

CONSULTING

Aménagement d'une station- service à Terre-Rouge sur la commune de Saint-Pierre

Réponse aux demandes de compléments de
la Mission Régionale d'Autorité
environnementale de La Réunion

Sommaire

1.....	Remarques générales	2
2.....	Eaux souterraines et superficielles	3
3.....	Bruit.....	4
4.....	Nuisances et qualité de l'air.....	7
5.....	Risques technologiques	9
6.....	Effets cumulés.....	10
	Annexe 1 : descriptif du logiciel de modélisation environnementale CadnaA	12
	Annexe 2 : Propagation acoustique en milieu extérieur paru dans Acoustique et Techniques	13
	Annexe 3 : Evaluation Quantitative des Risques Sanitaires (EQRS), ARIA TECHNOLOGIES, mars 2024	14



A noter

Le présent document constitue le mémoire en réponse à l'avis délibéré de la Mission Régionale d'Autorité environnementale de La Réunion N° 2023APREU13 adopté lors de la séance du 08 décembre 2023 sur le projet d'aménagement d'une station-service à Terre-Rouge sur la commune de Saint-Pierre.

Le document reprend les pages du courrier et apporte, dans le corps du texte, les réponses aux questions posées.

1. REMARQUES GENERALES

Le résumé non technique n'est pas fourni dans l'étude d'impact, ce qui aurait permis une lecture synthétique de tous les sujets traités. Cela aurait été complémentaire à l'étude d'impact, avec sa pluralité de document et paginations spécifiques.

Réponse 1 du pétitionnaire :

Le résumé non technique a été intégré au rapport d'étude d'impact, au chapitre 2.

L'étude d'impact respecte sur la forme l'article R.122-5 du code de l'environnement, bien qu'une meilleure présentation permettrait de faciliter la lecture notamment sur la partie « incidence et mesures mises en œuvre ».

L'étude d'impact est globalement satisfaisante, toutefois, la trame n'est pas claire. Ce qui génère des difficultés pour retrouver les informations, en ce qui concerne les mesures ERC.

Réponse 2 du pétitionnaire :

La trame du chapitre « incidences et mesures mises en œuvre » est réalisée comme suit :

Pour chaque item, sont présentées :

- les incidences du projet sur l'item ;
- les mesures d'évitement ;
- les mesures de réduction ;
- l'incidence résiduelle suite à la mise en place des différentes mesures ;
- les mesures compensatoires éventuelles

Cette façon de procéder respecte la séquence hiérarchique « Eviter, réduire et compenser » qui viennent en réponse aux incidences potentielles identifiées en premier lieu sur la thématique traitée.

Afin d'apporter une vision globale des mesures proposées, un tableau de synthèse des différentes mesures a été ajouté (en §11.9 de l'étude d'impact) afin de faciliter la compréhension du document :

Tableau 1 : Synthèse des mesures et leur abréviation

Abréviation	Mesure
ME01	Evitement du risque de pollution accidentelle
ME02	Evitement de la création des gîtes larvaires
E2-1a	Repérage et piquetage des nids d'oiseaux protégés avant démarrage des défrichements
E3-1c	Eviter la dissémination de reptiles exotiques
E3-1d	Eviter l'introduction d'espèces végétales exotiques envahissantes
ME04	Evitement des nuisances sonores
ME05	Evitement de la pollution par des déchets dangereux
MR01	Réduction du risque de pollution accidentelle
MR02	Gestion des eaux pluviales

R2-2	Limiter et adapter les éclairages du projet
R2-1k	Adapter le protocole de défrichage ; le stockage temporaire des déchets verts et limiter les nuisances envers la faune dont le caméléon panthère
R3-1a	Adapter la période de réalisation des travaux afin d'éviter de détruire et de perturber les oiseaux forestiers
MR04	Intégration paysagère
MR05	Réduction des nuisances dues au trafic routier
MR06	Réduction des nuisances sonores
MR07	Réduction des poussières
MR08	Réduction des nuisances lumineuses
MR09	Réduction des vibrations
MR10	Gestion des déchets
MR11	Réduction de l'impact sur la qualité de l'air
A7-a	Adapter spécifiquement les aménagements paysagers du projet en faveur de la biodiversité

2. EAUX SOUTERRAINES ET SUPERFICIELLES

- **Compte tenu des dysfonctionnements relevés sur la gestion actuelle des eaux pluviales au droit du secteur d'étude, l'Ae recommande de justifier que les ouvrages de traitement des eaux pluviales répondent pleinement aux dispositions du schéma directeur des eaux pluviales de Saint-Pierre élaboré en 2014 et permettent de garantir une non-aggravation de risques inondation pour les secteurs habités en contrebas.**

Réponse 3 du pétitionnaire :

Un SDGEP de Saint-Pierre a été réalisé entre 2006 et 2014. Il comporte les phases suivantes :

- Phase A : Dispositions réglementaires, Novembre 2006
- Phase B : Identification du réseau et diagnostic, Février 2008
- Phase C : Schéma Directeur, Mars 2010
- Phase D : Zonage pluvial, Novembre 2014

Ce SDGEP n'a pas été approuvé il n'est donc pas opposable. De plus, il s'est basé sur une notice hydrologique de 2008, qui était celle en vigueur à ce moment-là. Depuis, un Guide de Gestion des Eaux Pluviales de La Réunion a été élaboré par l'Etat en 2012. Ce guide constitue aujourd'hui le document de référence en vigueur concernant la gestion des eaux pluviales sur le territoire de La Réunion. La méthodologie de l'étude hydraulique du projet suit donc les prescriptions de ce Guide et non du SDGEP.

La période de retour prise en compte pour le dimensionnement du projet est la pluie de période de retour 30 ans conformément au guide de gestion des eaux pluviales de 2012. Au vu du contexte de la Ravine des Roches qui présente un verrou hydraulique sur l'av. Mitterrand, il a

été retenu de réduire le débit de fuite et de prendre en compte le débit initial de période de retour 10 ans.

De ce fait, le débit de fuite étant inférieur à l'état projet qu'à l'état initial, la gestion des eaux pluviales du projet permet non seulement de ne pas aggraver le risque inondation mais d'améliorer la situation en réduisant le risque jusqu'à un débit trentennal. Autrement dit, le débit en sortie de l'aménagement sera plus faible qu'à l'état initial pour toutes les pluies jusqu'à la période de retour 30 ans.

Ces éléments ont été ajoutés au paragraphe 16.6 de l'étude d'impact.

3. BRUIT

Le bruit généré occasionnellement par les rotations de l'hélicoptère du CHU n'a pas été pris en compte dans l'étude réalisée.

Réponse 4 du pétitionnaire :

Le bruit des hélicoptères associés au fonctionnement du CHU fait partie de l'environnement existant avant la mise en œuvre du projet. Comme le précise l'AE, ces bruits restent occasionnels.

Sur la base d'hypothèses défavorables de fonctionnement des équipements en permanence et en quasi simultanée sur le projet, le logiciel calcule (cf. page 18 de l'étude acoustique) que l'ensemble des équipements de la station-service en marche de jour ramène au point de réception un niveau de bruit total (bruit particulier) de 45.5 dBA qui correspond à une conversation à voix basse. Or le bruit d'un hélicoptère est de l'ordre de 65 à 70 dBA ce qui représente un différentiel de l'ordre de 20 à 25 dBA, plaçant le bruit des hélicoptères comme étant la source ponctuelle majeure de nuisance sonore pour le CHU par rapport à celui de la station-service.

En acoustique, il n'y a pas d'addition de deux niveaux si l'écart des niveaux de bruit est supérieur ou égal à 10 dB, le bruit le plus fort masque le plus faible. Ainsi, au moment du passage d'un hélicoptère, le bruit existant sera masqué par le bruit de celui-ci : les bruits générés par le projet n'aggravent pas la situation existante puisque les bruits associés aux hélicoptères seront perçus de la même façon avec ou sans mise en œuvre du projet de la station-service. Le bruit généré par les rotations des hélicoptères du CHU constitue la nuisance sonore majeure par rapport à ceux de la station-service pour le CHU et son environnement immédiat.

Ces éléments ont été ajoutés au paragraphe 11.5.2.1 de l'étude d'impact.

Malgré les résultats favorables de l'étude, et compte tenu de la proximité du CHU, des niveaux sonores à l'émission pouvant être forts²¹ et des vents majoritaires venant de l'est propageant les sons vers le CHU, l'absence de nuisances sonores n'apparaît pas pouvoir être totalement garantie. L'ARS réitère ses recommandations dans le cadre du permis de construire afin d'adopter des mesures de protection tels que la pose d'un merlon ou panneau de protection phonique ainsi que le maintien d'une haie ou encore l'interdiction de diffusion de musique amplifiée et/ou de l'utilisation de haut-parleurs.

- **Compte tenu de la proximité de différents bâtiments de soins du CHU abritant des personnes vulnérables, l'Ae demande de reprendre l'étude acoustique réalisée en tenant compte de l'orientation exacte du vent sur la zone, afin de :**

- *présenter des résultats plus réalistes des nuisances sonores susceptibles d'être ressenties par les patients et le personnel soignant du CHU, comme par les étudiants des écoles de formation de la santé ;*
- *proposer des mesures adaptées au contexte.*

Réponse 5 du pétitionnaire :

Le retour du bureau d'étude AD Ingénierie ayant réalisé l'étude acoustique de ce projet est le suivant :

Avant tout, il est important de resituer le contexte et les hypothèses de départ pour une bonne interprétation des résultats de notre étude.

Nous avons été missionnés pour réaliser une étude d'impact prévisionnel des bruits de la station-service sur les bâtiments proche de l'hôpital. L'objectif principal est de connaître grâce à une modélisation informatique, la contribution sonore globale des équipements étudiés sur les points récepteurs (zone à émergence réglementée (ZER)).

Cette modélisation a été réalisée par un logiciel CadnaA, répondant à la norme NFS31-132 et utilisant la méthodologie de calcul décrite dans la norme ISO 9613-2, que beaucoup utilisent dans la profession.

Ce logiciel permet de connaître les contributions dans leur environnement de chacune des sources sonores étudiées et leur impact à un point donné.

Il permet ainsi d'identifier et de hiérarchiser l'impact de chaque source afin de permettre de donner les valeurs d'atténuation nécessaires et suffisantes pour rendre un site conforme, s'il ne l'est pas, ou en prévision de son implantation.

Il permet ainsi de prédire l'impact des bruits dans l'environnement de la station-service et constitue un outil relativement fiable d'aide à la prise de décisions.

Le descriptif du logiciel de modélisation environnementale CadnaA est donné en Annexe 1.

Dans le cas de notre étude, les équipements présents dans la station-service ont été divisés en deux configurations en fonction de la période diurne ou nocturne, avec chacun un objectif de contribution réglementaire différent :

- Configuration 1 - Période diurne :
 - 4 Distributeurs de carburants en fonctionnement simultanés à 100%
 - 4 Haut-parleurs en fonctionnement pendant 5 secondes toute les 5 minutes
 - 1 aspirateur en fonctionnement la moitié du temps
 - 1 portique de lavage en fonctionnement pendant 10 minutes toutes les 30 minutes
- Configuration 2 - Période nocturne :
 - 4 Distributeurs de carburants en fonctionnement simultanés la moitié du temps

Ce mode de fonctionnement moins bruyant la nuit a été validé comme hypothèse de travail.

Ces hypothèses restent toutefois défavorables (prise en compte d'une distribution du volume de carburant à 50% alors que le trafic de voitures chute de manière considérable la nuit) et de plus il est envisageable que la station ne fonctionne pas après 22h à l'image de la station située de l'autre côté de la RN2.

Le logiciel calcule (cf. page 18 de l'étude acoustique) que l'ensemble des équipements en marche de jour ramène au point de réception un niveau de bruit total (bruit particulier) de 45.5 dBA qui correspond à une conversation à voix basse, et que la nuit la configuration choisie

ramène au point de réception un niveau de bruit total (bruit particulier) de 28 dBA correspond au bruit dans un appartement fermé très calme. Or le bruit existant déjà à proximité de l'hôpital (appelé bruit résiduel ou bruit de fond) est déjà de 50dBA à cause notamment de la présence d'axe routier fréquenté (N2) et donc la nuit, les 28 dBA ramenés par le fonctionnement des équipements seront totalement inaudibles car masqués par le niveau de bruit de fond. En effet, en acoustique, il n'y a pas d'addition de deux niveaux si l'écart des niveaux de bruit est supérieur ou égal à 10 dB, le bruit le plus fort masque le plus faible.

Ici $50\text{dBA} + 28\text{dBA} = 50\text{dBA}$ en bruit perçu

1) Mesure du bruit de fond

Nous avons mesuré toute la nuit le bruit initial de la zone. Cette valeur de niveau global est de 50 dBA au point ZER 2, à proximité des bâtiments. Elle a été mesurée dans le strict respect de la norme NFS31010 avec des conditions de vent $< 3\text{m/s}$ comme elle le stipule, car au-delà de cette valeur le bruit du vent dans les arbres ou sur les micros perturbent les mesures qui deviennent inexploitable.

Cette valeur est relativement élevée, et s'explique par la proximité de la ville et de la route nationale N2. En effet, la RN2 est une voie classée de catégorie 2 selon arrêté préfectoral n°2747 de décembre 2023 relatif au classement des infrastructures de transports terrestres sur Saint-Pierre. Ce classement est établi sur la base d'un niveau sonore de la voie classée compris entre 81 dBA et 76 dBA avec un impact de la nuisance sonore sur une bande de 250 m de largeur de chaque côté de la voie. Près de la moitié du site du CHU est située dans cette bande de 250 m y compris la zone la plus proche du projet de station-service.

2) Contribution des installations de nuit (après 22h)

La modélisation de nuit prend en compte, comme demandé, le bruit des pompes seules, les autres sources de bruit n'étant pas active la nuit (cf. Configuration 2 cartographie du rapport page 20.)

Il en ressort que les pompes de distribution d'essence ramènent une contribution (bruit particulier) inférieur à 30 dBA (28dBA), autrement dit, le bruit ramené par les pompes, situées à une centaine de mètres, est très largement inférieur au bruit de fond mesuré au droit du bâtiment. Résultat : le bruit des pompes est masqué par le bruit de fond ($30 \ll 50\text{dBA}$).

3) Impact du vent

Concernant l'impact du vent sur les mesures, il est communément observé que suivant les conditions météorologiques et sur des longues distances de plusieurs centaines de mètres, il peut y avoir des écarts de niveaux de bruit supérieurs à 10dBA (cf. article : Propagation acoustique en milieu extérieur paru dans Acoustique et Techniques en Annexe 2.). Les modélisations faites par les logiciels comme CadnaA, ne prennent pas en compte l'influence du vent qu'il convient de considérer comme « une variable aléatoire à grande distance d'une source ». Or dans notre cas la distance n'est pas suffisamment grande pour que l'effet soit très marqué mais l'est suffisamment pour avoir une bonne décroissance du bruit des installations. C'est-à-dire, dans notre exemple, même si l'influence du vent peut augmenter le bruit perçu des pompes, cette valeur restera malgré tout sous le bruit de fond généré principalement par la grande proximité de la RN2 avec le CHU (la RN2 borde le CHU).

En effet, dans l'éventualité de vents majoritaires venant de l'Est et conduisant les sons vers le CHU, ces vents conduiraient non seulement les bruits des équipements de la station mais également les bruits de la RN2 dans les mêmes conditions d'accroissement du fait de leur proximité. La prise en compte d'un accroissement du niveau sonore induit par le vent d'Est ne

viendrait pas changer la configuration existante de la nuisance sonore majeure constituée par la RN2 sur le CHU.

4) Niveau de bruit perçu dans les chambres.

Le bruit extérieur sera atténué par les fenêtres de l'ordre de 25 ou 30 dB, de la même façon si le bruit le plus fort reste le bruit de la circulation de la ville au niveau des façades, le bruit des installations sera d'autant moins perçu à l'intérieur du bâtiment.

Conclusion :

La norme NFS31010 impose des mesures avec des conditions de vent < à 3m/s pour avoir des données exploitables sur le bruit de fond. Les mesures réalisées en conditions venteuses ne seraient donc pas exploitables.

Toutefois, en l'absence de vent, le bruit existant à proximité de l'hôpital (appelé bruit résiduel ou bruit de fond) est de 50dBA dû notamment à la présence de la route nationale 2. Les modélisations réalisées en configuration de jour et de nuit montrent qu'en l'absence de vent, les bruits de la station services ne seront pas perçus car en dessous du niveau du bruit de fond déjà existant.

L'état de l'art montre que l'effet du vent sur la perception du bruit est plus marqué à longue distance. Dans notre cas, même en présence de vent, c'est la décroissance du bruit perçu de la station-service à cause de la distance qui est plus marqué. Même si l'influence du vent peut augmenter le bruit perçu des pompes, cette valeur restera malgré tout sous le bruit de fond donc non perçu. Le bruit des installations sera d'autant moins perçu à l'intérieur du bâtiment.

4. NUISANCES ET QUALITE DE L'AIR

L'étude met en évidence que le vent sur le secteur occasionne de la poussière. Toutefois, le porteur de projet n'a pas précisé si les potentielles rotations de l'hélicoptère du CHU peuvent avoir un impact sur le brassage air et des poussières associées.

Réponse 6 du pétitionnaire :

Dans le cadre de l'évaluation quantitative des risques sanitaires réalisée (cf. Annexe 3), la poussière soulevée par le brassage d'air généré par l'hélicoptère du CHU lors de ces manœuvres sur une plateforme imperméabilisée située à environ 375 m du projet est considérée comme négligeable.

L'étude d'impact indique que le CHU ne sera que faiblement exposé face aux nuisances de la qualité de l'air en considérant que les vents sont axés vers l'est²⁴. Or, contrairement à ce qui est mentionné dans le rapport, la majorité de vents proviennent de l'est et soufflent donc vers l'ouest en direction du CHU qui n'est donc pas protégé des émissions potentielles de polluants provenant du projet de station-service.

- *Au regard de la proximité du CHU et du public vulnérable qu'il accueille, et en l'absence d'étude de modélisation de dispersion des polluants dans le cadre de l'établissement du dossier d'étude d'impact, l'Ae demande de réaliser une évaluation quantitative des risques sanitaires (EQRS) pour évaluer des risques sanitaires liés à une exposition future et proposer, le cas échéant, des mesures complémentaires adaptées au contexte.*

Réponse 7 du pétitionnaire :

Une évaluation quantitative des risques sanitaires (EQRS) a été réalisée par ARIA TECHNOLOGIES en mars 2024. Elle est présentée en Annexe 3, les conclusions sont les suivantes :

SUEZ Consulting a sollicité ARIA Technologies pour la réalisation d'une Evaluation des Risques Sanitaires (ERS) liée au projet d'une station-service à Saint-Pierre à La Réunion à proximité du centre hospitalier accueillant des populations sensibles.

Le présent document présente l'évaluation des risques sanitaires réalisée :

- En application de la circulaire DGPR & DGS du 9 août 2013 ;
- Conformément au guide « Evaluation de l'état des milieux et des risques sanitaires – Démarche intégrée pour la gestion des émissions des substances chimiques par les installations classées » publié par l'INERIS en août 2013 et sa deuxième édition de 2021 (notamment Annexe 4 : Evaluation de l'état des milieux pour les études d'impact ICPE : identification et priorisation des mesures à réaliser) ;
- En tenant compte des recommandations du « référentiel pour la constitution d'un dossier de demande d'autorisation environnementale impliquant des installations classées en Hauts-de-France » publié par la Direction régionale de l'environnement, de l'aménagement et du logement Hauts-de-France en juillet 2018 ;
- Sur la base des données disponibles au moment de la rédaction de la version 1 du présent document.

Compte tenu des rejets du site, des usages et des populations avoisinantes, les voies d'exposition retenues pour la population dans cette étude sont l'inhalation.

Les substances retenues comme traceurs de risques sont les suivantes :

- Benzène,
- Diesel,
- Oxyde de tert-butyle et de méthyle,
- Alcool tert-butylique.

L'évaluation de l'exposition humaine est réalisée pour deux scénarios d'exposition appelé scénario Habitant « Majorant » et scénario Travailleur « Majorant ».

Scénario retenu	Typologie	Temps d'exposition	Voies d'exposition
Travailleur majorant	Entreprise la plus exposée (point n°8)	2000 h (10jours par jours x 200 j/an)	Inhalation
	Zone habitée la plus exposée (point n°1)	6760 h/an (le reste du temps)	
Habitant majorant	Zone habitée la plus exposée (point n°1)	8 760 h/an (toute l'année)	

Une étude de dispersion a été réalisée afin d'estimer les concentrations dans l'air imputables au site en projet.

Le tableau suivant synthétise les risques sanitaires estimés :

	Scénario Habitant Majorant	Scénario Travailleur Majorant	Valeur repère
Risques à seuil	QDmax = 0,031 Pour le diesel	QDmax = 0,056 Pour le diesel	1
Risques sans seuil	ERImax = $4,3 \cdot 10^{-8}$ Pour le benzène	ERImax = $1,8 \cdot 10^{-7}$ Pour le benzène	$1 \cdot 10^{-5}$

Les risques sanitaires calculés pour les substances à seuil d'effet et pour les substances sans seuil d'effet (effets cancérigènes généralement) restent très inférieurs aux valeurs repères.

Compte tenu des hypothèses majorantes retenues, les risques sanitaires liés aux émissions atmosphériques du projet de station-service à Saint-Pierre, évalués en premier niveau d'approche, sont jugés non préoccupants en l'état actuel des connaissances.

Ces éléments ont été ajoutés au paragraphe 11.6.1 de l'étude d'impact.

5. RISQUES TECHNOLOGIQUES

Il est regrettable que les risques cumulés induits par la proximité du projet au CHU, à une autre station service située en face, la livraison de carburants et le trafic de poids lourds transportant des matières dangereuses sur la RN2, ne soient pas analysés dans l'étude d'impact.

- ***Au regard de la présence de plusieurs ICPE à proximité du projet envisagé et du transport de matières dangereuses sur la RN n°2, l'Ae demande au porteur de projet de travailler sur des mesures pour maîtriser les effets des phénomènes dangereux associés aux risques d'accident.***

Réponse 8 du pétitionnaire :

La station-service constitue une installation classée pour la protection de l'environnement soumise à déclaration au titre de la rubrique 1435 de la nomenclature ICPE.

A ce titre, l'exploitant est soumis aux dispositions de l'Arrêté du 15/04/10 relatif aux prescriptions générales applicables aux stations-service soumises à déclaration sous la rubrique n° 1435 de la nomenclature des installations classées pour la protection de l'environnement.

Cet arrêté prescrit des dispositions pour la maîtrise des risques présentés par l'installation (risque interne) et permettant l'intervention en cas de sinistre.

De même cet arrêté autoportant impose des dispositions spécifiques pour l'implantation des installations ainsi que pour l'éloignement des équipements par rapport à d'autres établissements extérieurs présentant ou pas des risques d'incendies ou d'explosions. Les distances d'éloignement minimales sont de 19 m par rapport au dépotage et de 17 m par rapport à la distribution. Ces distances sont largement respectées par rapport au CHU puisque les bâtiments les plus proches sont à plus de 50 m de la zone de distribution et à plus de 200 m de l'autre station située de l'autre côté de la RN2.

Il est en de même pour toute ICPE susceptibles d'être présentes dans le voisinage de la station-service. Ainsi, la maîtrise des effets des phénomènes dangereux d'une autre ICPE relève des exploitants de celle-ci.

Les moyens déjà prévu par l'exploitant conformément à l'arrêté doivent permettre de maîtriser les risques dans une durée suffisante pour permettre l'intervention des services publics de secours.

Le site disposera également des moyens d'alerte afin de permettre l'évacuation du site en cas d'évènements majeurs.

En ce qui concerne le transport des matières dangereuses, il constitue un risque majeur identifié au Dossier Départemental des Risques Majeurs de La Réunion. Il s'agit d'un risque externe au site de la station-service. La maîtrise des risques et la gestion de crise relève de la responsabilité des pouvoirs publics.

Par ailleurs, l'absence de communication avec le site du CHU, la configuration du projet qui crée une voie indépendante de sortie et d'entrée sur la RN2, assortie d'un rond-point avant la station, sont de nature à permettre une gestion adaptée en cas d'accidents. L'indépendance de la voie de desserte de la station permet une intervention des moyens de secours sans impact sur la RN2 ou sur le CHU. De plus, le rond-point avant la station permet d'offrir une voie de délestage en cas d'accidents intervenant sur la RN2. De même, la création de deux poteaux incendies supplémentaires sur le projet permet de mieux gérer le besoin en eau en cas d'incendie sur la station voire sur le CHU.

Ces éléments ont été ajoutés au paragraphe 11.8.5.1 de l'étude d'impact.

6. EFFETS CUMULES

Il est rappelé qu'un dojo et un complexe aquatique sont en cours de construction et se situent dans un périmètre proche à l'ouest du projet et à proximité du CHU sud de la Réunion : les effets cumulés associés aux travaux de ce nouvel équipement ne sont pas pris en compte dans le rapport.

De même, un projet de liaison routière reliant Grands-Bois à la route nationale 3 viendra se greffer sur le secteur de Terre Rouge. À cet égard, un emplacement réservé est inscrit au PLU de Saint-Pierre afin de permettre au Conseil Régional de réaliser cette déviation.

Comme précédemment, ce projet de liaison routière reliant l'ouest de Saint-Pierre au Tampon n'est pas non plus étudié dans l'étude d'impact.

Réponse 9 du pétitionnaire :

Le projet de déviation Est de Saint-Pierre, par une 2 x 2 voies, a été définitivement écarté par la Région car il envisageait de traverser certaines exploitations et il a été tranché que *“L'amélioration des conditions de circulation, notamment sur votre commune, ne peut plus se faire au détriment des espaces agricoles et naturels. Les terres agricoles ne doivent pas être sacrifiées pour des projets routiers.”* Il va être retiré du PLU actuellement en révision.

Le complexe aquatique et le dojo en cours de construction sont situés à environ 350m du projet. La fin de travaux était initialement prévue pour fin 2023. La livraison étant prévue pour mi-2024, les travaux sont en finition et seront terminés fin 2024. Le démarrage des travaux de la station-service est prévu pour fin 2025/début 2026 au mieux. Il n'y aura donc pas d'effet cumulé en phase travaux.

Dans le cas où les travaux du complexe aquatique ont encore plus de retard et se superposent, les effets cumulés potentiels sont identifiés ci-dessous :

→ Trafic : le projet de complexe aquatique sera en phase de finition ce qui demande peu de transport de matériaux, notamment comparé à la phase de terrassement.

→ Nuisances sonores, poussières, et vibrations : les sites sont situés à une distance trop éloignée pour que ces effets soient cumulés. De plus, le projet de complexe aquatique sera en phase de finition qui provoque des nuisances sonores, des poussières et des vibrations bien moindre qu'en phase de terrassement.

→ Paysage : les deux sites ne sont pas visibles l'un de l'autre

En phase exploitation, la fréquentation du site impliquera une augmentation du nombre de véhicules dans la zone. Celle-ci ne sera pas significative au vu du trafic sur la RN2. De plus, la sortie pour le complexe aquatique vient avant celle pour la future station-service dans le sens Saint-Pierre vers Saint-Joseph, la population fréquentant le complexe sportif ne sera pas impactée par les travaux.

Ces éléments ont été ajoutés au chapitre 12 de l'étude d'impact.

ANNEXE 1 : DESCRIPTIF DU LOGICIEL DE MODELISATION ENVIRONNEMENTALE CADNAA



GLOSSAIRE DE L'ACOUSTIQUE

- **TERMINOLOGIE**
- **TEXTES REGLEMENTAIRES**
- **METHODOLOGIE**

**Pour comprendre les études acoustiques
environnementales**

**Renaud Lène
Responsable Commercial
Secteur Océan Indien**

**249 avenue Général de Gaulle
97410 St Pierre
r.lene@adingenierie.fr
06 92 63 88 92**

www.adingenierie.fr

04 72 67 12 12

**2 avenue Zac de Chassagne
69 360 Ternay**

Table des matières

Table des matières	2
1. Textes et terminologie	3
1. Adition des bruits.....	3
2. Le décibel.....	3
3. Le décibel A : dBA	3
4. Le niveau de pression instantané Lp	3
5. Indice énergétique, niveau de bruit équivalent : Leq.....	4
6. Bandes d'octaves et niveau global.....	4
7. Bruit ambiant	4
8. Bruit particulier	5
9. Bruit résiduel ou bruit de fond.....	5
10. Emergence.....	5
11. Zone à émergence réglementée (ZER)	6
12. Tonalité marquée	6
13. Analyse statistique	6
14. Réglementation – milieu industriel, acoustique externe.....	7
15. Arrêté du 23 janvier 1997 relatif aux installations classées pour la protection de l'environnement :	7
16. Décret n° 2006-1099 du 1 septembre 2006 relatif à la lutte contre les bruits de voisinage (hors bruits provenant des infrastructures de transport).....	8
17. Synthèse de la réglementation – milieu industriel, acoustique externe	11
2. Méthodologie.....	12
18. Méthode de calcul d'émergence, de bruit ambiant réglementaire et de contribution réglementaire	12
19. Calcul du bruit ambiant réglementaire :.....	13
20. Calcul de la contribution (bruit particulier) réglementaire :.....	13
21. Etude d'impact par modélisation.....	14
Descriptif du logiciel de modélisation environnementale : CadnaA.....	14
Exemple de simulation :	15
3. NOS COMPÉTENCES	16

1. Textes et terminologie

1. Adition des bruits



Les bruits s'additionnent de façon logarithmique :

Addition logarithmique de n niveau de même grandeur L

..... L somme = $L + 10 \log n$



Il est à remarquer que $80\text{dB} + 80\text{dB} = 83 \text{ dB}$
et $80\text{dB} + 90\text{dB} = 90\text{dB}$.

2. Le décibel

Le décibel est une échelle de mesure logarithmique en acoustique, c'est un terme sans dimension. Il est noté **dB**.

3. Le décibel A : dBA

La lettre **A** signifie que le décibel est pondéré pour tenir compte de la différence de sensibilité de l'oreille à chaque fréquence. Elle atténue les basses fréquences.

4. Le niveau de pression instantané L_p

L_p est le niveau de pression acoustique instantané

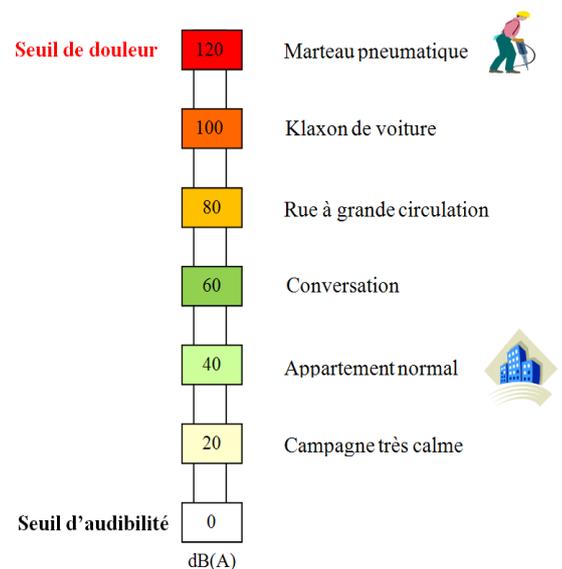
$$L_p = 20 \cdot \text{LOG} \left(\frac{P}{P_0} \right)$$

$P_0 = 2 \cdot 10^{-5}$ Pascals (pression minimale perceptible par l'oreille humaine).

P = pression acoustique sur le microphone.

L_p s'exprime en dB.

Exemples



5. Indice énergétique, niveau de bruit équivalent : L_{eq}

En considérant un bruit variable perçu pendant une durée T , le L_{eq} représente le niveau de bruit constant qui aurait été produit avec la même énergie que le bruit réellement perçu pendant cette durée.

$$L_{eq} = 10 \cdot \text{LOG} \left[\sum_{i=1}^n \frac{T_i}{T_0} 10^{0,1 \cdot L_{eq,i}} \right]$$

L_{eq} : Niveau de bruit équivalent en dB global.

$L_{eq,i}$: Niveau de bruit équivalent en dB phase élémentaire.

T_i/T_0 : proportion en temps de la phase élémentaire.

n : Nombre de phases élémentaire

Le **L_{eq}** s'exprime en dB affecté de la pondération souhaitée.

6. Bandes d'octaves et niveau global

La sensation de l'oreille en fréquence n'est pas linéaire. Plus elle est élevée, plus il faut une grande variation de cette fréquence pour que l'impression de variation reste constante. Des valeurs de fréquences sont normalisées pour exprimer cette sensation :

31,5 62,5 125 250 500 1000 2000 4000 8000 Hz

Nous parlerons ici d'octave comme les musiciens.

Le niveau global correspond à la somme d'énergie de toutes les bandes d'octave.

Le niveau global est noté L .

7. Bruit ambiant

Bruit total existant dans une situation donnée pendant un intervalle de temps donné. Il est composé de l'ensemble des bruits émis par toutes les sources proches ou éloignées.

8. Bruit particulier

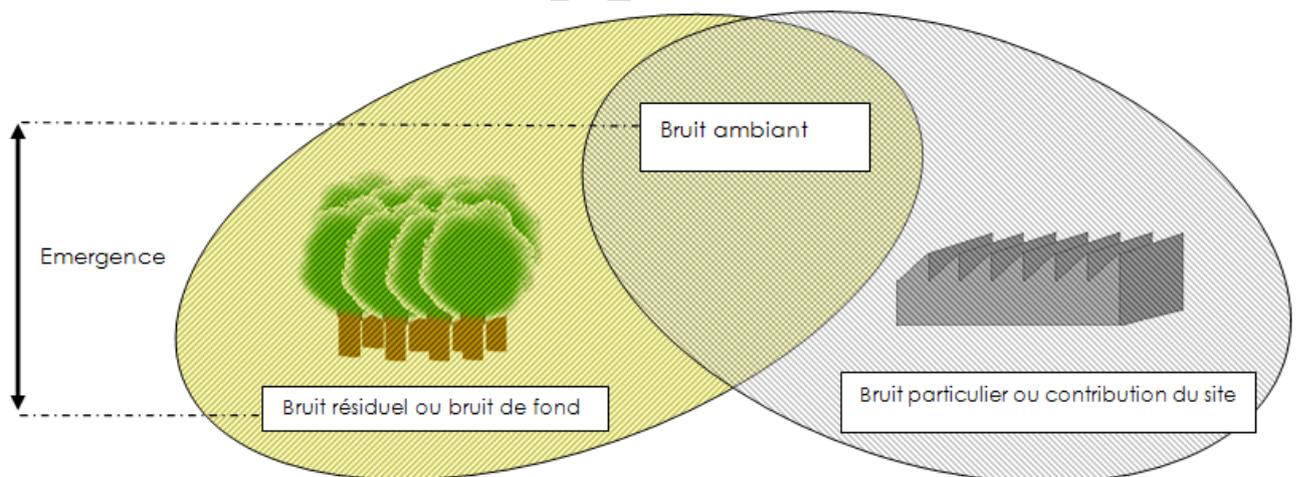
Composante du bruit ambiant qui peut être identifiée spécifiquement et que l'on désire distinguer du bruit ambiant notamment parce qu'il est l'objet d'une requête.

9. Bruit résiduel ou bruit de fond

Bruit ambiant, en l'absence des bruits particuliers, objets de la requête considérée.

10. Emergence

Modification temporelle du niveau du bruit ambiant induite par l'apparition ou la disparition d'un bruit particulier.



11. Zone à émergence réglementée (ZER)

Zones constructibles définies par des documents d'urbanismes opposables au tiers et publiés à la date de l'arrêté d'autorisation ;

Intérieur des immeubles habités ou occupés par des tiers et leurs parties extérieures éventuelles les plus proches (cour, jardin, terrasse) existant à la date de l'arrêté d'autorisation ou implantés après la date de l'arrêté d'autorisation dans les zones constructibles définies ci-dessus.

12. Tonalité marquée

La tonalité marquée est détectée dans un spectre non pondéré de tiers d'octave quand la différence de niveau entre la bande de tiers d'octave et les quatre bandes de tiers d'octaves les plus proches (les deux bandes immédiatement inférieures et les deux bandes immédiatement supérieures) atteint ou dépasse les niveaux indiqués dans le tableau ci après :

50 à 315 Hz	400 à 1250 Hz	1600 à 8000 Hz
10 dB	5 dB	5 dB

13. Analyse statistique

Lorsque le bruit n'est pas stable, il peut être caractérisé par :

- **L1** niveau dépassé pendant 1 % du temps (bruit maximal).
- **L10** niveau dépassé pendant 10 % du temps (bruit crête).
- **L50** niveau dépassé pendant 50 % du temps (bruit moyen).
- **L90** niveau dépassé pendant 90 % du temps.
- **L99** niveau dépassé pendant 99 % du temps (bruit minimum).

14. Réglementation – milieu industriel, acoustique externe

Champs d'application de chaque législation :

	non ICPE	ICPE soumis à déclaration	ICPE soumis à autorisation
décret 31/08/06			
Arrêté du 20/08/1985			
Arrêté du 23/01/1997			

15. Arrêté du 23 janvier 1997 relatif aux installations classées pour la protection de l'environnement :

Trois exigences

1. Emergence diurne et nocturne

Les valeurs d'émergences à respecter suivant la réglementation du 23 janvier 97 sont les suivantes :

Niveau de bruit ambiant existant dans les zones à émergences réglementées (incluant le bruit de l'établissement)	Emergence admissible pour la période diurne allant de 7h à 22h, sauf dimanches et jours fériés	Emergence admissible pour la période nocturne allant de 22h à 7h, sauf dimanches et jours fériés
Supérieur à 35 dB(A) et inférieur ou égal à 45 dB(A)	6 dB(A)	4 dB(A)
Supérieur à 45 dB(A)	5 dB(A)	3 dB(A)

2. Niveau en limite de propriété diurne et nocturne

L'arrêté préfectoral d'autorisation fixe pour chacune des périodes de la journée (diurne et nocturne), les niveaux de bruit à ne pas dépasser en limite de propriété de l'établissement de manière à assurer le respect des valeurs d'émergences admissibles. Les valeurs fixées par l'arrêté d'autorisation ne peuvent excéder 70 dB(A) pour la période de jour et 60 dB(A) pour la période de nuit sauf si le bruit résiduel pour la période considéré est supérieur à cette limite.

3. Tonalité marquée

Vérifier la présence d'une tonalité marquée (cf. tableau plus haut).

16. Décret n° 2006-1099 du 1 septembre 2006 relatif à la lutte contre les bruits de voisinage (hors bruits provenant des infrastructures de transport)

Deux exigences

1. *Emergence globale diurne et nocturne (– terme correctif suivant durée d'apparition) du bruit perçu à l'intérieur ou à l'extérieur (cours, jardin, balcon).*
2. *Emergence spectrale du bruit perçu à l'intérieur des pièces principales de tout logement d'habitation, fenêtres ouvertes ou fermées*

Textes réglementaires :

Les bruits des **activités artisanales, commerciales et industrielles non classées** sont considérés par la réglementation comme des **bruits de voisinage** (catégorie qui comprend également les bruits de comportement, ou bruits domestiques, traités dans la section **Bruits de voisinage**). Par un décret en date du 31 août 2006 (évolution du décret n° 95-408 du 18 avril 1995), des dispositions réglementaires relatives à la lutte contre les bruits des activités ont été introduites dans le Code de la santé publique.

Champ d'application de la réglementation relative aux bruits de voisinage

Aux termes de l'article R1336-4 du Code de la santé publique, sont exclus du champ de cette réglementation tous les bruits provenant des infrastructures de transport et des véhicules qui y circulent, des aéronefs, des activités et installations particulières de la défense nationale, des installations nucléaires de base, des installations classées pour la protection de l'environnement ainsi que des ouvrages des réseaux publics et privés de transport et de distribution de l'énergie soumis à la réglementation prévue à l'article 19 de la loi du 15 juin 1906 sur les distribution d'énergie.

Dépassement de l'émergence globale

L'article R1336-6 du CSP précise que, lorsque le bruit a pour origine une activité professionnelle, l'atteinte à la tranquillité du voisinage ou à la santé de l'homme est caractérisée si l'**émergence globale** de ce bruit perçu par autrui est supérieure aux valeurs limites fixées par l'article R1336-7. Lequel définit l'émergence comme 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 admises de l'émergence sont calculées à partir des valeurs de **5 décibels A dits dB(A)** en période diurne (de 7h00 à 22h00) et de **3 dB(A)** en période nocturne (de 22h00 à 7h00).

A ces valeurs s'ajoute un terme correctif, fonction de la durée cumulée d'apparition du bruit particulier, selon le tableau ci-après :

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

Par exemple, pour une durée cumulée supérieure à 8 heures, le terme correctif est 0, l'émergence reste fixée à 3 dB(A) la nuit ou à 5 dB(A) le jour. En revanche, pour une nuisance sonore ayant, entre 22h00 et 7h00, une durée cumulée de 20 à 45 minutes, la correction est de 3, et l'émergence admissible est de 6 dB(A) (3+3). Plus la durée du bruit se prolonge, moins le terme correctif est important. Il apparaît normal d'être clément lorsque le bruit apparaît sur un laps de temps court, alors qu'un bruit se prolongeant de façon excessive ne doit pas être excusable.

Bruit des équipements professionnels : dépassement de l'émergence spectrale :

A partir du 1er juillet 2007, lorsque le bruit perçu à l'intérieur des pièces principales de tout logement d'habitation, fenêtres ouvertes ou fermées, sera engendré par des équipements d'activités professionnelles, l'atteinte sera également caractérisée quand l'émergence spectrale de ce bruit sera supérieure aux valeurs limites fixées. L'article R1336-8 définit l'émergence spectrale comme 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, en l'absence du bruit particulier en cause. Les valeurs limites de l'émergence spectrale sont de 7 dB dans les bandes d'octave normalisées centrées sur 125 Hz et 250 Hz et de 5 dB dans les bandes d'octave normalisées centrées sur 500 Hz, 1000 Hz, 2000 Hz et 4000 Hz.

Seuil minimal de bruit ambiant

Il est précisé à l'article R1336-6 que l'émergence globale et, le cas échéant, l'émergence spectrale ne sont toutefois recherchées que lorsque le niveau de bruit ambiant mesuré, comportant le bruit particulier, est supérieur à 25 dB(A) si la mesure est effectuée à l'intérieur des pièces principales d'un logement d'habitation, fenêtres ouvertes ou fermées, ou à 30 dB(A) dans les autres cas.

De plus, en application de l'article L.2 du Code de la santé publique, ce seuil peut être abaissé par des arrêtés préfectoraux ou municipaux, si une situation correspondant à un niveau inférieur est ressentie comme gênante (dans ce cas les contraventions sont d'une catégorie inférieure).

Modalités de mesure de bruit

Conformément à l'article R1336-9 du Code de la santé publique, les mesures de bruit sont effectuées selon les modalités définies par un arrêté des ministres chargés de la santé, de l'écologie et du logement. C'est l'[arrêté du 5 décembre 2006](#) relatif aux modalités de mesurage des bruits de voisinage qui fixe ces conditions de mesure.

La mesure des émergences s'effectue avec un sonomètre de classe 2 au minimum, approuvé et vérifié. Cette vérification périodique (au maximum tous les deux ans) est sanctionnée par l'apposition d'une vignette verte non détachable.

C'est la norme NF-S 31-010 relative à la caractérisation et au mesurage des bruits de l'environnement, complétée par les dispositions de l'arrêté du 5 décembre 2006, qui s'applique pour les mesurages de l'émergence globale et de l'émergence spectrale. Cette norme donne une méthodologie et fournit notamment des critères météorologiques (absence de vent violent ou de pluie) et des principes fondamentaux.

La mesure peut se faire aussi bien à l'intérieur qu'à l'extérieur de l'habitation et à l'endroit jugé gênant par le plaignant. Lorsque la nuisance est un bruit aérien extérieur, le point de mesure est situé dans les limites de la propriété du plaignant, en un endroit régulièrement occupé par la personne gênée. Lorsque la source gênante est située dans l'immeuble du plaignant, le point de mesure est situé à l'intérieur de l'habitation, dans la pièce la plus exposée. La période de mesure doit être représentative de la situation dénoncée et doit être effectuée dans des conditions réelles. La mesure doit durer 30 minutes au minimum.

L'arrêté précise en outre que, dans le cas du bruit des activités, lorsqu'il est impossible de faire cesser la source de bruit, « le mesurage peut être établi à un endroit proche et représentatif du niveau de bruit résiduel au point de mesurage initialement prévu ou en profitant de l'arrêt de la source de bruit un autre jour représentatif de la situation acoustique considérée ».

17. Synthèse de la réglementation – milieu industriel, acoustique externe

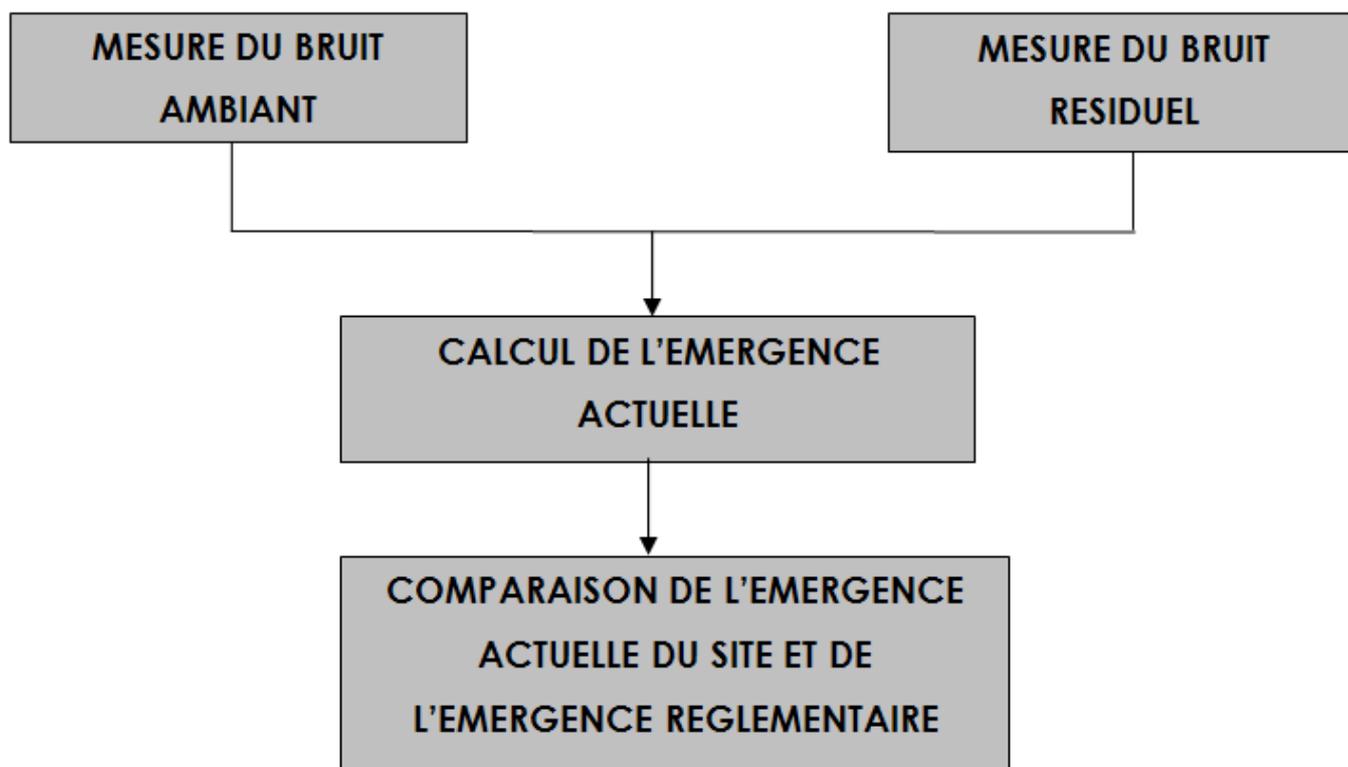
	non ICPE	ICPE soumis à déclaration	ICPE soumis à autorisation	ZER					Limite de propriété	
				Jour	Nuit	Durée d'apparition	tonalité marquée	émergence spectrale	Jour	Nuit
décret 31/08/06	X	X	X	5 si BA > 25 dB(A) pièce principale	3 si BA > 25 dB(A) pièce principale	majoration de l'émergence		oui en bande d'octave de 125 à 4000Hz	néant	néant
Arrêté du 20/08/1985	X	X	X	3	3				45dB(A) + ct+cZ	
Arrêté du 23/01/1997	X	X	X	5 si BA > 45dB(A) ou 6 si BA <= 45dB(A) ou pas d'émergence si BA <= 35dB	3 si BA > 45dB(A) ou 4 si BA <= 45dB(A) ou pas d'émergence si BA <= 35dB		oui en 1/3 d'octave		Préfecture <= 70dB(A)	Préfecture <= 60dB(A)

2. Méthodologie

18. Méthode de calcul d'émergence, de bruit ambiant réglementaire et de contribution réglementaire

Calcul de l'émergence actuelle du site :

Emergence actuelle du site = Bruit ambiant mesuré – Bruit résiduel mesuré (en somme algébrique)



19. Calcul du bruit ambiant réglementaire :

Bruit ambiant réglementaire = Bruit résiduel mesuré + Emergence réglementée (en somme algébrique)

Exemple : Si le bruit résiduel mesuré en période nocturne est de 48 dBA et l'émergence réglementaire est de 3 dBA, le bruit ambiant réglementaire nocturne est donc de :

$$\text{Bruit ambiant réglementaire} = 48 + 3 = 51 \text{ dBA}$$

20. Calcul de la contribution (bruit particulier) réglementaire :

Contribution réglementaire = Bruit ambiant réglementaire – Bruit résiduel mesuré (en somme logarithmique)

Exemple : Le bruit ambiant réglementaire calculé est de 51 dBA et le niveau de bruit de fond mesuré est de 48 dBA, la contribution réglementaire est alors de :

$$\text{Contribution réglementaire} = 10 * \log_{10} \left(10^{\frac{51}{10}} - 10^{\frac{48}{10}} \right) = 48 \text{ dBA}$$

21. Etude d'impact par modélisation

Descriptif du logiciel de modélisation environnementale : CadnaA

L'objectif principal est de connaître la contribution sonore globale des équipements étudiés sur les points récepteurs (limite de propriété, zone à émergence réglementée (ZER)).

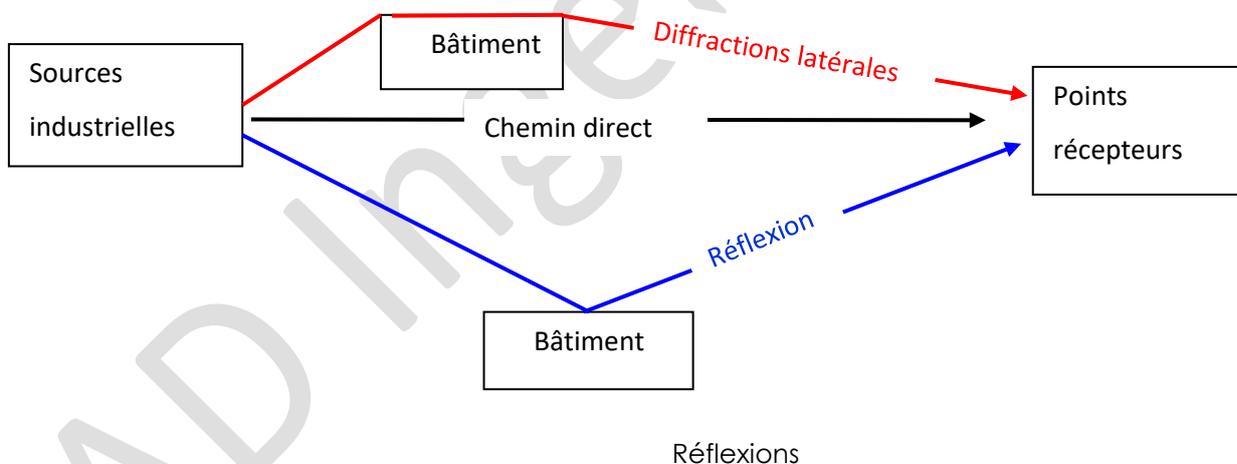
Ce logiciel permet de connaître les contributions dans leur environnement de chacune des sources sonores étudiées et leur impact à un point donné.

Il permet ainsi d'identifier et de hiérarchiser l'impact de chaque source afin de permettre de donner les valeurs d'atténuation nécessaire et suffisantes pour rendre un site conforme, s'il ne l'est pas, ou en prévision de son implantation.

Mode de fonctionnement du logiciel :

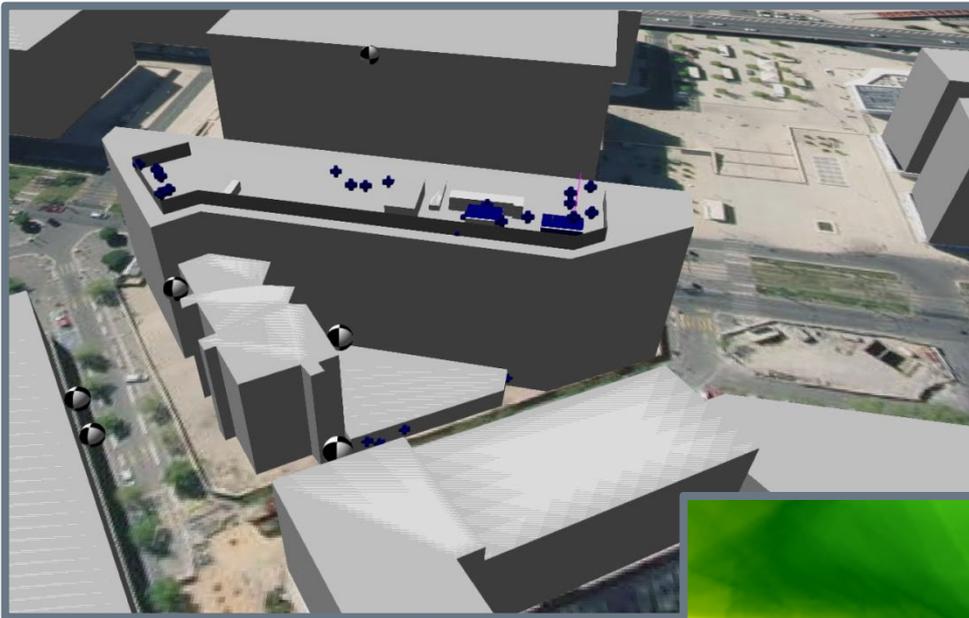
Logiciel classé selon la norme NF S 31-132.

Calculs effectués selon la méthode ISO 9613-2.

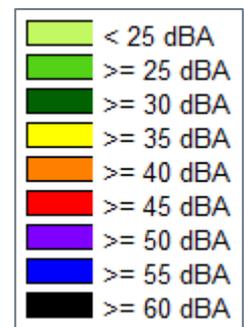
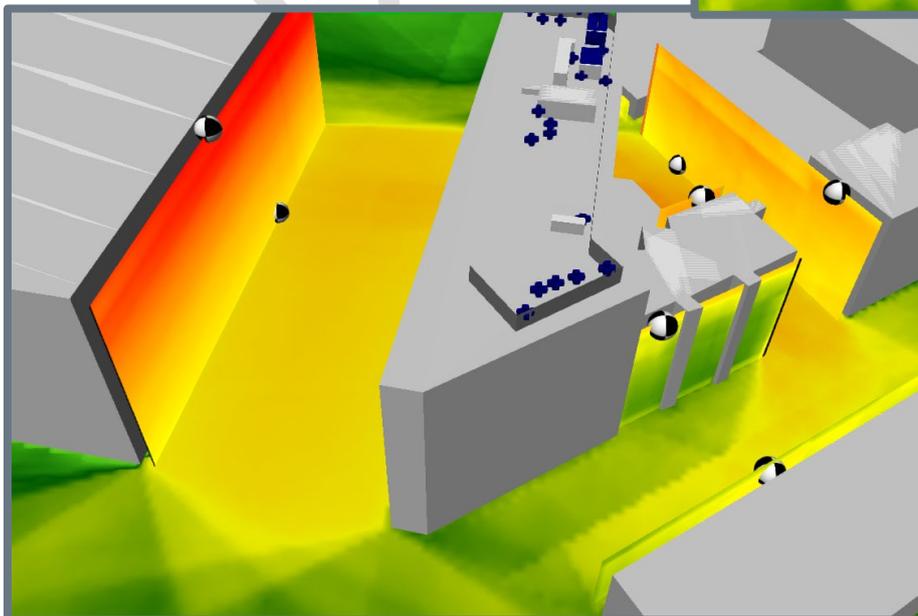
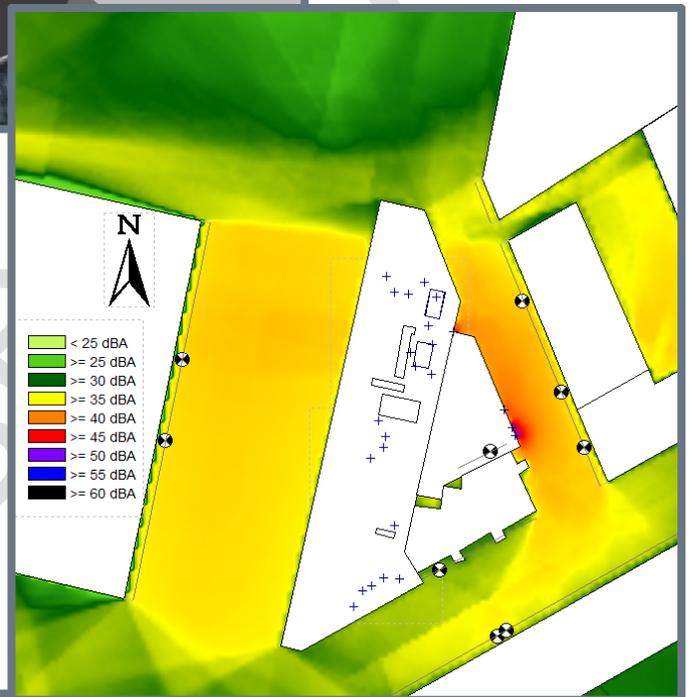


- Modélisation du sol (A partir des courbes de niveaux, des points cotés, des zones d'aplat...).
- Modélisation des bâtiments.
- Paramètres d'absorption (sol, air, matériaux).
- Saisie des sources de bruit et implantation des points récepteurs.
- Calculs.
- Choix de l'ordre de réflexion.
- Prise en compte des diffractions latérales.
- Résolution (Octaves).

Exemple de simulation :



2D / 3D



3. NOS COMPÉTENCES

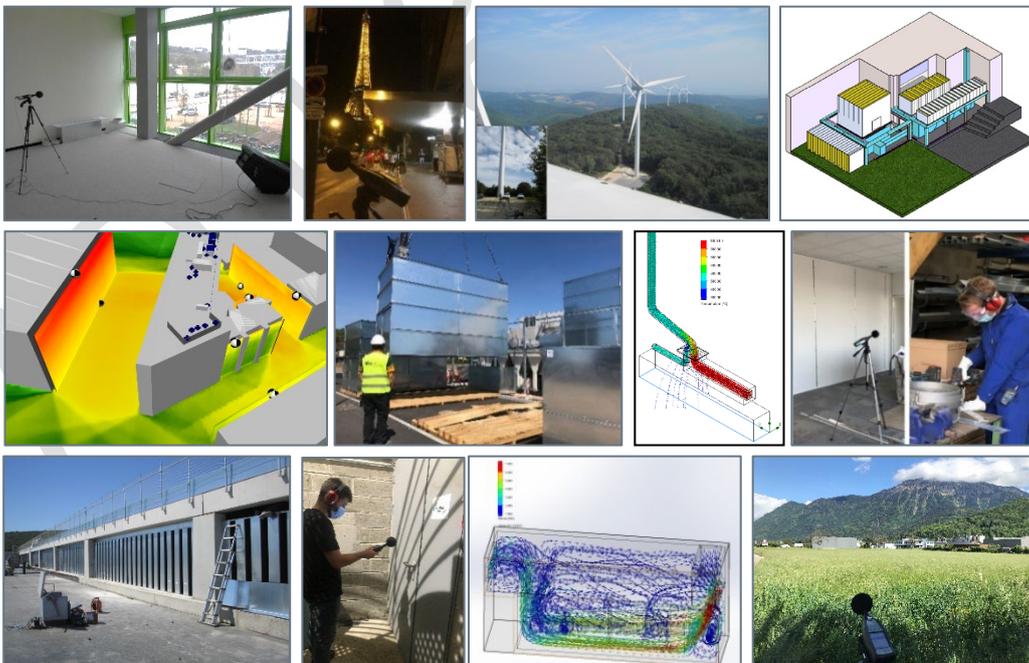
Notre PME créée en 1994 est implantée en Rhône Alpes (siège social), PACA, Ile de France, Alsace, Aquitaine, ce qui nous permet d'intervenir aussi bien en national qu'à l'international.

Nos certifications **MASE et ISO 9001**, nous permettent de répondre aux besoins des clients des secteurs tels que l'énergie, la manufacture, le bâtiment, l'agro-alimentaire, la pétrochimie ou encore l'automobile, l'institutionnel etc...

Le Service Mesures-Études dispense des prestations en :

- **Acoustique :**
 - **Mesures** de contrôles environnementales, d'évaluation de puissance de sources, de cartographies, de dosimétries, d'isollements, de réverbérations...
 - **Études prédictives ou curatives** de réduction du bruit sur l'environnement, dans les ateliers, dans les locaux ...
- **Aéraulique :**
 - **Mesures** de débits, pressions, vitesses, températures, pertes de charge,
 - **Modélisation** de flux d'air, dispersion, dépollution, cartographies de températures, études HVAC, transfert de chaleur, process.

Le Service Ingénierie-Travaux conçoit, fournit et pose des traitements acoustiques et aérauliques (clés en main) adaptés à la problématique de chacun de nos clients. Il supervise nos équipes internes et externes de pose.



Nos 25 ans d'expérience, nous permettent de proposer des prestations et travaux maîtrisant les coûts dans le respect de nos valeurs communes : **Réactivité, Qualité, Délai, Sécurité.**



ingénierie

acoustique & aéraulique
mesures • études • réalisations

Lyon (siège social)

2 avenue de la Zac de Chassagne
69360 Ternay

adi@adingenierie.fr

04 72 67 12 12

Paris Nord

4 avenue de l'Atlantique
Zone Artisanale de Courtaboeuf
91940 Les Ulis

paris@adingenierie.fr

06 03 76 32 38

Sud

Centre d'affaire Agathé
6 avenue du Grand Large BP40081
34300 Agde

agde@adingenierie.fr

06 22 93 22 99

Est

18 rue de Thann
68200 Mulhouse

mulhouse@adingeniere.fr

06 17 76 29 44

Ouest

23 avenue du Mirail 33370
Artigues-près-Bordeaux

bordeaux@adingenierie.fr

06 25 15 22 52

Océan Indien

249 avenue Général de Gaulle
97410 St Pierre - La Réunion

r.lene@adingenierie.fr

06 92 63 88 92

www.adingenierie.fr

04 72 67 12 12

SAS au capital de 150150€ RCS Lyon 399 336 502 - APE : 7112B - TVA : FR 57 399 336 502

ISO 9001
BUREAU VERITAS
Certification



MASE
AMÉLIORER LA PERFORMANCE SSE



ANNEXE 2 : PROPAGATION
ACOUSTIQUE EN MILIEU
EXTERIEUR PARU DANS
ACOUSTIQUE ET TECHNIQUES

Propagation acoustique en milieu extérieur. Comment estimer un niveau acoustique à grande distance ?

Michel Bérengier,

Laboratoire central des Ponts et chaussées, centre de Nantes,
BP 19, 44340 Bouguenais

Vadim Zouboff, Etienne Séchet,

Laboratoire régional des ponts et chaussées d'Angers,
avenue de l'amiral Chauvin, BP 69, 49136 Les Ponts de Cé Cedex

Le but de cet article est de faire le point sur les différentes approches des phénomènes propagatifs, d'en cerner leurs limites respectives et de tenter d'expliquer pourquoi en un même point, avec une source identique, suivant la période, il est possible d'obtenir des écarts de niveaux de bruit supérieurs à 10 voire 20 dB(A).

Ce travail fait actuellement l'objet d'un des thèmes de recherche prioritaire du Laboratoire central des Ponts et chaussées associé à plusieurs Laboratoires régionaux.

P

révoir des niveaux acoustiques en espace extérieur n'est pas chose facile. La prévision est encore plus délicate lorsque des perturbations atmosphériques viennent se juxtaposer aux autres perturbations plus classiques liées notamment à la topographie des sites ainsi qu'aux différentes natures de sol. Pour les riverains de sites bruyants, il est cependant essentiel de faire des prévisions les plus fiables possibles. Pour cela, la connaissance approfondie de l'ensemble des phénomènes physiques pouvant influencer la prévision est indispensable. Depuis de longues années, d'importants travaux ont été conduits dans le réseau des laboratoires des Ponts et chaussées, comme par d'autres équipes françaises et étrangères sur l'impact des différents paramètres influençant la propagation du bruit en espace ouvert. C'est ainsi qu'ont été abordés les effets de sol, les effets d'écran et plus récemment les effets atmosphériques, plus précisément les effets micro-météorologiques. Les deux premiers effets peuvent être modélisés de façon déterministe, à partir d'approches analytiques ou numériques. Le dernier peut l'être également à partir d'une approche déterministe, mais celle-ci ne permettra de fournir un résultat qu'à un instant t qui peut être relativement bref. Si l'on veut tenir compte, d'une part, de la constante évolution de l'atmosphère, et d'autre part de l'imprécision relative de l'estimation spatiale de ces caractéristiques (vent et température), il devient obligatoire d'approcher les phénomènes propagatifs sous leur aspect probabiliste.

Comment acquérir et interpréter les informations météorologiques [3]?

S'il était possible de connaître l'évolution temporelle de la variation verticale de la vitesse du son en tout point de l'espace, le problème d'intégration des phénomènes atmosphériques dans les modèles de prévision des niveaux sonores serait résolu. En fait, l'ensemble des travaux réalisés jusqu'à ce jour a permis de s'en approcher. Dans la réalité, nous sommes confrontés à deux types de problèmes :

- d'une part, l'inhomogénéité des conditions micro-météorologiques entre la source et le récepteur due à la topographie, aux obstacles naturels ou artificiels, à la nature et à la densité de la végétation,...
- d'autre part, l'évolution temporelle à long terme de ces conditions météorologiques.

Pour des périodes considérées comme météorologiquement homogènes (de l'ordre d'une heure), il est possible, suivant la nature du terrain et du type de résultat recherché (prévision ou constat de mesure), d'appréhender les facteurs météorologiques suivant un degré de complexité variable. Si l'on souhaite avoir une interprétation correcte d'un niveau sonore à grande distance, cette information doit être impérativement adjointe à toute mesure acoustique.

- Au voisinage d'un terrain plan et homogène, l'atmosphère est stratifiée en couches horizontales. Dans ce cas, la prévision par la modélisation, d'un niveau acoustique, en un point donné, nécessite la connaissance de la valeur la plus exacte possible du gradient vertical de vitesse du son. Cette information doit être obtenue par la mesure locale issue d'un ensemble de capteurs de température, de vitesse et de direction de vent répartis verticalement sur un mât. Ces facteurs peuvent être, soit directement échantillonnés par des mesures à diverses hauteurs, par exemple, cinq niveaux répartis sur 25 mètres, soit interpolés à partir de mesures sur deux niveaux seulement et un modèle de calcul micro-météorologique.

Dans le cas d'un constat par la mesure, la simple caractérisation de l'état de l'atmosphère est suffisante mais néanmoins nécessaire. Elle pourra se faire par exemple, à partir d'une grille qualitative fournissant une codification par classes des conditions météorologiques qui produisent un effet acoustique donné. En effet, différentes combinaisons des conditions aérodynamiques et thermiques peuvent produire des effets acoustiques identiques.

Le tableau 1 présente cette grille à double entrée (Ti : conditions thermiques, Ui : conditions aérodynamiques) dont les conditions d'entrée Ui et Ti répondent aux critères suivants :

- U1 : Vent fort (>3 m/s à 2 m de hauteur) contraire à la propagation,
- U2 : Vent moyen à faible (1 à 3 m/s à 2 m de hauteur) contraire OU fort peu contraire,
- U3 : Vent nul OU quelconque de travers,
- U4 : Vent moyen à faible portant OU fort peu portant (env. 45°),
- U5 : Vent fort portant.

- T1 : Jour ET fort rayonnement ET surface sèche ET peu de vent,
- T2 : Jour ET [rayonnement faible OU surface humide OU vent fort],
- (si toutes les conditions reliées par des OU sont remplies, on retombe dans la classe suivante),
- T3 : Durée horaire contenant le lever du soleil OU coucher du soleil OU [temps couvert ET venteux ET surface humide],
- T4 : Nuit ET [nuageux OU vent],
- T5 : Nuit ET ciel dégagé ET vent faible.

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

Tableau 1

Chaque classe $U_i T_j$ permet de fournir un ordre de grandeur des effets météorologiques sur la propagation acoustique. On distingue cinq types de propagation dont les effets sont différents :

- Etat météorologique conduisant à une atténuation très forte du niveau sonore,
- Etat météorologique conduisant à une atténuation forte du niveau sonore,
- Z Effets météorologiques nuls,
- + Etat météorologique conduisant à un renforcement faible du niveau sonore,
- ++ Etat météorologique conduisant à un renforcement moyen du niveau sonore.

Les cases grises représentent des impossibilités physiques.

- Si le terrain présente une topographie perturbée, le phénomène de stratification l'est également. Ce qui produit une variation spatiale des gradients de vitesse du son très importante. Il s'en suit qu'une information ponctuelle recueillie sur un mât unique ne sera pas représentative de l'ensemble des phénomènes le long du chemin de propagation. Ceci conduit à une forte imprécision, aussi bien dans l'approche prévisionnelle que dans le constat. La valeur d'un gradient de vitesse du son représentatif est imprécise, et son utilisation dans des modèles propagatifs produira des résultats qui pourront être très discutables. Concernant la grille représentée au tableau 1, ces facteurs

d'entrée ne produiront pas les mêmes valeurs de gradient de vitesse du son sur un terrain perturbé que sur un terrain plan, les interprétations acoustiques seront donc à prendre avec précautions.

L'ensemble de ces considérations concernent des estimations "à court terme". Pour évaluer le niveau acoustique à plus long terme, la simple moyenne des effets météorologiques conduit à des aberrations acoustiques. Dans l'état actuel des connaissances, on a tendance à privilégier les situations plutôt favorables à la propagation (faible vent portant et/ou inversion de température modérée).

Approche déterministe

Par cette approche, il est possible de calculer à partir de modèles analytiques ou numériques le niveau de pression acoustique en un point donné de l'espace, pour des conditions de sol et des conditions atmosphériques données. On utilise soit des approches basées sur les techniques de rayons, soit des approches basées sur la résolution de l'équation d'Helmholtz par approximation parabolique ou autre [4, 5].

Quelle que soit la technique utilisée, le calcul de la pression acoustique au point de réception, intégrant les diverses conditions de propagation (gradient vertical de vitesse du son positif, négatif ou neutre), est valide pour une condition atmosphérique donnée à un instant précis. Dans ce cas bien particulier, la précision des modèles de calcul prévisionnel est bonne. La figure 1 est un bon exemple pour une condition de gradient négatif, à 16m de distance. On peut retrouver de très bons résultats à plus grande distance (300m par exemple), mais dans le cas d'un sol plan, parfaitement homogène, et **en valeur moyenne uniquement**. Malheureusement, dans le cas général, la propagation est soumise à d'importantes fluctuations atmosphériques aléatoires. L'hypothèse d'uniformité sur l'axe source-récepteur n'est plus acceptable. C'est pourquoi, l'approche décrite ci-après propose de considérer toute variation acoustique à grande distance comme une variable aléatoire.

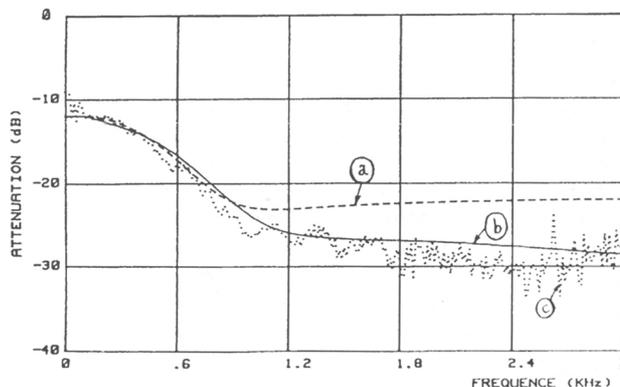


Fig. 1 : Atténuation entre 4 et 16m ($h_s=0,05m, h_r=0,5m$)
 a) Calcul pour un gradient vertical de vitesse du son nul
 b) Calcul pour un gradient de vitesse du son négatif
 c) Expérimentation correspondant à une gradient de vitesse du son négatif

Approche probabiliste [6]

D'un point de vue opérationnel, même si l'on se situe sur une période très courte (un instant), on s'aperçoit que la caractérisation de l'état atmosphérique que l'on peut fournir est insuffisante pour prévoir précisément l'effet météorologique sur la propagation du son. La connaissance que l'on peut avoir de l'état de l'atmosphère est schématiquement de deux ordres :

- Dans le cadre expérimental, l'information est issue de capteurs physiques, placés à différentes hauteurs d'un mât. Elle est de ce fait **précise**. Par contre, on peut s'interroger sur la représentativité spatiale de telles mesures précises. En effet, il n'est pas rare que deux mâts météorologiques placés en deux points différents de l'axe de propagation sonore, accusent des différences non négligeables dans les mesures. Ceci est dû à l'instabilité permanente de l'atmosphère dont il a été question plus haut. Cette faible représentativité peut se traduire par une **incertitude**, quant à l'adéquation d'une valeur précise et locale, à caractériser l'**ensemble** de la propagation. C'est pourquoi il est fréquent d'observer des différences notables d'un point de vue acoustique entre des échantillons pourtant météorologiquement quasi-identiques (en fait : identiques en un point de l'espace de propagation).
- Dans le cadre opérationnel, l'information météorologique est issue de l'appréciation "au jugé" que l'opérateur peut avoir de l'état de l'atmosphère. Aussi est-elle traduite au travers de modalités linguistiques. Elle est donc fortement marquée d'imprécision. Par contre, de par le mode d'appréciation, elle présente un caractère de **globalité** et peut donc être considérée comme représentative de l'ensemble de la propagation.

vitée spatiale et rendre cette connaissance expérimentale compatible avec le cadre opérationnel qui n'opère qu'à travers des modalités linguistiques imprécises, mais qui leur confère un caractère de globalité. Ceci est réalisé par un algorithme d'apprentissage automatique de règles floues, basé sur la mesure d'entropie floue [8].

En généralisant la logique classique, la logique floue permet d'exprimer des liens de cause à effet d'un ensemble de caractéristiques vagues (l'appréciation "au jugé" des conditions météorologiques) vers un autre (les effets sur la propagation sonore). Ainsi, lorsque l'imprécision d'une proposition ne satisfait qu'imparfaitement la prémisse d'une règle, elle aussi imprécise, l'inférence floue par *Modus Ponens Généralisé* [7] permet d'en déduire une proposition imparfaitement identique à la conclusion de la règle. L'opérateur est invité à traduire son appréciation de l'atmosphère au moment de la mesure acoustique, au travers des modalités linguistiques de son choix. Par exemple : "le vent est peu porteur", "assez faible", "l'ensoleillement est plutôt fort", "le ciel dégagé" etc... Après confrontation de l'observation avec la base de connaissances imprécises, le système fournit une conclusion, elle aussi imprécise. Un exemple est donné

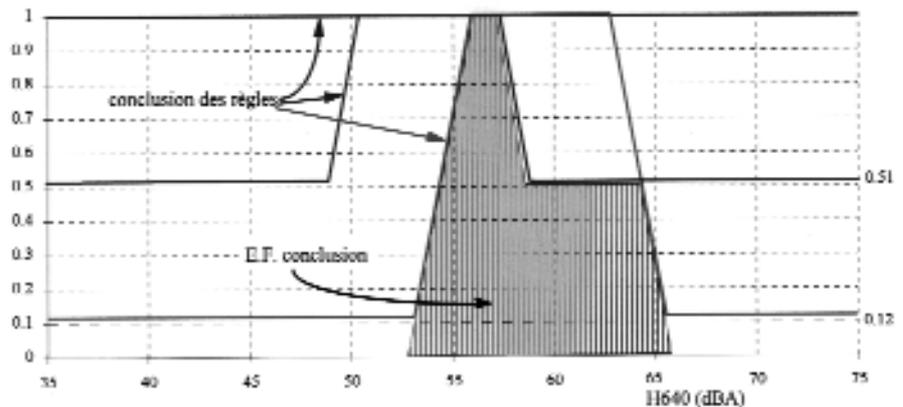


Fig. 2: Exemple d'une conclusion acoustique imprécise. La partie hachurée représente la conclusion floue. Elle pourrait s'interpréter de la façon suivante : "une source sonore de 100 dB(A) produit à 640m un niveau, ne pouvant pas être inférieur à 53 dB(A), ni supérieur à 66 dB(A), qu'il est tout à fait possible (au niveau 1) de mesurer entre 55,5 et 57 dB(A) et néanmoins possible (au niveau 0,51) de mesurer entre 58,5 et 64,5 dB(A), l'incertitude globale de cette conclusion étant de 0,12 (donc très faible)".

Modélisation et utilisation d'une connaissance imprécise

Les ensembles flous permettent d'exprimer qu'un élément appartient plus ou moins à une catégorie exprimée en termes vagues. Ces techniques sont donc généralement utilisées pour "formaliser des méthodes ou des raisonnements empiriques habituellement pris en charge par des humains"[7], et en l'occurrence, pour formaliser un phénomène physique en utilisant une information imparfaite.

Pour cette approche, on dispose d'une base de données expérimentales composée de mesures précises (au sens vu plus haut) réalisée sur un site homogène. Puisque l'état atmosphérique connaît des variations chaotiques spatiales, on cherche donc à extrapoler des valeurs numériques "trop" précises, pour gagner en représentati-

en figure 2.

Application à la caractérisation à long terme

Il est intéressant d'un point de vue acoustique de bénéficier de l'information contenue dans une collection de règles floues, pour estimer les effets sonores de variations météorologiques dans le temps. Cependant, une distribution de possibilité sur une variable météorologique ne traduit en aucun cas, les variations de la valeur qu'elle prend successivement, dans un certain laps de temps [7]. Dans notre application, elle décrit l'espace dans lequel se trouve la valeur représentative de la période. En fait, on choisit de décrire par l'imprécision, l'incertitude que l'on a quant à la localisation précise de cette valeur. C'est donc au travers d'une statistique probabiliste que l'on décrit les variations temporelles des conditions météorologiques du site ou de la région du site, par exemple par l'intermédiaire des fichiers des stations locales de *Météo-France*. La conclusion "à long terme" ▶

est obtenue par l'agrégation d'inférences successives pondérées. Elle est présentée sous la forme d'une fonction de répartition, dont un exemple est donné en figure 3.

Ce type de résultat, prenant en compte, d'une part, **l'inhomogénéité de l'atmosphère** et la difficulté à la caractériser précisément, et d'autre part, les **variations temporelles** de ses caractéristiques, exprime clairement la nécessité de **considérer toute variable acoustique à grande distance d'une source, comme une variable aléatoire**. On prendra donc soin de fournir des indices statistiques issus d'une fonction de répartition par exemple, plutôt que des valeurs acoustiques uniques.

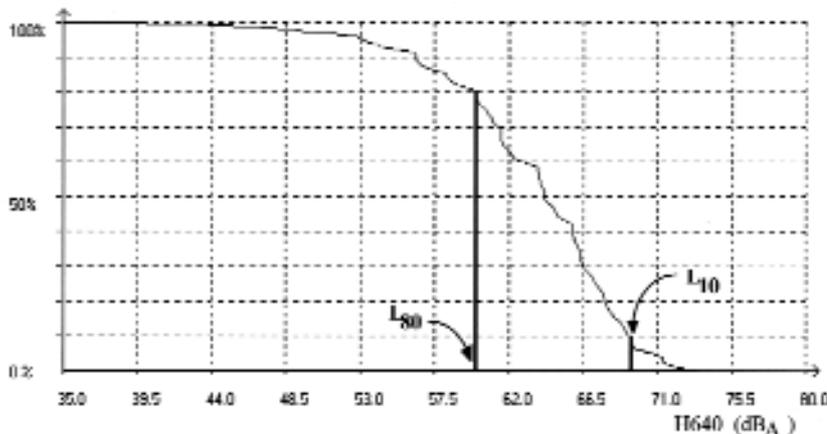


Fig. 3 : Statistique à long terme d'un niveau sonore à 640 m d'une source à 100 dB(A)

Quelques exemples réels

A titre d'exemple, pour le cas d'une source ponctuelle, différentes campagnes de mesure ont été conduites. La principale l'a été sur le site de la Crau dans le delta du Rhône. Le tableau 2 représente une partie des résultats statistiques obtenus sur un ensemble d'échantillons de durée 10 mn, pour un récepteur placé à 1,50 m du sol. Ce tableau ainsi que la figure 4 mettent en évidence

Distance (m)	Valeur moyenne (dB(A))	Ecart type (dB(A))	Valeur minimum (dB(A))	Valeur maximum (dB(A))	Etendue (dB(A))
80	89,4	1,3	86,2	92,1	5,9
160	79,8	4,4	67,2	85,8	18,6
320	68,4	8,4	52,8	79,6	26,8
640	59,7	11,2	36,2	74,0	37,8

Tableau 2

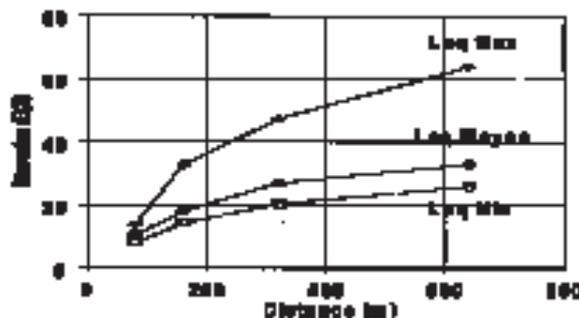


Fig. 4: Valeurs moyennes, minimales et maximales des LAeq (10 minutes) toutes conditions météorologiques confondues.

	Distances (m)	U1	U2	U3	U4	U5
T1	120		-3	-0,4	-0,3	
	240		-7,4	-1,9	-1,1	
T2	120	-3,1	-2,2	-0,1	0	+0,4
	240	-7,0	-5,8	-0,5	0	+1,0
T3	120		-1,2	0 ± 0,5	+0,2	+0,6
	240		-5,3	0 ± 0,5	+1,3	+2,2
T4	120		0	+0,4	+0,4	+0,2
	240		0	+2,3	+1,4	+2,1
T5	120			+0,4	+0,5	
	240			+2,3	+2,3	

Tableau 3 : Ecarts par rapport à un gradient vertical de vitesse du son nul

l'important domaine de variation du niveau sonore, toutes conditions météorologiques confondues.

Pour le cas d'un bruit routier représentatif d'une source linéaire, avec un sol plan et des récepteurs placés à 6 mètres de hauteur, la grille qualitative du tableau 3 représente les écarts par rapport à un gradient vertical de vitesse du son nul. Les résultats portés sur cette grille montrent, qu'en présence d'une source linéaire sur terrain plan, les tendances observées pour une source ponctuelle sont respectées (résultats du Laboratoire régional de Strasbourg).

Des études en cours sur un sol non plan, semblent faire apparaître une certaine distortion dans les résultats. Des analyses complémentaires seront, dans ce cas, nécessaires

pour quantifier l'importance des différents effets.

Influence conjuguée des effets météorologiques et des obstacles

Dans ce domaine, il n'y a à l'heure actuelle que peu de publications [9]. Il est souvent mentionné [4] que l'efficacité d'un obstacle anti-bruit est réduite ou même détruite lorsque nous sommes en présence d'une propagation par vent portant. Cette position s'appuie sur le fait que la

courbure des rayons est telle qu'une partie de l'énergie passe directement au dessus de la barrière. Même si cela est vrai, il suffit pour s'en convaincre d'effectuer un tracé de rayon, cela ne signifie pas pour autant que l'obstacle est totalement inefficace. En fait, il ne faut pas comparer directement la différence de pression acoustique avec ou sans effet météorologique, mais il faut comparer les pertes par insertion entre les deux situations. En effet, dans le cas d'une propagation par vent portant ou sous une inversion de température, le niveau derrière l'obstacle est peut-être supérieur à celui que l'on aurait pour un état atmosphérique neutre, mais le niveau sans obstacle serait également supérieur par

rapport à l'état neutre. Dans ce cas, si l'on s'attache à la perte par insertion, elle est toujours positive et donc, l'obstacle possède toujours une certaine efficacité. En revanche, lorsque l'on est en présence d'un gradient de vitesse de son négatif, nous sommes déjà en zone d'ombre au voisinage du sol à cause du phénomène de réfraction. Dans ce cas, l'apport supplémentaire d'un obstacle peut ne pas apporter un gain complémentaire significatif.

Conclusion

Les phénomènes régissant la propagation acoustique en milieu extérieur sont des phénomènes complexes. Au cours des dix dernières années, les chercheurs ont fait des progrès considérables dans la prise en compte et l'interprétation des incidences des effets atmosphériques sur la propagation des ondes acoustiques à grande distance. Ceux-ci sont d'une part, liés en partie à l'évolution des techniques de calcul, et d'autre part, et surtout, liés aux collaborations nouvelles entre les acousticiens, les micro-météorologues et les statisticiens. La progression parallèle des connaissances dans ces trois domaines permettront sans nul doute d'obtenir dans les années à venir, de nouvelles avancées qui pourront rapidement se répercuter sur les modèles de prévision des niveaux

sonores à grande distance et donc sur la connaissance de l'environnement sonore des populations.

Références bibliographiques

- [1] ISO 9613-1, Acoustique - Atténuation du son lors de sa propagation à l'air libre - Partie 1 : Calcul de l'absorption atmosphérique, (1993)
- [2] K. Attenborough, Review of Ground Effects on Outdoor Sound Propagation from Continuous Broadband Sources, Applied Acoustics, 24, pp 289-319 (1988)
- [3] V. Zouboff, Y. Brunet, M. Bérengier, E. Séchet, A Qualitative Approach of Atmospheric Effects on Long Range Sound Propagation, 6th International Symposium on Long Range Sound Propagation, Ottawa, Canada, (1994)
- [4] G.A. Daigle, Acoustics of Noise Control Outdoors, 15th International Congress on Acoustics, Trondheim, Norvège, (1995)
- [5] Y. Gabillet, G. Daigle, A. L'Esperance, Sound Propagation in a Wind Tunnel : Comparison of Experiments with FFP and Residue Solution, Applied Acoustics, 43, pp 321-331 (1994)
- [6] E. Séchet, Une application de la logique floue en acoustique : l'évaluation de l'influence des conditions météorologiques sur la propagation du son, Bulletin pour les Sous Ensembles Flous et leurs Applications, 62, I.R.I.T., Toulouse, pp 59-66 (1995)
- [7] B. Bouchon-Meunier, La Logique floue, Collection Que sais-je ?, PUF n°2702.
- [8] M. Ramdani, Description numérique symbolique en apprentissage, Compte-rendu des journées des applications des ensembles flous, Nîmes, pp 259-265 (1992)
- [9] Y. Gabillet, H. Schroeder, G. Daigle, A. L'Espérance, Application de la méthode de sommation de faisceaux gaussiens au calcul du champ sonore diffracté par un écran en atmosphère inhomogène, Journal de Physique IV,

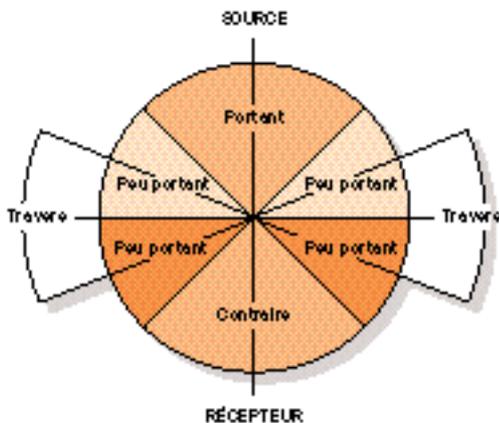


Fig. 5: Caractérisation du vent par rapport à la direction source-récepteur (caractérisation des secteurs d'où vient le vent)

Valeurs moyennes des directions de vent :

Vent portant : + ou - 45 degrés

Vent peu portant : entre 45 et 90 degrés et entre 270 et 315 degrés

Vent de travers : + ou - 22,5 degrés de part et d'autre de la direction normale à la direction émetteur/récepteur

Vent peu contraire : entre 90 et 130 degrés et entre 225 et 270 degrés

Vent contraire : entre 135 et 225 degrés

**ANNEXE 3 : EVALUATION
QUANTITATIVE DES RISQUES
SANITAIRES (EQRS), ARIA
TECHNOLOGIES, MARS 2024**



SUEZ Consulting



Projet de station-service à Saint-Pierre (974) - Evaluation quantitative des Risques Sanitaires

Références : Rapport n°24.019

Version : V2 – mars 2024

SUEZ Aria Technologies

Siège social - Parc de L'île - 15/27 Rue du Port – 92000 Nanterre Cedex – France - Courriel : info@aria.fr - <http://www.aria.fr>
S.A.S. au capital de 4 779 981 euros - SIRET 379 180 474 00064 – RCS Nanterre B 379 180 474 - Code APE 6201Z – TVA FR27 379 180 474

Référence du projet :

Titre	Projet de station-service à Saint-Pierre (974) - Evaluation quantitative des Risques Sanitaires
N° rapport	24.019
N° projet	L-001974
Sous-traitant	-

Intervenant :

Rédacteur(s)	Tamara FOURCOUAL - Ingénieure d'études Qualité de l'air
Relecteur	Anne-Sophie SAFFRE - Responsable de pôle Diagnostics Industriels
Référent	Anne-Sophie SAFFRE - Responsable de pôle Diagnostics Industriels

Révisions du document

Version	Date	Modifications
1	07/03/2024	Version initiale
2	21/03/2024	Modifications mineures

SOMMAIRE

1	CADRE DE L'ETUDE.....	6
2	INVENTAIRE DES EMISSIONS	7
2.1	Rejets dans l'eau.....	7
2.2	Rejets dans l'air	7
2.2.1	Composés inventoriés	9
2.2.2	Quantification des rejets atmosphériques	9
3	EVALUATION DES ENJEUX ET DES VOIES D'EXPOSITION	11
3.1	Populations	11
3.2	Etablissements Recevant du Public (ERP)	14
3.3	Usages autour du site.....	16
3.3.1	Usages agricoles	17
3.3.2	Réseau hydrographique.....	18
3.3.3	Recensement des points d'eau.....	19
3.3.4	Activités de loisirs	20
4	SCHEMA CONCEPTUEL D'EXPOSITION	21
5	CHOIX DES TRACEURS DE RISQUE.....	22
5.1	Substances d'intérêt	22
5.2	Identification des dangers	22
5.3	Etude des relations dose-réponse.....	24
5.3.1	Définitions.....	24
5.3.2	Critères de choix des Valeurs Toxicologiques de Référence	24
5.3.3	Choix des Valeurs Toxicologiques de Référence	26
5.4	Choix des traceurs de risque.....	28
6	EVALUATION QUANTITATIVE DES RISQUES SANITAIRES.....	29
6.1	Etude de la dispersion atmosphérique	29
6.1.1	Données d'entrée	29
6.1.2	Détermination des concentrations dans l'air	39
6.2	Evaluation de l'exposition humaine	47
6.2.1	Voies d'exposition	47
6.2.2	Exposition par inhalation.....	48
6.3	Caractérisation des risques.....	49
6.3.1	Méthodologie	49
6.3.2	Evaluation des risques sanitaires pour les substances à seuil.....	51
6.3.3	Evaluation des risques sanitaires pour les substances sans seuil	52
6.4	Incertitudes	53
6.4.1	Incertitudes relatives à la modélisation atmosphérique.....	53
6.4.2	Incertitudes relatives à l'évaluation des risques sanitaires.....	55
7	CONCLUSION.....	57
	ANNEXES	59
	ANNEXE 1 : DESCRIPTION DU MODELE ARIA IMPACT.....	60
	ANNEXE 2 : RECENSEMENT DES POPULATIONS SENSIBLES	66
	ANNEXE 3 : CARTES DE CONCENTRATION EN MOYENNE ANNUELLE	71

TABLE DES ILLUSTRATIONS

TABLEAUX

Tableau 1 : activités générant des émissions atmosphériques.....	7
Tableau 2 : composés inventoriés.....	9
Tableau 3 : facteurs d'émission.....	9
Tableau 4 : caractéristiques des émissions.....	10
Tableau 5 : émissions des composés inventoriés.....	10
Tableau 6 : évolution de la population par commune (INSEE 2022 sur la base des données 2020).....	11
Tableau 7 : population par commune (INSEE 2022 sur la base des données 2020).....	11
Tableau 8 : recensement agricole 2020 (recensement le plus récent disponible).....	17
Tableau 9 : composés émis dans l'air par les cheminées du site.....	22
Tableau 10 : identification des dangers par substance dans l'air.....	23
Tableau 11 : classifications CIRC, US-EPA et Union Européenne pour les effets cancérigènes.....	23
Tableau 12 : disponibilité des Valeurs Toxicologiques de Référence (exposition chronique).....	26
Tableau 13 : valeurs toxicologiques de référence retenues pour les effets chroniques à seuil.....	27
Tableau 14 : valeurs toxicologiques de référence retenues pour les effets chroniques sans seuil.....	27
Tableau 15 : classement des traceurs de risque suivant le ratio flux/VTR.....	28
Tableau 16 : fréquence d'apparition de chaque classe de vitesse de vent.....	32
Tableau 17 : statistiques relatives à la température de l'air.....	35
Tableau 18 : statistiques relatives à la pluviométrie.....	36
Tableau 19 : flux en tonne/an pour les substances traceurs de risques retenues.....	38
Tableau 20 : paramètres de calcul des dépôts pour chacune des espèces étudiées.....	40
Tableau 21 : description des points d'intérêt.....	41
Tableau 22 : réglementation en vigueur en France pour la santé humaine.....	42
Tableau 23 : concentrations en moyenne annuelle au point le plus exposé et aux points cibles ($\mu\text{g}/\text{m}^3$).....	43
Tableau 24 : récapitulatif du scénario retenu.....	47
Tableau 25 : concentrations retenues pour les scénarios d'exposition retenus.....	48
Tableau 26 : concentrations moyennes inhalées (CI).....	48
Tableau 27 : quotients de danger pour les traceurs du risque à seuil par inhalation.....	51
Tableau 28 : excès de risque individuel pour les traceurs du risque sans seuil par inhalation.....	52

FIGURES

Figure 1 : position des sources d'émissions dans l'air.....	8
Figure 2 : densité de la population sur la zone d'étude par maille de 200 mètres par 200 mètres (source : INSEE 2016).....	12
Figure 3 : Localisation des zones habitées (source : BD TOPO).....	13
Figure 4 : localisation des habitations les plus proches.....	14
Figure 5 : localisation des populations vulnérables et des équipements sportifs les plus proches.....	15
Figure 6 : occupation du sol (données CORINE Land Cover).....	16
Figure 7 : occupation agricole du sol (données RPG 2022).....	17

Figure 8 : réseau hydrographique (BD TOPO® Hydrographie, IGN)	18
Figure 9 : localisation des captages AEP	19
Figure 10 : Cours d'eau dans la zone d'étude (source : FDAAPPMA)	20
Figure 11 : logigramme pour le choix des VTR (DGS)	25
Figure 12 : carte du domaine d'étude	29
Figure 13 : topographie du domaine d'étude (source : IGN BD Alti®)	30
Figure 14 : rose des vents générale par classes de vitesses – Station Pierrefonds	32
Figure 15 : répartition des observations en fonction de la stabilité atmosphérique	34
Figure 16 : roses des vents par classe de stabilité	34
Figure 17 : variation moyenne mensuelle de la température (période du 01/01/2021 au 31/12/2023)	35
Figure 18 : variation de la pluviométrie sur l'année (période du 01/01/2021 au 31/12/2023)	36
Figure 19 : rose des vents calculée à partir des échéances de pluie	37
Figure 20 : rose des vents calculée à partir des échéances sans pluie	37
Figure 21 : profil vertical de vent	40
Figure 22 : localisation des points d'intérêt	41
Figure 23 : localisation des points de concentration maximale en dehors du site	44
Figure 24 : carte de concentration en moyenne annuelle en diesel ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	45
Figure 25 : carte de concentration en moyenne annuelle en benzène ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	46

1 CADRE DE L'ETUDE

SUEZ Consulting a sollicité ARIA Technologies pour la réalisation d'une Evaluation des Risques Sanitaires (ERS) dans le cadre d'un projet de création de station-service située à Saint-Pierre à La Réunion (972) à proximité du Centre Hospitalier Universitaire.

Dans ce contexte, ARIA Technologies réalise l'évaluation des risques sanitaires en fonctionnement normal du site en application de la circulaire DGPR & DGS du 9 août 2013 et conformément au guide « Evaluation de l'état des milieux et des risques sanitaires – Démarche intégrée pour la gestion des émissions des substances chimiques par les installations classées » publié par l'INERIS en septembre 2021 (2^{ème} édition). La démarche intégrée se déroule en quatre étapes :

1. Evaluation des émissions des installations : recensement des sources d'émission et quantification des émissions ;
2. Evaluation des enjeux et des voies d'exposition : schéma conceptuel décrivant les relations entre les sources de polluants, les milieux et vecteurs de transfert, les usages et les populations exposées ;
3. Evaluation de l'état des milieux : état actuel des milieux potentiellement impactés et dégradation attribuable à l'installation ;
4. Evaluation prospective des risques sanitaires : estimation des risques attribuables aux émissions du site pour les populations autour de l'installation.

Le présent rapport a été établi sur la base des informations transmises à ARIA Technologies, des données (scientifiques ou techniques) disponibles et objectives de la réglementation, en vigueur au moment de la réalisation du dossier.

La responsabilité d'ARIA Technologies ne pourra être engagée si les informations qui lui ont été fournies sont incomplètes ou erronées.

2 INVENTAIRE DES EMISSIONS

2.1 REJETS DANS L'EAU

Aucun rejet aqueux ne se fera directement dans le milieu récepteur. Les rejets aqueux ne seront donc pas conservés dans la présente étude.

2.2 REJETS DANS L'AIR

Les émissions d'une station-service sont liées principalement à la livraison et à la distribution de carburant, et plus précisément aux :

- Perte par refoulement lors du transfert de carburant par le camion-citerne,
- Perte par goutte,
- Perte par évaporation.

En phase exploitation, les mesures suivantes seront mises en place :

- Récupération des vapeurs d'essence : les vapeurs émises lors du déchargement d'essence dans les cuves des stations-service seront aspirées par le camion-citerne, équipé pour permettre l'opération. Les vapeurs sont immédiatement récupérées et pourront être recyclées au terminal après condensation.
- Récupération des vapeurs d'essence au niveau du pistolet de remplissage : cette mesure vise à réduire les émissions de COV qu'occasionne le ravitaillement des réservoirs de véhicules. Un système est composé d'un pistolet de remplissage, d'un flexible, des accessoires, d'un dispositif anti-retour de flamme et d'un dispositif de régulation.

Le système « stage II » de récupération des vapeurs lors du transfert du camion-citerne vers les cuves de la station-service permet un taux de captage des vapeurs de 75%.

Les informations relatives aux sources et aux volumes estimées dans le cadre du projet ont été transmises par le client.

La poussière soulevée par le brassage d'air généré par l'hélicoptère du CHU lors de ces manœuvres sur une plateforme imperméabilisée située à environ 375 m du projet sera considérée comme négligeable dans la suite de l'étude. Seules les émissions de COVs seront conservées.

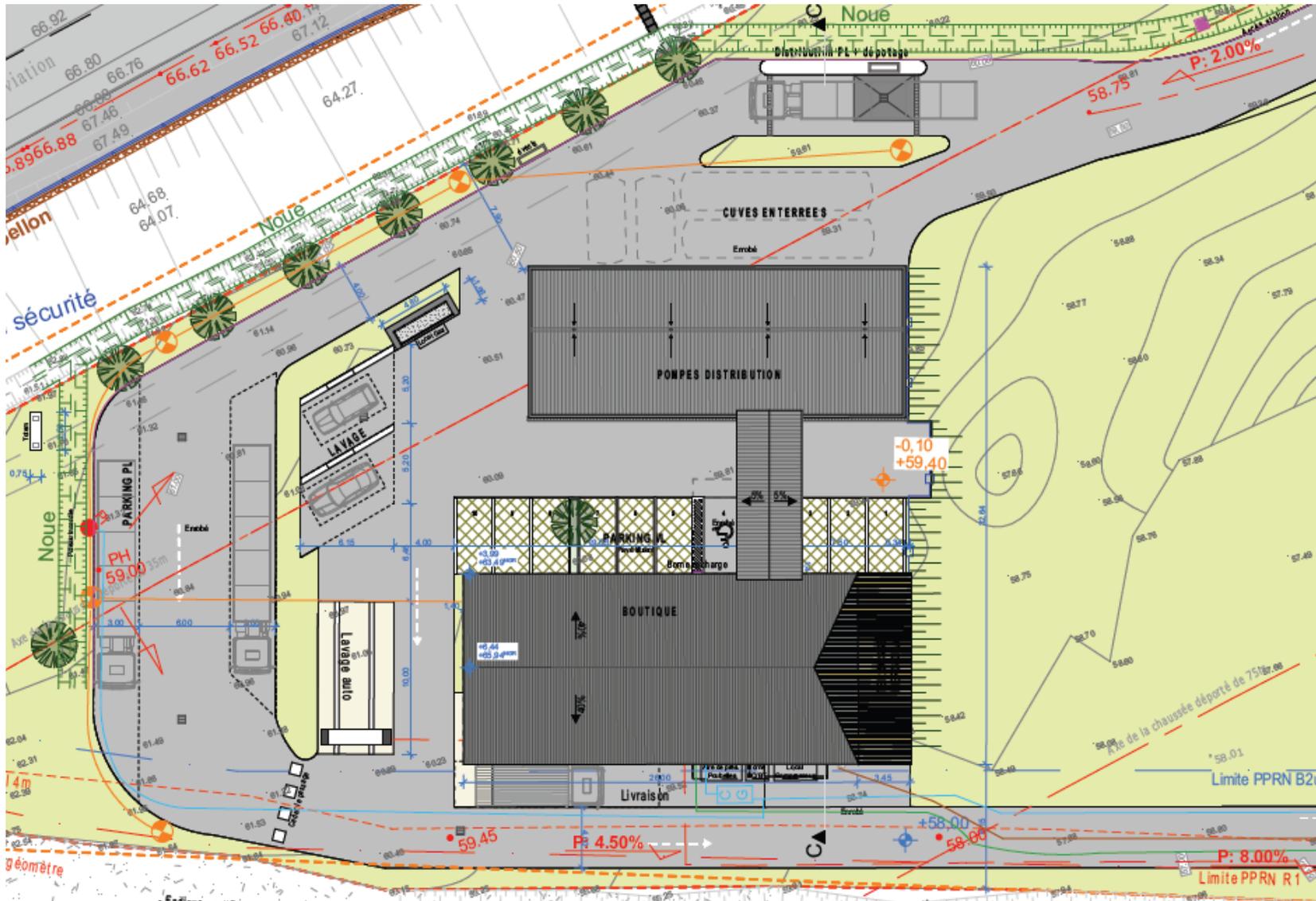
Le Tableau 1 résume les activités et les substances associées.

Tableau 1 : activités générant des émissions atmosphériques

Activités	Substances	Type
Zones de distribution de carburant, cuves enterrées, distribution par pompes	Composés Organiques Volatils (COV)	Emissions diffuses

La Figure 1 présente le projet de station-service ainsi que les sources qui ont été recensés.

Figure 1 : position des sources d'émissions dans l'air



2.2.1 Composés inventoriés

L'inventaire des composés liés aux activités de la station-service ont été estimées sur la base des données disponibles.

Il a été considéré que la station-service commercialisait essentiellement de l'essence sans plomb 95 (SP95) et du diesel.

L'inventaire des composés a été estimée à l'aide des fiches de données de sécurité du SP95¹ et du diesel².

Les composés ou familles de composés émis par la station-service en projet sont présentés dans le Tableau 2.

Tableau 2 : composés inventoriés

Nom	N°CAS	Formule
Composés organiques volatils	-	-
Diesel	68334-30-5	-
Toluène	108-88-3	C ₆ H ₅ CH ₃
Oxyde de ter-butyle et de méthyle	1634-04-4	CH ₃ OC(CH ₃) ₃
2-méthylpropan-1-ol / Isobutanol	78-83-1	C ₄ H ₁₀ O
Propan-2-ol	67-63-0	C ₃ H ₈ O
Alcool tert-butylrique	75-65-0	C ₄ H ₁₀ O
Méthanol	67-56-1	CH ₃ OH
Benzène	71-43-2	C ₆ H ₆

2.2.2 Quantification des rejets atmosphériques

Les émissions de carburant ont été estimées à l'aide des débits de vente de carburant fournis par le client.

Le calcul des émissions s'appuie sur les facteurs d'émissions issus d'un rapport de l'Institut Bruxellois pour la Gestion de l'Environnement³ sur les rejets atmosphériques des stations-service, listés dans le Tableau 3.

Tableau 3 : facteurs d'émission

	Facteurs d'émission (g COV/litre d'essence vendue)
Perte par refoulement (équipements Stage II)	0,235
Perte par goutte	0,09
Perte par évaporation	0,0415

¹ FICHE DE DONNÉES DE SÉCURITÉ – BP Essence sans plomb 95 – SCH2106, 26 novembre 2010

² FICHE DE DONNÉES DE SÉCURITÉ – Total Gazole – FDS n°30226 version 8.05, 20 août 2013

³ Emissions atmosphériques liées au secteur industriel spécifique des stations-service - Institut Bruxellois pour la Gestion de l'Environnement / Observatoire des Données de l'Environnement - Fiche 33, Février 2001

Ainsi, les émissions calculées sont présentées dans le Tableau 4 et sont obtenues en multipliant la quantité de carburant vendue avec le facteur d'émission associé.

Tableau 4 : caractéristiques des émissions

Type de carburant	Volume (m ³ /an)	Quantité vendue (litre/an)	Perte par refolement (g COV/an)	Perte par goutte (g COV/an)	Perte par évaporation (g COV/an)	Total (g COV/an)
Essence	5 000	5 000 000	1.2E+06	4.5E+05	2.1E+05	1.8E+06
Diesel	8 000	8 000 000	1.9E+06	7.2E+05	3.3E+05	2.9E+06
Total	13 000	13 000 000	3.1E+06	1.2E+06	5.4E+05	4.8E+06

Les pertes par refolement lors du transfert de carburant vers le camion-citerne représentent le poste le plus émissif, soit 64% des émissions liées aux pertes totales de COV.

Le Tableau 5 présente la répartition des émissions selon la composition des deux carburants (essence SP95 ou Diesel) dans le Tableau 2. En l'absence de précision sur la composition du gazole, il a été admis comme étant à 100% du diesel.

Tableau 5 : émissions des composés inventoriés

Type de carburant	Substances	Fraction (%)	Emissions (g COV/an)	Emissions (tonnes de COV/an)
SP95	Toluène	30	5.5E+05	5.5E-01
	Oxyde de tert-butyle et de méthyle	15	2.8E+05	2.8E-01
	2-méthylpropan-1-ol ; isobutanol	10	1.8E+05	1.8E-01
	Propan-2-ol	10	1.8E+05	1.8E-01
	Alcool tert-butylique	7	1.3E+05	1.3E-01
	Méthanol	3	5.5E+04	5.5E-02
	Benzène	1	1.8E+04	1.8E-02
	Autres	24	4.4E+05	4.4E-01
Gazole	Diesel	100	2.9E+06	2.9E+00

3 EVALUATION DES ENJEUX ET DES VOIES D'EXPOSITION

Le projet de station-service se situe sur la commune de Saint-Pierre à La Réunion (974) à proximité de la RN2 et du centre hospitalier dans le quartier Terre Rouge.

3.1 POPULATIONS

Une seule commune se trouve dans le domaine d'étude : Saint-Pierre.

Les données de population proviennent des données INSEE géolocalisées sur des carreaux de 200 mètres par 200 mètres (année 2016, la plus récente disponible au moment de la rédaction du document).

Le Tableau 6 présente l'évolution de la population par commune et le Tableau 7 présente les données de population par catégorie d'âge par commune. La Figure 2 présente la densité de population et la Figure 3 présente les zones habitées dans la zone d'étude.

Tableau 6 : évolution de la population par commune (INSEE 2022 sur la base des données 2020⁴)

Libellé géographique	Population en 1990	Population en 1999	Population en 2010	Population en 2017	Population en 2020
Saint-Pierre	58 846	68 915	79 228	84 212	83 930

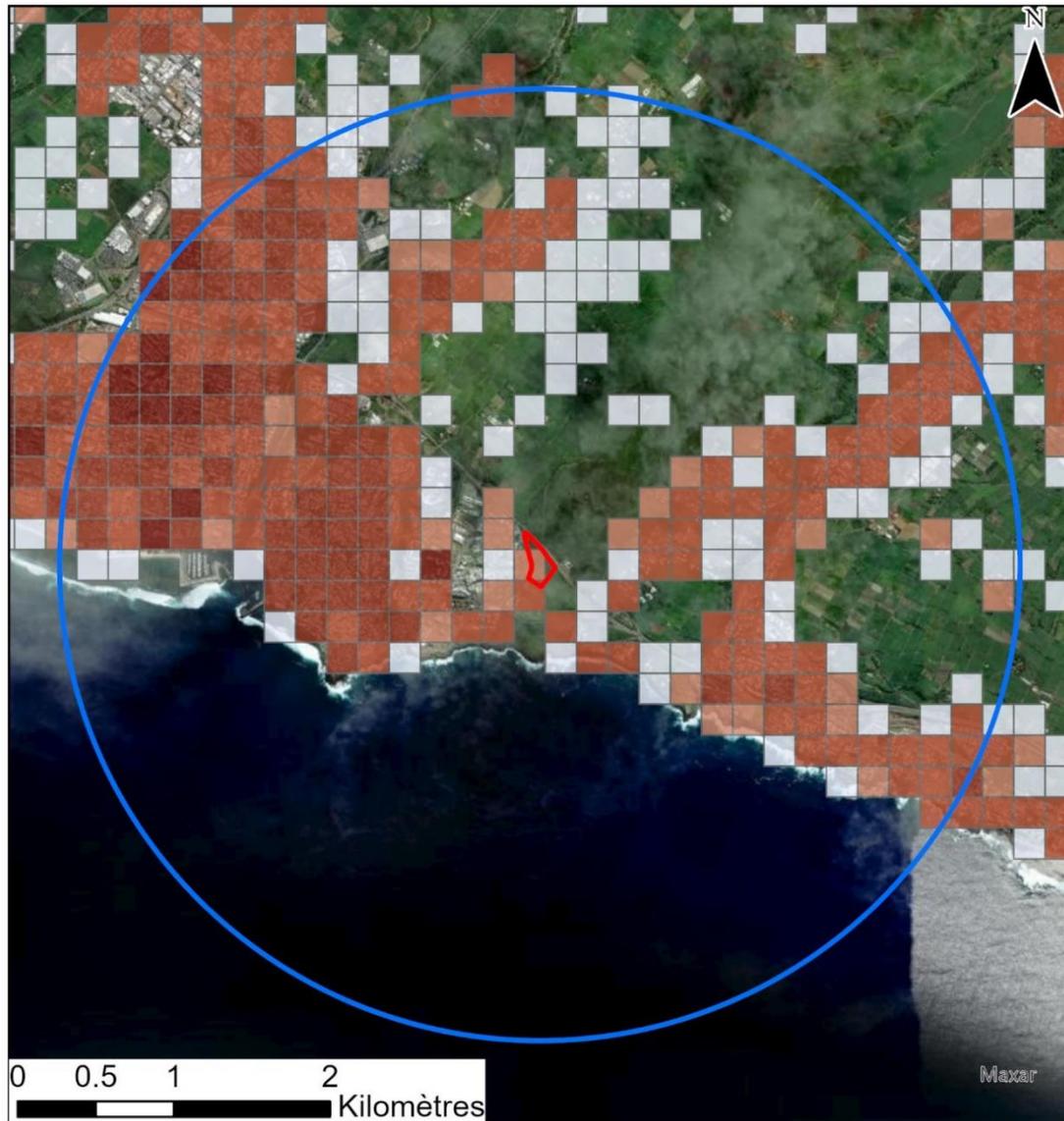
Tableau 7 : population par commune (INSEE 2022 sur la base des données 2020⁵)

Commune	Pop. 2020	Pop 0-14 ans	Pop 15-29 ans	Pop 30-44 ans	Pop 45-59 ans	Pop 60-74 ans	Pop 75-89 ans	Pop 90 ans ou plus
Saint-Pierre	83 930	18 043	16 746	16 429	17 708	10 955	3 738	313

⁴ <https://www.insee.fr/fr/statistiques/6011075>, Populations légales 2019 Recensement de la population Régions, départements, arrondissements, cantons et communes, paru le 12/01/2022

⁵ <https://www.insee.fr/fr/statistiques/6456153?sommaire=6456166>, Évolution et structure de la population en 2019, paru le 27/06/2022

Figure 2 : densité de la population sur la zone d'étude par maille de 200 mètres par 200 mètres
(source : INSEE 2016)



Légende

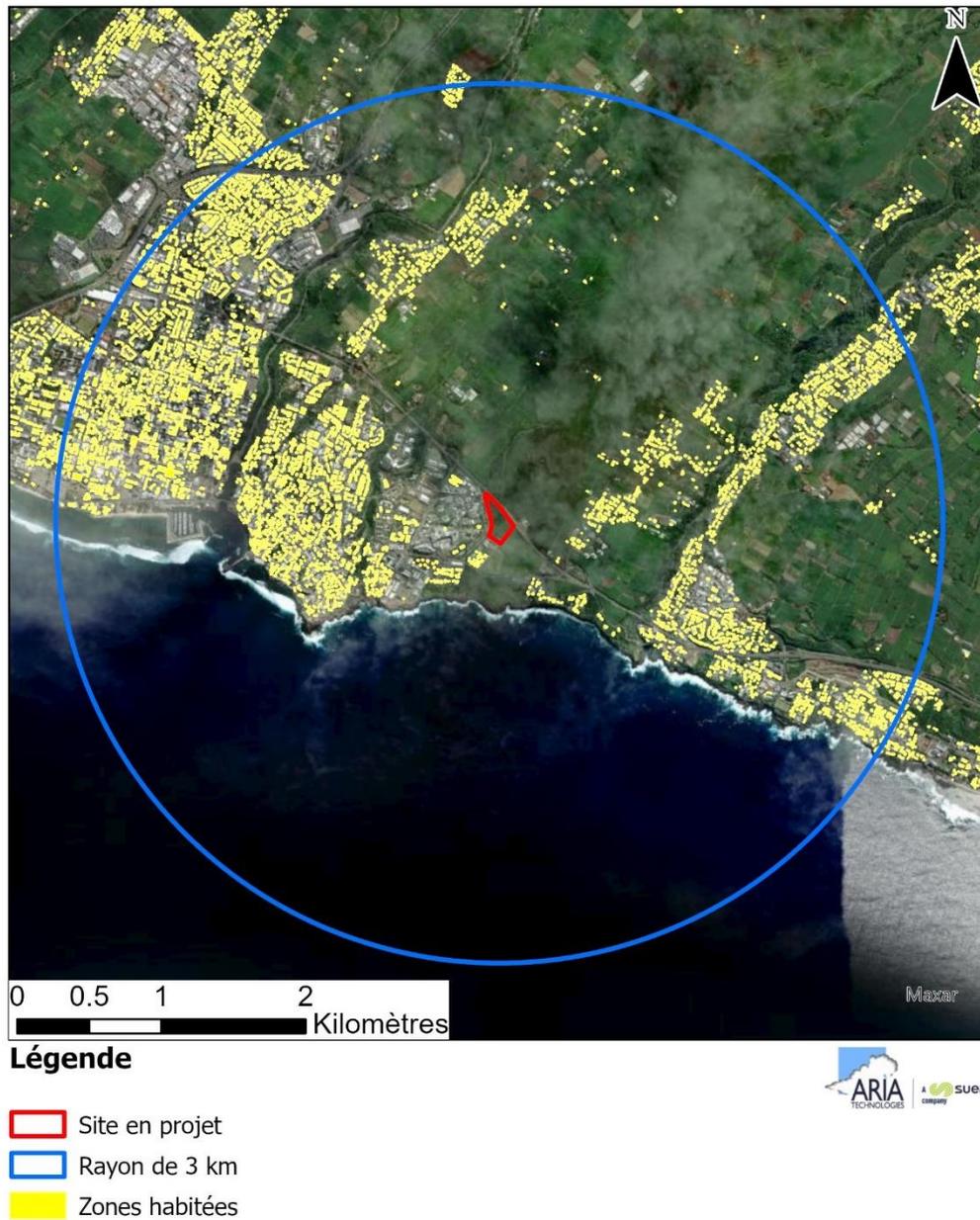
-  Site en projet
-  Rayon de 3 km

**Densité de population
(nombre d'habitants/km²)**

-  < 500
-  500 - 1 000
-  1 000 - 5 000
-  5 000 - 10 000
-  >10 000



Figure 3 : Localisation des zones habitées (source : BD TOPO)



Les habitations les plus proches se trouvent : à 90 m à l'ouest, à 120 m au sud, à environ 380 m à l'est des limites de propriétés du site, à environ 750 m au nord des limites du site (cf. Figure 4).

Figure 4 : localisation des habitations les plus proches



Légende

-  Premières habitations
-  Site en projet



3.2 ETABLISSEMENTS RECEVANT DU PUBLIC (ERP)

Les Etablissements Recevant du Public (ERP) représentent « tous bâtiments ou locaux dans lesquels des personnes sont admises, soit librement, soit moyennant une rétribution ou une participation quelconque, ou dans lesquels sont tenues des réunions ouvertes à tout venant ou sur invitation, payantes ou non. Sont considérées comme faisant partie du public toutes les personnes admises dans l'établissement à quelque titre que ce soit en plus du personnel ».

Certaines populations, plus particulièrement sensibles à la qualité de l'air, peuvent être recensées par l'intermédiaire des structures qu'elles fréquentent :

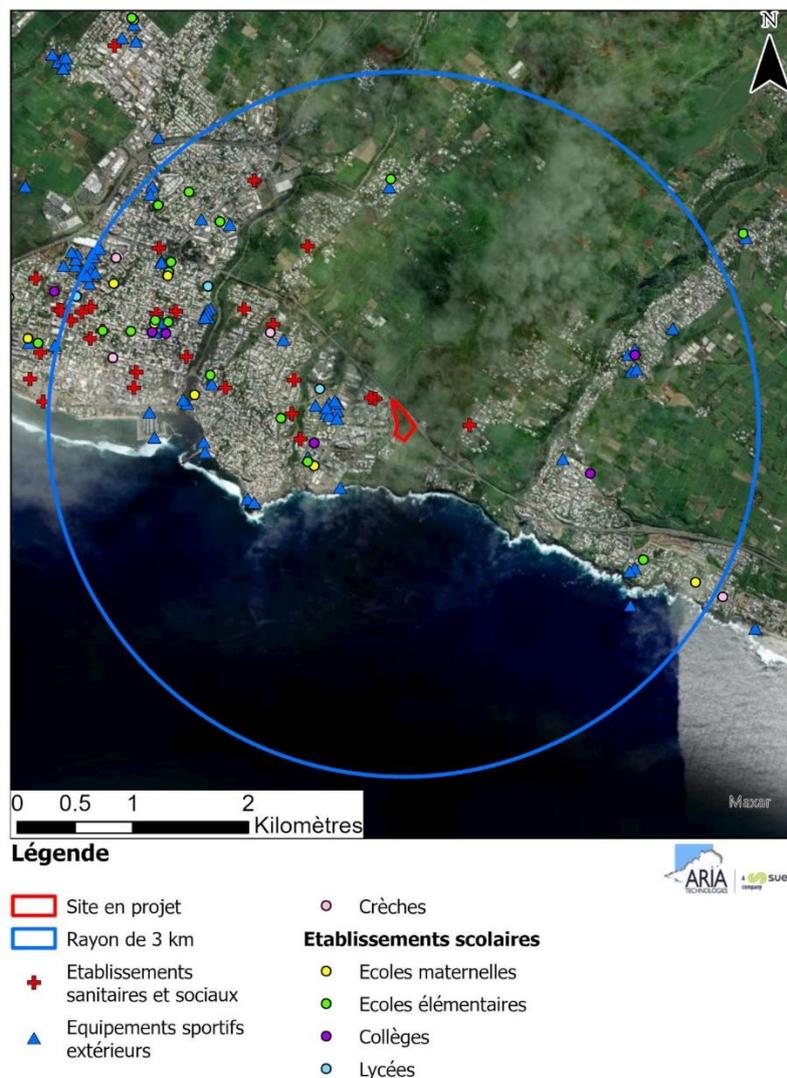
- enfants : crèches et écoles ;
- personnes âgées : maisons de retraite ;
- personnes malades : hôpitaux et cliniques ;
- sportifs : stades, centres sportifs, terrains de sport extérieurs.

Les sites sensibles présents à proximité du projet et susceptibles d'être impactés par celui-ci sont recensés, on dénombre :

- 3 crèches (Source : <https://lescreches.fr>) ;
- 36 établissements scolaires dont 18 écoles maternelles et primaires (source : annuaire de l'éducation nationale <http://www.education.gouv.fr/>) ;
- 26 centres sanitaires et sociaux (Source : FINESS6) ;
- 72 équipements sportifs (source : <http://www.res.sports.gouv.fr/>).

La Figure 10 localise ces établissements sensibles, ils sont recensés en Annexe 2.

Figure 5 : localisation des populations vulnérables et des équipements sportifs les plus proches

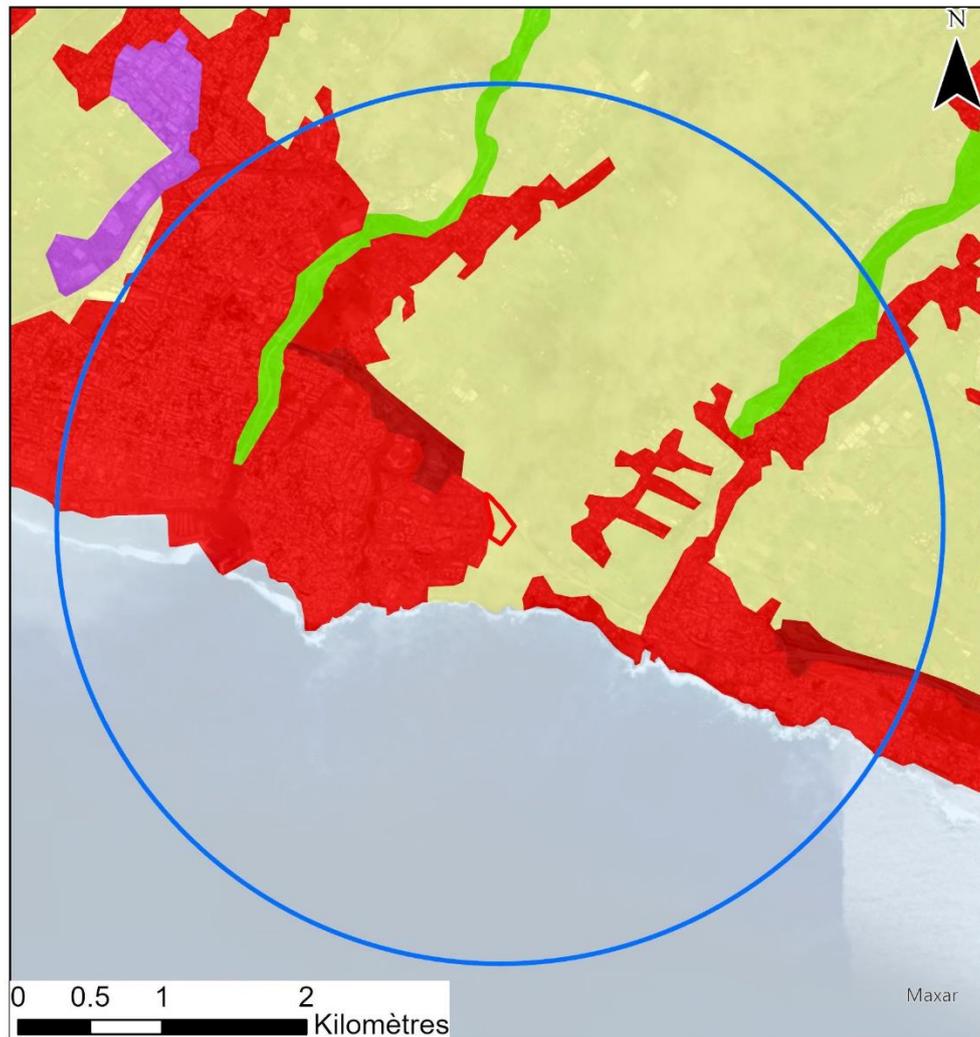


6 Fichier National des Etablissements Sanitaires et Sociaux

3.3 USAGES AUTOUR DU SITE

Le projet est situé à proximité de la mer, entouré de terres arables et de tissus urbains discontinus. Ces principales zones sont localisées sur la Figure 6 (données issues de la base CORINE Land Cover 2018⁷).

Figure 6 : occupation du sol (données CORINE Land Cover)



Légende

- Site en projet
- Rayon de 3 km

Occupation des sols

- | | |
|---|---|
| 112 : Tissu urbain discontinu | 211: Terres arables hors périmètres d'irrigation |
| 523 : Mers et océans | 122 : Réseaux routier et ferroviaire et espaces associés |
| 311 : Forêts de feuillus | 121 : Zones industrielles ou commerciales et installations publiques |



⁷ base de données géographique d'occupation des sols CORINE Land Cover, dite CLC, produite dans le cadre du programme européen de coordination de l'information sur l'environnement CORINE, <http://www.statistiques.developpement-durable.gouv.fr/>

3.3.1 Usages agricoles

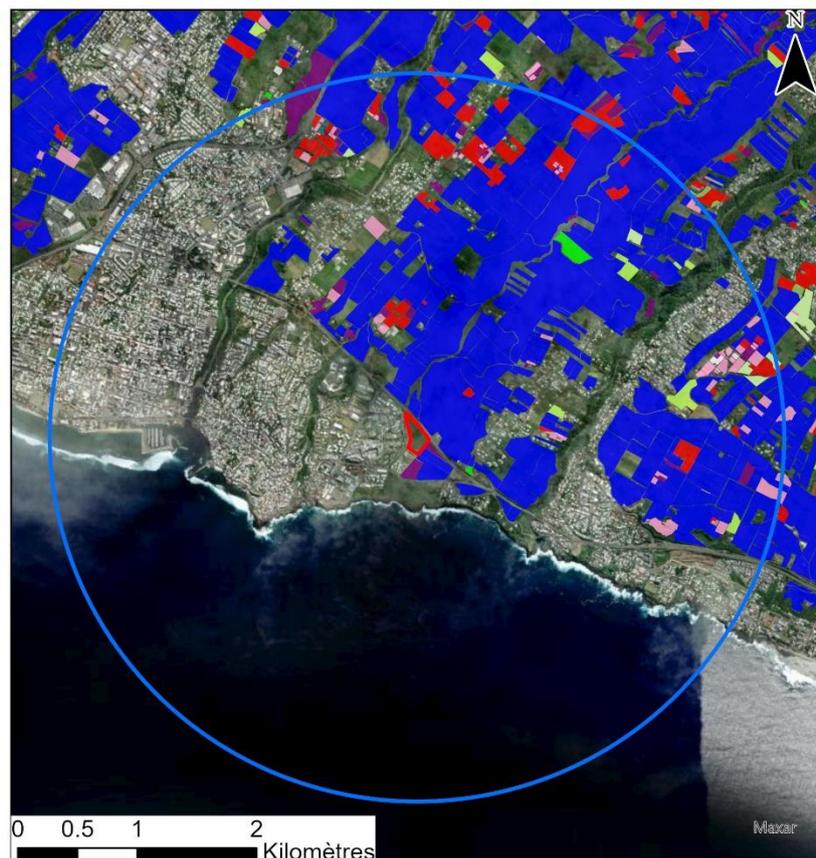
Le Tableau 8 présente les résultats du recensement général agricole 2020. Le recensement agricole offre un portrait instantané, complet et détaillé, du secteur de l'agriculture (population agricole, surfaces végétales, y compris viticoles, effectifs animaux, moyens de production, activités annexes, etc.).

Tableau 8 : recensement agricole 2020 (recensement le plus récent disponible)

Communes	Orientation technico-économique de la commune	Exploitations agricoles ayant leur siège dans la commune	Superficie agricole utilisée en hectare
Saint-Pierre	Polyculture et/ou polyélevage	672	3 379

La Figure 7 détaille le type d'utilisation des sols à usage agricole. Il s'agit principalement de cultures de cannes à sucre.

Figure 7 : occupation agricole du sol (données RPG 2022)



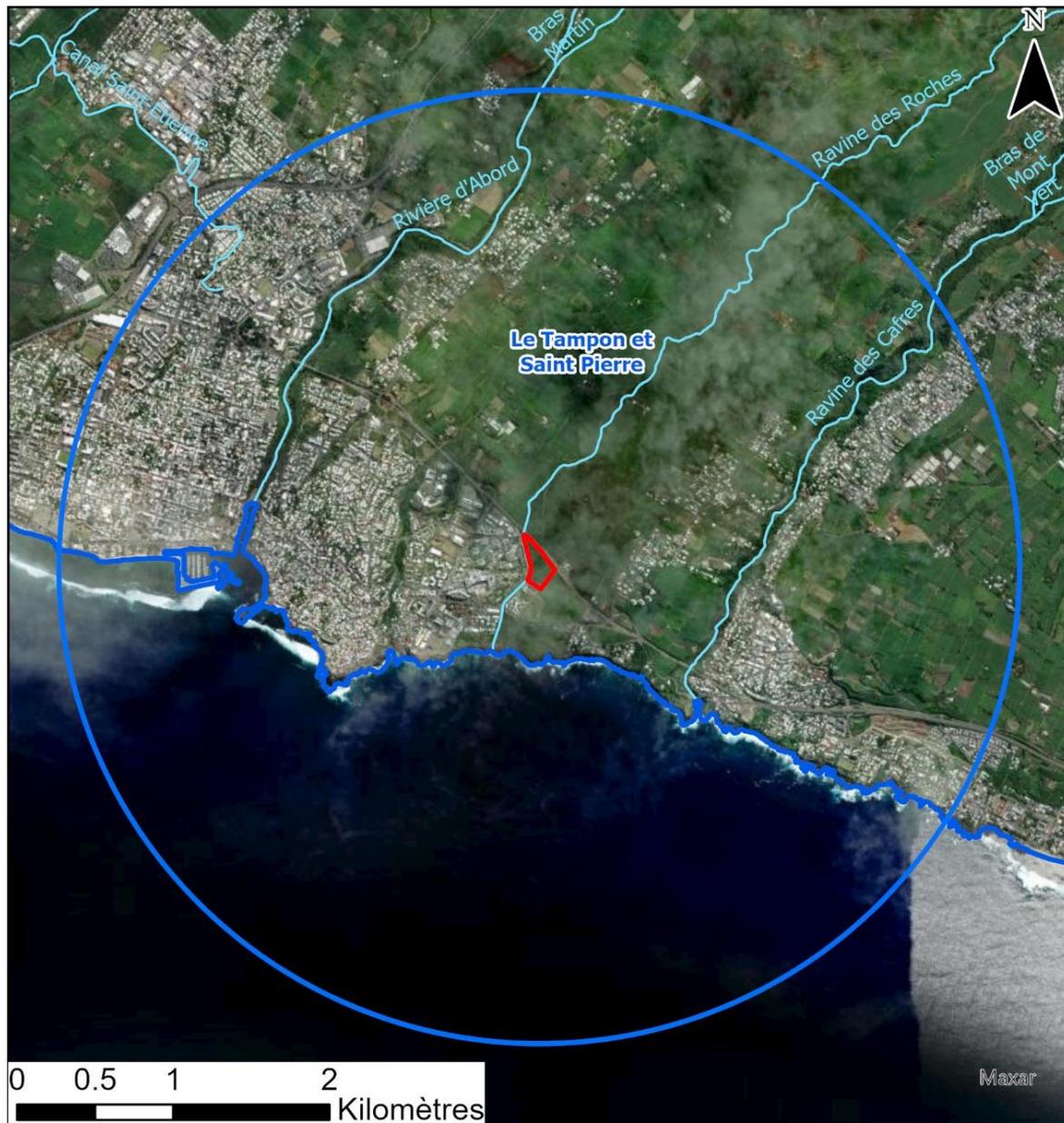
Légende

- Site en projet
- Rayon de 3 km
- Usages agricoles**
- MAIS GRAIN ET ENSILAGE
- PRAIRIES PERMANENTES
- PRAIRIES TEMPORAIRES
- GEL (SURFACES GELEES SANS PRODUCTION)
- FOURRAGE
- VERGERS
- AUTRES CULTURES INDUSTRIELLES
- LEGUMES-FLEURS
- CANNE A SUCRE
- DIVERS

3.3.2 Réseau hydrographique

De nombreux cours d'eau se trouvent dans le domaine d'étude, dont certains à proximité du projet de station-essence comme le montre la Figure 8.

Figure 8 : réseau hydrographique (BD TOPO® Hydrographie, IGN)



Légende

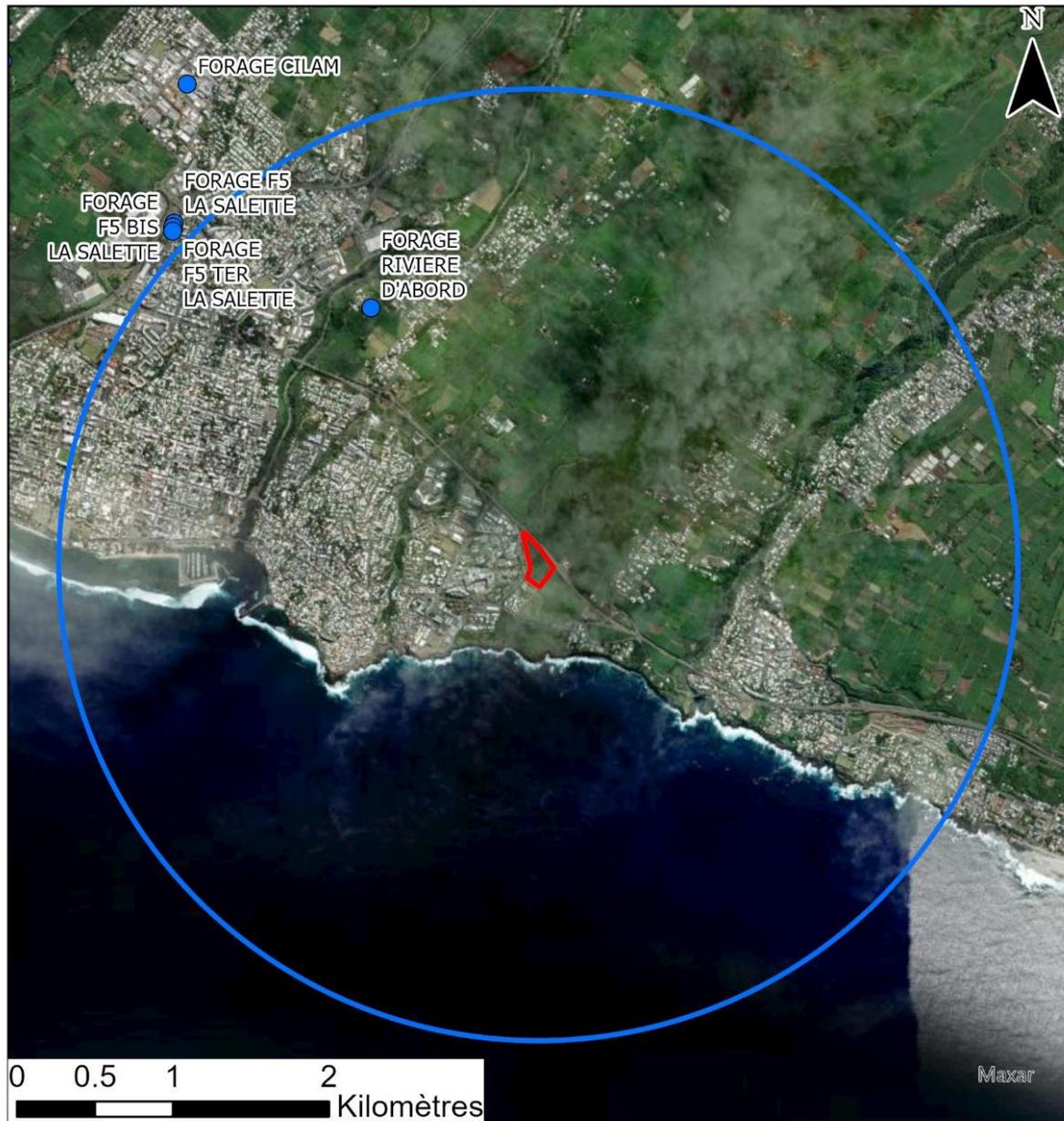
-  Site en projet
-  Rayon de 3 km
-  Bassin versant
-  Cours d'eau



3.3.3 Recensement des points d'eau

La Figure 9 localise les captages d'Alimentation en Eau Potable (AEP) situés dans le domaine d'étude. Ces données sont issues de la banque de données BSS Eaux (<http://www.adeseaufrance.fr/>). Un captage AEP actif est recensé dans le domaine d'étude.

Figure 9 : localisation des captages AEP



Légende

-  Site en projet
-  Rayon de 3 km
-  Captages d'eau potable actifs

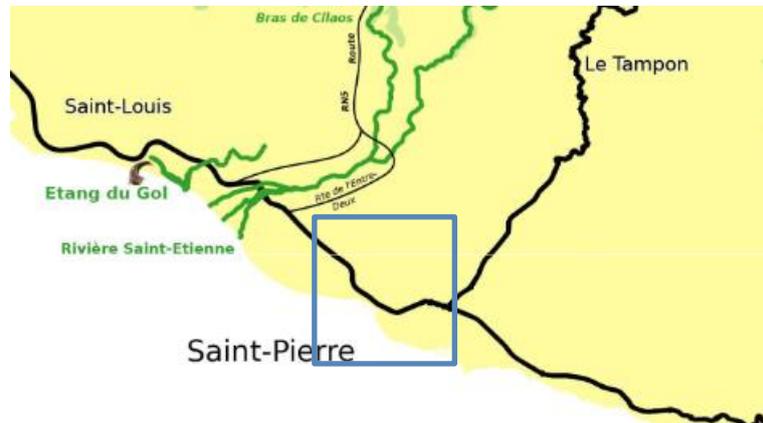


3.3.4 Activités de loisirs

3.2.5.1 Activité de pêche

Il n'y a pas de parcours de pêche dans le domaine d'étude (Figure 10).

Figure 10 : Cours d'eau dans la zone d'étude (source : FDAAPPMA)



3.2.5.2 Activité de baignade

Il y a trois zones de baignade autorisée et surveillée sur la zone d'étude (Ministère de la Santé).



4 SCHEMA CONCEPTUEL D'EXPOSITION

Compte tenu des rejets du site, la voie d'exposition à considérer est essentiellement l'inhalation des substances émises à l'atmosphère.

L'exposition des personnes vivant au voisinage d'une installation industrielle émettrice d'effluents dans l'atmosphère peut se produire :

- soit directement par inhalation pour toutes les substances émises à l'atmosphère ;
- soit de façon indirecte par ingestion par le biais de retombées de particules responsables de la contamination de la chaîne alimentaire ;
- soit par contact cutané.

Les personnes habitant ou travaillant à proximité du site inhalent l'air ambiant. Elles sont donc susceptibles d'être exposées de manière directe par inhalation aux effets des rejets atmosphériques du site. Cette voie d'exposition est donc conservée.

En ce qui concerne la voie cutanée, elle ne sera pas conservée. Elle peut être en effet considérée comme négligeable par rapport à l'inhalation. De plus, il n'existe pas de valeur toxicologique de référence (VTR) pour cette voie d'exposition⁸.

L'ingestion directe et indirecte de sol ne sera pas prise en compte dans cette étude. Les effluents du site en projet sont essentiellement sous forme gazeuse, il n'y a pas d'émissions de poussières. Il n'existe pas de coefficient de transfert dans les denrées alimentaires pour l'ingestion pour les substances concernées.

Compte tenu des rejets du site, des usages et des populations avoisinantes, la voie d'exposition retenue est donc l'inhalation.

⁸ La circulaire de la DGS du 30 mai 2006 précise en effet qu'«en l'absence de procédures établies pour la construction de VTR pour la voie cutanée, ils [les pétitionnaires] ne doivent envisager aucune transposition à cette voie de VTR disponibles pour les voies orale ou respiratoire».

5 CHOIX DES TRACEURS DE RISQUE

5.1 SUBSTANCES D'INTERET

Le recensement des sources d'émission et des substances émises (cf. paragraphe 2.2.1) a permis de quantifier les émissions dans l'air pour les substances présentées dans le Tableau 9.

Tableau 9 : composés émis dans l'air par les cheminées du site

	Nom	N°CAS	Formule chimique
Milieu Air	Diesel	68334-30-5	-
	Toluène	108-88-3	C ₆ H ₅ CH ₃
	Oxyde de ter-butyle et de méthyle	1634-04-4	CH ₃ OC(CH ₃) ₃
	2-méthylpropan-1-ol / Isobutanol	78-83-1	C ₄ H ₁₀ O
	Propan-2-ol	67-63-0	C ₃ H ₈ O
	Alcool tert-butylque	75-65-0	C ₄ H ₁₀ O
	Méthanol	67-56-1	CH ₃ OH
	Benzène	71-43-2	C ₆ H ₆
	Composés organiques volatils	-	-

5.2 IDENTIFICATION DES DANGERS

L'étape d'identification des dangers présente la toxicité des composés émis par les installations. Il est rapporté les effets sur la santé et en particulier le risque cancérigène et les différentes voies d'exposition.

Les substances chimiques sont susceptibles de provoquer des effets aigus liés à des expositions courtes à des doses généralement élevées, et des effets subchroniques et chroniques susceptibles d'apparaître suite à une exposition prolongée à des doses plus faibles. **Dans le cadre de la présente évaluation de risques sanitaires, seule l'exposition chronique sera étudiée.**

A partir de données trouvées dans la littérature, le Tableau 10 présente, pour l'ensemble des composés inventoriés, les voies d'exposition principales, les dangers possibles, ainsi que la classification du caractère cancérigène pour l'OMS/CIRC, l'EPA et l'Union Européenne. Le Tableau 11 rappelle la définition des différentes classifications.

Tableau 10 : identification des dangers par substance dans l'air

Nom	N°CAS	Effets/Organes cibles	Voies d'exposition principales	Cancérogénicité		
				CIRC	EPA	UE
Diesel	68334-30-5	-	-	-	-	-
Toluène	108-88-3	Système respiratoire	Inhalation, Ingestion	3	-	2
Oxyde de ter-butyle et de méthyle	1634-04-4	Reins	Inhalation, Ingestion	3	-	-
2-méthylpropan-1-ol / Isobutanol	78-83-1	-	-	-	-	-
Propan-2-ol	67-63-0	Développement	Inhalation	3	-	-
Alcool tert-butylque	75-65-0	Foie	Inhalation, Ingestion	-	-	-
Méthanol	67-56-1	Développement	Inhalation, Ingestion	-	-	-
Benzène	71-43-2	Système respiratoire	Inhalation	1	A	-

Tableau 11 : classifications CIRC, US-EPA et Union Européenne pour les effets cancérigènes

CIRC - OMS	US EPA	Union Européenne
1 : cancérigènes pour l'homme	A : cancérigènes pour l'homme (preuves suffisantes chez l'homme)	1A (ex-1) Substances dont le potentiel cancérigène pour l'être humain est avéré.
2A : cancérigènes probables pour l'homme (preuves limitées chez l'homme, suffisantes chez l'animal)	B1 : cancérigènes probable pour l'homme (preuves limitées chez l'homme)	1B (ex-2) : Substances dont le potentiel cancérigène pour l'être humain est supposé (données animales).
	B2 : cancérigènes probable pour l'homme (preuves non adéquates chez l'homme, suffisantes chez l'animal)	
2B : cancérigènes possibles pour l'homme (preuves insuffisantes chez l'homme, suffisantes ou limitées chez l'animal)	C : cancérigènes possibles pour l'homme (preuves non adéquates chez l'homme et limitées chez l'animal)	
3 : non classable pour sa cancérigénicité pour l'homme	D : non classable pour sa cancérigénicité pour l'homme (preuves insuffisantes chez l'homme et chez l'animal)	2 (ex-3) : Substances suspectées d'être cancérigènes pour l'homme
4 : absence connue d'effets cancérigènes chez l'homme et chez l'animal	E : absence connue d'effets cancérigènes chez l'homme et chez l'animal	

5.3 ETUDE DES RELATIONS DOSE-REPONSE

5.3.1 Définitions

La définition des relations dose-réponse consiste à recueillir dans la littérature l'ensemble des valeurs établissant une relation entre une dose d'exposition et les effets (ou probabilités d'effets) observés.

Ces relations dose-réponse regroupées sous le terme de **valeur toxicologique de référence (VTR)** permettent de caractériser deux mécanismes d'action des toxiques :

- **les toxiques à effets à seuil** pour lesquels il existe des valeurs toxicologiques de référence en dessous desquelles l'exposition est réputée sans risque et dont la gravité des effets est proportionnelle à la dose.
- **les toxiques à effets sans seuil** tels que les cancérigènes génotoxiques pour lesquels il n'est pas possible de définir un niveau d'exposition sans risque pour la population. Pour ces produits, des excès unitaires de risque (ERU) ont été définis. Ils correspondent à la probabilité supplémentaire de survenue de cancer dans une population exposée à $1 \mu\text{g}/\text{m}^3$ (durant toute sa vie⁹ et 24h/24) par rapport à la probabilité de cancer dans une population non exposée. Un ERU à 10^{-5} signifie qu'une personne exposée durant toute sa vie à $1 \mu\text{g}/\text{m}^3$ aurait une probabilité supplémentaire par rapport au risque de base de 0,00001 de contracter un cancer ou bien, en d'autres termes, que si 100 000 personnes sont exposées, 1 cas de cancer supplémentaire est susceptible d'apparaître. Il n'existe pas de valeur seuil sans risque pour les composés à effets sans seuil.

5.3.2 Critères de choix des Valeurs Toxicologiques de Référence

Pour chaque substance sélectionnée précédemment, des Valeurs Toxicologiques de Référence (VTR) ont été recherchées auprès des différentes instances internationales suivantes :

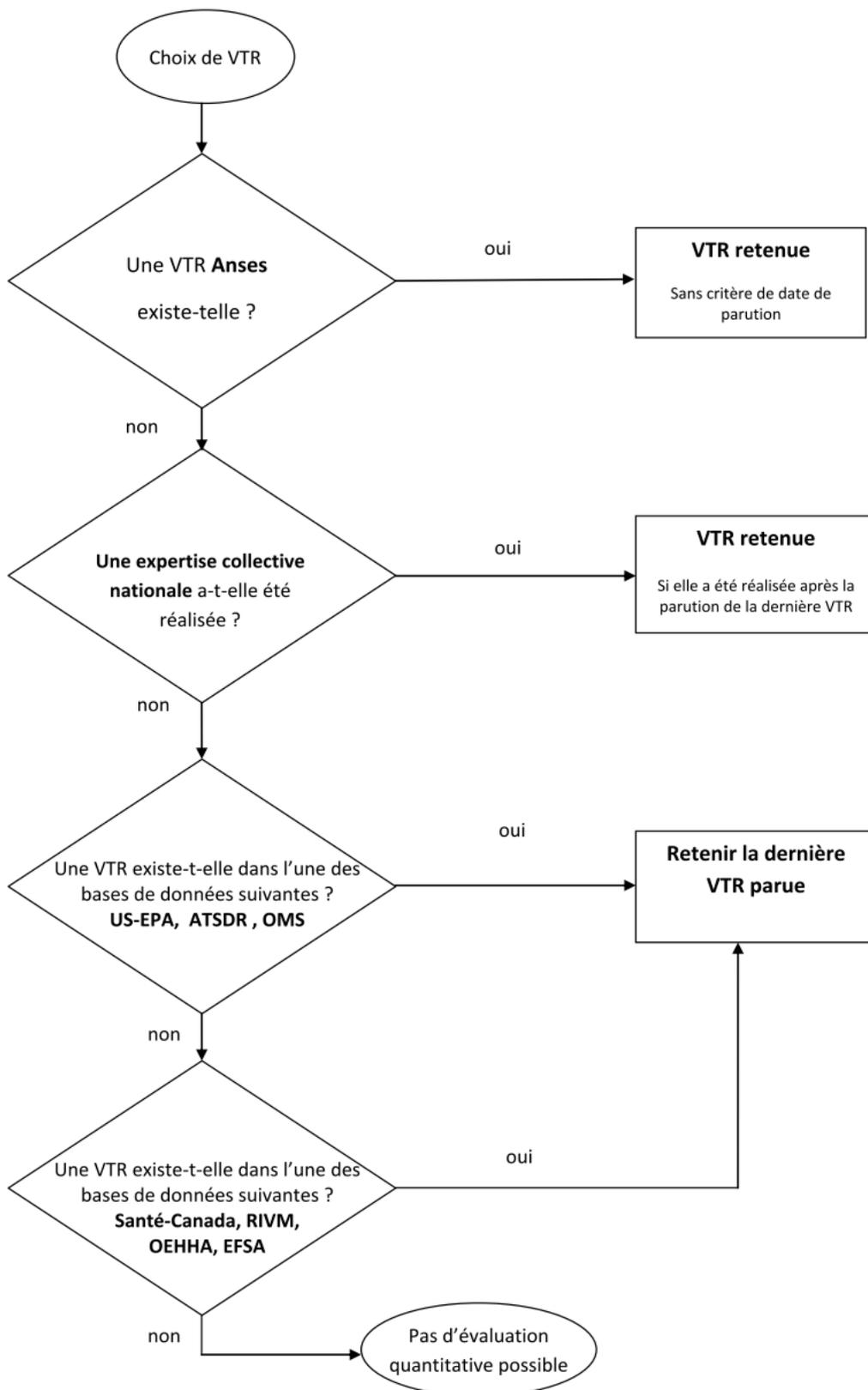
- Agence Nationale de Sécurité Sanitaire de l'alimentation, de l'environnement et du travail (ANSES)
- Environmental Protection Agency (US-EPA)
- Organisation Mondiale de la Santé (OMS/IPCS)
- Agency for Toxic Substances and Diseases Registry (ATSDR)
- Office of Environmental Health Hazard Assessment (OEHHA)
- Santé Canada (Health Canada)
- National Institute of Public Health and the Environment (RIVM)
- European Food Safety Authority (EFSA)

Dans l'objectif de simplifier les modalités de sélection des VTR et par la même la vérification des dossiers par les services de l'Etat, la Direction Générale de la Santé a demandé, par une note d'information (DGS/EA1/DGPR/2014/307 du 31 octobre 2014), de sélectionner la VTR en suivant le logigramme de la Figure 11 lorsqu'il existe plusieurs VTR pour une voie et une durée d'exposition.

Nous appliquerons ces modalités dans le choix des VTR dans le présent rapport.

⁹ conventionnellement prise égale à 70 ans

Figure 11 : logigramme pour le choix des VTR (DGS)



5.3.3 Choix des Valeurs Toxicologiques de Référence

Le Tableau 12 présente pour chaque substance émise la disponibilité des Valeurs Toxicologiques de Référence dans la littérature consultée.

Seule la voie par inhalation est étudiée car les substances émises par le site sont gazeuses. Les VTR par ingestion ne sont donc pas recherchées pour l'ensemble de ces substances.

Tableau 12 : disponibilité des Valeurs Toxicologiques de Référence (exposition chronique)

Nom	N°CAS	VTR à seuil voie respiratoire	VTR sans seuil voie respiratoire
Diesel	68334-30-5	x	
Toluène	108-88-3	x	
Oxyde de ter-butyle et de méthyle	1634-04-4	x	x
2-méthylpropan-1-ol / Isobutanol	78-83-1		
Propan-2-ol	67-63-0	x	
Alcool tert-butylque	75-65-0	x	
Méthanol	67-56-1	x	
Benzène	71-43-2	x	x
Autres COV	-		

Autres COV : En l'absence de spéciation sur les COVs, ils ne seront pas retenus dans cette étude.

A partir des VTR disponibles dans la littérature consultée, les Tableau 13 et Tableau 14 résument les VTR retenues pour cette étude.

Tableau 13 : valeurs toxicologiques de référence retenues pour les effets chroniques à seuil

Substance	Voie d'exposition	Organe /Système cible	Effet(s) observé(s)	VTR	µg/m ³ ou mg/kg/j	Référence	Année	Justification du choix
Toluène	Inhalation	Vision des couleurs	Effets neurologiques	19 000	µg/m ³	ANSES	2017	VTR ANSES prioritaire
Benzène	Inhalation	Système immunitaire	-	10	µg/m ³	ATSDR	2007	Choix ANSES 2008
	Inhalation (Effets cancérigènes)	Système respiratoire	Incidence combinée des tumeurs pulmonaires	0.3	µg/m ³	ANSES	2012	VTR construite par l'ANSES
Oxyde de tert-butyle et de méthyle	Inhalation	Reins	-	3 605	µg/m ³	ATSDR	2022	VTR la plus récente dans la base EPA, ATSDR et OMS
Propan-2-ol	Inhalation	Développement	-	7 000	µg/m ³	OEHHA	2000	Seule valeur disponible
Alcool tert-butylique	Inhalation	Reins	-	2 100	µg/m ³	ANSES	2015	VTR retenue par l'ANSES
Méthanol	Inhalation	Développement	-	20 000	µg/m ³	US EPA	2013	VTR la plus récente dans la base EPA, ATSDR et OMS
Diesel	Inhalation	-	Effets neurologiques	20	µg/m ³	ATSDR	1995	Seule valeur disponible

Tableau 14 : valeurs toxicologiques de référence retenues pour les effets chroniques sans seuil

Substance	Voie d'exposition	Organe /Système cible	Effet(s) observé(s)	VTR	µg/m ³ ou mg/kg/j	Référence	Année	Justification du choix
Benzène	Inhalation	Système sanguin	Leucémie	2,6.10 ⁻⁵	(µg/m ³) ⁻¹	ANSES	2014	VTR ANSES prioritaire
Oxyde de tert-butyle et de méthyle	Inhalation	-	Cancer / Leucémie	2,6.10 ⁻⁷	(µg/m ³) ⁻¹	OEHHA	1999	VTR retenue par l'ANSES

5.4 CHOIX DES TRACEURS DE RISQUE

Conformément à la démarche décrite dans le guide INERIS 2021, les traceurs de risque sont choisis sur les émissions estimées (cf. Tableau 5 : émissions des), des toxicités des substances émises, des concentrations dans l'environnement, des classements des ratios des émissions divisées par les VTR pour les effets à seuil.

Les critères de choix suivants sont définis :

- toutes les substances présentant des risques cancérigènes sont retenues ;
- application de la méthode des scores (démarche classiquement utilisée notamment par l'INERIS) aux émissions du site. Le ratio « flux à l'émission divisé par la VTR » est calculé, et :
 - toutes les substances pour lesquelles le ratio est supérieur à 10% du ratio le plus élevé sont retenues ;
 - les substances pour lesquelles les ratios sont inférieurs à 1% du ratio le plus élevé sont écartées.

Le classement des traceurs de risque suivant le ratio flux/VTR est présenté dans le Tableau 15 ainsi que le choix (retenu/non retenu) effectué. Pour chaque voie (ingestion ou inhalation) apparaisse :

- sur fond rouge : les scores supérieurs à 10% du score maximal ;
- sur fond jaune : les scores compris entre 1% et 10% du score maximal ;
- sur fond vert : les scores inférieurs à 1% du score maximal.

Seule la voie par inhalation sera retenue dans cette étude.

Tableau 15 : classement des traceurs de risque suivant le ratio flux/VTR

Substances	Substance cancérigène	Emissions en kg/an	VTR à seuil	Emissions/VTR	Retenu	
			Inhalation	Inhalation		
Benzène	OUI	1.8E+01	1.0E+01	1.8E+00	Oui ⇒	cancérigène
Toluène		5.5E+02	1.9E+04	2.9E-02	Non ⇒	Score <1 % du score max par inhalation
Diesel		2.9E+03	2.0E+01	1.5E+02	Oui ⇒	Score > 10% du score max par inhalation
oxyde de tert-butyle et de méthyle	OUI	2.7E+02	3.6E+03	7.6E-02	Oui ⇒	cancérigène
2-méthylpropan-1-ol; isobutanol		1.8E+02			Non ⇒	Pas de VTR par inhalation
propan-2-ol		1.8E+02	7.0E+03	2.6E-02	Non ⇒	Score <1 % du score max par inhalation
alcool tert-butyle	OUI	1.3E+02	2.1E+03	6.1E-02	Oui ⇒	cancérigène
methanol		5.5E+01	2.0E+04	2.7E-03	Non ⇒	Score <1 % du score max par inhalation
			score < 1% du score max	1% < score < 10% du score max	score > 10% du score max	Pas de VTR disponible pour cette voie

Le 2-méthylpropan-1-ol/isobutanol ne sera pas retenu car il n'existe pas de VTR par inhalation.

Les substances retenues comme traceurs de risques sont les suivantes :

- Benzène,
- Diesel,
- Oxyde de tert-butyle et de méthyle,
- Alcool tert-butyle.

6 EVALUATION QUANTITATIVE DES RISQUES SANITAIRES

6.1 ETUDE DE LA DISPERSION ATMOSPHERIQUE

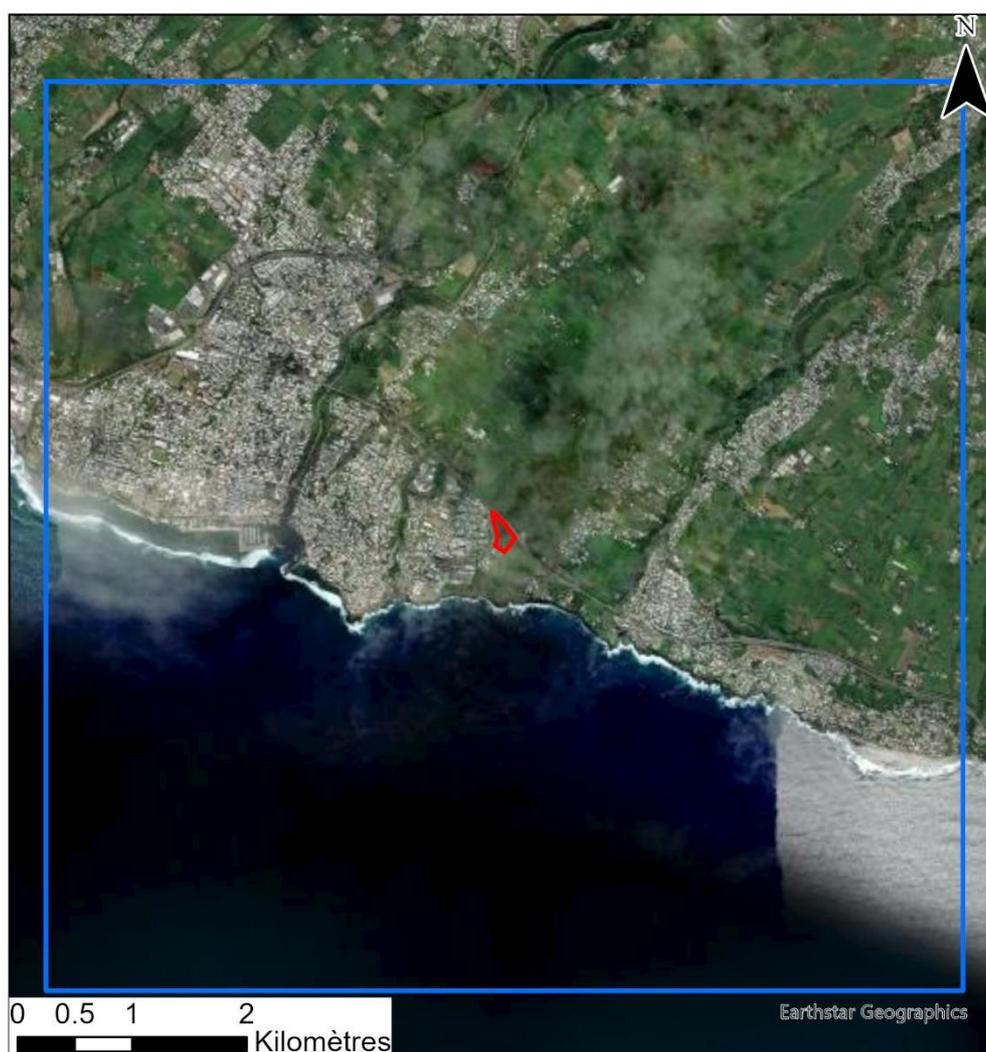
Afin d'estimer les concentrations et dépôts dans l'environnement **attribuables aux installations du site**, une étude de dispersion a été réalisée pour les traceurs de risques retenus (cf. paragraphe 5.4).

6.1.1 Données d'entrée

6.1.1.1 Domaine d'étude

Le domaine d'étude retenu est un carré de 8 km de côté centré sur le site.

Figure 12 : carte du domaine d'étude



Légende

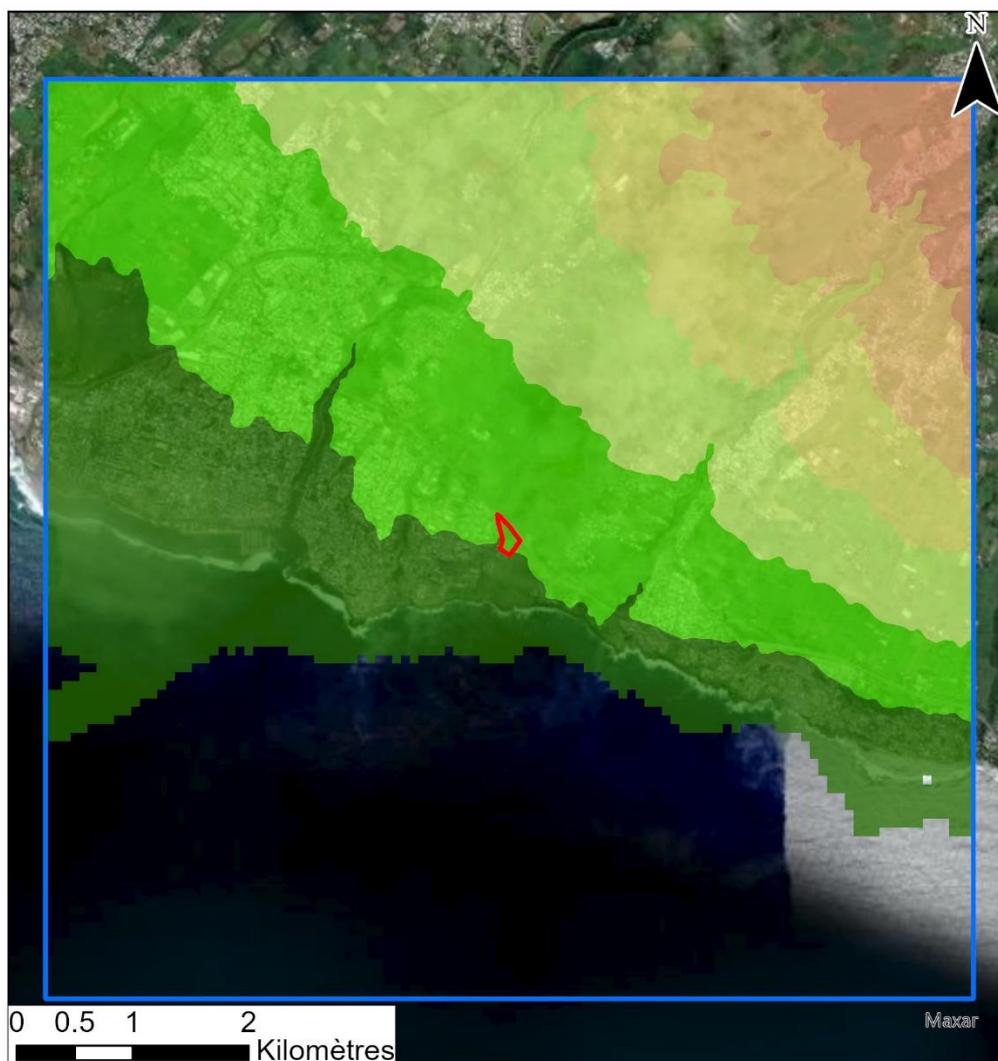
- Domaine
- Site en projet



6.1.1.2 Topographie

La topographie est issue d'un Modèle Numérique de Terrain au pas de 75 mètres. La Figure 13 présente une vue 2D de la topographie sur le domaine d'étude. Le relief est compris entre -65 et 580 mètres NGF.

Figure 13 : topographie du domaine d'étude (source : IGN BD Alti®)



Légende

Altitude en mètres

	< 50
	50 - 150
	150 - 250
	250 - 350
	350 - 450
	> 450

	Domaine
	Site en projet



6.1.1.3 Météorologie

Les paramètres les plus importants pour les problèmes liés à la pollution atmosphérique sont : la direction du vent, la vitesse du vent, la température extérieure, la stabilité de l'atmosphère.

Ces paramètres sont variables dans le temps et dans l'espace. Ils résultent de la superposition de phénomènes atmosphériques à grande échelle (régime cyclonique ou anticyclonique) et de phénomènes locaux (influence de la rugosité, de l'occupation des sols et de la topographie). C'est pourquoi il est nécessaire de rechercher des chroniques météorologiques :

- suffisamment longues et complètes ;
- représentatives de la climatologie du site.

6.1.1.3.1 Données météorologiques

Plusieurs paramètres rentrent en ligne de compte pour le choix de la station météorologique la plus représentative de la zone d'étude :

- **sa position géographique** : la station retenue doit être la plus proche possible de la zone d'étude et il ne doit pas exister d'obstacle majeur entre la station et la zone d'étude ;
- **la cadence d'acquisition des données météorologiques** : Météo France possède des stations où les relevés sont faits toutes les heures et d'autres tous les jours. Pour notre étude, nous avons besoin de données météorologiques suffisamment fines au niveau horaire pour avoir une bonne représentativité de la météorologie locale et pour prendre en compte les phénomènes météorologiques diurnes. Il est habituel d'utiliser des bases de données météorologiques comportant les paramètres vent, température et nébulosité toutes les heures ou toutes les 3 heures pendant une ou plusieurs années. Les stations « journalières » sont donc éliminées ;
- la pertinence des données météorologiques.

L'observatoire des pratiques de l'évaluation des risques sanitaires dans les études d'impact de la Direction Générale de la Santé¹⁰ recommande d'utiliser au minimum trois années de données météorologiques en tri-horaire.

Selon les critères ci-dessus, les données météorologiques retenues pour la simulation de dispersion proviennent des données de la station Météo-France de Pierrefonds-Aéroport. Elles correspondent à une extraction des données pour les données de vent (vitesse, direction et couverture nuageuse), de température et de précipitations.

Les données météorologiques utilisées sont des mesures horaires (1 mesure toutes les heures) sur la période du 01/01/2021 au 31/12/2023.

¹⁰ http://www.sante.gouv.fr/htm/dossiers/etud_impact/sommaire.htm

6.1.1.3.2 Analyse météorologique

6.1.1.3.2.1 Roses des vents

La rose des vents, en un lieu donné, est la représentation graphique des fréquences des vents classées par direction et vitesse. Les intersections de la courbe avec les cercles d'une fréquence donnée fournissent les fréquences cumulées d'apparition des vents en fonction de la direction d'où vient le vent.

La Figure 14 présente la rose des vents générale, par classes de vitesse, des stations météorologiques à proximité de Pierrefonds sur la période 01/01/2021 au 31/12/2023.

Figure 14 : rose des vents générale par classes de vitesses – Station Pierrefonds

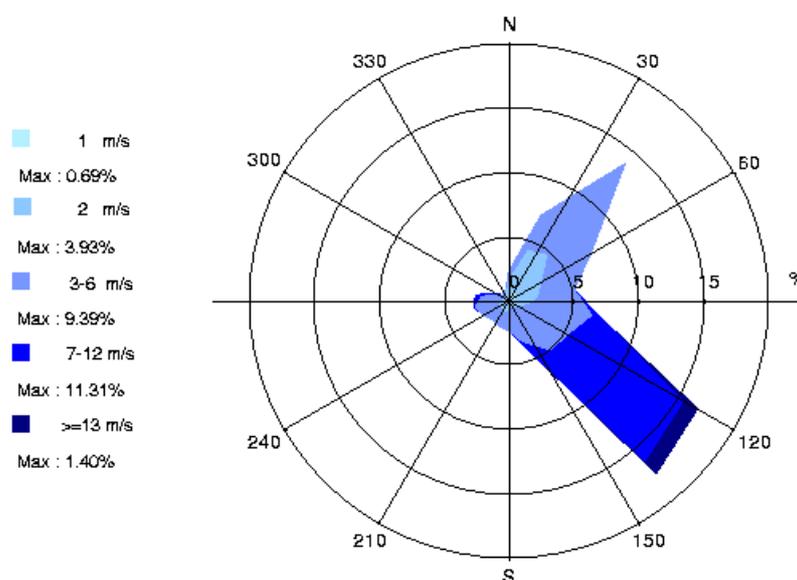


Tableau 16 : fréquence d'apparition de chaque classe de vitesse de vent

Classe de vitesse (m/s)	calmes	1	2	3-6	7-12	>=13
Borne de l'intervalle	[0 ; 0,9[[0,9 ; 1,5[[1,5 ; 2,5[[2,5 ; 6,5[[6,5 ; 12,5[[12,5 ; ∞[
Fréquence (%)	1.6%	4.5%	19.6%	48.0%	23.5%	2.8%

Sur la période retenue pour cette étude (du 01/01/2021 au 31/12/2023), les principaux résultats de cette analyse sont les suivants :

- la rose des vents montre deux directions principales :
 - vents du sud-est (44,2 % des occurrences du vent mesuré ont une direction comprise entre 90° et 150°¹¹) ;
 - vents du nord-est (28,9 % des occurrences du vent mesuré ont une direction comprise entre 10° et 60°) ;
- sur l'ensemble des directions, les vents ont une vitesse moyenne de 4,8 m/s (17,3 km/h) ;
- les vents les plus fréquents sont les vents de vitesse comprise entre 3 m/s et 6 m/s soit respectivement 10,8 km/h et 21,6 km/h ;
- les vents faibles (de vitesse inférieure à 1,5 m/s) sont peu fréquents et représentent 6,2 % des estimations dont 1,6 % de vents calmes (vents inférieurs à 0,9 m/s soit 3,2 km/h) qui sont les plus pénalisants pour la dispersion des polluants ;
- les vents forts (de vitesse supérieure à 6,5 m/s soit 23,4 km/h) sont très fréquents et représentent 26,3 % des observations.

6.1.1.3.2.2 Stabilité atmosphérique

La stabilité de l'atmosphère est destinée à quantifier les propriétés diffuses de l'air dans les basses couches. Elle est souvent associée à la structure thermique de l'atmosphère : par exemple, les situations d'inversion thermique se produisent lorsque l'atmosphère est stable.

Elle est déterminée à partir des données de nébulosité et de vent qui conduit à distinguer six catégories de stabilité de l'atmosphère :

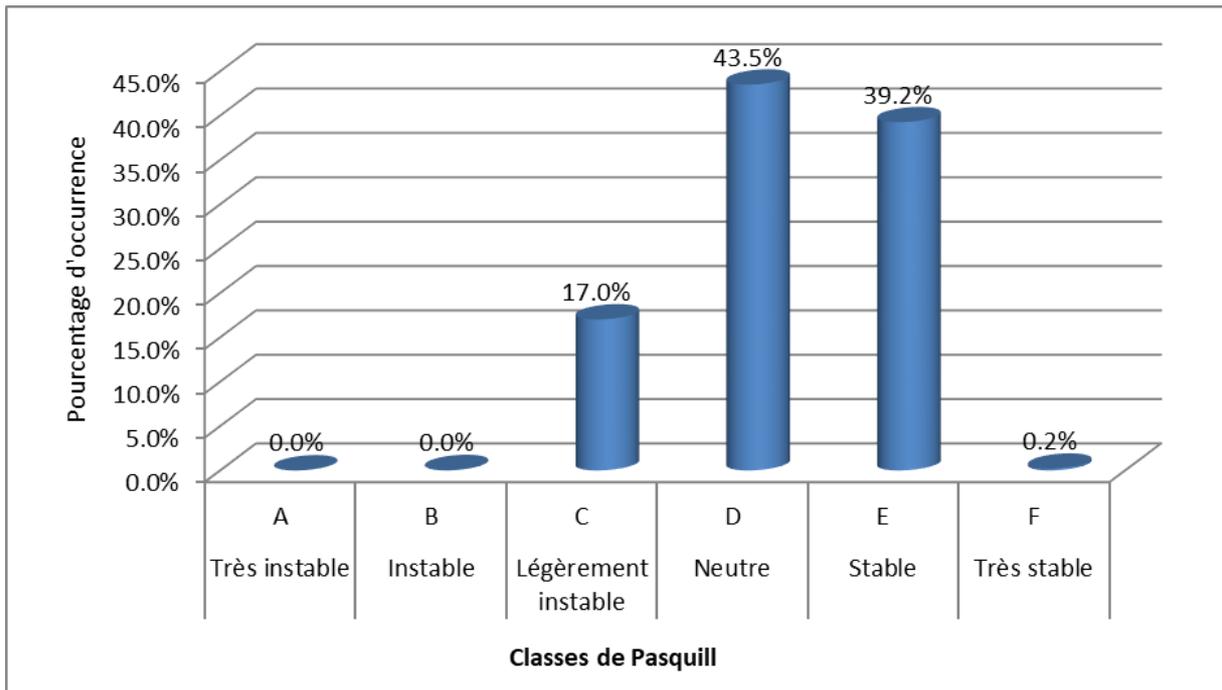
- Classe A : Très instable
- Classe B : Instable
- Classe C : Légèrement instable
- Classe D : Neutre
- Classe E : Stable
- Classe F : Très stable

Plus l'atmosphère est stable (catégories E et F), plus les conditions de dispersion sont défavorables. Ces situations freinent le déplacement des masses d'air et se retrouvent principalement par vents faibles et la nuit.

Le diagramme de la Figure 15 présente la répartition des observations en fonction de la stabilité atmosphérique.

¹¹ Les directions du vent sont données en degrés par rapport au Nord et indiquent la direction d'où vient le vent (convention météorologique internationale). Un vent de 0° est donc un vent venant du Nord, un vent de 180° est un vent venant du Sud.

Figure 15 : répartition des observations en fonction de la stabilité atmosphérique



Les conditions de dispersion sont majoritairement favorables puisque plus de 60,6% des observations présentent une atmosphère neutre à très instable, les autres observations (39,4%) présentent une atmosphère stable ou très stable.

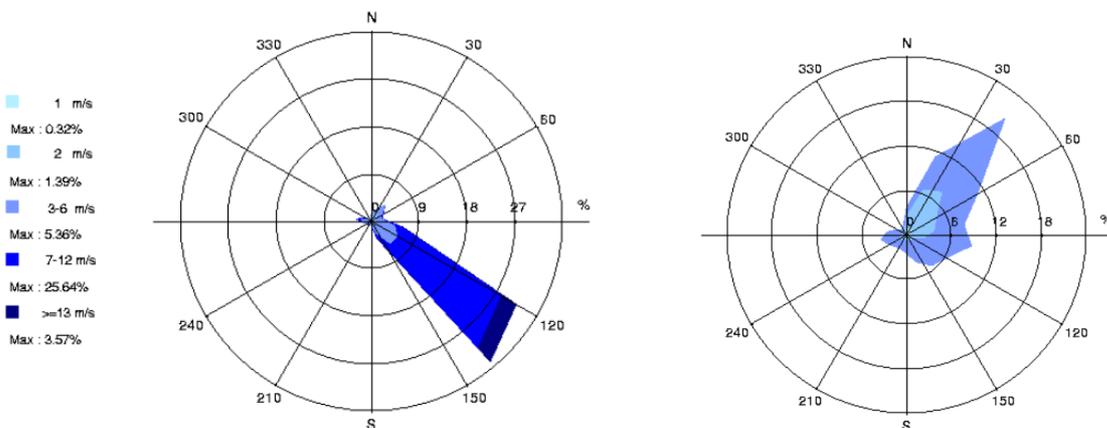
Les vents ont une vitesse d'environ 2,9 m/s (soit 10,5 km/h) en situation stable - donc pénalisante pour la dispersion des émissions, tandis qu'en atmosphère neutre, la vitesse moyenne est de 7,3 m/s (soit 26,1 km/h).

Le vent vient majoritairement du sud-est en situation d'atmosphère neutre tandis qu'en situation stable, il vient principalement du secteur nord-est (cf. Figure 16).

Figure 16 : roses des vents par classe de stabilité

Atmosphère neutre (classe D)
 (conditions de dispersion favorables)

Atmosphère très stable (classe E)
 (conditions de dispersion défavorables)



6.1.1.3.2.3 Température

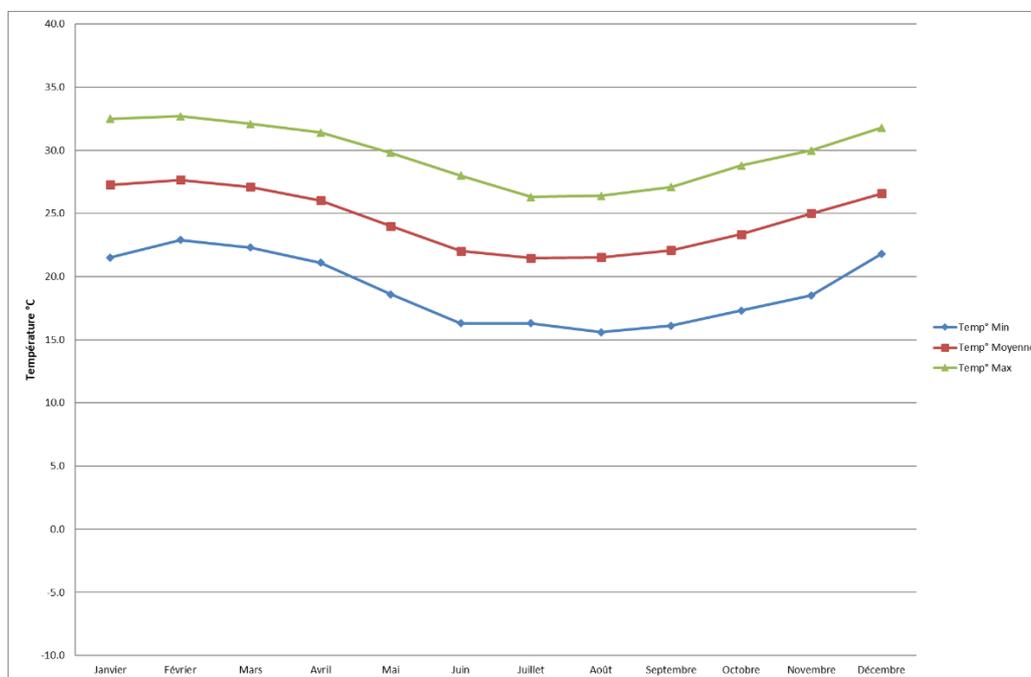
La température de l'air, dernier paramètre intervenant dans le processus de dispersion des polluants, est en moyenne de 24,5°C pour les trois années d'observations et varie peu au cours des trois années comme le montre le Tableau 17.

La Figure 17 présente les variations moyennes mensuelles de la température minimale, moyenne et maximale sur la période du 01/01/2021 au 31/12/2023.

Tableau 17 : statistiques relatives à la température de l'air

	Moyenne de Température °C
2021	24,7
2022	24,3
2023	27,4
Moyenne	24,5

Figure 17 : variation moyenne mensuelle de la température (période du 01/01/2021 au 31/12/2023)



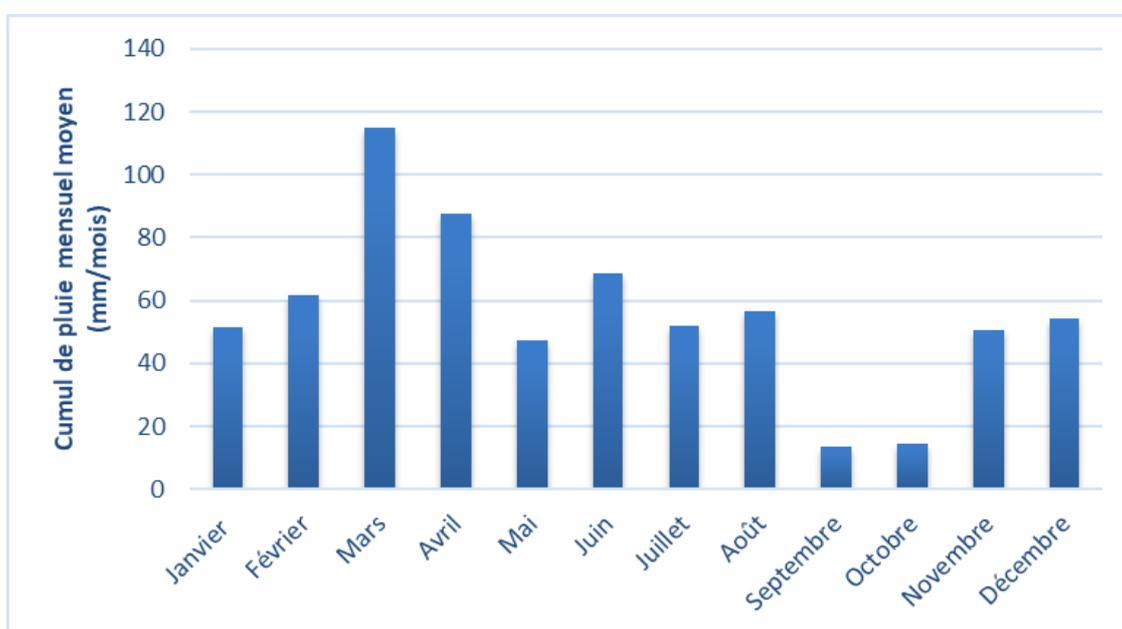
6.1.1.3.2.4 Pluviométrie

Dans le cadre de cette étude, nous avons tenu compte des données de pluviométrie recueillies sur la station de Pierrefonds.

Tableau 18 : statistiques relatives à la pluviométrie

	Pluviométrie annuelle (mm)
2021	680,9
2022	527,1
2023	813,7
Moyenne	674

Figure 18 : variation de la pluviométrie sur l'année (période du 01/01/2021 au 31/12/2023)



Notons qu'en moyenne sur la période étudiée (du 01/01/2021 au 31/12/2023), il est tombé environ 674 mm de pluie par an (cf. Figure 18).

La rose des vents générale (cf. Figure 14) tient compte à la fois des journées avec pluie et sans pluie. Pour affiner l'interprétation, on peut séparer les deux types de journées et obtenir les roses des vents correspondantes (Figure 19 et Figure 20).

Sur les trois années considérées (01/01/2021 au 31/12/2023), il apparaît que :

- ❑ *Echéances avec pluie* : il pleut environ 4,1% du temps (4,1% des observations correspondent à des échéances avec de la pluie). L'analyse de la Figure 19 permet de constater que, dans ces conditions, les vents proviennent majoritairement de la direction sud-est.
- ❑ *Echéances sans pluie* : le reste du temps (80,2% des observations), les vents présentent les directions privilégiées de la rose des vents générale (cf. Figure 20).

Figure 19 : rose des vents calculée à partir des échéances de pluie

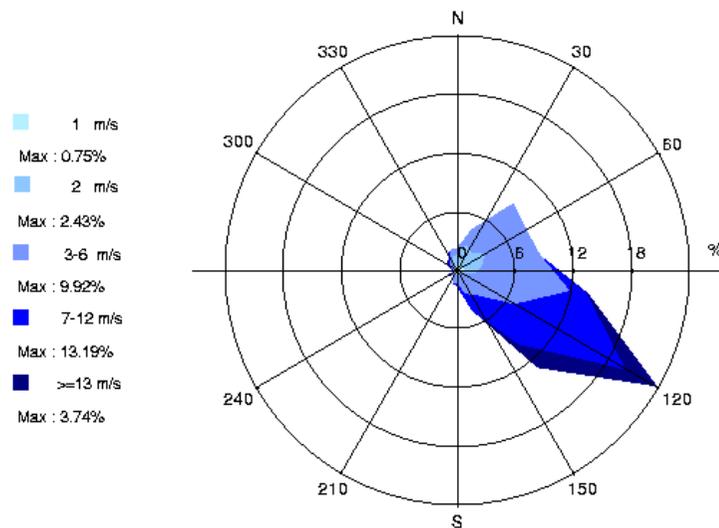
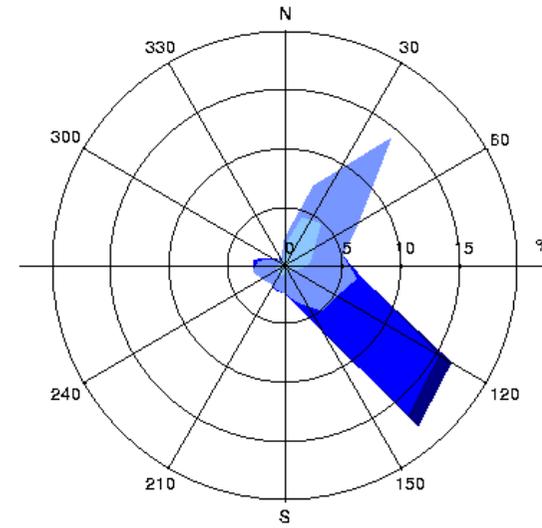


Figure 20 : rose des vents calculée à partir des échéances sans pluie



6.1.1.4 Emissions

Les émissions prises en compte correspondent aux émissions estimées pour les substances retenues, présentées au paragraphe 2.2.2, sont rappelées dans le Tableau 19.

Tableau 19 : flux en tonne/an pour les substances traceurs de risques retenues

Type de carburant	Substances	Fraction (%)	Emissions (g COV/an)	Emissions (tonne de COV/an)
Essence	Oxyde de tert-butyle et de méthyle	15	2.8E+05	2.8E-01
	Alcool tert-butylique	7	1.3E+05	1.3E-01
	Benzène	1	1.8E+04	1.8E-02
Gazole	Diesel	100	2.9E+06	2.9E+00

6.1.2 Détermination des concentrations dans l'air

6.1.2.1 Présentation du logiciel de dispersion et paramétrages du modèle

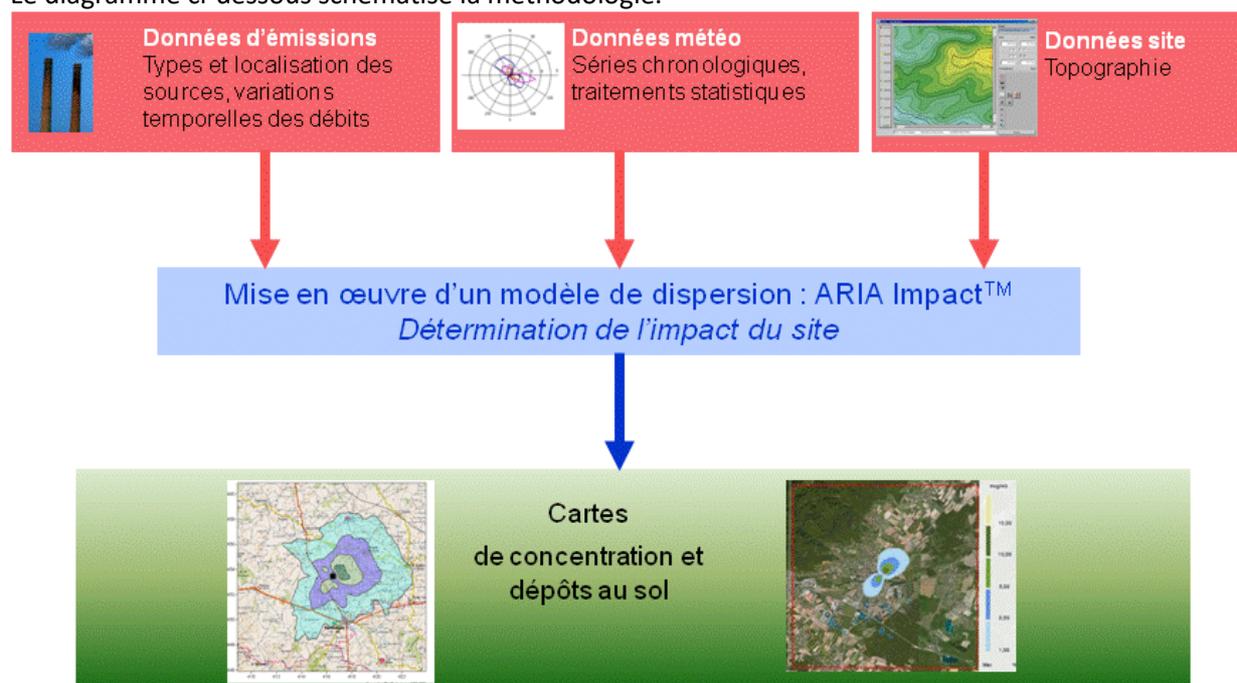
Le modèle utilisé pour cette analyse statistique est le logiciel ARIA Impact, version 1.8. Ce logiciel permet d'élaborer des statistiques météorologiques et de déterminer l'impact des émissions rejetées par une ou plusieurs sources ponctuelles, linéiques ou surfaciques. Il permet de simuler plusieurs années de fonctionnement en utilisant des chroniques météorologiques représentatives du site. En revanche, il ne permet pas de considérer les transformations photochimiques des polluants et de calculer les concentrations de polluant secondaires tel que l'ozone.

Sans être un modèle tridimensionnel, ARIA Impact peut prendre en compte la topographie de manière simplifiée.

Par ailleurs, ARIA Impact est un modèle gaussien qui répond aux prescriptions de l'INERIS pour la modélisation de la dispersion de la pollution atmosphérique des rejets des installations industrielles (cf. Annexe 2 du Guide méthodologique INERIS : « Evaluation de l'état des milieux et des risques sanitaires – Démarche intégrée pour la gestion des émissions des substances chimiques par les installations classées » publié par l'INERIS en août 2013).

Une description détaillée du modèle est présentée en Annexe 1.

Le diagramme ci-dessous schématise la méthodologie.



6.1.2.2 Paramétrages du modèle de dispersion

Les hypothèses de calcul suivantes ont été prises en compte :

- une prise en compte de la topographie;
- une occupation des sols variable dans l'espace ;
- une maille de calcul de 100 mètres ;
- les émissions présentées au paragraphe 2.2

6.1.2.2.1 La formule de surhauteur du panache

Le point de départ des trajectoires est le sommet de la cheminée. Lorsque les rejets sont chauds ou que la vitesse d'éjection des fumées est importante, on peut prendre en compte une surhauteur du panache. En effet, les fumées de combustion vont s'élever au-dessus de la cheminée jusqu'à ce que leur vitesse ascensionnelle initiale et les effets de différence de densité (dus à la différence de température air/fumées) ne soient plus significatifs. ARIA Impact permet de prendre en compte la surhauteur d'origine thermique et d'origine dynamique.

Pour le calcul de la surhauteur, ARIA Impact contient les formules données par Briggs, Anfossi, Holland, Cude... Dans cette étude, nous avons retenu la formule de Holland.

6.1.2.2.2 La formule des écarts-type (modèle de dispersion)

La dispersion du polluant autour de sa trajectoire nécessite la connaissance des écarts-type. Les écarts-type sont les paramètres qui pilotent la diffusion du panache.

Dans cette étude, nous avons utilisé les écarts-type de Briggs (formulation standard de l'EPA).

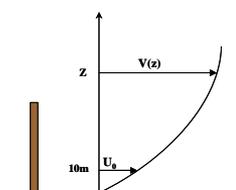
6.1.2.2.3 Reconstitution des profils verticaux

La surélévation du panache est calculée entre autres à partir de la vitesse du vent et de la température de l'air. Ces valeurs sont fournies dans la base de données météorologiques. Cependant, ces données correspondent à des mesures de station sol, c'est-à-dire qu'elles sont mesurées à environ 10 mètres du sol.

Pourtant, les valeurs de vitesse de vent et de température observées au sommet de la cheminée peuvent varier de manière importante suivant la hauteur de la cheminée : par exemple, plus la cheminée est haute, plus la vitesse du vent est élevée au niveau du débouché.

Afin de prendre en compte cette variation de vitesse de vent dans les calculs de la dispersion des polluants atmosphériques, le logiciel ARIA Impact peut calculer des profils verticaux de vent et de température en fonction des mesures au sol et de la turbulence atmosphérique, afin de connaître la vitesse du vent et la température au niveau du débouché de la cheminée.

Figure 21 : profil vertical de vent



6.1.2.2.4 Caractéristiques des espèces

Le Tableau 20 résume les valeurs utilisées dans le cadre de cette étude.

Tableau 20 : paramètres de calcul des dépôts pour chacune des espèces étudiées

Polluant	Phase du polluant	Vitesse de dépôt sec (m/s)	Coefficient de lessivage (s ⁻¹)
Benzène, diesel, oxyde tert-butyle et de méthyle, alcool tert-butyle	Gaz	0	1,0.10 ⁻⁵

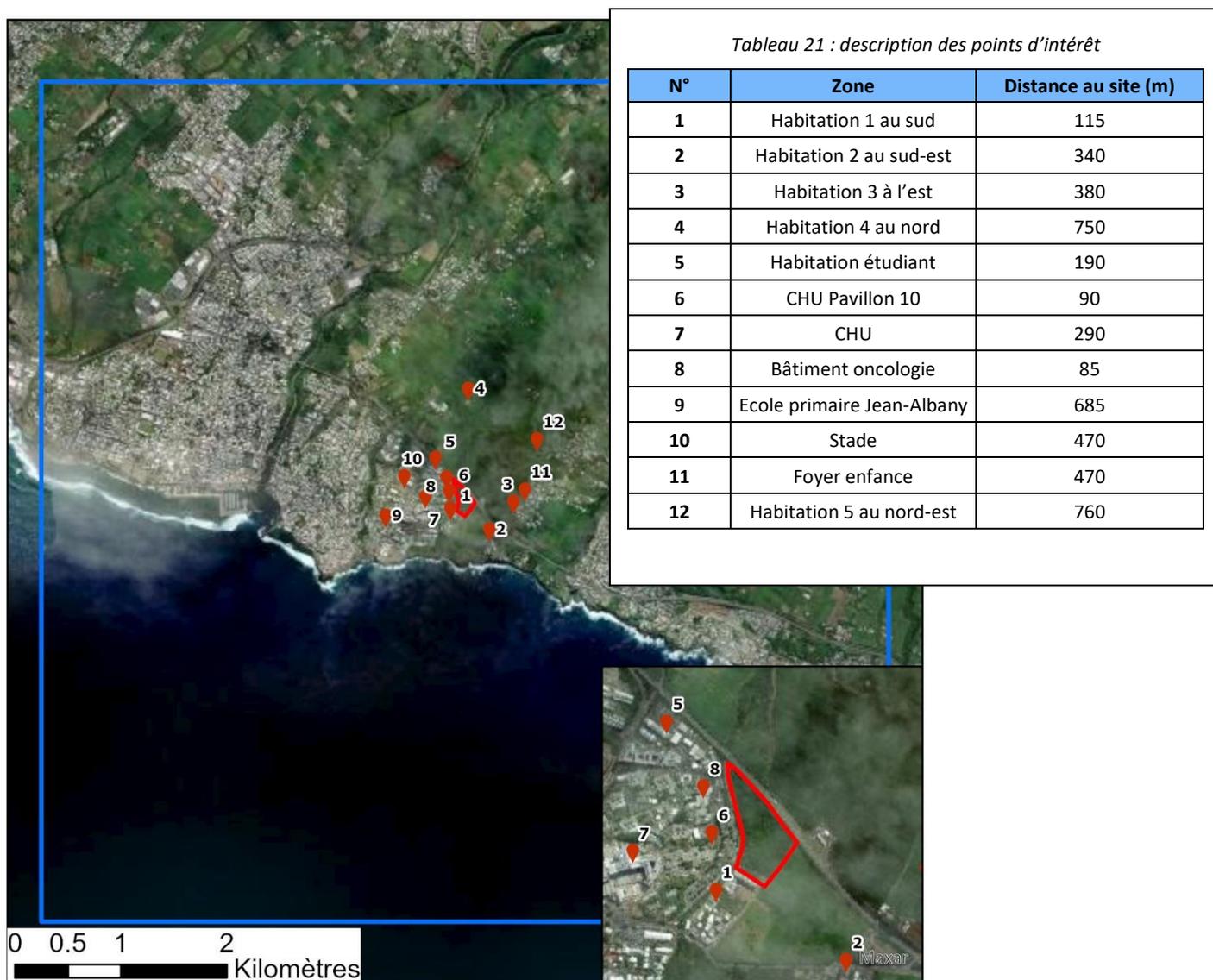
6.1.2.3 Présentation des résultats

Les résultats sont exprimés sous forme de concentrations en moyenne annuelle.

Les résultats de l'étude sont donnés sous forme de cartes et de tableaux. Ces résultats ne concernent que la contribution des rejets étudiés. L'unité retenue pour exprimer les concentrations de polluant dans l'air dans ce rapport est le $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ⁽¹²⁾.

Les résultats sont également présentés au niveau de points d'intérêt (habitations les plus proches, cultures autour du site, centre-ville des villes voisines) présentés sur la Figure 22.

Figure 22 : localisation des points d'intérêt



Légende

- Domaine
- Site en projet
- Points cibles



¹² microgramme de polluant par mètre cube d'air. $1 \mu\text{g} = 1.10^{-6} \text{ g}$

6.1.2.4 Réglementation de la qualité de l'air

Dans le cadre de cette étude, seules les concentrations en moyenne annuelle sont calculées pour pouvoir être comparées aux valeurs réglementaires de qualité de l'air qui sont exprimées en moyenne annuelle uniquement. Le Tableau 22 rappelle les valeurs réglementaires pour la qualité de l'air¹³ pour les substances prises en compte dans cette étude.

Tableau 22 : réglementation en vigueur en France pour la santé humaine

Substance	Valeurs limites	Objectifs de qualité	Valeur cible (en moyenne annuelle)
Benzène	En moyenne annuelle : depuis le 01/01/2010 : 5 µg/m ³ .	En moyenne annuelle : 2 µg/m ³ .	

- **Objectif de qualité** : un niveau de concentration de substances polluantes dans l'atmosphère à atteindre à long terme, sauf lorsque cela n'est pas réalisable par des mesures proportionnées, afin d'assurer une protection efficace de la santé humaine et de l'environnement dans son ensemble ;
- **Valeur limite** : un niveau de concentration de substances polluantes dans l'atmosphère fixé sur la base des connaissances scientifiques à ne pas dépasser dans le but d'éviter, de prévenir ou de réduire les effets nocifs de ces substances sur la santé humaine ou sur l'environnement dans son ensemble ;
- **Valeur cible** : un niveau de concentration de substances polluantes dans l'atmosphère fixé dans le but d'éviter, de prévenir ou de réduire les effets nocifs sur la santé humaine ou sur l'environnement dans son ensemble, à atteindre, dans la mesure du possible, dans un délai donné.

6.1.2.5 Concentrations en moyenne annuelle

Les résultats de concentrations moyennes annuelles fournissent les éléments nécessaires pour évaluer les risques par inhalation.

Le Tableau 23 présente les valeurs calculées en moyenne annuelle :

- au point géographique le plus exposé du domaine d'étude en dehors des limites du site, correspondant à des zones non habitées à proximité immédiate du site, à 50 m au nord-est du site ;
- au niveau des points cibles présentés précédemment (cf. Figure 22) correspondant aux premières habitations et points sensible.

Pour le benzène, seule substance réglementée au niveau de la qualité en France parmi les substances étudiées, les concentrations en moyenne annuelle obtenues par modélisation au niveau de l'ensemble des points (point le plus exposé du domaine d'étude en dehors des limites du site et points cibles) sont bien inférieures aux valeurs limites françaises de la qualité de l'air disponibles. Parmi les points cibles étudiés, le point n°8 (habitations situées dans le CHU à 85 m du site), est le plus exposé pour l'ensemble des substances étudiées. Au niveau des habitations, le point n°1 (habitation située à 115 m au sud du site) est le plus exposé pour l'ensemble des substances étudiées.

¹³ Valeurs réglementaires françaises du Code de l'environnement (Livre II : Milieux Physiques, Titre II : Air et Atmosphère, relatif à la surveillance de la qualité de l'air et de ses effets sur la santé et sur l'environnement, aux objectifs de qualité de l'air, aux seuils d'alerte et aux valeurs limites).

Tableau 23 : concentrations en moyenne annuelle au point le plus exposé et aux points cibles ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)

Substance		Diesel	Oxyde de tert-butyle et de méthyle	Alcool tert-butyle	Benzène
Unité		$\mu\text{g}/\text{m}^3$			
1	Habitation 1 au sud	6.2E-01	5.8E-02	2.8E-02	3.8E-03
2	Habitation 2 au sud-est	4.3E-02	4.0E-03	1.9E-03	2.7E-04
3	Habitation 3 à l'est	4.7E-02	4.4E-03	2.1E-03	2.9E-04
4	Habitation 4 au nord	5.4E-02	5.0E-03	2.4E-03	3.4E-04
5	Habitation étudiant	9.1E-01	8.5E-02	4.1E-02	5.6E-03
6	CHU Pavillon 10	1.8E+00	1.7E-01	8.0E-02	1.1E-02
7	CHU	5.6E-01	5.2E-02	2.5E-02	3.5E-03
8	Bâtiment oncologie	2.8E+00	2.6E-01	1.3E-01	1.7E-02
9	Ecole primaire Jean-Albany	1.4E-01	1.3E-02	6.4E-03	8.8E-04
10	Stade	2.9E-01	2.7E-02	1.3E-02	1.8E-03
11	Foyer enfance	6.1E-02	5.7E-03	2.7E-03	3.8E-04
12	Habitation 5 au nord-est	5.5E-02	5.1E-03	2.5E-03	3.4E-04
Habitation la plus exposée		6.2E-01	5.8E-02	2.8E-02	3.8E-03
		<i>Point n°1</i>	<i>Point n°1</i>	<i>Point n°1</i>	<i>Point n°1</i>
Point cible le plus exposé (hors habitations)		2.8E+00	2.6E-01	1.3E-01	1.7E-02
		<i>Point n°8</i>	<i>Point n°8</i>	<i>Point n°8</i>	<i>Point n°8</i>
Point le plus exposé en dehors des limites de site		5,03	0.46	0.23	0.03
Rappel de la réglementation :					
Objectif de qualité		-	-	-	2
Valeur cible		-	-	-	-
Valeur limite		-	-	-	5
Valeurs guide moyenne annuelle (OMS 2021)		-	-	-	-

Les Figure 24 et Figure 25 présentent les cartes de concentrations en moyenne annuelle sur le domaine d'étude pour le diesel et le benzène. Les aplats colorés montrent les zones où les concentrations au niveau du sol sont comprises entre deux valeurs, par exemple, les zones en « vert » sur la Figure 24 correspondent à des concentrations en diesel comprises entre 1 et 2 $\mu\text{g}/\text{m}^3$. Les cartes pour les autres polluants sont présentées en Annexe 2.

La Figure 23 montre le point de concentrations maximales pour chaque substance. Les cartographies montrent que les concentrations les plus élevées sont situées à environ 30 m à l'ouest du site, dans des zones non habitées.

Pour le benzène, les **concentrations** calculées au point géographique le plus exposé en dehors des limites du site **sont inférieures aux valeurs réglementaires** françaises et aux recommandations de l'OMS, ainsi elles représentent 1 % de l'objectif de qualité dans la zone la plus exposée.

Figure 23 : localisation des points de concentration maximale en dehors du site

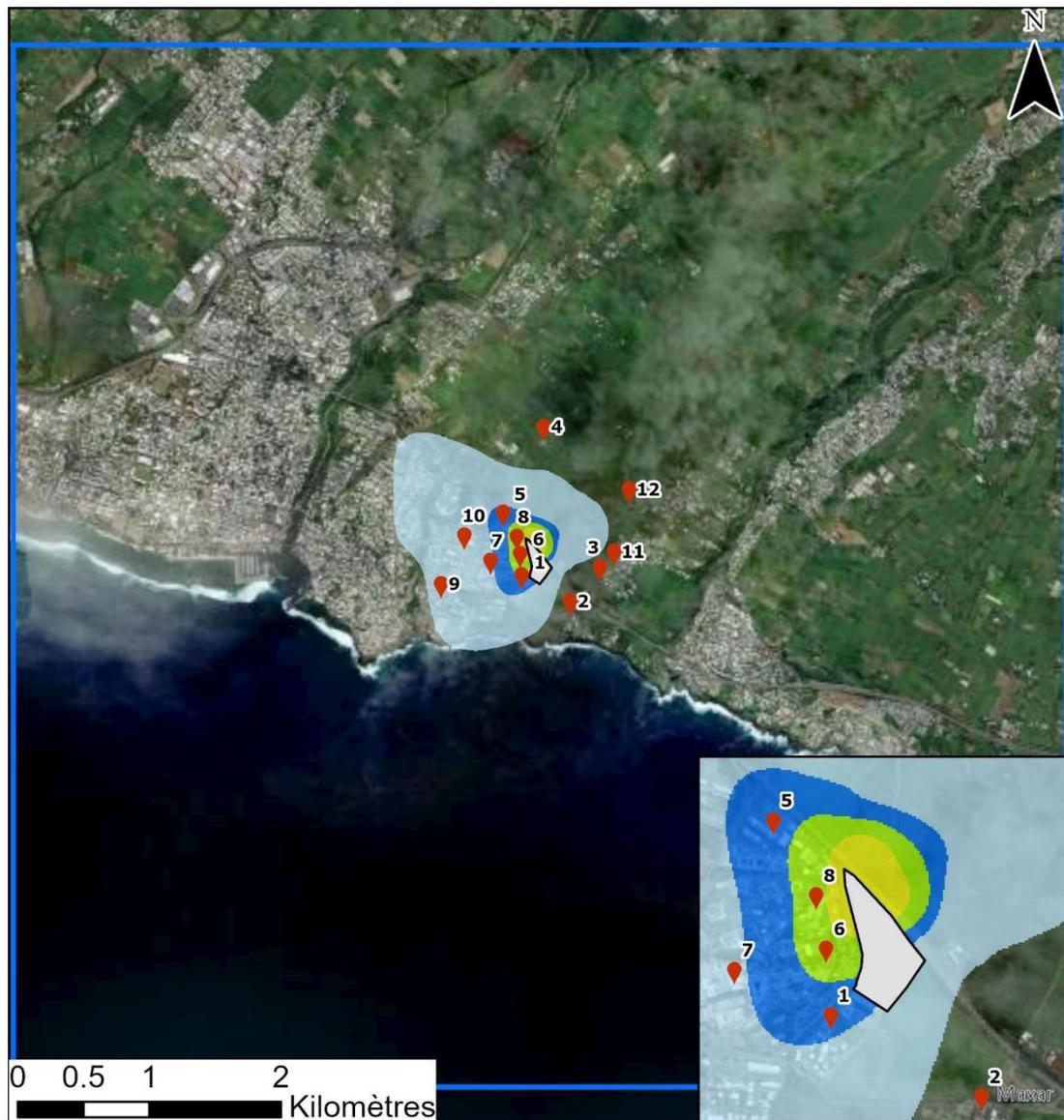


Légende

-  Points cibles
-  Site en projet
-  Points de concentration maximale en dehors du site



Figure 24 : carte de concentration en moyenne annuelle en diesel ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)



Légende

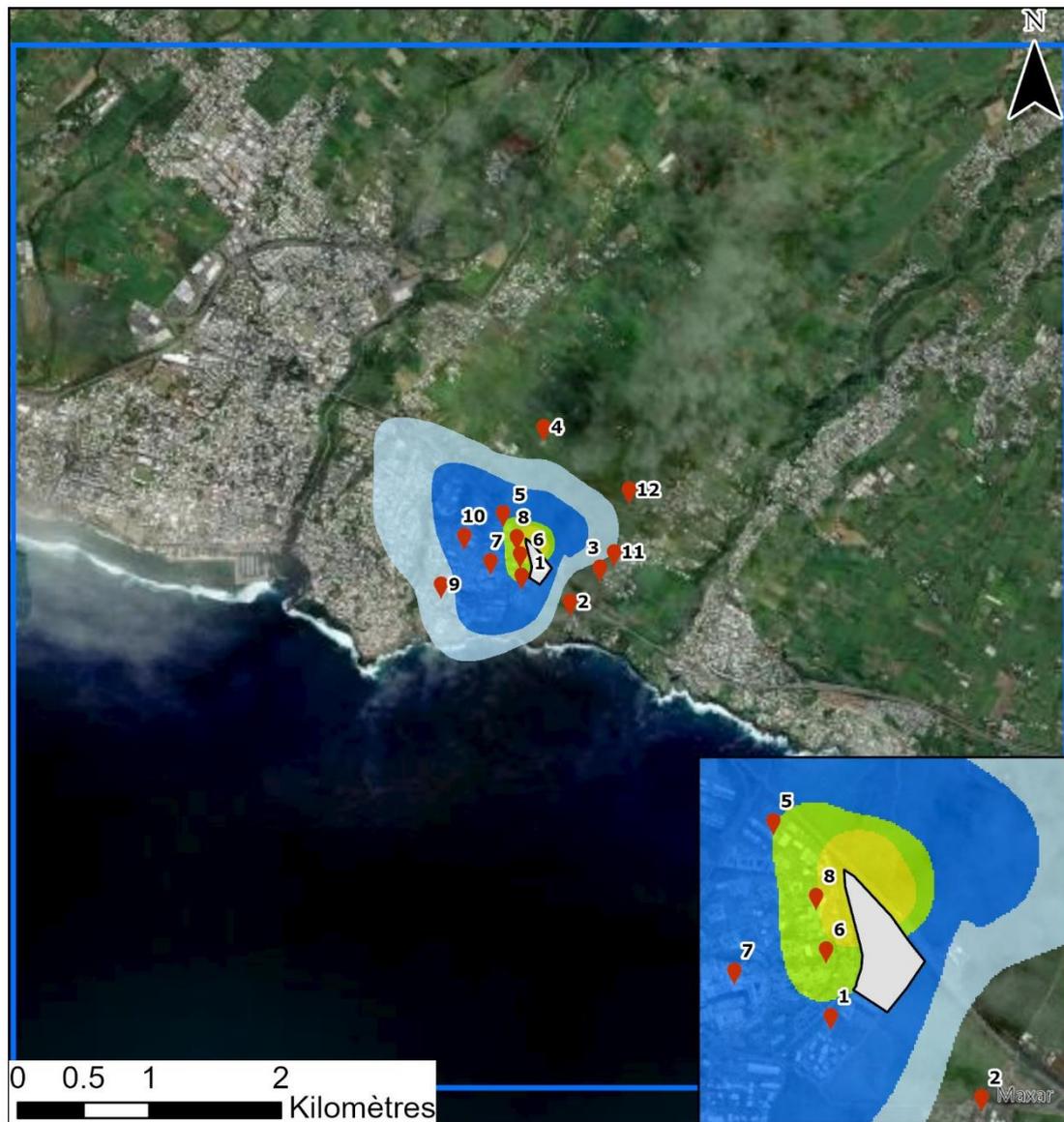
- Points cibles
- Site en projet
- Domaine

Concentration en diesel en moyenne annuelle ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)

- < 0.1
- 0.1 - 0.5
- 0.5 - 1
- 1 - 2
- > 2



Figure 25 : carte de concentration en moyenne annuelle en benzène ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)



Légende

-  Points cibles
-  Site en projet
-  Domaine

Concentration en benzène en moyenne annuelle ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)

-  < 0.0005
-  $0.0005 - 0.001$
-  $0.001 - 0.005$
-  $0.005 - 0.01$
-  > 0.01



6.2 EVALUATION DE L'EXPOSITION HUMAINE

L'étude de dispersion (cf. paragraphe 6) a permis d'estimer les concentrations dans l'air imputables au site. Ces résultats serviront dans le cadre de cette étude pour estimer les expositions des populations vivant autour du site.

6.2.1 Voies d'exposition

Compte tenu des rejets des installations du site, des usages et des populations avoisinantes, la voie d'exposition retenue est l'inhalation (cf. paragraphe 4).

L'évaluation de l'exposition humaine est réalisée pour deux scénarios : un scénario d'exposition appelé scénario Habitant « Majorant » et un scénario Travailleur « Majorant ».

L'étude porte sur des expositions chroniques, c'est-à-dire des expositions récurrentes ou continues pendant plusieurs années. Par conséquent, **la durée de résidence choisie est de 30 ans**, ce qui correspond au 90^{ème} percentile des durées de résidence en France (Nedellec¹⁴ 1998), sans changer d'adresse. Cette durée de résidence est préconisée par l'INERIS et par l'observatoire des pratiques de l'évaluation des risques sanitaires dans les études d'impact¹⁵. Il peut exister des variations locales à ce chiffre. Par ailleurs, ce chiffre ne rend pas compte des personnes qui déménagent dans la même commune et qui restent donc exposées.

En l'absence de données sur le temps passé par les populations sur le domaine d'étude et en dehors du domaine d'étude, et en l'absence aussi de données sur les concentrations d'exposition des personnes pendant le temps passé en dehors du domaine d'étude, il est posé l'hypothèse majorante que pour le scénario Habitant « Majorant », les populations séjournent **24 heures sur 24, 7 jours sur 7 et 365 jours par an** sur le domaine d'étude. Concernant le scénario Travailleur « Majorant », il a été considéré que le travailleur adulte reste sur son lieu de travail **10 heures par jour, 5 jours sur 7 et 200 jours par an**.

Tableau 24 : récapitulatif du scénario retenu

Scénario retenu	Typologie	Temps d'exposition	Voies d'exposition
Travailleur majorant	Entreprise la plus exposée (point n°8)	2000 h (10jours par jours x 200 j/an)	Inhalation
	Zone habitée la plus exposée (point n°1)	6760 h/an (le reste du temps)	
Habitant majorant	Zone habitée la plus exposée (point n°1)	8 760 h/an (toute l'année)	

A noter que le scénario Travailleur Majorant peut également être assimilé à un scénario Patient CHU Majorant (le patient étant considéré comme passant 2000 h par an au CHU, scénario très majorant).

¹⁴ Nedellec V., D. Courgeau et P. Empereur-Bissonnet, La durée de résidence des français et l'évaluation des risques liés aux sols pollués, *Energie Santé*, 9, 503-515, 1998.

¹⁵ http://www.sante.gouv.fr/htm/dossiers/etud_impact/index.htm

Le Tableau 25 rappelle les valeurs de concentrations retenues pour le scénario d'exposition, valeurs qui seront utilisées pour le calcul des doses d'exposition par inhalation.

Tableau 25 : concentrations retenues pour les scénarios d'exposition retenus

Concentrations en moyenne annuelle (exposition chronique par inhalation)					
		SCENARIO HABITANT MAJORANT		SCENARIO TRAVAILLEUR MAJORANT	
Benzène	µg/m ³	3.8E-03	Point 1	1.7E-02	Point 8
Diesel	µg/m ³	6.2E-01	Point 1	2.8E+00	Point 8
Oxyde de tert-butyle et de méthyle	µg/m ³	5.8E-02	Point 1	2.6E-01	Point 8
Acide tert-butylique	µg/m ³	2.8E-02	Point 1	1.3E-01	Point 8

6.2.2 Exposition par inhalation

6.2.2.1 Calcul des concentrations moyennes inhalées

Pour une exposition par inhalation, la dose d'exposition par inhalation correspond à la concentration moyenne inhalée (CI) et est calculée de la manière suivante :

$$CI = \frac{\sum Ci \times ti}{T}$$

Avec :

CI : concentration moyenne inhalée (µg/m³)

Ci : concentration de polluant dans l'air au lieu i (µg/m³)

ti/T : Fraction du temps d'exposition à la concentration Ci

Pour les populations résidentes et les enfants, en l'absence de données sur le temps passé par les enfants et les résidents sur la zone d'étude et en dehors, et en l'absence aussi de données sur les concentrations d'exposition des personnes pendant le temps passé en dehors du domaine d'étude, il est posé l'hypothèse majorante que les enfants et les résidents séjournent **24 heures sur 24, 7 jours sur 7 et 365 jours par an** sur la zone d'étude (ti/T=1). Il n'est pas tenu compte de la protection apportée par les habitations vis-à-vis de l'exposition.

Le Tableau 26 présente les concentrations moyennes inhalées (CI) calculées pour le scénario d'exposition retenu.

Tableau 26 : concentrations moyennes inhalées (CI)

Substance	Unité	SCENARIO HABITANT MAJORANT	SCENARIO TRAVAILLEUR MAJORANT
Benzène	µg/m ³	3.8E-03	6.9E-03
Diesel	µg/m ³	6.2E-01	1.1E+00
Oxyde de tert-butyle et de méthyle	µg/m ³	5.8E-02	1.0E-01
Acide tert-butylique	µg/m ³	2.8E-02	5.0E-02

6.3 CARACTERISATION DES RISQUES

La caractérisation des risques est la dernière étape de la démarche d'évaluation des risques sanitaires. Elle consiste à confronter les concentrations ou doses auxquelles les populations sont exposées et les valeurs toxicologiques de référence retenues.

6.3.1 Méthodologie

La caractérisation des risques étant établie à partir des valeurs toxicologiques de référence, elle se distingue, de la même façon que les VTR pour les composés à effet à seuil et pour les composés à effet sans seuil.

6.3.1.1 Substances à effets à seuil

Pour les polluants à seuil (atteinte d'un organe ou d'un système d'organes), il s'agit de calculer les quotients de danger (QD) qui sont le rapport entre les concentrations (CI : Concentration moyenne Inhalée) attendues dans l'environnement et la Valeur Toxicologique de Référence (VTR) (Concentration ou Dose de Référence).

Le quotient de danger est donc le suivant :

$$QD = \frac{\text{Inhalation } CI}{VTR_{AS,inh}}$$

où : QD : Quotient de danger

CI : Concentration moyenne inhalée (en $\mu\text{g}/\text{m}^3$)

$VTR_{AS,ing}$: Valeur Toxicologique de Référence à seuil par inhalation (en $\mu\text{g}/\text{m}^3$)

En termes d'interprétation, lorsque ce quotient est inférieur à 1, la survenue d'effet toxique apparaît peu probable même pour les populations sensibles. Au-delà de 1, la possibilité d'apparition d'effets ne peut être exclue.

6.3.1.2 Substances à effets sans seuil

Pour les polluants cancérigènes génotoxiques et donc considérés sans seuil d'effet, le risque représente la probabilité de survenue d'effets nocifs chez un individu.

L'excès de risque individuel (ERI) est calculé en multipliant l'excès de risque unitaire (ERU) vie entière (conventionnellement 70 ans) par la concentration atmosphérique inhalée (CI) pour l'inhalation.

L'Excès de Risque Individuel est donc le suivant :

$$ERI = \sum CI_i \times \frac{T_i}{T_m} \times VTR_{SS,inh}$$

où : ERI : Excès de Risque Individuel

$VTR_{SS}=ERU$: Excès de Risque Unitaire par inhalation (ERU_i en $(\mu\text{g}/\text{m}^3)^{-1}$). L'ERU correspond à la probabilité supplémentaire de survenue de cancer dans une population exposée à $1 \mu\text{g}/\text{m}^3$ par rapport à la probabilité de cancer dans une population non exposée.

CI_i : Concentration inhalée pour la période d'exposition i (en $\mu\text{g}/\text{m}^3$)

T_i : durée de la période d'exposition i (années)

En termes d'interprétation, l'ERI représente la probabilité supplémentaire de survenue d'un effet néfaste chez un individu exposé pendant toute sa vie aux concentrations/doses du composé cancérigène, par rapport à un sujet non exposé.

Le niveau de risque cancérigène peut être comparé au risque de 1 pour 100 000 (ou 10^{-5}), niveau repère, qualifié « d'acceptable », par différentes instances internationales.

6.3.1.3 Critères d'acceptabilité

Pour apprécier les résultats de la caractérisation des risques, les indicateurs de risque de chaque substance sont comparés, conformément à la circulaire du 9 août 2013 et au guide de l'INERIS 2021, aux valeurs repères suivantes :

- les QD ne doivent pas dépasser 1 ;
- les ERI ne doivent pas dépasser 10^{-5} .

Ces valeurs repères (ou critères d'acceptabilité) sont utilisées par l'évaluateur pour distinguer les risques jugés « non préoccupants » des risques jugés « préoccupants » du point de vue de la santé des populations exposées.

6.3.1.4 Risque global

Pour tenir compte de l'exposition conjointe à plusieurs composés (exposition combinée), il est possible d'estimer le risque sanitaire global en additionnant les risques (QD ou ERI) pour tous les traceurs de risque.

Toutefois, les critères d'acceptabilité fixés par la circulaire du 9 août 2013 et repris dans le guide INERIS 2021 s'appliquent aux résultats substance par substance, sans additionner les QD et les ERI.

6.3.2 Evaluation des risques sanitaires pour les substances à seuil

Le Tableau 27 présente les Quotients de Danger (QD) calculés pour les traceurs du risque à partir des Concentrations inhalées (CI) pour le scénario Habitant Majorant et le scénario Travailleur Majorant et des Valeurs Toxicologiques de Référence (VTR) retenues. Les QD sont classés par ordre décroissant afin de hiérarchiser les substances.

Tableau 27 : quotients de danger pour les traceurs du risque à seuil par inhalation

Substance	Voie d'exposition	VTR $\mu\text{g}/\text{m}^3$	SCENARIO HABITANT MAJORANT				SCENARIO TRAVAILLEUR MAJORANT	
			Dose (CI)		Quotient de danger (QD)		Dose (CI)	Quotient de danger (QD)
			Enfant	Adulte	Enfant	Adulte	Adulte	Adulte
Diesel	Inhalation	20	6.20E-01		3.10E-02		1.10E+00	5.60E-02
Benzène	Inhalation	10	3.80E-03		3.80E-04		6.90E-03	6.90E-04
Oxyde de tert-butyle et de méthyle	Inhalation	3605.335	5.80E-02		1.60E-05		1.00E-01	2.90E-05
Acide tert-butylrique	Inhalation	2100	2.80E-02		1.30E-05		5.00E-02	2.40E-05

Pour tous les traceurs de risque à seuil, pour une exposition par inhalation, le quotient de danger est inférieur à la valeur repère égale à 1. Le diesel présente le quotient de danger le plus élevé avec une valeur de 0,056 pour le scénario travailleur majorant.

Les risques liés aux substances à effets à seuil induits par les rejets atmosphériques du projet peuvent être jugés « non préoccupants » selon les critères d'acceptabilité.

6.3.3 Evaluation des risques sanitaires pour les substances sans seuil

Concernant les risques par inhalation, le Tableau 28 présente les Excès de Risque Individuel (ERI) calculés pour les traceurs du risque à partir des Concentrations inhalées (CI) **pour les scénarios retenus** et des Valeurs Toxicologiques de Référence (VTR) retenues. Les ERI sont classés par ordre décroissant afin de hiérarchiser les substances.

Tableau 28 : excès de risque individuel pour les traceurs du risque sans seuil par inhalation

Substances	Voie d'exposition	VTR ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	SCENARIO HABITANT MAJORANT		SCENARIO TRAVAILLEUR MAJORANT	
			Dose d'exposition (CI)	Excès de Risque Individuel (ERI)	Dose d'exposition (CI)	Excès de Risque Individuel (ERI)
Benzène	Inhalation	$2,6 \cdot 10^{-5}$	1.6E-03	4.3E-08	6.9E-03	1.8E-07
Oxyde de tert-butyle et de méthyle	Inhalation	$2,6 \cdot 10^{-7}$	5.8E-02	1.5E-08	1.0E-01	2.7E-08
ERI Global				5.8E-08		2.1E-07

Pour tous les traceurs de risque sans seuil, pour une exposition par inhalation, l'Excès de Risque Individuel est inférieur à la valeur repère égale à $1 \cdot 10^{-5}$ pour les deux scénarios. Le benzène présente l'Excès de Risque Individuel le plus élevé par inhalation avec une valeur de $1,8 \cdot 10^{-7}$.

Les Excès de Risque Individuel calculés par substance sont tous inférieurs à la valeur repère égale à $1 \cdot 10^{-5}$. Pour la voie d'exposition par inhalation étudiée, le benzène présente l'Excès de Risque Individuel le plus élevé avec une valeur de $1,8 \cdot 10^{-7}$.

Les risques liés aux substances sans effets à seuil induits par les rejets atmosphériques du projet peuvent être jugés « non préoccupants » selon les critères d'acceptabilité.

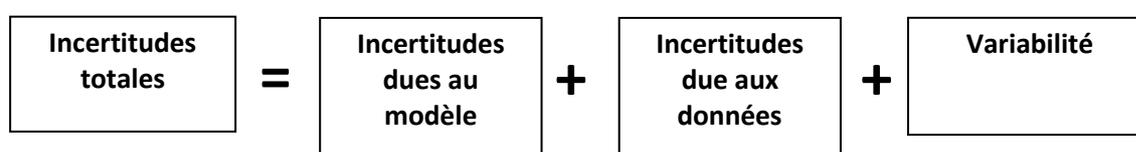
6.4 INCERTITUDES

Ce chapitre a pour objectif d'inventorier les incertitudes liées à la démarche d'évaluation des risques sanitaires ou aux hypothèses retenues dans les différentes étapes.

Les incertitudes sont classées en fonction de l'influence qu'elles peuvent avoir sur les résultats d'évaluation des risques sanitaires, chaque fois que cette précision peut être apportée.

6.4.1 Incertitudes relatives à la modélisation atmosphérique

Les incertitudes liées à la modélisation de pollution de l'air ont été définies (Morgan M.G, 1990) comme étant le cumul, au prorata de leurs contributions, des incertitudes des différentes données nécessaires au fonctionnement du modèle et au modèle lui-même. Ces incertitudes peuvent être résumées par l'équation ci-dessous :



Pour d'autres auteurs, elles ont pour origine trois sources majeures (Hanna, 2004) en ce qui concerne la modélisation de la qualité de l'air :

- La variabilité des résultats due aux fluctuations naturelles de la concentration dans l'atmosphère (turbulence aléatoire). Ce type d'incertitude sera présent dans n'importe quel modèle prenant en compte des phénomènes météorologiques ;
- Les erreurs sur les données d'entrées : émissions, données sur les instruments de mesures ou manque de représentativité des instruments de mesures par exemple ;
- Les erreurs dues à la représentation de la physique dans les modèles soit dues à des erreurs de formulation soit dues à des incertitudes dans les paramètres utilisés dans les formulations.

6.4.1.1 Incertitudes liées au modèle : validation du modèle ARIA IMPACT

Afin de déterminer les incertitudes sur le modèle ARIA Impact, diverses comparaisons avec des campagnes de mesures ont été effectuées :

- Etude RECORD (Perkins, 2005) concernant l'application de plusieurs modèles gaussiens sur deux campagnes de mesures internationales : la campagne « Prairy Grass », représentative d'un rejet au sol en milieu rural et la campagne « Indianapolis » relative à un rejet de cheminée en milieu urbain. Les résultats de cette étude sont disponibles à l'adresse web suivante http://www.record-net.org/record/synthPDF/Synth_record03-0805_2A.pdf. Les résultats de cette étude montrent qu'en milieu rural et pour un rejet au sol, ARIA Impact a tendance à sous-estimer légèrement (17%) les mesures avec un coefficient de corrélation aux mesures tout à fait acceptable. En milieu urbain, ARIA Impact a tendance à surestimer les concentrations (1%) mesurées avec un coefficient de corrélation moins performant (0.37) mais correspondant à la meilleure corrélation obtenue parmi des modèles testés ;
- Etude ARIA Technologies pour le SPPPI Dunkerque concernant l'application du modèle ARIA Impact à l'ensemble de la zone industrielle de Dunkerque pour les rejets de SO₂. Les

comparaisons aux capteurs du réseau OPAL'AIR ont montré un ratio modèle/mesures pour la concentration de 0.95 en moyenne ;

- Etude AFSSA des retombées en dioxines et PCB à proximité de plusieurs incinérateurs français basée sur une comparaison des dépôts calculés par ARIA Impact avec une campagne de mesures terrain. Les résultats ont été estimés satisfaisants ;
- Comparaison des résultats de déposition obtenus par le modèle ARIA Impact autour d'une installation industrielle émettant du fluor en prenant en compte des rejets canalisés et surfaciques. Le ratio modèle/mesures obtenu est de 84%.

ARIA Impact a obtenu de bonnes performances dans le cadre de plusieurs campagnes de mesures in situ, ce qui est un gage de qualité.

6.4.1.2 Incertitudes liées aux données d'entrée

Les données d'entrées du modèle sont de trois natures :

- Les émissions ;
- La météorologie ;
- Les paramètres du modèle choisis.

6.4.1.2.1 Incertitudes liées aux émissions

La concentration calculée par le modèle à une échéance donnée est directement proportionnelle aux flux émis par l'installation pour chaque polluant. Les approximations faites au niveau des émissions ont donc un impact direct sur les concentrations et dépôts calculés.

6.4.1.2.2 Incertitudes liées aux mesures météorologiques

Les données météorologiques sont issues de la station Météo-France de Pierrefonds située à l'ouest du site.

L'incertitude la plus grande dans la fourniture des données météorologiques est l'incertitude sur la direction du vent qui est de +/- 5°. Ce manque de précision sur la direction de vent peut avoir pour incidence la surestimation des concentrations dans les 36 directions « mesurées » et une sous-estimation dans les zones entre deux données de direction « mesurées ».

Les précisions des mesures de vent d'un dixième m/s et celle de la température d'un dixième de degré Celsius sont largement suffisantes compte tenu de leur intervention dans les équations.

6.4.1.2.3 Incertitudes liées aux paramètres du modèle

Dans les modèles complexes prenant en compte de façon fine les géométries et ayant des paramétrisations fines des phénomènes physiques, l'incertitude liée au choix par l'utilisateur des paramètres du modèle, c'est-à-dire des options de calcul mais également de la génération du maillage de calcul peut être grande. Des études ont montré qu'à données identiques, le même modèle mis en œuvre par deux équipes différentes pouvait conduire à des résultats présentant des écarts importants.

Concernant les paramètres liés aux polluants (vitesse de dépôt, coefficient de lessivage, type particulaire ou non), ces paramètres sont issus de l'état de l'art actuel des connaissances.

6.4.1.3 Incertitudes liées à la variabilité

Les phénomènes de turbulence de micro-échelle peuvent induire des fluctuations importantes des concentrations et des paramètres météorologiques. Le modèle ARIA Impact ne permet pas aujourd'hui de quantifier les fluctuations de concentrations autour de la concentration moyenne calculée. Ce type de calcul est possible avec des modèles plus sophistiqués. .

6.4.2 Incertitudes relatives à l'évaluation des risques sanitaires

6.4.2.1 Facteurs de sous-estimation des risques

Facteurs pris en compte dans l'ERS

L'évaluation des risques sanitaires ne porte que sur les substances rejetées dans l'atmosphère par les installations retenues et considérées comme traceurs de risque dans cette étude.

Exposition par voie cutanée non considérée

Il n'existe pas de VTR spécifique à cette voie d'exposition. De plus, la transposition à partir des VTR pour les voies respiratoire et orale n'est pas recommandée (note d'information DGS/EA1/DGPR/2014/307 du 31 octobre 2014). Cette sous-estimation n'a pas forcément d'impact sur les résultats d'évaluation des risques sanitaires, étant donné que l'absorption des polluants par voie cutanée est négligeable devant l'absorption par voies respiratoire et/ou digestive (surface d'échange plus importante et transferts facilités).

Exposition *via* l'ingestion d'eau

L'exposition *via* l'ingestion d'eau du robinet n'a pas été prise en compte dans l'étude. L'eau consommée à partir du robinet subit un traitement en usine d'eau potable qui lui confère une composition différente de celle de la ressource utilisée.

6.4.2.2 Facteurs de surestimation des risques

La méthodologie pour estimer les risques sanitaires potentiels emploie par nature les principes de précaution et sont par défaut conservatrices.

Emissions

Les quantités de polluants pris en compte dans la modélisation correspondent aux Valeurs Limites à l'Emission (VLE) et sont majorantes.

Durée d'exposition

En absence de données sur le temps d'exposition des personnes, il est pris l'hypothèse qu'elles séjournent sur leur lieu d'habitation en permanence (365 j/an, 24h/24) pendant toute la durée de vie du site égale à 30 ans. De plus, les personnes ne seront pas exposées en permanence car elles sont amenées à se déplacer pour des raisons personnelles (congés, loisirs) et professionnelles.

Zone d'exposition

En première approche, la zone d'exposition étudiée est la zone habitée la plus exposée aux émissions du site pour les risques par inhalation. De plus, il a été fait l'hypothèse que des personnes séjournent sur cette maille en permanence et mangent, comme produits locaux, des produits cultivés/élevés sur la maille cultivée où les dépôts sont les plus importants. **Cette hypothèse est très majorante (somme des cas les plus pénalisants) et n'est pas représentative d'une situation réelle.**

Pénétration des polluants dans les habitats

Il est posé l'hypothèse que les polluants ont un taux de pénétration dans les habitats de 100 %, ce qui est une hypothèse majorante pour les éléments traces.

6.4.2.3 Facteurs dont le sens d'influence sur les résultats n'est pas connu ou est variable

Constance des paramètres

Toutes les données utilisées (émissions, dispersion, transferts, exposition) sont supposées rester constantes pendant les années d'exposition futures étudiées.

Interactions des polluants

En absence de connaissances scientifiques suffisantes sur les interactions des polluants les uns par rapport aux autres et des conditions d'interactions en eux, il a été considéré que les polluants qui avaient la même cible organique et le même mécanisme d'action cumulaient leurs risques. En réalité, les polluants peuvent également avoir des effets antagonistes (dans ce cas nous aurions majoré les risques) ou synergiques (dans ce cas nous aurions minimisé les risques).

7 CONCLUSION

SUEZ Consulting a sollicité ARIA Technologies pour la réalisation d'une Evaluation des Risques Sanitaires (ERS) liée au projet d'une station-service à Saint-Pierre à La Réunion à proximité du centre hospitalier accueillant des populations sensibles.

Le présent document présente l'évaluation des risques sanitaires réalisée :

- en application de la circulaire DGPR & DGS du 9 août 2013 ;
- conformément au guide « Evaluation de l'état des milieux et des risques sanitaires – Démarche intégrée pour la gestion des émissions des substances chimiques par les installations classées » publié par l'INERIS en août 2013 et sa deuxième édition de 2021 (notamment Annexe 4 : Evaluation de l'état des milieux pour les études d'impact ICPE : identification et priorisation des mesures à réaliser) ;
- en tenant compte des recommandations du « référentiel pour la constitution d'un dossier de demande d'autorisation environnementale impliquant des installations classées en Hauts-de-France » publié par la Direction régionale de l'environnement, de l'aménagement et du logement Hauts-de-France en juillet 2018 ;
- sur la base des données disponibles au moment de la rédaction de la version 1 du présent document.

Compte tenu des rejets du site, des usages et des populations avoisinantes, les voies d'exposition retenues pour la population dans cette étude sont l'inhalation.

Les substances retenues comme traceurs de risques sont les suivantes :

- **Benzène,**
- **Diesel,**
- **Oxyde de tert-butyle et de méthyle,**
- **Alcool tert-butylique.**

L'évaluation de l'exposition humaine est réalisée pour deux scénarios d'exposition appelé scénario Habitant « Majorant » et scénario Travailleur « Majorant ».

Scénario retenu	Typologie	Temps d'exposition	Voies d'exposition
Travailleur majorant	Entreprise la plus exposée (point n°8)	2000 h (10jours par jours x 200 j/an)	Inhalation
	Zone habitée la plus exposée (point n°1)	6760 h/an (le reste du temps)	
Habitant majorant	Zone habitée la plus exposée (point n°1)	8 760 h/an (toute l'année)	

A noter que le scénario Travailleur Majorant peut également être assimilé à un scénario Patient CHU Majorant (le patient étant considéré comme passant 2000 h par an au CHU, scénario très majorant).

Une étude de dispersion a été réalisée afin d'estimer les concentrations dans l'air imputables au site en projet.

Le tableau suivant synthétise les risques sanitaires estimés :

	Scénario Habitant Majorant	Scénario Travailleur Majorant	Valeur repère
Risques à seuil	QDmax = 0,031 Pour le diesel	QDmax = 0,056 Pour le diesel	1
Risques sans seuil	ERImax = $4,3 \cdot 10^{-8}$ Pour le benzène	ERImax = $1,8 \cdot 10^{-7}$ Pour le benzène	$1 \cdot 10^{-5}$

Les risques sanitaires calculés pour les substances à seuil d'effet et pour les substances sans seuil d'effet (effets cancérogènes généralement) restent très inférieurs aux valeurs repères.

Conclusion

Compte tenu des hypothèses majorantes retenues, les risques sanitaires liés aux émissions atmosphériques du projet de station-service à Saint-Pierre, évalués en premier niveau d'approche, sont jugés non préoccupants en l'état actuel des connaissances.

ANNEXES

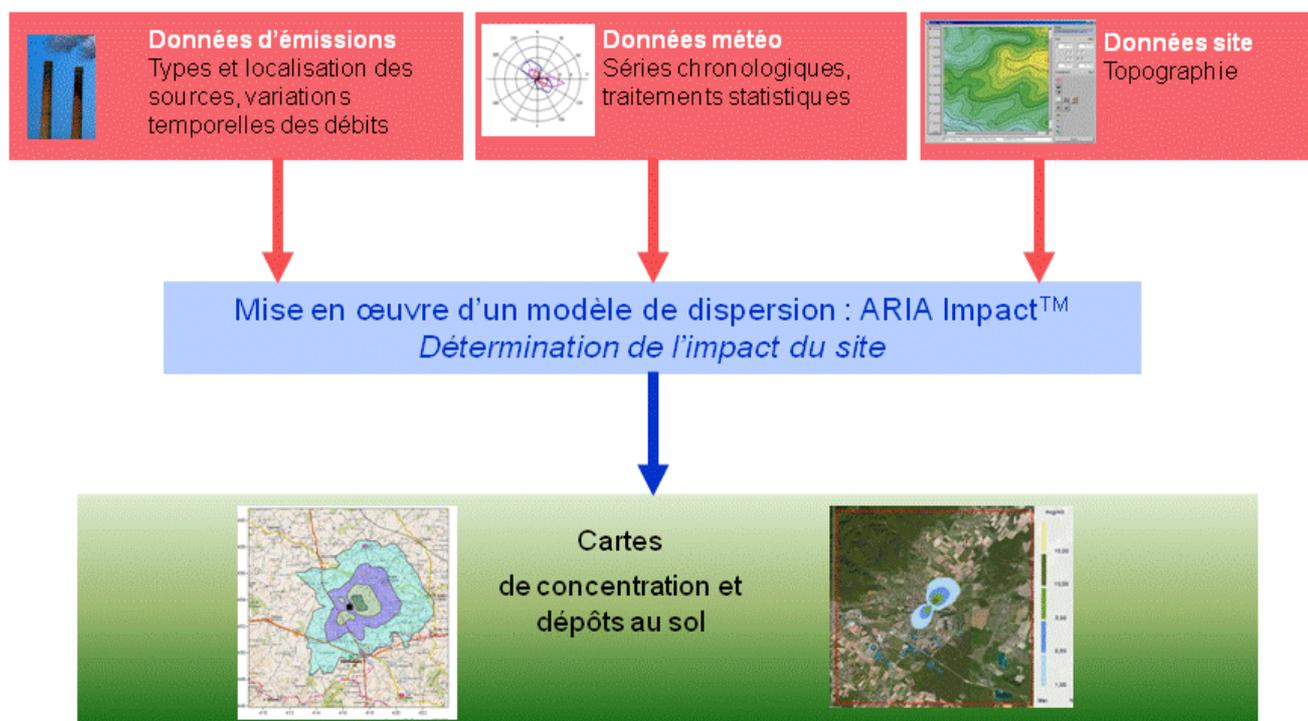
Annexe 1 : Description du modèle ARIA Impact

ARIA Impact™ est un modèle de type "gaussien", conforme aux recommandations de l'E.P.A.¹⁶. ARIA Impact **répond également aux prescriptions de l'INERIS** pour la modélisation de la dispersion de la pollution atmosphérique des rejets des installations industrielles (cf. Annexe 2 du Guide méthodologique INERIS : Evaluation des Risques Sanitaires liés aux substances chimiques dans l'Etude d'Impact des ICPE). C'est un logiciel de modélisation de la pollution atmosphérique qui permet de répondre à l'ensemble des éléments demandés par la législation française sur la qualité de l'air et européenne, et de fournir les éléments indispensables à :

- l'évaluation des risques sanitaires d'une installation industrielle (moyenne annuelle, centiles, dépôts),
- l'évaluation de l'impact olfactif (concentration d'odeurs, fréquences de dépassement de seuil),
- l'évaluation de l'impact sur la qualité de l'air d'un aménagement routier (moyenne annuelle, centiles).

ARIA Impact™ permet d'étudier **l'impact à long terme** d'une installation en reconstruisant l'impact statistique des émissions à partir d'une chronique météorologique réelle de plusieurs années. Cette approche donne, sur de longues périodes, des résultats cohérents avec les observations des réseaux de la surveillance de la qualité de l'air pour des distances supérieures à 100 mètres.

Le schéma ci-dessous présente la démarche qui est mise en œuvre dans les études d'impact :



¹⁶ Agence de l'environnement américain (Environment Protection Agency).

Fonctionnalités techniques

Logiciel multi-espèces et multi-sources

ARIA Impact™ permet de modéliser la dispersion de :

- de **polluants gazeux** (NO_x, SO₂...) : dispersion passive pure sans vitesse de chute ;
- de **polluants particulaires** (PM10, métaux lourds, dioxines...) : dispersion passive et prise en compte des effets gravitaires en fonction de la granulométrie. Les poussières sont représentées sur un nombre arbitraire de classes de taille : si la granulométrie des émissions est connue, des calculs détaillés peuvent être effectués.
- des **odeurs** : mélange de molécules odorantes dont la composition est inconnue, exprimée en unité d'odeur ;
- de **polluants radioactifs**.

Plusieurs types de sources et de polluants peuvent être pris en compte en même temps dans une même modélisation :

- Des **sources ponctuelles** industrielles (incinérateur, centrale thermique...),
- Des **sources diffuses** ou volumiques (atelier de peinture, carrières...),
- Des **sources linéiques** (trafic automobile).

Choix de la météorologie adaptée à la complexité de l'étude

Plusieurs types de modélisation sont possibles avec le logiciel ARIA Impact™ :

- **Modélisation pour une situation particulière** : il s'agit de modéliser la dispersion des polluants atmosphériques pour une situation météorologique fixée par l'utilisateur (modélisation pour une vitesse de vent et une direction de vent données). Ce mode de calcul peut être utilisé par exemple pour étudier un cas de dysfonctionnement associé à une situation météorologique défavorable, une phase de démarrage, ou encore pour comparer des scénarios d'émissions entre eux.
- **Modélisation statistique depuis une rose des vents** : il s'agit de modéliser la dispersion des polluants atmosphériques en prenant en compte les fréquences d'occurrence d'une rose des vents général. Il est alors possible de calculer des moyennes annuelles, le centile 100 ou des fréquences de dépassement de seuil. Ce mode de calcul est bien adapté pour les polluants gazeux et si la marche de production et d'émissions est constante sur l'année.
- **Modélisation statistique à partir d'une base météorologique complète** : il s'agit de modéliser la dispersion des polluants atmosphériques en prenant en compte une base complète de données météorologiques. Dans ce cas, un calcul académique est réalisé pour chaque échéance météorologique de la base de données. Il est alors possible de calculer des moyennes annuelles, des centiles (98, 99.5 etc...) ou des fréquences de dépassement de seuil. Les statistiques sont donc réalisées à partir de la modélisation de chaque séquence météorologique horaire sur plusieurs années (8760 situations météo sur une année) ce qui permet de bien tenir compte des variations diurnes et saisonnières des concentrations.

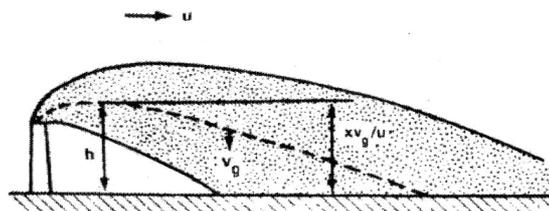
Variation temporelle des émissions

ARIA Impact™ permet de prendre en compte les variations temporelles des émissions. Les émissions peuvent varier en fonction de l'heure, du jour et du mois de l'année. Il est également possible d'intégrer

des périodes de fonctionnement particulières (arrêt technique, panne de fonctionnement du système de traitement des gaz...).

Dépôts au sol

ARIA Impact™ peut prendre en compte la chute de particules par effet gravitaire. Dans ce cas, la vitesse de chute est automatiquement calculée en fonction de la granulométrie et de la densité des particules, faisant varier l'axe d'inclinaison du panache. De plus, la vitesse de dépôt sec définie dans les caractéristiques des espèces permet de calculer les **dépôts secs**.



ARIA Impact™ permet également de prendre en compte le lessivage du panache par la pluie. Cette fonction permet de calculer les **dépôts humides** en plus des dépôts secs.

Dispersion par vents calmes

La prise en compte des vents calmes dans les calculs de dispersion implique l'utilisation d'un modèle plus performant (modèle 3D à bouffées gaussiennes). ARIA Impact™ intègre en standard un algorithme spécifique permettant de calculer l'impact des sources dans le cas de vents calmes, contrairement aux modèles gaussiens classiques.

Un vent est considéré calme lorsque la vitesse du vent est inférieure à 1 m/s.

Reconstitution de profils verticaux météorologiques

Dans le cas de cheminée, la surélévation du panache est calculée entre autres à partir de la vitesse du vent et de la température de l'air. Ces valeurs sont fournies dans la base de données météorologique. Cependant, ces données correspondent la plupart du temps à des mesures de station sol, c'est-à-dire qu'elles sont mesurées à environ 10 mètres du sol. Pourtant, les valeurs de vitesse de vent et de température observées au sommet de la cheminée peuvent varier de manière importante suivant la hauteur de celle-ci : par exemple, plus la cheminée est haute, plus la vitesse du vent est élevée au niveau du débouché.

Afin de prendre en compte cette variation de vitesse de vent dans les calculs de la dispersion des polluants atmosphériques, le logiciel ARIA Impact™ peut calculer des profils verticaux de vent en fonction des mesures de vent au sol, de la turbulence atmosphérique et de l'occupation des sols, afin de connaître la vitesse du vent au niveau du débouché de la cheminée.

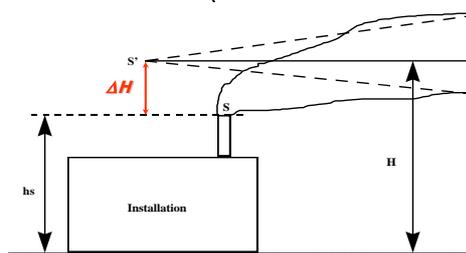
Prise en compte de la couche de mélange

ARIA Impact™ peut calculer la hauteur de couche de mélange à partir des données météorologiques horaires disponibles. Cette hauteur de mélange est alors prise en compte dans le calcul de dispersion par réflexion des panaches sur la couche de mélange.

Surélévation de panache issu de cheminée

Dans le cas de cheminée, lorsque les rejets sont chauds ou que la vitesse d'éjection des fumées est importante, on peut prendre en compte une surélévation du panache. En effet, les fumées de combustion vont s'élever au-dessus de la cheminée jusqu'à ce que leur vitesse ascensionnelle initiale et les effets de différence de densité (dus à la différence de température air/fumées) ne soient plus significatifs. Tout se passe comme si l'émission des rejets se faisait à une hauteur réelle d'émission (hauteur de la cheminée) augmentée de la surhauteur due aux conditions d'éjection.

ARIA Impact™ prend en compte les effets de la surélévation des fumées de cheminée. Plusieurs formulations permettant de calculer la surélévation des fumées sont codées dans ARIA Impact afin d'adapter la formule la plus adéquate au cas d'étude (Formule de Holland, Formule de Briggs, Formule de Concawe...).



Conversion des NOx en NO et NO₂

Dans le cas de la modélisation des émissions liées au trafic automobile, ARIA Impact™ contient un algorithme simple permettant de calculer les concentrations en NO et NO₂ à partir des concentrations en NOx, à l'aide de la formule de conversion de Middleton.

Prise en compte simplifiée de la topographie

ARIA Impact™ permet de prendre en compte de manière simplifiée les topographies peu marquées. Un algorithme simple permettant de prendre en compte le relief, sans faire appel à des calculs de vents tridimensionnels, peut être activé dans le module de calcul. Cet algorithme permet de rapprocher du relief l'axe du panache pour des atmosphères stables.

Envois de poussières

ARIA Impact™ contient un module spécifique pour le calcul des envolées de poussières fines, dans le cas d'un **stockage de poussières exposé au vent**.

Cette option permet d'estimer la quantité de poussières émises par une source surfacique en fonction de la rafale de vent, puis de modéliser la dispersion de ces poussières. Il peut s'agir par exemple d'un tas de charbon dont, par vent fort, les poussières fines vont s'envoler. Le calcul de la quantité émise de poussières passe par l'estimation du potentiel d'érosion du stockage, puis des facteurs d'émission fonction de la rafale de vent.

Résultats

Grandeurs calculées

ARIA Impact™ permet de calculer les grandeurs suivantes :

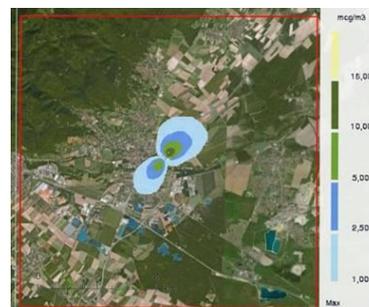
- **moyennes mensuelles et/ou annuelles** de polluant autour du site, en concentrations et dépôts au sol,
- **fréquences de dépassement de seuils** en moyennes journalières ou horaires (normes françaises et européennes),
- **centiles 98, 99.8, 100** ou autres valeurs de centiles sur une base de calcul prédéfinie (horaire, journalière, 8 heures...).

Les résultats de concentrations peuvent être exprimés en $\mu\text{g}/\text{m}^3$, ng/m^3 , pg/m^3 ou fg/m^3 pour les polluants classiques, en uo/m^3 pour les odeurs et en Bq/m^3 pour les polluants radioactifs.

Cartographies

Les résultats obtenus avec ARIA Impact™ peuvent être présentés sous forme cartographique au format image, mais aussi en des formats numériques **compatibles** avec la plupart des **Systèmes d'Informations Géographiques** tels que Mapinfo, ArcView ou SURFER.

Un export des résultats vers **Google Earth** permet également de visualiser les résultats sur une photo aérienne directement avec le logiciel Google Earth.



Validation du logiciel ARIA Impact™

L'association RECORD (Recherche coopérative sur les déchets et l'environnement) a demandé à l'Ecole Centrale de Lyon une étude sur les logiciels de modélisation utilisés dans le cadre des études d'impact air pour des industriels. Dans le cadre de cette étude, des comparaisons du modèle ARIA Impact™ ont été réalisées sur les cas-tests de l'outil européen d'évaluation « Model Validation kit ». Cet outil est utilisé pour évaluer les modèles de dispersion atmosphérique. Il s'agit d'une série de cas-tests intégrant des jeux de mesures de terrain qui sont largement référencés dans la validation des modèles. L'évaluation des modèles sur des cas-tests consiste à comparer les résultats d'un modèle à des mesures de terrain représentatives de situations simples. La synthèse du rapport rédigé par l'Ecole Centrale de Lyon est téléchargeable sur le site Internet de l'association RECORD¹⁷.

Les résultats de cette étude ont montré que la moyenne des concentrations modélisées sur toutes les expériences est proche de la moyenne des concentrations mesurées. D'autre part, le coefficient de corrélation de 0,6 et le pourcentage de résultats dans un facteur 2 par rapport aux mesures de l'ordre de 60% sont satisfaisants. Cette étude montre également qu'ARIA Impact™ a des résultats statistiques équivalents à ceux des autres logiciels de dispersion, dont les logiciels de référence de l'US-EPA AERMOD et ISCST3.

Le logiciel ARIA Impact™ a également fait l'objet de nombreuses comparaisons mesures/calculs dans le cadre d'études spécifiques. Certaines d'entre elles sont reprises dans le dossier de validation du logiciel ARIA Impact™, disponible sur simple demande.

Limite du modèle

ARIA Impact™ **n'est pas applicable** dans les conditions suivantes :

- **lorsque la topographie est trop importante** (zones montagneuses, reliefs pouvant modifier la trajectoire des panaches) : ARIA Impact™ considère la trajectoire du panache rectiligne. Le module spécifique à la topographie ne permet pas au panache de contourner la montagne (il passe au-dessus), ce qui n'est pas le cas en particulier en cas d'atmosphère stable ;
- **lorsque la station météorologique n'est pas représentative de la climatologie du site** : la météorologie est considérée constante sur l'ensemble du domaine d'étude. Il n'y a pas de reconstitution 3D météorologique.

Les résultats du logiciel ARIA Impact™ ne sont pas interprétables à moins de 100 mètres des sources d'émissions.

¹⁷ Rapport : « Modélisation de la dispersion des émissions atmosphériques d'un site industriel – Vers un guide de l'utilisateur - Phase 1 : Etat de l'art, Phase 2 : Evaluation des modèles », R. PERKINS, 2005
<http://www.record-net.org/record/resultetudes.php>

Annexe 2 : Recensement des populations sensibles

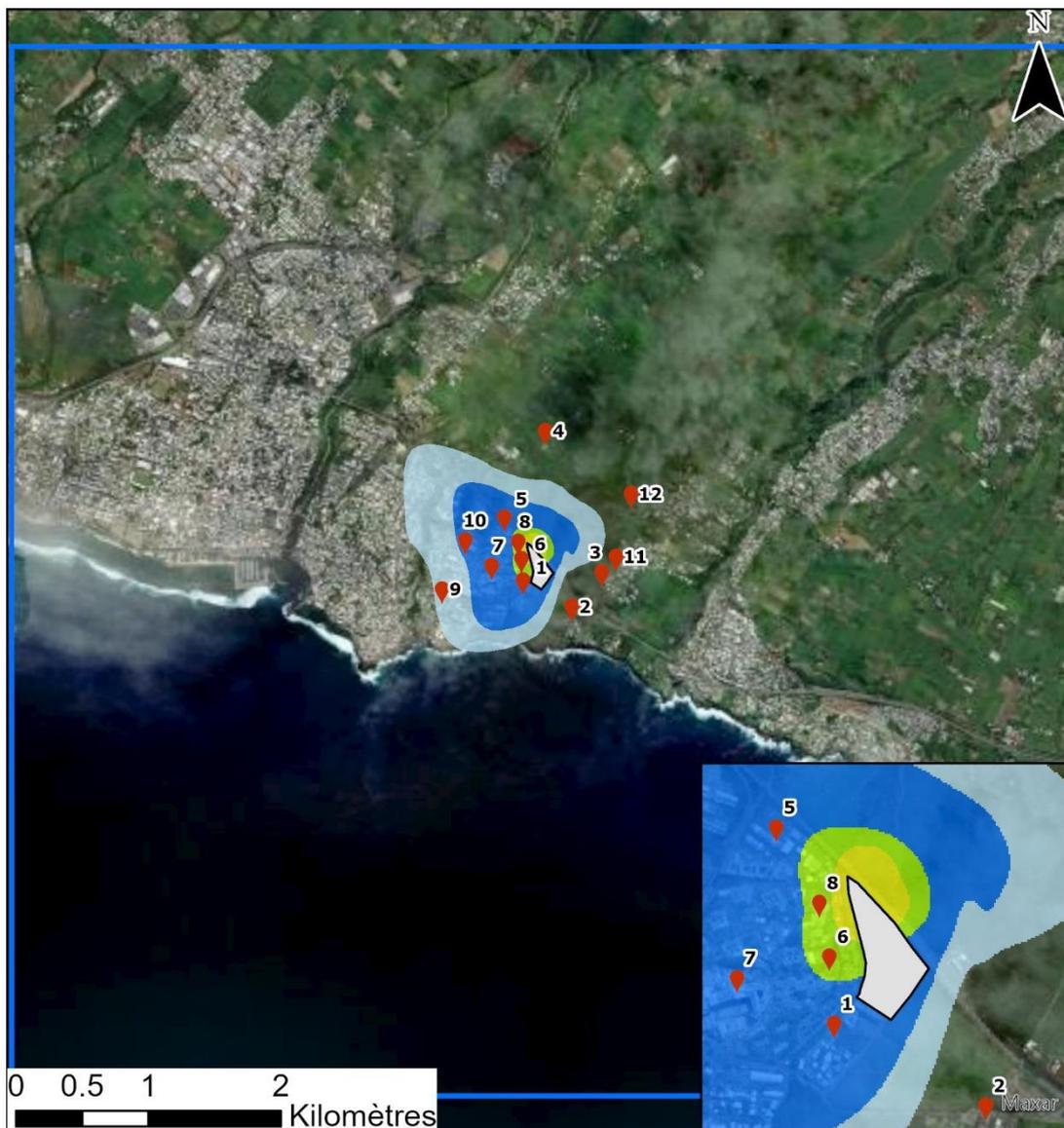
Type d'établissement	Nom de l'établissement
Crèches	Mini-Crèche Fleur de sel
	Crèche Mas Fleuri
	Micro-crèche Les P'Tits Poètes
Etablissements scolaires	Ecole maternelle Alice Péverelly
	Ecole maternelle Louise Michel
	Ecole maternelle publique Edith Piaf
	Ecole maternelle publique Francoise Dolto
	Ecole maternelle publique Héva
	Ecole maternelle publique Indira Gandhi
	Ecole maternelle publique Pierre Lagourgue
	Ecole primaire Albert Camus
	Ecole primaire privée Montessori Saint Pierre
	Ecole primaire privée My Sweety School
	Ecole primaire privée Saint Gabriel
	Ecole primaire publique Evariste de Parny
	Ecole primaire publique Georges Brassens
	Ecole primaire publique Jean Moulin
	Ecole primaire publique Michel Debré
	Ecole élémentaire Louis Pasteur
	Ecole élémentaire privée Notre-Dame de la Providence
	Ecole élémentaire publique Lislet Geoffroy
	Ecole élémentaire publique Alfred Isautier
	Ecole élémentaire publique Jacques Prevert
	Ecole élémentaire publique Jean Albany
	Ecole élémentaire publique Leconte De Lisle
	Ecole élémentaire Raymond Mondon
	Collège annexe Privé La Salle Saint-Charles
	Collège Emilien Adam de Villiers
	Collège les Tamarins
	Collège privé catholique La Salle Saint Charles
	Collège Terre Sainte
	Ecole secondaire privée Collège Montessori de Saint Pierre
	Lycée général et technologique Ambroise Vollard
	Lycée polyvalent privé La Salle Saint Charles
	Lycée professionnel François de Mahy
	Micro-Lycée Ose 974 du Lycée Ambroise Vollard
Section d'enseignement général et professionnel adapté du Collège Ligne des Bambous	
Section d'enseignement général et professionnel adapté du Collège de Terre Sainte	
Section d'enseignement professionnel privée catholique Saint Charles	
Etablissements sanitaires et sociaux	IMPRO GERNEZ RIEUX
	CHU SITE SUD (SAINT PIERRE)
	CENTRE (ST PIERRE/U1) - AURAR
	RELAIS FAMILIAL ALEFPA
	CHRS CHAU CIVIS
	S.A.V.S GERNEZ RIEUX

Type d'établissement	Nom de l'établissement
	SSEFIS (ARPEDA)
	DITEP ANTOINE LUCAS
	S.A.V.S. (ARPEDA ST PIERRE)
	UDM-UAD (ST PIERRE/U2) - AURAR
	RESIDENCE SAINT-PIERRE
	SAMSAH SUD (FPF)
	SERV. MJPM (SAINT-PIERRE)
	SERV. MJPM (SAINT-PIERRE)
	CHU-PSY - RUE STE ROSE (ST PIERRE)
	CHU-PSY -ALL DES AUBEPINES (ST PIERRE)
	CHU-PSY - ALL DES RAMEAUX (ST PIERRE)
	CHU-PSY - ALLEE DES POETES (ST PIERRE)
	FOYER DEPARTEMENTAL DE L'ENFANCE
	M.E.C.S. FOYER 150
	CENTRE D'ACTION EDUCATIVE
	EHPA FOYER DU SACRE COEUR
	SSIAD ST-PIERRE (CIAS-CIVIS)
	FAM LES CYTISES
	CHRS LE LOGIS
	C.H.R.S. LISETTE SON HUI
Equipements sportifs extérieurs	Gymnase Gaston Richardson - Piste d'athlétisme isolée
	Gymnase Gaston Richardson - Terrain de pétanque
	Gymnase Gaston Richardson - Terrain de pétanque
	Base Nautique Municipale - Point d'embarquement et de débarquement isolé
	Terrain Synthétique Ravine des Cafres - Terrain de football
	Terrain Synthétique 2 - Terrain de football
	Joli Fond - Terrain de football
	Plage de Terre Sainte - Baignade aménagée
	Plage de Terre Sainte - Site de plongée
	Port de Plaisance Lislet Geoffroy - Port de plaisance
	Jetée du Port de Saint Pierre - Site de plongée
	Jetée du Port de Saint Pierre - Site d'activités aquatiques et nautiques
	Lycee la Salle Saint Charles - Piste d'athlétisme isolée
	Lycee la Salle Saint Charles - Terrain de volley-ball
	Lycee la Salle Saint Charles - Plateau EPS/Multisports/city-stades
	Lycee la Salle Saint Charles - Terrain de volley-ball
	Lycee la Salle Saint Charles - Structure Artificielle d'Escalade
	Lycee la Salle Saint Charles - Terrain de volley-ball
	Lycee la Salle Saint Charles - Terrain de volley-ball
	Lycee la Salle Saint Charles - Plateau EPS/Multisports/city-stades
	Lycee la Salle Saint Charles - Terrain de volley-ball
	Lycee la Salle Saint Charles - Terrain de volley-ball
	Lycee la Salle Saint Charles - Terrain de volley-ball
	Collège Les Tamarins - Plateau EPS/Multisports/city-stades
	Collège Les Tamarins - Plateau EPS/Multisports/city-stades

Type d'établissement	Nom de l'établissement
	Ecole Primaire Lislet Geoffroy - Terrain de basket-ball
	Ecole Jean Albany / Edith Piaf - Plateau EPS/Multisports/city-stades
	Promenade des Alizes - Terrain de handball
	Promenade des Alizes - Terrain de pétanque
	Box des Pecheurs - Terrain de handball
	Stade des Casernes - Terrain de football
	Ecole Georges Brassens - Terrain de football
	Stade Synthétique de Bellevue - Terrain de football
	Ecole Jacques Prevert - Plateau EPS/Multisports/city-stades
	Base Nautique de Saint Pierre - Site d'activités aquatiques et nautiques
	Base Nautique de Saint Pierre - Site d'activités aquatiques et nautiques
	Base Nautique de Saint Pierre - Site d'activités aquatiques et nautiques
	Complexe de Casabonna - Mur de tennis
	Complexe de Casabonna - Terrain de football
	Complexe de Casabonna - Court de tennis
	Complexe de Casabonna - Plateau EPS/Multisports/city-stades
	Complexe de Casabonna - Plateau EPS/Multisports/city-stades
	Complexe de Casabonna - Bassin mixte de natation
	Complexe de Casabonna - Court de tennis
	Complexe de Casabonna - Court de tennis
	Complexe de Casabonna - Court de tennis
	Complexe de Terre Sainte Nelson Mandela - Court de tennis
	Complexe de Terre Sainte Nelson Mandela - Court de tennis
	Complexe de Terre Sainte Nelson Mandela - Terrain de football
	Complexe de Terre Sainte Nelson Mandela - Anneau de Roller
	Complexe de Terre Sainte Nelson Mandela - Plateau EPS/Multisports/city-stades
	Complexe de Terre Sainte Nelson Mandela - Plateau EPS/Multisports/city-stades
	Complexe de Terre Sainte Nelson Mandela - Terrain de pétanque
	Complexe de Terre Sainte Nelson Mandela - Plateau EPS/Multisports/city-stades
	Complexe de Terre Sainte Nelson Mandela - Terrain de football
	Complexe de Terre Sainte Nelson Mandela - Court de tennis
	Complexe de Terre Sainte Nelson Mandela - Court de tennis
	Plateau Ecole Raymond Mondon - Plateau EPS/Multisports/city-stades
	Plateau Ecole Raymond Mondon - Terrain de football
	Lycee Ambroise Vollard - Structure Artificielle d'Escalade
	Collège Adam de Villiers - Plateau EPS/Multisports/city-stades
	Collège Adam de Villiers - Salle de tennis de table
	Stade Ravine des Cafres - Terrain de football
	Plateaux Ecole Elémentaire Alfred Isautier - Terrain de basket-ball
	Ecole Louis Pasteur et Jean Moulin - Terrain de handball
	Ecole Louis Pasteur et Jean Moulin - Terrain de basket-ball
	Bassin Dix-Huit - Site de plongée
	Cap Dehors - Site de plongée
	Cap Dehors - Site de plongée
	Cap Dehors - Site de plongée

Type d'établissement	Nom de l'établissement
	Cap Dehors - Site de plongée
	Parcours Casabona - Parcours sportif/santé

Annexe 3 : Cartes de concentration en moyenne annuelle



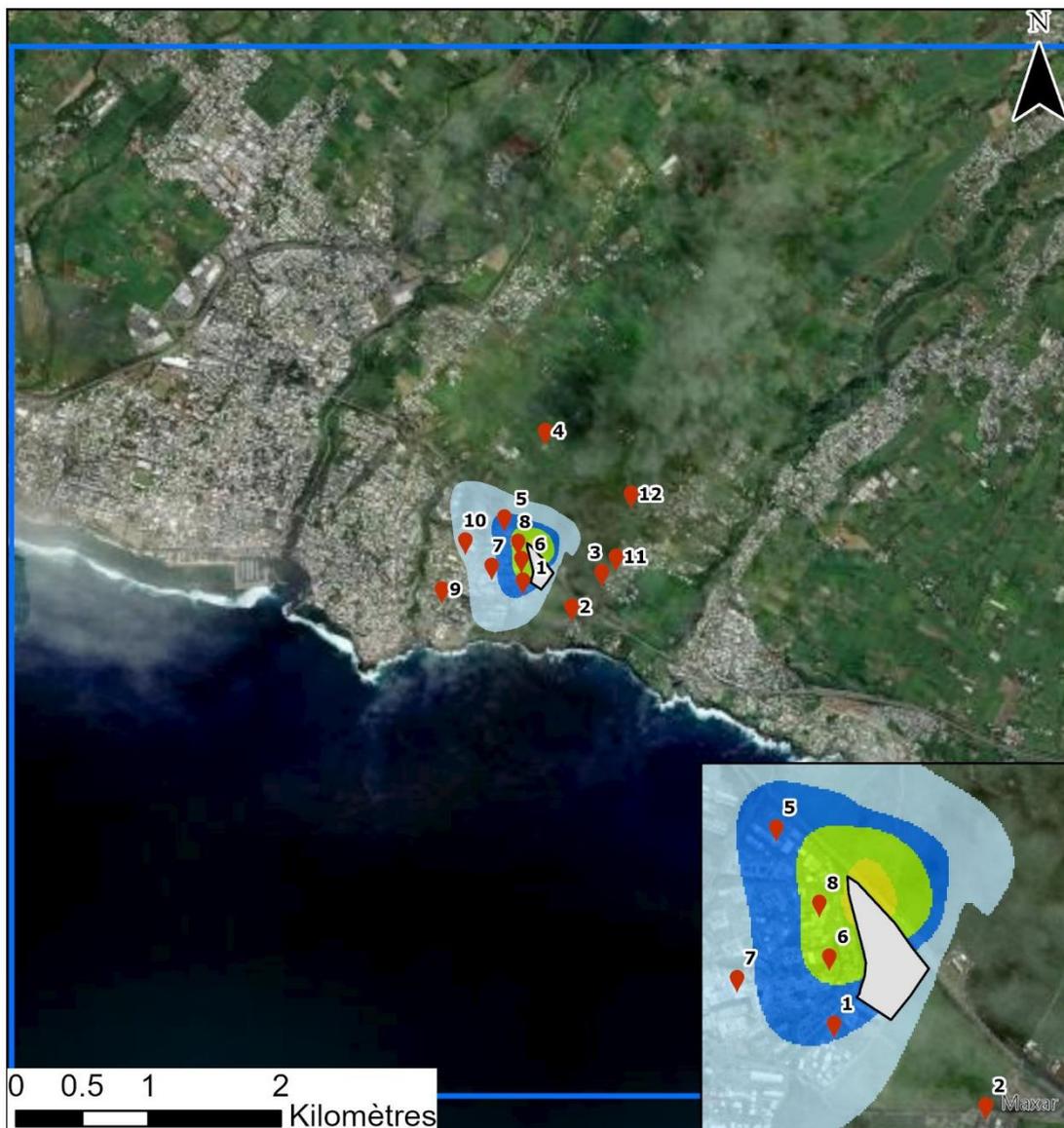
Légende

-  Points cibles
-  Site en projet
-  Domaine

Concentration en acide tert-butylque en moyenne annuelle ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)

-  < 0.005
-  0.005 - 0.01
-  0.01 - 0.05
-  0.05 - 0.1
-  > 0.1





Légende

-  Points cibles
-  Site en projet
-  Domaine

Concentration en oxyde de tert-butyle et de méthyle en moyenne annuelle ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)

-  < 0.02
-  0.02 - 0.05
-  0.05 - 0.1
-  0.1 - 0.3
-  > 0.3

