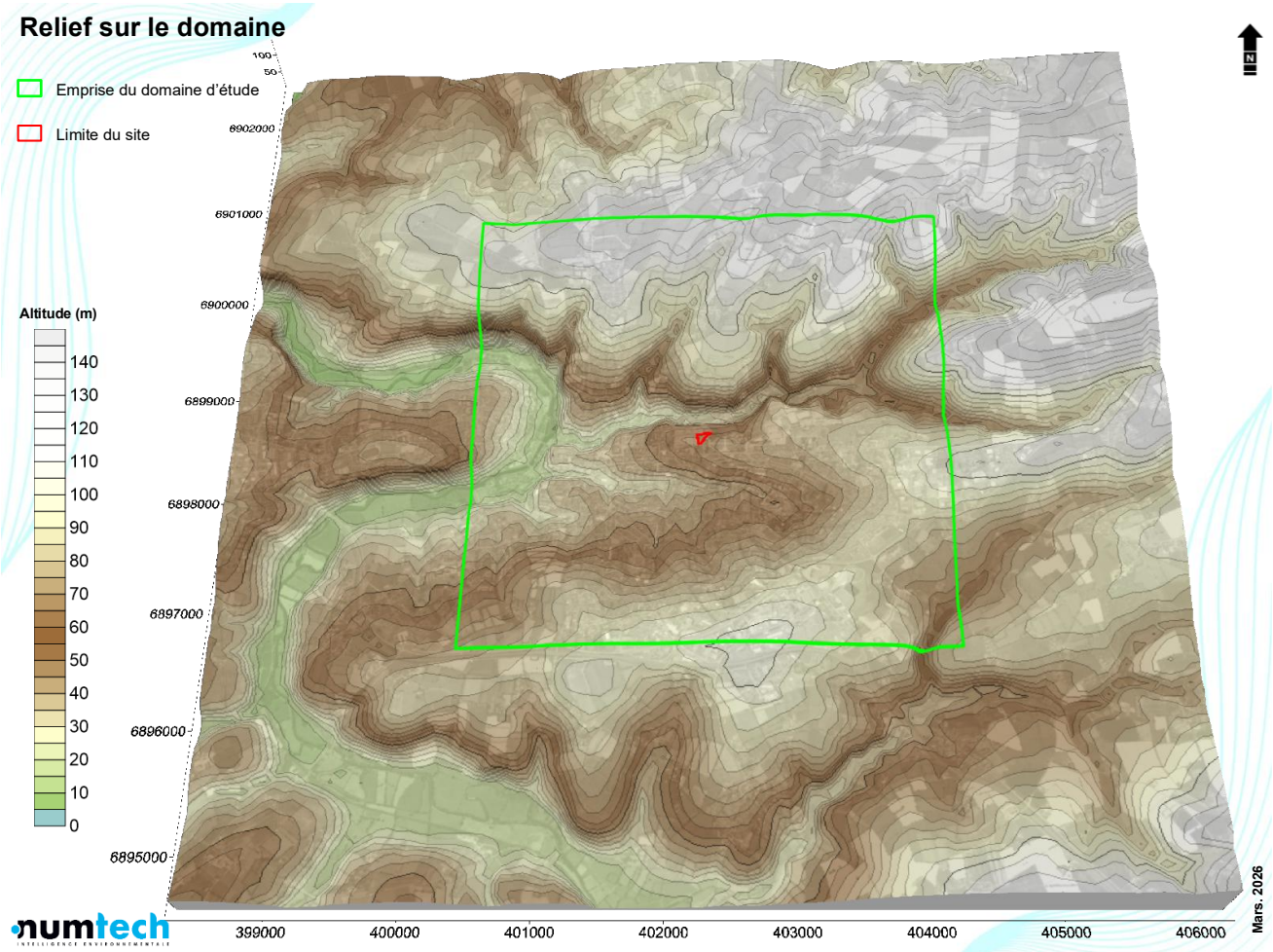


Figure E. Topographie du domaine d'étude

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

Annexe fournie à part

Annexe 4 : Synthèse des hypothèses MODUL'ERS

Cette annexe présente de manière synthétique les principales hypothèses utilisées dans le logiciel Modul'ERS.

Facteurs de bioconcentration sol-plante

Facteur de bioconcentration sol – plante (mg kg.vegsec ⁻¹ (mg kg ⁻¹) ⁻¹	Legumes racines	Legumes feuilles	Legumes fruits	Fruits	Tubercules	Fourrages	Céréales
2378_Tétrachlorodiben zodioxine	0.042	0.00455	0.267	0.0408	0.023	0.079	0
Mercure inorganique	0.036	0.0145	0.0145	0.0145	0.036	0.0145	0.06
Mercure organique	0.099	0.0294	0.0194	0.0294	0.099	0.0294	0.06

Facteurs de biotransfert pour le tissu 1 de l'animal

Facteur de biotransfert tissu 1 (d kg ⁻¹)	Poule	Vache	Porc
2378_Tétrachlorodiben zodioxine	0.042	0.00455	0.267
Mercure inorganique	0.036	0.0145	0.0145
Mercure organique	0.099	0.0294	0.0194

Facteurs de biotransfert pour le tissu 2 de l'animal

Facteur de biotransfert tissu 2 (d kg ⁻¹)	Poule	Vache
2378_Tétrachlorodiben zodioxine	0.011	0.0055
Mercure inorganique	0.023925	0.00226
Mercure organique	0.003575	3.38E-04

Masse corporelle de la cible

Classe d'âge	Masse corporelle (kg)
[0-1[	7.6
[1-3[	12.4
[3-6[	17.8
[6-10[	28.7
[10-15[	47.2
[15-18[	60
[18et+]	70.4

Quantités ingérées par la cible

Quantité ingérée par la cible (kg.vegfrais d ⁻¹)	Legumes racines	Legumes feuilles	Legumes fruits	Fruits	Tubercules
[0-1[	0.015	0.0066	0.011	0.016	0.0184
[1-3[	0.026	0.022	0.04	0.053	0.0519
[3-6[	0.0071	0.0076	0.066	0.09	0.0461
[6-10[	0.007	0.01	0.064	0.09	0.0461
[10-15[	0.0086	0.012	0.07	0.083	0.0583
[15-18[	0.0089	0.012	0.072	0.082	0.06
[18et+]	0.012	0.024	0.11	0.16	0.0583

Quantité ingérée par la cible (kg. d ⁻¹)	Poule tissu 1	Poule tissu 2	Vache tissu 1	Vache tissu 2	Porc
[0-1[	0.0024	0.0018	0.0089	0.12	3.00E-04
[1-3[	0.011	0.011	0.031	0.4	0.0216
[3-6[	0.017	0.01	0.032	0.31	0.0254
[6-10[	0.017	0.01	0.032	0.31	0.0254
[10-15[	0.023	0.01	0.039	0.26	0.0322
[15-18[	0.025	0.011	0.039	0.23	0.0337
[18et+]	0.032	0.015	0.047	0.21	0.0403



5 rue des Planchettes
63100 CLERMONT FERRAND
www.numtech.fr

Annexe 3 : Fiches toxicologiques

Sommaire

BENZENE (N° CAS 71-43-2) – REV 01/2025.....	2
CHLORURE D’HYDROGENE (N° CAS 7647-01-0) – REV 12/2014	10
DIOXINES, FURANES ET POLYCHLOROBIPHENYLES DE TYPE DIOXINE (N°CAS -) – REV 03/2021	17
DIOXYDE DE SOUFRE (N° CAS 7446-09-5) - REV 03/2021	28
MERCURE (N° CAS 7439-97-6) ET COMPOSES – 03/2021	34
MONOXYDE DE CARBONE (N° CAS 630-08-0) – REV 06/23	47
OXYDES D’AZOTE (N°CAS -) – REV 06/2023.....	53
POUSSIERES (N°CAS -) – REV 12/2025.....	60

I. Généralités

I.1. Identification

Le benzène est, à température et pression ambiante, un liquide incolore, à odeur aromatique. Il est extrêmement inflammable (INRS, 2004).

I.2. Utilisation

Le benzène est principalement utilisé pour produire de l'éthylbenzène servant à la synthèse du styrène destiné à la fabrication de matières plastiques et d'élastomères. Comme sous-produits du pétrole, il entre également dans la composition de l'essence pour automobile (caractéristiques antidétonantes dans l'essence sans plomb) (Ineris, 2006).

I.3. Sources d'exposition

Le benzène peut être d'origine naturelle (feux de forêt, activité volcanique) ou anthropique (gaz d'échappement, émanations lors du remplissage d'un réservoir automobile). La fabrication d'éthylbenzène, de cumène ou de cyclohexane peut amener à libérer du benzène dans l'atmosphère. La fumée de cigarette en contient (Ineris, 2006).

I.4. Concentrations et comportements environnementaux

Dans l'air, le benzène existe principalement sous forme gazeuse. Il est dégradé par les radicaux hydroxyls formés par réactions photochimiques.

Dans l'eau, le benzène est volatil. Il est également soluble et donc le benzène atmosphérique se redépose au sol par les précipitations.

Dans les sols, le benzène est mobile du fait de sa volatilité et de sa solubilité qui l'entraîne vers les eaux. La littérature rapporte donc peu de concentrations en benzène dans les sols.

Dans les végétaux le benzène proviendrait à la fois du sol (cresson, orge) et du transfert air-feuille.

Il n'y a pas d'accumulation et de bioamplification dans la chaîne alimentaire du benzène chez les organismes aquatiques ou terrestres.

Concentrations environnementales en benzène				
Milieu	Concentration	Caractéristique des mesures	Source	
Air	zone rurale éloignée : 0,5 µg.m ⁻³	concentrations médianes américaines de 1975 à 1985 sur 300 sites répartis dans 42 villes	OMS, ATSDR, 2005	1993
	zone rurale : 1,5 µg.m ⁻³			
	zone urbaine = zone suburbaine = intérieur : 5,8 µg.m ⁻³			
	zones rurales < 1,2 µg.m ⁻³ zones urbaines : 4,4 µg.m ⁻³	échantillons canadiens	Santé Canada, 1993	
Eau	eaux de surfaces < 1 µg.L ⁻¹	-	OMS, 1993	
	eaux de surfaces < 1 µg.L ⁻¹	échantillons canadiens	Santé Canada, 1993	
	eaux non traitées < 2 µg.L ⁻¹			

I.5. Facteurs de conversion

1 ppm = 3,24 mg.m⁻³ (OEHHA, 1999)

2. Toxicité

2.1. Métabolisme

Le benzène pénètre dans l'organisme principalement par le tractus respiratoire. 50 % de la quantité inhalée est absorbée. Il se distribue largement dans l'organisme avec des concentrations préférentielles dans la moelle et les graisses. La métabolisation du benzène est hépatique et médullaire. Il est éliminé dans l'air expiré (10 à 50 %) et dans les urines (1 %).

Il n'est pas connu de pénétration par voie digestive chez l'Homme. D'après les études chez l'animal, l'absorption digestive serait complète.

L'exposition par absorption cutanée est secondaire (Ineris, 2006).

2.2. Toxicité aiguë

Par inhalation, l'exposition aiguë au benzène agit sur le système nerveux central. A faible dose, les manifestations sont une excitation, des troubles de la parole, des céphalées, des vertiges, des insomnies, des nausées, des paresthésies dans les mains et les pieds et de la fatigue. A de fortes doses, les manifestations sont une excitation puis une narcose (Ineris, 2006).

2.3. Toxicité chronique

2.3.1. Effets systémiques

Le benzène est hémotoxique (anémie, thrombopénie, lymphopénie, leucocytopénie, leucémie...) pour des expositions supérieures à 10 mg.m⁻³ et immunotoxique.

2.3.2. Effets cancérigènes

Plus de 25 études ont rapporté une augmentation des taux de cancers suite à des expositions professionnelles au benzène. Il s'agit de leucémies (en particulier la leucémie aiguë myéloïde). D'autres affections du tissu hématopoïétique, tel que les lymphomes malins non hodgkiniens sont également associés significativement avec l'exposition au benzène.

Classements cancérigène du benzène	
Classement	Organisme
I	JOCE (2004) ¹
IA	JOCE (2008) ²
I	CIRC (1987)
A	EPA (1998)
cancérigène pour l'Homme	Santé Canada (1991)

¹Annexe I de la directive 67/548/CE

²Annexe VI du règlement CLP n°1278/2008

2.3.3. Effets génotoxiques

L'Union Européenne a classé le benzène comme mutagène de catégorie 2 (JOCE, 2004) ou mutagène pour les cellules germinales de catégorie 1B selon le règlement CLP (JOCE, 2008).

La génotoxicité du benzène a été étudiée de nombreuses fois. Le benzène n'induit pas de mutation génique sur les études *in vitro* mais plusieurs études *in vivo*, animales et humaines, ont mis en évidence des aberrations chromosomiques et des échanges de chromatides sœurs. Les données *in vivo* indiquent donc que le benzène est mutagène pour l'homme.

2.3.4. Effets sur la reproduction et le développement

L'Union Européenne n'a pas classé le benzène comme reprotoxique (JOCE, 2004 ; JOCE, 2008).

Le benzène passe la barrière placentaire et est retrouvé dans la moelle osseuse du fœtus. Les études sont contradictoires sur la possibilité que le benzène ait un effet sur la reproduction et le développement. Il n'a pas pu être établi de lien causal (Ineris, 2006).

3. Valeurs toxicologiques de référence par voie respiratoire

3.1. VTR aiguë

- **ATSDR, 2007 : 29 $\mu\text{g.m}^{-3}$ / 1-14 jours**

Cette VTR est basée sur un LOAEL de 33 mg.m^{-3} pour des **effets immunologiques** chez des souris mâles C57BL/6j exposées à des concentrations de 0, 10, 2, 31, 100, 301 ppm de benzène, 6 heures par jours pendant 6 jours (Rozen *et al.*, 1984). Le LOAEL a ensuite été ajusté à une exposition continue pour l'Homme à 8,3 mg.m^{-3} . Il y est appliqué un facteur d'incertitude de 300 (10 pour l'utilisation d'un LOAEL, 3 pour l'extrapolation de l'animal à l'Homme et 10 pour tenir compte des sensibilités individuelles).

- **Expertise Anses, 2008 : 30 $\mu\text{g.m}^{-3}$ en moyenne sur 14 jours (ATSDR, 2007)**

En l'absence de valeur guide de l'air intérieur de l'OMS, l'Anses a expertisé les VTR existantes. Elle a retenu comme VGAI la VTR de l'ATSDR pour des **effets hématologiques** non cancérogènes prenant en compte des effets cumulatifs du benzène. Cette valeur est définie comme une valeur-guide de la qualité de l'air (VGAI) par l'Anses mais pas comme une analyse des VTR existante pour cette substance et cette durée d'exposition.

- **OEHHA, 2014 : 27 $\mu\text{g.m}^{-3}$ / 1 heure**

Cette VTR est basée sur un LOAEL de 16 mg.m^{-3} pour **des effets toxiques sur les fœtus (baisse du nombre de cellules rouge)** chez des souris en gestation exposées 6 heures par jours pendant 10 jours (6^{ème} au 15^{ème} jour de gestation) à des concentrations de 0, 5, 10 ou 20 ppm de benzène (Keller and Snyder, 1988). Un facteur d'incertitude de 600 a été appliqué à ce LOAEL (3 pour l'utilisation d'un LOAEL, 6 pour la variabilité inter-espèce et 30 pour la variabilité intra-espèce).

3.2. VTR sur 8 heures

- **OEHHA, 2014 : 3 $\mu\text{g.m}^{-3}$**

Cette VTR a été établie à partir des résultats d'une étude chez une cohorte de 250 travailleurs d'une manufacture de chaussures exposés au benzène 8 heures par jour, 6 jours par semaine pendant une durée moyenne de 6,1 ans (Lan *et al.*, 2004). Cette VTR est basée sur une BMCL0,5 de 0,476 ppm pour des effets hématologiques (sanguins) (diminution du nombre de globules rouges). Après ajustement de la durée d'exposition ($0,476 \times 10/20 \times 6/7$), la concentration équivalente humaine est de 0,204 ppm (660 $\mu\text{g.m}^{-3}$). Un facteur de sécurité de 200 est appliqué (3 pour une durée d'exposition sub-chronique et 60 pour la variabilité intra-espèce). La VTR sur 8h est la même que la VTR chronique.

3.3. VTR intermédiaire

- **ATSDR, 2007 : 0,006 ppm (19,4 $\mu\text{g.m}^{-3}$) / 15 – 365 jours**

La VTR est basée sur l'étude de Rosenthal and Snyder (1987) qui ont exposé des souris mâle type C57B1/6 à 10, 30 ou 100 ppm de benzène, 6 heures par jour, 5 jours par semaine pendant 20 jours. Un LOAEL de 10 ppm est établi pour une **réaction lymphocytaire retardée**. Le LOAEL est ajusté pour une exposition continue (6h/24h et 5j/7j). Un LOAEL équivalent humain de 1,8 ppm est calculé auquel est appliqué un facteur d'incertitude de 300 (10 pour l'utilisation d'un LOAEL, 3 pour l'extrapolation de l'animal à l'homme et 10 pour la variabilité humaine).

- **Expertise Anses, 2008 : 20 $\mu\text{g.m}^{-3}$ en moyenne sur un an (ATSDR, 2007)**

En l'absence de valeur guide de l'air intérieur de l'OMS, l'Anses a expertisé les VTR existantes. Elle a retenu comme VGAI la VTR de l'ATSDR pour des **effets hématologiques** non cancérogènes prenant en compte des effets cumulatifs du benzène.

3.4. VTR chronique

3.4.1. Effets non cancérogènes

- **EPA, 2003 : 30 $\mu\text{g.m}^{-3}$**

Pour une exposition chronique, l'EPA a établi en avril 2003 une concentration de référence de $30 \mu\text{g.m}^{-3}$ à partir de la valeur limite la plus faible à 95 % de la Benchmark concentration low (BMCL) de 23 mg.m^{-3} , ajustée à une exposition continue, soit $8,2 \text{ mg.m}^{-3}$. Cette BMCL modélise la **baisse du nombre de lymphocytes dans le sang** de 44 travailleurs chinois (Shangai) de plus de 44 ans exposés au benzène pendant au moins 6 mois par voie respiratoire et rapportée par l'étude de Rothman *et al.* (1996). Un facteur de sécurité de 300 a été appliqué (3 pour un facteur d'extrapolation à l'utilisation d'une BMD, 10 pour tenir compte des variations intra-espèces et protéger les populations sensibles, 3 pour l'extrapolation d'une exposition subchronique à une exposition chronique et 3 pour le manque de données).

- **ATSDR, 2007 : $9,72 \mu\text{g.m}^{-3}$**

L'ATSDR a proposé, en 2007, une CAA de 0,003 ppm en s'appuyant sur l'apparition d'une hématotoxicité chez des travailleurs chinois d'une manufacture de chaussures, exposés pendant environ 6 ans ($\pm 2,9$ ans) à de faibles niveaux de benzène, décrite dans l'étude (Lan *et al.*, 2004) : 250 travailleurs dont 2 tiers de femmes et 140 travailleurs témoins. Pour dériver sa VTR, l'ATSDR a utilisé une approche BMD (Benchmark dose) car l'étude princeps n'identifiait pas de NOAEL, mais un LOAEL. La BMD estimée était de 0,1 ppm ($0,324 \text{ mg.m}^{-3}$). L'effet critique défini est la **diminution du nombre de lymphocytes B**. Après ajustement à une exposition continue ($0,097 \text{ mg.m}^{-3} = 0,324 \times 2/24 \times 6/7$), et application d'un facteur d'incertitude de 10 (pour la variabilité humaine), l'ATSDR obtient une VTR de $9,7 \mu\text{g.m}^{-3}$ (0,003 ppm).

- **Expertise Anses, 2012 : $10 \mu\text{g.m}^{-3}$ (Anses, 2008)**

L'expertise de l'Anses relative aux valeurs guide de qualité d'air intérieur avait retenu une VTR à seuil et un ERU. La VTR à seuil de $10 \mu\text{g.m}^{-3}$ retenue par l'Anses a été proposée par l'ATSDR en se basant sur une étude humaine par inhalation avec pour effet critique une diminution des lymphocytes B. Cette valeur a été considérée comme pertinente par l'Anses dans son rapport d'expertise relatif à Sélection des polluants à prendre en compte dans les évaluations des risques sanitaires réalisées dans le cadre des études d'impact des infrastructures routières paru en 2012.

- **OEHHA, 2014 : $3 \mu\text{g.m}^{-3}$**

Cette VTR a été établie à partir des résultats d'une étude chez une cohorte de 250 travailleurs d'une manufacture de chaussures exposés au benzène 8 heures par jour, 6 jours par semaine pendant une durée moyenne de 6,1 ans (Lan *et al.*, 2004). Cette VTR est basée sur une $\text{BMCL}_{0,5}$ de $0,476 \text{ ppm}$ pour des effets hématologiques (sanguins) (**diminution du nombre de globules rouges**). Après ajustement de la durée d'exposition ($0,476 \times 10/20 \times 6/7$), la concentration équivalente humaine est de $0,204 \text{ ppm}$ ($660 \mu\text{g.m}^{-3}$). Un facteur de sécurité de 200 est appliqué (3 pour une durée d'exposition sub-chronique et 60 pour la variabilité intra-espèce).

3.4.2. Effets cancérigènes

- **Santé Canada, 1993 : 15 mg.m^{-3}**

Santé Canada a établi une concentration tumorigène CT_{05} de 15 mg.m^{-3} à partir de l'étude chez l'Homme (Rinsky *et al.*, 1987), pour le **risque de leucémies**.

- **EPA, 2000 : $2,2$ à $7,8 \cdot 10^{-6} (\mu\text{g.m}^{-3})^{-1}$**

L'US-EPA propose en 2003 une VTR pour le **risque de leucémie** par la voie respiratoire allant de $2,2$ à $7,8 \cdot 10^{-6} (\mu\text{g.m}^{-3})^{-1}$. Elle est dérivée d'une étude de cohorte professionnelle (travailleurs de Pliofilm, Rinsky *et al.* 1981, 1987) jugée plus valide que les nombreuses autres études épidémiologiques sur les effets cancérigènes du benzène en raison d'une grande spécificité de l'exposition (pas de co-exposition à d'autres cancérigènes). Elle présente aussi l'avantage d'inclure des niveaux d'exposition assez étendus. Le modèle d'extrapolation hautes doses / basses doses a été choisi après une étude ayant permis de tester 96 combinaisons de 4 facteurs les plus influents :

- le type de cancer considéré,
- l'utilisation d'un modèle additif ou multiplicatif,
- l'hypothèse d'une linéarité ou non de la relation dose réponse,
- Différentes méthodes d'estimation de l'exposition.

Finalement, l'étendue de la VTR de l'US-EPA est dictée par le modèle linéaire à partir des différentes méthodes d'estimation de l'exposition. Selon l'US-EPA la qualité scientifique de cette VTR actualisée en 1998 n'est pas différente de celle établie provisoirement en 1985 à $8,1 \cdot 10^{-6} (\mu\text{g.m}^{-3})^{-1}$ (US-EPA, 2003).

- **OMS, 2000 : $4,4$ à $7,5 \cdot 10^{-6} (\mu\text{g.m}^{-3})^{-1}$**

L'OMS s'appuie sur les mêmes études que l'US-EPA pour recommander une VTR de $4,4$ à $7,5 \cdot 10^{-6} (\mu\text{g.m}^{-3})^{-1}$ correspondant au risque de **leucémie**. La différence entre les deux étendues de valeur vient d'un choix différent

concernant la méthode d'estimation des expositions. L'OMS précise que la moyenne géométrique de $6 \cdot 10^{-6} (\mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3})^{-1}$ peut être utilisée (OMS, 2000).

- **RIVM, 2001 : $5 \cdot 10^{-6} (\mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3})^{-1}$**

Le RIVM utilise une valeur limite de $20 \mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$ construite en 1999 par un groupe de travail européen qui correspond à un risque cancérigène de 10^{-4} (approche linéaire) vie entière. Cette concentration correspond à un excès de risque unitaire de $5 \cdot 10^{-6} (\mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3})^{-1}$. Les études ayant servi à la construction de cette VTR sont les mêmes que celles utilisées par l'US-EPA et par l'OMS (RIVM, 2001). Les effets considérés sont des **leucémies**.

- **OEHHA, 2009 : $2,9 \cdot 10^{-5} (\mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3})^{-1}$**

L'OEHHA a fixé un ERU de $2,9 \cdot 10^{-5} (\mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3})^{-1}$ à partir d'une étude chez des travailleurs exposés au benzène par inhalation et pour une incidence de cas de **leucémie** au sein de la cohorte étudiée (Rinsky *et al.* 1981). L'excès de risque a été calculé en utilisant des données chez l'animal et chez l'Homme pour l'estimation quantitative du risque (CDHS, 1984).

- **Anses, 2014 : $2,6 \cdot 10^{-5} (\mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3})^{-1}$**

L'Anses a élaboré une VTR sans seuil de dose à partir de la ré-analyse des données de la cohorte de travailleurs « Pliofilm » (Richardson, 2008). Ces travailleurs ($n=748$) ont été exposés au benzène de 1940 à 1949 et suivi jusqu'en 1981. La cohorte « Pliofilm » de l'Ohio constitue une base de données valable pour l'évaluation du risque de cancer chez l'Homme découlant d'une exposition au benzène. En effet, cette cohorte est celle qui a été la moins exposée en milieu de travail à d'autres substances potentiellement cancérigènes qui pourraient influencer sur l'analyse du risque associé au benzène. De plus, les travailleurs de « Pliofilm » ont été exposés à un plus grand éventail de concentrations estimées de benzène que les travailleurs impliqués dans d'autres études de cohortes. Les études épidémiologiques fournissent des preuves significatives d'une association causale entre l'exposition au benzène et certaines leucémies (leucémie myéloblastique aiguë, leucémie aiguë lymphoblastique et leucémie myéloïde chronique). L'Anses retient donc comme effet critique l'augmentation de **l'incidence des leucémies**. La VTR cancérigène du benzène correspond à l'excès de risque unitaire (ERU) qui est égal au risque relatif moins 1 divisé par le niveau d'exposition et le facteur de conversion (1 ppm de benzène en exposition professionnelle est égale à $1,096 \text{ mg}\cdot\text{m}^{-3}$ de benzène en exposition continue). Ainsi pour une exposition cumulée de 10 ppm-années au benzène, dans les 10 ans suivant la fin de l'exposition, l'excès de risque (RR) était de 1,19 avec un intervalle de confiance à 95% compris entre 1,10 et 1,29.

4. Valeurs toxicologiques de référence par voie digestive

4.1. VTR aiguë

Il n'a pas été retrouvé de VTR pour cette voie et cette durée d'exposition.

4.2. VTR intermédiaire

Il n'a pas été retrouvé de VTR pour cette voie et cette durée d'exposition.

4.3. VTR chronique

4.3.1. Effets non cancérigènes

- **EPA, 2003 : $4 \mu\text{g}\cdot\text{kg}^{-1}\cdot\text{j}^{-1}$**

En avril 2003, l'US-EPA a aussi établi une RfD de $4 \mu\text{g}\cdot\text{kg}^{-1}\cdot\text{j}^{-1}$ pour une **diminution du nombre de lymphocytes** à partir des résultats de l'étude de Rothman *et al.* (1996). Cette VTR est basée sur la BMCL ajustée pour la voie orale soit une Benchmark dose (BMD) de $1,2 \text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}\cdot\text{j}^{-1}$. Cette BMD a été appliquée d'un facteur de 300 (3 pour un facteur d'extrapolation à l'utilisation d'une BMD, 10 pour tenir compte des variations intra-espèces et protéger les populations sensibles, 3 pour l'extrapolation d'une exposition subchronique à une exposition chronique et 3 pour le manque de données).

- **ATSDR, 2007 : $0,5 \mu\text{g}\cdot\text{kg}^{-1}\cdot\text{j}^{-1}$**

Depuis 2007, l'ATSDR propose une VTR de $0,5 \mu\text{g}\cdot\text{kg}^{-1}\cdot\text{j}^{-1}$ pour des expositions orales chroniques au benzène. Cette valeur s'appuie sur une extrapolation voie-à-voie réalisée à partir des résultats de l'étude (Lan *et al.*, 2004) sur l'hématotoxicité chez des travailleurs exposés à de faibles niveaux de benzène. Une analyse Benchmark dose (avec comme point critique, le **nombre de cellules B**) avait été réalisée sur cette étude épidémiologique portant sur

250 travailleurs (dont environ 2/3 de femmes) exposés au benzène dans deux fabriques de chaussures de Tianjin (Chine), et qui ont été comparés à un groupe témoins de 140 individus travaillant dans une fabrique de vêtements n'utilisant pas de benzène. L'extrapolation voie-à-voie a été réalisée à partir de la Benchmark concentration de $96 \mu\text{g.m}^{-3}$, en considérant le poids moyen d'un adulte de 70 kg, un taux d'inhalation de $20 \text{ m}^3/\text{jour}$ et un facteur de 0,5 pour tenir compte des différences de taux d'absorption du benzène par inhalation et par ingestion (respectivement de 50% contre 100%). Ceci conduit à une Benchmark dose de $14 \mu\text{g.kg}^{-1}.\text{j}^{-1}$ ($= 96 \mu\text{g.m}^{-3} \times 20 \text{ m}^3/\text{jour} \times 0,5 / 70 \text{ kg}$). Un facteur d'incertitude de 30 a ensuite été appliqué (3 pour l'extrapolation voie-à-voie et 10 pour la variabilité existant au sein de la population humaine).

4.3.2. Effets cancérogènes

- **EPA, 2000 : $1,5.10^{-5}$ et $5,5.10^{-5} (\mu\text{g.kg}^{-1}.\text{j}^{-1})^{-1}$**

Le risque lié à l'ingestion d'eau n'a pas été évalué mais, sur la base des études épidémiologiques en milieu du travail (Rinsky et al., 1981, 1987; Paustenbach et al., 1993; Crump 1994; U.S. EPA, 1998; U.S. EPA, 1999), l'EPA a récemment proposé un ERU pour l'exposition orale par l'eau d'alimentation comprise entre $4,4.10^{-4}$ et $1,6.10^{-3} (\text{mg/L})^{-1}$ ou entre $1,5.10^{-2}$ et $5,5.10^{-2} (\text{mg/kg.j})^{-1}$. Celui-ci est établi par extrapolation des résultats pour la voie respiratoire pour un homme de 70 kg, un débit respiratoire de $20 \text{ m}^3/\text{j}$, un taux d'absorption par inhalation estimé à 50% de celui par voie orale. En utilisant ces valeurs, une concentration de $1 \mu\text{g.m}^{-3}$ est extrapolée à une dose de $0,143 \mu\text{g.kg}^{-1}.\text{j}^{-1}$ ($= 1 \mu\text{g.m}^{-3} \times 20 \text{ m}^3/\text{j} \times 50\% / 70 \text{ kg}$). En divisant les valeurs de $2,2.10^{-6}$ et $7,8.10^{-6} (\mu\text{g.m}^{-3})^{-1}$ par 0,143, on obtient les valeurs proposées pour le développement des **leucémies** par voie orale. Cette valeur ne peut pas être utilisée pour des concentrations en benzène dans l'eau supérieures à 10 000 $\mu\text{g/L}$.

- **RIVM, 2001 : $3,3.10^{-5} (\mu\text{g.kg}^{-1}.\text{j}^{-1})^{-1}$ (provisoire)**

Cette VTR est établie par dérivation de la VTR sans seuil pour la voie respiratoire (en utilisant une absorption par voie respiratoire de 50 % et une absorption par voie orale de 100 %). Les effets considérés sont des **leucémies**.

- **OEHHA, 2005 : $1,0.10^{-1} (\mu\text{g.kg}^{-1}.\text{j}^{-1})^{-1}$**

L'OEHHA a dérivé la VTR digestive sans seuil à partir de l'étude clé ayant servi à dériver la VTR respiratoire sans seuil. Cette VTR a été établie à partir d'études épidémiologiques chez des travailleurs exposés au benzène par inhalation et pour une incidence de cas de **leucémie** au sein de la cohorte étudiée (Rinsky et al. 1981). L'excès de risque a été calculé en utilisant des données animales et humaines pour l'estimation quantitative du risque (CDHS, 1984). L'effet associé à la VTR inhalation n'étant pas un effet local, la VTR digestive sans seuil de l'OEHHA peut être utilisée en ERS.

5. Choix des valeurs toxicologiques de référence

D'après la note d'information N°DGS/EAI/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 suivant : Anses, US-EPA, ATSDR, OMS/IPCS, Santé Canada, RIVM, OEHHA, EFSA.

Par mesure de simplification, dans la mesure où il n'existe pas de méthode de choix faisant consensus, il est recommandé de sélectionner en premier lieu les VTR construites par l'ANSES même si des VTR plus récentes sont proposées par les autres bases de données. A ce stade de la sélection, NUMTECH considère les VGAI de l'Anses comme des VTR à part entière car fondée exclusivement sur des critères sanitaires¹ et pour une absence d'effet, comme une VTR. A défaut, si pour une substance une expertise nationale a été menée et a abouti à une sélection approfondie parmi les VTR disponibles, alors cette VTR doit être retenue, sous réserve que cette expertise ait été réalisée postérieurement à la date de parution de la VTR la plus récente.

En l'absence d'expertise nationale, la VTR à retenir correspond à la plus récente parmi les trois bases de données : US-EPA, ATSDR ou OMS sauf s'il est fait mention par l'organisme de référence que la VTR n'est pas basée sur l'effet survenant à la plus faible dose et jugé pertinent pour la population visée.

Si aucune VTR n'était retrouvée dans les 4 bases de données précédemment citées (Anses, US-EPA, ATSDR et OMS), la VTR la plus récente proposée par Santé Canada, RIVM, l'OEHHA ou l'EFSA est utilisée.

¹ <https://www.anses.fr/fr/content/valeurs-guides-de-qualit%C3%A9-d%E2%80%99air-int%C3%A9rieur-vgai>

Benzène
Choix des valeurs toxicologiques de référence selon la note DGS d'octobre 2014

Voie d'exposition	Durée d'exposition	VTR	Temps d'exposition	Espèce	Effet critique	Dose critique Type, valeur	Facteur d'incertitude	Référence
Respiratoire	Aiguë	30 $\mu\text{g.m}^{-3}$	1-14j	A	Effets immunologiques	LOAEL = 33 mg.m^{-3}	300	Expertise Anses, 2012 (ATSDR, 2007)
	8h	3 $\mu\text{g.m}^{-3}$	8h	A	Effets hématologiques	BMCL = 1,5 mg.m^{-3}	200	OEHHA, 2014
	Intermédiaire	20 $\mu\text{g.m}^{-3}$	-	A	Effets immunologiques	LOAEL = 33 mg.m^{-3}	300	Expertise Anses, 2008 (ATSDR, 2007)
	Chronique – effets non cancérogènes	10 $\mu\text{g.m}^{-3}$	-	H	Effets hématologiques	BMD = 3,24 mg.m^{-3}	10	Anses, 2008
	Chronique – effets cancérogènes	1,6 10^{-6} ($\mu\text{g.m}^{-3}$) ⁻¹	-	H	Leucémie	-	-	Anses, 2024
Digestive	Aiguë	-	-	-	-	-	-	-
	Intermédiaire	-	-	-	-	-	-	-
	Chronique – effets non cancérogènes	0,5 $\mu\text{g.kg}^{-1}.\text{j}^{-1}$	-	H	Baisse du nombre de lymphocytes	BMC = 14 $\mu\text{g.kg}^{-1}.\text{j}^{-1}$	30	ATSDR, 2007
	Chronique – effets cancérogènes	1,5 10^{-2} à 5,5 10^{-2} ($\text{mg.kg}^{-1}.\text{j}^{-1}$) ⁻¹	-	H	Leucémie	-	-	EPA, 2000

6. Valeurs d'exposition professionnelles

VME = 5 mg.m⁻³ (INRS, 2008)

VLCT = 10 mg.m⁻³ (INRS, 2008)

7. Bibliographie

Anses, 2014. Valeur toxicologique de référence cancérigène par inhalation pour le benzène. Avis de l'Anses. Rapport d'expertise collective. 116 p.

Anses, 2012, Rapport d'expertise - Sélection des polluants à prendre en compte dans les évaluations des risques sanitaires réalisées dans le cadre des études d'impact des infrastructures routières. Disponible sous <https://www.anses.fr/fr/system/files/AIR2010sa0283Ra.pdf> (consulté en juin 2018)

Afsset. Proposition de valeurs guides de qualité d'air intérieur. Le benzène. Mai 2008. Avis de l'Afsset. Rapport d'expertise collective, 95p.

ATSDR (Agency for Toxic Substances and Disease Registry), 2007, Toxicological Profile for benzene, <http://www.atsdr.cdc.gov/toxprofiles/tp3.html> (consulté en mars 2011).

CIRC (Centre International de Recherche sur le Cancer), 2007, Évaluation globale de la cancérigénicité pour l'Homme, liste de tous les agents évalués à ce jour, <http://monographs.iarc.fr/FR/Classification/crthall.php> (dernière consultation le 27/01/2009).

http://www.epa.gov/oppt/aegl/pubs/benzene_interim_dec_2008_v1.pdf (consulté en mars 2011).

EPA (Environmental Protection Agency), 2003, Benzen (CASRN 71-43-2), <http://www.epa.gov/ncea/iris/subst/0276.htm#carc> (consulté en mars 2011).

Santé Canada, 1993. Loi Canadienne sur la protection de l'environnement. Liste des substances d'intérêt prioritaire. Rapport d'évaluation. Benzène, 48 p.

Ineris (Institut National de l'Environnement Industriel et des Risques), 2006, Benzène, Fiche de données toxicologiques et environnementales des substances chimiques, 74 p.

INRS (Institut National de Recherche et de Sécurité), 2004, Benzène, Fiche toxicologique N°49, 8 p.

INRS (Institut National de Recherche et de Sécurité), juin 2008, Valeurs limites d'exposition professionnelle aux agents chimiques en France, ED 984, 23 p.

InVS (Institut de Veille Sanitaire), 2002, Valeurs Toxicologiques de Référence : Méthodes d'élaboration, 84 p.

InVS (Institut de Veille Sanitaire), septembre 2009. Description des valeurs repères toxicologiques utilisées lors d'expositions aiguës par inhalation des populations, p71.

IPCS-Inchem, 1993, Environmental Health Criteria 150 Benzene, <http://www.inchem.org/documents/ehc/ehc/ehc150.htm> (dernière consultation 27/01/09).

JOCE, 2004, Commission directive 2004/73/EC, 29ATP, Council Directive 67/548/EEC.

JOCE, 2008, regulations (EC) n°1278/2008 of the European parliament and of the council of 16 decembre 2008 on classification, labeling and packaging of substances and mixtures, amending and repealing directives 67/548/EEC and 1999/45/EEC and amending regulation (EC) 1907/2006.

OEHHA (Office of Environmental Health Hazard Assessment), Acute Reference Exposure Levels and toxicity summaries using the previous version of the Hot Spots Risk Assessment guidelines (OEHHA 1999) http://www.oehha.ca.gov/air/hot_spots/2008/AppendixD2_final.pdf#page=18 (consulté en décembre 2014).

OEHHA (Office of Environmental Health Hazard Assessment), Chronic Reference Exposure Levels and toxicity summaries using the previous version of the Hot Spots Risk Assessment guidelines (OEHHA 1999) http://www.oehha.ca.gov/air/hot_spots/2008/AppendixD3_final.pdf#page=24 (consulté en décembre 2014)

OEHHA (Office of Environmental Health Hazard Assessment), Air toxics hot spots risk assessment guideline. Chemical-specific summaries of the information used to derive unit risk and cancer potency values, http://www.oehha.ca.gov/air/hot_spots/2009/AppendixB.pdf (consulté en décembre 2014)

OEHHA (Office of Environmental Health Hazard Assessment), Proposed Reference Exposure Levels (RELs) for benzene, http://www.oehha.ca.gov/air/chronic_rels/012214SRPRev_RELs.html

OMS (Organisation Mondiale de la Santé), 2000, Air quality Guidelines for Europe, second edition, WHO Regional Publications, European Series, No. 91, 288 p.

RIVM (Rijksinstituut Voor Volksgezondheid), 2001, Re-evaluation of human-toxicological maximum permissible risk levels.

Chlorure d'hydrogène (N° CAS 7647-01-0) – REV 12/2014

I. Généralités

I.1. Identification

Le chlorure d'hydrogène est un gaz incolore, d'odeur âcre et irritante, facilement liquéfiable (INRS, 2010). Sa solution aqueuse (appelée acide chlorhydrique) possède une forte acidité et réagit avec la plupart des métaux, produisant un gaz d'hydrogène explosif (SIDS, 2002).

I.2. Utilisation

Le chlorure d'hydrogène (HCl) et l'acide chlorhydrique sont utilisés dans diverses industries (pharmaceutique, alimentaire, chimique, électronique, métallurgique...). HCl est un produit de base pour la fabrication de chlorures d'alkyles, de chlorure de vinyle... (INRS, 2010). L'acide chlorhydrique est l'un des produits chimiques industriels les plus utilisés, notamment pour le décapage et le nettoyage des métaux, dans la production de nombreux produits chimiques, dans le nettoyage d'équipements industriels... (IARC, 1992).

I.3. Sources d'exposition

Dans la nature, HCl se forme à partir d'atomes d'hydrogène et de chlore (fréquemment retrouvés dans l'environnement) à la surface des océans (à travers une réaction entre du sel de mer sous forme d'aérosol et du sulfate acide), lors d'éruptions volcaniques...

Les principales sources anthropiques d'émission de HCl sont les incinérateurs de déchets et les usines chimiques. Du HCl peut également être libéré lors de l'utilisation de produits de consommation (par exemple des produits d'entretien) contenant de l'acide chlorhydrique (SIDS, 2002).

I.4. Concentrations et comportements environnementaux

Les propriétés physico-chimiques du HCl indiquent qu'il est présent dans l'environnement sous forme aqueuse et gazeuse. Dans l'air, HCl peut exister sous forme gazeuse dans des conditions normales de température et de pression. Dans l'eau, HCl est très soluble et se dissout totalement en protons et ions chlorure pour former de l'acide chlorhydrique.

En raison de sa solubilité élevée et de ses propriétés de dissociation, on ne s'attend pas à ce que HCl s'accumule dans les organismes vivants. (SIDS, 2002).

Concentrations environnementales en chlorure d'hydrogène			
Milieu	Concentration	Caractéristique des mesures	Source
Air	-	-	-
Eau	41,1 mg/L (1,1 ; 64,8)	Concentration moyenne de chlorure (10 ^{ème} ; 90 ^{ème} percentiles) de 77 fleuves répartis sur les 5 continents ¹	UNEP ² , 1995
Aliment	-	-	-

I.5. Facteurs de conversion

1,49 mg.m⁻³ = 1 ppm (OEHA, 2008)

¹ La concentration de chlorure mesurée n'est pas uniquement due aux rejets de HCl dans l'environnement mais aussi à des paramètres géologiques et à la présence naturelle de chlorure.

² UNEP : United Nations Environment Programme.

2. Toxicité

2.1. Métabolisme

Chez les espèces animales comme chez l'homme, après inhalation ou ingestion de HCl, celui-ci se dissocie rapidement en ions H^+ et Cl^- . Ces derniers entrent ensuite dans le pool corporel et l'excédent est éliminé dans l'urine. Après ingestion, les effets locaux sont surtout dus à l'ion H^+ (déport local de protons, modification du pH). (INRS, 2010).

2.2. Toxicité aiguë

L'exposition par inhalation au HCl gazeux ou à des aérosols de solutions aqueuses provoque immédiatement des signes d'irritation des voies respiratoires. Dans une étude réalisée chez des ouvriers effectuant du décapage d'acier, les auteurs ont observé une absence d'effet irritatif à des concentrations de 3 à 4,5 $mg.m^{-3}$, un début d'irritation rapidement régressive à 5,2 $mg.m^{-3}$ et une irritation faible des voies aériennes pour des expositions de l'ordre de 7 à 11 $mg.m^{-3}$. A l'arrêt de l'exposition, la symptomatologie (rhinorrhée, éternuements, toux, dyspnée, douleur thoracique...) régresse le plus souvent, mais un œdème pulmonaire lésionnel peut survenir de façon retardée jusqu'à 48 h après l'exposition (INRS, 2010).

La contamination cutanée ou oculaire entraîne localement des brûlures chimiques dont la gravité est fonction de la concentration de la solution, de l'importance de la contamination et de la durée du contact. Selon la profondeur de l'atteinte cutanée, on peut observer un érythème chaud et douloureux, la présence de phytènes ou une nécrose. L'évolution peut se compliquer de surinfection, de séquelles esthétiques ou fonctionnelles (INRS, 2010).

L'ingestion d'une solution concentrée d'acide chlorhydrique est suivie de douleurs buccales, rétrosternales et épigastriques associées à une hypersialorrhée et des vomissements fréquemment sanglants. A court-terme, des complications peuvent survenir (perforation œsophagienne, hémorragie digestive, détresse respiratoire...). A long-terme, l'évolution est dominée par le risque de contusion de sténoses digestives, en particulier œsophagiennes ; il existe également un risque de cancérisation des lésions cicatricielles du tractus digestif (INRS, 2010). En pratique, dans une affaire de suicide il a été rapporté qu'une femme était décédée 29 heures après avoir ingéré 60 mL d'acide chlorhydrique 35%. Dans une autre étude, sur 3 cas d'ingestion d'acide chlorhydrique (volume et concentration inconnus) admis dans un hôpital indien, des cicatrices gastriques ont été observées (SIDS, 2002).

2.3. Toxicité chronique

2.3.1. Effets systémiques

L'exposition répétée par inhalation au HCl gazeux ou à des aérosols de solutions aqueuses peut entraîner des effets irritatifs comme des dermatites d'irritation et conjonctivites, des ulcérations de la muqueuse nasale et orale, des bronchites chroniques ou encore des érosions dentaires. Ces dernières ont été observées chez 34 des 38 ouvriers décapeurs dans une usine de galvanisation, exposés à de l'acide chlorhydrique à une concentration supérieure à 5 ppm pendant plus d'un quart de leur temps de travail (INRS, 2010).

Aucune étude chez l'homme ou chez l'animal n'a été retrouvée pour observer l'effet d'une exposition par voie cutanée (SIDS, 2002).

Concernant l'exposition orale, une étude chez le rat a montré qu'une exposition à plus de 937 mmol/kg de nourriture induisait une baisse de poids, de prise de nourriture, du pH sanguin, de la longueur du fémur et du taux de cendres dans les os. Dans une autre étude où de l'acide chlorhydrique était administré via l'eau de boisson (pH 2-3), une baisse du volume urinaire et du taux de protéines urinaires a été observée chez des rats exposés pendant 21 semaines (INRS, 2010 ; SIDS, 2002).

2.3.2. Effets cancérogènes

Chez l'animal, des études ont montré que l'exposition au HCl n'induisait pas d'effets cancérogènes (INRS, 2010).

Chez l'homme, tout d'abord, les auteurs de quelques études cas-témoin ont conclu qu'aucune association n'avait été trouvée entre l'exposition au HCl et certains cas de cancers (préleucémie, cancer du poumon, tumeurs intracrâniennes et cancer du rein). Ensuite, bien que d'autres études aient mis en évidence une augmentation du risque de cancer respiratoire ou pulmonaire due à une exposition au HCl, aucune conclusion n'a pu être tirée car l'effet de l'exposition à d'autres acides ou au tabac ne pouvait être exclue (SIDS, 2002). Finalement, dans une monographie, le CIRC (Centre International de Recherche sur le Cancer) a conclu qu'il y avait une preuve insuffisante de la cancérogénicité du HCl, chez l'homme et chez les animaux de laboratoire, et l'a classé dans le groupe 3 « L'agent est *inclassable quant à sa cancérogénicité pour l'homme* » (IARC, 1992).

Classement cancérogène du chlorure d'hydrogène	
Classement	Organisme
3	CIRC (1992)

2.3.3. Effets génotoxiques

L'Union Européenne n'a pas classé le chlorure d'hydrogène comme mutagène (JOCE, 1993 ; JOCE 2008).

In vitro, les tests bactériens (test d'Ames, recombinaison mitotique, mutation reverse) ont donné des résultats négatifs. Les tests non bactériens ont donné des résultats positifs à forte dose (test des aberrations chromosomiques utilisant des cellules ovariennes de hamster chinois, pH 5,3 - 5,5 ; test de mutation génique à des doses cytotoxiques, pH inférieur à 6,3, utilisant des cellules de lymphome de souris). Les résultats positifs ont été considérés comme des artefacts dus à un faible pH.

In vivo, des résultats positifs ont été obtenus dans un test de létalité récessive liée au sexe chez la drosophile par inhalation de vapeurs ou en nourrissant des larves avec la solution aqueuse. Toutefois, jusqu'à maintenant, aucune étude de mutagénicité n'a été menée chez des mammifères (INRS, 2010 ; SIDS, 2002).

2.3.4. Effets sur la reproduction et le développement

L'Union Européenne n'a pas classé le chlorure d'hydrogène comme reprotoxique (JOCE, 1993 ; JOCE, 2008).

Il n'y a pas de données humaines permettant d'évaluer les effets de l'exposition au HCl sur la reproduction (fertilité, développement). De tels effets ne semblent pas plausibles dans les conditions d'exposition professionnelle (INRS, 2010).

Chez l'animal, aucune étude fiable n'a été identifiée en ce qui concerne la reprotoxicité du HCl après une exposition orale, cutanée ou par inhalation. Toutefois, bien qu'elle ne soit pas appropriée pour l'évaluation, une étude a montré que HCl avait des effets sur la reproduction à des concentrations toxiques. En effet, des rates, exposées au chlorure d'hydrogène (450 mg.m⁻³ pendant 1 heure) soit 12 jours avant l'accouplement, soit au 9^{ème} jour de gestation, présentaient des signes de dyspnée sévère et de cyanose. L'exposition était létale pour un tiers des rates exposées (SIDS, 2002 ; OEHHA, 2008 ; INRS, 2010).

3. Valeurs toxicologiques de référence par voie respiratoire

3.1. VTR aiguë

▪ OEHHA, 2008 : 1,4 ppm (2,1 mg.m⁻³) / 1 heure

La VTR est établie à partir de l'étude de Stevens *et al.* (1992), dans laquelle des jeunes adultes asthmatiques (5 hommes et 5 femmes âgés de 18 à 25 ans) ont été exposés, pendant 45 minutes et à 3 reprises grâce à un demi-masque, à de l'air filtré contenant 0,8 ppm de HCl et 1,8 ppm de HCl. Le protocole d'exposition comportait 2 périodes d'exercice de 15 minutes séparées par une période de repos de 15 minutes. Des mesures de la fonction pulmonaire avant et après l'exposition ont été réalisées.

Aucun effet significatif n'a été observé sur la fonction pulmonaire ou le travail de la respiration nasale. Un NOAEL de 1,8 ppm (2,7 mg.m⁻³) a été estimé pour des **symptômes du système respiratoire supérieur (maux de gorge et écoulement nasal)**. Aucun facteur d'incertitude n'a été appliqué pour tenir compte de la variabilité inter-espèce puisque c'était une étude humaine, ni pour tenir compte des sous-populations sensibles puisque l'étude portait sur des personnes sensibles. L'étude portant sur une durée d'exposition de 45 minutes, un ajustement a été calculé (1,8ppm*0,75h=C*1h).

3.2. VTR sur 8 heures

Il n'a pas été retrouvé de VTR pour cette voie et cette durée d'exposition.

3.3. VTR intermédiaire

Il n'a pas été retrouvé de VTR pour cette voie et cette durée d'exposition.

3.4. VTR chronique

3.4.1. Effets non cancérigènes

▪ EPA, 1995 : 20 µg.m⁻³ (20 µg.m⁻³)

La VTR est établie à partir de l'étude de Sellakumar *et al.* (1985), qui a étudié l'exposition de rats à 10 ppm de HCl 6 heures par jour, 5 jours par semaine sur toute leur durée de vie. L'incidence de l'hyperplasie de la muqueuse nasale (62/99 vs 51/99), du larynx (22/99 vs 2/99) et de la trachée (26/99 vs 2/99) était plus élevée chez les rats exposés que chez les non-exposés. La VTR est basée sur des effets extra-thoraciques car il est prévu que les êtres humains soient plus sensibles aux effets du HCl à cet endroit.

Un LOAEL de 10 ppm (15 mg.m⁻³) a été estimé pour une **hyperplasie de la muqueuse nasale, du larynx et de la trachée**, correspondant à une concentration équivalente humaine de 6,1 mg.m⁻³. A cette concentration humaine, un facteur d'incertitude de 300 a été appliqué (3 pour la variabilité inter-espèces, 10 pour la variabilité humaine et 10 pour l'extrapolation d'un NOAEL à partir d'un LOAEL) afin d'obtenir la VTR (RfC).

▪ OEHHA, 2000 : 0,006 ppm (9 µg.m⁻³)

La VTR est établie à partir de l'étude de Sellakumar *et al.* (1985), qui a été décrite précédemment. Un LOAEL de 10 ppm (15 mg.m⁻³) a été estimé pour une **hyperplasie de la muqueuse nasale, du larynx et de la trachée**, correspondant à une concentration équivalente humaine de 0,57 ppm (0,85 mg.m⁻³). A cette concentration humaine, un facteur d'incertitude de 90 a été appliqué (3 pour la variabilité inter-espèces, 10 pour la variabilité humaine et 3 pour l'utilisation d'un LOAEL) afin d'obtenir la VTR (REL).

3.4.2. Effets cancérigènes

Il n'a pas été retrouvé de VTR pour ce type d'effets, cette voie et cette durée d'exposition.

4. Valeurs toxicologiques de référence par voie digestive

4.1. VTR aiguë

Il n'a pas été trouvé de VTR pour cette voie et cette durée d'exposition.

4.2. VTR intermédiaire

Il n'a pas été trouvé de VTR pour cette voie et cette durée d'exposition.

4.3. VTR chronique

4.3.1. Effets non cancérigènes

Il n'a pas été trouvé de VTR pour ce type d'effets, cette voie et cette durée d'exposition.

4.3.2. Effets cancérigènes

Il n'a pas été trouvé de VTR pour ce type d'effets, cette voie et cette durée d'exposition.

5. Choix des valeurs toxicologiques de référence

D'après la note d'information N°DGS/EAI/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 suivant : Anses, US-EPA, ATSDR, OMS/IPCS, Santé Canada, RIVM, OEHHHA, EFSA.

Par mesure de simplification, dans la mesure où il n'existe pas de méthode de choix faisant consensus, il est recommandé de sélectionner en premier lieu les VTR construites par l'ANSES même si des VTR plus récentes sont proposées par les autres bases de données. A ce stade de la sélection, NUMTECH considère les VGAI de l'Anses comme des VTR à part entière car fondée exclusivement sur des critères sanitaires¹ et pour une absence d'effet, comme une VTR. A défaut, si pour une substance une expertise nationale a été menée et a abouti à une sélection approfondie parmi les VTR disponibles, alors cette VTR doit être retenue, sous réserve que cette expertise ait été réalisée postérieurement à la date de parution de la VTR la plus récente.

En l'absence d'expertise nationale, la VTR à retenir correspond à la plus récente parmi les trois bases de données : US-EPA, ATSDR ou OMS sauf s'il est fait mention par l'organisme de référence que la VTR n'est pas basée sur l'effet survenant à la plus faible dose et jugé pertinent pour la population visée.

Si aucune VTR n'était retrouvée dans les 4 bases de données précédemment citées (Anses, US-EPA, ATSDR et OMS), la VTR la plus récente proposée par Santé Canada, RIVM, l'OEHHHA ou l'EFSA est utilisée.

¹ <https://www.anses.fr/fr/content/valeurs-guides-de-qualit%C3%A9-d%E2%80%99air-int%C3%A9rieur-vgai>

Chlorure d'hydrogène								
Choix des valeurs toxicologiques de référence selon la note DGS d'octobre 2014								
Voie d'exposition	Durée d'exposition	VTR	Temps d'exposition	Espèce	Effet critique (système cible)	Dose critique Type, valeur	Facteur d'incertitude	Référence
Respiratoire	Aiguë	2100 µg.m ⁻³	1h	H	Maux de gorge et d'écoulement nasal (système respiratoire)	NOAEL = 2,7 mg.m ⁻³	1	OEHHA 2008
	8h	-	-	-	-	-	-	-
	Intermédiaire	-	-	-	-	-	-	-
	Chronique – effets non cancérogènes	20 µg.m ⁻³	-	A	Hyperplasie de la muqueuse nasale, du larynx et de la trachée (système respiratoire)	LOAEL = 15 mg.m ⁻³	300	EPA, 1995
	Chronique – effets cancérogènes	-	-	-	-	-	-	-
Digestive	Aiguë	-	-	-	-	-	-	-
	Intermédiaire	-	-	-	-	-	-	-
	Chronique – effets non cancérogènes	-	-	-	-	-	-	-
	Chronique – effets cancérogènes	-	-	-	-	-	-	-

6. Valeurs d'exposition professionnelles

En France, aucune VME n'a été établie. Toutefois, celle de l'Union Européenne est la suivante : VME = 8 mg.m⁻³ (INRS, 2010)

En France, VLCT = 7,6 mg.m⁻³ (INRS, 2010)

7. Bibliographie

EPA (Environmental Protection Agency), IRIS Summary for Hydrogen Chloride, 1995, <http://www.epa.gov/iris/subst/0396.htm> (consulté en février 2012).

IARC (International Agency for Research on Cancer), Summaries and Evaluations Hydrochloric Acid, Vol. 54 p.189, 1992, <http://www.inchem.org/documents/iarc/vol54/03-hydrochloric-acid.html> (consulté en février 2012).

IARC (International Agency for Research on Cancer), Monographs on the Evaluation of Carcinogenic Risks to Humans, Volume 54, 1992, <http://monographs.iarc.fr/ENG/Monographs/vol54/index.php> (consulté en février 2012).

INRS (Institut National de Recherche et de Sécurité), 2010, Fiche toxicologique FT 13, Chlorure d'hydrogène et solutions aqueuses, 8p.

InVS (Institut de Veille Sanitaire), septembre 2009. Description des valeurs repères toxicologiques utilisées lors d'expositions aiguës par inhalation des populations, p71.

OEHHA (Office of Environmental Health Hazard Assessment), Acute Toxicity Summary, 2008, http://www.oehha.ca.gov/air/hot_spots/2008/AppendixD2_final.pdf#page=112 (consulté en décembre 2014).

OEHHA (Office of Environmental Health Hazard Assessment), Chronic Toxicity Summary, 2000, http://www.oehha.ca.gov/air/hot_spots/2008/AppendixD3_final.pdf#page=309 (consulté en décembre 2014).

SIDS (Screening Information Data Set), Hydrogen chloride, 2002, <http://www.inchem.org/documents/sids/sids/7647010.pdf> (consulté en février 2012).

Dioxines, furanes et polychlorobiphényles de type dioxine (N°CAS -) – REV 03/2021

I. Généralités

I.1. Identification

Le terme de « dioxines » est un nom générique qui désigne deux grandes catégories de composés, les polychlorodibenzodioxines (PCDD) et les polychlorodibenzofuranes (PCDF) qui appartiennent à la famille des hydrocarbures aromatiques polycycliques chlorés (HAPC). Les PCDD comptent 75 molécules différentes et les PCDF comptent 135 molécules différentes. Seules 17 molécules (7 PCDD et 10 PCDF), les plus toxiques et les plus présentes dans l'environnement et les organismes vivants sont généralement étudiées. Le composé le plus toxique est la 2,3,7,8-TCDD. Les autres composés qui ont des propriétés toxiques similaires à la 2,3,7,8-TCDD sont appelés « dioxin-like ».

Les polychlorobiphényles (PCB) comptent 209 molécules différentes, dont une partie a les mêmes affinités cellulaires que les dioxines, d'où leur appellation de PCB dioxin-like (PCB-DL). Seuls 12 PCB-DL, les plus toxiques et les plus présentes dans l'environnement et les organismes vivants sont généralement étudiés.

I.2. Utilisation

Les dioxines ne sont pas produites intentionnellement.

Les PCB sont des mélanges industriels fabriqués et utilisés en agriculture et dans l'industrie à partir des années 30 pour leurs propriétés isolantes (transformateurs électriques) et leur stabilité chimique et physique (huiles de coupe, encres, peinture). La production et l'utilisation des PCB sont interdites en France depuis 1987. Les mélanges de PCB ont le nom commercial d'Aroclor. On distingue plusieurs Aroclor en fonction du pourcentage pondéral de chlore qu'ils contiennent. Par exemple, l'Aroclor 1254 contient 54 % de chlore et est constitué à 95 % de tétra, penta et hexachlorobiphényles. Les 5 % restants sont des impuretés.

I.3. Sources d'exposition

Les dioxines sont produites au cours de processus thermiques, accidentels (incendies) ou intentionnels (incinération de déchets industriels, ménagers ou de jardin, combustion du bois) ou au cours de processus chimiques (traitement de la pâte à papier d'origine végétale, impuretés dans certains herbicides). Actuellement, les principales sources d'émission de dioxines sont l'incinération des déchets et la métallurgie.

Les PCB proviennent des molécules produites entre les années 1930 et 1987 (utilisation restreinte aux systèmes clos : transformateurs et condensateurs depuis 1970). C'est principalement par contamination de la nourriture (organismes aquatiques, produits carnés et laitiers) que la population générale est exposée aux PCB (OMS/IPCS, 1993).

I.4. Concentrations et comportements environnementaux

Les dioxines et les PCB-DL ont une grande stabilité chimique et physique et une faible biodégradabilité.

Dans l'air, les dioxines et PCB-DL sont sous forme particulaire. Elles peuvent être transportées sur de longues distances avant de retomber à la surface des sols et des milieux aquatiques.

Dans l'eau, les dioxines pénètrent par dépôt atmosphérique, érosion des sols ou rejets aqueux des industries utilisant du chlore. Les dioxines et PCB-DL s'associent à des particules en suspension et sédimentent. Elles peuvent être remises en suspension par des phénomènes physiques (vent, vagues, courant) ou biologiques (mouvements de la faune aquatique). Les niveaux de concentration dans l'eau sont généralement très faibles car les dioxines sont lipophiles. Les dioxines et les PCB se concentrent dans la chaîne alimentaire aquatique.

Les PCB sont relativement insolubles. Leur solubilité décroît avec le nombre croissant d'atomes de chlore.

Dans les sols, les dioxines pénètrent peu après dépôt (95 % est retrouvé dans les 10^{1^{ers}} centimètres) du fait de leur forte affinité pour les colloïdes du sol. Les concentrations de dioxines dans les sols reflètent une contamination à long terme. La demi-vie dans les sols est de plus de 10 ans. Les dioxines présentes dans les sols sont peu transférées vers les autres compartiments environnementaux.

Les PCB sont faiblement mobiles et persistants dans les sols. La volatilité est corrélée au nombre d'atomes de chlore : Moins le congénère est chloré, plus il aura tendance à se volatiliser.

Dans les végétaux, les dioxines sont déposées à la surface des feuilles, constituant une voie de contamination pour les animaux herbivores. Les concentrations de dioxines dans les végétaux reflètent une contamination de faible antériorité.

Pour les PCB, le prélèvement racinaire est limité du fait de la forte rétention par les sols organiques et argileux. Par contre sur certains types de végétaux comme les carottes, l'accumulation des PCB peut être importante du fait de l'adhésion de particules du sol au niveau des racines ou la fixation des composés lipophiles sur certains épidermes riches en lipides. La voie de transfert la plus significative est due aux dépôts humides, ce sont donc les végétaux ayant les surfaces aériennes les plus importantes qui sont les plus exposés (laitues) aux PCB (Ineris, 2005).

Concentrations environnementales en dioxines et PCB-DL			
Milieu	Concentration	Caractéristique des mesures	Source
Air	zone rurale : 1-70 fg.m ⁻³ zone urbaine : 0-810 fg.m ⁻³	Allemagne, 1992 ; Angleterre, 1991- 1996 ; Belgique, 1993 ; Pays-Bas, 1991-1993 ; Autriche, 1996	INSERM, 2000
Eau	< 1 pg.L ⁻¹ (sauf OCDD : 1-100 pg.L ⁻¹)	-	InVS, 2006
Sol	zone rurale : 0,02 à 1 ng.kg ⁻¹ zone urbaine : 0,2 à 17 ng.kg ⁻¹	France, 1999	INSERM, 2000

1.5. Facteurs de conversion

Aucun facteur de conversion n'a été trouvé dans la littérature.

2. Toxicité

2.1. Métabolisme

La principale source d'exposition est l'alimentation humaine (90 % des apports en dioxines), essentiellement les aliments riches en graisse animale tels que les poissons, les crustacés, le lait et les produits laitiers, les œufs et la viande. D'une façon générale, les poissons et autres produits de la mer sont plus contaminés que les animaux terrestres mais la variabilité de la contamination entre les différents échantillons est particulièrement importante pour les produits de la pêche.

L'exposition moyenne chez les adultes est estimée à 53,7 pg TEQ_{OMS}.kg⁻¹ PC.mois⁻¹, soit 1,8 pg TEQ_{OMS} kg⁻¹ PC.jour⁻¹ et chez les enfants, à 82,7 pg TEQ_{OMS}.kg⁻¹ PC.mois⁻¹, soit 2,8 pg TEQ_{OMS} kg⁻¹ PC.jour⁻¹. Ce niveau plus important pour les enfants de 3-14 ans est à mettre en rapport avec le niveau de consommation alimentaire plus important proportionnellement au poids corporel. Les niveaux d'exposition alimentaire calculés pour les dioxines et les PCB-DL pris ensemble pour la vie entière sont inférieurs à la dose mensuelle tolérable de 70 pg TEQ_{OMS} kg⁻¹ PC.mois⁻¹ pour la moyenne de la population. Cependant, 28 % de la population ont une exposition supérieure à la DMTP, rapportée à la vie entière.

Chez l'Homme, les molécules s'accumulent préférentiellement dans le foie, et le tissu adipeux. L'élimination est réalisée par les selles et le lait maternel. La demi-vie des dioxines chez l'Homme est de 7 ans. La demi-vie des PCB-DL chez l'Homme est de 5,5 à 11 ans.

2.2. Toxicité aiguë

Des effets respiratoires ont été observés chez des travailleurs Allemands exposés accidentellement de façon massive à la 2,3,7,8-TCDD. Les effets types bronchite et laryngite sont apparus quelques jours après l'exposition et des hémorragies pleurétiques sont apparus 11 mois après l'exposition accidentelle (ATSDR, 1998).

Cependant, dans la majorité des expositions accidentelles à la 2,3,7,8-TCDD, les effets observés sont de type dermatologiques (chloracné).

Pour les PCB, seules des données expérimentales existent. Les symptômes sont de l'acné, des irritations cutanées, des atteintes oculaires, des atteintes hépatiques et hématologiques (INRS, 2007).

2.3. Toxicité chronique

2.3.1. Effets non cancérigènes

Les études humaines sont principalement des études en milieu professionnel et des études sur l'exposition des vétérans du Vietnam et de la population vietnamienne à l'agent Orange. Les travailleurs et les vétérans du Vietnam ont été exposés à la 2,3,7,8-TCDD par voie respiratoire ou cutané. Dans toutes ces études la voie d'exposition des populations est souvent non mentionnée ainsi que le niveau d'exposition. Le principal effet observé lié à une exposition à la 2,3,7,8-TCDD est le chloracné (affection cutanée observée après une exposition aiguë à forte dose). D'autres effets ont été mis en évidence au niveau du foie (augmentation transitoire des enzymes hépatiques) et au niveau métabolique (altération du métabolisme du glucose et altération de la fonction thyroïdienne) (ATSDR, 1998). Concernant les PCB, des cas d'ingestion répétée d'aliments contaminés entraînent de l'acné, des atteintes oculaires, des atteintes digestives et neurologiques.

2.3.2. Effets cancérigènes

Il est montré de faibles excès de risques tous cancers confondus d'après l'étude de l'exposition de populations professionnelles. Certaines études montrent des risques accrus de cancers spécifiques (lymphomes, myélomes multiples, sarcomes des tissus mous, cancers du poumon, cancers du foie) (ATSDR, 1998). En deçà d'un certain niveau d'exposition, le risque cancérogène serait négligeable (OMS, 2010).

Des tumeurs digestives, hépatiques, cutanées et des leucémies ont été observées mais les études épidémiologiques en milieu professionnel relatives à une exposition aux PCB n'ont pas mis en évidence d'augmentation significative pour les populations exposées (INRS, 2007).

Classements cancérigènes des dioxines		
Composé	Classement	Organisme
2,3,7,8-TCDD	I	CIRC (1997)
Autres PCDD et PCDF	3	CIRC (1997)
Polychlorobiphényles (PCB)	2A	CIRC (1987)
	B2	EPA (1997)

2.3.3. Effets génotoxiques

L'Union Européenne n'a pas étudié le caractère génotoxique des dioxines et furane et n'a pas classé les PCB comme génotoxiques (JOCE, 2008).

Les dioxines n'altèrent pas le patrimoine génétique (OMS, 2010) et les tests relatifs à la génotoxicité des PCB sont le plus souvent négatifs (INERIS, 2005). Les dioxines et les PCB sont donc considérés comme non génotoxiques et donc avec des effets à seuil de dose.

2.3.4. Effets sur la reproduction et le développement

L'Union Européenne n'a pas étudié le caractère reprotoxique des dioxines et furane et n'a pas classé les PCB comme reprotoxique (JOCE, 2008).

Le fœtus en développement est le plus sensible à l'exposition à la dioxine. Le nouveau-né, dont les systèmes organiques se développent rapidement, pourrait également être plus vulnérables à certains effets (OMS, 2010).

Les enfants de femmes ayant consommés des aliments contaminés aux PCB et à d'autres substances au cours de la grossesse présentent des anomalies au niveau de la peau et des phanères (INRS, 2007).

3. Valeurs toxicologiques de référence par voie respiratoire

3.1. VTR aiguë

Il n'a pas été retrouvé de VTR aiguë dans la littérature consultée.

3.2. VTR sur 8 heures

Il n'a pas été retrouvé de VTR 8h dans la littérature consultée.

3.3. VTR intermédiaire

Il n'a pas été retrouvé de VTR intermédiaire dans la littérature consultée.

3.4. VTR chronique

3.4.1. Effets non cancérigènes

▪ OEHHA, 2000 : 40 $\mu\text{g.m}^{-3}$ (dioxines et furanes)

Cette valeur a été déterminée par extrapolation à partir de la dose de référence établie pour l'exposition par voie orale par l'OEHHA (10 $\mu\text{g.kg}^{-1}.\text{jour}^{-1}$ soit 3500 $\mu\text{g.m}^{-3}$ pour 1 $\text{mg.kg}^{-1}.\text{j}^{-1}.\text{jour}$). Cette valeur par voie orale a été déterminée à partir de l'étude de Kociba *et al.* (1978) réalisée chez des rats Sprague-Dawley mâles et femelles exposés à des doses pendant 2 ans. Les effets critiques étaient un **accroissement de la mortalité, une perte de poids, une diminution des paramètres hématologiques, une augmentation de l'excrétion urinaire de porphyrines et d'acide delta-aminolevulinique, une augmentation de l'activité sérique de la phosphatase alcaline, de la transférase gamma-glutamyl et de la transaminase glutamique-pyruvique et des changements histopathologiques dans le foie, les tissus lymphoïdes, les poumons et les tissus vasculaires**. Le NOAEL observé était de 1 $\text{ng.kg}^{-1}.\text{jour}^{-1}$, auquel a été appliqué un facteur 100 (10 pour la variabilité inter-espèce et 10 pour la variabilité intra-espèce).

▪ Expertise Ineris, 2015 : 4.10⁻⁵ $\mu\text{g TEQ.m}^{-3}$ (OEHHA, 2000)

3.4.2. Effets cancérigènes

▪ OEHHA, 2009 : différentes VTR pour les congénères des dioxines et furanes

Congénères des dioxines	Unit risk ($\mu\text{g.m}^{-3}$) ⁻¹
2,3,7,8-Tetrachlorodibenzo-p-dioxine	38
1,2,3,7,8-Pentachlorodibenzo-p-dioxine	38
1,2,3,4,7,8-Hexachlorodibenzo-p-dioxine	3,8
1,2,3,6,7,8-Hexachlorodibenzo-p-dioxine	3,8
1,2,3,7,8,9-Hexachlorodibenzo-p-dioxine	3,8
1,2,3,4,6,7,8-Heptachlorodibenzo-p-dioxine	0,38
1,2,3,4,5,6,7,8-Octachlorodibenzo-p-dioxine	0,0038
Congénères des furanes	Unit risk ($\mu\text{g.m}^{-3}$) ⁻¹
2,3,7,8-Tetrachlorodibenzofurane	3,8
1,2,3,7,8-Pentachlorodibenzofurane	1,9
2,3,4,7,8-Pentachlorodibenzofurane	19
1,2,3,4,7,8-Hexachlorodibenzofurane	3,8
1,2,3,6,7,8-Hexachlorodibenzofurane	3,8
1,2,3,7,8,9-Hexachlorodibenzofurane	3,8
2,3,4,6,7,8-Hexachlorodibenzofurane	3,8
1,2,3,4,6,7,8-Heptachlorodibenzofurane	0,38
1,2,3,4,7,8,9-Heptachlorodibenzofurane	0,38
1,2,3,4,5,6,7,8-Octachlorodibenzofurane	0,0038

Les VTR sont dérivées de 2 études de cancérogénèse du NTP. La 1^{ère} étude (NTP, 1982) porte sur l'exposition de souris mâle à de la TCDD par gavage pour des **adenomes/carcinomes hépatocellulaires**. La seconde étude (NTP, 1980) porte sur l'exposition de rats femelles à de l'HexaCDD par gavage pour l'apparition de **nodules néoplasiques et de carcinomes hépatocellulaires**. Un certain nombre d'hypothèses ont été posées et

l'utilisation de modèles à multi-niveaux ont permis de convertir les données d'exposition animales en données d'exposition équivalentes humaines.

- **Expertise Ineris, 2013 : aucune VTR sans seuil retenue**

4. Valeurs toxicologiques de référence par voie digestive

4.1. VTR aiguë

- **ATSDR, 1998 : $2 \cdot 10^{-4} \mu\text{g.kg}^{-1}.\text{j}^{-1}$ (2,3,7,8-TCDD) / I-14j**

La VTR est établie à partir de l'étude de Burleson *et al* (1986) qui a porté sur l'exposition par gavage de groupes de souris (n=20) B6C3F1 à des concentrations de 0, 0,001, 0,005, 0,01, 0,05 et 0,1 $\mu\text{g.kg}^{-1}.\text{j}^{-1}$. Un NOAEL de 0,005 $\mu\text{g.kg}^{-1}.\text{j}^{-1}$ a été déterminé pour une **diminution de la résistance au virus influenza A** auquel a été appliqué un facteur d'incertitude de 30 (3 pour l'extrapolation des données animales à l'homme et 10 pour la variabilité humaine).

- **Expertise Ineris, 2013 :**
 - **$2 \cdot 10^{-4} \mu\text{g.kg}^{-1}.\text{j}^{-1}$ (2,3,7,8-TCDD) / I-14j (ATSDR, 1998)**
 - **$1 \cdot 10^{-3} \mu\text{g.kg}^{-1}.\text{j}^{-1}$ (2,3,4,7,8-PeCDF) / I-14j (ATSDR, 1994)**

4.2. VTR intermédiaire

- **ATSDR, 2004 : $2 \cdot 10^{-5} \mu\text{g.kg}^{-1}.\text{j}^{-1}$ (2,3,7,8-TCDD) / I5-365j**

La VTR est établie à partir de l'étude de DeCaprio *et al* (1986) qui a porté sur l'exposition via l'alimentation de groupes de cochon guinée (n=20) à des concentrations de 0,0001, 0,0007, 0,05 et 0,028 $\mu\text{g.kg}^{-1}.\text{j}^{-1}$ de 2,3,7,8-TCDD pendant 90j. Un NOAEL de 0,0007 $\mu\text{g.kg}^{-1}.\text{j}^{-1}$ a été déterminé pour une **diminution du poids du thymus** auquel a été appliqué un facteur d'incertitude de 30 (3 pour l'extrapolation des données animales à l'homme et 10 pour la variabilité humaine).

- **Expertise Ineris, 2013 :**
 - **$2 \cdot 10^{-5} \mu\text{g.kg}^{-1}.\text{j}^{-1}$ (2,3,7,8-TCDD) (ATSDR, 1998)**
 - **$3 \cdot 10^{-5} \mu\text{g.kg}^{-1}.\text{j}^{-1}$ (2,3,4,7,8-PeCDF) (ATSDR, 1998)**

4.3. VTR chronique

4.3.1. Effets non cancérogènes

- **RIVM, 2001 : 1-4 $\text{pg.kg}^{-1}.\text{j}^{-1}$ (dioxines, furanes et PCB coplanaires)**

Cette VTR reprend l'ancienne VTR de l'OMS (1998). Pour mémoire, L'OMS a fixé en 1998, une dose journalière tolérable (DJT) de 1 à 4 pg/kg/j , 4 étant la DJT à respecter et 1 l'objectif à atteindre. Cette dose a été établie à partir d'un LOAEL de 14 à 37 pg/kg/j pour des **effets neurocomportementaux, des endométrioses chez les progénitures des singes, une baisse de la quantité de sperme, une immunosuppression et une augmentation des malformations congénitales chez les progénitures** des rats exposés. Ces résultats sont issus de 5 études expérimentales animales qui avaient permis de définir quelle était la charge corporelle nécessaire à l'apparition de l'effet critique. Ces charges corporelles ont ensuite été transposées chez l'Homme en doses quotidiennes en tenant compte de la demi-vie des dioxines chez l'Homme (7,5 ans). Les doses humaines correspondant aux charges corporelles ont été calculées sous l'hypothèse d'un état d'équilibre de la charge corporelle. Les valeurs obtenues variaient, selon l'étude, de 37 à 14 pg TEQ/kg pc/j . Seul un facteur 10 a été rajouté (amenant aux valeurs de 1 à 4 pg/kg de pc/j) à ces valeurs car, pour l'OMS, l'usage de charges corporelles a permis de s'affranchir des différences de toxicocinétique, la sensibilité de l'Homme était au plus celle de l'animal et seul a été pris en compte le fait que les études étaient basées sur des doses minimales entraînant un effet nocif observé (DMENO) et non des doses sans effet nocif observé (DSENO).

Depuis 2002, cette VTR a été revue par l'OMS.

- **OEHA, 2000 : 10 $\text{pg.kg}^{-1}.\text{j}^{-1}$ (2,3,7,8-TCDD)**

Cette valeur par voie orale a été déterminée à partir de l'étude de Kociba *et al*. (1978) réalisée chez des rats Sprague-Dawley mâles et femelles exposés à des doses de 2,3,7,8-TCDD pendant 2 ans. Les effets critiques étaient un **accroissement de la mortalité, une perte de poids, une diminution des paramètres hématologiques, une augmentation de l'excrétion urinaire de porphyrines et d'acide delta-aminolevulinique, une**

augmentation de l'activité sérique de la phosphatase alcaline, de la transférase gamma-glutamyl et de la transaminase glutamique-pyruvique et des changements histopathologiques dans le foie, les tissus lymphoïdes, les poumons et les tissus vasculaires. Le NOAEL observé était de $1 \text{ ng.kg}^{-1}.\text{jour}^{-1}$, auquel a été appliqué un facteur 100 (10 pour la variabilité inter-espèce et 10 pour la variabilité intra-espèce).

▪ **ATSDR, 1998 : $1 \text{ pg.kg}^{-1}.\text{j}^{-1}$ (2,3,7,8-TCDD)**

Cette valeur est basée sur un LOAEL de $0,12 \text{ ng.kg}^{-1}.\text{j}^{-1}$ pour des **effets sur le développement mental (interactions sociales altérées) de progénitures** de 8 singes Rhesus femelles exposées par l'alimentation à 0, 5 25 ppt pendant environ 16 mois, de avant la conception, jusqu'à la lactation (Schantz *et al.*, 1992). Un facteur d'incertitude de 90 a été appliqué (3 pour l'utilisation d'un LOAEL, 3 pour une extrapolation de l'animal à l'Homme et 10 pour tenir compte de la variabilité humaine).

▪ **Santé Canada, 1990 : $10 \text{ pg TEQ.kg}^{-1}.\text{j}^{-1}$ (dioxines et furanes)**

Cette valeur est basée sur les résultats de deux études montrant qu'à la dose quotidienne de 1 ng/kg sur toute la vie, la 2,3,7,8-TCDD n'a pas d'effet sur l'incidence du cancer chez les rongeurs (IARC, 1987) et n'influe pas **sur la fertilité, l'importance des portées, la résorption des fœtus** et la physiologie des rats exposés à cette dose pendant trois générations (Murray *et al.*, 1979). Santé Canada considère que cette dose correspond à la concentration sans effet nocif observé de la 2,3,7,8-TCDD. Un facteur d'incertitude de 100 a été appliqué pour la variabilité inter et intra-spécifique.

▪ **OMS/IPCS, 2001 : $70 \text{ pg.kg}^{-1}.\text{mois}^{-1}$ (dioxines, furanes et PCB dioxin-like) (provisoire)**

Depuis 15 ans, la valeur toxicologique de référence a évolué. En 1990, l'OMS avait fixé une dose journalière tolérable (DJT) de 10 picogrammes par kilogramme de poids corporel et par jour ($10 \text{ pg.kg}^{-1}.\text{PC.j}^{-1}$) qui ne concernait que les dioxines. En 1998, l'OMS a fixé une DJT de 1 à 4 pg TEQ OMS.kg⁻¹ PC.j⁻¹ qui comprenait les dioxines et les PCB-DL. Depuis 2001, la valeur de référence est une dose mensuelle tolérable de $70 \text{ pg TEQ OMS.kg}^{-1} \text{ PC mois}^{-1}$ (soit $2,33 \text{ pg TEQ OMS.kg}^{-1}.\text{PC.j}^{-1}$) proposée par le JECFA (Joint Expert Committee on Food and Additives, comité conjoint FAO/OMS). Elle représente la médiane de 4 DMTP dérivées de 2 modèles d'extrapolation (l'un linéaire et l'autre non) appliqué à 2 études (Ohsako *et al.*, 2001 ; Faqi *et al.*, 1998). Les modèles permettent d'extrapoler la charge maternelle en dioxines après une ingestion unique à la charge attendue après une exposition multiple. Il y est appliqué un facteur de sécurité propre à chaque étude. Les effets rapportés dans les études d'Ohsako *et al.*, 2001 et Faqi *et al.*, 1998 portent sur le **système reproductif et développemental**.

Cette VTR est applicable à l'ingestion de PCDD, de PCDF et de PCB-DL exprimés en TEF_{OMS} (facteur d'équivalence toxique) (JECFA, 2002).

▪ **Afssa, 2007 :**

○ **20 ng/kg/j – 209 congénères PCB-NDL**

○ **10 ng/kg/j – 6 congénères PCB-NDL (PCB-28, 52, 101, 138, 153, 180)**

Concernant les PCB-NDL, parmi les effets les plus critiques rapportés chez l'animal adulte (rat sevré) avec des congénères individuels (PCB 28, 128 et 153), on observe des **effets neurotoxiques, des effets sur la thyroïde et des effets hépatotoxiques**. La dose sans effet hépatotoxique nocif observé (DSENO ou NOAEL en anglais) rapportée pour le PCB 153 dans une étude de 90 jours chez le rat est de $34 \text{ µg/kg p.c./jour}$ (Chu *et al.*, 1996). Les études toxicologiques menées chez le singe aux stades précoces de l'organogenèse avec des mélanges de congénères représentatifs des profils retrouvés dans l'environnement et dans le lait humain ont toutefois mis en évidence que des effets sur le développement cérébral des fœtus pouvaient être induits à des doses inférieures à celles observées chez l'animal adulte. Ces données ont donc été retenues comme étant les plus pertinentes pour la construction de la valeur toxicologique de référence (VTR) de $20 \text{ ng/kg p.c./jour}$ établie pour les 209 congénères de PCB (cf. valeur retenue par le RIVM (Pays-Bas) en 2001; proposée par l'OMS au cours du «2nd PCB workshop» de Brno (République Tchèque, mai 2002), puis par l'Afssa en France en 2003). Cette VTR considère un facteur de sécurité de 6 pour tenir compte de l'incertitude et de la variation intra-spécifique.

Sachant par ailleurs que la somme de 6 ou 7 congénères de PCB les plus fréquemment retrouvés dans les matrices alimentaires (PCB 28, 52, 101, 118, 138, 153 et 180) représente environ 50 % de l'ensemble des congénères présents, une DJT de $10 \text{ ng/kg p.c./jour}$ a été retenue par l'Afssa pour ce groupe de 6 ou 7 congénères (cf. démarche du RIVM pour estimer le risque lié à l'exposition alimentaire aux PCB-NDL).

▪ **EPA, 2012 : $7.10^{-10} \text{ mg.kg}^{-1}.\text{j}^{-1}$ (2,3,7,8-TCDD)**

Cette VTR est déduite de deux études de Mocarelli *et al.* réalisées en 2008 et 2011 portant sur des **réductions des concentrations de spermatozoïdes** chez les sujets exposés à la TCDD in utero et par l'allaitement. Des effets similaires ont été observés chez les hommes (2008) et chez les rats (2011).

Pour les deux études, la modélisation PBPK a été utilisée pour estimer les prises orales quotidiennes de TCDD. La modélisation PBPK supplémentaire a été réalisée pour Mocarelli *et al.* (2008) pour tenir compte du profil temporel de la LASC (lipid adjusted serum concentrations), caractérisée par une forte exposition initiale suivie d'une lente élimination de la TCDD sur une période moyenne de 3 ans. Le groupe de faible exposition (TCDD LASC = 68 ppt) a été désigné comme une DMENO et a permis de déterminer un LOAEL de 0,020 ng / kg par jour. La DMENO a été calculée comme la moyenne de l'apport d'exposition sur une fenêtre d'exposition critique de la sensibilité de 10 ans (les 10 premières années de la vie).

Un facteur d'incertitude de 30 a été utilisé comme suit : un facteur de 10 pour passer d'un LOAEL à un NOAEL et un facteur de 3 pour tenir compte de la variabilité interhumaine (intraespèce).

- **Expertise Ineris, 2013 : $7.10^{-7} \mu\text{g TEQ.kg}^{-1}.\text{j}^{-1}$ (2,3,7,8-TCDD) (USEPA, 2012)**

- **Expertise Anses, 2016 :**

- **10 ng/kg/j (Afssa, 2007) – 6 congénères de PCB-NDL**
- **0.7 pg TEQ OMS.kg⁻¹.j⁻¹ (USEPA, 2012) – Dioxines-furanes**

Dans son rapport relatif à l'Alimentation Totale Infantile, l'Anses a retenu la VTR de l'EPA pour des **effets sur la reproduction et le développement**.

4.3.2. Effets cancérogènes

- **OEHA, 2009 : $130\ 000 (\text{mg.kg}^{-1}.\text{j}^{-1})^{-1}$**

Cette VTR est déduite de deux études effectuées par le NTP en 1980 et 1982 sur des souris et des rats qui ont été gavés soit à de la TCDD (1982), soit à des congénères d'hexaCDD (1980). Les doses d'exposition ont varié entre 0,01 et 10 µg/kg/semaine en fonction des groupes d'animaux et de leur sexe. Des relations significatives ont été obtenues pour des effets sur la thyroïde et sur le foie (adéno-carcinomes hépatocellulaires). Les données sur l'exposition des animaux (NTP, 1980, 1982) ont été adaptées pour une exposition humaine. Aucun coefficient d'incertitude permettant d'extrapoler les résultats obtenus sur les animaux à l'homme n'est présenté.

Congénères des dioxines	Slope factor ($\text{mg.kg}^{-1}.\text{j}^{-1})^{-1}$
2,3,7,8-Tetrachlorodibenzo-p-dioxine	$1,3.10^{+5}$
1,2,3,7,8-Pentachlorodibenzo-p-dioxine	$1,3.10^{+5}$
1,2,3,4,7,8-Hexachlorodibenzo-p-dioxine	$1,3.10^{+4}$
1,2,3,6,7,8-Hexachlorodibenzo-p-dioxine	$1,3.10^{+4}$
1,2,3,7,8,9-Hexachlorodibenzo-p-dioxine	$1,3.10^{+4}$
1,2,3,4,6,7,8-Heptachlorodibenzo-p-dioxine	$1,3.10^{+3}$
1,2,3,4,5,6,7,8-Octachlorodibenzo-p-dioxine	$1,3.10^{+1}$
Congénères des furanes	Slope factor ($\text{mg.kg}^{-1}.\text{j}^{-1})^{-1}$
2,3,7,8-Tetrachlorodibenzofurane	$1,3.10^{+4}$
1,2,3,7,8-Pentachlorodibenzofurane	$6,5.10^{+3}$
2,3,4,7,8-Pentachlorodibenzofurane	$6,5.10^{+4}$
1,2,3,4,7,8-Hexachlorodibenzofurane	$1,3.10^{+4}$
1,2,3,6,7,8-Hexachlorodibenzofurane	$1,3.10^{+4}$
1,2,3,7,8,9-Hexachlorodibenzofurane	$1,3.10^{+4}$
2,3,4,6,7,8-Hexachlorodibenzofurane	$1,3.10^{+4}$
1,2,3,4,6,7,8-Heptachlorodibenzofurane	$1,3.10^{+3}$
1,2,3,4,7,8,9-Heptachlorodibenzofurane	$1,3.10^{+3}$
1,2,3,4,5,6,7,8-Octachlorodibenzofurane	$1,3.10^{+1}$

- **Expertise OMS : aucune VTR sans seuil**

Les dioxines ont un effet cancérogène mais n'affectent pas l'ADN des personnes exposées, par conséquent, elles peuvent être considérées comme des concérigènes à seuil de dose (IARC, 2012)

- **Expertise Ineris, 2015 : aucune VTR sans seuil retenue**

5. Choix des valeurs toxicologiques de référence

D'après la note d'information N°DGS/EAI/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 suivant : Anses, US-EPA, ATSDR, OMS/IPCS, Santé Canada, RIVM, OEHHA, EFSA.

Par mesure de simplification, dans la mesure où il n'existe pas de méthode de choix faisant consensus, il est recommandé de sélectionner en premier lieu les VTR construites par l'ANSES même si des VTR plus récentes sont proposées par les autres bases de données. A ce stade de la sélection, NUMTECH considère les VGAI de l'Anses comme des VTR à part entière car fondée exclusivement sur des critères sanitaires¹ et pour une absence d'effet, comme une VTR. A défaut, si pour une substance une expertise nationale a été menée et a abouti à une sélection approfondie parmi les VTR disponibles, alors cette VTR doit être retenue, sous réserve que cette expertise ait été réalisée postérieurement à la date de parution de la VTR la plus récente.

En l'absence d'expertise nationale, la VTR à retenir correspond à la plus récente parmi les trois bases de données : US-EPA, ATSDR ou OMS sauf s'il est fait mention par l'organisme de référence que la VTR n'est pas basée sur l'effet survenant à la plus faible dose et jugé pertinent pour la population visée.

Si aucune VTR n'était retrouvée dans les 4 bases de données précédemment citées (Anses, US-EPA, ATSDR et OMS), la VTR la plus récente proposée par Santé Canada, RIVM, l'OEHHA ou l'EFSA est utilisée.

¹ <https://www.anses.fr/fr/content/valeurs-guides-de-qualit%C3%A9-d%E2%80%99air-int%C3%A9rieur-vgai>

Dioxines, furanes et PCB Choix des valeurs toxicologiques de référence selon la note DGS 2014							
Voie d'exposition	Durée de l'exposition	VTR	Temps d'exposition	Espèce	Effet critique	Facteur d'incertitude	Référence
Respiratoire	Aiguë	-	-	-	-	-	-
	8h	-	-	-	-	-	-
	Intermédiaire	-	-	-	-	-	-
	Chronique – effets non cancérogènes (Dioxines et furanes)	$4.10^{-5} \mu\text{g.m}^{-3}$	-	A	Effets sur les systèmes digestif, reproductif et développemental, endocrinien, respiratoire, hématopoïétique	100	Expertise Ineris, 2013 (OEHHA, 2000)
	Chronique – effets cancérogènes (2,3,7,8-TCDD)	Aucune retenue	-				Expertise Ineris, 2013
Digestif	Aiguë (2,3,7,8-TCDD)	$2.10^{-4} \mu\text{g.kg}^{-1}.\text{j}^{-1}$	1-14j	A	Effet sur le système respiratoire et	30	Expertise Ineris, 2013 (ATSDR, 1998)
	Aiguë (2,3,4,7,8-PeCDF)	$1.10^{-3} \mu\text{g.kg}^{-1}.\text{j}^{-1}$	1-14j	A	Effet sur le système immunitaire	3000	Expertise Ineris, 2013 (ATSDR, 1994)
	Intermédiaire (2,3,7,8-TCDD)	$2.10^{-5} \mu\text{g.kg}^{-1}.\text{j}^{-1}$	15-365j	A	Diminution du poids du thymus	30	Expertise Ineris, 2013 (ATSDR, 1998)
	Intermédiaire (2,3,4,7,8-PeCDF)	$3.10^{-5} \mu\text{g.kg}^{-1}.\text{j}^{-1}$	15-365j	A	Effets hépatiques	3000	Expertise Ineris, 2013 (ATSDR, 1994)
	Chronique – effets non cancérogènes : 2,3,7,8-TCDD et PCB DL	$7.10^{-7} \mu\text{gTEQ OMS.kg}^{-1}.\text{j}^{-1}$	-	H	Effets sur la reproduction et le développement	30	Expertise Anses, 2016 (USEPA, 2012)
	Chronique – effets non cancérogènes : 6 PCB NDL	$10 \text{ ng.kg}^{-1}.\text{j}^{-1}$	-	H	effets neurotoxiques, des effets sur la thyroïde et des effets hépatotoxiques	6	Expertise Anses, 2016 (Afssa, 2007)
	Chronique – effets cancérogènes (TCDD)	Aucune retenue	-				Expertise Ineris, 2013

6. Valeurs d'exposition professionnelles

Il n'existe pas de valeurs limites d'exposition professionnelles.

7. Bibliographie

- Afssa, Avis de l'Agence française de sécurité sanitaire des aliments relatif à l'établissement de teneurs maximales pertinentes en polychlorobiphényles qui ne sont pas de type dioxine (PCB « non dioxin-like », PCB-NDL) dans divers aliments, 2007. Disponible sous <https://www.anses.fr/fr/content/avis-de-l%E2%80%99agence-fran%C3%A7aise-de-s%C3%A9curit%C3%A9-sanitaire-des-aliments-relatif-%C3%A0-l%C3%A9tablissement-de-0> (consulté en mai 2018)
- Afssa, AVIS de l'Agence française de sécurité sanitaire des aliments relatif à la détermination d'une valeur limite en polychlorobiphényles dans les eaux destinées à la consommation humaine, 2009. Disponible sous <https://www.anses.fr/fr/system/files/EAUX2008sa0104.pdf> (consulté en mai 2018)
- AFSSA (Agence Française de Sécurité Sanitaire des Aliments), 2006, Dioxines, furanes et PCB de type dioxine : Evaluation de l'exposition de la population française. Questions/Réponses, <http://www.afssa.fr/Ftp/Afssa/34612-34613.pdf> (consulté le 02/10/07).
- ATSDR (Agency for Toxic Substances and Disease Registry), 2000, Toxicological profile for polychlorinated biphenyls (PCBs), (consulté en septembre 2012).
- ATSDR (Agency for Toxic Substances and Disease Registry), 2000, Toxicological profile for polychlorinated biphenyls (PCBs), www.atsdr.cdc.gov/toxprofiles/tp104.pdf (consulté en septembre 2012).
- EPA (Environmental Protection Agency). 1997, polychlorinated biphenyls. <http://www.epa.gov/iris/subst/0294.htm#carc> (consulté en septembre 2012)
- EPA (Environmental Protection Agency). 2012, 2,3,7,8-TCDD. <http://www.epa.gov/iris/subst/1024.htm#c> (consulté en septembre 2012)
- Ineris (Institut National de l'Environnement Industriel et des Risques), 2005, Dioxines, Fiche de données toxicologiques et environnementales des substances chimiques, Ineris – DRC-02-25590-02DF46.doc Version n°2-1 avril 2005, 82 p.
- Ineris (Institut National de l'Environnement Industriel et des Risques), 2005, Polychlorobiphényles, Fiche de données toxicologiques et environnementales des substances chimiques, INERIS –DRC-02-25590-00DF045.doc Version n°2-1 – novembre 2005, 70 p.
- INRS, Fiche toxicologique Biphényles chlorés, FT 194, 2007. <http://www.inrs.fr/accueil/produits/bdd/doc/fichetox.html?refINRS=FT%20194> (consulté en septembre 2012)
- InVS (Institut de Veille Sanitaire), 2006, Dioxines et usines d'incinération d'ordures ménagères, <http://www.invs.sante.fr/surveillance/dioxines/default.htm> (consulté le 02/10/07).
- InVS (Institut de Veille Sanitaire), septembre 2009. Description des valeurs repères toxicologiques utilisées lors d'expositions aiguës par inhalation des populations, p71.
- INSERM (Institut National de la Santé Et de la Recherche Médicale), 2000, Dioxines dans l'environnement. Quels risques pour la santé ?, Expertise collective INSERM, 406 p.
- JOCE, 2008, regulations (EC) n°1278/2008 of the European parliament and of the council of 16 decembre 2008 on classification, labeling and packaging of substances and mixtures, amending and repealing directives 67/548/EEC and 1999/45/EEC and amending regulation (EC) 1907/2006.
- OEHHA (Office of Environmental Health Hazard Assessment), Chronic Reference Exposure Levels and toxicity summaries using the previous version of the Hot Spots Risk Assessment guidelines (OEHHA 1999) www.oehha.ca.gov/air/hot_spots/2008/AppendixD3_final.pdf#page=90 (consulté en septembre 2012)
- OEHHA (Office of Environmental Health Hazard Assessment), Air toxics hot spots risk assessment guideline. Chemical-specific summaries of the information used to derive unit risk and cancer potency values, http://www.oehha.ca.gov/air/hot_spots/2009/AppendixB.pdf
- OMS/IPCS (Organisation Mondiale de la Santé), 2002, Safety evaluation of certain food additives and contaminants. Polychlorinated dibenzodioxins, polychlorinated dibenzofurans and coplanar polychlorinated biphenyls, <http://www.inchem.org/documents/jecfa/jecmono/v48je20.htm#3.2.5.1> (consulté septembre 2012)
- OMS/IPCS (Organisation Mondiale de la Santé), 2003, Cicad 55. polychlorinated biphenyls : human health aspects. <http://www.inchem.org/documents/cicads/cicads/cicad55.htm> (consulté septembre 2012)
- OMS/IPCS, 1993, polychlorinated biphenyls and terphenyls, environmental health criteria 140, <http://www.inchem.org/documents/ehc/ehc/ehc140.htm#9.1.1> (consulté en septembre 2012)

OMS, aide mémoire n°225. Les dioxins et leurs effets sur la santé. Mai 2010

RIVM (national institute for public health and the environment), 2001, Re-evaluation of human-toxicological maximum permissible risk levels, <http://www.rivm.nl/bibliotheek/rapporten/711701025.pdf>

Santé Canada, 1990. Polychlorodibenzodioxines et polychlorodibenzofurannes.
http://www.ec.gc.ca/substances/ese/fre/pesip/lcip1_dioxines.cfm (consulté en septembre 2012)

Dioxyde de soufre (N° CAS 7446-09-5) - REV 03/2021

I. Généralités

I.1. Identification

Le dioxyde de soufre est un gaz incolore, d'odeur piquante.

I.2. Utilisation

Le dioxyde de soufre a de nombreuses utilisations industrielles : fabrication de l'acide sulfurique, blanchiment de la pâte à papier, du sucre et de certaines fibres, antiparasitaire et antiseptique dans l'industrie alimentaire, le stockage de grains et le traitement des vins, agent de réduction en sucrerie, féculerie, tannerie, teintures, extracteur dans le raffinage du pétrole, réfrigérant dans l'industrie du froid, fabrication de composés du soufre (sulfites, bisulfites...) (INRS, 2006).

I.3. Sources d'exposition

Le dioxyde de soufre a une origine à la fois anthropique et naturelle. Les principales émissions sont d'origine anthropique et représentées à 75-85 % par la combustion des combustibles fossiles (charbon et pétrole) pour le chauffage domestique, la production d'électricité ou les véhicules à moteur. Ensuite les sources d'exposition proviennent des opérations industrielles (raffinage et fusion).

Les sources naturelles d'émission de dioxyde de soufre sont constituées par la décomposition naturelle du H_2S des végétaux, les éruptions volcaniques et les feux de forêts (Ineris, 2005).

I.4. Concentrations et comportements environnementaux

Dans l'air, le dioxyde de soufre est présent sous forme gazeuse. Il se transforme en SO_3 par réactions chimiques et photochimiques. Sa demi-vie est de 3 à 5 heures.

Dans l'eau, le dioxyde de soufre est très soluble. Il s'oxyde en sulfate.

Dans les sols le dioxyde de soufre est plus ou moins adsorbé en fonction du pH et de la composition du milieu.

Dans les végétaux, le dioxyde de soufre est absorbé par les feuilles. Il est naturellement présent dans certains aliments (ail, oignons) et dans le vin suite au processus de vinification (Ineris, 2005).

Concentrations environnementales en dioxyde de soufre			
Milieu	Concentration	Caractéristique des mesures	Source
Air	zone urbaine < 5 $\mu g.m^{-3}$	synthèse européenne	OMS, 2006
	zone urbaine < 50 $\mu g.m^{-3}$		
	4,6 $\mu g.m^{-3}$	moyenne en 2003 dans 64 stations urbaines françaises	MEDD, 2003
	zone éloignée : 1-5 $\mu g.m^{-3}$	-	ATSDR, 1998

I.5. Facteurs de conversion

1 ppm = 2,62 $mg.m^{-3}$ (OEHA, 2008)

2. Toxicité

2.1. Métabolisme

La principale voie d'exposition est respiratoire. Le dioxyde de soufre est rapidement absorbé par la muqueuse nasale et les voies aériennes supérieures. Le nez filtre la majorité du dioxyde de soufre inhalé. L'effet toxique du dioxyde de soufre proviendrait du gaz lui-même ou des ions bisulfites et sulfites formés à la surface des voies respiratoires. Le bisulfite est considéré comme un agent bronchospastique chez les asthmatiques. Le dioxyde de soufre est distribué par la circulation sanguine dans tout l'organisme. La voie majeure de détoxification est la transformation hépatique en sulfate. L'élimination est essentiellement urinaire (Ineris, 2005).

2.2. Toxicité aiguë

Au décours d'une intoxication aiguë, on peut voir se développer un syndrome obstructif ou un état d'hyperréactivité bronchique qui peut persister pendant plusieurs années. Une exposition à des doses inférieures à 50 ppm (131 mg.m⁻³) provoque une irritation des muqueuses : rhinite, laryngite, bronchite et conjonctivite. L'exposition massive peut conduire à une bronchiolite oblitérante ou à un œdème pulmonaire hémorragique ou à une atteinte respiratoire obstructive (INRS, 2006).

Chez l'adulte sain, l'exposition de courte durée à 13 à 26 mg.m⁻³ conduit à une bronchoconstriction. Chez l'asthmatique, ces mêmes effets sont augmentés par l'effort physique pour des concentrations de 0,3 mg.m⁻³ (INRS, 2006).

2.3. Toxicité chronique

2.3.1. Effets systémiques

L'exposition prolongée augmente l'incidence de pharyngites et de bronchites chroniques qui peuvent s'accompagner d'emphysème et d'altération de la fonction pulmonaire. Ces effets respiratoires sont augmentés par la présence de particules respirables, le tabagisme et l'effort physique. Le dioxyde de soufre peut aggraver l'asthme et les maladies pulmonaires inflammatoires ou fibrosantes.

Aux concentrations urbaines de certaines villes canadiennes (moyenne : 5 µg.m⁻³) et américaines (moyenne : 18 µg.m⁻³), il est associé une apparition ou une aggravation des affections respiratoires (toux, dyspnée) et une augmentation du taux de mortalité par maladie respiratoire ou cardiovasculaire (OMS, 2006).

Le dioxyde de soufre peut également provoquer des irritations oculaires.

2.3.2. Effets cancérogènes

Le dioxyde de soufre pourrait jouer un rôle dans le développement du cancer bronchopulmonaire (INRS, 2006).

Les études récentes sur des séries chronologiques portant sur les admissions hospitalières pour pathologies cardiaques à Hong Kong et à Londres n'ont pas permis de mettre en évidence un seuil en-dessous duquel il n'y aurait pas d'effet sur la santé (concentrations testées jusqu'à 5 µg.m⁻³ par 24 heures). Si ce seuil existe, il doit être très bas (OMS, 2006).

Classements cancérogène du dioxyde de soufre	
Classement	Organisme
3	CIRC (1992)

2.3.3. Effets génotoxiques

L'Union Européenne n'a pas classé le dioxyde de soufre comme mutagène (JOCE, 2001 ; JOCE, 2008).

Il n'existe aucune étude humaine sur le caractère génotoxique du SO₂ suite à une exposition aiguë. Cependant, 2 études ont montré une augmentation de l'incidence des aberrations chromosomiques et des échanges des chromatides sœurs dans les lymphocytes de travailleurs exposés en moyenne à 15,9 ppm de SO₂ dans une usine en Inde (Yadav and Kaushik, 1996) et de 0,13 à 4,57 ppm de SO₂ dans une usine en Chine (Meng and Zhang, 1990). Les résultats de ces études sont discutables car aucun facteur de confusion n'est discuté. Des tests sur des cellules de mammifères n'ont pas montré le caractère mutagène du SO₂ (Thompson et Pace, 1962) (EPA, 2010).

2.3.4. Effets sur la reproduction et le développement

L'Union Européenne n'a pas classé le dioxyde de soufre comme reprotoxique (JOCE, 2001 ; JOCE, 2008).

Il n'a pas été mis en évidence de lien de causalité entre l'exposition au dioxyde de soufre et des effets sur la reproduction et le développement.

3. Valeurs toxicologiques de référence par voie respiratoire

3.1. VTR aiguë

▪ ATSDR, 1998 : 26,2 $\mu\text{g.m}^{-3}$ / 1 à 14 jours

Dans l'étude princeps (Sheppard *et al.*, 1981), un LOAEL¹ de 262 $\mu\text{g.m}^{-3}$ a été déterminé pour l'apparition d'une **bronchoconstriction** chez des sujets asthmatiques pratiquant un exercice physique modéré lors d'une exposition de 10 minutes. Un facteur d'incertitude de 9 (3 pour l'utilisation d'un LOAEL et 3 pour la variabilité intra-espèces), arrondi à 10, a été appliqué.

Bien que dans l'étude princeps, la durée d'exposition des sujets était de l'ordre de 10 minutes, cette VTR est, comme toutes les VTR de l'ATSDR pour des expositions aiguës, établie pour une durée d'exposition de 1 à 14 jours. Cependant, l'OMS dit bien que les expositions plus longues que les quelques minutes initiales n'ont pas d'impact sur la nature et la sévérité des effets. Les expositions calculées sur des pas de temps supérieurs à 10 minutes vont donc lisser les pics de concentrations.

▪ OEHHA, 2008 : 660 $\mu\text{g.m}^{-3}$ / 1 heure

Cette VTR est établie pour des déficiences de la fonction respiratoire, en particulier chez les sujets asthmatiques. Cette VTR s'appuie sur les résultats de 2 NOAEL et 3 LOAEL d'études en populations humaines et menées, entre 1983 et 1987, sur différentes catégories d'individus (sujets sains, asthmatiques ou atopiques, pratiquant ou non un exercice physique), chez qui des effets respiratoires notamment des **bronchoconstrictions** ont été observés. Les NOAEL considérés sont de 0,2 ppm pour 60 minutes (Linn *et al.*, 1987) et de 0,25 ppm pour 75 minutes (Roger *et al.*, 1985). Les LOAEL indiqués sont de 0,4 ppm pour une exposition de 5 minutes (Linn *et al.*, 1983) et de 60 minutes (Linn *et al.*, 1987) et 0,5 ppm pour 75 minutes (Roger *et al.*, 1985). Le NOAEL retenu est de 0,25 ppm (0,66 mg.m^{-3}) pour une exposition d'une heure. Aucun facteur d'incertitude n'a été appliqué (car la VTR repose sur des NOAEL provenant d'études humaines menées sur des personnes asthmatiques).

▪ Expertise Ineris, 2011 : VTR = 30 $\mu\text{g.m}^{-3}$ (ATSDR, 1998)

Cette valeur est basée sur la seule VTR disponible, celle de l'ATSDR. De manière générale, les REL de l'OEHHA pour des expositions de 1 à 8 heures correspondent à des seuils accidentels et ne sont pas retenus par l'INERIS dans ces choix de VTR.

3.2. VTR 8 heures

Il n'a pas été retrouvé de VTR intermédiaire pour cette voie et cette durée d'exposition.

3.3. VTR intermédiaire

Il n'a pas été retrouvé de VTR intermédiaire pour cette voie et cette durée d'exposition.

3.4. VTR chronique

Les organismes consultés n'ont pas établi de VTR pour une exposition chronique.

Depuis la dernière révision (OMS, 2006), l'OMS ne propose plus de valeur guide annuelle pour l'exposition au dioxyde de soufre. La valeur recommandée pour 24 heures garantit des concentrations moyennes annuelles faibles. L'OMS indique que des études récentes (Wong *et al.*, 2002 ; Burnett *et al.*, 2004 ; Pope *et al.*, 2002) n'ont pas pu fournir de preuve de l'existence d'un seuil pour les effets sur la santé de concentrations de dioxyde de soufre (concentrations diminuées jusqu'à 5 $\mu\text{g.m}^{-3}$). S'il existe un seuil, il doit être très bas. De plus, il y aurait encore une

¹ LOAEL : Lowest observed adverse effect level. Cf. la définition indiquée dans le Glossaire relatif à l'évaluation des risques sanitaires.

grande incertitude concernant le fait de savoir si le dioxyde de soufre est bien responsable des effets observés ou s'il n'est qu'un substitut des particules ultrafines ou d'une autre substance corrélée.

3.4.1. Effets non cancérigènes

Il n'a pas été recueilli de VTR pour ce type d'effet, cette voie et cette durée d'exposition.

3.4.2. Effets cancérigènes

Il n'a pas été recueilli de VTR pour ce type d'effet, cette voie et cette durée d'exposition.

4. Valeurs toxicologiques de référence par voie digestive

Il n'a pas été retrouvé de VTR pour cette voie d'exposition

5. Choix des valeurs toxicologiques de référence

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 suivant : Anses, US-EPA, ATSDR, OMS/IPCS, Santé Canada, RIVM, OEHHA, EFSA.

Par mesure de simplification, dans la mesure où il n'existe pas de méthode de choix faisant consensus, il est recommandé de sélectionner en premier lieu les VTR construites par l'ANSES même si des VTR plus récentes sont proposées par les autres bases de données. A ce stade de la sélection, NUMTECH considère les VGAI de l'Anses comme des VTR à part entière car fondée exclusivement sur des critères sanitaires¹ et pour une absence d'effet, comme une VTR. A défaut, si pour une substance une expertise nationale a été menée et a abouti à une sélection approfondie parmi les VTR disponibles, alors cette VTR doit être retenue, sous réserve que cette expertise ait été réalisée postérieurement à la date de parution de la VTR la plus récente.

En l'absence d'expertise nationale, la VTR à retenir correspond à la plus récente parmi les trois bases de données : US-EPA, ATSDR ou OMS sauf s'il est fait mention par l'organisme de référence que la VTR n'est pas basée sur l'effet survenant à la plus faible dose et jugé pertinent pour la population visée.

Si aucune VTR n'était retrouvée dans les 4 bases de données précédemment citées (Anses, US-EPA, ATSDR et OMS), la VTR la plus récente proposée par Santé Canada, RIVM, l'OEHHA ou l'EFSA est utilisée.

¹ <https://www.anses.fr/fr/content/valeurs-guides-de-qualit%C3%A9-d%E2%80%99air-int%C3%A9rieur-vgai>

Dioxyde de soufre								
Choix des valeurs toxicologiques de référence selon la note DGS d'octobre 2014								
Voie d'exposition	Durée d'exposition	VTR	Temps d'exposition	Espèce	Effet critique	Dose critique Type, valeur	Facteur d'incertitude	Référence
Respiratoire	Aiguë	30 µg.m ⁻³	1-14j	H	Bronchoconstriction	LOAEL = 262 mg.m ⁻³	10	Expertise Ineris, 2011 (ATSDR, 1998)
	8h	-	-	-	-	-	-	-
	Intermédiaire	-	-	-	-	-	-	-
	Chronique – effets non cancérogènes	-	-	-	-	-	-	-
	Chronique – effets cancérogènes	-	-	-	-	-	-	-
Digestive	Aiguë	-	-	-	-	-	-	-
	Intermédiaire	-	-	-	-	-	-	-
	Chronique – effets non cancérogènes	-	-	-	-	-	-	-
	Chronique – effets cancérogènes	-	-	-	-	-	-	-

6. Valeurs d'exposition professionnelles

VME = 5 mg.m⁻³ (INRS, 2008)

VLCT = 10 mg.m⁻³ (INRS, 2008)

7. Bibliographie

ATSDR (Agency for Toxic Substances and Disease Registry), 1998, Toxicological Profile Sulfur Dioxide, <http://www.atsdr.cdc.gov/toxprofiles/tp116.html> (consulté en décembre 2014).

Ineris (Institut National de l'Environnement et des Risques Industriels), 2011, Dioxyde de soufre SO₂, Fiche de données toxicologiques et environnementales, Ineris–DRC-11-117259-10352A Version N°2.2 - septembre 2011, 54 p.

INRS (Institut National de Recherche et de Sécurité), 2006, Dioxyde de soufre, Fiche toxicologique 41, 8 p.

INRS (Institut National de Recherche et de Sécurité), 2012, Valeurs limites d'exposition professionnelle aux agents chimiques en France, ED 984, 32 p.

InVS (Institut de Veille Sanitaire), septembre 2009. Description des valeurs repères toxicologiques utilisées lors d'expositions aiguës par inhalation des populations, p71.

JOCE, 2008, regulations (EC) n°1278/2008 of the European parliament and of the council of 16 decembre 2008 on classification, labeling and packaging of substances and mixtures, amending and repealing directives 67/548/EEC and 1999/45/EEC and amending regulation (EC) 1907/2006.

OMS (Organisation Mondiale de la Santé), 2006, Air Quality Guidelines. Global update 2005, 496 p, <http://www.euro.who.int/Document/E90038.pdf> (consulté en décembre 2014).

OMS, 2006, Lignes directrices OMS relatives à la qualité de l'air : particules, ozone, dioxyde d'azote et dioxyde de soufre, Mise à jour mondiale 2005, Synthèse de l'évaluation des risques, WHO/SDE/PHE/OEH/06.02, 21 p.

OEHHA (Office of Environmental Health Hazard Assessment), Acute Reference Exposure Levels and toxicity summaries using the previous version of the Hot Spots Risk Assessment guidelines (OEHHA 1999) http://www.oehha.ca.gov/air/hot_spots/2008/AppendixD2_final.pdf#page=272 (consulté en décembre 2014)

Mercure (N° CAS 7439-97-6) et composés – 03/2021

I. Généralités

I.1. Identification

Le mercure est un métal gris argenté, liquide à température ambiante, retrouvé sous la dénomination de « métaux lourds ». Il se présente sous 3 degrés d'oxydation : Hg^0 (métallique), Hg^+ (mercureux), Hg^{2+} (mercurique) entrant dans des formes variées de mercure organique ou inorganique. Les principaux composés inorganiques sont l'oxyde de mercure (HgO), le sulfure de mercure (HgS), le sulfate mercurique (HgSO_4), le chlorure mercurique (HgCl_2) et le chlorure mercureux (Hg_2Cl_2), qui sont des solides cristallisés à température ambiante. Les principaux composés organiques sont le méthylmercure (CH_3Hg), qui n'existe pas à l'état libre et le chlorure de méthylmercure (CH_3HgCl) qui est un solide cristallisé (Ineris, 2010 ; INRS, 1997).

I.2. Utilisation

Entre 1988 et 1992, le mercure était essentiellement utilisé dans l'industrie chimique essentiellement comme cathode électrique (28 %), dans les batteries électriques (25 %), les équipements électriques et les équipements de mesures (16 %), les peintures (10 %) et les amalgames dentaires (7 %) (Ineris, 2010 ; INRS, 1997).

I.3. Sources d'exposition

La principale source d'émissions aériennes vient du dégazage de l'écorce terrestre et de l'activité volcanique. Les sources anthropiques sont dues à l'exploitation des minerais et des énergies fossiles, aux rejets industriels et aux incinérateurs de déchets (Ineris, 2010).

I.4. Concentrations et comportements environnementaux

Le mercure peut être émis sous forme métallique (vapeurs de mercure).

Dans l'air, le mercure élémentaire et les composés organiques sont très volatils. Les composés inorganiques sont peu volatils. Le mercure est principalement présent sous forme élémentaire (Ineris, 2010).

Dans l'eau, le mercure est insoluble. Il est présent sous forme Hg^{2+} complexé ou chélaté avec des ligands (OMS, 2003). Les composés organiques du mercure sont plus ou moins solubles. La solubilité des composés inorganiques est très variable.

Dans les sols, le mercure est peu mobile. Il reste dans les horizons de surface. Il est présent essentiellement sous forme de sulfure de mercure (forme inorganique) (Ineris, 2010).

Dans les végétaux les composés organiques du mercure sont mieux absorbés et transférés vers les parties aériennes des végétaux que les composés inorganiques (Ineris, 2010).

Dans les animaux : Les poissons et les mammifères marins sont la principale source d'alimentation en mercure (50 à 1400 ng.g^{-1} de poisson frais) (OMS, 2010).

Concentrations environnementales en mercure					
Milieu		Concentration		Caractéristique des mesures	Source
Air	zone rurale : 0,001-6 ng.m ⁻³		Union européenne		OMS, 2003 ; IPCS, 1989
	zone urbaine : 0,1-5 ng.m ⁻³				
	zone industrielle : 0,5-20 ng.m ⁻³				
	zone urbaine : 10-20 ng.m ⁻³		Synthèse de la littérature	ATSDR, 1999 (EPA, 1980)	
	zone non urbaine < 6 ng.m ⁻³				
	1-4 ng.m ⁻³		-		Ineris, 2010
Eau	5-100 (moyenne = 25 ng.L ⁻¹)	ng.L ⁻¹	Eau potable		OMS, 2003 ; IPCS, 1989
	5 ng.L ⁻¹		Eaux de surface, 1991		ATSDR, 1999
	0,01-6 ng.L ⁻¹		Eaux de surface		Ineris, 2010
Sol	0,02-625 mg.kg ⁻¹		Synthèse de la littérature pour des sols vierges et cultivés dans différents pays	ATSDR, 1999 ; IPCS, 1989	1999 ;
	0,01 – 5,4 (médiane = 0,05 mg.kg ⁻¹)	mg.kg ⁻¹	4093 échantillons de sols français (horizons de surface) 1990 - 1999	INRA, 1999	
	0,03-0,15 mg.kg ⁻¹		-		Ineris, 2010

1.5. Facteurs de conversion

1 ppm = 8.34 mg.m⁻³ (OEHHA, 2008)

2. Toxicité

2.1. Métabolisme

Les 2 principales voies d'exposition sont l'inhalation (vapeurs de mercure métallique) et l'ingestion (mercure organique et inorganique).

Mercure élémentaire : 80 % du mercure élémentaire inhalé est absorbé par les poumons. Il est peu absorbé à partir de la voie digestive (< 0,01 %) et l'absorption cutanée est négligeable. La distribution du mercure est rapide dans le sang, d'abord dans les érythrocytes (moins d'une heure), puis dans le plasma (environ 10 heures).

Mercure inorganique : L'absorption respiratoire dépend de la taille et de la solubilité des particules. Elle est peu connue chez l'Homme. L'absorption digestive est de 10 à 15 % chez un adulte pour le mercure mercurique, plus chez un enfant et elle dépend des formes de mercure.

Mercure organique : L'absorption est mal renseignée, mais elle est certainement importante, que ce soit par voie respiratoire, digestive (plus de 95 % d'absorption) ou cutanée (Ineris, 2010 ; INRS, 1997).

Les sources d'exposition au mercure par voie digestive sont les suivantes :

- Alimentation en eau potable (50 ng.j⁻¹), essentiellement sous forme Hg²⁺ (OMS, 2003).
- Alimentation en poissons et produits de la mer (2000 à 4700 ng.j⁻¹), essentiellement sous forme de méthylmercure (OMS, 2003).
- Amalgames dentaires sous forme de vapeurs de mercure (OMS, 2003).

Les organes cibles du mercure et de ses composés sont le rein et le cerveau. Ils passent la barrière placentaire. Les concentrations en mercure dans le sang sont le reflet de l'exposition récente au mercure et les concentrations dans les cheveux d'une exposition ancienne.

L'élimination du mercure est réalisée par l'urine et les fèces.

2.2. Toxicité aiguë

Mercure élémentaire : L'inhalation de vapeurs mercuriques de 1 à 3 mg.m⁻³ pendant quelques heures entraîne une irritation des voies respiratoires, une encéphalopathie, des troubles digestifs, une stomatite et une atteinte tubulaire rénale.

En cas d'ingestion, peu de cas d'intoxication sont observés du fait de la faible absorption digestive du mercure (INRS, 1997).

Mercure inorganique : Il n'y a pas de données chez l'Homme sur la toxicité aiguë par voie respiratoire.

L'ingestion entraîne une inflammation du tractus gastro-intestinal (douleurs abdominales, vomissements, diarrhée sanglante...), une insuffisance rénale aiguë et une stomatite (INRS, 1997).

Mercure organique : L'inhalation entraîne des troubles neurotoxiques profonds (Ineris, 2010).

2.3. Toxicité chronique

2.3.1. Effets systémiques

Mercure élémentaire : Les organes cibles sont le système nerveux central et les reins. Les effets observés sont les mêmes que pour une exposition aiguë : tremblements, troubles de la mémoire, irritabilité, baisse des performances intellectuelles et gingivite. Les atteintes rénales sont observées pour des concentrations supérieures à 50 $\mu\text{g.g}^{-1}$ de créatinine. Il s'agit de protéinurie accompagnée de lésions tubulaires rénales, puis glomérulaires pour des concentrations plus élevées.

Chez les enfants, l'exposition respiratoire au mercure peut entraîner l'apparition de la « maladie rose » (pink disease) qui est une tuméfaction froide et humide des extrémités.

Les effets de l'exposition au mercure des amalgames dentaires sont controversés (Ineris, 2010).

L'exposition digestive au mercure élémentaire entraîne des troubles cardiaques, gastro-intestinaux, neurologiques et rénaux.

Certaines personnes développent des stomatites par contact cutané avec les amalgames dentaires.

Mercure inorganique : Il n'y a pas de données sur les effets du mercure inorganique par voie respiratoire, chez l'Homme.

Par ingestion, le mercure inorganique a des effets rénaux et neurotoxiques. Des troubles cardiovasculaires ont été observés chez les enfants, accompagnés de douleurs abdominales, de diarrhée, de crampes et de troubles neurologiques.

L'exposition cutanée conduit à des troubles cardiovasculaires, gastro-intestinaux, rénaux, neurologiques et immunologiques (Ineris, 2010).

Mercure organique : Par voie respiratoire, l'exposition au mercure organique entraîne des troubles respiratoires, gastro-intestinaux, musculaires, hépatiques et neurologiques.

Par voie digestive, le cerveau est le principal organe cible du mercure organique avec une atteinte particulière des organes des sens et de la motricité. A long terme, l'exposition chronique par voie digestive au mercure organique est mortelle.

L'exposition cutanée est mal renseignée (Ineris, 2010).

2.3.2. Effets cancérigènes

Les résultats des études portant sur la cancérogénicité du mercure élémentaire chez l'Homme sont variés. Il n'y a pas d'étude sur la cancérogénicité du mercure inorganique chez l'Homme. La cancérogénicité du mercure organique est encore incertaine (Ineris, 2010).

Classements cancérigènes du mercure		
Composé	Classement	Organisme
mercure et composés inorganiques	3	CIRC (1993)
mercure élémentaire	D	EPA (1995)
	2B	CIRC (1993)
méthylmercure	C	EPA (1995)
	C	EPA (1995)

2.3.3. Effets génotoxiques

L'Union Européenne a classé le chlorure de mercure comme mutagène de catégorie 3 (JOCE, 2009a) et comme mutagène pour les cellules germinales de catégorie 2 (JOCE, 2009b). Le mercure élémentaire n'a pas été classé comme mutagène (JOCE, 2009a ; JOCE, 2009b).

Il existe peu d'études sur le potentiel génotoxique du mercure chez l'homme. Les études sur des ouvriers exposés au mercure élémentaire par inhalation ou par ingestion accidentelle sont peu convaincantes (Ineris, 2010). Les

résultats issus des études in vivo et in vitro portant sur la génotoxicité du dichlorure de mercure concluent que le mercure inorganique est potentiellement génotoxique et clastogène (EPA, 2010).

2.3.4. Effets sur la reproduction et le développement

L'Union Européenne a classé le mercure élémentaire comme reprotoxique de catégorie 2 (JOCE, 2009a) et comme toxique pour la reproduction de catégorie 1B (JOCE, 2009b) et le chlorure de mercure comme reprotoxique de catégorie 3 (JOCE, 2009a) et comme toxique pour la reproduction de catégorie 2 (JOCE, 2009b).

L'effet reprotoxique du mercure est clairement démontré avec l'apparition de malformations fœtales et d'avortements spontanés. L'exposition *in utero* au méthylmercure entraîne des troubles neurocomportementaux chez l'enfant (Ineris, 2010).

3. Valeurs toxicologiques de référence par voie respiratoire

3.1. VTR aiguë

▪ OEHHA, 2008 : 0,6 µg.m⁻³ / 1 heure (mercure métallique)

Cette VTR est basée sur un LOAEL de 1,8 mg.m⁻³ obtenu pour un **dysfonctionnement du système nerveux central chez les descendants** de 12 rates en gestation exposées 1 heure par jour à du mercure vapeur par voie respiratoire (Danielsson *et al.*, 1993). Il a été appliqué un facteur d'incertitude de 3000 au LOAEL (10 pour l'utilisation d'un LOAEL, 10 pour l'extrapolation de l'animal à l'Homme, 3 pour le manque de données et 10 pour la variabilité humaine). Cette VTR protège contre des effets sévères. Cette VTR est 3 fois plus sévère que celle de l'édition précédente (1999) à cause du facteur d'incertitude supplémentaire ajouté pour tenir compte du manque de donnée.

▪ Expertise Ineris, 2014 : pas de VTR aiguë

L'expertise de l'Ineris mentionne la VTR de l'OEHHA mais ne la retient pas dans son choix de VTR.

3.2. VTR sur 8 heures

▪ OEHHA, 2008 : 0,06 µg.m⁻³ / 8 heures (mercure métallique)

Cette VTR est basée sur un LOAEL de 25 µg.m⁻³ obtenu pour une **neurotoxicité** (tremblements, troubles de la mémoire et du sommeil, baisse des performances aux tests neurocomportementaux (frappe, scan visuel, coordination visuelle, mémoire visuelle)). L'étude a été réalisée chez 236 personnes exposées par voie respiratoire, 8 heures par jour, 5 jours par semaines pendant 13,7 à 15,6 ans (Piikivi and Hanninen, 1989 ; Fawer *et al.*, 1983 ; Piikivi and Tolonen, 1989 ; Piikivi, 1989 ; Ngim *et al.*, 1992). Un LOAEL ajusté sur le temps est calculé (18 µg.m⁻³ = 25*5/7) auquel est appliqué un facteur d'incertitude de 300 (10 pour tenir compte de la sévérité des effets et de l'absence de NOAEL, 3 pour la variabilité humaine et 10 pour la plus grande sensibilité des enfants et du développement de leur système nerveux).

▪ Expertise Ineris, 2014 : pas de VTR 8h

L'expertise de l'Ineris ne retient pas de VTR sur 8h dans son choix de VTR.

3.3. VTR intermédiaire

Il n'a pas été retrouvé de VTR pour cette voie et cette durée d'exposition.

3.4. VTR chronique

3.4.1. Effets non cancérogènes

▪ EPA, 1995 : 0,3 µg.m⁻³ (mercure élémentaire)

Cette valeur a été établie à partir d'études menées chez des ouvriers exposés, en moyenne, à 0,026 mg.m⁻³ de vapeurs métalliques de mercure élémentaire (Fawer *et al.*, 1983). Les salariés exposés présentaient **des troubles de la mémoire, des troubles du système autonome, ainsi que des tremblements de la main**. La concentration de 0,026 mg.m⁻³ a été retenue comme LOAEL expérimental, ce qui a permis après ajustement, de déterminer un LOAEL ajusté de 9 µg.m⁻³. Les autres ajustements sont les suivants :

$$\text{LOAEL}_{\text{exposition continue}} = \text{LOAEL}_{\text{expérimental}} \times (V_T/V_H) \times 5/7$$

Avec :

- $\text{LOAEL}_{\text{exposition continue}} = \text{LOAEL}_{\text{ajusté pour une exposition 24H/24}}$

- LOAEL = LOAEL chez les travailleurs exposés 8 heures par jour
- V_T = taux de ventilation chez le travailleur pendant 8 heures de travail = $10 \text{ m}^3/\text{j}$
- V_H = taux de ventilation pour une exposition continue de 24 heures = $20 \text{ m}^3/\text{j}$

Deux études plus récentes (Liang *et al.*, 1993 ; Ngiam *et al.*, 1992) ont permis d'établir des LOAEL similaires, respectivement de $12 \text{ } \mu\text{g} \cdot \text{m}^{-3}$ et $6 \text{ } \mu\text{g} \cdot \text{m}^{-3}$. Le LOAEL proposé par Fawer *et al.*, a été retenu car il correspond à une valeur médiane. Un facteur d'incertitude de 30 a été appliqué à ce LOAEL (10 pour tenir compte des populations sensibles et 3 pour combler le manque de données, notamment les effets sur le développement et la reproduction). Finalement, l'ensemble des études ayant servi à établir la VTR sont les suivantes :

- Etude de Fawer *et al.* (1983) sur 26 travailleurs masculins (moyenne d'âge 44 ans) exposés à des vapeurs de mercure. La durée moyenne d'exposition est de 15,3 ans,
- Etude de Piikivi and Tolonen (1989) sur 41 travailleurs exposés en moyenne pendant 15,6 ans,
- Etude de Piikivi and Hanninen (1989) sur 60 travailleurs exposés pendant 13,7 ans,
- Etude de Piikivi (1989) sur 41 travailleurs (moyenne d'âge 34 ans) exposés pendant 15,6 ans en moyenne,
- Etude de Ngim *et al.* (1992) sur 98 dentistes hommes et femmes (moyenne d'âge 34,2 ans) exposés en moyenne pendant 5,5 ans,
- Etude de Liang *et al.* (1993) sur 98 personnes (hommes et femmes) travaillant dans une usine de lampes fluorescentes et exposées en moyenne pendant 2 ans.

▪ ATSDR, 1999 : $0,2 \text{ } \mu\text{g} \cdot \text{m}^{-3}$ (mercure élémentaire)

Cette valeur a également été déterminée à partir de l'étude de Fawer *et al.* (1983) sur la base **des effets neurotoxiques** chez l'Homme en milieu du travail (26 ouvriers), exposés à de faibles niveaux de vapeurs métalliques pendant 15,3 ans en moyenne (1 à 41 ans). Un LOAEL ajusté de $0,0062 \text{ mg} \cdot \text{m}^{-3}$ a été fixé comme suit :

$$\text{LOAEL}_{\text{exposition continue}} = \text{LOAEL} \times 8/24 \times 5/7 = 0,0062 \text{ mg} \cdot \text{m}^{-3}$$

Avec :

- $\text{LOAEL}_{\text{exposition continue}} = \text{LOAEL}$ ajusté pour une exposition 24H/24

- LOAEL = LOAEL chez les travailleurs exposés 8 heures par jour

Il y a été appliqué un facteur d'incertitude de 30 (10 pour la variabilité et la sensibilité des populations humaines et 3 pour l'utilisation d'un LOAEL au lieu d'un NOAEL). L'ATSDR juge cette VTR insuffisante pour protéger les effets affectant le développement neurologique du fœtus humain et les enfants qui représentent le sous-groupe le plus sensible à la toxicité du mercure élémentaire.

▪ OMS, 2003 : $0,2 \text{ } \mu\text{g} \cdot \text{m}^{-3}$ (vapeurs de mercure élémentaire)

Plusieurs études portant sur des travailleurs exposés au mercure élémentaire ont montré qu'une exposition moyenne à $20 \text{ } \mu\text{g} \cdot \text{m}^{-3}$ produisait de **légers effets sur le système nerveux central** mais ces effets n'étaient pas cliniquement observables. Une extrapolation de la concentration pour une exposition continue ($8/24 \times 5/7$) conduit à une concentration de $4,8 \text{ } \mu\text{g} \cdot \text{m}^{-3}$. Cette concentration peut être considérée comme un LOAEL ajusté, auquel il est appliqué un facteur d'incertitude de 30 (10 pour la variabilité inter-espèce et 3 pour l'utilisation d'un LOAEL). Le rapport du Cicad ne donne pas plus de détail sur la construction de la VTR.

▪ RIVM, 2001 : $0,2 \text{ } \mu\text{g} \cdot \text{m}^{-3}$ (mercure élémentaire)

Le RIVM (2001) établit une VTR de $0,2 \text{ } \mu\text{g} \cdot \text{m}^{-3}$ pour une exposition chronique par inhalation au mercure élémentaire. Cette valeur est issue d'une étude épidémiologique chez des individus exposés chroniquement aux vapeurs de mercure (Fawer *et al.*, 1983). Un LOAEC de $0,026 \text{ mg} \cdot \text{m}^{-3}$ a été déterminé pour **des effets sur le système nerveux (tremblements modérés), associés à une augmentation des teneurs sanguines en mercure et en créatinine**. Pour une exposition continue, ce LOAEC équivaut à une concentration de $0,006 \text{ mg} \cdot \text{m}^{-3}$. Un facteur d'incertitude de 30 a été appliqué (3 pour l'extrapolation d'un NOAEL à un LOAEL, 10 pour les différences de sensibilité au sein de la population humaine).

▪ OEHA, 2008 : $0,03 \text{ } \mu\text{g} \cdot \text{m}^{-3}$ (mercure élémentaire et sels de mercure)

L'OEHA (2008) établit une VTR de $0,03 \text{ } \mu\text{g} \cdot \text{m}^{-3}$ pour une exposition chronique par inhalation au mercure élémentaire et aux sels de mercure, à partir des études de Piikivi and Hanninen (1989), Fawer *et al.* (1983), Piikivi and Tolonen (1989), Piikivi (1989), Ngim *et al.* (1992). Dans ces études, les salariés (236) exposés au mercure élémentaire par voie respiratoire présentaient **des troubles de la mémoire, des troubles du système autonome, ainsi que des**

tremblements de la main. Un LOAEL expérimental d'environ $0,025 \text{ mg.m}^{-3}$ a été déterminé pour l'ensemble de ces études, pour une exposition sur le lieu de travail (8h/jour, 5j/semaine, pendant 14 ans), ce qui correspond après ajustement à une exposition continue, à un LOAEL ajusté de $0,009 \text{ mg.m}^{-3}$: $\text{LOAEL expérimental} \times 10 \text{ m}^3.\text{j}^{-1} / 20 \text{ m}^3.\text{j}^{-1} \times 5\text{j}/7$

Avec :

- $10 \text{ m}^3.\text{j}^{-1} = V_T$ = taux de ventilation chez les travailleurs pendant 8 heures de travail,
- $20 \text{ m}^3.\text{j}^{-1} = V_H$ = taux de ventilation pour une exposition continue de 24 heures.

Un facteur d'incertitude de 300 a été appliqué (10 pour l'utilisation d'un LOAEL au lieu d'un NOAEL et 3 pour la variabilité au sein de l'espèce humaine et 10 pour la plus grande sensibilité des enfants à ces atteintes du système nerveux).

▪ OMS, 2000 : $1 \text{ } \mu\text{g.m}^{-3}$ (mercure inorganique)

L'OMS (2000) recommande la VTR de $1 \text{ } \mu\text{g.m}^{-3}$ pour une exposition d'un an par voie pulmonaire à du mercure inorganique sous forme de vapeur **pour des troubles rénaux**. Cette valeur est basée sur un LOAEL compris entre 15 et $30 \text{ } \mu\text{g.m}^{-3}$ (moyenne $22,5 \text{ } \mu\text{g.m}^{-3}$), déterminé à partir d'études réalisées chez des travailleurs exposés chroniquement à des vapeurs de mercure. Un facteur d'incertitude de 20 a été appliqué (10 pour les variations de sensibilité dans les populations à haut risque qui ont été constatées à l'observation des relations dose-réponse et 2 pour l'extrapolation d'un NOAEL à partir d'un LOAEL). Les connaissances actuelles amènent à penser que des effets sur le système immunitaire ne peuvent pas être exclus.

▪ Expertise Ineris, 2014 : $0.03 \text{ } \mu\text{g.m}^{-3}$ (OEHHA, 2008) mercure élémentaire

Les VTR élaborées par les différents organismes, excepté l'OMS, se basent toutes sur les mêmes études, les mêmes effets et les mêmes LOAEC de départ. Les seules différences se situent au niveau des facteurs de sécurité choisis et de la prise en compte ou non du volume d'air inhalé dans la détermination de la LOAEC ajustée à une exposition continue. Les VTR calculées sont donc de 0,2 ou $0,3 \text{ } \mu\text{g.m}^{-3}$ selon le mode de calcul et de $0,03 \text{ } \mu\text{g.m}^{-3}$.

L'US EPA et l'OEHHA tiennent compte du volume d'air inhalé. L'US EPA a ajouté un facteur 3 pour le manque de données et un facteur 3 pour la variabilité inter-individuelle. L'OEHHA applique un facteur 10 pour l'extrapolation d'une LOAEC à une NOAEC, ce qui est pénalisant, par rapport au facteur 3 utilisé par l'US EPA. Par contre l'OEHHA applique un facteur 10 pour la plus grande sensibilité des enfants et un facteur de 3 pour la variabilité inter-individuelle. Même si l'OEHHA propose une VTR très pénalisante (ceci dû au facteur 10 pour la LOAEC), elle semble plus pertinente que celle de l'US EPA parce qu'elle tient compte de la souspopulation sensible que sont les enfants. De plus, le mercure n'étant pas un élément constitutif normal chez l'homme, et devant être le moins possible présent dans l'environnement, la valeur la plus faible est retenue.

3.4.2. Effets cancérigènes

Il n'a pas été retrouvé de VTR pour ce type d'effet et cette voie d'exposition.

4. Valeurs toxicologiques de référence par voie digestive

4.1. VTR aiguë

▪ ATSDR, 1999: $0,007 \text{ (mg.kg}^{-1}.\text{j}^{-1})$ (mercure inorganique) / 1-14 j

La VTR est établie à partir de l'étude clé du NTP (NTP, 1993) qui a porté sur l'exposition de rats Fisher 344 (5 par sexe et par niveaux d'exposition) à 0, 0,93, 1,9, 3,7, 7,4, et $14,8 \text{ mg.kg}^{-1}.\text{j}^{-1}$ de dichlorure de mercure, quotidiennement pendant 14 jours (sauf les week-end), via l'ingestion d'eau. Un NOAEL de $0,93 \text{ mg.kg}^{-1}.\text{j}^{-1}$ a été considéré pour **des effets sur le rein**. Un NOAEL ajusté pour une exposition continue a été calculé ($0,66 \text{ mg.kg}^{-1}.\text{j}^{-1} = 0,93 \times 5/7$) auquel il a été appliqué un facteur d'incertitude de 100 (10 pour la variabilité humaine et 10 l'extrapolation de données animales à l'homme).

4.2. VTR intermédiaire

▪ ATSDR, 1999: $2 \text{ } \mu\text{g.kg}^{-1}.\text{j}^{-1}$ (mercure inorganique) / 14 -365j

La VTR est établie à partir de l'étude clé du NTP (NTP, 1993) qui a porté sur l'exposition de rats Fisher 344 (5 par sexe et par niveaux d'exposition) à 0, 0,93, 1,9, 3,7, 7,4, et 14,8 mg.kg⁻¹.j⁻¹ de dichlorure de mercure, quotidiennement pendant 14 jours (sauf les week-end), via l'ingestion d'eau. Un NOAEL de 0,23 mg.kg⁻¹.j⁻¹ a été considéré pour **des effets sur le rein**. Un NOAEL ajusté pour une exposition continue a été calculé (0,16 mg.kg⁻¹.j⁻¹ = 0,23x5/7) auquel il a été appliqué un facteur d'incertitude de 100 (10 pour la variabilité humaine et 10 l'extrapolation de données animales à l'homme).

▪ **Expertise Ineris, 2014 : 2 µg.kg⁻¹.j⁻¹ (ATSDR, 1999) mercure inorganique**

Des études récentes, de bonne qualité scientifique, sont disponibles concernant les effets rénaux du mercure inorganique et servent de base à l'élaboration des VTR de l'OMS, de l'ATSDR et du RIVM. Selon l'Ineris, la VTR de l'US EPA ne semble donc moins pertinente, à la vue des nouvelles études disponibles.

Les VTR élaborées par l'OMS, l'ATSDR et le RIVM se basent sur les mêmes effets critiques et les mêmes études. Ces organismes prennent comme point de départ un NOAEL de 0,23 mg Hg.kg⁻¹.j⁻¹, auquel est appliqué un facteur de sécurité de 100. La VTR en résultant est de 2 µg Hg.kg⁻¹.j⁻¹. Aucun facteur n'est appliqué pour l'extrapolation sub-chronique à chronique par l'OMS et le RIVM.

Conformément aux règles de choix en vigueur à l'INERIS, les VTR de l'OMS et de l'ATSDR devraient être retenues comme VTR à seuil d'effet (effets sur les reins), pour une exposition chronique au mercure inorganique par voie orale. Toutefois, étant donné qu'aucune information n'est disponible quant à durée d'exposition applicable à ces VTR proposées, l'Ineris conseille de retenir la VTR de l'ATSDR pour laquelle l'exposition à prendre en compte est indiquée.

4.3. VTR chronique

4.3.1. Effets non cancérogènes

▪ **EPA, 2001: 0,1 µg.kg⁻¹.j⁻¹ (mercure organique)**

L'US-EPA (2001) établit une VTR de 0,1 µg.kg⁻¹.j⁻¹ pour une exposition chronique par voie orale au méthylmercure (Grandjean *et al.*, 1997 ; Budtz-Jørgensen *et al.*, 1999 ; Kjellstrom *et al.*, 1989, 1986). Cette valeur est basée sur **des troubles neuropsychologiques au cours du développement mental de l'enfant**. Afin de quantifier les relations dose-effet, l'US-EPA utilise une BMDL₀₅ (benchmark dose lower limit) pour chaque étude, dans 3 localisations différentes (les îles Seychelles, les îles Faroé et La Nouvelle Zélande). Une BMDL₀₅ comprise entre 0,857 et 1,472 µg.kg⁻¹.j⁻¹ (soit une moyenne de 1,16 µg.kg⁻¹.j⁻¹) a été calculée dans les îles Faroé. Pour les études réalisées en Nouvelle-Zélande, la valeur médiane fournit une dose de référence de 0,05 µg.kg⁻¹.j⁻¹. Ces valeurs ont été intégrées et il y a été appliqué un facteur d'incertitude de 10 (3 pour la variabilité et l'incertitude des modèles pharmacocinétiques, 3 pour la variabilité et l'incertitude globale apportée par l'utilisation d'un modèle pharmacocinétique).

▪ **EPA, 1996: 0.08 µg.kg⁻¹.j⁻¹ (acétate de phénylmercure)**

L'US-EPA (1996) établit une VTR de 8.10⁻⁵ mg.kg⁻¹.j⁻¹ pour une exposition chronique par voie orale à l'acétate de phénylmercure (mercure organique). Cette valeur a été établie à partir de l'étude de Fitzhugh *et al.* (1950) chez des rats. Cette étude a permis de calculer un NOAEL de 0,0084 mg.kg⁻¹.j⁻¹ pour des **atteintes rénales** chez le rat et un LOAEL de 0,042 mg.kg⁻¹.j⁻¹. Un facteur d'incertitude de 100 a été appliqué (10 pour l'extrapolation de données animales à l'Homme et 10 pour la variabilité au sein de la population humaine).

L'acétate de phénylmercure est un fongicide.

▪ **ATSDR, 1999: 0,3 µg.kg⁻¹.j⁻¹ (mercure organique)**

L'ATSDR (1999) établit une VTR de 3.10⁻⁴ mg.kg⁻¹.j⁻¹ pour une exposition chronique par voie orale au méthylmercure. Cette valeur a été estimée à partir de l'étude de Davidson *et al.* (1998) portant sur **l'impact neurodéveloppemental** de 237 enfants **exposés in utero**. Un NOAEL de 0,0013 mg.kg⁻¹.j⁻¹ a été calculée, auquel il a été appliqué un facteur d'incertitude de 4,5 (3 pour la variabilité induite par des modèles pharmacocinétiques et pharmacodynamiques et 1,5 pour tenir compte de l'étude menée dans les îles Faroé).

▪ **RIVM, 2001: 0.1 µg.kg⁻¹.j⁻¹ (mercure organique)**

Le RIVM (2001) établit une VTR de 1.10⁻⁴ mg.kg⁻¹.j⁻¹ pour une exposition chronique par voie orale au mercure organique. Cette valeur est issue d'une étude de Davidson *et al.* (1998) à partir de laquelle l'ATSDR (1999) a calculé

un NOAEL de $1,3 \mu\text{g.kg}^{-1}.\text{j}^{-1}$ pour des **effets sur le développement du fœtus**. Un facteur de sécurité de 10 a été appliqué pour tenir compte de la variabilité au sein de l'espèce humaine.

▪ **EPA, 1995: 0,3 $\mu\text{g.kg}^{-1}.\text{j}^{-1}$ (mercure inorganique)**

L'US-EPA (1995) établit une VTR de $3.10^{-4} \text{ mg.kg}^{-1}.\text{j}^{-1}$ pour une exposition chronique par voie orale au chlorure mercurique. Cette valeur a été établie à partir de 3 études expérimentales réalisées chez les rats (Andres, 1984 ; Bernaudin et al., 1981 ; Druet et al., 1978). Des LOAEL peu différents ont été définis dans ces 3 études : Un LOAEL de $0,317 \text{ mg.kg}^{-1}.\text{j}^{-1}$ a été déterminé pour une **réaction auto-immune mesurée par la présence d'Immunoglobulines G dans les reins** pour l'étude de Druet et un LOAEL de $0,226 \text{ mg.kg}^{-1}.\text{j}^{-1}$ pour l'étude de Bernaudin. Un facteur d'incertitude de 1000 a été appliqué (10 pour l'extrapolation d'un LOAEL à un NOAEL, 10 pour l'extrapolation de données sub-chroniques à des données chroniques et 10 pour l'extrapolation de données animales à l'Homme en tenant compte des populations sensibles).

▪ **RIVM, 2001: 2 $\mu\text{g.kg}^{-1}.\text{j}^{-1}$ (mercure inorganique)**

Le RIVM (2001) établit une VTR de $2.10^{-3} \text{ mg.kg}^{-1}.\text{j}^{-1}$ pour une exposition chronique par voie orale au mercure inorganique. Cette valeur est issue d'une étude expérimentale chez le rat exposé chroniquement au chlorure mercurique, au cours de laquelle un LOAEL de $1,9 \text{ mg.kg}^{-1}.\text{j}^{-1}$ et un NOAEL de $0,23 \text{ mg.kg}^{-1}.\text{j}^{-1}$ ont été établis pour des **effets sur le rein** (NTP, 1993). Un facteur d'incertitude de 100 a été appliqué (10 pour tenir compte des populations sensibles au sein de l'espèce humaine et 10 pour l'extrapolation des données animales à l'Homme).

▪ **OEHA, 2008: 0,16 $\mu\text{g.kg}^{-1}.\text{j}^{-1}$ (mercure inorganique)**

Cette VTR a été élaborée en 1999 à partir d'une étude NTP (1993) qui a permis d'établir un NOAEL de $0,16 \text{ mg.kg}^{-1}.\text{j}^{-1}$ pour une **toxicité rénale** chez des rats exposés par ingestion d'eau quotidiennement. Il est appliqué un facteur d'incertitude de 1000 (10 pour l'utilisation d'une étude subchronique, 10 pour l'extrapolation de données animales à l'Homme et 10 pour la variabilité au sein de la population humaine).

▪ **OMS, 2004: 2 $\mu\text{g.kg}^{-1}.\text{j}^{-1}$ (mercure inorganique)**

La VTR est établie à partir d'une étude portant sur l'exposition de rats pendant 26 semaines (étude clé non citée). Un NOAEL de $0,23 \text{ mg.kg}^{-1}.\text{j}^{-1}$ a été calculé pour **des effets sur le rein**. Un NOAEL ajusté de $0,16 \text{ mg.kg}^{-1}.\text{j}^{-1}$ a été calculé pour une exposition continue ($0,23 \times 5/7$) auquel il a été appliqué un facteur d'incertitude de 100 (10 pour la variabilité inter-espèce et 10 pour la variabilité intra-espèce).

▪ **EFSA, 2012 :**

○ **4 $\mu\text{g/kg/sem}$ (OMS, 2011) – mercure inorganique**

Le JECFA a fondé sa dose hebdomadaire tolérable en considérant les **changements du poids relatif des reins** chez les rats mâles. La BMD_{10} la plus faible était de $0,220 \text{ mg/kg/j}$, exprimée en chlorure mercurique avec une BMDL_{10} correspondante de $0,112 \text{ mg/kg p.c. par jour}$, exprimée en chlorure mercurique. Après correction de ces valeurs pour la quantité de mercure dans le chlorure mercurique (73,9 %) et un ajustement pour tenir compte d'une posologie de 5 jours par semaine, plutôt que de 7 jours par semaine, ces valeurs donnent une BMD_{10} de $0,12 \text{ mg/kg p.c. par jour}$, exprimée en mercure et une BMDL_{10} de $0,06 \text{ mg/kg p.c. par jour}$, exprimée en mercure. Après application d'un facteur d'incertitude de 100 et conversion sur une base hebdomadaire avec arrondissement à un chiffre significatif, le JECFA a établi une DTH pour le mercure inorganique de $4 \mu\text{g kg p.w.}$, exprimée en mercure (FAO/OMS, 2011).

○ **1.3 $\mu\text{g/kg/sem}$ (OMS, 2011) - méthylmercure**

Cette VTR est déduite de 2 études de population portant sur des cohortes d'enfants de 9 et 30 mois (Seychelles nutrition cohort) et sur des enfants de 7 ans (Faroe Cohort I). Un NOAEL de $11,5 \text{ mg/kg}$ de cheveux des mères des enfants est défini à partir de ces 2 études. Ce NOAEL est associé à des effets neurodéveloppementaux. A partir de ce NOAEL, une succession d'étape permet de déduire une concentration équivalente dans le sang des mères, puis une dose hebdomadaire tolérable de $1.3 \mu\text{g/kg}$. Aucun facteur d'incertitude n'est précisé dans le document de l'EFSA.

▪ **Expertise Ineris, 2014 :**

- **0.1 $\mu\text{g.kg}^{-1}.\text{j}^{-1}$ (US-EPA, 2001) méthylmercure**
- **0.08 $\mu\text{g.kg}^{-1}.\text{j}^{-1}$ (US-EPA, 1996) acétate de phénylmercure**
- **0,66 $\mu\text{g.kg}^{-1}.\text{j}^{-1}$ (Ineris, 2014) mercure inorganique**

▪ **Expertise Anses, 2016 :**

- **0.6 $\mu\text{g/kg/j}$ (EFSA, 2012) –mercure inorganique**
- **0.2 $\mu\text{g/kg/j}$ (EFSA, 2012) –méthylmercure**

Dans son rapport relatif à l'Alimentation Totale Infantile (EATi), l'Anses considère en 2016 que les VTR proposées par l'EFSA en 2012 sont les plus pertinentes parmi les différentes VTR disponibles dans la littérature.

4.3.2. Effets cancérogènes

Il n'a pas été retrouvé de VTR pour cette voie et ce type d'effet.

5. Choix des valeurs toxicologiques de référence

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 suivant : Anses, US-EPA, ATSDR, OMS/IPCS, Santé Canada, RIVM, OEHHA, EFSA.

Par mesure de simplification, dans la mesure où il n'existe pas de méthode de choix faisant consensus, il est recommandé de sélectionner en premier lieu les VTR construites par l'ANSES même si des VTR plus récentes sont proposées par les autres bases de données. A ce stade de la sélection, NUMTECH considère les VGAI de l'Anses comme des VTR à part entière car fondée exclusivement sur des critères sanitaires¹ et pour une absence d'effet, comme une VTR. A défaut, si pour une substance une expertise nationale a été menée et a abouti à une sélection approfondie parmi les VTR disponibles, alors cette VTR doit être retenue, sous réserve que cette expertise ait été réalisée postérieurement à la date de parution de la VTR la plus récente.

En l'absence d'expertise nationale, la VTR à retenir correspond à la plus récente parmi les trois bases de données : US-EPA, ATSDR ou OMS sauf s'il est fait mention par l'organisme de référence que la VTR n'est pas basée sur l'effet survenant à la plus faible dose et jugé pertinent pour la population visée.

Si aucune VTR n'était retrouvée dans les 4 bases de données précédemment citées (Anses, US-EPA, ATSDR et OMS), la VTR la plus récente proposée par Santé Canada, RIVM, l'OEHHA ou l'EFSA est utilisée.

¹ <https://www.anses.fr/fr/content/valeurs-guides-de-qualit%C3%A9-d%E2%80%99air-int%C3%A9rieur-vgai>

Mercure et ses composés Choix des valeurs toxicologiques de référence selon la note DGS d'octobre 2014								
Voie d'exposition	Durée d'exposition	VTR	Temps d'exposition	Espèce	Effet critique	Dose critique Type, valeur	Facteur d'incertitude	Référence
Respiratoire	Aiguë	-	-	-	-	-	-	-
	8h	-	-	-	-	-	-	-
	Intermédiaire	-	-	-	-	-	-	-
	Chronique – Effets non cancérogènes mercure élémentaire	0,03 µg.m ⁻³	-	H	Troubles de la mémoire, troubles du système autonome tremblements de la main	LOAEL = 0,025 mg.m ⁻³	300	Expertise Ineris, 2014 (OEHHA, 2008)
	Chronique – Effets non cancérogènes mercure inorganique	1 µg.m ⁻³	-	H	Effets rénaux	LOAEL compris entre 15 et 30 µg.m ⁻³	20	OMS, 2000
	Chronique sans seuil	-	-	-	-	-	-	-
Digestive	Aiguë	7 µg.kg ⁻¹ .j ⁻¹	1-14j	A	Absence d'effet sur le rein	NOAEL = 0,93 mg.kg ⁻¹ .j ⁻¹	100	ATSDR, 1999 (NTP, 1993)
	Intermédiaire	2 µg.kg ⁻¹ .j ⁻¹	14-365j	A	Absence d'effet sur le rein	NOAEL = 0,23 mg.kg ⁻¹ .j ⁻¹	100	Expertise Ineris, 2010 (ATSDR, 1999)
	Chronique – Effets non cancérogènes méthylmercure	0,2 µg.kg ⁻¹ .j ⁻¹	-	H	Troubles neuropsychologiques au cours du développement	BMDL ₁₀ = 0,06 mg/kg/j	10	Expertise Anses, 2016 (EFSA, 2012)
	Chronique – Effets non cancérogènes (acétate de phénylmercure)	0,08 µg.kg ⁻¹ .j ⁻¹	-	A	Atteintes rénales	NOAEL = 8,4 µg.kg ⁻¹ .j ⁻¹	100	Expertise Ineris, 2014 (EPA, 1996)
	Chronique – Effets non cancérogènes mercure inorganique	0,6 µg.kg ⁻¹ .j ⁻¹	-	A	Toxicité rénale	NOAEL = 11,5 mg/kg de cheveux	100	Expertise Anses, 2016 (EFSA, 2012)
	Chronique – Effets cancérogènes	-	-	-	-	-	-	-

6. Valeurs d'exposition professionnelles

VME = 0,05 mg.m⁻³ pour les vapeurs de mercure (INRS, 2008)

VME = 0,01 mg.m⁻³ pour les composés alkylés (INRS, 2008)

VME = 0,1 mg.m⁻³ pour les composés inorganiques du mercure (INRS, 2008)

7. Bibliographie

Anses, Etude de l'Alimentation Totale Infantile - Evaluation de l'exposition des enfants de moins de 3 ans à certaines substances présentes dans l'alimentation, Tome 1 & 2. Disponible sous <https://www.anses.fr/fr/content/etude-de-l%E2%80%99alimentation-totale-infantile> (consulté en mai 2018)

ATSDR (Agency for Toxic Substances and Disease Registry), 1999, Toxicological Profile for Mercury, <http://www.atsdr.cdc.gov/toxprofiles/tp46.html> (consulté en août 2013).

EFSA (European Safety Food Agency), Scientific Opinion on the risk for public health related to the presence of mercury and methylmercury in food, EFSA Panel on Contaminants in the Food Chain (CONTAM), 2012. Disponible sous <https://efsa.onlinelibrary.wiley.com/doi/epdf/10.2903/j.efsa.2012.2985> (consulté en mai 2018)

EPA (Environmental Protection Agency), 1995, Mercury elemental (CASRN 7439-97-6), <http://www.epa.gov/iris/subst/0370.htm> (consulté en août 2013).

EPA (Environmental Protection Agency), 1995, Mercury chloride (CASRN 7487-94-7), <http://www.epa.gov/iris/subst/0692.htm> (consulté en août 2013).

EPA (Environmental Protection Agency), 2001, Methylmercury (CASRN 22967-92-6), <http://www.epa.gov/iris/subst/0073.htm> (consulté en août 2013).

Ineris (Institut National de l'Environnement et des Risques Industriels), 2010, Mercure et ses dérivés, Fiche de données toxicologiques et environnementales, Ineris-DRC 10-109974-00926A, version N°4-2010, 120 p.

INRA (Institut National de la Recherche Agronomique), 1999, Teneurs en mercure dans sols agricoles du Bassin de Paris, Informations sur les éléments traces dans les sols en France, <http://etm.oreans.inra.fr/webmercure.htm> (consulté le 27/09/2006).

INRS (Institut National de Recherche et de Sécurité), 1997, Fiche toxicologique N°55, Mercure et composés minéraux, 6 p.

INRS (Institut National de Recherche et de Sécurité), juin 2008, Valeurs limites d'exposition professionnelle aux agents chimiques en France, ED 984, 23 p.

InVS (Institut de Veille Sanitaire), septembre 2009. Description des valeurs repères toxicologiques utilisées lors d'expositions aiguës par inhalation des populations, p71.

Classement CLP (Classification, Labelling and Packaging of substances and mixtures), JOCE 2008, tableau 3.1 de l'annexe VI de CLP, 6e ATP (2014)

OMS-IPCS (International Program on Chemical Safety), 2003, Concise international chemical assessment document 50, Elemental mercury and inorganic compounds : human health aspect, <http://www.who.int/ipcs/publications/cicad/en/cicad50.pdf> (consulté en août 2013).

OMS (Organisation Mondiale de la Santé), 2008, Guidelines for drinking-water quality. Third edition incorporating the first and second addenda. Vol I Recommendations, 668 p. (consulté en août 2013)

OMS (Organisation Mondiale de la Santé), 2000, Air Quality Guidelines for Europe - 2nd édition, 288 p. http://www.euro.who.int/__data/assets/pdf_file/0005/74732/E71922.pdf (consulté en août 2013).

OEHHA (Office of Environmental Health Hazard Assessment), Acute, 8-hour and Chronic Reference Exposure Levels (chRELs) as on December 18, 2008, http://www.oehha.ca.gov/air/hot_spots/2008/AppendixD1_final.pdf#page=214 (consulté en août 2013).

RIVM (Rijksinstituut Voor Volksgezondheid), 2001, Re-evaluation of human-toxicological maximum permissible risk levels.

Monoxyde de carbone (N° CAS 630-08-0) – REV 06/23

I. Généralités

I.1. Identification

Le monoxyde de carbone est, à température et pression ambiante, un gaz incolore et inodore. Il est extrêmement inflammable (INRS, 1996).

I.2. Utilisation

Le monoxyde de carbone est un combustible. Il est utilisé dans la métallurgie comme agent réducteur et pour la régénération de catalyseurs tels que le nickel. Il est utilisé dans l'industrie chimique pour la synthèse du méthanol, de l'acide acétique, de l'acide formique, de l'acide acrylique, d'aldéhydes... (INRS, 1996).

I.3. Sources d'exposition

60 % du monoxyde de carbone atmosphérique est d'origine anthropique et 40 % est d'origine naturelle. Le monoxyde de carbone d'origine anthropique provient de la combustion incomplète de matériaux carbonés (véhicules à moteur, process industriels, usines de production d'énergie à base de charbon, incinérateurs de déchets...) (OMS, 2000).

I.4. Concentrations et comportements environnementaux

Dans l'air, le monoxyde de carbone est un gaz stable. Les concentrations fluctuent en fonction des saisons (plus élevé en hiver qu'en été). Les réactions atmosphériques impliquant le monoxyde de carbone conduisent à la formation d'ozone dans la troposphère. Il participe à des réactions de dégradation des radicaux hydroxyls (IPCS, 1999).

Dans l'eau, il n'a pas été retrouvé de données sur les concentrations en monoxyde de carbone.

Dans les sols, il n'a pas été retrouvé de données sur les concentrations en monoxyde de carbone.

Dans les végétaux il n'a pas été retrouvé de données sur les concentrations en monoxyde de carbone.

Concentrations environnementales en monoxyde de carbone			
Milieu	Concentration	Caractéristique des mesures	Source
Air	Bruit de fond : 0,06 – 0,14 mg.m ⁻³		OMS, 2000
	Concentrations moyennes urbaines sur 8 heures : 20 mg.m ⁻³	Villes européennes	IPCS Inchem, 1999

I.5. Facteurs de conversion

1 ppm = 1,15 mg.m⁻³ dans l'air (OEHHA, 1999)

2. Toxicité

2.1. Métabolisme

La principale voie d'exposition au monoxyde de carbone est respiratoire du fait de la relative stabilité du monoxyde de carbone dans l'atmosphère. Les voies dermiques et digestives sont négligeables (OMS, 2000).

Le monoxyde de carbone est absorbé par les poumons. Ensuite, 80 à 90 % de la dose absorbée se fixe sur l'hémoglobine avec une affinité qui est 200 fois supérieure à celle de l'oxygène. La libération d'oxygène dans les tissus s'en trouve modifiée. Le monoxyde de carbone est essentiellement éliminé par ventilation pulmonaire (INRS, 1996).

2.2. Toxicité aiguë

Un début d'intoxication au monoxyde de carbone (10 % de carboxyhémoglobine) est associé à des signes peu spécifiques tels que nausées, vomissements et céphalées. Par la suite il apparaît une asthénie, des vertiges et des troubles de l'humeur (angoisse, agitation) et comportementaux (syndrome confusionnel). A partir de 40 % de carboxyhémoglobine, il est observé des comas. Au-delà de 50 à 60 % de carboxyhémoglobine, l'effet est fatal. L'importance des séquelles est corrélée avec la gravité et la durée de l'intoxication (INRS, 1996 ; OMS, 2000). Le monoxyde de carbone n'a pas d'effet pulmonaire direct, excepté à très fortes concentrations (IPCS, 1999).

2.3. Toxicité chronique

2.3.1. Effets systémiques

Le monoxyde de carbone aurait, à faible dose (à partir de 5 % chez des adultes en bonne santé), des effets neurologiques, en particulier sur la psychomotricité (baisse de la coordination, de la vigilance et visuelle). Il aurait également des effets sur le système cardiovasculaire.

2.3.2. Effets cancérigènes

Il n'a pas été recueilli de données indiquant que le monoxyde de carbone aurait des effets cancérigènes.

2.3.3. Effets génotoxiques

L'Union Européenne n'a pas classé le monoxyde de carbone comme mutagène (JOCE, 1996 ; JOCE, 2008). Aucune étude n'a été retrouvée dans la littérature portant sur la génotoxicité du monoxyde de carbone.

2.3.4. Effets sur la reproduction et le développement

L'Union Européenne a classé le monoxyde de carbone comme reprotoxique de catégorie I ou IA (JOCE, 1996 ; JOCE, 2008).

Le monoxyde de carbone a des effets néfastes sur les femmes enceintes, sur le fœtus et sur le nouveau né (OMS, 2000 ; IPCS, 1999).

3. Valeurs toxicologiques de référence par voie respiratoire

3.1. VTR aiguë

- **OMS, 2000 :**
 - 100 000 $\mu\text{g.m}^{-3}$ / 15 minutes
 - 60 000 $\mu\text{g.m}^{-3}$ / 30 minutes
 - 30 000 $\mu\text{g.m}^{-3}$ / 1 heure

Ces VG sont fondées sur l'équation exponentielle de Coburn-Foster-Kane qui prend en compte toutes les variables physiologiques connues affectant l'absorption du monoxyde de carbone. Ces valeurs respectent une carboxyhémoglobémie inférieure à 2,5 % même en cas d'exercice physique léger ou modéré. Ces **valeurs protègent les populations de différents âges, du fœtus aux personnes âgées et les populations atteintes de maladies coronariennes**. D'après l'expertise de l'Afsset de 2007 relative aux valeurs guides de l'air intérieur pour le monoxyde de carbone, ces valeurs sont applicables aussi bien pour l'air intérieur que pour l'air extérieur.

- **OEHHA, 1999 : 23 000 $\mu\text{g.m}^{-3}$ / 1 heure**

Cette VTR est basée sur un LOAEL correspondant à 2 % de carboxyhémoglobine dans le sang (Aronow., 1981). A cette concentration, il est observé une **aggravation de l'angine de poitrine et d'autres pathologies cardiovasculaires** lors d'exercices chez des personnes connues pour avoir des pathologies cardiaques. Le NOAEL correspondant est de 1,1 à 1,3 % de carboxyhémoglobine dans le sang qui correspond à une concentration de 20 ppm (23 mg.m^{-3}) de monoxyde de carbone. Il n'a été appliqué aucun facteur d'incertitude à ce NOAEL qui a été adopté comme valeur toxicologique de référence.

- **Afsset, 2007 : VGAI**
 - 100 000 $\mu\text{g.m}^{-3}$ / 15 minutes

- **30 000 $\mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$ / 1 heure**

- OMS, 200 et 2021 :

- **OMS, 2000, VG sur 1 heure : 30 000 mg/m^3**

- **OMS, 2000, VG sur 8 heures : 10 000 $\mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$**

Cette VG est fondée sur l'équation exponentielle de Coburn-Foster-Kane qui prend en compte toutes les variables physiologiques connues affectant l'absorption du monoxyde de carbone. Ces valeurs respectent une **carboxyhémoglobémie inférieure à 2,5 %** même en cas d'exercice physique léger ou modéré. Ces valeurs protègent les populations de différents âges, du fœtus aux personnes âgées et les populations atteintes de maladies coronariennes. D'après l'expertise de l'Afsset de 2007 relative aux valeurs guides de l'air intérieur pour le monoxyde de carbone, ces valeurs sont applicables aussi bien pour l'air intérieur que pour l'air extérieur.

- **OMS, 2021, VG sur 24 heures : 4 000 $\mu\text{g}/\text{m}^3$**

L'association entre les concentrations de monoxyde de carbone à court terme et les infarctus du myocarde a été jugée probablement causale par l'OMS. Cet avis se base sur des évaluations de Santé Canada et de l'US EPA, qui remontent toutes deux à 2010 et n'ont pas été révisées. Il convient de noter que l'US EPA n'a pas élaboré de norme pour le monoxyde de carbone sur 24 heures. À l'époque, malgré les preuves de la persistance d'associations à des niveaux inférieurs à 1 mg/m^3 ou 2 mg/m^3 (Bell et al., 2009).

La recommandation OMS correspond au 99^e percentile de l'exposition moyenne sur 24 heures. (équivalent à trois ou quatre jours de dépassement par an).

- **Afsset, 2007 : 10 000 $\mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$ / 8 heures - VGAI**

3.2. VTR intermédiaire

Il n'a pas été trouvé de VTR pour cette voie et cette durée d'exposition.

3.3. VTR chronique

Il n'a pas été trouvé de VTR pour cette voie et cette durée d'exposition.

4. Valeurs toxicologiques de référence par voie digestive

Non pertinent

5. Choix des valeurs toxicologiques de référence

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 suivant : Anses, US-EPA, ATSDR, OMS/IPCS, Santé Canada, RIVM, OEHHA, EFSA.

Par mesure de simplification, dans la mesure où il n'existe pas de méthode de choix faisant consensus, il est recommandé de sélectionner en premier lieu les VTR construites par l'ANSES même si des VTR plus récentes sont proposées par les autres bases de données. A ce stade de la sélection, NUMTECH considère les VGAI de l'Anses comme des VTR à part entière car fondée exclusivement sur des critères sanitaires¹ et pour une absence d'effet, comme une VTR. A défaut, si pour une substance une expertise nationale a été menée et a abouti à une sélection approfondie parmi les VTR disponibles, alors cette VTR doit être retenue, sous réserve que cette expertise ait été réalisée postérieurement à la date de parution de la VTR la plus récente.

¹ <https://www.anses.fr/fr/content/valeurs-guides-de-qualit%C3%A9-d%E2%80%99air-int%C3%A9rieur-vgai>

En l'absence d'expertise nationale, la VTR à retenir correspond à la plus récente parmi les trois bases de données : US-EPA, ATSDR ou OMS sauf s'il est fait mention par l'organisme de référence que la VTR n'est pas basée sur l'effet survenant à la plus faible dose et jugé pertinent pour la population visée.

Si aucune VTR n'était retrouvée dans les 4 bases de données précédemment citées (Anses, US-EPA, ATSDR et OMS), la VTR la plus récente proposée par Santé Canada, RIVM, l'OEHHA ou l'EFSA est utilisée.

Monoxyde de carbone Choix des valeurs toxicologiques de référence selon la note DGS d'octobre 2014								
Voie d'exposition	Durée d'exposition	VTR	Temps d'exposition	Espèce	Effet critique	Dose critique Type, valeur	Facteur d'incertitude	Référence
Respiratoire	Aiguë	30 000 µg.m ⁻³	1h	H	Angine de poitrine	LOAEL = 23 mg.m ⁻³	I	Expertise Ineris, 2018 (Afsset, 2007)
	8h	10 000 µg.m ⁻³	8h	H	Angine de poitrine	-	I	OMS, 2000
	Intermédiaire	-	-	-	-	-	-	-
	Chronique – effets non cancérogènes	-	-	-	-	-	-	-
	Chronique – effets cancérogènes	-	-	-	-	-	-	-

6. Valeurs d'exposition professionnelles

VME = 55 mg.m⁻³ (INRS, 2008)

7. Bibliographie

Afsset (Agence française de sécurité sanitaire de l'environnement et du travail), 2007, Valeurs guide de qualité d'air intérieur. Le monoxyde de carbone, 68 p.

CIRC (Centre International de Recherche sur le Cancer), 2007, Evaluation globale de la cancérogénicité pour l'Homme, liste de tous les agents évalués à ce jour, <http://monographs.iarc.fr/FR/Classification/crthall.php>

EPA (Environmental Protection Agency), 2010, Acute Exposure Guideline Levels for Selected Airborne Chemicals: Volume 8, 464p. http://www.epa.gov/oppt/aegl/pubs/carbon_monoxide_final_volume8_2010.pdf

INRS (Institut National de Recherche et de Sécurité), 1996, Oxyde de carbone, Fiche toxicologique N°47, 6 p.

INRS (Institut National de Recherche et de Sécurité), juin 2008, Valeurs limites d'exposition professionnelle aux agents chimiques en France, ED 984, 23 p.

InVS (Institut de Veille Sanitaire), 2002, Valeurs Toxicologiques de Référence : Méthodes d'élaboration, 84 p.

InVS (Institut de Veille Sanitaire), septembre 2009. Description des valeurs repères toxicologiques utilisées lors d'expositions aiguës par inhalation des populations, p71.

IPCS-Inchem, 1999, Environmental Health Criteria 213 Carbon Monoxide, <http://www.inchem.org/documents/ehc/ehc/ehc213.htm#1.6>

JOCE, 1996, Commission directive 96/54/EC, 22st ATP, Council Directive 67/548/EEC.

JOCE, 2008, regulations (EC) n° 1278/2008 of the European parliament and of the council of 16 decembre 2008 on classification, labeling and packaging of substances and mixtures, amending and repealing directives 67/548/EEC and 1999/45/EEC and amending regulation (EC) 1907/2006.

OMS (Organisation Mondiale de la Santé), 2000, Air quality Guidelines for Europe, second edition, WHO Regional Publications, European Series, No. 91, 288 p.

OEHHA (Office of Environmental Health Hazard Assessment), Acute Reference Exposure Levels and toxicity summaries using the previous version of the Hot Spots Risk Assessment guidelines (OEHHA 1999) http://www.oehha.ca.gov/air/hot_spots/2008/AppendixD2_final.pdf#page=41 (consulté en décembre 2014).

Oxydes d'azote (N°CAS -) – REV 06/2023

I. Généralités

I.1. Identification

Les oxydes d'azote comprennent le monoxyde d'azote (NO), le dioxyde d'azote (NO₂) et le tétraoxyde de diazote (N₂O₄). Ce sont des liquides et des gaz au-delà de 20 °C. Entre 11°C et 158°C, le dioxyde d'azote et le tétraoxyde de diazote sont en mélange dans des proportions fonction de la température. Ce mélange est appelé peroxyde d'azote (Ineris, 2005).

I.2. Utilisation

Le monoxyde d'azote est utilisé dans la fabrication d'acide nitrique, pour le blanchiment de la rayonne, comme stabilisant pour le propylène et l'éther de méthyle et comme médicament à usage humain.

Le peroxyde d'azote est utilisé comme agent de nitration, d'oxydation et comme comburant en particulier dans les combustibles pour les fusées (Ineris, 2005).

I.3. Sources d'exposition

Les oxydes d'azote ont une origine à la fois anthropique et naturelle. Les principales sources anthropiques sont la combustion de combustibles fossiles (charbon, fioul, gaz naturel) et les échappements automobiles (en particulier les véhicules diesel). Les sources naturelles sont constituées par les émissions volcaniques et les orages (Ineris, 2005).

I.4. Concentrations et comportements environnementaux

Les concentrations en oxydes d'azote dans l'air sont très liées aux concentrations en poussières. Les oxydes d'azote sont donc un bon indicateur de la pollution atmosphérique en particulier d'origine automobile.

Dans l'air, à température ambiante, le monoxyde d'azote, instable, réagit avec l'oxygène pour donner du dioxyde d'azote. Dans l'air le dioxyde d'azote est présent sous forme gazeuse. Il réagit avec les radicaux hydroxyles et subit des réactions photochimiques conduisant à la formation d'ozone (demi-vie de 35 heures). Des études récentes ont montré que la variabilité spatiale du NO₂ était certainement plus importante que pour d'autres polluants liés à la circulation routière.

Dans l'eau, le dioxyde d'azote réagit pour donner de l'acide nitrique.

Dans les sols humides, le dioxyde d'azote réagit pour donner de l'acide nitrique.

Dans les végétaux, l'absorption dominante est par les feuilles. La métabolisation est rapide. Il n'y a pas d'accumulation du dioxyde d'azote dans les végétaux (Ineris, 2005).

Concentrations environnementales en oxydes d'azote			
Milieu	Concentration	Caractéristique des mesures	Source
Air	zone urbaine : 20-90 µg.m ⁻³	synthèse internationale	OMS, 2005
	NO ₂ : 29 µg.m ⁻³	Moyenne en 2003 dans 60 stations urbaines françaises	MEDD, 2003
	NO : 12 µg.m ⁻³	Moyenne en 2003 dans 62 stations urbaines françaises	

I.5. Facteurs de conversion

1 ppm = 1.88 mg/m³ (OEHA, 2008)

2. Toxicité

2.1. Métabolisme

La principale voie d'exposition est respiratoire. 70 à 90 % du dioxyde d'azote et 85 à 92 % du monoxyde d'azote inhalé est absorbé par le tractus respiratoire. Une portion importante (jusqu'à 50 % en expérimentation animale) est rejeté par expiration par le nasopharynx. Les 2 oxydes d'azote ont une action pulmonaire.

Le monoxyde d'azote se lie au fer de l'hémoglobine ou de certaines enzymes.

Le dioxyde d'azote est un oxydant. Il est transformé en acide nitrique, puis en ions nitrites dans la circulation sanguine et induit, comme le monoxyde d'azote la formation de méthémoglobine (OMS, 2006 ; Ineris, 2005)

2.2. Toxicité aiguë

Le monoxyde et le dioxyde d'azote sont des irritants des voies respiratoires. L'intoxication est décrite en 3 phases :

- irritations des muqueuses oculaires et respiratoires se manifestant par larmoiements, toux, dyspnée, nausées. Cette phase régresse rapidement à l'arrêt de l'exposition.
- Rémission asymptomatique de 6 à 24 heures.
- Œdème pulmonaire et détresse respiratoire accompagnés de toux, dyspnée et fièvre pouvant être déclenchés à l'effort (Ineris, 2005).

Des études expérimentales chez l'Homme ont rapporté des effets aigus sur la santé après exposition pendant 1 heure à des concentrations dépassant $500 \mu\text{g.m}^{-3}$. Bien que la concentration minimale de NO_2 montrant un effet direct sur la fonction pulmonaire des asthmatiques soit de $560 \mu\text{g.m}^{-3}$, les études sur la réactivité bronchique laissent à penser qu'elle augmente pour des concentrations supérieures ou égales à $200 \mu\text{g.m}^{-3}$ (OMS, 2006).

2.3. Toxicité chronique

2.3.1. Effets systémiques

Le monoxyde d'azote a des effets respiratoires et hématologiques (action toxique au niveau des plaquettes et formation de méthémoglobine).

Le dioxyde d'azote : Les études de cohorte suggèrent une association entre l'exposition au dioxyde d'azote (concentrations au domicile) et l'incidence de l'asthme chez l'enfant. Des symptômes de toux et de bronchite se trouvent également augmentés. Il est également rapporté des atteintes de la fonction pulmonaire chez les enfants (5 fois plus de valeurs inférieures aux 80 % prédit) qui persistent dans la vie adulte.

Il est difficile de dissocier les effets du dioxyde d'azote de ceux d'autres polluants présents dans les mêmes lieux d'exposition (particules ultra-fines, oxyde nitreux, particules, benzène).

2.3.2. Effets cancérigènes

Les études présentées par l'OMS (2006) suggèrent une association entre l'exposition à la pollution du trafic et les cancers chez l'enfant et les cancers pulmonaires chez l'adulte. Mais ces associations ne sont pas attribuées spécifiquement au dioxyde d'azote car, dans le trafic automobile, il est en présence d'autres substances comme les particules diesel et les HAP (OMS, 2006).

Classements cancérigène des oxydes d'azote

Classement	Organisme
-	-

2.3.3. Effets génotoxiques

L'Union Européenne n'a pas étudié le caractère mutagène des oxydes d'azote.

2.3.4. Effets sur la reproduction et le développement

L'Union Européenne n'a pas étudié le caractère reprotoxique des oxydes d'azote.

La pollution de l'air est associée à la naissance de bébés à petits poids, à des retards de croissance intra-utérine, à des naissances avant-terme et à une mortalité périnatale. Ces effets sont liés à la pollution d'origine automobile sans que le dioxyde d'azote ait été incriminé individuellement (OMS, 2006).

3. Valeurs toxicologiques de référence par voie respiratoire

3.1. VTR/VG aiguë

- **OMS, 2005 : 200 $\mu\text{g.m}^{-3}$ (NO_2) pour 1 heure**

En se basant sur de petits changements de la fonction pulmonaire (**baisse de 5% du volume expiratoire maximum seconde (VEMS)**) et sur la réactivité bronchique d'asthmatiques et de bronchiteux chroniques, un LOAEL de 0,36 à 0,56 mg.m^{-3} est fixé (parmi les études considérées Avol *et al.*, 1989 ; Roger *et al.*, 1990). Une marge de sécurité de 50% est proposée en raison des incertitudes statistiques liées à une étude et des résultats d'une méta-analyse mettant en évidence un seuil inférieur à 0,36 mg.m^{-3} . La valeur guide pour l'air extérieur de l'OMS étant construite comme une VTR, elle peut être assimilée à une VTR.

- **OMS, 2021 : 25 $\mu\text{g.m}^{-3}$ (NO_2) pour 24heures**

La valeur guide de l'OMS correspond à l'exposition la plus basse connue associée à des effets néfastes sur la santé humaine. Les effets identifiés par l'OMS sont la mortalité hors cause accidentelle et les décès liés à des effets sur le système respiratoire.

- **OEHHA, 2008 : 470 $\mu\text{g.m}^{-3}$ (NO_2) pour 1 heure**

Cette VTR concerne les personnes sensibles (notamment les asthmatiques), et l'effet critique associé est **l'augmentation de la réactivité bronchique**. Un facteur d'incertitude de 1 a été appliqué au NOAEL de 0,25 ppm considéré pour déterminer la VTR proposée. Pour proposer cette VTR, l'OEHHA s'appuie sur les résultats d'un grand nombre d'études. Plusieurs études d'expositions aiguës sur des sujets asthmatiques montrent une augmentation de la réactivité des voies respiratoires en réponse à des concentrations en NO_2 comprises entre 0,25 et 0,50 ppm (0,47 et 0,9 mg/m^3) : Bauer *et al.* (1986), Mohsenin (1987). D'autres études indiquent une absence de réactivité des voies respiratoires chez les asthmatiques à ces concentrations (Rubinstein *et al.*, 1990; Avol *et al.*, 1988; Roger *et al.*, 1990). Des études additionnelles d'expositions sur des asthmatiques montrent une augmentation de réactivité non-spécifique des voies respiratoires suite à une exposition inférieure ou égale à 0,25 ppm (0,47 mg/m^3) de NO_2 . D'autres investigations ne reportent aucune augmentation de réactivité des voies respiratoires chez les asthmatiques exposés au NO_2 pour des concentrations inférieures ou égales à 0,25 ppm (0,47 mg/m^3) (Hazucha *et al.*, 1983; Jorres *et al.*, 1991). Les résultats de ces études suggèrent qu'un sous-groupe sensible d'asthmatiques présentant une augmentation de réactivité des voies respiratoires suite à une exposition au NO_2 peut être présent dans la population générale, et qu'il contribue à l'obtention de l'étendue des réponses observées suite à l'inhalation de NO_2 (Utell, 1989).

- **Expertise Ineris, 2011 : pas de VTR aiguë**

De manière générale, les REL de l'OEHHA pour des expositions de 1 à 8h, correspondent selon l'Ineris à des seuils accidentels et ne sont retenus par l'Ineris dans ces choix de VTR.

- **Expertise Anses, 2013 : 200 $\mu\text{g.m}^{-3}$ / 1h**

La méthode d'élaboration de la **VGAI** proposée par l'OMS étant jugée conforme aux critères de sélection des VGAI, la VGAI court terme de 200 $\mu\text{g.m}^{-3}$ (1 heure) est retenue par l'Anses.

3.2. VTR intermédiaire

Il n'a pas été retrouvé de VTR intermédiaire pour cette voie et cette durée d'exposition.

3.3. VTR chronique

3.3.1. Effets non cancérigènes

▪ **OMS, 2021 : 10 $\mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$**

La VG repose sur une revue de la littérature récente. Elle est définie comme correspondant au niveau d'exposition le plus faible pour lequel il existe des preuves des effets nocifs pour la santé.

Les effets relatifs à l'exposition chronique au dioxyde d'azote identifiés par l'OMS sont la mortalité non accidentelle et la mortalité pour cause respiratoire. À noter toutefois que l'OMS suggère des objectifs intermédiaires pour atteindre la valeur guide de 10 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ à partir de la valeur guide précédente de 40 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ présentée dans son rapport de référence en 2005 relatif aux valeurs guide de la qualité de l'air extérieur :

Recommendation	NO ₂ ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)
Interim target 1	40
Interim target 2	30
Interim target 3	20
AQG level	10

▪ **Anses, 2013 : 20 $\mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$**

La VGAI long-terme de l'OMS est associée à une augmentation de 20% du risque de développer une pathologie respiratoire. Elle ne protège donc pas de tout effet sanitaire, notamment pour les sujets sensibles comme les enfants asthmatiques. L'Anses n'a donc pas retenue la VGAI de l'OMS et a élaboré sa propre VGAI. Cette valeur guide de la qualité de l'air intérieur établie par l'Anses est fondée exclusivement sur des critères sanitaires et selon la méthodologie d'une VTR. Elle est donc assimilée à une VTR. Huit études clés ont ainsi été retenues car jugées de bonne qualité, bien détaillées et permettant de décrire une relation dose-effet, quelle que soit la conclusion (association ou pas d'association). Au final, la VGAI long terme proposée est élaborée à partir d'études prenant en compte des populations sensibles, conformément à la méthode d'élaboration des VGAI préconisée par l'Agence. Ainsi, aucun facteur d'incertitude lié à la variabilité interindividuelle n'a été appliqué. Les différences méthodologiques et les limites inhérentes à toute étude épidémiologique environnementale ont conduit à analyser conjointement ces 8 publications et à proposer, sur la base d'un faisceau d'arguments, une VGAI long terme pour le dioxyde d'azote de 20 $\mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$.

3.3.2. Effets cancérogènes

Il n'a pas été recueilli de VTR pour cette voie d'exposition et ce type d'effets.

4. Valeurs toxicologiques de référence par voie digestive

Non pertinent

5. Choix des valeurs toxicologiques de référence

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 suivant : Anses, US-EPA, ATSDR, OMS/IPCS, Santé Canada, RIVM, OEHA, EFSA.

Par mesure de simplification, dans la mesure où il n'existe pas de méthode de choix faisant consensus, il est recommandé de sélectionner en premier lieu les VTR construites par l'ANSES même si des VTR plus récentes sont proposées par les autres bases de données. A ce stade de la sélection, NUMTECH considère les VGAI de l'Anses comme des VTR à part entière car fondée exclusivement sur des critères sanitaires¹ et pour une absence d'effet, comme une VTR. A défaut, si pour une substance une expertise nationale a été menée et a abouti à une sélection approfondie parmi les VTR disponibles, alors cette VTR doit être retenue, sous réserve que cette expertise ait été réalisée postérieurement à la date de parution de la VTR la plus récente.

En l'absence d'expertise nationale, la VTR à retenir correspond à la plus récente parmi les trois bases de données : US-EPA, ATSDR ou OMS sauf s'il est fait mention par l'organisme de référence que la VTR n'est pas basée sur l'effet survenant à la plus faible dose et jugé pertinent pour la population visée.

Si aucune VTR n'était retrouvée dans les 4 bases de données précédemment citées (Anses, US-EPA, ATSDR et OMS), la VTR la plus récente proposée par Santé Canada, RIVM, l'OEHA ou l'EFSA est utilisée.

¹ <https://www.anses.fr/fr/content/valeurs-guides-de-qualit%C3%A9-d%E2%80%99air-int%C3%A9rieur-vgai>

Dioxyde d'azote Choix des valeurs toxicologiques de référence selon la note DGS d'octobre 2014								
Voie d'exposition	Durée d'exposition	VTR	Temps d'exposition	Espèce	Effet critique	Dose critique Type, valeur	Facteur d'incertitude	Référence bibliographiques : organisme de référence (auteurs de référence)
Respiratoire	Aiguë	200 µg.m ⁻³	1 h	H	Diminution du VEMS	LOAEL= 0,36 - 0,56 mg.m ⁻³	50% (marge de sécurité)	OMS, 2005 - VG
	8h	-	-	-	-	-	-	-
	Intermédiaire	-	-	-	-	-	-	-
	Chronique – Effets non cancérogènes	10 µg.m ⁻³	-	H	Mortalité	-	-	OMS, 2021 - VG
	Chronique – Effets cancérogènes	-	-	-	-	-	-	-
Digestif	Aiguë	-	-	-	-	-	-	-
	Intermédiaire	-	-	-	-	-	-	-
	Chronique – Effets non cancérogènes	-	-	-	-	-	-	-
	Chronique – Effets cancérogènes	-	-	-	-	-	-	-

6. Valeurs d'exposition professionnelles

Oxyde d'azote : VME = 30 mg.m⁻³ (INRS, 2008)

Dioxyde d'azote : VLCT = 6 mg.m⁻³ (INRS, 2008)

7. Bibliographie

ANSES, Proposition de valeurs guides de qualité de l'air intérieur. Le dioxyde d'azote. Avis de l'Anses. Rapport d'expertise collective. Février 2013, 150p.

Ineris (Institut National de l'Environnement et des Risques Industriels), Oxydes d'azote (NO_x), DRC-11-117259-10320A version n°2 septembre 2011, 58 p.

INRS (Institut National de Recherche et de Sécurité), juin 2008, Valeurs limites d'exposition professionnelle aux agents chimiques en France, ED 984, 23 p.

IPCS-Inchem (International Program on Chemical Safety), 1977, Environmental Health Criteria 4 Oxides of nitrogen, <http://www.inchem.org/documents/ehc/ehc/ehc004.htm> (consulté le 15/01/09).

InVS (Institut de Veille Sanitaire), septembre 2009. Description des valeurs repères toxicologiques utilisées lors d'expositions aiguës par inhalation des populations, p71.

OEHHA (Office of Environmental Health Hazard Assessment), Acute Reference Exposure Levels and toxicity summaries using the previous version of the Hot Spots Risk Assessment guidelines (OEHHA 1999) http://www.oehha.ca.gov/air/hot_spots/2008/AppendixD2_final.pdf#page=209 (consulté en mars 2011).

OMS (Organisation Mondiale de la Santé), 2006, Air Quality Guidelines. Global update 2021.

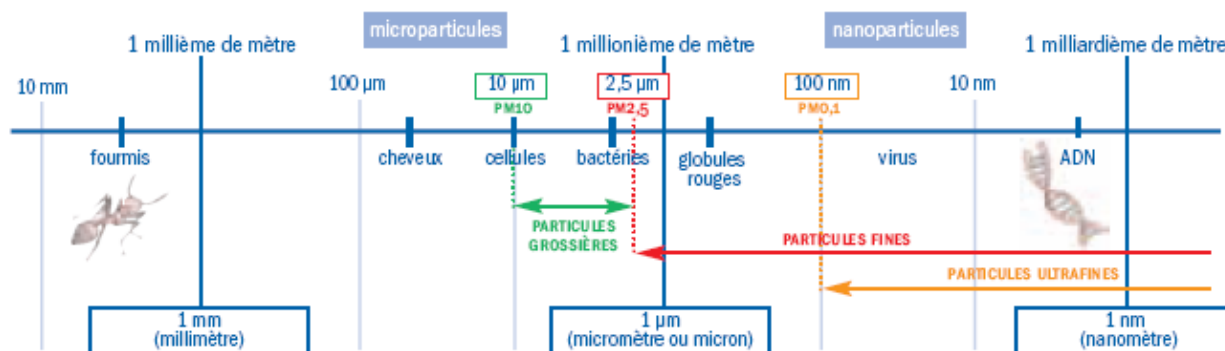
OMS (Organisation Mondiale de la Santé), 2010, Guidelines for indoor air quality, 484p.

Poussières (N°CAS -) – REV 12/2025

I. Généralités

I.1. Identification

Les particules sont des aérosols, des cendres, des suies ou des particules minérales qui ne sont pas définies en fonction de leur composition chimique, mais en fonction de leur taille. Elles peuvent comprendre un large éventail d'espèces chimiques (sulfates, nitrates, ammonium, chlorure de sodium, carbone, matière minérale, métaux, eau...).



Taille et définition des particules (AIRPARIF, 2007)

Les microparticules (de la taille du micromètre = 1 million de fois plus petit qu'un mètre) sont mesurées dans l'air pour les PM_{10} et les $PM_{2,5}$:

- Les PM_{10} (particules de taille inférieure à 10 µm)
- Les $PM_{2,5}$ (particules de taille inférieure à 2,5 µm) = particules fines

Les nanoparticules (de la taille du nanomètre = 1 milliard de fois plus petit qu'un mètre) = particules ultra-fines. Elles sont liées aux émissions à partir des nouvelles technologies. Elles ne seront donc pas prises en compte dans cette étude.

I.2. Utilisation

Sans objet.

I.3. Sources d'exposition

Les particules proviennent de sources naturelles (sel de mer, éruption volcanique, feu de forêt, érosion éolienne des sols...) et anthropiques. Les PM_{10} proviennent des activités industrielles (36 % des émissions), du chauffage domestique (21 %) et de l'agriculture (29 %). Les $PM_{2,5}$ proviennent principalement de la combustion du bois de chauffage (34 % des émissions) et des véhicules diesel (14 %) (CITEPA, 2007). Les particules les plus grossières (> 2 µm) ont, en général, pour origine des processus mécaniques naturels. Les particules de 0,1 à 2 µm sont issues de la condensation de vapeurs sur des particules existantes. Les particules inférieures à 0,1 µm résultent de la condensation de vapeurs chaudes durant les processus de combustion à haute température (Santé Canada, 2000).

I.4. Concentrations et comportements environnementaux

Dans l'air, les particules les plus grosses (> 2 µm) sédimentent par gravité en quelques heures à quelques jours. Elles contribuent peu aux concentrations mais fortement à la masse. Les particules de 0,1 à 2 µm peuvent séjourner dans l'atmosphère de plusieurs jours à plusieurs semaines. Elles sont éliminées de l'atmosphère par dépôt sec ou lessivage (élimine 80 à 90 % des particules de l'atmosphère). Les particules les plus fines (< 0,1 µm) ont des mouvements aléatoires et de coagulation dans lesquels elles entre en collision pour former de plus grosses particules. Elles séjournent donc peu dans l'atmosphère (Santé Canada, 2000).

Concentrations dans l'air en poussières				
Milieu		Concentration	Caractéristique des mesures	Source
PM ₁₀		23,1 µg.m ⁻³	moyenne de 60 villes françaises en 2003	MEDD, 2003
		zones urbaines nord-européenne = 20 µg.m ⁻³	parmi 28 sites européens, hiver 1993-1994	OMS, 2005
		zone éloignée : 4-11 µg.m ⁻³	Amérique du nord	Santé Canada, 2000
		station urbaine : 11-42 µg.m ⁻³	Canada, 1980 à 1990	
		station rurale : 11- 17 µg.m ⁻³		
PM _{2,5}		15,2 µg.m ⁻³	moyenne de 15 villes françaises en 2003	MEDD, 2003
		zone éloignée : 1-5 µg.m ⁻³	Amérique du nord	Santé Canada, 2000
		station urbaine : 6,9-20,2 µg.m ⁻³	Canada, 1980 à 1990	
		station rurale : 7- 10,5 µg.m ⁻³		

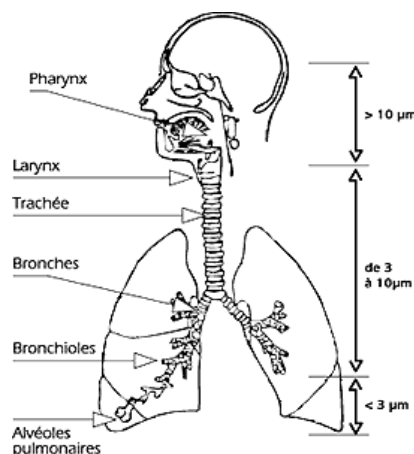
1.5. Facteurs de conversion

Sans objet

2. Toxicité

2.1. Métabolisme

Plus les particules sont petites plus elles pénètrent profondément dans l'appareil respiratoire.



Pénétration dans l'appareil respiratoire des particules en fonction de leur taille

L'élimination des particules arrêtées dans la partie supérieure du tractus respiratoire s'effectue mécaniquement (mouillage, essuyage, éternuement, déglutition du mucus ou expectoration). Elle peut prendre jusqu'à plusieurs jours. L'élimination des particules de la région trachéale s'effectue par transport muco-ciliaire vers le tractus gastro-intestinal en environ 24 heures, mais il est observé des rétentions plus longues. L'élimination des particules pulmonaires insolubles est rapide par phagocytose et transport muco-ciliaire.

2.2. Toxicité aiguë

Effets sur la mortalité : Démontrés dans des études longitudinales fondées sur l'analyse chronologique des associations entre les variations journalières des concentrations ambiantes et les variations quotidiennes des effets sur la santé (43 analyses dans 20 villes sur différents continents). La relation est linéaire ou curviligne selon les études

(1 pente forte aux faibles concentrations puis une pente plus faible aux fortes concentrations). L'augmentation du risque de mortalité que présentent les PM_{2,5} est environ deux fois plus grande que celle pour les PM₁₀. Les adultes et les enfants souffrant de maladies respiratoires ont des risques accrus.

Hospitalisations et visites d'urgence : Il a été observé une association significative entre l'exposition aux PM₁₀ ou aux PM_{2,5} et l'hospitalisation pour troubles respiratoires ou cardiaques.

Diminution de la fonction pulmonaire, restriction d'activités se traduisant par de l'absentéisme (études de cohorte à court et long terme, transversale et chronologique).

Les effets sont observés de 24 heures à quelques jours après l'augmentation des concentrations ambiantes (Santé Canada, 2000).

2.3. Toxicité chronique

2.3.1. Effets systémiques

Augmentation de la mortalité, des symptômes de maladies respiratoires, diminution de la fonction et de la capacité pulmonaire chez les enfants et augmentation des cas de bronchite chronique et d'asthme chez certains adultes (Santé Canada, 2000).

Dans l'Union Européenne, l'exposition aux PM_{2,5} produites par les activités humaines réduit en moyenne l'espérance de vie de 8,6 mois (OMS, 2006).

2.3.2. Effets cancérigènes

Il n'existe pas de concentration en poussières en dessous de laquelle il n'ait pas été constaté une augmentation de la mortalité. Il a été constaté une augmentation des cancers pulmonaires dans des études transversales en association avec une exposition aux PM₁₀ et aux PM_{2,5}.

Classement cancérigène des poussières	
Classement	Organisme
-	-

2.3.3. Effets génotoxiques

L'Union Européenne n'a pas étudié le caractère mutagène des poussières.

Aucune étude n'a été retrouvée dans la littérature portant sur la génotoxicité des poussières.

2.3.4. Effets sur la reproduction et le développement

L'Union Européenne n'a pas étudié le caractère reprotoxique des poussières.

Aucune étude n'a été retrouvée dans la littérature portant sur la reprotoxicité des poussières.

3. Valeurs toxicologique de référence par voie respiratoire

3.1. VTR aiguë

Aucune VTR associée à cette voie et cette durée d'exposition n'est disponible dans la littérature, toutefois, une valeur guide aiguë est proposée par l'OMS :

- **OMS, 2021 : PM_{2,5} = 15 µg.m-3 et PM₁₀ = 45 µg.m-3 (moyenne sur 24h)**

Ces valeurs guides sont associées à des effets sur la mortalité et des décès pour différentes causes.

- **Expertise ANSES, 2025 :**

Depuis mai 2025, l'ANSES propose de nouvelles VTR relative aux poussières fines (PM₁₀ et PM_{2,5}). Ces VTR sont associées à des effets sans seuil de dose.

Dans son rapport d'expertise, l'ANSES indique que ces VTR doivent être utilisées en complément des autres VTR caractérisant les substances présentes dans ces poussières atmosphériques. L'ANSES précise aussi qu'il n'existe pas de consensus ou recommandation sur des niveaux acceptables de risque sanitaire lié à l'exposition aux particules de l'air ambiant, contrairement à certaines substances chimiques pour lesquelles un niveau de risque de cancer de 10^{-5} ou 10^{-6} est considéré.

- **VTR court-terme PM_{2.5} :**
 - Pour $[PM_{2.5}] \leq 10 \mu\text{g.m}^{-3}$: $ERU = 1,65.10^{-7} (\mu\text{g.m}^{-3})^{-1}$
 - Pour $[PM_{2.5}] > 10 \mu\text{g.m}^{-3}$: $ERU = 7,69.10^{-9} (\mu\text{g.m}^{-3})^{-1} + 1,56.10^{-6}$
- **VTR court-terme PM₁₀ :**
 - Pour $[PM_{10}] \leq 20 \mu\text{g.m}^{-3}$: $ERU = 7,34.10^{-8} (\mu\text{g.m}^{-3})^{-1}$
 - Pour $[PM_{10}] > 20 \mu\text{g.m}^{-3}$: $ERU = 7,71.10^{-9} (\mu\text{g.m}^{-3})^{-1} + 1,33.10^{-6}$

3.2. VTR sur 8 heures

Il n'a pas été trouvé de VTR pour cette voie et cette durée d'exposition.

3.3. VTR intermédiaire

Il n'a pas été trouvé de VTR pour cette voie et cette durée d'exposition.

3.4. VTR chronique

- **OMS, 2021 : PM_{2.5} = 5 $\mu\text{g.m}^{-3}$ et PM₁₀ = 15 $\mu\text{g.m}^{-3}$ (moyenne annuelle) - VG**

La valeur guide annuelle moyenne de $10 \mu\text{g.m}^{-3}$ pour les PM_{2.5} a été choisie à partir de l'extrémité inférieure de la plage sur laquelle des effets significatifs sur la survie ont été observés dans l'étude de l'American Cancer Society (ACS) (Pope C.A. *et al.*, 2002). L'adoption d'une valeur guide à ce niveau, accorde un poids important aux études d'exposition sur le long terme utilisant les données de l'ACS et de 6 villes (Krewski D. *et al.*, 2000, Jerret M. *et al.*, Dockery D.W. *et al.*, Pope C.A. *et al.*, 1995, 2000). Dans ces études, des associations robustes ont été signalées entre l'exposition à long terme aux PM_{2.5} et la mortalité. La moyenne historique en PM_{2.5} était de $18 \mu\text{g.m}^{-3}$ ($11.0-29.6 \mu\text{g.m}^{-3}$) dans l'étude des six villes et $20 \mu\text{g.m}^{-3}$ ($9.0-33.5 \mu\text{g.m}^{-3}$) dans l'étude de l'ACS. Dans l'étude de l'ACS, l'incertitude statistique liée aux risques devient manifeste à des concentrations d'environ $13 \mu\text{g.m}^{-3}$. En dessous de cette valeur la limite de confiance s'élargit puisque les concentrations sont relativement éloignées de la moyenne. Dans l'étude de Dockery *et al.*, les risques à long terme sont semblables dans les villes aux concentrations les plus basses de PM_{2.5} (11 et $12,5 \mu\text{g.m}^{-3}$). L'augmentation du risque est significative pour des concentrations en PM_{2.5} de $14,9 \mu\text{g.m}^{-3}$ (effets probables de 11 à $15 \mu\text{g.m}^{-3}$). Par conséquent, une concentration annuelle de $10 \mu\text{g.m}^{-3}$ serait inférieure à la moyenne amenant aux effets indiqués dans la documentation disponible. Bien que les effets néfastes sur la santé ne peuvent pas être entièrement exclus même en dessous de ce niveau, la valeur guide de l'OMS constitue un niveau qui se révèle être réalisable dans les pays développés, tout en permettant de réduire de façon efficace les risques pour la santé.

- **Expertise ANSES, 2023 : ($1.28.10^{-2} \mu\text{g.m}^{-3}$)⁻¹**

Depuis janvier 2023, l'ANSES propose une nouvelle VTR relative aux poussières fines (PM_{2.5}). Cette VTR associée à des effets sans seuil de dose est basée sur les risques relatifs liés à l'exposition aux poussières fines ambiantes, aussi utilisées dans les évaluations quantitatives de l'impact sanitaire de la pollution atmosphérique. Dans son rapport d'expertise, l'ANSES indique que cette VTR doit être utilisée en complément des autres VTR caractérisant les substances présentes dans ces poussières atmosphériques. L'ANSES précise aussi qu'il n'existe pas de consensus ou recommandation sur des niveaux acceptables de risque sanitaire lié à l'exposition aux particules de l'air ambiant, contrairement à certaines substances chimiques pour lesquelles un niveau de risque de cancer de 10^{-5} ou 10^{-6} est considéré.

Cette VTR est associée à des décès toutes causes non accidentelles, qui incluent toutes les pathologies entraînant un décès et pouvant être liées à l'exposition aux particules, représentent donc un événement intégrateur en termes de pathologies sous-jacentes.

L'excès de risque vie entière (ELR) retenu pour l'établissement d'une VTR est issu de l'utilisation de la fonction concentration-risque de Strak et al. (2021). Cet excès de risque vie entière est considéré comme valide sur la gamme de concentrations en PM_{2,5} [4,9 - 30 µg.m⁻³].

La VTR retenue pour les particules de l'air ambiant est l'ERU de décès toutes causes non accidentelles de $1,28.10^{-2} (\mu\text{g.m}^{-3})^{-1}$ et la fonction paramétrique associée $\text{ELR} = 2,19.10^{-5} \times [\text{PM}_{2,5}]^3 - 1,51.10^{-3} \times [\text{PM}_{2,5}]^2 + 3,61.10^{-2} \times [\text{PM}_{2,5}] - 8,83.10^{-2}$. Il s'agit de l'ERU le plus protecteur retenu par l'ANSES.

4. Valeurs toxicologiques de référence par voie digestive

Non pertinent

5. Choix des valeurs toxicologiques de référence

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 suivant : Anses, US-EPA, ATSDR, OMS/IPCS, Santé Canada, RIVM, OEHA, EFSA.

Par mesure de simplification, dans la mesure où il n'existe pas de méthode de choix faisant consensus, il est recommandé de sélectionner en premier lieu les VTR construites par l'ANSES même si des VTR plus récentes sont proposées par les autres bases de données. A ce stade de la sélection, NUMTECH considère les VGAI de l'Anses comme des VTR à part entière car fondée exclusivement sur des critères sanitaires¹ et pour une absence d'effet, comme une VTR. A défaut, si pour une substance une expertise nationale a été menée et a abouti à une sélection approfondie parmi les VTR disponibles, alors cette VTR doit être retenue, sous réserve que cette expertise ait été réalisée postérieurement à la date de parution de la VTR la plus récente.

En l'absence d'expertise nationale, la VTR à retenir correspond à la plus récente parmi les trois bases de données : US-EPA, ATSDR ou OMS sauf s'il est fait mention par l'organisme de référence que la VTR n'est pas basée sur l'effet survenant à la plus faible dose et jugé pertinent pour la population visée.

Si aucune VTR n'était retrouvée dans les 4 bases de données précédemment citées (Anses, US-EPA, ATSDR et OMS), la VTR la plus récente proposée par Santé Canada, RIVM, l'OEHA ou l'EFSA est utilisée.

¹ <https://www.anses.fr/fr/content/valeurs-guides-de-qualit%C3%A9-d%E2%80%99air-int%C3%A9rieur-vgai>

Poussières Choix des valeurs toxicologiques de référence selon la note DGS d'octobre 2014								
Voie d'exposition	Durée d'exposition	VTR	Temps d'exposition	Espèce	Effet critique	Dose critique Type, valeur	Facteur d'incertitude	Référence
Respiratoire	Aiguë - PM _{2.5}	25 µg.m ⁻³	24h	H	Effets sur la mortalité	-	-	OMS, 2005
	Aiguë - PM ₁₀	50 µg.m ⁻³	24h	H	application d'un facteur 0,5 (valeur urbaine dans les pays développés) aux concentrations de PM _{2.5}	-	-	OMS, 2005
	Aiguë - PM _{2.5}	Pour [PM _{2.5}] ≤ 10 µg.m ⁻³ : ERU = 1,65.10 ⁻⁷ (µg.m ⁻³) ⁻¹ Pour [PM _{2.5}] > 10 µg.m ⁻³ : ERU = 7,69.10 ⁻⁹ (µg.m ⁻³) ⁻¹ + 1,56.10 ⁻⁶	24h	H	Effets sur la mortalité			ANSES, 2025
	Aiguë - PM ₁₀	Pour [PM ₁₀] ≤ 20 µg.m ⁻³ : ERU = 7,34.10 ⁻⁸ (µg.m ⁻³) ⁻¹ Pour [PM ₁₀] > 20 µg.m ⁻³ : ERU = 7,71.10 ⁻⁹ (µg.m ⁻³) ⁻¹ + 1,33.10 ⁻⁶	24h	H	Effets sur la mortalité			ANSES, 2025
	8h	-	-	-	-	-	-	-
	Intermédiaire	-	-	-	-	-	-	-
	Chronique – Effets non cancérogènes - PM _{2.5}	10 µg.m ⁻³	-	H	Baisse de l'espérance de vie	-	-	OMS, 2021
	Chronique – Effets non cancérogènes - PM ₁₀	20 µg.m ⁻³	-	H	Baisse de l'espérance de vie	-	-	OMS, 2021
	Chronique – Effets cancérogènes	1.28.10 ⁻² µg.m ⁻³) ⁻¹	-	H	Mortalité non accidentelle toutes causes confondues	-	-	ANSES, 2023

6. Valeurs d'exposition professionnelles

Poussières inhalables réputées sans effet spécifique : VME = 10 mg.m⁻³ (INRS, 2008)

Poussières alvéolaires réputées sans effet spécifique : VME = 5 mg.m⁻³ (INRS, 2008)

7. Bibliographie

AIRPARIF Actualité, 2007, n°30, 8 p.

ANSES, 2023, Valeurs toxicologiques de référence, Avis de l'Anses - Rapport d'expertise collective, Janvier 2023, Les particules de l'air ambiant extérieur (<https://www.anses.fr/fr/system/files/VSR2019SA0198Ra.pdf>)

CITEPA, 2007, <http://www.citepa.org/publications/Inventaires.htm> (consulté le 25/09/2007).

Santé Canada, 2000, Particules inhalables de 10 microns ou moins, Loi canadienne sur la protection de l'environnement. Liste des substances d'intérêt prioritaire. Rapport d'évaluation, 88 p.

INRS (Institut National de Recherche et de Sécurité), juin 2008, Valeurs limites d'exposition professionnelle aux agents chimiques en France, ED 984, 23 p.

InVS (Institut de Veille Sanitaire), septembre 2009. Description des valeurs repères toxicologiques utilisées lors d'expositions aiguës par inhalation des populations, p71.

OMS (Organisation Mondiale de la Santé), 2006, Air Quality guidelines. Global Update 2005, <http://www.euro.who.int/Document/E90038.pdf> (consulté en juillet 2011).

Site : N1-Saint-Lô (Rue du Général Gerhardt)

Voie : RD000, , Sens 1 : vers Cimetière, Sens 2 : vers RD972 (Rond Point)

Annexe 3

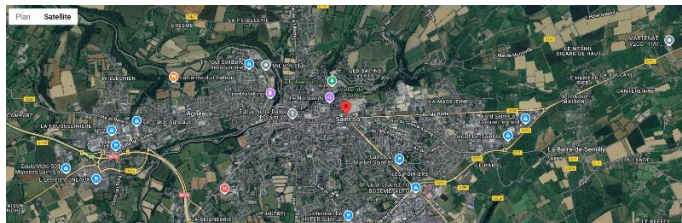
Période du rapport : 7 jours

Période de comptage : 7 jours

Photo site



Plan site



Synthèse détaillée

	vers Cimetière		vers RD972 (Rond Point)	
	Sens 1		Sens 2	
	TV	PL	TV	PL
Moyenne journalière de la période	3 899	119	2 642	108
V85 (en km/h)	40,0	28,9	31,4	27,7
Vitesse limitée à (en km/h)	50	50	50	50
% des véhicules en excès de vitesse	0,2%	1,9%	0,0%	0,4%
Moyenne journalière des jours ouvrables	4285	148	2819	129
Débit du jour le plus chargé	5170	200	3314	169
Débit de l'heure la plus chargée	561	25	325	19
Vitesse moyenne (en km/h)	22,5	18,3	19,0	17,0

Répartition par tranche de vitesse

	vers Cimetière		vers RD972 (Rond Point)	
	TV	PL	TV	PL
0-30 km/h	19 121	738	15 515	697
30-50 km/h	8 130	82	2 970	56
50-70 km/h	41	15	8	3
70-80 km/h	1	1	0	0
80-90 km/h	0	0	0	0
90-110 km/h	0	0	0	0
110-130 km/h	0	0	0	0
130-150 km/h	0	0	0	0
150-200 km/h	0	0	0	0
200-255 km/h	0	0	0	0

Analyse

Commentaire :
Exceptionnel

Météo :
Variable

Résultats généraux de la période

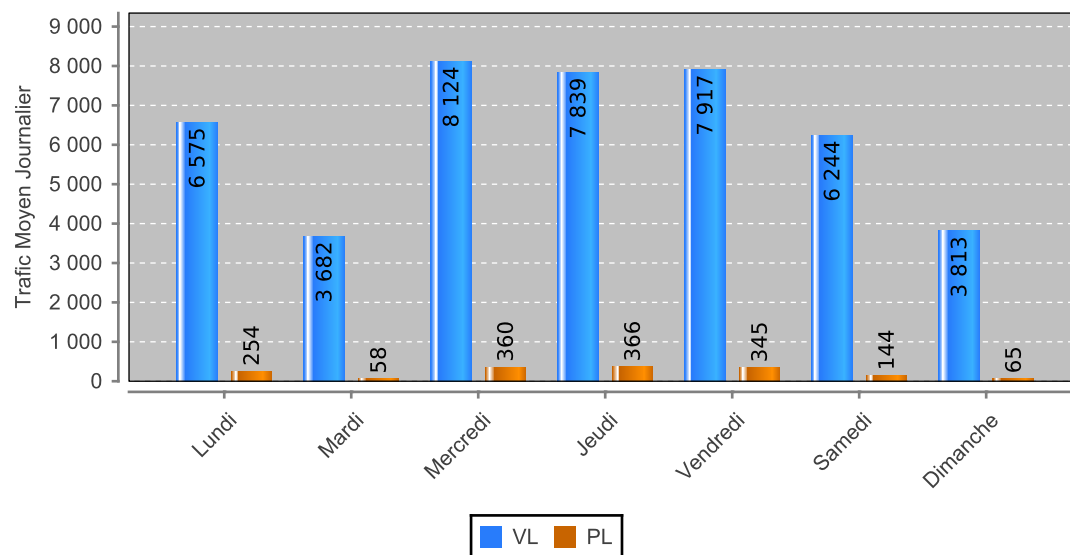
	VL	PL		TV
Débit total de la période	44 194	1 592	3,5%	45 786
Jour le plus chargé	mer. 12 nov.	jeu. 13 nov.		mer. 12 nov.
Débit du jour le plus chargé	8 124	366		8 484
Moyenne journalière de la période	6 313,4	227,4	3,5%	6 540,9
Moyenne journalière des jours ouvrés	6 827,4	276,6	3,9%	7 104,0

Photo site

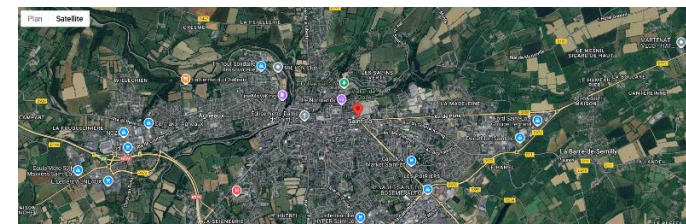


Histogramme

Répartition du trafic par jour



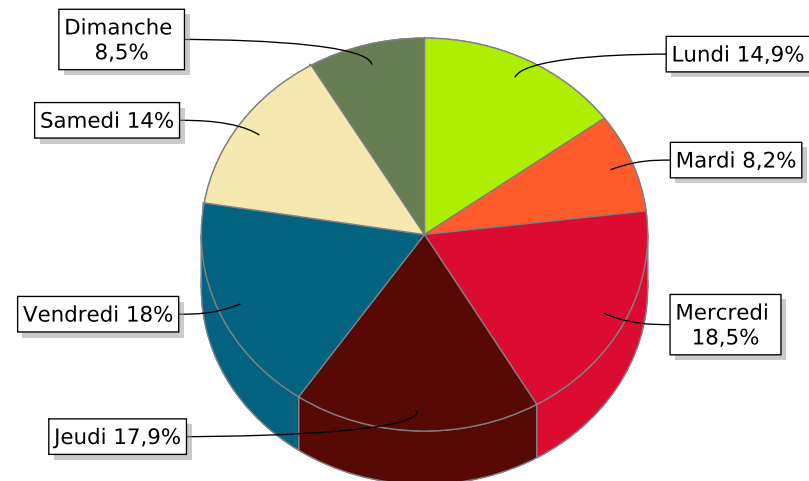
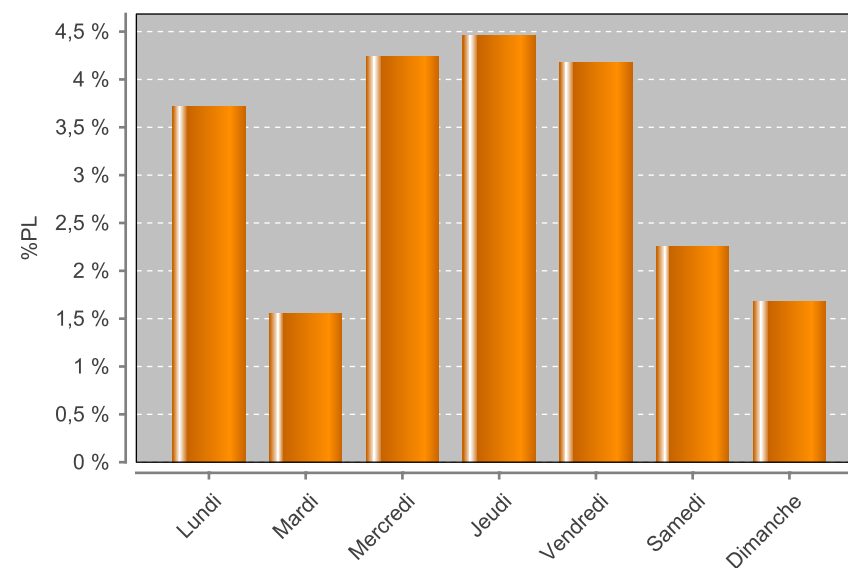
Plan site



Synthèse des débits sur la période

	VL	%VL	PL	%PL	TV
vendredi 07/11/25	7 917	95,8%	345	4,2%	8 262
samedi 08/11/25	6 244	97,7%	144	2,3%	6 388
dimanche 09/11/25	3 813	98,3%	65	1,7%	3 878
lundi 10/11/25	6 575	96,3%	254	3,7%	6 829
mardi 11/11/25	3 682	98,4%	58	1,6%	3 740
mercredi 12/11/25	8 124	95,8%	360	4,2%	8 484
jeudi 13/11/25	7 839	95,5%	366	4,5%	8 205
TOTAL	44 194	96,5%	1 592	3,5%	45 786

Analyse par type de jour



Objet : Projet de réaménagement de la rue Paul Lecacheux dans le cadre du projet de crématorium de Saint-Lô



1. Contexte du projet

La Ville de Saint-Lô porte un projet de création d'un crématorium à proximité immédiate du cimetière communal et du haras national, situés à l'extrémité de la rue Paul Lecacheux.

Dans ce cadre, un réaménagement de cette voie est envisagé afin d'assurer :

- la desserte du futur équipement public,
- la sécurisation des déplacements,
- l'intégration du projet dans son environnement urbain,
- la limitation des nuisances pour les riverains.

La rue Paul Lecacheux constitue aujourd'hui une voie locale desservant quelques habitations, un accès secondaire des Archives départementales ainsi qu'un bâtiment actuellement occupé par les services de l'Aide Sociale à l'Enfance (ASE). Le trafic est assez faible au quotidien.

2. Caractéristiques générales de la voie

La rue Paul Lecacheux présente une longueur d'environ **300 à 400 mètres** entre la rue Général Gerhardt et le portail d'accès au haras sur une largeur d'environ 9m.

Le projet de réaménagement vise à maintenir son caractère de **voie de desserte locale**, en privilégiant un aménagement favorisant la modération de la vitesse et le partage de l'espace public.

Les principes d'aménagement retenus sont les suivants :

- instauration d'une **zone de rencontre, à 20 km/h** permettant le **partage entre les différents usagers** (piétons, cycles et véhicules motorisés) ;
- suppression de la distinction stricte entre trottoirs et chaussée afin de favoriser la réduction des vitesses ;
- création de **poches de stationnement ponctuelles**, ainsi qu'une place de livraison pour les archives.

3. Traitement de la chaussée et insertion paysagère

Le projet prévoit l'utilisation d'un béton désactivé et de chaînettes pavées.

Ce choix technique vise à donner un **aspect moins urbain** pour que les modes doux se sentent prioritaires.

Le projet intégrera également :

- des **aménagements paysagers ponctuels** (plantations, espaces verts) pour une ambiance plus végétale ;
- un **mobilier urbain adapté** (éclairage public, signalisation de zone apaisée) ;

4. Organisation du stationnement

Le projet prévoit l'aménagement de **places de stationnement ponctuelles le long de la rue**, afin de répondre aux besoins des riverains et des équipements existants.

Les dispositions suivantes sont envisagées :

- maintien de places de stationnement devant les **habitations situées en début de rue** (environ cinq logements concernés) ;
- aménagement de places de stationnement à **proximité de la maison actuellement occupée par les services de l'ASE (n°220)** ;
- maintien de places de stationnement à **proximité des Archives départementales**.

Concernant ce dernier équipement :

- une **prise de contact a été réalisée avec les Archives départementales** afin d'identifier leurs besoins spécifiques ;
- une **place de livraison sera maintenue devant l'accès secondaire**.

Par ailleurs, des **échanges sont en cours avec le Département de la Manche** afin d'étudier la possibilité d'aménager une **poche de stationnement complémentaire** en face de la future entrée du crématorium, en remplacement de garages existants appelés à être démolis.

5. Situation de la maison occupée par l'Aide Sociale à l'Enfance

Une **prise de contact a été effectuée avec les services départementaux et le service de l'Aide Sociale à l'Enfance (ASE)** concernant l'occupation actuelle du bâtiment situé rue Paul Lecacheux.

Les éléments suivants ont été communiqués :

- le bâtiment accueille actuellement **des enfants placés dans le cadre des missions de l'ASE** ;
- les services départementaux ont indiqué qu'**un projet de relocalisation de cette structure est envisagé** ;
- les occupants actuels disposent déjà **d'une vue directe sur le cimetière existant**, sans que cette situation n'ait donné lieu à des observations particulières depuis l'installation de cette structure.

6. Évaluation prévisionnelle des flux de circulation

Le futur crématorium est dimensionné pour accueillir **un maximum d'environ 1 200 crémations par an**, soit une moyenne d'environ **3 crémations par jour ouvré** sur la durée de la délégation (30 ans).

Les retours d'expérience observés sur des équipements de taille comparable montrent que chaque cérémonie génère généralement **entre 20 et 25 véhicules**, selon le nombre de participants et les pratiques familiales.

Sur la base d'une hypothèse moyenne de **20 véhicules par convoi funéraire**, le trafic généré serait de l'ordre de :

- **60 mouvements de véhicules par jour**,
- répartis sur plusieurs plages horaires de la journée.

Ce trafic reste **modéré au regard des capacités d'une voie locale** et demeure ponctuel, les arrivées et départs étant concentrés autour des horaires de cérémonies.

Par ailleurs, une partie des participants se rend au crématorium à pied lorsque la cérémonie religieuse préalable se déroule dans le centre-ville, notamment à l'église Sainte-Croix, ce qui contribue à **réduire le nombre de véhicules circulant dans la rue Paul Lecacheux**.

7. Stationnement lié au fonctionnement du crématorium

Le projet de crématorium prévoit la réalisation d'un **parking de 49 places de stationnement sur le site même de l'équipement**.

Ce stationnement est destiné à accueillir les véhicules des familles et des participants aux cérémonies.

Afin d'anticiper les situations de fréquentation plus importantes, plusieurs mesures complémentaires sont envisagées :

- le **réaménagement du parking du gymnase André Guilbert**, situé à proximité ;
- l'amélioration du **cheminement piéton entre la rue Maréchal Juin et le futur crématorium**.

Ces aménagements permettront de :

- répartir les stationnements ;
 - limiter la présence de véhicules dans la rue Paul Lecacheux ;
 - favoriser l'accès piéton au site.
-

8. Incidences sonores et tranquillité publique

Les activités liées au fonctionnement d'un crématorium génèrent généralement **des niveaux de nuisances sonores faibles**, principalement liés aux déplacements de véhicules lors des arrivées et départs des familles.

Plusieurs éléments du projet contribuent à **limiter ces nuisances** :

- l'implantation du crématorium à proximité immédiate du cimetière, dans un secteur déjà dédié aux activités funéraires ;
- la mise en place d'une **zone de rencontre limitée à 20 km/h** ;
- la conception d'une **voie favorisant une circulation lente et modérée**.

Les flux de circulation associés aux cérémonies restent par ailleurs **temporaires et ponctuels**, concentrés sur des horaires diurnes.

Compte tenu de ces éléments, les incidences sonores du projet sur le voisinage sont considérées comme **limitées et compatibles avec le caractère résidentiel du secteur**.

9. Acceptabilité sociale et insertion dans l'environnement urbain

Le projet de crématorium s'inscrit dans la continuité des fonctions déjà présentes dans le secteur, notamment la présence du **cimetière communal**.

Plusieurs démarches ont été engagées afin de prendre en compte les spécificités du voisinage :

- échanges avec les **Archives départementales** afin d'assurer le maintien des conditions d'accès et de livraison ;
- prise de contact avec les **services du Département et de l'Aide Sociale à l'Enfance** concernant l'occupation actuelle d'un bâtiment situé dans la rue ;
- réflexion sur l'organisation du stationnement afin de limiter l'impact sur les riverains.

Le projet d'aménagement de la rue Paul Lecacheux privilégie par ailleurs **un traitement apaisé de l'espace public**, adapté à un environnement résidentiel, avec :

- une limitation de vitesse,
- une circulation partagée,
- un nombre maîtrisé de places de stationnement.

Ces dispositions visent à garantir **une bonne intégration du futur équipement dans son environnement urbain**, tout en préservant la qualité de vie des riverains.

10. Conclusion

Le projet de réaménagement de la rue Paul Lecacheux s'inscrit dans une démarche visant à concilier :

- la desserte du futur crématorium,
- la préservation du cadre de vie des riverains,

- la sécurisation des déplacements.

Les principes d'aménagement retenus reposent sur :

- une **circulation apaisée** ;
- une **gestion maîtrisée du stationnement** ;
- un **traitement qualitatif de l'espace public** ;
- une **limitation des nuisances sonores**.

Ces dispositions permettront d'assurer une **intégration équilibrée du futur équipement dans son environnement urbain**.



SNC Crémation
Tous droits réservés

Crématorium de SAINT-LÔ

DONNÉES TECHNIQUES PROCESS DE CRÉMATION ET DE FILTRATION



SOMMAIRE

- Présentation du fournisseur du process et détail non technique de l'ensemble des appareils liés au process de crémation
- Moyens de contrôle additionnels mis en place par le délégataire
- Annexe 1 - Documentation technique des matériels installés
- Annexe 2 - Engagement du fabricant sur les rejets gazeux

Présentation du fournisseur du Process
et détail non technique de l'ensemble des appareils liés au process de crémation



SNC Crémation : Leader indépendant et visionnaire pour une crémation durable et innovante

SNC Crémation, leader français indépendant dans la construction et la gestion de crématoriums en délégation de service public, place l'innovation au cœur de sa mission pour relever les défis environnementaux et sociétaux. Forte de son expertise opérationnelle et engagée en faveur de la continuité du service public, SNC Crémation a noué un partenariat exclusif avec FMI Process pour développer un procédé de crémation inédit, pensé pour répondre aux attentes des collectivités d'aujourd'hui et de demain.

Grâce à cette alliance stratégique franco-française, SNC Crémation et FMI Process ont conçu une solution sur mesure : le Four ID-XXL5000-ECO2®, un équipement de pointe entièrement imaginé et fabriqué en France. Ce four allie performance, fiabilité et conformité aux normes environnementales les plus exigeantes.

Développé en collaboration avec les utilisateurs, ce procédé bénéficie de l'expertise et du savoir-faire des deux partenaires pour garantir :

- *Une excellence technique, visant à optimiser l'efficacité, la fiabilité et la qualité de la crémation.*
- *Une réduction significative de l'impact écologique, grâce à des technologies avancées de traitement des émissions, une consommation énergétique maîtrisée et une fabrication locale.*
- *La sécurité et le confort des collaborateurs, intégrés dès la phase de conception, pour une exploitation sereine et durable.*
- *Une continuité exemplaire du service public, au cœur des priorités de SNC Crémation, assurant disponibilité et fiabilité des installations en toutes circonstances.*

En développant ce procédé avant-gardiste, SNC Crémation affirme une nouvelle fois sa volonté de repousser les limites de la technologie tout en intégrant pleinement les enjeux de durabilité. Cette démarche illustre parfaitement son rôle de leader visionnaire, inspirant l'ensemble du secteur à adopter des solutions innovantes, responsables et adaptées aux besoins des collectivités.

FMI – L'histoire d'un leader français au service de l'industrie et de l'environnement



Usine de production et siège social de la société FMI Process à L'Horme (42)

Depuis sa création au début des années 1970, FMI Process s'est imposé comme un acteur incontournable de l'ingénierie française, spécialisé dans la conception et la fabrication de solutions innovantes pour l'industrie et l'environnement. Basée à L'Horme, près de Lyon, l'entreprise a su combiner expertise technique et capacités d'innovation pour collaborer avec des clients prestigieux tels que Peugeot, Renault Trucks, Saint-Gobain et EDF.

Dès les années 1990, FMI Process diversifie son savoir-faire en développant des solutions de pointe dans la construction de fours et le traitement des fumées. Sa collaboration avec EDF a donné naissance à une gamme révolutionnaire de fours à lits fluidisés sans briques réfractaires, conçus pour valoriser thermiquement les boues des stations d'épuration – un succès emblématique de son approche avant-gardiste.

Toujours à l'écoute des enjeux environnementaux, FMI Process a anticipé dès 2010 les nouvelles réglementations visant à limiter les rejets atmosphériques des fours de crématoriums. Cela a conduit au développement de process brevetés, répondant parfaitement aux exigences de ce marché. Aujourd'hui, de nombreux crématoriums français sont équipés par FMI Process, témoignant de son expertise et de son engagement pour des solutions durables. Parmi les nombreuses références, on retrouve notamment : Saint-Etienne, Tulle, Abbeville, Sainte-Marguerite, Saint-Jean-Kourtzerode, Le Mans, Pamiers, Montélimar, Montauban, Mâcon, Lyon La Guillotière, Lavilledieu, La Balme de Sillingy et Elche.

En 2025, un nouveau chapitre s'ouvre avec le partenariat entre FMI Process et la SNC Crémation. Ensemble, ils unissent leurs forces pour concevoir un process optimisé, répondant à un cahier des charges rigoureux, tant sur le plan technique qu'environnemental. Ce partenariat illustre l'engagement commun des deux acteurs pour construire un avenir alliant fabrication française, innovation, performance et respect de l'environnement.

Le four ID-XXL5000-ECO2®, bijou technologique et environnemental Made in France



Ligne de production four ID-XXL5000-ECO2® - société FMI Process à L'Horme (42)

Conçu et fabriqué près de Saint-Étienne, le four ID-XXL5000-ECO2® incarne l'excellence française en matière d'écoresponsabilité et d'innovation. Il se distingue notamment par :

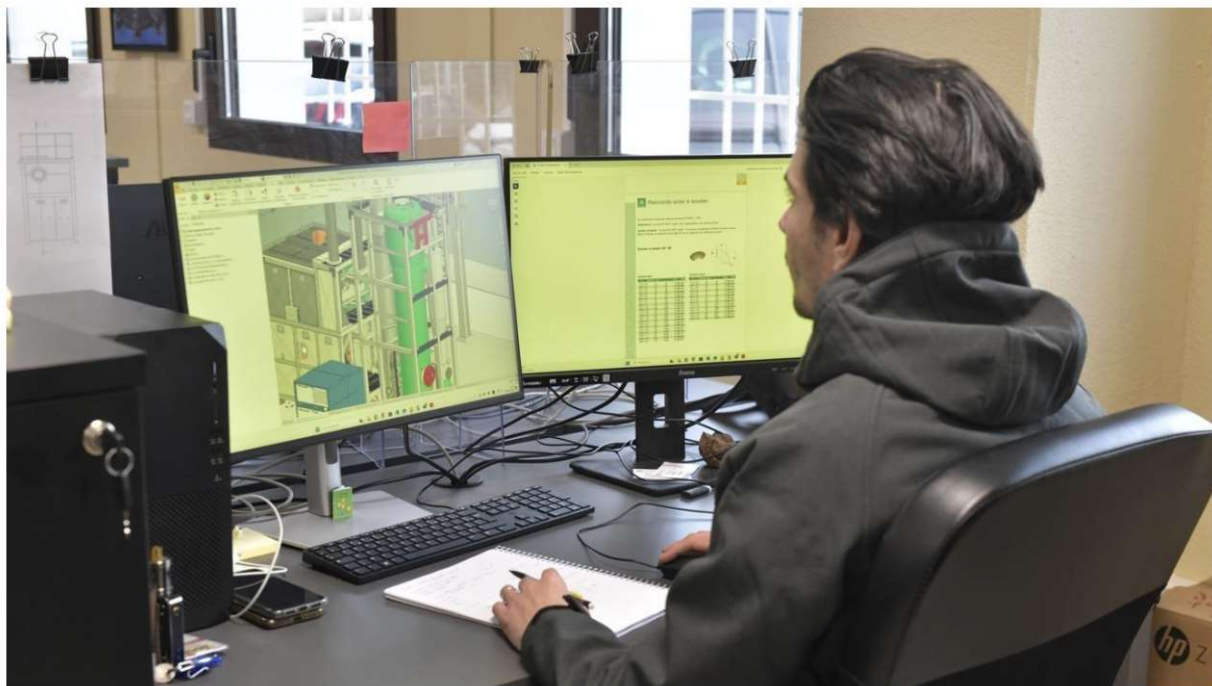
- Une fabrication locale, réduisant son empreinte carbone grâce à un approvisionnement et une production proches des sites d'installation.
- Une technologie de pointe, intégrant un système de filtration avancé pour un traitement optimal des émissions.
- Une durabilité exemplaire, grâce à une conception robuste et ingénieuse brevetée qui limite les besoins de maintenance et les déplacements associés.
- Un doublement des thermocouples permettant de diminuer de 80 % la probabilité de panne pendant l'acte de crémation.

Fruit de la collaboration entre deux experts reconnus du secteur, ce process innovant résulte de longues phases de recherche et développement en bureau d'études. Désormais en production, le ID-XXL5000-ECO2® redéfinit les standards de l'industrie en matière de crémation, bouleversant les approches traditionnelles des acteurs du marché.

Ce bijou technologique illustre une vision tournée vers l'avenir, où performance, durabilité et responsabilité environnementale vont de pair.

CREMATORIUM DE SAINT-LO

TECHNOLOGIES MISES EN ŒUVRE



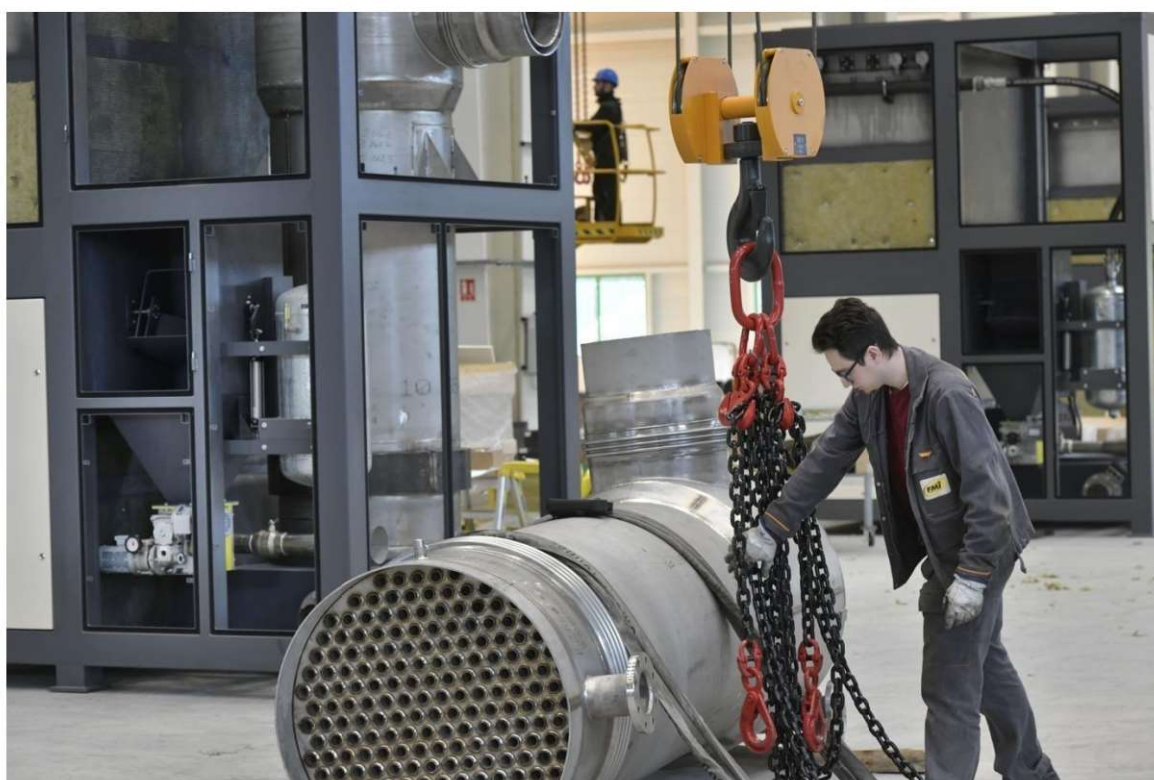
Bureau d'études - société FMI Process à L'Horme (42)



Maquette 3D du process – Crématorium de Saint-Etienne



Usine de production des four ID-XXL5000-ECO2® - société FMI Process à L'Horme (42)



Un système de filtration extérieur (hors de la salle des fours) pour un meilleur confort des collaborateurs



Système de filtration CLEANAIR PACK® - société FMI Process à L'Horme (42)

En prévention de la mise en place d'un second four, nous intégrons un châssis CLEANAIR PACK® Double, permettant à terme l'installation d'un second système de filtration CLEANAIR PACK®. Grâce à son architecture modulaire, cette solution innovante permet une adaptation optimale aux besoins opérationnels, tout en garantissant une gestion efficace des émissions et une continuité exemplaire des performances. Ce dispositif reflète notre engagement à offrir des solutions fiables, durables et conformes aux réglementations en vigueur, tout en anticipant les évolutions futures des installations.

CLEANAIR PACK® : Une solution de filtration « extérieure » pour un confort optimal

Le CLEANAIR PACK® est un système de filtration autonome spécialement conçu pour les fours de crémation. Installé à l'extérieur de la salle des fours, il réduit l'exposition des collaborateurs à des conditions contraignantes, tout en offrant une performance environnementale et technique de haut niveau.

Un ensemble complet et performant :

Le CLEANAIR PACK® comprend :

- Refroidissement des fumées : système par circulation d'eau.
- Gestion des réactifs :
 - Vide seau automatique pour le traitement des fumées.
 - Trémie de stockage de 100 litres (suite) pour une capacité de 5 seaux.
 - Système de dosage et d'injection des réactifs.
- Filtration efficace : filtre à manches avec décolmatage pneumatique.
- Extraction optimisée : extracteur insonorisé avec contrôle automatisé de la dépression dans le four.
- Tuyauterie en inox : équipée de trappes réglementaires pour l'analyse des fumées.
- Système de décolmatage : compresseur d'air dédié.

Un circuit de refroidissement complet :

- Aéroréfrigérant, pompe de circulation, groupe de maintien de pression.
- Tuyauteries avec accessoires et sondes de température.

Automatisation et supervision avancées :

- Automate avec écran tactile pour un contrôle simplifié.
- Supervision et télésurveillance (optionnelles, sous réserve d'une connexion ADSL).

Design robuste et personnalisable :

Le CLEANAIR PACK® est habillé d'une tôle laquée avec protection antirouille. Il est livré en teintes Blanc Perle (RAL 1013) et Gris Anthracite (RAL 7015), avec possibilité de personnalisation selon vos besoins.

Une implantation pensée pour le bien-être et l'efficacité :

Grâce à son installation extérieure à la salle des fours, ce système minimise l'impact sur la salle des fours, améliorant ainsi le confort des collaborateurs et optimisant les performances opérationnelles. Le CLEANAIR PACK® allie innovation, robustesse et respect des normes environnementales les plus strictes.

Un double châssis pour accueillir un second système de filtration CLEANAIR PACK®

En prévision de l'ajout d'un second four, nous prévoyons l'intégration d'un châssis CLEANAIR PACK® Double, conçu pour accueillir ultérieurement un second système de filtration CLEANAIR PACK®. Cette solution innovante et modulaire garantit une parfaite adaptabilité aux besoins opérationnels, tout en assurant une gestion optimisée des émissions et une continuité des performances. Ce dispositif incarne notre engagement à proposer des solutions fiables, durables et conformes aux normes en vigueur, tout en anticipant les futurs besoins d'évolution des installations.



ÉQUIPEMENTS NÉCESSAIRES À LA CRÉMATION

Process complet : Four de crémation (ID-XXL5000-ECO2®) et système de filtration CLEANAIR PACK® Ext.

Nous avons prévu la mise en place d'un ID-XXL5000-ECO2®, dernière génération de fours en matière de sécurité et de fiabilité, spécifiquement développé selon un cahier des charges précis établi par la SNC Crémation. Il assure de mener à bien la crémation du défunt dans le respect de la réglementation en vigueur et avec une consommation énergétique maîtrisée et un confort optimisé pour le personnel. Le four est équipé d'un refroidisseur de calcius qui, associé à un broyeur ultra rapide, permet une remise rapide de l'urne dans des conditions optimales.

Le système de filtration, situé en dehors de la pièce où se trouve le four, évite au personnel de travailler dans des conditions de températures trop élevées.

De manière préventive, la salle des fours a été dimensionnée de manière à pouvoir accueillir une seconde unité de crémation.

Système de Chauffage des locaux par récupération de la chaleur du four

Chauffer les locaux en réutilisant la chaleur. Le four de crémation génère des gaz de combustion à haute température (>850°C). Dans la suite du process, il faut filtrer ces gaz, mais le système de filtration n'accepte que des gaz dits « froids ». Le système joue un rôle intermédiaire en refroidissant les gaz à 150°C. La circulation d'un fluide caloporteur entre la chaudière et l'aéroréfrigérant passe par un échangeur thermique récupérateur de chaleur qui permettra de réutiliser cette dernière pour le chauffage des locaux.

Organic Rankine Cycle – production d'électricité à partir de la chaleur du four

La Société Nouvelle de Crémation (SNC), délégataire de service public pour 32 ans, propose d'équiper le crématorium de Saint-Lô d'un système ORC (Organic Rankine Cycle). Ce dispositif transforme la chaleur fatale en électricité, réduisant l'empreinte carbone et valorisant une ressource énergétique locale. Cette initiative s'inscrit pleinement dans les ambitions de décarbonation de Saint-Lô et illustre une gestion durable des infrastructures publiques.

Totalement pris en charge par la SNC, tant pour l'installation que pour la maintenance, le projet n'engendre aucun coût pour la commune. La pérennité et les performances du dispositif sont garanties sur toute la durée de la délégation, offrant des retombées économiques et écologiques durables.

En capitalisant sur une énergie inutilisée, Saint-Lô affirme son rôle de précurseur en matière de transition énergétique. Cette collaboration public-privé démontre comment innovation et responsabilité peuvent se conjuguer pour améliorer les services publics, tout en consolidant l'image d'un territoire engagé et tourné vers l'avenir.

Aéroréfrigérant

L'aéroréfrigérant, situé à l'extérieur, sert à évacuer la chaleur produite par le four. Cet équipement est composé de 4 ventilateurs basse vitesse, permettant un fonctionnement silencieux (40 dB à 10m en pleine charge).

Système de filtration

La réglementation impose depuis le 16 février 2018, la mise en place d'une filtration afin de « nettoyer » les gaz de combustion. Cette filtration est chimique et mécanique. En effet, plusieurs types de polluants sont générés lors de la crémation. Une injection d'une solution à base de charbon actif, permet de piéger les polluants chimiques. Les poussières sont piégées mécaniquement à l'aide de manches en tissu.

Afin d'assurer un confort intérieur au personnel et favoriser une ventilation naturelle du système, nous avons prévu son installation dans une salle spécifique. La salle disposera d'une ventilation naturelle haute et basse.

Système DeNOx

Les oxydes d'azote NOx ont des impacts sur la santé et sur l'environnement. La solution DeNox de notre partenaire FMI Process piégera les oxydes d'azote et limitera leur rejet dans l'atmosphère. Il s'agit d'une technologie de pointe, qui abaisse le niveau des polluants rejetés et qui vient en complément du système de filtration présenté ci-dessus.

Unité de pulvérisation de calcius

Le Pulvérisateur Ultra Rapide de FMI Process a été conçu spécifiquement pour répondre aux exigences particulières des crématoriums modernes. Le Pulvérisateur Ultra Rapide est un système utilisant des techniques avancées et fiables pour la réduction des cendres et calcius en particules fines. Il permet, en moins de 3 minutes, de traiter, de séparer tous les éléments hétérogènes et de restituer, dans une urne technique, les calcius pulvérisés.

Armoire de transfert des cendres

A l'issue de la pulvérisation, le contenu de l'urne technique est versé dans l'urne choisie par la famille. L'opérateur positionne l'urne retenue par la famille dans l'armoire de transfert des cendres. Lors de cette opération, toutes les poussières induites sont aspirées et filtrées pour prévenir l'inhalation de particules en suspension par l'agent de crémation.

Moyens de Contrôle additionnels

Notre programme de contrôle démontre notre engagement tangible en faveur de l'environnement. Composé de 11 mesures concrètes, il établit de nouvelles références en termes de responsabilité écologique et répond à un objectif clair : élever les standards et faire de la durabilité une réalité dans la gestion du crématorium.

- 1. Contrôle hebdomadaire et maintenance régulière du silo à réactif : Ces pratiques sont essentielles pour assurer le bon fonctionnement du système de filtration et maintenir des normes élevées en matière d'environnement et de santé publique.*
- 2. Mesure mensuelle du taux de glycol nous permettant de vérifier que l'échangeur est toujours dépourvu de rouille ou de boue.*
- 3. Contrôle hebdomadaire du niveau de réactif pour garantir l'efficacité de notre dispositif d'adsorption.*
- 4. Analyse en continu des poussières des fumées : L'installation d'un analyseur sur la cheminée constitue une mesure proactive pour détecter tout dysfonctionnement potentiel du système de filtration et assure que les filtres sont continuellement en bon état de fonctionnement.*
- 5. Surveillance visuelle avec une caméra : Une caméra reliée à l'écran de contrôle du bureau permettant de surveiller en permanence la sortie du conduit de fumée, est une autre mesure astucieuse pour s'assurer que les fumées émises sont conformes aux normes environnementales.*
- 6. Analyse des taux de CO et CO2 : Cette pratique mensuelle interne permet de surveiller de près les émissions de gaz et de garantir le bon réglage de l'appareil de crémation.*
- 7. Système visuel et sonore pour indiquer la fin de la crémation : Cette initiative permet non seulement d'économiser de l'énergie, mais aussi d'optimiser le processus de crémation en s'assurant que celle-ci s'arrête au moment approprié, évitant ainsi un gaspillage inutile de ressources.*
- 8. Récupération de calorie : Cette initiative permet d'économiser de l'énergie primaire*
- 9. Utilisation du logiciel SUPERVIZE : Ce logiciel de gestion et d'analyse des crémations est un outil précieux pour surveiller et optimiser les opérations du crématorium. Cet outil est aussi un outil performant de gestion de la formation du personnel.*
- 10. Contrôle périodique des fumées renforcé : Le contrôle réglementaire des fumées aura lieu tous les 12 mois au lieu des 24 mois réglementaires afin d'assurer un suivi des plus rigoureux.*
- 11. Utilisation certifiée d'énergie renouvelable : En choisissant l'option Énergie Renouvelable d'EDF, le crématorium s'assure qu'un volume d'électricité certifiée d'origine renouvelable équivalent à 100 % de sa consommation d'électricité a été injecté sur le réseau pour son compte et s'engage ainsi en faveur de l'environnement.*

Contrôle hebdomadaire du silo à réactif

Chaque semaine, nous procédons à un contrôle méticuleux du silo à réactif pour garantir le bon fonctionnement de notre processus, assurant ainsi une efficacité continue et un fonctionnement optimal du dispositif de filtration.

Notre système de traitement des effluents particuliers et gazeux repose sur une technologie de lavage à sec, spécialement conçue pour adsorber les métaux lourds, le mercure, les dioxines, les furanes, ainsi que pour réduire les gaz acides tels que le SO₂, le HCl et le HF présents dans les fumées.

Chaque composant de notre dispositif est minutieusement ajusté pour respecter scrupuleusement les normes réglementaires, en conformité avec l'Arrêté du 28 janvier 2010.

Un aspect crucial de notre système est son système de refroidissement. En refroidissant les gaz de combustion provenant des appareils de crémation, nous nous assurons que le principe d'adsorption à basse température fonctionne de manière optimale.

Contrôle mensuel du taux de Glycol



En effectuant un contrôle mensuel du niveau de glycol et une inspection visuelle du fluide, nous nous assurons que l'échangeur reste exempt de rouille et de boue. Cette démarche préventive prolonge la durée de vie de l'équipement et réduit les risques de dysfonctionnement, comme les fuites dans l'échangeur qui pourraient empêcher la filtration.

Contrôle hebdomadaire du niveau de réactif

Le dosage précis des réactifs est une étape essentielle pour assurer l'efficacité et l'efficience de notre dispositif d'adsorption. Nous ajoutons un neutralisant appelé aux effluents refroidis. Ce neutralisant est soigneusement mélangé avec les gaz d'échappement dans des volumes de réaction appropriés avant de passer au filtre dédié.

Une fois que le neutralisant est ajouté aux gaz de combustion, une réaction chimique se produit, transformant ce mélange en particules solides. Ces particules sont ensuite capturées par les manches filtrantes du dispositif de filtration, garantissant ainsi une purification efficace de l'air.

Il est donc primordial que le volume de neutralisant injecté soit respecté. Afin de nous assurer que ce dispositif délivre le bon dosage de réactif, une vérification est effectuée chaque semaine avec une règle de trois sur le nombre de kilos de réactif injecté et le nombre de crémations (600 g de réactif à chaque préchauffage et 600 g par crémation).

Nettoyage hebdomadaire du tube d'analyse

Notre système de filtration est équipé d'un ventilateur à tirage positionné en fin de ligne de filtration. Ce ventilateur extrait les gaz propres de l'ensemble du dispositif de crémation, de traitement et de filtration, les propulsant ensuite à l'atmosphère par le biais d'une cheminée adaptée aux volumes calculés. Ce dispositif fonctionne par analyse de la dépression dans la chambre de crémation. Pour garantir une analyse correcte du taux de dépression, nous procédons à un nettoyage chaque lundi du tube d'analyse relié au Kymo.

Grâce à nos contrôles hebdomadaires rigoureux et à notre engagement envers une maintenance régulière, nous nous assurons que notre système de filtration fonctionne de manière optimale, contribuant ainsi à la préservation de l'environnement et à la santé publique.

Système de contrôle permanent des fumées

Pour assurer des crémations respectueuses de l'environnement et conformes au règlement de consultation, notre offre inclut une surveillance constante des émissions de fumées. Un dispositif sera installé directement sur le conduit de fumées pour mesurer en continu les particules. Il garantira que les filtres sont en parfait état et intacts. En cas de détection de filtre défectueux, une alarme sonore et un signal lumineux s'activeront dans la salle de contrôle, permettant le remplacement rapide du filtre par le fabricant du four.

Surveillance visuelle en temps réel des fumées en By-Pass

Pour mieux contrôler les fumées en mode By-Pass, nous installons une caméra reliée à l'écran de surveillance dans nos bureaux. Cette caméra filme et enregistre en continu l'échappement des fumées sur le toit du crématorium, assurant que les fumées restent incolores. Si une anomalie est détectée, cela nous permet de contacter notre équipe de maintenance à distance pour ajuster les paramètres de l'appareil de crémation et résoudre le problème. Ensuite, un rendez-vous peut être pris pour un ajustement manuel sur place par un technicien FMI PROCESS.

Mesure mensuelle des taux de CO et de CO2



Tous les mois, nous réalisons en interne des mesures des niveaux de monoxyde et de dioxyde de carbone à l'aide d'un outil de contrôle portatif, pour vérifier que l'appareil de crémation est correctement réglé.

Avertisseur visuel et sonore de suivi du temps de crémation

Nous équiperons le crématorium d'alertes visuelles et sonores indiquant aux opérateurs lorsque la crémation atteint 75 minutes. Ce système leur permet de vérifier la fin de la crémation et de l'arrêter si nécessaire, ce qui peut réduire la consommation d'énergie de 10 à 12 % en gaz et électricité.

Ces procédures viennent s'ajouter aux fonctionnalités de SUPERVIZE, notre logiciel de gestion et d'analyse des crémations présenté précédemment.

Augmentation de la fréquence des contrôles réglementaires des fumées (tous les 12 mois)

Nous avons décidé d'aller au-delà des exigences réglementaires en matière de surveillance environnementale en renforçant notre programme de contrôle des émissions. Alors que la réglementation demande un contrôle des fumées tous les deux ans, nous avons pris l'initiative de doubler la fréquence de ces vérifications. Désormais, ces contrôles auront lieu tous les 12 mois. Cette mesure montre notre engagement à maintenir les normes les plus strictes pour le suivi de la qualité de l'air et reflète notre engagement envers des pratiques écoresponsables. En surveillant plus fréquemment nos émissions, nous pouvons réagir rapidement à toute variation et garantir une conformité continue avec les normes environnementales, assurant ainsi une meilleure protection de l'environnement.

Utilisation certifiée d'énergie renouvelable

En souscrivant un contrat d'abonnement EDF à des sources d'énergie renouvelable, nous souhaitons faire prendre un virage résolument vert au Crématorium. Avec l'adoption de l'option Énergie Renouvelable proposée par EDF, l'établissement garantit que la totalité de l'électricité qu'il consomme est compensée par des quantités équivalentes d'énergie propre et verte injectées dans le réseau électrique. Ce choix éco-conscient assure que chaque kilowatt-heure utilisé pour les opérations du crématorium provient de sources d'énergie renouvelable certifiée, comme l'hydroélectrique, l'éolien, le solaire, ou la biomasse.

Cette initiative illustre l'engagement du crématorium en faveur de la durabilité et de la responsabilité environnementale. En prenant des mesures actives pour réduire son empreinte carbone, le crématorium démontre son leadership dans la transition énergétique et son engagement pour un avenir plus propre. C'est une étape significative qui souligne l'importance accordée à la préservation des ressources naturelles et à la promotion d'un environnement sain pour les générations futures.

Crématorium de SAINT-LÔ

DONNÉES TECHNIQUES PROCESS DE CRÉMATION ET DE FILTRATION



Annexe 1 – Documentation techniques des matériels installés

Four ID-XXL-5000-ECO2 - Table d'introduction
Système de filtration « Cleanair Pack » – Système Denox – Système OCR

FOUR ID-XXL5000-ECO2



Caractéristiques générales du four ID-XXL5000-ECO2

Dimensions externes du four

Longueur	4 325 mm
Largeur	2 900 mm
Hauteur	3 500 mm
Poids	17,5 Tonnes

Dimensions de la porte d'introduction

Largeur	1 100 mm
Hauteur	800 mm

Durée de préchauffage selon régime de fonctionnement

Durée de préchauffage après arrêt de 2 jours 1/2	environ 1 heure
Durée de préchauffage après arrêt de 40 heures	environ ¾ heure
Durée de préchauffage après arrêt de 16 heures	environ ½ heure

Puissance installée des brûleurs

Dans la chambre de crémation	400 kW
Dans la chambre de post-combustion	600 kW

Les brûleurs ont une puissance modulable.

Ventilateur d'air comburant

Puissance électrique du ventilateur d'air comburant	5,5 kW
Puissance électrique du ventilateur éjection secours	5,5 kW

Principe de construction

La structure du four est de type « cage en acier ». A l'intérieur, la cage est revêtue avec des panneaux en acier d'environ 6 mm d'épaisseur.

La chambre principale ainsi que le réseau de canaux intermédiaires situé à l'intérieur sont des caractéristiques propres à cette construction.

La chambre de post-combustion est placée au-dessus de la chambre de combustion. Un bon équilibre thermique est ainsi obtenu.

Avec ce type de construction, les déperditions de chaleur sont limitées et cela permet d'obtenir de faibles consommations de gaz.

La conception anti-feu repose sur une couche d'isolation entre l'intérieur et le mur extérieur. Celle-ci est composée de briques isolantes et de panneaux en silicate de calcium.

La protection des personnes est assurée par une ventilation d'air à travers la structure de la cage en acier positionnée entre le châssis en métal du four et l'isolation des panneaux décoratifs extérieurs. Cette conception permet d'obtenir des températures situées aux alentours des 40°C.



Finition

Les panneaux extérieurs ont une finition donnant un aspect esthétique plaisant à regarder qui contraste avec l'approche industrielle tel qu'on la connaît communément. Le four conserve, bien entendu, ses aspects fonctionnels tant pour l'exploitation au quotidien que la maintenance.

Partie avant du four

Les panneaux colonnes à gauche et droite ainsi que ceux situées au-dessus et en dessous de la porte d'introduction sont recouverts d'une peinture à la poudre dont la couleur est au choix du client selon le nuancier RAL. La porte d'introduction est recouverte d'une tôle en acier inox avec une finition poli-brillant. La densité structurale atteinte grâce à cette finition empêche non seulement la saleté de pénétrer dans les pores mais aussi d'offrir une résistance élevée aux rayures.

Partie arrière du four

A l'arrière du four se trouve la porte de décendrage ainsi que la porte d'accès au compartiment de refroidissement des calcus.

Toit du four

Sur le toit du four ont été positionnés des tôles d'acier revêtues de zinc que le technicien, lors de ses opérations de maintenance, peut faire tenir debout. Il peut ainsi accéder aux chemins de câbles et aux tuyauteries hydrauliques qui sont protégés par une gaine de protection.

Côtés du four

Les éléments latéraux du four ont une finition vinyle résistant à la chaleur et renforcent aussi l'isolation du four. Ceci permet d'abaisser la température de peau du four.

Le recouvrement vinyle se fait par bandes sur des profilés aluminium et ce tout autour des panneaux latéraux. Les profilés aluminium sont finis avec un cordon d'étanchéité noir rendant ainsi homogène l'ensemble et facilitant le nettoyage.

La chambre de crémation.

Elle équipée d'un brûleur d'une puissance installée de 400 kW avec sa panoplie conforme à la norme EN 746.2 en vigueur.

Deux sondes de température type Thermocouples K permettent la gestion du brûleur en automatique.

Cette chambre est également équipée d'un dispositif de mesure de dépression pour assurer la régulation du dispositif de tirage suivant les besoins liés au processus.



Un ventilateur d'air comburant assure l'insufflation d'air au niveau du brûleur et des rampes d'injection situées à la hauteur de la sole et sous la voûte de la chambre de crémation. Le débit est ajusté automatiquement à l'aide de vannes et de servomoteurs en fonction des besoins.

En face avant se trouve la porte d'introduction de dimension utile 1100x800 mm (lxh), cette porte est actionnée par des vérins hydrauliques.

Un système manuel permet la fermeture de cette porte en cas de défaillance du système ou de panne de courant.

La sole de la chambre de crémation est composée d'éléments en béton assemblés de manière à former un plancher plat facilitant les opérations de ringardage.

Un joint de dilatation positionné entre les murs latéraux et le plancher permet de gérer l'expansion des éléments en béton.

La largeur de la sole permet de procéder à la crémation de cercueils de grandes dimensions.

La première couche de maçonnerie ignifuge des murs latéraux est d'une très haute qualité permettant de résister aux dommages provoqués par l'effondrement des cercueils.

L'arche et la partie haute des murs latéraux sont isolés par des briques qui permettent une mise en chauffe rapide.

Les matériaux mis en œuvre pour les carnaux partant de la chambre de combustion jusqu'à atteindre la chambre de post-combustion offrent une forte résistance à l'abrasion en raison de l'importante abrasivité des fumées à ce niveau.

La structure porteuse ainsi que les linteaux posés sur celle-ci sont faits d'éléments en béton moulés qui supportent le briquetage. Une fois de plus, un matériau à haute densité a été choisi.

La chambre de post combustion

La chambre de post-combustion est d'un volume permettant de garantir un temps de séjour bien supérieur au minimum des 2s à 850°C, ce qui permet réduire au maximum les particules polluantes et ainsi prolonger la durée de vie du filtre du système de filtration des fumées.

Elle est équipée d'un brûleur d'une puissance installée de 600 kW avec sa panoplie conforme à la norme EN 746.2 en vigueur. Ce brûleur est placé dans l'arche intermédiaire entre les arches hautes et basses.

2 sondes de température type Thermocouples K et S permettent la gestion du brûleur en automatique et le contrôle du temps de séjour de 2 s minimum à 850°C.

1 sonde de contrôle du taux d'oxygène se trouve à la sortie de la chambre de Post-combustion afin de gérer l'insufflation d'air assurée par le ventilateur d'air comburant. Le débit est ajusté automatiquement à l'aide de vannes et de servomoteurs en fonction des besoins.

L'intégralité des fumées issues de la crémation en cours passent par cette chambre de post-combustion et brûlent de manière à éliminer les résidus produits par la combustion à l'intérieur de la chambre de crémation.

De manière à mélanger de façon efficace les gaz de combustion et l'air comburant, la trajectoire des fumées est changée plusieurs fois par l'intermédiaire des canaux situés dans la chambre de post-combustion.

Les parties constructives qui sont mises en relation avec les particules des gaz de combustion sont faites de briques hautement résistantes.

Celles qui sont seulement en lien avec des températures élevées bénéficient d'une importante isolation.

Les plots en béton moulés supportant les éléments en béton de la chambre de crémation sont très résistants et s'accommodent aussi bien des hautes températures qu'aux particules issues des gaz de combustion.

Les arches de la chambre de post-combustion au nombre de trois sont faites de briques isolantes, les fumées abrasives ayant pris place à l'intérieur de la première partie de la chambre de post-combustion, située sous la chambre de crémation.

Toutes les valeurs de températures, de dépression et du taux d'oxygène sont contrôlées et enregistrées en continu via la supervision.

Attention : Il est nécessaire de vérifier, avant chaque fermeture de cercueils, qu'il n'y a pas d'objets étrangers dans celui-ci (téléphone portable, pacemaker...). Ces objets sont susceptibles d'endommager le four lors de la combustion.

Cheminée de sécurité- Sortie directe à l'atmosphère

Cette cheminée est constituée d'une base en tôle d'acier garnie de béton réfractaire permettant le passage des fumées sortant du four.

Un système venturi permet le pré-refroidissement des fumées avant l'entrée dans l'échangeur air/eau. Il permet également d'extraire les fumées du four en sortie directe via un ventilateur de sécurité.

Une vanne de sécurité est installée sur la cheminée après le départ à la filtration. Cette vanne est actionnée pneumatiquement et est entièrement construite en inox. Elle s'ouvre automatiquement grâce à son propre poids en cas de panne de courant afin de permettre l'évacuation des fumées du four.

Le reste de la cheminée est en tôle d'acier inox de diamètre extérieur 850 mm dont 200 mm de laine de roche pour l'isolation revêtue d'une tôle aluminium.

La hauteur de cette cheminée est conforme à la réglementation en vigueur à savoir 1.05 x hauteur au point le plus haut du bâtiment.

Descriptif technique

Le système proposé permet l'introduction totalement automatique du cercueil dans la chambre de crémation, en respectant une sécurité maximum pour l'opérateur.



Une tige poussoir, réglable en longueur en fonction de la dimension des cercueils, actionnée par un moto-réducteur avec chaîne de transmission, introduit le cercueil sans à-coups. Ce dispositif permet à un seul opérateur d'effectuer sans difficulté la mise à la flamme du cercueil dans le four. Le système sera soit fixe soit sur rails pour permettre une utilisation aisée du four en accord avec les souhaits de l'utilisateur.

Notre offre comprend la fourniture d'un système d'introduction capable de réaliser l'ouverture porte, l'introduction du cercueil ainsi que la fermeture de la porte en moins de 20 secondes. (Article 6 du décret n°94-1117 du 20 décembre 1994 : « Ce système d'introduction du cercueil dans le four de crémation doit assurer cette mise en place en moins de 20 secondes »)

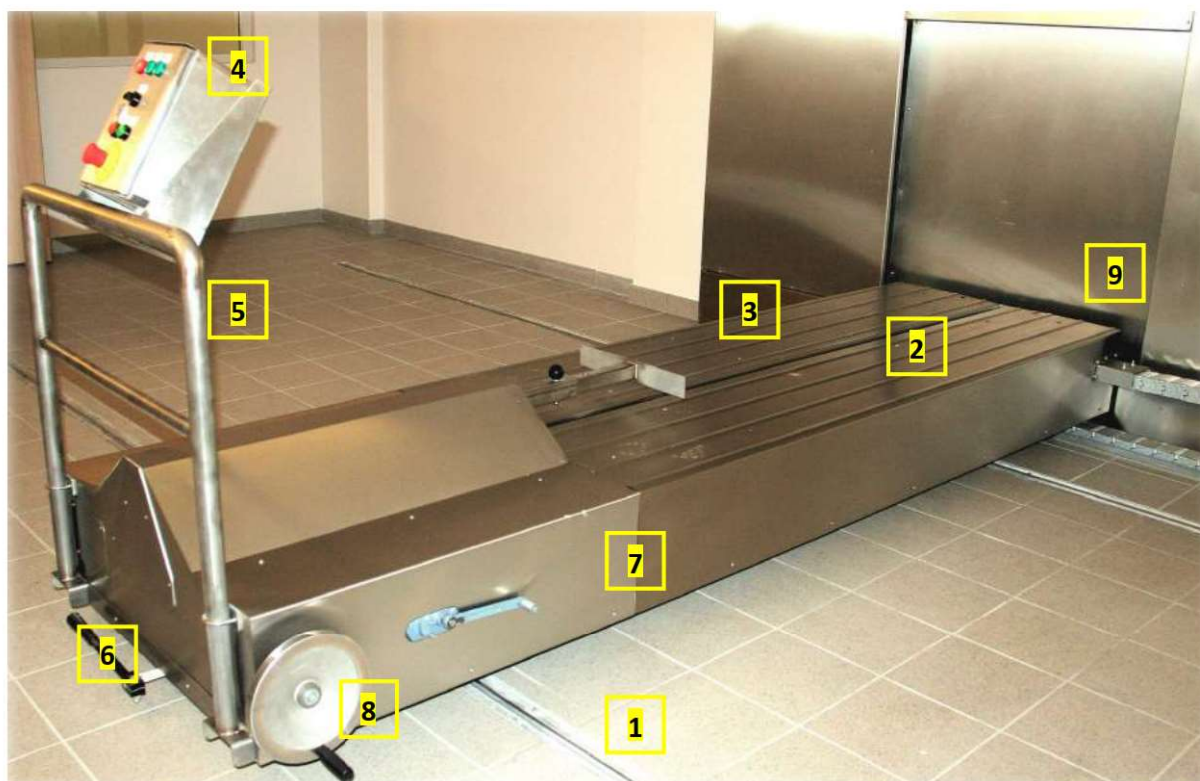
La séquence entièrement automatique se déroule alors comme suit :

- Ouverture de la porte de chargement
- Introduction du cercueil dans la chambre de combustion à l'aide du poussoir motorisé
- Retour du poussoir à sa position initiale avec fermeture de la porte de chargement après détection de la position du poussoir « intermédiaire ».

TABLE D'INTRODUCTION 241120



Définition



- 1 – Rails de déplacement latéral (pour four à décrochage avant ou en cas de plusieurs fours)
- 2 – Plan d'introduction
- 3 – Chariot pousseur avec bras réglable
- 4 – Pupitre de commande
- 5 – Barre de déplacement latéral
- 6 – Pédale de déverrouillage pour déplacement latéral
- 7 – Poignée de débrayage motoréducteur
- 8 – Volant de commande manuelle du chariot pousseur
- 9 – Roulements de guidage cercueil

Dimensions externes de la table

Longueur	3 370 mm
Largeur	950 mm
Hauteur*	980 mm

*depuis le sol jusqu'au plateau de la table

Sécurité

En cas de coupure de courant pendant le cycle d'introduction, il est toujours possible de manœuvrer le pousseur manuellement. En effet, le débrayage manuel du moto réducteur permet à l'aide d'un volant, de finaliser le processus d'introduction du cercueil.



La fermeture de la porte d'introduction est également possible en manuel.

L'introduction terminée, le poussoir de chargement est reculé pour retrouver sa position de départ et la fermeture complète de la porte de chargement autorise le démarrage de la crémation.

Par ailleurs nous prévoyons la mise à disposition d'une plaque d'obturation amovible façonnée dans un matériau isolant et résistant à des hautes températures qui permettra en cas de défaut de fermeture de la porte d'introduction d'obturer l'ouverture afin de mettre en sécurité le personnel et le local.

Puissance électrique totale installée	1,1 kW
Puissance électrique totale consommée	0,1 kWh

Système de Filtration et d'Épuration des Fumées

CLEANAIR PACK[®] Ext.

(Filtration pour un four de crémation)



SYSTEME D'EPURATION DES FUMÉES CLEANAIR PACK®

Le système CLEANAIR PACK® est un système de filtration autonome pour un four de crémation. Il est conçu pour être implanté en extérieur.

L'ensemble CLEANAIR PACK® se compose de :

- Refroidisseur de fumées par circulation d'eau,
- Vide seau automatique de réactifs de traitement des fumées,
- Trémie de stockage de réactifs de capacité maxi 100 litres (5 seaux),
- Système de dévoutage, de dosage et d'injection de réactifs dans les fumées,
- Filtre à manches à décolmatage pneumatique,
- Extracteur de fumées insonorisé comprenant un système automatisé de contrôle de la dépression dans le four,
- Tuyauteries inox des fumées filtrées avec trappe réglementaire pour analyse des fumées,
- Compresseur d'air comprimé pour décolmatage des manches filtrantes,
- Circuit d'eau de refroidissement comprenant :
 - Aéroréfrigérant,
 - Pompe de circulation,
 - Groupe de maintien de pression,
 - Tuyauteries et accessoires,
 - Sondes de températures,
- Armoire électrique et d'automatisme comprenant :
 - Automate avec écran tactile,
 - Supervision et télésurveillance (en option et sous réserve de mise à disposition d'une ligne ADSL)
- L'habillage du CLEANAIR PACK est en tôle laquée avec protection antirouille. Sa teinte correspond au RAL 1013 (Blanc Perle) ; le châssis est gris anthracite (RAL 7015). En option, toute autre teinte est envisageable en fonction du choix du client.



DESCRIPTIF DES DIFFERENTS ELEMENTS CONSTITUTIFS DU CLEANAIR PACK®

REFROIDISSEUR DES FUMÉES :

Le principe de fonctionnement est basé sur un transfert de l'énergie des fumées vers une boucle d'eau.

Le refroidisseur est de type tubulaire avec circulation de mélange glycol type MPG à contre-courant. Il est réalisé en tube d'acier inoxydable (les tubes dans lesquels circulent les fumées sont ainsi protégés contre la corrosion).

- Puissance nominale de refroidissement : 600 kW
- Température entrée d'eau mini : 70°C
- Température sortie d'eau maxi : 95°C
- Température admissible en pointe : ~800°C
(Durée de quelques secondes)
- Température de sortie des fumées : 150°C à 220°C
- Débit de circulation d'eau : 38 m³/h
- Poids total à vide : 1 500 kg
- Température extérieure minimum : -25°C *
(-50°C en option)

La tête du refroidisseur (arrivée fumées en provenance du four) est réalisée en double paroi refroidie.

La disposition verticale du refroidisseur permet une bonne évacuation des poussières qui tombent naturellement par gravité ; le flux d'air étant dirigé vers le bas. Par ailleurs, il est équipé d'une trappe d'accès permettant de ramoner les tubes de refroidissement.

Pour maîtriser la dilatation des tubes d'acier et donc la rupture liée à ces contraintes, notre refroidisseur est équipé d'un compensateur métallique spécifiquement étudié pour cette application. De plus, le support de notre équipement est également optimisé pour limiter les contraintes et permettre ainsi une libre dilatation des équipements.

* En option nous proposons un modèle « grand froid » (jusqu'à -45°C).



STOCKAGE ET INJECTION DE REACTIFS :

Ensemble étanche de stockage et dosage volumétrique de réactifs dans les fumées.

Ces réactifs permettent de traiter les gaz acides (SO_2 , HCl ...), les métaux lourds, le mercure et en général les polluants indésirables afin de respecter les normes en vigueur.

Le système de stockage de réactifs permet le renversement automatisé de seaux de capacité unitaire de 20 litres. La trémie peut contenir l'équivalent en réactifs de 5 seaux ce qui correspond à une autonomie d'environ 100 à 200 crémations.

Une fois le seau positionné sur le plateau à bascule et la porte refermée, un vérin pneumatique actionne le basculement automatique du plateau et le réactif contenu dans le seau tombe ainsi dans la trémie de réception.

Un système de dosage permet l'évacuation du réactif vers les fumées à traiter.

La diffusion du réactif vers le filtre à manches est réalisée par un Venturi dont le principe est le suivant :

- un flux de fumées circule à grande vitesse au travers d'une surface étranglée dans laquelle est injecté le réactif. Un segment élargi sert ensuite à la dispersion en gerbe des produits injectés au cœur du flux gazeux. La turbulence ainsi créée permet un mélange intime des réactifs dans les fumées et une répartition uniforme sur les surfaces des manches de filtration.

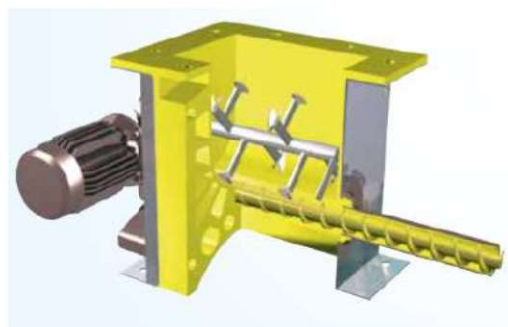


Caractéristiques techniques :

- Trémie avec hélice d'homogénéisation incorporée
- Puissance moteur : 0.55 kW
- Conditionnement réactifs : seaux 20 litres
- Alimentation du stockeur : plateau à bascule



- Afin d'éviter la prise en masse des réactifs (colmatage), une hélice de dévoutage est installée sous la trémie de stockage des réactifs.



FILTRE A MANCHES :

Un filtre à manches est intégré dans le caisson du CLEANAIR PACK®.



Il est composé de manches disposées de manière verticale pour en faciliter le décolmatage.

Cette opération se fait automatiquement de manière cyclique via un réseau d'air comprimé composé d'un compresseur relié à des rampes d'injection d'air.

En fonction de la perte de charge du filtre, les électrovannes montées sur chacune des rampes d'injection d'air s'ouvrent et se ferment en libérant la quantité d'air nécessaire dans les manches pour les débarrasser en partie des résidus qui s'y sont déposés et ainsi assurer le fonctionnement optimal du filtre tout en gardant suffisamment de réactifs imprégnés sur les manches.

Descriptif Technique Cleanair PACK Ext

Ces résidus tombent alors en partie basse de ce caisson où une trémie d'une capacité de 500 litres fait office de bac de rétention. L'accès à celle-ci se fait via une trappe disposée en façade en partie basse et sa vidange est alors réalisée par aspiration.

Caractéristiques techniques :

- Surface filtrante	:	60 m ²
- Média filtrant	:	fibres de verre + PTFE
- Températures admissibles	:	160 °C en continu, 260°C en pointe
- Caisson	:	inox
- Capacité	:	500 litres

COMPRESSEUR D'AIR COMPRIME

Un compresseur à vis isolé phonétiquement (installé dans un abri extérieur ou bien à l'intérieur du crématorium) produit la quantité nécessaire d'air pour nettoyer les filtres à manches mais aussi actionner les vannes et autres équipements pneumatiques de la ligne de filtration.

Caractéristiques techniques :



- Compresseur à vis avec réservoir
- Capacité du réservoir : 500 litres
- Pression maximale : 10 bar
- Débit d'air : 50,8 m³/h @ 7,5 bar
- Puissance moteur : 7,5kW
- Sécheur et filtre intégré

MOTO VENTILATEUR D'EXTRACTION :



Le ventilateur d'extraction permet le maintien en dépression du four et l'évacuation des fumées à l'atmosphère en passant par la filtration.

De type centrifuge, il est installé dans un caisson insonorisé avec refroidissement intégré (implantation en extérieur ou en intérieur)

Descriptif Technique Cleanair PACK Ext

Caractéristiques techniques :

- Construction acier peint
- Entraînement direct avec variation de fréquence
- Roue acier équilibrée au grade G4 suivant ISO 1940
- Porte de visite et purge de volute
- Turbine de refroidissement
- Plots anti vibratoires, manchettes souples à l'aspiration et au refoulement
- Turbine de refroidissement : 0,12 Kw
- Débit : 6000 à 7000 m³/h*
- Pression d'aspiration maxi : 500 à 700 mm CE*
- Ventilateur avec variateur de vitesse électronique : 18,5 kW*

*selon les distances de raccordements et les dépressions nécessaires à calculer en fonction de l'implantation sur site

CIRCUIT DE REFROIDISSEMENT :

Le refroidissement des parois du refroidisseur se fait au travers d'un mélange EAU-GLYCOL type MPG 40% dont la circulation est assurée par une pompe dont les caractéristiques sont adaptées au circuit (débit-pression).



En sortie du refroidisseur, nous proposons en option la fourniture d'un échangeur à plaques pour la récupération d'énergie.

Ce circuit de refroidissement est réalisé en tube inox sans soudure de diamètre 4 pouces, identifié conformément à la réglementation, assemblé par brides avec boulons et joints.

Puissance installée : 3kW
Puissance : 500 kW
Débit H₂O : 40 m³/h

L'expansion du fluide dans ce circuit, due aux augmentations de températures, est gérée par un groupe autonome de maintien en pression monté sur châssis rigide comprenant :

- Une pompe multicellulaire horizontale reliée directement sur bête,
- Une soupape réglable retour bête,
- Un jeu de vannes d'isolement et un clapet anti-retour,
- Une bête tampon de 200 litres



Descriptif Technique Cleanair PACK Ext

Il a pour but de réguler la pression du circuit de refroidissement en augmentant ou diminuant celle-ci suivant les seuils définis à la mise en route.

- Puissance installée : 0,84 kW
- Pression de service : < 4 bars

Des jeux de vannes permettent d'isoler les différents éléments afin de faciliter la maintenance de ceux-ci.

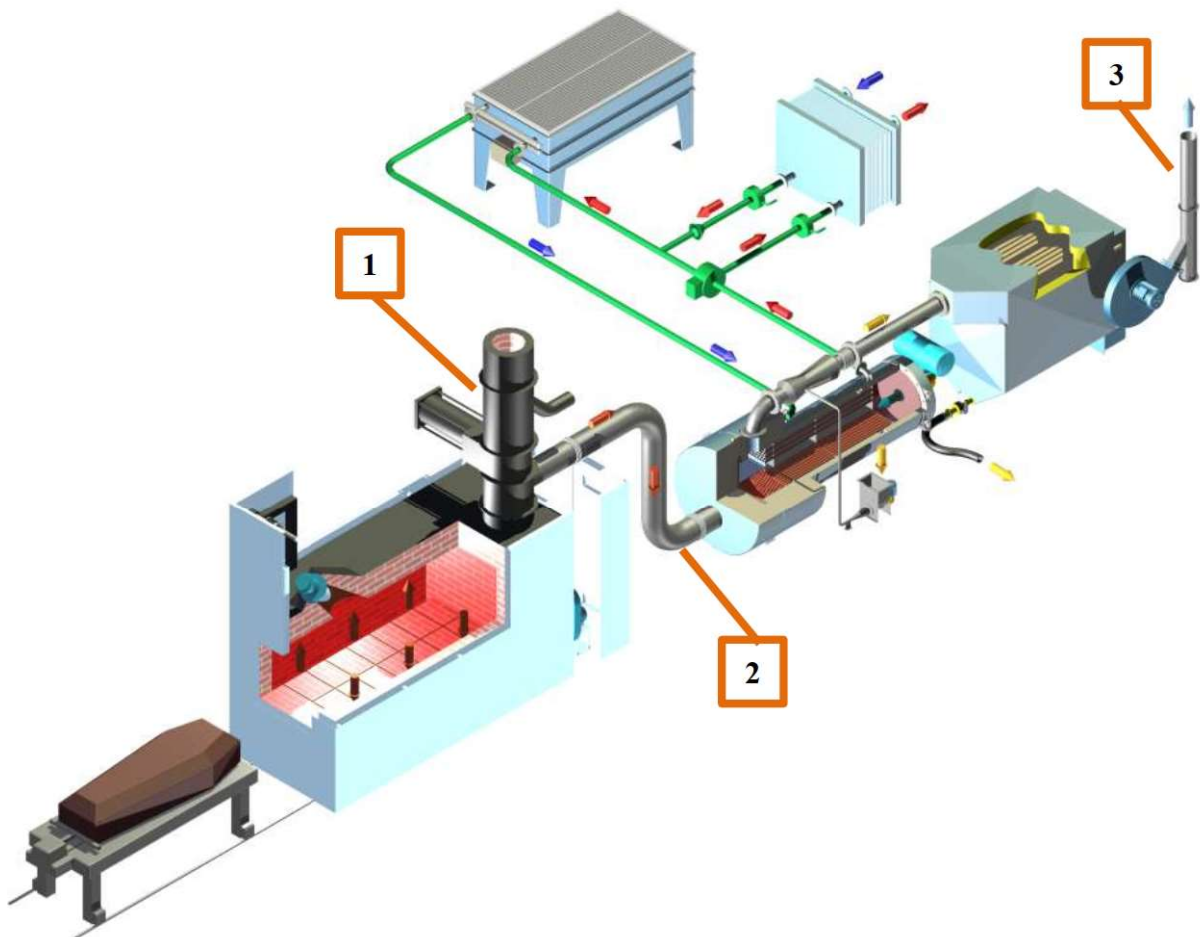
AEROREFRIGERANT :



Installation de refroidissement d'eau par ventilation d'air au travers d'une batterie de tubes.

- | | | |
|-------------------------------|---|---------------------------|
| - Puissance thermique | : | 600 kW |
| - Nombre de ventilateurs | : | 4 |
| - Puissance des ventilateurs | : | 4 x 1.21 kW |
| - Température entrée eau Maxi | : | 70°C |
| - Température sortie eau Mini | : | 80°C |
| - Concentration Glycol | : | selon zone d'implantation |
| - Niveau sonore à 10m | : | <60 dB(A) à 10 m |

LIAISONS AERAULIQUES FOUR - FILTRATION



CONDUITS AERAULIQUES ENTRE LE FOUR ET LA FILTRATION :

En fonctionnement normal, la vanne de by-pass (1) est en position fermée et les gaz sont évacués vers le système de filtration par l'intermédiaire d'un conduit aéraulique (2).

2- CHEMINEE D'EVACUATION DES GAZ FILTRES :

Cette cheminée (3) permet d'évacuer les fumées filtrées à l'atmosphère.

Une isolation extérieure est réalisée afin de protéger le personnel des risques de brûlures.



Elle est équipée d'une trappe facilement accessible et disposée conformément à la norme NFX 44-052 pour la réalisation des contrôles périodiques.

Nb 1/ Les produits d'isolation utilisés sur notre installation sont exonérés de toute classification cancérogène suivant la note Q de la directive 97/69/EC concernant les fibres minérales artificielles vitreuses.

Nb 2/ Les diamètres des cheminées permettent de garantir la vitesse de sortie des gaz en conformité avec la législation.



CARACTERISTIQUES TECHNIQUES GENERALES

CLEANAIR PACK®

Puissance nominale du refroidisseur de fumées	600 kW
Débit d'eau en circuit fermé	38 m ³ /h
Puissance nominale de l'aéroréfrigérant	600 kW
Concentration glycol MPG	40%
Surface filtrante	60 m ²
Débit d'aspiration	6000 à 7000 m ³ /h*
Pression d'aspiration maxi	500 à 700 mm CE*
Compresseur d'air	15 m ³ /h
Poids skid de refroidissement (avec fluides)	2,2 Tonnes
Poids Cleanair Pack (avec fluides)	8 Tonnes

Puissance électrique totale installée : 28,5kW

Puissance électrique horaire consommée : 10 kWh/crémentation

GARANTIE DU MATERIEL

Le matériel est garanti pour une durée de 1 an après mise en route.

Notre procédé permet de répondre aux nouvelles normes fixées par l'arrêté du 28 Janvier 2010 relatif à la hauteur des cheminées des crématoriums et aux quantités maximales de polluants contenus dans les gaz secs rejetés à l'atmosphère, ils sont donc inférieurs à :

	Rejets atmosphériques	
	Engagements de FMI**	Réglementation
Composés organiques (exprimés en carbone total)	10 mg/Nm ³	20 mg/Nm ³
Monoxyde de carbone	25 mg/Nm ³	50 mg/Nm ³
Poussières	5 mg/Nm ³	10 mg/Nm ³
Acide chlorhydrique	15 mg/Nm ³	30 mg/Nm ³
Dioxyde de soufre	80 mg/Nm ³	120 mg/Nm ³
Oxydes d'azote	280 mg/Nm ³	500 mg/Nm ³
Dioxines et furanes	0,05 ng I-TEQ /Nm ³	0,1 ng I-TEQ /Nm ³
Mercure	0,10 mg/Nm ³	0,2 mg/Nm ³

* selon les distances de raccordement et les dépressions nécessaires à calculer en fonction de l'implantation sur site.

**l'engagement de FMI sur les valeurs qui sont obtenues porte uniquement des fours de crémation fonctionnant au gaz naturel.

En cas d'utilisation de tout autre combustible, les engagements de FMI seront revus.

LIVRET TECHNIQUE

SYSTEME DENOX

Descriptif



FMI PROCESS

25 Rue Jacques de Lesseps
42 160 ANDREZIEUX-BOUTHHEON

Tél. : 04 77 22 25 50
contact@fmi-process.com

DESCRIPTIF SYSTEME DENOX

1. Rôle du système DENOx

Le système DENOx a pour fonction la **réduction des oxydes d'azote (NO et NO₂)** présents dans les fumées issues du four de crémation, afin de respecter les **valeurs limites d'émission réglementaires** applicables aux installations de crémation.

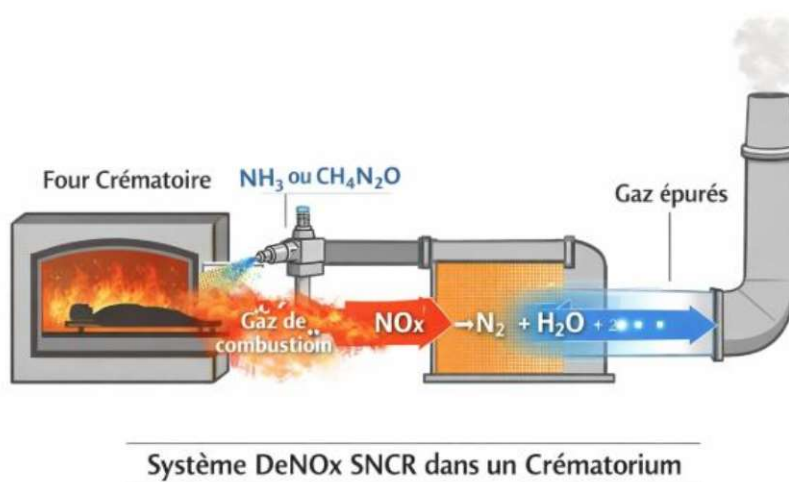
La réduction est obtenue par **réaction chimique des NOx avec un agent réducteur**, transformant les NOx en **azote moléculaire (N₂)** et **vapeur d'eau (H₂O)**.

2. Principe de fonctionnement

Pour les crématoriums, nous avons retenu le procédé de **réduction non catalytique sélective (SNCR)**, en raison :

- des températures élevées des fumées,
- de la variabilité des cycles de crémation,
- de la simplicité d'exploitation et de maintenance.

Le système consiste à **injecter un agent réducteur** (urée aqueuse ou ammoniac) directement dans le conduit de fumées, dans une **fenêtre de température optimale** comprise généralement entre **850 et 1 050 °C**.



3. Description des équipements

Le système DENOx est composé de quatre principaux composants :

- Le réactif,
- Le système de stockage
- Le module de dosage et d'injection
- L'instrumentation

3.1 Le réactif

Nous avons ici retenu l'Urée aqueuse (32,5 % type AdBlue) comme réactif.

Ce choix est motivé par sa **faible dangerosité**, compatible avec un site recevant du public.

L'urée est **mieux adaptée aux cycles discontinus** et aux variations thermiques du crématorium.

Elle permet d'atteindre les **objectifs réglementaires NOx** sans émissions secondaires significatives.

Le **coût global et les contraintes d'exploitation** sont inférieurs à ceux d'une solution à l'ammoniac.

3.2 Stockage du réactif

Le réactif sera stocké dans une cuve en PEHD adapté au nombre de crémations.

- Cette cuve comprend :
 - Jauge de niveau
 - Bac de rétention
 - Event filtré

3.3 Module de dosage et d'injection

Le réactif doit être injecté dans le flux gazeux. Pour cela, on utilise les équipements suivants :

- Pompe doseuse proportionnelle
- Vanne de régulation
- Débitmètre
- Rampe d'injection avec buse haute température implantée en zone de température contrôlée. L'orientation est optimisée afin d'obtenir un bon mélange fumées/réactifs.

3.4 Instrumentation et contrôle

- La mesure des NOx sera estimée en fonction des paramètres du four et notamment de la température des fumées
- L'automate programmable (PLC) des équipements de crémation pilotera l'injection des réactifs (urée)

4. Performances attendues

- Taux de réduction des NOx : **30 à 60 %** (selon conditions d'exploitation)
- Limitation du **NH₃ slip** (ammoniac imbrûlé)

5. Intégration au procédé de crémation

- Fonctionnement synchronisé avec le cycle de crémation
- Mise en service automatique dès atteinte de la température optimale
- Arrêt automatique hors plage thermique
- Compatibilité avec les systèmes de filtration (filtres à manches).

6. Sécurité et conformité

- Sécurités sur surpression et fuite de réactif
- Signalisation et ventilation des zones de stockage

7. Exploitation et maintenance

La consommation de réactif est proportionnelle au nombre de crémations. Pendant chaque crémation, il est estimé une consommation de réactifs de l'ordre de 1 à 1,5 litres.

La maintenance préventive sur ce type de système est limitée au nettoyage des buses ainsi qu'au contrôle des pompes et capteurs.

8. Avantages du système

- Technologie éprouvée et robuste
- Faible encombrement
- Coûts d'investissement et d'exploitation maîtrisés
- Adaptée aux variations de charge thermique d'un crématorium
- Pas de catalyseur à remplacer.



BIOGAZ



BIOMASSE



GÉOTHERMIE



INDUSTRIE



MOTEUR

Systeme OCR

RENTABILISEZ VOTRE CHALEUR



Des micro-turbomachines pour un monde plus durable

L'INNOVATION

au service d'une énergie durable

Le seul ORC convertissant la chaleur fatale à partir de 70°C

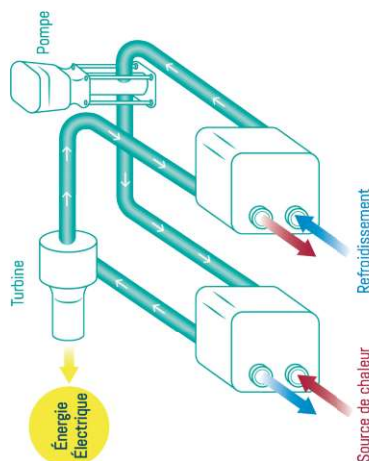


UNE ÉNERGIE COMPÉTITIVE

Solution prête à l'emploi

Notre système clé en main, basé sur le cycle organique de Rankine, s'adapte parfaitement à vos besoins et aux conditions du site.

L'intégration de notre unité compacte ne nécessite que deux raccords de tuyauterie et un câble d'alimentation, facilitant ainsi la mise en service.



CONÇU POUR DURER

Une performance à l'épreuve du temps

100 % de nos ORC sont soumis à des essais de réception en usine, simulant les conditions sur site, afin de garantir qualité de fabrication, robustesse et performance à nos clients.

Contrairement aux solutions de détente volumétriques, notre technologie conserve une efficacité constante tout au long de sa durée de vie de 20 ans, maximisant ainsi la rentabilité des projets de nos clients.

Production sans relâche

Conçus pour fonctionner en continu 24 heures sur 24 et 7 jours sur 7 avec un minimum de maintenance, nos ORC sont industrialisés depuis 2009 et bénéficient d'une grande expertise dans la sélection de composants haut de gamme et durables.

UNE TURBINE À LA POINTE DE L'INNOVATION

Une architecture flexible

Notre ORC est la seule technologie sur le marché capable de convertir la chaleur résiduelle de 70 °C+ en électricité dans une large gamme d'applications.

Basé sur notre loi de régulation brevetée, notre système de contrôle de vitesse variable assure une production d'énergie fiable et stabilisée malgré les fluctuations de chaleur.

Une étanchéité sans faille

Notre turbogénérateur hermétique à arbre unique est dépourvu de joints mécaniques, ce qui élimine le risque de pertes de fluides et maximise le temps d'exploitation.

Un savoir faire unique

Notre turbine est méticuleusement conçue et entièrement fabriquée en interne. Ce contrôle de bout en bout du processus de production nous permet de maintenir les normes de qualité les plus élevées.

FIABLE ET RESPONSABLE

Technologie sans huile

Notre système breveté de lubrification sans huile est le résultat d'années de Recherche et Développement. Il élimine tout risque de contamination dans nos ORC, réduisant les coûts d'exploitation tout en contribuant à un avenir plus vert et durable.

Sûr pour l'homme et la planète

Avec un potentiel de réchauffement global (GWP) de 1 et une durée de vie dans l'atmosphère inférieure à 26 jours, notre fluide de travail est 800 fois plus respectueux de l'environnement que les solutions conventionnelles.

Nous convertissons votre chaleur à partir de 70 °C avec des centrales électriques jusqu'à 3 MWe



200 sites dans plus de 30 pays



Récupération de chaleur sur le plus grand site Biogaz d'Europe

40 x 20 kW ORC augmentent la puissance de moteurs biogaz de 500 kWe en convertissant la chaleur de l'eau de refroidissement en électricité.

Localisation : **Allemagne**

Température de la chaleur : **85 °C**

Énergie produite : **5 440 MWh/an**

Retour sur investissement : **< à 2 ans**



Amélioration de l'efficacité énergétique d'une station d'épuration

Conversion de chaleur en électricité à partir des fumées d'échappement générés par l'incinérateur d'une station d'épuration.

Localisation : **France**

Température de la chaleur : **170 °C**

Énergie produite : **1 344 MWh/an**

Retour sur investissement : **1,5 ans**



Centrale électrique de 1 MW dans une station thermique

Construction d'une centrale géothermique modulaire pour aider le propriétaire du site à relever le défi de la transition énergétique et de la production d'électricité propre.

Localisation : **Taïwan**

Température de la chaleur : **120 °C**

Énergie produite : **7 050 MWh/an**

Retour sur investissement : **2 ans**

NOTRE MISSION

Avec sa technologie unique et brevetée de micro-turbomachines, ENOGIA répond aux enjeux majeurs de la transition écologique et énergétique. Leader mondial de la conversion de chaleur en électricité à petite et moyenne échelle, ENOGIA propose une large gamme de modules ORC, permettant à ses clients de produire de l'électricité décarbonée à partir de déchets ou de chaleur renouvelable. ENOGIA se distingue à la fois comme fabricant de modules ORC et comme fournisseur d'électricité propre avec son offre Green Shield Power Solution PPA.

Dotée d'une équipe de recherche et développement dédiée, ENOGIA est à la pointe de nombreuses

technologies de transition écologique, telles que la capture et le stockage du carbone (CCS), les cycles CO2 supercritique, la conversion de l'énergie thermique des océans (OTEC) et l'amélioration de l'efficacité des piles à hydrogène.

Fondée en 2009 et basée à Marseille, ENOGIA compte près de 50 employés impliqués dans la conception, la production et la commercialisation de solutions technologiques respectueuses de l'environnement. L'engagement RSE d'ENOGIA est reconnu comme étant avancé par Ethifinance. ENOGIA est cotée sur Euronext Growth Paris.

Crématorium de SAINT-LÔ

DONNÉES TECHNIQUES PROCESS DE CRÉMATION ET DE FILTRATION



Annexe 2 – Engagement du fabricant sur les rejets gazeux

Bien en-deçà des valeurs demandées par la réglementation



Votre interlocuteur :
De : Eric KUCZENISKY
Téléphone : 06/24/28/87/75
E-mail : ek@fmi-process.com

Destinataire :
Infini Développement
A l'attention de M. Stéphane PEYRACHE
14, rue Jules Vernes
63 110 BEAUMONT
direction@snc-cremation.fr

Votre demande : Engagements rejets gazeux équipements
De crémation SAINT-LÔ

Date : 28/01/2025

Monsieur,

Nous vous confirmons que les équipements de crémation et de filtration des fumées qui seront fournis au crématorium du Saint-Lô permettront d'obtenir des valeurs de rejets gazeux à l'atmosphère bien inférieures à celles demandées par la réglementation comme en atteste le tableau ci-dessous.

	Rejets atmosphériques	
	Engagements de FMI PROCESS	Réglementation
▪ Composés organiques (exprimés en carbone total)	10 mg/Nm ³	20 mg/Nm ³
▪ Monoxyde de carbone	25 mg/Nm ³	50 mg/Nm ³
▪ Poussières	5 mg/Nm ³	10 mg/Nm ³
▪ Acide Chlorhydrique	15 mg/Nm ³	30 mg/Nm ³
▪ Dioxyde de soufre	80 mg/Nm ³	120 mg/Nm ³
▪ Oxydes d'azote	200 mg/Nm ³ *	500 mg/Nm ³
▪ Dioxines et furanes	0,05 ng I-TEQ/Nm ³	0,1 ng I-TEQ/Nm ³
▪ Mercure	0,15 mg/Nm ³	0,2 mg/Nm ³

*Notre engagement porte sur des valeurs de rejets de 200 mg/Nm³ avec l'utilisation du système DENOx.

Nous restons à votre disposition pour tout renseignement complémentaire qu'il vous plaira de connaître.

Eric Kuczenisky

Crématorium de SAINT-LÔ

DISPOSITIFS DE CONTRÔLE, MAINTENANCE ET GESTION DES RISQUES



SOMMAIRE

1. Principes Généraux
2. Maîtrise et optimisation des rejets atmosphériques
3. Gestion et traçabilité des déchets
4. Maîtrise énergétique et valorisation des calories
5. Développement durable et exploitation responsable
6. Démarche qualité, environnement et certification ISO
7. Entretien et maintenance des équipements
8. Continuité du service et maîtrise des situations incidentelles

1. Principes généraux

L'exploitation du crématorium repose sur une démarche globale visant à maîtriser et réduire les impacts environnementaux liés à l'activité de crémation, dans une logique d'amélioration continue et de dépassement des exigences réglementaires applicables.

Cette approche s'appuie sur :

- des équipements de crémation et de traitement des fumées de dernière génération,
- des procédures d'exploitation encadrées,
- une maîtrise des consommations énergétiques,
- une organisation certifiée garantissant la maîtrise des risques environnementaux sur toute la durée d'exploitation.

2. Maîtrise et optimisation des rejets atmosphériques

Les rejets atmosphériques issus du process de crémation font l'objet d'un traitement complet intégrant :

- le refroidissement des fumées,
- une filtration par filtres à manches,
- l'adsorption des polluants (poussières, métaux lourds, mercure, dioxines, furanes),
- un dispositif de réduction des oxydes d'azote (DeNOx).

Les performances de ces équipements permettent d'atteindre des niveaux d'émissions nettement inférieurs aux seuils fixés par l'arrêté du 28 janvier 2010.

Un suivi régulier du fonctionnement des installations et des contrôles périodiques des émissions atmosphériques sont mis en œuvre afin de garantir la conformité permanente des rejets.

3. Gestion et traçabilité des déchets

Résidus de filtration

Les résidus issus du traitement des fumées sont collectés dans un système fermé et hermétique, puis évacués vers une filière de traitement agréée, avec émission de bordereaux de suivi garantissant une traçabilité complète.

Résidus métalliques

Les éléments métalliques issus de la crémation sont collectés séparément et confiés à une filière spécialisée de tri et de valorisation, conformément à la réglementation en vigueur.

Autres déchets d'exploitation

Les déchets générés par l'exploitation courante (articles floraux, déchets assimilés aux ordures ménagères) sont gérés selon une politique de tri et de collecte sélective, en lien avec les filières locales adaptées .

4. Maîtrise énergétique et valorisation des calories

L'exploitation du crématorium intègre une stratégie de réduction des consommations énergétiques par la valorisation de l'énergie issue du process de crémation.

La chaleur récupérée sur les fumées est utilisée en priorité pour :

- réduire les besoins en énergie électrique externe du site,
- le chauffage des locaux,
- la production d'eau chaude sanitaire.

Le projet prévoit en effet la mise en place d'un **dispositif de valorisation de l'énergie fatale** issue du fonctionnement des fours de crémation.

La chaleur résiduelle générée lors du refroidissement des fumées est récupérée et valorisée grâce à une **unité de production d'électricité par Cycle Organique de Rankine (ORC)**. Ce dispositif transforme la chaleur fatale en électricité, réduisant l'empreinte carbone et valorisant une ressource énergétique locale. Cette initiative s'inscrit pleinement dans les ambitions de décarbonation de Saint-Lô et illustre une gestion durable des infrastructures publiques.

Cette organisation permet de limiter le recours aux énergies primaires et d'améliorer le bilan environnemental global de l'exploitation.

5. Développement durable et exploitation responsable

L'approche environnementale en phase exploitation s'inscrit dans une vision de développement durable, conciliant :

- performance environnementale,
- continuité du service public,
- et pérennité économique de l'équipement.

L'ensemble des choix techniques et organisationnels vise à garantir une exploitation respectueuse de l'environnement et des générations futures.

6. Démarche qualité, environnement et certification ISO

L'exploitation du crématorium s'appuie sur un système de management Qualité – Sécurité – Environnement (QSE) certifié ISO 9001 et ISO 14001.

Cette certification garantit :

- la maîtrise des aspects environnementaux significatifs,
- le respect permanent des exigences réglementaires,
- le suivi des performances environnementales,
- et l'application d'une démarche d'amélioration continue.

Elle constitue un élément structurant du modèle d'exploitation et un gage de fiabilité environnementale sur le long terme.

En annexe ci-après la certification ISO du délégataire

7. Entretien et maintenance des équipements de crémation

Les équipements de crémation et de traitement des fumées sont couverts par un contrat de maintenance en "garantie totale" sur toute la durée de la délégation.

Ce dispositif comprend :

- la maintenance préventive et curative,
- les opérations de gros entretien et de renouvellement,
- des délais d'intervention encadrés en cas de dysfonctionnement.

En complément, un entretien courant quotidien et périodique est assuré par le personnel formé du crématorium, avec consignation des contrôles et anomalies dans un registre d'exploitation.

Cette organisation garantit la stabilité du process, la performance durable du traitement des fumées et la prévention des impacts environnementaux.

En annexes ci-après :

- *le contrat de maintenance souscrit avec le fabricant du process*
- *la fréquence des maintenances du process*

8. Continuité du service et maîtrise des situations incidentelles

Une procédure spécifique est prévue en cas de panne d'un équipement de crémation, intégrée au système QSE.

Elle permet :

- la mise en sécurité immédiate des installations,
- le maintien de conditions d'exploitation respectueuses de l'environnement,
- et, si nécessaire, la continuité du service par des solutions de substitution encadrées.

Toute situation incidentelle fait l'objet d'une analyse et, le cas échéant, d'une adaptation des protocoles afin de prévenir toute récurrence.

--> en annexe ci-après le protocole mis en place au sein de la Société en cas de panne du process, ainsi que le contrat de maintenance souscrit avec la Société qui construit, installe et entretiendra l'installation.

page 1/2
Page 238 de 260

CONSIDERATIONS DE LA PROCEDURE

1. Analyse de la situation d'urgence :

▶ Nature :

Panne d'un four.

▶ Cause :

Le four peut ne pas démarrer pour diverses raisons : panne système, mécanique, ...

▶ Conséquence :

La panne d'un four entraîne un arrêt complet de son activité, et si le crématorium n'en possède qu'un seul, un arrêt total de l'activité du crématorium.

Les consignes contractuelles de substitution sont appliquées, avec contact immédiat des clients ou mandataires.

2. Déclenchement de la situation d'urgence :

La situation d'urgence est déclenchée par le personnel en poste ou le responsable d'exploitation.

3. Actions à mener – Réduction des risques – Retour à la normale :

▶ Actions à mener :

Se référer au logigramme.

▶ Réduction des risques :

Les risques de non-respect des engagements seront atténués par une communication directe auprès des clients.

▶ Retour à la normale :

Après intervention et réparation, le fonctionnement normal sera repris

4. Bilan de la situation d'urgence :

Un compte-rendu de l'incident découlant de la coupure devra être rédigé par le Responsable d'exploitation et transmis à la Direction de SNC.

Le compte rendu sera répertorié sur le journal de bord et sur les différents rapports périodiques.

N° 2023/104384.1

Page 1 / 1

AFNOR Certification certifie que le système de management mis en place par :
AFNOR Certification certifies that the management system implemented by:

SOCIETE NOUVELLE DE CREMATION

pour les activités suivantes :
for the following activities:

**CONSTRUCTION ET MISE EN OEUVRE
DE CREMATORIUM EN DELEGATION DE SERVICE PUBLIQUE.**

**CONSTRUCTION AND IMPLEMENTATION
OF CREMATORIUMS UNDER PUBLIC SERVICE DELEGATION.**

a été évalué et jugé conforme aux exigences requises par :
has been assessed and found to meet the requirements of:

ISO 9001 : 2015

et est déployé sur les sites suivants :
and is developed on the following locations:

**SOCIETE NOUVELLE DE CREMATION (siège social): 14 RUE JULES VERNE FR-63110 BEAUMONT
CREMATORIUM DE SAINT CERNIN (site d'exploitation): ZA DE COURTINE FR-15310 SAINT-CERNIN**

Ce certificat est valable à compter du (année/mois/jour)
This certificate is valid from (year/month/day)

2023-04-13

Jusqu'au
Until

2026-04-12



Ce document est signé électroniquement. Il constitue un original électronique à valeur probatoire.
This document is electronically signed. It stands for an electronic original with probatory value.

Julien NIZRI
Directeur Général d'AFNOR Certification
Managing Director of AFNOR Certification



Flashez ce QR
Code pour vérifier la
validité du certificat

Seul le certificat électronique, consultable sur www.afnor.org, fait foi en temps réel de la certification de l'organisme. The electronic certificate only, available at www.afnor.org, attests in real-time that the company is certified. Accreditation COFRAC n° 4-0001. Certification de Systèmes de Management. Portée disponible sur www.cofrac.fr.
COFRAC accreditation n°4-0001, Management Systems Certification. Scope available on www.cofrac.fr.
AFAQ est une marque déposée. AFAQ is a registered trademark - CERTIF 0956.9/07-2020

N° 2023/104383.1

Page 1 / 1

AFNOR Certification certifie que le système de management mis en place par :
AFNOR Certification certifies that the management system implemented by:

SOCIETE NOUVELLE DE CREMATION

pour les activités suivantes :
for the following activities:

**CONSTRUCTION ET MISE EN OEUVRE DE CREMATORIUM
EN DELEGATION DE SERVICE PUBLICUE.**

**CONSTRUCTION AND IMPLEMENTATION
OF CREMATORIUMS UNDER PUBLIC SERVICE DELEGATION.**

a été évalué et jugé conforme aux exigences requises par :
has been assessed and found to meet the requirements of:

ISO 14001 : 2015

et est déployé sur les sites suivants :
and is developed on the following locations:

**SOCIETE NOUVELLE DE CREMATION (siège social): 14 RUE JULES VERNE FR-63110 BEAUMONT
CREMATORIUM DE SAINT CERNIN (site d'exploitation): ZA DE COURTINE FR-15310 SAINT-CERNIN**

Ce certificat est valable à compter du (année/mois/jour)
This certificate is valid from (year/month/day)

2023-04-13

Jusqu'au
Until

2026-04-12



Ce document est signé électroniquement. Il constitue un original électronique à valeur probatoire.
This document is electronically signed. It stands for an electronic original with probatory value.

Julien NIZRI
Directeur Général d'AFNOR Certification
Managing Director of AFNOR Certification



*Flashez ce QR
Code pour vérifier la
validité du certificat*

Seul le certificat électronique, consultable sur www.afnor.org, fait foi en temps réel de la certification de l'organisme. The electronic certificate only, available at www.afnor.org, attests in real-time that the company is certified. Accreditation COFRAC n°4-0001, Certification de Systèmes de Management, Portée disponible sur www.cofrac.fr.
COFRAC accreditation n°4-0001, Management Systems Certification, Scope available on www.cofrac.fr.
AFAQ est une marque déposée. AFAQ is a registered trademark - CERTI F 0956.9/07-2020



CONTRAT DE MAINTENANCE ET DE MAINTIEN DES PERFORMANCES DES EQUIPEMENTS DE CREMATION GARANTIE TOTALE

Version du 14 Janvier 2025

ENTRE LES SOUSSIGNES :

ci-après dénommé « le Prestataire »

FMI PROCESS
M. Anthony SERCLERAT
25, rue Jacques de LESSEPS
42 160 ANDREZIEUX-BOUTHEON

d'une part

et ci-après dénommé « le Client »,

XXXXXXX
XXXXXXX

Le Prestataire et le Client étant ci-après dénommées ensemble « les Parties » et individuellement « la Partie ».

LESQUELLES EXPOSENT PREALABLEMENT CE QUI SUIIT :

Table des matières

1.GENERALITES	1
1.1 CADRE REGLEMENTAIRE	1
1.2 INTERPRETATION - DEFINITIONS	1
1.3 OBLIGATIONS DU PRESTATAIRE	2
1.4 DUREE DU CONTRAT	2
1.5 MATERIEL COMPRIS DANS LA GARANTIE	2
1.6 ETAT GENERAL DU MATERIEL EN COURS ET FIN DE CONTRAT	2
2.MAINTENANCE PREVENTIVE	3
2.1 DEFINITION DE LA MAINTENANCE PREVENTIVE	3
2.2 FREQUENCE ET NATURE DES OPERATIONS DE MAINTENANCE PREVENTIVE	3
2.3 PLANIFICATION DES OPERATIONS DE MAINTENANCE PREVENTIVE	3
2.4 CONDITIONS D'INTERVENTION	3
2.5 CARNET D'ENTRETIEN	4
3.MAINTENANCE CURATIVE	5
3.1 DEFINITION DE LA MAINTENANCE CURATIVE	5
3.2 MODALITES DE LA MAINTENANCE CURATIVE	5
3.3 ASSISTANCE TELEPHONIQUE ET MAINTENANCE	5
3.4 DELAIS D'INTERVENTION	5
4. GROS ENTRETIEN ET RENOUVELLEMENT	6
5. FOURNITURE DU REACTIF ET ELIMINATION DES RESIDUS DE FILTRATION	6
6. GARANTIE DES PERFORMANCES	6
7. FORMATION, CONTROLE DES COMPETENCES ET MISE A NIVEAU DU PERSONNEL DU CLIENT	7
8. CONSEILS ET VEILLE REGLEMENTAIRE	7
9. EXIGENCES ADMINISTRATIVES	8
9.1 ASSURANCES	8
9.2 OBLIGATIONS DU CLIENT	8
9.3 FORCE MAJEURE	8
9.4 INTUITU PERSONAE	9
9.5 COMPETENCES 1 AUTORISATIONS ADMINISTRATIVES	9
9.6 CONFIDENTIALITE	9

9.7 FORMULE DE REVISION	9
9.8 LANGUE APLICABLE	9
9.9 ATTRIBUTION DE JURIDICTION	9
10. TARIF	10
ANNEXES	11
ANNEXE 1 LISTE DES MATERIELS INCLUS DANS LE PERIMETRE DU CONTRAT	11
ANNEXE 2 DUREE DE VIE DES EQUIPEMENTS	12
ANNEXE 3 DESCRIPTION DE LA MAINTENANCE PREVENTIVE	12
ANNEXE 4 LISTE INDICATIVE DES PIECES REMPLACEES LORS DE LA MAINTENANCE PREVENTIVE	13
ANNEXE 5 LISTE DES PIECES DE RECHANGE A PROGRAMMER ET A MAINTENIR EN STOCK	15

1. GENERALITES

1.1. CADRE REGLEMENTAIRE

Aspects techniques

Les installations techniques respecteront les exigences des articles D2223-99 à D2223-109 du CGCT relatives aux crématoriums.

1.2. INTERPRETATION - DEFINITIONS

Dans le Contrat, les expressions suivantes ont, lorsqu'elles sont précédées d'une majuscule, la signification qui leur est attribuée ci-après :

Appareil : appareil destiné à réaliser les opérations de crémation visées par l'article L. 2223-19 du C.G.C.T.

Client désigne : XXXXXX

Installation : désigne l'ensemble des équipements nécessaires à la réalisation de l'opération de crémation par l'Appareil, en ce notamment compris l'Appareil lui-même et l'ensemble du système d'épuration des rejets à l'atmosphère.

Entretien Courant : désigne l'ensemble des tâches d'entretien et de surveillance réalisées en opérateurs diligents et responsables par le personnel de l'établissement à l'exclusion de toute intervention à caractère technique.

Maintenance curative : désigne toutes les diligences / interventions / visites dont l'objet est de corriger tous les défauts de fonctionnement d'une ou de plusieurs pièces de l'Installation, quelle que soit l'origine de ces défauts et que la ou les pièce(s) défectueuse(s) en cause ai(en)t été fournies par le Prestataire.

Maintenance préventive : désigne toutes les diligences / interventions / visites (ci-après : les « Opérations ») dont l'objet est d'anticiper d'éventuelles pannes de l'Installation et de lui conserver ses Performances, tout en permettant d'assurer son fonctionnement normal et régulier.

Opérations : désignent toutes les opérations / diligences / interventions / visites réalisées dans le cadre de la Maintenance Préventive, de la Maintenance Curative ou de la garantie des Performances.

Performances : désigne l'obtention des engagements souscrits.

Visites à Froid : désignent les visites nécessitant l'arrêt complet de toute ou partie de l'Installation ne permettant pas de fonctionner avec un appareil de crémation.

Gros entretien et renouvellement : désigne l'ensemble des tâches de remplacement des équipements arrivés en fin de vie ou obsolètes.

1.3.OBLIGATIONS DU PRESTATAIRE

Le Prestataire s'engage à assurer la Maintenance Préventive et la Maintenance Curative de l'Installation et à garantir les Performances de celle-ci selon les conditions décrites dans ce contrat.

Les caractéristiques détaillées de l'Installation sont celles décrites dans le dossier des ouvrages exécuté (DOE) fourni par le Prestataire au Client.

En conséquence, le Prestataire maintiendra l'Installation en état de fonctionnement optimal et garantira le respect des performances définies à l'article 5 de ce présent contrat.

Le Prestataire assurera par ailleurs au Client une formation, un contrôle des compétences et une mise à niveau du personnel en charge de l'exploitation de l'Installation, tel que définis à l'article 6.

1.4.DUREE DU CONTRAT

Le contrat de maintenance des équipements démarrera à l'issue de la période de garantie.

Le prestataire aura à sa charge le maintien en parfait état de marche de l'intégralité des équipements de crémation sur une durée de XX années.

1.5.MATERIEL COMPRIS DANS LA GARANTIE

Le crématorium sera équipé d'un ensemble complet de crémation (four, chargeur de cercueils, broyeur de calcius, ainsi qu'une ligne de filtration de type CLEANAIR PACK®.

Une première liste des équipements concernés par ce contrat est jointe en annexe 1.

A la signature du présent contrat, cette liste sera complétée par l'ensemble du DOE du Prestataire.

Dans le cas d'une installation non produite par FMI, il sera réalisé un audit général contradictoire afin de lister toutes les pièces jugées défectueuses, usagées ou corrodées à remplacer avant le début de ce contrat.

Un devis de réparation et de mise en conformité sera établi.

Dès que les travaux de mise en conformité auront été réalisés par le Prestataire, les opérations de maintenance préventive et curatives seront assurées conformément aux clauses contractuelles du présent contrat.

1.6.ETAT GENERAL DU MATERIEL EN COURS ET EN FIN DE CONTRAT

Le prestataire maintiendra le matériel en parfait état de marche. Cela implique de sa part la mise en place d'une maintenance préventive et efficace de façon à limiter les interventions en maintenance curative.

Aussi, le personnel du Client veillera au maintien en bon état des équipements en réalisant certaines tâches de nettoyage telles que définies et selon les fréquences évoquées et préconisées par le Prestataire lors des sessions de formation.

2. MAINTENANCE PREVENTIVE

2.1 DEFINITION DE LA MAINTENANCE PREVENTIVE

La Maintenance Préventive correspond à toutes les diligences / interventions /visites (ci-après : les « Opérations ») dont l'objet est d'anticiper d'éventuelles pannes de l'Installation et de lui conserver ses Performances, tout en permettant d'assurer son fonctionnement normal et régulier.

Un tableau prévisionnel d'entretien des équipements avec la périodicité des vérifications et des remplacements des matériels est joint en annexe 3 et 4.

2.2 FREQUENCE ET NATURE DES OPERATIONS DE MAINTENANCE PREVENTIVE

Le Prestataire s'engage à effectuer au moins une Visite à chaud toutes les 300 crémations et une visite à froid toutes les 600 crémations.

Les Visites à Froid sont celles qui nécessitent l'arrêt complet de l'Installation selon la procédure de mise en refroidissement qui sera décrite par le Prestataire.

Par ailleurs, le Client peut faire appel à l'assistance du Prestataire pour qu'il se connecte à distance à l'Installation à titre préventif afin de surveiller des opérations exceptionnelles, notamment dans le cas de crémation de corps particulièrement lourds ou de relèves de sépulture.

Le Client s'efforcera de prévenir le Prestataire dans les meilleurs délais, et en tout état de cause avant l'arrivée du cercueil, dès lors qu'il aura connaissance de particularités requérant une surveillance de la crémation.

Pour ces cas particuliers, le Client avertira le Prestataire par courriel ; ce dernier confirmera par retour de mail la surveillance à distance, aux jour et heure convenus.

2.3 PLANIFICATION DES OPERATIONS DE MAINTENANCE PREVENTIVE

Les Opérations de Maintenance Préventive seront programmées par le Prestataire en accord avec le Client au moins TRENTÉ (30) jours calendaires à l'avance (délai susceptible d'être allongé sur demande particulière du Client). Les Parties s'attacheront à ce que ces dates soient confirmées par écrit, notamment par courriel.

2.4 CONDITIONS D'INTERVENTION

MAINTENANCE PREVENTIVE	Intervention à froid toutes les 600 crémations	Au minimum 1 fois par an
	Intervention à chaud toutes les 300 crémations	

Les Visites à froid débuteront le lundi après-midi à 14h00. Pour ce faire, l'Installation sera mise en refroidissement par le Client à partir du samedi précédent, vers 13h00.

Pendant et à l'issue de chacune de ces visites, le Prestataire s'engage à :

- Déclencher toutes les actions appropriées afin de remédier à un défaut constaté ;
- Remplacer, à titre préventif, les pièces d'usure telles que définies dans le tableau prévisionnel d'entretien et de remplacement des équipements (annexe 4). Certaines pièces seront maintenues en stock sur le site du Client et d'autres chez le Prestataire (annexe 5).
- Procéder au redémarrage des équipements (four, du système de filtration et périphériques) jusqu'au mercredi midi et en présence du Client ;
- Etablir un rapport d'intervention précisant la nature, la date et l'heure de la visite et détaillant la liste des essais et/ou vérifications associées, ainsi qu'un compte rendu indiquant ses éventuelles préconisations en vue d'améliorer le fonctionnement et la sécurité de l'installation.

2.5.CARNET D'ENTRETIEN

Le Client disposera d'un carnet d'entretien sous format électronique, sur un cadre informatique fourni par Prestataire, dans lequel seront consignés par le Client toutes les anomalies ou dysfonctionnements détectés sur l'Installation.

Le Prestataire s'engage à prendre connaissance de ce document une semaine avant d'intervenir afin de l'analyser, et d'optimiser son intervention.

Il sera communiqué au Prestataire par le Client sur simple demande et à tout moment, moyennant un délai de 2 jours ouvrable.

Le rapport d'intervention sera intégré par le Prestataire dans ce carnet d'entretien.

Dans le cas où le Prestataire effectuerait une modification, suppression ou adjonction dans les paramètres des automates de contrôle de l'Installation, celle-ci devra obligatoirement être consignée par son personnel et une copie laissée sur place. Le Prestataire devra s'assurer que les différents intervenants de sa société ont eu communication des altérations effectuées et des observations éventuelles préalablement à son intervention sur l'Installation.

3 MAINTENANCE CURATIVE

3.1 DEFINITION DE LA MAINTENANCE CURATIVE

La Maintenance Curative consiste à corriger tous les défauts de fonctionnement d'une ou de plusieurs pièces de l'Installation produite par FMI.

3.2 MODALITES DE LA MAINTENANCE CURATIVE

Le Prestataire s'engage en premier lieu à intervenir à distance par le biais de la supervision selon les conditions indiquées dans le paragraphe 3.3.

Si la cause de l'anomalie ne peut être appréhendée à distance, du personnel du Prestataire sera dépêché sur site selon les délais mentionnés au point 3.4.

3.3.ASSISTANCE TELEPHONIQUE ET MAINTENANCE

Le Prestataire met à la disposition du Client une permanence téléphonique disponible aux horaires suivants :

- De 8h à 19h du lundi au samedi,

Il s'engage en conséquence à intervenir sur simple appel téléphonique du Client afin de vérifier et/ou remettre en état les équipements défectueux de l'Installation.

Dans un premier temps, les techniciens interviendront à distance par l'intermédiaire de la supervision sous réserve de la mise à disposition d'une connexion à internet (box fibre) par le Client.

Si le dysfonctionnement ne peut être appréhendé et résolu à distance, le ou les technicien(s) se rendront sur site.

L'interlocuteur mis à disposition par le Prestataire s'exprimera dans la langue française tout au long du processus de dépannage.

3.4 DELAIS D'INTERVENTION

MAINTENANCE CURATIVE	Dépannage téléphonique	Immédiat ou au maximum après trois tentatives successives de 10 sonneries au numéro communiqué par le Prestataire
	Panne bloquante (arrêt de l'installation)	Sous 24h

*Le client tiendra en stock à sa charge les pièces indiquées en annexe 5

4 GROS ENTRETIEN ET RENOUVELLEMENT

Dans le cadre de ce contrat sont aussi inclus les travaux de fumisterie du four (réfection de soles, voûtes, murs latéraux) dont la durée de vie est précisée en Annexe 2.

5 FOURNITURE DU REACTIF ET ELIMINATION DES RESIDUS DE FILTRATION

Sont à la charge du Prestataire :

- Le réactif nécessaire au traitement des fumées. Le réactif sera fourni en seaux de 10 kg qui seront stockés sur site. Le stock ainsi créé permettra de satisfaire aux besoins entre chaque période d'intervention pour l'entretien de l'Installation.

Le prestataire a la responsabilité du choix du réactif. Le Client a la responsabilité des conditions de stockage de celui-ci. Le Prestataire choisira le ou les produit(s) qui lui paraîtra (ont) fournir les meilleures performances dans les meilleures conditions d'hygiène et de sécurité du personnel. Les équipements de protection individuels adaptés à la manipulation du réactif (gant, masque, lunette, etc..) par les agents du Client sont à la charge du Client.

- L'évacuation et le traitement des résidus de filtration. Le Prestataire fournira au Client les copies des bordereaux d'élimination.

6. GARANTIE DES PERFORMANCES

Les Performances garanties par le Prestataire concernant :

- Les valeurs de rejets gazeux à l'atmosphère conforme aux exigences réglementaires en vigueur (actuellement : selon 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.

Sont exclues de la présente garantie les défaillances de l'installation du Client :

- Qui lui sont imputables, à raison d'une négligence ou d'un usage anormal ou non conforme des dites Installations,
- Qui résulteraient d'une malveillance,
- Ou d'un refus du Client d'effectuer ou de faire effectuer les adaptations nécessaires en vertu de l'évolution de la réglementation

La démonstration de la réunion des conditions engendrant l'exclusion de garantie précitée revient au Prestataire.

La réalisation des contrôles réglementaires des rejets des fumées par un organisme agréé seront à la charge du Client.

Dans le cas où les rejets ne seraient pas conformes aux exigences réglementaires, le coût de réalisation des nouveaux contrôles, hors conditions singulières ayant entraîné ce résultat, sera intégralement pris en charge par le Prestataire.

7. FORMATION, CONTROLE DES COMPETENCES ET MISE A NIVEAU DU PERSONNEL DU CLIENT

Le Prestataire met en œuvre, au bénéfice du Client, un programme de formation de son personnel en charge de l'utilisation de l'Installation. Cette formation sera dispensée :

- 1) Aux salariés déjà en poste lors de l'installation des équipements La formation initiale commencera au montage des équipements sur site et se poursuivra à la mise en service de l'Installation,
- 2) A tout nouveau salarié du Client, dès son embauche effective,
- 3) A chacune des évolutions techniques ou réglementaires des équipements de l'Installation et ce au bénéfice de l'ensemble du personnel à date.

Une attestation, signée et datée par le salarié et le formateur, certifiant que la formation a effectivement été dispensée sera adressée par la suite au Client par courriel et lettre recommandée avec accusé de réception dans les meilleurs délais et, en tout état de cause, dans un délai maximum de 15 jours après la formation.

Le Client mettra à disposition, selon les recommandations du Prestataire, du personnel avec les qualifications techniques nécessaires pour la bonne compréhension et utilisation des équipements.

Il est porté à la connaissance du Client que, dans un souci d'efficacité et de rapidité pour remédier à d'éventuels dysfonctionnements, son personnel sera notamment formé et chargé d'effectuer certaines interventions de dépannage de premier niveau (changements des sondes de températures, nettoyage des sondes d'ionisation et des bougies d'allumage des brûleurs).

La responsabilité du Prestataire ne pourra être reconnue ou engagée en cas de mauvaise manipulation par le personnel du Client lors de ces opérations, les compétences des agents du Client ayant au préalable été validés lors de la formation.

8. CONSEILS ET VEILLE REGLEMENTAIRE

Par le présent Contrat, le Prestataire s'engage à conseiller le Client dans l'optimisation de l'utilisation de l'Installation.

De même, le Prestataire tiendra le Client informé des évolutions technologiques susceptibles d'améliorer l'utilisation de l'Installation, tant dans ses performances qu'en termes de sécurité. Il en sera de même en matière réglementaire concernant les équipements de crémation.

Le Prestataire a en conséquence une obligation de mise en garde renforcée à l'égard du Client.

Cette obligation est accompagnée d'une veille réglementaire assurée par le Prestataire, qui doit ainsi informer sans délai le Client des évolutions techniques qui seraient disponibles sur le marché.

Il s'engage à porter à la connaissance du Client toute modification éventuelle des exigences et contraintes légales et réglementaires, ainsi que des contrôles techniques applicables aux matériels et Installations du Client, obligatoires ou recommandés.

9. EXIGENCES ADMINISTRATIVES

9.1. ASSURANCES

Le Prestataire fournira au Client, lors de la signature du Contrat et chaque année à sa date anniversaire, l'attestation d'assurance de Responsabilité Civile Professionnelle couvrant les dommages corporels, matériels et immatériels dont il pourrait être tenu responsable. Il fournira également le tableau des garanties établi par sa compagnie d'assurances pour ses activités professionnelles en France.

Toute modification, suspension, résolution ou résiliation de cette police d'assurance, pour quelque cause que ce soit, devra être signalée au Client dans les plus brefs délais.

9.2. OBLIGATIONS DU CLIENT

Le Client assurera l'entretien courant ainsi que la surveillance de l'installation et les opérations de dépannage de premier niveau telles que définies lors de la formation du personnel.

Toute autre intervention sur l'installation, ne pourra être réalisée qu'après accord écrit du Prestataire.

Le Client fournira l'eau, le gaz et l'électricité nécessaires aux visites de maintenance et de dépannage.

Il est précisé que le non-respect des articles du Contrat entraînera de plein droit la résiliation du présent Contrat d'Application.

9.3. FORCE MAJEURE

Les Parties ne pourront être tenues pour responsables si la non-exécution ou le retard dans l'exécution de l'une quelconque de leurs obligations, telles que décrites dans les présentes, découle d'un cas de force majeure au sens de l'article 1218 du Code civil. La Partie constatant l'événement devra sans délai informer l'autre Partie de son impossibilité à exécuter sa prestation et s'en justifier auprès de celle-ci. La suspension des obligations ne pourra en aucun cas être une cause de responsabilité pour la non-exécution de l'obligation en cause, ni induire le versement de dommages et intérêts ou pénalités de retard.

9.4. INTUITU PERSONAE

Le Contrat est conclu intuitu personae, c'est-à-dire en considération de la personne du Prestataire et de ses dirigeants ou représentants légaux.

Le Contrat n'est donc pas transférable à un tiers pour quelque raison que ce soit, sans l'accord préalable et écrit du Client.

9.5. COMPETENCES & AUTORISATIONS ADMINISTRATIVES

Le Prestataire fera son affaire personnelle de l'obtention de l'intégralité des accréditations et habilitations ainsi que du respect de toute législation et réglementation concernant l'exercice de son activité et l'exécution de sa mission.

9.6. CONFIDENTIALITE

Les Parties s'engagent à garder strictement confidentiels, à l'égard de quelque tiers que ce soit, le contenu du Contrat, ainsi que son objet et l'ensemble des détails concernant les prestations prévues.

9.7. FORMULE DE REVISION

$$P1 = P_0 [0,10 + 0,35 (ICHT-IME/ICHT-IME_0) + 0,55 (FSD1/FSD1_0)]$$

Où

ICHT-E : Indice coût horaire du travail – industries mécaniques et électriques

FSD2 : Fournitures et services divers – frais divers

L'indice de référence est celui connu au mois de la signature du présent contrat.

9.8. LANGUE APPLICABLE

Le Prestataire s'engage à ce que tous les échanges écrits ou verbaux liés au Contrat se pratiquent obligatoirement dans la langue française.

9.9. ATTRIBUTION DE JURIDICTION

Les Parties s'efforceront de résoudre à l'amiable tout conflit relatif au Contrat.

A défaut d'accord survenu dans les 60 jours de l'apparition de l'origine du litige, les Parties conviennent que tout litige découlant du Contrat sera soumis au Tribunal de Saint-Etienne.

10. TARIF

€HT/crémation

Fait à Andrézieux-Bouthéon

Le

En deux (2) exemplaires

ANNEXE 1 LISTE DES MATERIELS INCLUS DANS LE PERIMETRE DU CONTRAT

	MATERIEL
	LIGNE DE CREMATION
SYSTEME DE FILTRATION CLENAIR PACK	Refroidisseur de fumées
	Filtre
	Extracteur de fumées
	Injecteur de réactif
	Ensemble conduits de fumées hautes températures
	Ensemble conduits de fumées basses températures
	Aéroréfrigérant
	Panoplie hydraulique, tuyauterie et robinetterie
	Vanne de By-Pass filtration
	Compresseur d'air comprimé
	Ballon de stockage d'air comprimé
	Automatisme et supervision de la filtration
FOUR DE CREMATION	Ventilateur d'air comburant
	Ventilateur d'éjection
	Vannes d'air comburant
	Panoplies Gaz
	Automatisme et supervision du four
	Table d'introduction automatisée
	Broyeur de calcius

ANNEXE 2 DUREE DE VIE DES EQUIPEMENTS

DUREE DE VIE ESTIMEE DU MATERIEL (EXPRIMEE EN NOMBRE DE CREMATIONS)	
Eléments filtrants du système de filtration	Entre 5000 et 7000
Sole du four	Entre 1500 et 2000
Rebriquetage partiel du four	Entre 6000 et 7000
Rebriquetage intégral du four	Entre 9000 et 10000

ANNEXE 3 DESCRIPTION DE LA MAINTENANCE PREVENTIVE

MATERIEL	OPERATIONS REALISEES
FOUR DE CREMATION	<ul style="list-style-type: none"> - Inspection de la sole, - Inspection du revêtement de la chambre de combustion et de postcombustion, - Vérification du mécanisme d'ouverture et fermeture des portes, système d'étanchéité, garniture, - Vérification, nettoyage et réglage des brûleurs, - Vérification des ventilateurs air de combustion et air d'éjection, - Vérification et étalonnage des capteurs de pression et de température, - Vérification des vannes de régulation et capteurs associés, - Vérification de la sonde O2 - Circuit de fumées et carneau (éjection et filtration) - Vérification de l'installation électrique et automatismes, - Vérification, réglage, garnissage des éléments mécaniques.
SYSTEME DE FILTRATION	<ul style="list-style-type: none"> - Inspection des injecteurs de réactif, réglage, - Vérification du dispositif de refroidissement des fumées, - Vérification du dispositif de production d'air comprimé, - Vérification du filtre, média filtrant et dispositif de décolmatage et d'extraction des poussières, - Vérification du ventilateur d'extraction, - Vérification de l'installation électrique et automatismes, - Vérification, réglage, graissage des éléments mécaniques. - Nettoyage du refroidisseur de fumées (chaque tube du refroidisseur sera nettoyé avec un goupillon mécanique afin d'enlever toute la suie susceptible d'entraîner un départ d'incendie)

MATERIEL	OPERATIONS REALISEES
TABLE D'INTRODUCTION DES CERCUEILS	<ul style="list-style-type: none"> - Vérification, réglage, graissage des éléments mécaniques (tous les 2 ans), - Vérification des capteurs Vérification de l'installation électrique et automatismes, - Vérification, réglage, garnissage des éléments mécaniques.
BROYEUR DE CALCIUS	<ul style="list-style-type: none"> - Vérification, réglage, graissage des éléments mécaniques, - Vérification des capteurs

ANNEXE 4 LISTE INDICATIVE DES PIECES REMPLACEES LORS DE LA MAINTENANCE PREVENTIVE

MATERIEL	PIECES	FREQUENCE DE REMPLACEMENT
FOUR DE CREMATION	Joint de porte introduction	Tous les 3 ans
	Joint de porte décendrage	Tous les 3 ans
	Ordinateur (supervision)	Tous les 5 ans
	Ventilateur air comburant	Tous les 10 ans
	Sonde O ² (tube de convection)	Tous les ans
	Capteur de dépression	Tous les 5 ans
	Capteur de température	Tous les ans
	Vérin dilution et capteur	Tous les 3 ans
	Vanne d'air proportionnelle	Tous les 5 ans
	Moteur porte intro et décendrage	Tous les 5 ans
	Capteur fin de course porte d'introduction	Tous les ans
	By-pass cheminée (vérin +capteur)	Tous les 3 ans
TABLE D'INTRODUCTION	Pignons, chaîne et ensemble moto-réducteur)	Tous les 5 ans
BROYEUR DE CALCIUS	Urne de broyage	Tous les 5 ans
	Couvercle d'urne	Tous les 5 ans
	Remplacement courroie et paliers	Tous les 2 ans
	Filtre caisson filtration	Tous les ans

MATERIEL	PIECES	FREQUENCE DE REMPLACEMENT
LIGNE DE FILTRATION	Paniers support manches filtrantes	Tous les 10 ans
	1 jeu de 6 membranes de décolmatage filtre	Tous les 2 ans
	Thermocouple chaudière	Tous les 2 ans
	Séquenceur de décolmatage	Tous les 3 ans
	Capteur dépression filtre	Tous les 3 ans
	Moto ventilateur	Tous les 10 ans
	Circulateur	Tous les 5 ans
	Microdoseur-dévoûteur réactif	Tous les 10 ans
	Vérin vide seau	Tous les 3 ans
	Pressostat air comprimé	Tous les 3 ans
	4 Moteurs aérotherme	Tous les 5 ans
	By-pass cheminée (vérin +capteur)	Tous les 3 ans
	Groupe de maintien de pression	Tous les 5 ans
	Thermostat de sécurité	Tous les 5 ans

ANNEXE 5 LISTE DES PIECES DE RECHANGE A PROGRAMMER ET A MAINTENIR EN STOCK

MATERIEL	PIECES	A PROGRAMMER/A MAINTENIR EN STOCK
FOUR	Electrode d'allumage	A maintenir en stock
	Sonde d'ionisation	
	Sonde de température chambre de crémation	
	Sonde de température chambre de post-combustion	
BROYEUR	Cartouche de filtration module aspiration broyeur	A maintenir en stock
FILTRATION	1 jeu de manches	A programmer
	1 ventilateur d'extraction	
	1 groupe de maintien de pression	
	2 sondes TCK Ig 500	A maintenir en stock
	1 séquenceur de décolmatage	
	1 circulateur	
AUTOMATISMES	1 alimentation automate	A maintenir en stock
	1 coupleur	
	1 carte entrée ANA	
	1 carte entrée TOR	
	1 carte sortie ANA	
	1 carte sortie TOR	
	1 CPU	
	1 carte TCK	

Maintenances préventives

Maintenance préventive des dispositifs

Nb de crémations à
chaud

Nb de crémations à
froid
1x/an minimum

Dispositif d'introduction	300	600
Dispositif de crémation	300	600
Dispositif de refroidissement	300	600
Dispositif de traitement des effluents	300	600
Dispositif de filtration	300	600
Dispositif de supervision	300	600
Dispositif de préparation des cendres	300	600

Temps d'arrêt de l'installation lors d'une séquence de maintenance
Préventive totale.

1 journée

Maintenances curatives programmées dans le GER

Maintenance curative des sous-ensembles

Longévité moyenne
En nb de
crémations

Temps
d'arrêt

Eléments filtrants du système de filtration	Entre 5000 et 7000	2 jours
Sole du four	Entre 1500 et 2000	1 journée
Rebriquetage partiel du four	Entre 6000 et 7000	2 semaines
Rebriquetage intégral du four	Entre 9000 et 10000	5 semaines

Type de contrat de maintenance

Contrat de maintenance, en garantie totale

Pour l'ensemble des procédés mis en œuvre ainsi que les interventions de dépannage
non-planifiées sur le site.