



## EVALUATION DES RISQUES SANITAIRES LIEE AUX EMISSIONS ATMOSPHERIQUES



[www.dekra-industrial.fr](http://www.dekra-industrial.fr)

### DEKRA Industrial SAS

Pôle HSE

Bâtiment D  
4 rue Henri GUILLAUMET  
44700 ORVAULT

Siret 43325083400465  
[REDACTED]  
[REDACTED]  
[REDACTED]

### CHANTIERS DE L'ATLANTIQUE

AVENUE BOURDELLE  
BP 90180  
44613 ST NAZaire CEDEX  
[REDACTED]  
[REDACTED]

Date	Version	Modifications	Contrôle qualité			
18/09/2024	Projet	-	Rédacteur	[REDACTED]	Vérificateur	[REDACTED]
14/03/2025	A	Mise à jour suite aux remarques DREAL				



## Table des matières

Liste des Tableaux .....	4
Liste des Figures .....	5
Liste des Acronymes .....	6
1    Préambule.....	7
2    Objectifs de l'Evaluation des Risques Sanitaires .....	8
3    Inventaire des émissions .....	9
3.1    Présentation générale de l'activité.....	9
3.2    Rejets atmosphériques du site .....	10
3.2.1    Rejets atmosphériques liés à l'utilisation de peinture et solvants .....	10
3.2.2    Rejets atmosphériques liés au grenaillage.....	10
3.2.3    Rejets atmosphériques liés aux activités de soudage .....	11
3.2.4    Rejets atmosphériques liés aux installations de combustion.....	12
3.2.5    Rejets atmosphériques liés au travail du bois .....	13
3.2.6    Synthèse des rejets considérés .....	13
3.2.7    Hypothèses retenues sur la localisation des émissions.....	17
3.3    Bilan qualitatif des émissions.....	18
3.3.1    Emissions liées à l'utilisation de peintures et de solvants.....	18
3.3.2    Emissions liées aux activités de grenaillage .....	21
3.3.3    Emissions liées aux activités de soudage .....	23
3.4    Bilan quantitatif des flux et vérification de la conformité des émissions .....	24
3.4.1    Règlementation applicable.....	24
3.4.2    Vérification de la conformité des émissions .....	25
3.4.3    Quantification des émissions dues à l'application de peinture et de solvant.....	28
3.4.4    Quantification des émissions dues aux activités de grenaillage .....	36
3.4.5    Quantification des émissions dues aux fumées de soudage .....	40
4    Evaluation des enjeux et des voies d'exposition .....	58
4.1    Délimitation de la zone d'étude.....	58
4.2    Caractérisation des populations et des usages .....	59
4.2.1    Description de la population .....	59
4.2.2    Localisation des habitations .....	59
4.2.3    Localisation des populations sensibles ou vulnérables .....	59
4.2.4    Localisation des Etablissements Recevant du Public (ERP) avoisinants .....	60
4.2.5    Les usages .....	60
5    Evaluation des dangers.....	62
6    Evaluation des expositions .....	68
6.1    Choix des polluants traceurs et des concentrations à l'émission .....	68
6.1.1    Choix des polluants traceurs .....	68
6.1.2    Choix des quantités émises .....	69
6.2    Modélisation de la dispersion atmosphérique .....	74

6.2.1	Outil de modélisation .....	74
6.2.2	Données d'entrée .....	75
6.2.3	Résultats.....	81
6.3	Schéma conceptuel.....	90
6.3.1	Voies de transfert et milieux d'exposition .....	90
6.3.2	Sélection des cibles .....	92
6.3.3	Concentration aux points d'exposition .....	92
6.3.4	Dépôts aux points d'exposition.....	94
6.4	Quantification de l'exposition .....	95
6.4.1	Formules générales de calcul de l'exposition .....	95
6.4.2	Evaluation liée à l'inhalation .....	96
6.4.3	Evaluation liée à l'ingestion de sols.....	98
6.4.4	Evaluation liée au contact cutané.....	104
6.4.5	Evaluation liée à l'ingestion d'aliments autoproduits d'origine végétale .....	105
7	Caractérisation des risques .....	110
7.1	Principe de l'évaluation.....	110
7.1.1	Calcul de risque pour les substances non cancérogènes .....	110
7.1.2	Calcul de risque pour les substances cancérogènes .....	111
7.2	Résultats de la caractérisation des risques .....	112
7.2.1	Vue d'ensemble des résultats.....	112
7.2.2	Résultats de la caractérisation des risques – Cibles E1 Adultes.....	113
7.2.3	Résultats de la caractérisation des risques – Cibles H4 Enfants .....	114
7.2.4	Résultats de la caractérisation des risques – Cibles H4 Adultes .....	115
7.2.5	Résultats de la caractérisation des risques – Cibles P5 Enfants .....	116
7.2.6	Résultats de la caractérisation des risques – Cibles E1/H4 Adultes.....	117
7.2.7	Comparaison des résultats par type de substance.....	118
7.2.8	Commentaires sur les résultats.....	121
7.2.9	Analyse des incertitudes .....	122
8	Conclusion de l'Evaluation des Risques Sanitaires .....	127
	Annexe I – Emissions de COV en 2022, par substance et par activité.....	129
	Annexe II – Flux de polluants retenus pour la modélisation .....	131
	Annexe III (confidentielle) – Composition des matériaux d'apport.....	135
	Annexe IV – Cartographies.....	137

## LISTE DES TABLEAUX

Tableau 1 : Périodes d'émission des activités de soudage .....	11
Tableau 2 : Suivi des données relatives au travail du bois.....	13
Tableau 3 : Synthèse des rejets considérés .....	14
Tableau 4 : COV susceptibles d'être émis par les alvéoles de peinture navales .....	18
Tableau 5 : COV susceptibles d'être émis par l'alvéole Anemos .....	19
Tableau 6 : COV susceptibles d'être émis par les grenailleuses PRS et Tôles.....	19
Tableau 7 : COV susceptibles d'être émis sur les Bords.....	20
Tableau 8 : VLE applicables au site (arrêté du 02/02/1998).....	24
Tableau 9 : VLE de l'arrêté du 3 février 2022 .....	25
Tableau 10 : VLE applicables au site (arrêté du 17/03/2009).....	25
Tableau 11 : Vérification de la conformité des émissions - COV .....	26
Tableau 12 : Vérification de la conformité des émissions – métaux et poussières .....	27
Tableau 13 : Bilan des émissions de COV - 2022 .....	29
Tableau 14 : Bilan des émissions maximales de COV .....	29
Tableau 15 : Emissions de COV maximales, par an, par substance et par activité (en tonnes) .....	30
Tableau 16 : Comparaison des flux calculés avec les résultats de mesure.....	33
Tableau 17 : Flux maximaux mesurés pour le formaldéhyde et l'acétaldéhyde.....	34
Tableau 18 : Flux retenus pour le formaldéhyde et l'acétaldéhyde .....	34
Tableau 19 : Caractéristiques des grenailleuses et flux extrapolés .....	37
Tableau 20 : Flux de métaux en sortie des oxydeurs .....	39
Tableau 21 : Part de chrome hexavalent par rapport au chrome total (étude INRS, 2018).....	42
Tableau 22 : Facteurs d'émission retenus .....	46
Tableau 23 : Consommation en matériau d'apport par point de rejet.....	47
Tableau 24 : Emissions totales du site (métaux).....	50
Tableau 25 : Synthèse des émissions diffuses de métaux, par point de rejet .....	51
Tableau 26 : Synthèse des émissions canalisées de métaux, par point de rejet.....	52
Tableau 27 : Synthèse des flux horaires diffus moyens calculés .....	53
Tableau 28 : Synthèse des flux horaires canalisés moyens calculés .....	54
Tableau 29 : Comparaison des flux calculés et mesurés avant abattement - Atelier 180T .....	56
Tableau 30 : Liste des VTR retenues - Effets à seuil.....	64
Tableau 31 : Liste des VTR retenues - Effets sans seuil.....	66
Tableau 32 : Substances ne possédant pas de VTR .....	67
Tableau 33 : Part individuelle des COV retenus dans les émissions .....	69
Tableau 34 : Répartition des flux à l'émission choisie, par atelier .....	71
Tableau 35 : Synthèse des flux considérés .....	72
Tableau 36 : Caractéristiques des rejets canalisés .....	77
Tableau 37 : Caractéristiques des rejets diffus .....	78
Tableau 38 : Description des récepteurs retenus .....	79
Tableau 39 : Concentrations moyennes annuelles modélisées - métaux.....	81
Tableau 40 : Concentrations moyennes annuelles modélisées - COV.....	82
Tableau 41 : Dépôts moyens annuels au sol - métaux .....	83
Tableau 42 : Dépôts moyens annuels au sol - COV .....	84
Tableau 43 : Concentrations aux points d'impacts maximaux .....	88
Tableau 44 : Concentrations modélisées des cibles retenues.....	93
Tableau 45 : Dépôts modélisés au point H4 .....	94
Tableau 46 : Paramètres des cibles .....	96
Tableau 47 : Résultat des concentrations inhalées.....	97
Tableau 48 : Synthèse des données relatives au devenir des COV considérés dans l'environnement .....	100
Tableau 49 : Résultats des concentrations dans les sols (point H4).....	103
Tableau 50 : Paramètres liés aux récepteurs pour l'ingestion de sol .....	103
Tableau 51 : Résultats de DJE pour l'ingestion des sols .....	104
Tableau 52 : Paramètres liés à la concentration de polluants dans les végétaux .....	107
Tableau 53 : Quantités retenues de végétaux autoproduits .....	107
Tableau 54 : Facteurs de bioconcentration retenus .....	108
Tableau 55 : Résultats des DJE pour l'ingestion de fruits et légumes .....	109
Tableau 56 : Vue d'ensemble des quotients de danger calculés .....	112
Tableau 57 : Vue d'ensemble des ERI calculés .....	112
Tableau 58 : Résultats de la caractérisation des risques - Cibles E1.....	113
Tableau 59 : Résultats de la caractérisation des risques - Cibles H4 enfants .....	114
Tableau 60 : Résultats de la caractérisation des risques - Cibles H4 adultes .....	115
Tableau 61 : Résultats de la caractérisation des risques - Cibles P5 enfants .....	116
Tableau 62 : Résultats de la caractérisation des risques - Cibles E1/H4 adultes .....	117
Tableau 63 : Synthèse des données majorées .....	122



## LISTE DES FIGURES

Figure 1 : Etapes de fabrication .....	9
Figure 2 : Localisation des points de rejets canalisés.....	15
Figure 3: Localisation des points de rejets diffus .....	16
Figure 4 : Schéma d'une installation de grenailage (source : INRS – ED768).....	21
Figure 5 : Extrait du bilan des émissions, par substance et par activité .....	28
Figure 6 : Description des grenailleuses mobiles utilisées en Forme B .....	38
Figure 7 : Relation entre chrome total et chrome hexavalent dans des fumées de soudage .....	42
Figure 8 : Extrait des facteurs d'émission de fumées totales proposées par l'US EPA.....	45
Figure 9 : Extrait des facteurs d'émission spécifiques proposés par l'US EPA .....	45
Figure 10 : Illustration de l'utilisation d'une latte en céramique.....	49
Figure 11 : Représentation d'une zone de rayon de 2km autour des limites du site .....	58
Figure 12 : Localisation des habitations et des usages .....	61
Figure 13 : Logigramme d'aide au choix des VTR .....	63
Figure 14 : Synthèse de la démarche relative au choix des traceurs .....	73
Figure 15 : Rose des vents utilisée pour la modélisation .....	75
Figure 16 : Hauteur des bâtiments principaux du site .....	76
Figure 17 : Localisation des points récepteurs .....	80
Figure 18 : Cartographies du chrome hexavalent.....	85
Figure 19 : Cartographies du Nickel et du Manganèse .....	86
Figure 20 : Cartographies de l'éthylbenzène et des xylènes .....	87
Figure 21 : Localisation des points d'impacts maximaux, par substance .....	89
Figure 22 : Schéma conceptuel .....	91
Figure 23 : Localisation des cibles H4, E1 et P5.....	92
Figure 24 : Potentiel d'exposition par ingestion .....	98
Figure 25 : QD par famille de substance, par cible et par voie d'exposition .....	118
Figure 26 : ERI par famille de substance, par cible et par voie d'exposition .....	119
Figure 27 : ERI par substance et par cible - inhalation .....	119
Figure 28 : ERI par substance et par cible ingestion de végétaux .....	120
Figure 29 : ERI par substance et par cible - ingestion de sol .....	120
Figure 30 : Flux retenus (kg/an) - émissions canalisées.....	131
Figure 31 ; Flux retenus (g/h) - émissions canalisées.....	132
Figure 32 : Flux retenus (kg/an) - émissions diffuses .....	133
Figure 33 : Flux retenus (g/h) - émissions diffuses .....	134



## LISTE DES ACRONYMES

AWS :	American Welding Society
BTEX :	Benzène, Toluène, Ethylbenzène, Xylènes
COV :	Composé Organique Volatil
CrVI :	Chrome hexavalent
DJE :	Dose Journalière d'Exposition
ERI :	Excès de Risque Individuel
ERS :	Evaluation des Risques Sanitaires
FDS :	Fiche de Données de Sécurité
FT :	Fiche Technique
HSDB :	Hazardous Substances Data Bank
ICPE :	Installation Classée pour la Protection de l'Environnement
INERIS :	Institut National de l'Environnement Industriel et des Risques
INRS :	Institut National de Recherche et de Sécurité
InVS :	Institut de Veille Sanitaire
MAG :	Metal Active Gas
MIG :	Metal Inert Gas
PRS :	Profilés Reconstitués Soudés
QD :	Quotient de Danger
US EPA :	Agence Américaine de Protection de l'Environnement
VLE :	Valeur Limite d'Emission
VTR :	Valeur Toxicologique de Référence

Symboles des composés chimiques d'intérêt :

C :	Carbone
Mn :	Manganèse
Si :	Silicium
P :	Phosphore
S :	Soufre
Ni :	Nickel
Cr :	Chrome
Mo :	Molybdène
V :	Vanadium
Co :	Cobalt
Pb :	Plomb
Cu :	Cuivre
Zn :	Zinc

## 1 PREAMBULE

La société Chantiers de l'Atlantique, implantée en zone industrielle portuaire sur la commune de Saint-Nazaire, exploite un site spécialisé dans la conception, la fabrication, le montage et la mise en service de navires et de sous-stations électriques de champs éoliens offshore.

La présente Evaluation des Risques Sanitaires (ERS) s'inscrit dans le cadre d'une demande de l'administration de réaliser une évaluation sanitaire sur les rejets futurs du site, telle que décrite dans l'article 9 de **l'arrêté préfectoral de prescriptions complémentaires n° 2024/ICPE/054 du 19 février 2024**.

Les émissions dues aux activités de soudage (y compris sur acier inox) et à la consommation de solvants seront caractérisées et prises en compte dans le présent rapport, conformément aux préconisations de cet arrêté.

**Cette étude porte ainsi sur les émissions atmosphériques des peintures et solvants de l'ensemble du site, sur les émissions de métaux dues aux activités de soudage, et sur les émissions de métaux dues aux activité de grenaiilage.**

## 2 OBJECTIFS DE L'EVALUATION DES RISQUES SANITAIRES

L'Evaluation des Risques Sanitaires doit permettre de déterminer les conséquences du fonctionnement normal des installations sur la santé des populations riveraines. Les expositions considérées sont donc des expositions de longue durée, dites chroniques.

L'évaluation des risques sanitaires a pour but de présenter de manière explicite aux différentes parties les éléments d'analyse. Elle doit respecter les principes suivants :

Principe de spécificité	Principe de prudence scientifique
Il assure la pertinence de l'étude par rapport à l'usage et aux caractéristiques du site et de son environnement. Il doit prendre en compte le mieux possible les caractéristiques propres du site, de la source de pollution et des populations potentiellement exposées.	Il consiste à adopter, en cas d'absence de données reconnues, des hypothèses raisonnablement majorantes définies pour chaque cas à prendre en compte.
Principe de proportionnalité	Principe de transparence
Il veille à ce qu'il y ait cohérence entre le degré d'approfondissement de l'étude et l'importance des incidences prévisibles de la pollution. Ce principe peut conduire à définir une démarche par approches successives dans l'évaluation des risques pour la santé.	Etant donné qu'il n'existe pas une connaissance absolue, le choix des hypothèses, des outils à utiliser, du degré d'approfondissement nécessaire relève du jugement et du savoir-faire de l'évaluateur face à chaque cas d'étude particulier. La règle de l'évaluation des risques est que ces choix soient cohérents et expliqués par l'évaluateur, afin que la logique du raisonnement puisse être suivie et discutée par les différentes parties intéressées. L'objectif de transparence des termes de la conclusion de l'étude sera ainsi respecté.

Le travail a été mené conformément aux dispositions de la *circulaire du 9 août 2013 « relative à la démarche de prévention et de gestion des risques sanitaires des installations classées soumises à autorisation dans le cadre des volets santé des dossiers d'autorisation d'exploiter »*.

Ce dossier a été réalisé suivant la méthodologie préconisée dans les guides des ministères de la santé et de l'environnement :

- *guide méthodologique sur l'Evaluation des Risques Sanitaires liés aux substances chimiques dans l'étude d'impact des Installations Classées pour la Protection de l'Environnement. INERIS - Version 2003* ;
- *évaluation de l'état des milieux et des risques sanitaires – démarche intégrée pour la gestion des émissions de substances chimiques par les installations classées. INERIS, première et deuxième éditions, août 2013 et septembre 2021* ;
- *La note d'information n°DGS/EA1/DGPR/2014/307 du 31 octobre 2014 pour l'aide à la sélection des VTR.*

Des références seront faites au document « *évaluation de l'état des milieux et des risques sanitaires – démarche intégrée pour la gestion des émissions de substances chimiques par les installations classées (septembre 2021)* » tout au long de la présente étude. Les mentions « guide de l'INERIS de 2021 » feront ainsi référence à ce document.

Les grandes étapes d'une ERS, sur lesquelles se base la présente étude sont les suivantes :

- Caractérisation du site et de son environnement ;
- Inventaire des substances par catégorie de rejet, détermination des flux à l'émission et choix de « traceurs du risque » ;
- Identification du danger : étude de la dangerosité des substances pour l'homme et de la relation dose-réponse ;
- Evaluation des expositions ;
- Caractérisation du risque ;
- Analyse des incertitudes.

### 3 INVENTAIRE DES EMISSIONS

#### 3.1 PRESENTATION GENERALE DE L'ACTIVITE

Le site des Chantiers de l'Atlantique à Saint-Nazaire est spécialisé dans la conception, la fabrication, le montage et la mise en service de navires hautement complexes et d'ouvrages métalliques maritimes.

Differentes étapes de fabrication ont lieu dans des ateliers ou sur des zones extérieures du site, ainsi qu'à bord des ouvrages en cours de fabrication.

Deux types de tôles sont réceptionnées par le site dans des parcs dédiés, et sont grenaillées et peintes avant de passer par les étapes principales de fabrication. Ces différentes étapes sont décrites dans le schéma ci-dessous :

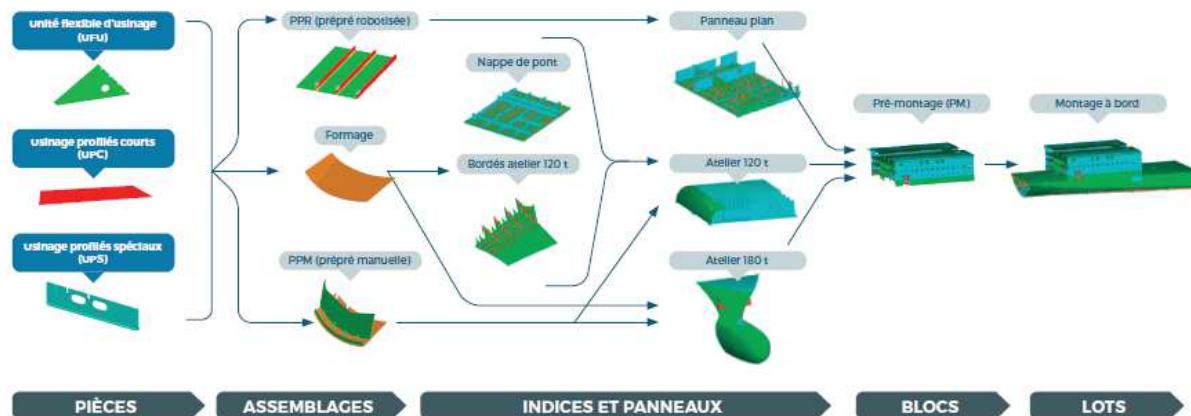


Figure 1 : Etapes de fabrication

L'activité Anemos, dédiée à la fabrication et au montage de sous-stations électriques de champs éoliens offshore, n'apparaît pas dans ce schéma. Cette activité comprend un bâtiment dans lequel les activités de découpe, soudage, meulage et assemblage sont effectuées, et une alvéole de grenaillage et de peinture.

Une seconde alvéole de grenaillage et de peinture verra le jour sur le site : celle-ci (Anemos 2) sera accolée à l'alvéole existante. Certaines activités de montage de sous-stations électriques, actuellement effectuées au niveau de l'aire de prémontage, seront réalisées dans l'alvéole Anemos 2, diminuant ainsi les émissions diffuses globales du site.

La présente Evaluation des Risques Sanitaires porte sur les rejets de composés organiques volatils liés à l'utilisation de peintures et de solvants, sur les rejets de métaux dus aux activités de grenaillage, et sur les rejets d'oxydes métalliques liés aux opérations de soudage effectuées sur l'ensemble du site.

L'ERS étant prospective, la configuration future du site des Chantiers de l'Atlantique sera retenue dans le cadre de cette étude : les bilans des émissions seront réalisés sur les évolutions possibles de consommation de solvants et de matériaux d'apport pour le soudage, et non uniquement sur leur consommation lors d'une année passée.

### 3.2 REJETS ATMOSPHERIQUES DU SITE

#### 3.2.1 REJETS ATMOSPHERIQUES LIÉS À L'UTILISATION DE PEINTURE ET SOLVANTS

Les points de rejets pris en compte dans le cadre de l'ERS, en ce qui concerne les émissions de COV dues à l'utilisation de peintures et de solvants, sont les zones d'application de peintures suivantes :

- La grenailleuse Tôles : rejets canalisés et diffus ;
- Les alvéoles de peinture Anemos : rejets canalisés ;
- La grenailleuse PRS : rejets canalisés et diffus ;
- Les alvéoles de peinture navales : rejets canalisés ;
- Le Bord, Forme B : rejets diffus ;
- Le Bord, Forme C : rejets diffus ;
- Le Bord, Bassin de Penhoët : rejets diffus ;
- Le Bord, Forme Joubert : rejets diffus.

La période d'émission maximale des alvéoles de peintures est de  $2 \times 8\text{h/j}$ , 5j/semaine, 47 semaines/an, soit 3760 heures par an.

La période d'émission maximale de la grenailleuse Tôles est de  $3 \times 8\text{h/j}$ , 5j/semaine, 46 semaines/an, soit 5520 heures par an.

La période d'émission maximale de la grenailleuse PRS est de  $3 \times 8\text{h/j}$ , 5j/semaine + 22h (samedi et dimanche), 46 semaines/an, soit 6532 heures par an.

La période d'émission maximale des Bords est de 16h/j, 6j/semaine, 46 semaines/an, soit 4416 heures par an.

L'identité des polluants émis par les activités de peinture sera donnée par la décomposition en amont des FDS des produits utilisés, fournies par les Chantiers de l'Atlantique.

#### 3.2.2 REJETS ATMOSPHERIQUES LIÉS AU GRENAILLAGE

Les points de rejets de métaux particulaires dus aux activités de grenaillage et pris en compte dans le cadre de cette ERS, sont situés au niveau des activités suivantes :

- Grenaillage des tôles : rejets canalisés et diffus ;
- Grenaillage dans les alvéoles Anemos : rejets canalisés ;
- Grenaillage des PRS : rejets canalisés et diffus ;
- Grenaillage aux Panneaux Plans : rejets canalisés et diffus ;
- Grenaillage dans les alvéoles navales : rejets canalisés ;
- Grenaillage à bord, Forme B : rejets diffus.

Les périodes d'émission considérées sont identiques à celles mentionnées dans le paragraphe précédent. La période d'émission maximale de la grenailleuse de l'atelier Panneaux Plans est identique à celle de la grenailleuse Tôles.

### 3.2.3 REJETS ATMOSPHÉRIQUES LIÉS AUX ACTIVITÉS DE SOUDAGE

Des opérations de soudage sont effectuées sur l'ensemble du site des Chantiers de l'Atlantique, et 36 centrales d'aspiration de ces fumées sont présentes au total, reliées aux postes de travail des soudeurs. Les points de rejets suivants seront pris en compte dans le cadre de cette ERS, en ce qui concerne les émissions d'oxydes métalliques liées aux opérations de soudage :

- Soudage des Tôles (atelier PPR) : émissions canalisées et diffuses ;
- Soudage dans l'activité Anemos : émissions canalisées et diffuses ;
- Soudage de PRS : émissions canalisées et diffuses ;
- Soudage en préfabrication – 180 T : émissions canalisées et diffuses ;
- Soudage à Bord – Forme B et sur l'aire de prémontage : émissions diffuses ;
- Soudage à Bord – Forme C : émissions diffuses ;
- Soudage à Bord – Bassin de Penhoët : émissions diffuses ;
- Soudage en préfabrication – 120 T : émissions canalisées et diffuses ;
- Soudage en préfabrication – Panneaux Plans : émissions canalisées et diffuses ;
- Soudage du bâtiment PSI : émissions canalisées et diffuses ;
- Soudage à l'école de soudure : émissions canalisées et diffuses.

Les périodes d'émissions relatives à ces activités sont synthétisées dans le tableau ci-dessous :

Tableau 1 : Périodes d'émission des activités de soudage

Atelier	Rythme de travail (2x8; 3x8,...)	Jours/semaine	Heures/semaine	Semaines/an	Heures/an
Usinage Tôles	3x8 + VSD	7	142	46	6532
Atelier Anemos – 2D	2x8	5	80	46	3680
Usinage PRS	3x8 + VSD	7	142	46	6532
180T	2x8	5,5	88	46	4048
120T	2x8	5,5	88	46	4048
Panneaux Plans	3x8	5	120	46	5520
PSI	3x8	5,5	132	46	6072
Bords et prémontage	2x8	6	96	46	4416
Ecole de soudure	8h/jour	5	40	46	1840

Remarque : Des activités de soudage étaient réalisées dans le passé au sein de l'atelier PPR, collé à l'atelier d'usinage des tôles, mais ont progressivement été déplacées au sein du bâtiment PSI. Dans la configuration future du site, aucune opération de soudage ne sera réalisée dans l'atelier PPR. Toutefois, dans le cadre de cette étude, la prise en compte de deux points de rejet distincts « Tôles » et « PSI » sera considérée, sur la base des consommations des matériaux d'apport de l'année 2022 par atelier.

### 3.2.4 REJETS ATMOSPHERIQUES LIÉS AUX INSTALLATIONS DE COMBUSTION

#### 3.2.4.1 *Description des installations de combustion du site*

Les installations de combustion sont d'une manière générale susceptibles d'émettre des polluants à l'atmosphère, dont la nature et la quantité émise sont variables en fonction des installations considérées. Sur le site des Chantiers de l'Atlantique, les différentes activités de combustion susceptibles d'émettre des polluants sont :

- Les installations destinées au chauffage des ateliers et des bâtiments tertiaires (chaudières et radiants) ;
- Les installations de combustion industrielles (oxydeurs, séchage, chauffage des alvéoles) ;
- Les moteurs des navires à quai ;
- Le trafic routier sur site.

Ces différentes activités sont notamment susceptibles d'émettre les indices de pollution atmosphérique suivants, en quantité variable selon l'installation :

- Des oxydes d'azote (NOx) ;
- Des poussières (PM10) ;
- Du monoxyde de carbone (CO) ;
- Des oxydes de soufre (SOx).

#### 3.2.4.2 *Analyse des indices de pollution atmosphérique à l'échelle locale*

Un plan de protection de l'atmosphère (PPA) est en place au niveau de la zone Nantes-Saint-Nazaire depuis 2005. Les plans de protection de l'atmosphère (PPA) sont des plans d'actions ayant pour objectif de réduire les émissions de polluants dans l'air et de maintenir les concentrations en-deçà des valeurs limites réglementaires pour les polluants réglementés (oxydes de soufre, oxydes d'azote, particules, composés organiques volatils, métaux lourds, ozone, monoxyde de carbone, benzo(a)pyrène).

Le PPA réalisé en 2015 mettait en évidence une bonne qualité de l'air sur le territoire concerné par l'étude pour l'ensemble des polluants réglementés. La mise à jour des données de suivi de la qualité de l'air sur la zone par Air Pays de la Loire confirme les conclusions du PPA.

Les niveaux en oxydes de soufre et en oxydes d'azote sont notamment bien inférieurs aux valeurs seuils de la nouvelle ligne directrice de l'OMS, dans la zone urbaine de Saint-Nazaire.

Les moyennes annuelles en PM10 mesurées par Air Pays de la Loire à Saint-Nazaire étaient également inférieures à la valeur seuil de l'OMS (15µg/m<sup>3</sup>) pour les années 2023 et 2024.

#### 3.2.4.3 *Cas des indices de pollution atmosphérique dans l'ERS*

La prise en compte des indices de pollution atmosphériques identifiés précédemment (NOx, PM10, SOx et CO) dans la présente Evaluation des Risques Sanitaires viserait à modéliser l'exposition des populations avoisinantes à ces polluants, émis par les Chantiers de l'Atlantique, et à les comparer aux valeurs guides de l'OMS.

Etant donné que les niveaux totaux de ces polluants sont en-deçà des valeurs guides de l'OMS, selon les mesures effectuées par Air Pays de la Loire, les niveaux d'exposition imputables aux activités des Chantiers de l'Atlantique seront également inférieurs à ces valeurs guides.

Dans la mesure où une bonne qualité de l'air a été mise en évidence par le PPA de la zone Nantes-Saint-Nazaire, l'analyse quantitative des indices de pollution atmosphériques listés ci-dessus ne paraît pas appropriée. Les rejets de NOx, PM10, SOx et CO dus aux installations de combustion du site ne seront donc pas considérés dans le cadre de cette étude.

Toutefois, la conformité des émissions des oxydeurs en ce qui concerne les NOx et le CO sera vérifiée.

### 3.2.5 REJETS ATMOSPHÉRIQUES LIÉS AU TRAVAIL DU BOIS

D'une manière générale, le travail du bois est susceptible d'émettre des poussières de bois à l'atmosphère, en fonction du type de procédé mis en œuvre, et de la captation en place.

Sur le site des Chantiers de l'Atlantique, de la découpe de bois est réalisée dans le cadre de l'activité de formage, dans le bâtiment attenant à l'atelier PRS. Cette activité consiste en la fabrication de gabarits en bois, destinés à donner une forme incurvée à des tôles ou à des profilés, à l'aide de rouleaux et de presses de formage.

Ces gabarits en bois sont créés pour les premiers navires d'une série uniquement, et peuvent être réutilisés pour les navires suivants, dans une même série.

Le bâtiment de formage comprend :

- Un local menuiserie ;
- Deux mezzanines de stockage des gabarits en bois.

Les plaques de bois sont stockées puis découpées dans le local menuiserie pour créer les gabarits. Une scie à ruban est utilisée pour la découpe des plaques, et reliée à un dépoussiéreur intérieur.

Un suivi de la quantité de plaques de bois utilisée au sein de cet atelier, ainsi que du nombre d'heures travaillées sur ce poste, est effectué par les Chantiers de l'Atlantique. Les données relatives aux années 2022 et 2023 pour ces paramètres sont présentées dans le tableau ci-dessous :

Tableau 2 : Suivi des données relatives au travail du bois

Année	Quantité de bois consommée (kg)	Période annuelle de travail (h)
2022	1020	100
2023	6188	150

La quantité de bois présentée dans le tableau ci-dessus correspond au tonnage du bois travaillé : la quantité de poussière résultant des découpes réalisées est donc bien plus faible. Un ordre de grandeur de quelques dizaines de kilogrammes de poussières émises au maximum peut être considéré, avant passage dans le dépoussiéreur.

Ces poussières de bois étant aspirées à la source au niveau de la scie à ruban, et acheminées vers le dépoussiéreur intérieur, la quantité de poussières de bois émise à l'atmosphère apparaît comme négligeable.

Par ailleurs, les poussières de bois ne font pas l'objet de valeurs toxicologiques de références, et ne seraient pas considérées comme des traceurs de risque pertinents.

Les émissions de poussières de bois ne seront donc pas considérées dans le cadre de cette étude.

### 3.2.6 SYNTHÈSE DES REJETS CONSIDÉRÉS

Les différentes émissions prises en compte dans le cadre de cette étude, et citées dans les paragraphes précédents, sont décrites et numérotées dans le tableau suivant :

Tableau 3 : Synthèse des rejets considérés

Rejet	Origine de la source	Emplacement du rejet	Emissions considérées	Géométrie du rejet
P1	Peinture des Tôles	Sortie de l'oxydeur thermique	Composés Organiques Volatils	Canalisé et diffus
G1	Grenaillage des Tôles	Sortie du dépoussiéreur	Métaux particulaires	Canalisé et diffus
S1	Soudage des Tôles	Sortie centrales d'aspiration – bâtiment PPR	Oxydes métalliques	Canalisé et diffus
P2	Peinture dans l'alvéole Anemos	Sortie de l'oxydeur thermique	Composés Organiques Volatils	Canalisé
G2	Grenaillage dans l'alvéole Anemos	Sortie du dépoussiéreur	Métaux particulaires	Canalisé
S2	Soudage pour Anemos	Sortie centrales d'aspiration - bâtiment 2D	Oxydes métalliques	Canalisé et diffus
P3	Peinture des PRS	Sortie de l'oxydeur thermique	Composés Organiques Volatils	Canalisé et diffus
G3	Grenaillage des PRS	Sortie du dépoussiéreur	Métaux particulaires	Canalisé et diffus
S3	Soudage PRS	Sortie centrales d'aspiration - bâtiment PRS - fromage	Oxydes métalliques	Canalisé et diffus
P4	Peinture dans les alvéoles navales	Sortie de l'oxydeur thermique	Composés Organiques Volatils	Canalisé
G4	Grenaillage dans les alvéoles navales	Sortie du dépoussiéreur	Métaux particulaires	Canalisé
S4	Soudage pour la préfabrication	Sortie centrales d'aspiration - bâtiment 180 T	Oxydes métalliques	Canalisé et diffus
P5	Peinture à Bord - Forme B	Forme B	Composés Organiques Volatils	Diffus
G5	Grenaillage à Bord - Forme B	Forme B – Sortie des grenailleuses mobiles	Métaux particulaires	Diffus
S5	Soudage à Bord - Forme B et aire de prémontage	Forme B et aire de prémontage	Oxydes métalliques	Diffus
P6	Peinture à Bord - Forme C	Forme C	Composés Organiques Volatils	Diffus
G6	Grenaillage aux Panneaux Plans	Sortie du dépoussiéreur	Métaux particulaires	Canalisé et diffus
S6	Soudage à Bord - Forme C	Forme C	Oxydes métalliques	Diffus
P7	Peinture à Bord - Bassin de Penhoët	Bassin de Penhoët	Composés Organiques Volatils	Diffus
S7	Soudage à Bord - Bassin de Penhoët	Bassin de Penhoët	Oxydes métalliques	Diffus
P8	Peinture dans l'alvéole Anemos 2	Sortie de l'oxydeur thermique	Composés Organiques Volatils	Canalisé
G7	Grenaillage dans l'alvéole Anemos 2	Sortie du dépoussiéreur	Métaux particulaires	Canalisé
S8	Soudage pour la préfabrication	Sortie centrales d'aspiration - bâtiment 120 T	Oxydes métalliques	Canalisé et diffus
P9	Peinture à Bord - Forme Joubert	Bassin de Penhoët	Composés Organiques Volatils	Diffus
S9	Soudage pour la préfabrication	Sortie centrales d'aspiration - bâtiment Panneaux Plans	Oxydes métalliques	Canalisé et diffus
S10	Soudage du bâtiment PSI	Sortie centrales d'aspiration - futur bâtiment PSI	Oxydes métalliques	Canalisé et diffus
S11	Ecole de soudure	Sortie centrales d'aspiration – Ecole de soudure	Oxydes métalliques	Canalisé et diffus

La localisation de ces différents points de rejets est présentée dans les figures des pages suivantes. Certains points de rejets pouvant être sources d'émissions à la fois canalisées et diffuses, ils apparaissent dans les figures 2 et 3.



Les points de rejets canalisés sont localisés sur le site de la manière suivante :

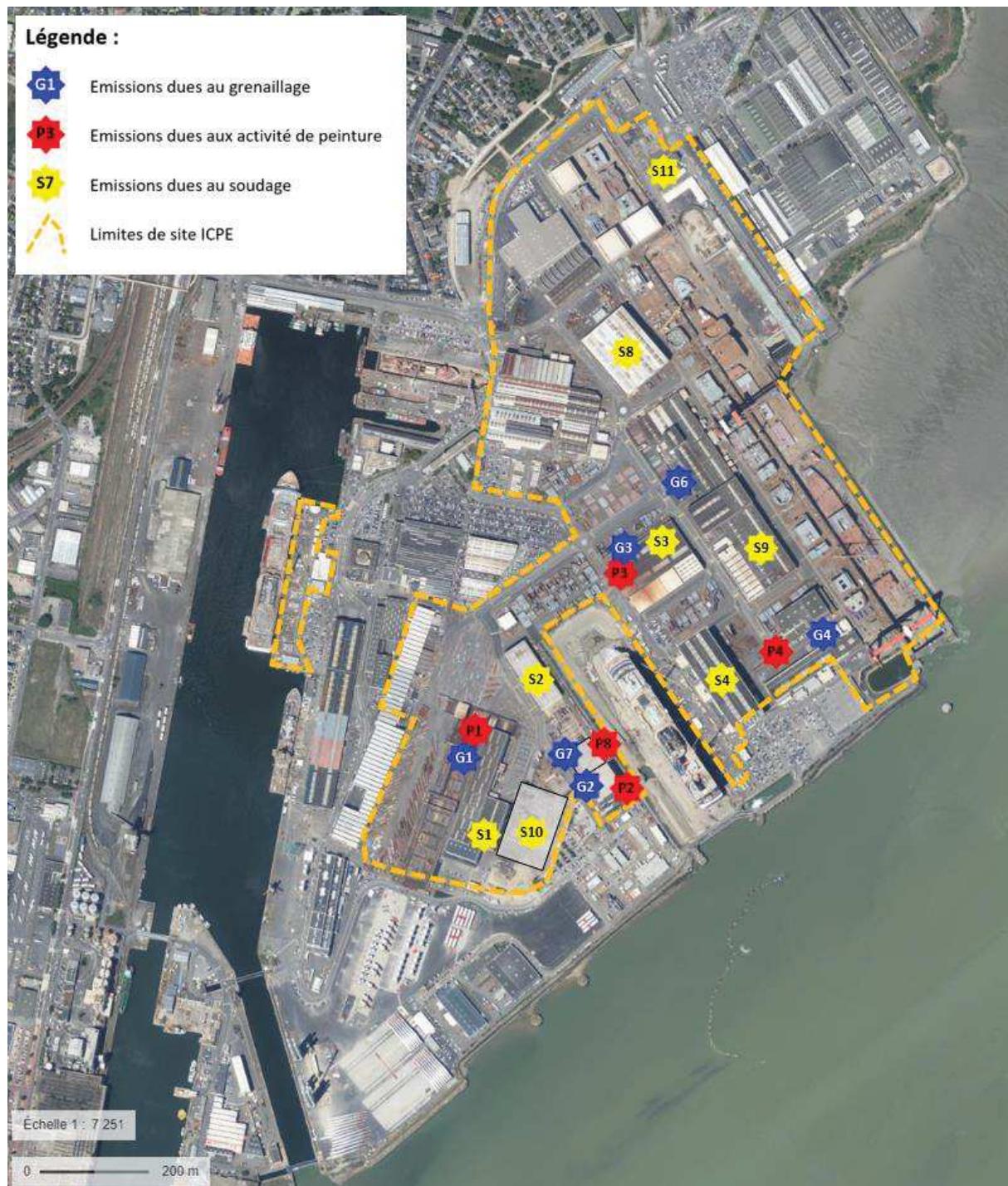


Figure 2 : Localisation des points de rejets canalisés

Les points de rejets diffus sont localisés sur le site de la manière suivante :

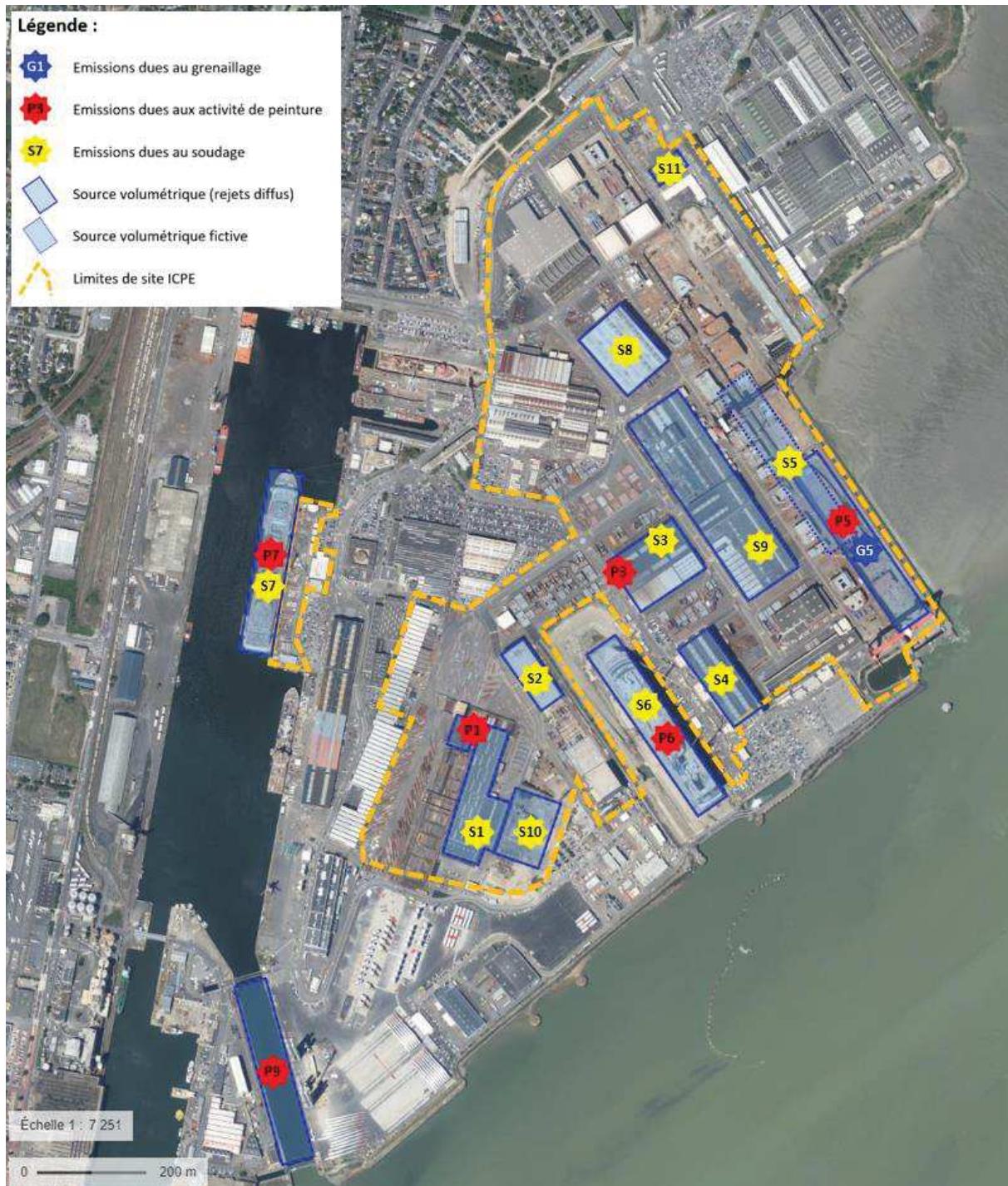


Figure 3: Localisation des points de rejets diffus

### 3.2.7 HYPOTHESES RETENUES SUR LA LOCALISATION DES ÉMISSIONS

Les sources d'émissions dues aux fumées de soudage sont nombreuses : 36 centrales d'aspiration de ces fumées sont présentes sur le site, et une partie des émissions des fumées de soudage est diffuse. Pour cette étude, les 36 points de rejets canalisés différents et les émissions diffuses associées ne seront pas retenus, mais un point de rejet virtuel par bâtiment sera considéré.

Lorsqu'un bâtiment possède plusieurs centrales d'aspiration, il a été choisi de localiser la source d'émission du bâtiment considéré en un point virtuel représentant le barycentre estimé des émissions, sur la base de la localisation des centrales identifiées. Ainsi, pour le bâtiment 120T, la source d'émission S8 a été placée au centre du bâtiment, du fait de la présence de 3 centrales d'aspiration sur deux faces opposées du bâtiment. La source d'émission S1 a été placée au Sud du bâtiment PPR, les centrales d'aspiration étant localisées à cet endroit.

Cette hypothèse est majorante, dans la mesure où les rejets considérés seront assimilés à des rejets verticaux en toiture, et que l'influence des parois accolées aux centrales d'aspiration ne sera pas prise en compte pour la modélisation.

Les émissions dues aux fumées de soudage sont à la fois canalisées et diffuses. Dans le cadre de la modélisation de dispersion atmosphérique, les émissions canalisées de fumées de soudage seront associées aux points de rejets de la figure 2, et les émissions diffuses seront représentées par des sources volumétriques, telles qu'elles sont présentées en figure 3.

Au niveau des Formes B et C, du bassin de Penhoët et de la Forme Joubert, les rejets seront considérés comme entièrement diffus. A ce titre, il sera considéré que les émissions atmosphériques associées sont issues de sources volumétriques, et non de rejets localisés en un point.

Dans le cadre de la modélisation de dispersion atmosphérique, les dimensions du navire Utopia of the Seas (hauteur : 72m) seront retenues pour le navire situé dans les Formes B et C, et les dimensions du World America (hauteur : 68m) pour le navire situé dans le bassin de Penhoët et dans la Forme Joubert, ces navires étant les plus hauts pouvant être accueillis à ces emplacements à ce jour. Ces hypothèses sont majorantes, dans la mesure où une hauteur importante des sources volumétriques considérées facilitera la dispersion atmosphérique des polluants.

Il n'a pas été possible de distinguer la quantité de matériaux d'apport utilisée sur l'aire de prémontage et sur les Bords. La source d'émission S5 est donc associée aux fumées de soudage de l'aire de prémontage et de la Forme B, et le centre de la source volumétrique considérée pour ces émissions a été placé en conséquence.

Deux conduits de sortie sont reliés à la grenailleuse de l'atelier Tôles. Pour cette étude, il sera considéré que la totalité des rejets issus de l'activité de grenaillage dans ce bâtiment est émise au niveau d'un conduit fictif, dont le débit est égal à la somme de ceux des deux conduits réels, et dont le diamètre aura été ajusté en conséquence.

Deux conduits de sortie existent également pour les activités de grenaillage dans l'alvéole Anemos, mais ces conduits possèdent des caractéristiques très similaires. De la même manière que précédemment, il sera considéré que l'ensemble des rejets issus des activités de grenaillage dans l'alvéole Anemos est émis au niveau d'un conduit fictif, dont le débit et le diamètre auront été ajustés en fonction de ceux des conduits réels.

### 3.3 BILAN QUALITATIF DES EMISSIONS

#### 3.3.1 EMISSIONS LIÉES À L'UTILISATION DE PEINTURES ET DE SOLVANTS

L'utilisation de peintures et de solvant est génératrice de composés organiques volatils, qui sont susceptibles d'être émis dans l'atmosphère.

Un travail préparatoire de décomposition des FDS a été effectué en amont de cette étude, afin d'identifier l'ensemble des substances dangereuses, déclarées par les fabricants, qui sont présentes dans les peintures et solvants utilisés par les Chantiers de l'Atlantique. Les FDS étudiées correspondent aux produits utilisés sur le site lors de l'année 2022, qui sont représentatifs de l'activité future du site. Une démarche d'identification et de substitution de substances et de produits dangereux étant en cours au sein des Chantiers de l'Atlantique, la prise en compte des FDS des produits utilisés en 2022 sera majorante pour la caractérisation du risque, dans la mesure où certains produits dangereux devraient être substitués à moyen terme.

Parmi l'ensemble des substances identifiées lors de la phase de décomposition des FDS étudiées, certaines sont des composés organiques volatils (COV), susceptibles de se retrouver dans les émissions du site. L'identité des COV identifiés, par point de rejet, est donnée dans les tableaux ci-dessous :

Tableau 4 : COV susceptibles d'être émis par les alvéoles de peinture navales

Alvéoles de peinture navales			
Source canalisée avec oxydeur thermique			
Substance	CAS	Substance	CAS
Acétate de 2-méthoxy-1-méthyléthyle	108-65-6	4-méthylpentan-2-one	108-10-1
1,2,4-triméthylbenzène	95-63-6	Hydrocarbures aromatiques en C9	128601-23-0
Cumène	98-82-8	Triéthylamine	121-44-8
Butanol	71-36-3	1-méthoxy-2-propanol	107-98-2
Solvant naphtha	64742-95-6	2-butoxyéthanol	111-76-2
Masse réactionnelle d'éthylbenzène et de xylène	905-588-0	Hydrocarbures en C9-C11, n-alcanes, isoalcanes, cycliques, <2% aromatiques	64742-48-9
Acide salicylique	69-72-7	Naphta lourd (pétrole), hydrodésulfuré	64742-82-1
Chlorure de vinyle	75-01-4	(2-méthoxyméthylethoxy)propanol	34590-94-8
Ethylènediamine	107-15-3	Cyclohexanone	108-94-1
Formaldéhyde	50-00-0	3-cyclohexylaminopropylamine	3312-60-5
Alcool benzylique	100-51-6	Acrylate de n-butyle	141-32-2
2,4,6-tris(diméthylaminométhyl)phénol	90-72-2	Butanone	78-93-3
Masse réactionnelle de pentaméthyl pyridyl sébaçates	1065336-91-5	Hydrocarbures en C9-C12, n-alcanes, isoalcanes, cycliques, aromatiques	919-446-0
Isopropanol	67-63-0	Ethylbenzène	100-41-4
Acrylate de 2-hydroxyéthyle	818-61-1		

Tableau 5 : COV susceptibles d'être émis par l'alvéole Anemos

Alvéole de peinture Anemos			
Source canalisée avec oxydeur thermique			
Substance	CAS	Substance	CAS
Butanol	71-36-3	Xylènes	1330-20-7
Bis[(dimethylamino)methyl]phénol	71074-89-0	Ethylbenzène	100-41-4
Alcool benzylque	100-51-6	Acide salicylique	69-72-7
2,4,6-tris(diméthylaminométhyl)phénol	90-72-2	2-méthylpropan-1-ol	78-83-1
Hydrocarbures aromatiques en C9	128601-23-0	Toluène	108-88-3
1-méthoxy-2-propanol	107-98-2	3-aminopropylidéthylamine	104-78-9
Cyclohexanone	108-94-1	Acétate de n-butyle	123-86-4
Masse réactionnelle de pentaméthyl pyperidyl sébaçates	1065336-91-5		

Tableau 6 : COV susceptibles d'être émis par les grenailleuses PRS et Tôles

Grenailleuses : PRS et Tôles			
Sources canalisées (avec oxydeurs) et diffuses			
Substance	CAS	Substance	CAS
Acétate de 2-méthoxy-1-méthyléthyle	108-65-6	Acétate de n-butyle	123-86-4
Butanol	71-36-3	Silicate de tétraéthyle	78-10-4
Isopropanol	67-63-0	Ethanol	64-17-5
4-méthylpentan-2-one	108-10-1	Diméthylcétone	67-64-1
1-méthoxy-2-propanol	107-98-2	Acétate d'isopropyle	108-21-4
Butanone	78-93-3	Acétate d'éthyle	141-78-6
Xylènes	1330-20-7	Hydrocarbures C7, n-alcanes, isoalcanes, cycliques	927-510-4

Tableau 7 : COV susceptibles d'être émis sur les Bords

Bords : Forme B, Forme C et Bassin de Penhoët			
Sources diffuses			
Substance	CAS	Substance	CAS
Styrène	100-42-5	Acrylate de 2-hydroxyéthyle	818-61-1
N,N-diéthylaniline	91-66-7	Chlorure de vinyle	75-01-4
Acétate de 2-méthoxy-1-méthyléthyle	108-65-6	4-méthylpentan-2-one	108-10-1
1,2,4-triméthylbenzène	95-63-6	Hydrocarbures aromatiques en C9	128601-23-0
Hydroperoxyde de cumène	80-15-9	Triéthylamine	121-44-8
Cumène	98-82-8	1-méthoxy-2-propanol	107-98-2
Hydrocarbures en C9-C11	919-857-5	2-butoxyéthanol	111-76-2
Masse réactionnelle d'éthylbenzène et de xylène	905-588-0	Hydrocarbures en C9-C11, n-alcanes, isoalcanes, cycliques, <2% aromatiques	64742-48-9
Solvant naphtha	64742-95-6	Naphta lourd (pétrole), hydrodésulfuré	64742-82-1
Butanol	71-36-3	(2-méthoxyméthylethoxy)propanol	34590-94-8
Phénol	108-95-2	Cyclohexanone	108-94-1
2-méthylpentane-1,5-diamine	15520-10-2	Ethanol	64-17-5
Ethylènediamine	107-15-3	5-méthylhexane-2-one	110-12-3
Formaldéhyde	50-00-0	Butanone	78-93-3
Alcool benzylique	100-51-6	Diéthylènetriamine	111-40-0
2,4,6-tris(diméthylaminométhyl)phénol	90-72-2	Toluène	108-88-3
3-cyclohexylaminopropylamine	3312-60-5	Méthacrylate de méthyle	80-62-6
Isopropanol	67-63-0	Bis[(dimethylamino)methyl]phénol	71074-89-0
Méthanol	67-56-1	Xylènes	1330-20-7
Masse réactionnelle de pentaméthyl pyperidyl sébaçates	1065336-91-5	Hydrocarbures en C9-C12, n-alcanes, isoalcanes, cycliques, aromatiques (2-25%)	919-446-0
Acrylate de n-butyle	141-32-2	Octaméthylcyclotérasiloxane	556-67-2
Ethylbenzène	100-41-4	Pentane-2,4-dione	123-54-6
1,3-cyclohexylènebis(méthylamine)	2579-20-6	Silicate de tétraéthyle	78-10-4
Acide salicylique	69-72-7	White spirit	64742-88-7
2-méthylpropan-1-ol	78-83-1	o-xylène	95-47-6
3-aminopropyldiéthylamine	104-78-9	Méthacrylate de butyle	97-88-1
Terpinol	8000-41-7	2-butanone oxime	96-29-7
N-éthyl-2-pyrrolidone	2687-91-4	Anhydride phthalique	85-44-9
Ethylhexyl glycidyl éther	2461-15-6	3-aminopropyltriéthoxysilane	
Acétate de n-butyle	123-86-4	2,2,4(ou 2,4,4)-triméthylhexane-1,6-diamine	25513-64-8
éthanediamine-1,2, N-(amino-2 éthyl)-, produits de réaction avec l'oxyde de glycidyle et de tolyle	84144-79-6	3-(triméthoxysilyl)propylamine	13822-56-5

### 3.3.2 EMISSIONS LIÉES AUX ACTIVITÉS DE GRENAILLAGE

Les opérations de grenaillage effectuées sur le site des Chantiers de l'Atlantique sont destinées à la préparation de surface des tôles, par projection d'abrasif métallique. Cette activité est susceptible d'émettre des particules métalliques, provenant soit des surfaces traitées soit du fractionnement de l'abrasif.

Lors des opérations de grenaillage, une projection d'abrasif est réalisée sous pression d'air comprimé. Cet abrasif est conduit par un tuyau souple jusqu'à la lance, manipulée par l'opérateur. L'abrasif projeté est ensuite récupéré pour être épuré et recyclé, grâce à des racleurs et une vis sans fin. Il est ensuite séparé des gros déchets, et l'air empoussiéré est conduit par ventilation forcée au dépoussiéreur, avant rejet extérieur.

Un schéma explicatif d'une installation de grenaillage classique est donné dans la figure ci-dessous :  
(N.B. : ce schéma est une illustration générale réalisée par l'INRS, et non une description exhaustive des activités de grenaillage effectuées au sein de Chantiers de l'Atlantique)

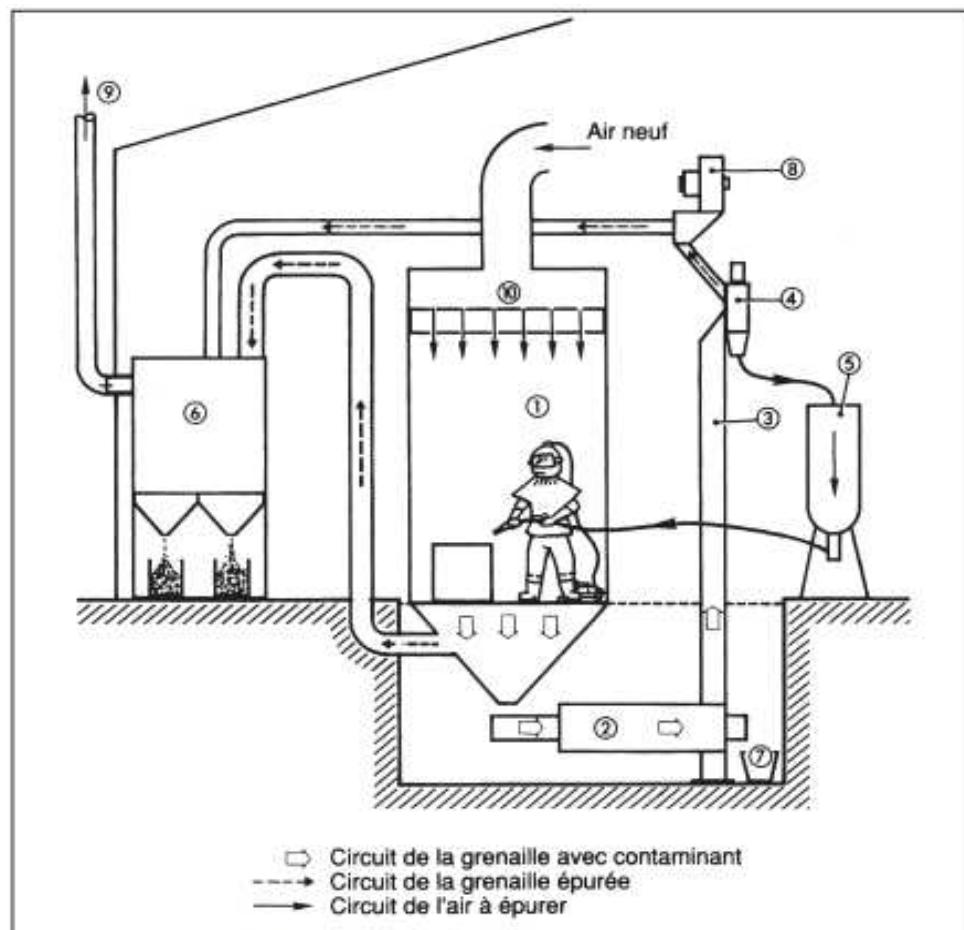


Schéma d'une installation

- 1 – Cabine de grenaillage  
2 – Vis de transport  
3 – Elévateur  
4 – Epurateur de l'abrasif

- 5 – Sableuse  
6 – Extracteur et épurateur de l'air  
7 – Evacuation des gros déchets  
8 – Tiroir de nettoyage  
9 – Rejet extérieur  
10 – Aération de la cabine

Figure 4 : Schéma d'une installation de grenaillage (source : INRS – ED768)

Les métaux considérés dans cette étude sont les suivants :

- Mercure (Hg)
- Cadmium (Cd)
- Thallium (Tl)
- Arsenic (As)
- Sélénium (Se)
- Tellure (Te)
- Antimoine (Sb)
- Chrome (Cr)
- Cobalt (Co)
- Cuivre (Cu)
- Etain (Sn)
- Manganèse (Mn)
- Nickel (Ni)
- Plomb (Pb)
- Vanadium (V)
- Zinc (Zn)

Certains de ces métaux n'ont toutefois pas été détectés en sortie des grenailleuses, et d'autres ne font pas l'objet de Valeurs Toxicologiques de Référence. Les substances concernées seront identifiées dans la suite de l'étude, et ne seront pas retenues pour la modélisation de dispersion atmosphérique.

### 3.3.3 EMISSIONS LIÉES AUX ACTIVITÉS DE SOUDAGE

Des opérations de soudage sont réalisées tout au long du procédé de fabrication des navires et des sous-stations électriques. Ces activités sont susceptibles d'émettre des fumées de soudage dans l'atmosphère, du fait de la consommation des matériaux d'apport utilisés. Ces fumées de soudage sont constituées d'une phase gazeuse et d'une phase particulaire. La phase gazeuse est constituée, entre autres, de monoxyde de carbone, de CO<sub>2</sub>, de vapeurs nitreuses, d'ozone...

La phase particulaire est, quant à elle, majoritairement constituée d'oxydes métalliques provenant de la constitution du matériau d'apport utilisé pour la soudure réalisée.

Dans le cadre de cette étude, les métaux émis par les activités de soudage réalisées sur le site des Chantiers de l'Atlantique seront considérés, sur la base de la composition des matériaux d'apport utilisés.

Une phase de travail préalable à l'Evaluation du Risque Sanitaire a été effectuée concernant les activités de soudage, consistant à répertorier l'ensemble des matériaux d'apports utilisés sur le site des Chantiers de l'Atlantique en 2022. Sur la base de la documentation des fournisseurs (FDS et FT), ainsi que des éléments de littérature relatifs à la composition des matériaux d'apport (classification AWS et EN/ISO notamment), la composition de chaque matériau d'apport a pu être estimée.

Les substances identifiées dans cette documentation, et considérées dans cette étude, seront les suivantes :

- Fer (Fe)
- Carbone (C)
- Manganèse (Mn)
- Silicium (Si)
- Phosphore (P)
- Soufre (S)
- Nickel (Ni)
- Chrome (Cr)
- Molybdène (Mo)
- Vanadium (V)
- Cobalt (Co)
- Plomb (Pb)
- Cuivre (Cu)

Le détail de la démarche et des hypothèses ayant mené au choix de ces substances et à leur quantification sera présenté dans la suite de cette étude.

### 3.4 BILAN QUANTITATIF DES FLUX ET VERIFICATION DE LA CONFORMITE DES EMISSIONS

#### 3.4.1 RÈGLEMENTATION APPLICABLE

##### 3.4.1.1 *Arrêté du 2 Février 1998 (Emissions des ICPE)*

Le site des Chantiers de l'Atlantique est soumis à autorisation pour la rubrique 3670-2 du classement IED, du fait d'une capacité de consommation de plus de 200 tonnes de solvants par an, pour le revêtement et le traitement de surface dans le cadre de la construction de navires et de sous-stations électriques.

De ce fait, l'arrêté du 2 Février 1998, relatif aux prélèvements et à la consommation d'eau ainsi qu'aux émissions de toute nature des installations classées pour la protection de l'environnement soumises à autorisation, s'applique.

Les valeurs limites citées dans cet arrêté et applicables au site sont les suivantes :

Tableau 8 : VLE applicables au site (arrêté du 02/02/1998)

Article	Paramètre	Substances	VLE
27.1°	Poussières	/	Flux horaire < 1 kg/h : 100 mg/m <sup>3</sup>
			Flux horaire > 1 kg/h : 40 mg/m <sup>3</sup>
27.7°.a)	COVnm	COVnm	Oxydation avec rendement > 98% : 50 mg/m <sup>3</sup> Oxydation avec rendement < 98% : 20 mg/m <sup>3</sup>
		NO <sub>x</sub>	100 mg/m <sup>3</sup>
		CH <sub>4</sub>	50 mg/m <sup>3</sup>
		CO	100 mg/m <sup>3</sup>
27.7°b)	COV	COV visés à l'Annexe III de l'arrêté	Flux horaire > 100 g/h : 20 mg/m <sup>3</sup>
27.7°c)	COV	Substances classées H340, H350, H350i, H360D ou H360F	Flux horaire > 10 g/h : 2 mg/m <sup>3</sup>
		Substances halogénées classées H341 ou H351	Flux horaire > 100 g/h : 20 mg/m <sup>3</sup>
27.8°	Métaux	Cd, Hg, Tl et leurs composés	Flux horaire > 1 g/h : 0,05 mg/m <sup>3</sup> par métal et 0,1 mg/m <sup>3</sup> pour la somme des métaux
		As, Se, Te et leurs composés	Flux horaire > 5 g/h : 1 mg/m <sup>3</sup> (exprimée en As + Se + Te)
		Pb et ses composés	Flux horaire > 10 g/h : 1 mg/m <sup>3</sup>
		Sb, Cr, Co, Cu, Sn, Mn, Ni, V, Zn et leurs composés	Flux horaire > 25 g/h : 5 mg/m <sup>3</sup> (exprimée en Sb + Cr + Co + Cu + Sn + Mn + Ni + V + Zn)

##### 3.4.1.2 *Arrêté ministériel du 3 février 2022*

Le site des Chantiers de l'Atlantique est soumis à autorisation pour la rubrique 3670-2 du classement IED, du fait d'une capacité de consommation de plus de 200 tonnes de solvants par an, pour le revêtement et le traitement de surface dans le cadre de la construction de navires et de sous-stations électriques.

De ce fait, l'arrêté ministériel du 3 février 2022 s'applique de plein droit aux installations des Chantiers de l'Atlantique à compter du 9 décembre 2024.

Les valeurs limites citées dans cet arrêté et applicables au site sont les suivantes (§3.3.2.2 de l'arrêté) :

Tableau 9 : VLE de l'arrêté du 3 février 2022

Paramètre	Unité	VLE <sup>(1)</sup> (Moyenne journalière ou moyenne sur la période d'échantillonnage)
NO <sub>x</sub>	mg éq. NO <sub>2</sub> /Nm <sub>3</sub>	100 <sup>(2)</sup>
CO	mg/Nm <sub>3</sub>	100
COVT	mg C/Nm <sub>3</sub>	20 (pour un rendement de la technique d'oxydation pour l'élimination COV ≤ 98 %)
		50 (pour un rendement de la technique d'oxydation pour l'élimination COV > 98 %)

(1) La VLE ne s'applique pas lorsque des effluents gazeux sont envoyés dans une installation de combustion.

(2) La VLE peut ne pas être appliquée si des composés azotés [par exemple, DMF ou NMP (N-méthylpyrrolidone)] sont présents dans les effluents gazeux.

#### 3.4.1.3 Arrêté préfectoral du 17 mars 2009

L'arrêté préfectoral du 18 mai 1998, autorisant les Chantiers de l'Atlantique à exploiter des installations classées pour la protection de l'environnement, a été notamment complété par l'arrêté préfectoral de prescriptions complémentaires du 17 mars 2009, autorisant les Chantiers de l'Atlantique à poursuivre l'exploitation de l'unité de fabrication de navires à coques métalliques.

Une surveillance des rejets de COV est mentionnée dans cet arrêté, et concerne les émissions des activités de grenaillage et de peinture des tôles et PRS, et les alvéoles de peinture.

Toutes ces installations sont équipées d'un dispositif d'oxydation thermique, et les valeurs limites d'émission suivantes sont applicables :

Tableau 10 : VLE applicables au site (arrêté du 17/03/2009)

Installation	COVnm (mg/m <sup>3</sup> )	NO <sub>x</sub> (mg/m <sup>3</sup> )	CH <sub>4</sub> (mg/m <sup>3</sup> )	CO (mg/m <sup>3</sup> )
Atelier Tôles	20	100	50	100
Atelier PRS	20	100	50	100
Alvéoles	20	100	50	100

Par ailleurs, selon l'arrêté du 17 Mars 2009, le flux annuel d'émissions diffuses doit correspondre aux meilleures techniques disponibles, et ne doit pas être supérieur à 20 % de la quantité de solvants utilisés dans les installations à flux canalisés.

#### 3.4.2 VÉRIFICATION DE LA CONFORMITÉ DES ÉMISSIONS

Le bilan quantitatif des flux est réalisé uniquement pour les émissions atmosphériques des oxydeurs et des grenailleuses. Ce bilan a été effectué sur la base des mesures de rejets atmosphériques réalisées en 2022, 2023 et 2024 pour les COV et en 2023 et 2024 pour les métaux.

Les résultats de ces mesures sont donnés ci-dessous et comparés aux valeurs limites d'émissions pour les rejets canalisés, lorsqu'elles existent.

Tableau 11 : Vérification de la conformité des émissions - COV

		Rejet oxydeur alvéole	Rejet oxydeur Anemos	Rejet oxydeur PRS	Rejet oxydeur Tôles	Valeur limite d'émission (mg/m <sup>3</sup> )
COVnm	Flux (g/h)	2022	79,5	635	59,6	72,7
		2023	58,4	14,4	69,1	204
		2024	81,5	*	95,9	46
	Concentration (mg/Nm <sup>3</sup> )	2022	0,9	3,8	15	4,1
		2023	0,8	0,0916	14,7	10
		2024	0,9	*	13,5	3,6
NOx	Flux (g/h)	2022	66,2	0	17,2	31,5
		2023	88,7	0	38,5	0
		2024	89,2	*	63,9	48,5
	Concentration (mg/Nm <sup>3</sup> )	2022	0,75	0	4,3	1,7
		2023	1,2	0	8,2	0
		2024	0,99	*	9	3,8
CH4	Flux (g/h)	2022	75,9	191	0	0,17
		2023	96,1	168	1,33	5,55
		2024	150	*	0,069	0,98
	Concentration (mg/Nm <sup>3</sup> )	2022	0,86	1,1	0	0,0096
		2023	1,3	1,07	0,284	0,273
		2024	1,7	*	0,0097	0,077
CO	Flux (g/h)	2022	198	0	28,8	216
		2023	0	0	75,2	0
		2024	0	*	99,9	54,5
	Concentration (mg/Nm <sup>3</sup> )	2022	2,2	0	7,2	11,9
		2023	0	0	16	0
		2024	0	*	14	4,2

\* Les mesures 2024 au niveau de l'alvéole Anemos n'avaient pas encore été effectuées au moment de l'étude, par manque d'activité au moment de la première campagne de mesurage.

Les valeurs mesurées de COVT (addition de COVnm et CH<sub>4</sub>) sont par ailleurs conformes aux prescriptions de l'arrêté ministériel du 3 février 2022.

Aucun dépassement des valeurs limites d'émission n'a été constaté sur les mesures effectuées. Les émissions sont donc conformes.



Tableau 12 : Vérification de la conformité des émissions – métaux et poussières

			VLE	Oxydeurs				Grenailleuses						
				Alvéoles	Anemos	PRS	Tôles	Alvéoles	Anemos		PRS	Tôles 1	Tôles 2	Panneaux Plans
[As, Se, Te]	Flux (g/h)	2023	Si flux > 5 g/h : VLE = 1 mg/m <sup>3</sup>	0,07088	0,00763	0,001415	0,00921	-	-	-	-	-	-	-
		2024		0	-	0	0	0	0	0	0	0,0019	0,00026	0
	C° (mg/Nm3)	2023		0,001437	0,000048	0,0003025	0,0004537	-	-	-	-	-	-	-
		2024		0	-	0	0	0	0	0	0	0,000097	0,000029	0
[Hg,Cd, Tl]	Flux (g/h)	2023	Si flux > 1 g/h : VLE = 0,1 mg/m <sup>3</sup>	0,0088	0,0066	0,00847	0,0249	-	-	-	-	-	-	-
		2024		0	-	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	C° (mg/Nm3)	2023		0,000179	0,0000415	0,00181	0,00123	-	-	-	-	-	-	-
		2024		0	-	0	0	0	0	0	0	0	0	0
[Pb]	Flux (g/h)	2023	Si flux > 10 g/h : VLE = 1 mg/m <sup>3</sup>	0,0578	0,11	0,00608	0,0214	-	-	-	-	-	-	-
		2024		0,12	-	0,0046	0,0036	0,077	0,26	0,28	0,0081	0,018	0,012	0,005
	C° (mg/Nm3)	2023		0,00118	0,000689	0,0013	0,00106	-	-	-	-	-	-	-
		2024		0,00013	-	0,00098	0,00028	0,0016	0,0031	0,0033	0,00091	0,00093	0,0013	0,0018
[Sb, Cr, Co, Cu, Sn, Mn, Ni, V, Zn]	Flux (g/h)	2023	Si flux > 25 g/h : VLE = 5 mg/m <sup>3</sup>	5,7574	17,1213	0,292666	2,412	-	-	-	-	-	-	-
		2024		15,48	-	0,7854	0,9964	6,923	44,54	56,22	1,4919	11,982	1,688	0,665
	C° (mg/Nm3)	2023		0,1170232	0,1076546	0,0625421	0,119052	-	-	-	-	-	-	-
		2024		0,17287	-	0,16402	0,07962	0,1434	0,5299	0,6607	0,16909	0,616	0,1957	0,2402
Poussières	Flux (g/h)	2023	Si flux < 1kg/h : VLE = 100 mg/m <sup>3</sup>	24,8	19,8	2,69	4,31	-	-	-	29,1	8,42	3,3	-
		2024		31,4	-	1,7	44	23,3	35,2	37,9	2,2	63,6	15,1	2,3
	C° (mg/Nm3)	2023		0,504	0,125	0,574	0,212	-	-	-	3,87	0,443	0,454	-
		2024		0,35	-	0,35	0,35	0,48	0,41	0,45	0,25	3,3	1,7	0,84

Seuls les flux des grenailleuses Anemos mesurés en 2024 pour les substances [Sb, Cr, Co, Cu, Sn, Mn, Ni, V, Zn] sont supérieurs aux flux minimaux mentionnés dans l'arrêté du 02/02/1998, à partir desquels une vérification de la concentration est nécessaire. Les concentrations associées à ces deux rejets, pour les substances considérées, restent en-deçà de la VLE associée de 5 mg/m<sup>3</sup> (facteur 10 environ). Les flux de poussières étant tous inférieurs à 1 kg/h, une VLE de 100 mg/m<sup>3</sup> doit être respectée pour les concentrations associées : les valeurs mesurées sont en-deçà de cette valeur.

Les autres flux mesurés sont systématiquement en-dessous des flux minimaux mentionnés dans l'arrêté du 02/02/1998, à partir desquels une vérification de la concentration est nécessaire.

Les émissions de poussières et de métaux sont donc conformes.



### 3.4.3 QUANTIFICATION DES ÉMISSIONS DUES À L'APPLICATION DE PEINTURE ET DE SOLVANT

#### 3.4.3.1 *Calcul de la quantité de COV émis*

Afin d'estimer l'identité et la quantité des composés organiques volatils susceptibles d'être émis par les différentes installations du site, un travail préalable de décomposition des FDS des produits utilisés a été réalisé.

L'ensemble des substances mentionnées dans les FDS des fournisseurs a été répertorié, avec les fourchettes de concentration associées à la composition de chaque produit. 153 produits différents ont ainsi pu être étudiés, contenant 171 substances distinctes au total. Parmi ces substances, 71 d'entre elles sont considérées comme des composés organiques volatils, possédant une pression de vapeur supérieure à 10 Pascal à une température de 20° C.

Les Fiches de Données de Sécurité des fabricants de produits chimiques donnant des fourchettes de concentration et non les concentrations précises des substances dangereuses, il a été choisi de retenir la valeur moyenne des bornes hautes et basses de ces fourchettes de concentration pour les calculs. La proportion retenue pour une substance mentionnée dans une FDS à hauteur de 5-10% sera donc de 7,5%.

La quantification de l'ensemble des substances considérées a ainsi pu être effectuée par point de rejet, en considérant :

- La composition des produits utilisés, sur la base des informations des FDS ;
- L'identité des produits utilisés, par activité ;
- Le tonnage de produits utilisés en 2022, par activité.

L'alvéole Anemos 2 devant être fonctionnelle courant 2025, les émissions associées n'apparaissent pas au niveau de ce point de rejet (P8) dans le calcul effectué, mais ont été considérées dans les émissions diffuses du site. Cette hypothèse est majorante, dans la mesure où une diminution des émissions diffuses du site est attendue après la mise en service de l'alvéole Anemos 2.

Afin de considérer également les émissions attendues de cette nouvelle alvéole, les émissions calculées pour l'alvéole Anemos seront dupliquées au niveau du point de rejet P8 : cette hypothèse constitue une nouvelle majoration des émissions, dans la mesure où les émissions diffuses actuelles et les émissions correspondantes prévues au sein de l'alvéole Anemos 2 seront considérées lors de la modélisation de dispersion atmosphérique.

Un tableau récapitulatif des émissions de chaque activité concernée, substance par substance, a ainsi pu être créé. Un extrait de ce tableau est donné ci-dessous, et l'ensemble des résultats est donné en Annexe I.

	P1 - Tôles	P2 - Anemos	P3 - PRS	P4 - Alvéoles N	P5,6,7,9 - Bords
		Qté totale (T)	Qté totale (T)	Qté totale (T)	Qté totale (T)
Styrène	100-42-5				3,57560
N,N-diéthylaniline	91-66-7				0,01189
Acétate de 2-méthoxy-1-méthyléthyle	108-65-6	4,52205		3,90893	0,04826
1,2,4-triméthylbenzène	95-63-6				0,00054
Hydroperoxyde de cumène	80-15-9				0,04337

Figure 5 : Extrait du bilan des émissions, par substance et par activité

Un bilan des émissions diffuses, canalisées et totales de COV a ensuite pu être effectué, en considérant :

- La part d'émissions diffuses des activités susceptibles d'en émettre (données fournies par les Chantiers de l'Atlantique) ;
- Les rendements des oxydeurs thermiques ;
- Les substances susceptibles d'être émises, sur la base de leur pression de vapeur.

Les rendements des oxydeurs des activités Tôles, PRS et Alvéoles Navales ont été calculés suite à la campagne de mesure effectuée en Février 2024. Les mesures à effectuer en sortie de l'oxydeur Anemos ayant été reportées, le rendement calculé en 2022 a été utilisé dans cette étude.

Le bilan de ces émissions est donné dans le tableau ci-dessous :

Tableau 13 : Bilan des émissions de COV - 2022

	% Diffus	Abattement oxydeur	Total substances (t)	Total COV entrants (t)	Total diffus (t)	Total canalisé (t)	Emissions totales (t)
<b>P1 - Tôles</b>	4,9	99,3	328,684	192,889	9,452	1,284	10,736
<b>P2 - Anemos</b>	0	92,5	34,366	8,406	0,000	0,630	0,630
<b>P3 - PRS</b>	14,2	95,5	77,972	56,688	8,050	2,189	10,238
<b>P4 - Alvéoles N</b>	0	96,6	28,824	11,599	0,000	0,394	0,394
<b>P5,6,7,9 - Bords</b>	100	0	408,504	211,592	211,592	0,000	211,592
<b>TOTAL</b>			<b>878,350</b>	<b>481,173</b>	<b>229,094</b>	<b>4,498</b>	<b>233,591</b>

Ces données ont été calculées sur la base des informations de consommation des Chantiers de l'Atlantique sur l'année 2022.

Or, une capacité maximale de la consommation pouvant être absorbée par les Chantiers de l'Atlantique a pu être estimée par le site :

- Estimation d'une consommation maximale totale de COV de 600t sur l'ensemble du site, par rapport aux 481t estimées pour l'année 2022 ;
- Augmentation de la consommation limitée à 10% au niveau des activités PRS et Tôles, par rapport à celle de 2022.

En répercutant ces évolutions de consommation au bilan ci-dessus, les estimations des émissions maximales des différentes activités seront les suivantes :

Tableau 14 : Bilan des émissions maximales de COV

	% Diffus	Abattement oxydeur	Total substances (t)	Total COV entrants (t)	Total diffus (t)	Total canalisé (t)	Emissions totales (t)
<b>P1 - Tôles</b>	4,9	99,3	361,553	212,177	10,397	1,412	11,809
<b>P2 - Anemos</b>	0	92,5	48,295	11,813	0,000	0,886	0,886
<b>P3 - PRS</b>	14,2	95,5	85,769	62,356	8,855	2,408	11,262
<b>P4 - Alvéoles N</b>	0	96,6	40,506	16,300	0,000	0,554	0,554
<b>P5,6,7,9 - Bords</b>	100	0	574,075	297,353	297,353	0,000	297,353
<b>TOTAL</b>			<b>1110,198</b>	<b>600,000</b>	<b>316,605</b>	<b>5,260</b>	<b>321,865</b>

Cette évolution de consommation peut ainsi se répercuter sur les consommations individuelles de chaque substance, par activité. En appliquant un facteur propre à chaque activité, basé sur les consommations de COV en 2022 et les estimations des émissions maximales, les émissions maximales de chaque COV considéré peuvent être calculées, et sont reportées dans le tableau en page suivante.

Tableau 15 : Emissions de COV maximales, par an, par substance et par activité (en tonnes)

		P1 - Tôles		P2 - Anemos	P3 - PRS		P4 - Alvéoles N.	P5,6,7,9 - Bords
		Diffus	Sortie oxydeur	Sortie oxydeur	Diffus	Sortie oxydeur	Sortie oxydeur	Diffus
Styrène	100-42-5							5,025
N,N-diéthylaniline	91-66-7							0,017
Acétate de 2-méthoxy-1-méthyléthyle	108-65-6	0,244	0,033		0,611	0,166	0,002	1,973
1,2,4-triméthylbenzène	95-63-6						0,000	0,004
Hydroperoxyde de cumène	80-15-9							0,061
2-phénylpropane-2-ol	617-94-7							
Cumène	98-82-8						0,000	0,024
Acétophénone	98-86-2							
Hydrocarbures en C9-C11	919-857-5							1,947
Masse réactionnelle d'éthylbenzène et de xylène	905-588-0	0,306	0,042		0,472	0,128	0,332	134,740
Solvant naphtha	64742-95-6						0,031	25,253
Butanol	71-36-3	0,019	0,003	0,078	0,047	0,013	0,072	42,827
Ethylènediamine	107-15-3						0,002	1,420
Formaldéhyde	50-00-0						0,000	0,024
Alcool benzylique	100-51-6			0,022			0,035	2,994
2,4,6-tris(diméthylaminométhyl)phénol	90-72-2			0,028			0,011	0,815
3-cyclohexylaminopropylamine	3312-60-5						0,000	0,002
Isopropanol	67-63-0	5,697	0,774		2,726	0,741	0,000	0,012
Acrylate de 2-hydroxyéthyle	818-61-1						0,000	0,007
Chlorure de vinyle	75-01-4						0,000	0,011
4-méthylpentan-2-one	108-10-1	0,005	0,001		0,014	0,004	0,024	3,246
Hydrocarbures aromatiques en C9	128601-23-0			0,134			0,035	3,872
Triéthylamine	121-44-8						0,000	0,013
1-méthoxy-2-propanol	107-98-2	1,318	0,179	0,008	0,599	0,163	0,000	0,019
2-butoxyéthanol	111-76-2						0,000	0,055
Hydrocarbures en C9-C11, n-alcanes, isoalcanes, cycliques, <2% aromatiques	64742-48-9						0,000	50,080
Naphta lourd (pétrole), hydrodésulfuré	64742-82-1						0,001	2,885
(2-méthoxyméthylethoxy)propanol	34590-94-8						0,000	0,099
Cyclohexanone	108-94-1			0,009			0,000	0,681
Masse réactionnelle de Bis(1,2,2,6,6-pentaméthyl-4-piperidyl)sebacate et de Methyl 1,2,2,6,6-pentaméthyl-4-piperidyl sebacate	1065336-91-5			0,004			0,000	0,092
Butanone	78-93-3	0,244	0,033		0,611	0,166	0,001	0,026
Diéthylènetriamine	111-40-0							0,112
5-méthylhexane-2-one	110-12-3							0,189
Méthacrylate de méthyle	80-62-6							0,342
Anhydride maléique	108-31-6							

		P1 - Tôles		P2 - Anemos	P3 - PRS		P4 - Alvéoles N.	P5,6,7,9 - Bords
		Diffus	Sortie oxydeur	Sortie oxydeur	Diffus	Sortie oxydeur	Sortie oxydeur	Diffus
Hydrocarbures en C9-C12, n-alcanes, isoalcanes, cycliques, aromatiques (2-25%)	919-446-0						0,004	1,349
Xylènes	1330-20-7			0,456				12,569
Ethylbenzène	100-41-4			0,107			0,000	2,571
Méthanol	67-56-1							0,006
Acrylate de n-butyle	141-32-2						0,000	0,064
p,p'-Isopropylidènediphénol polymérisé avec le 2,2'-(isopropylidène)bis(4,1-phénylénoxyméthylène)]bis(oxirane)	25036-25-3							0,191
1,3-cyclohexylènebis(méthylamine)	2579-20-6							0,357
Acide salicylique	69-72-7			0,000			0,001	0,016
2-méthylpropan-1-ol	78-83-1			0,010				0,352
Toluène	108-88-3			0,003				0,084
3-aminopropylidéthylamine	104-78-9			0,002				0,068
Acétate de n-butyle	123-86-4	0,244	0,033	0,021	0,611	0,166		0,168
Phénol	108-95-2							0,000
Bis[(dimethylamino)methyl]phénol	71074-89-0			0,004				0,033
Octaméthylcyclotérasiloxane	556-67-2							0,005
Pentane-2,4-dione	123-54-6							0,069
Silicate de tétraéthyle	78-10-4	0,117	0,016		0,053	0,015		0,032
White spirit	64742-88-7							0,285
o-xylène	95-47-6							0,043
Méthacrylate de butyle	97-88-1							0,010
2,2,4(ou 2,4,4)-triméthylhexane-1,6-diamine	25513-64-8							0,043
2-méthylpentane-1,5-diamine	15520-10-2							0,001
éthanediamine-1,2, N-(amino-2 éthyl)-, produits de réaction avec l'oxyde de glycidyle et de tolyle	84144-79-6							0,027
Ethanol	64-17-5	1,242	0,169		0,703	0,191		0,021
Diméthylcétone	67-64-1	0,406	0,055		1,018	0,277		
Acétate d'isopropyle	108-21-4	0,244	0,033		0,611	0,166		
Acétate d'éthyle	141-78-6	0,244	0,033		0,611	0,166		
Hydrocarbures C7, n-alcanes, isoalcanes, cycliques	927-510-4	0,068	0,009		0,170	0,046		
1,4-bis(2,3 époxypropoxy)butane	2425-79-8			0,001				
Terpinéol	8000-41-7							0,009
N-éthyl-2-pyrrolidone	2687-91-4							0,000
Ethylhexyl glycidyl éther	2461-15-6							0,031
2-butanone oxime	96-29-7							0,000
Anhydride phtalique	85-44-9							0,000
3-aminopropyltriéthoxysilane	919-30-2						0,001	0,062
3-(triméthoxysilyl)propylamine	13822-56-5						0,000	0,022

<b>TOTAL COV :</b>	<b>10,397</b>	<b>1,412</b>	<b>0,886</b>	<b>8,855</b>	<b>2,408</b>	<b>0,554</b>	<b>297,353</b>
--------------------	---------------	--------------	--------------	--------------	--------------	--------------	----------------

Remarque : Les valeurs indiquées comme étant égales à « 0,000t » dans ce tableau correspondent à des valeurs inférieures à 0,5 kg. Les valeurs exactes seront considérées dans le cadre de cette étude, mais ce format a été choisi pour une meilleure lecture du tableau précédent.

Parmi les COV identifiés, seuls ceux qui possèdent des valeurs toxicologiques de référence seront retenus pour la modélisation, et pour la caractérisation du risque.

Les émissions maximales de COV au niveau des Bords représentent la somme des quatre points d'émissions P5, P6, P7 et P9, il a donc été nécessaire d'estimer la part individuelle de chaque point d'émission. La répartition suivante a été estimée par les Chantiers de l'Atlantique, en ce qui concerne les activités de peinture, et sera appliquée lors de la modélisation :

- P5 : 59% des émissions maximales calculées ;
- P6 et P7 : 20% des émissions maximales calculées, pour chaque point d'émission ;
- P9 : 1% des émissions maximales calculées.

#### 3.4.3.2 *Comparaison du modèle de calcul avec les mesures effectuées*

Lors des mesures réglementaires effectuées par DEKRA en 2024 en sortie des oxydeurs du site, des analyses par screening des aldéhydes et des cétones ont également été menées.

Ces analyses ont permis de confirmer la présence de plusieurs substances identifiées lors de la décomposition des FDS réalisée, et de mesurer des flux associés. Ces flux mesurés, une fois multipliés par la période d'émission des activités concernées, ont pu être comparés aux émissions annuelles estimées dans le paragraphe précédent.

Une synthèse de la comparaison de ces flux est donnée dans le tableau de la page suivante.

Tableau 16 : Comparaison des flux calculés avec les résultats de mesure

CAS	Tôles (2024)		PRS (2024)		Alvéoles N. (2024)		Anemos (2022)	
	Flux extrapolé (kg/an)	Flux calculé (kg/an)						
Ethylbenzène	100-41-4	1,32	20,79	89,23	64,20	12,48	166,18	24,44
Xylènes	1330-20-7	6,40	20,79	18,94	64,20	131,07	166,12	228,12
2-propanol, 1-methoxy-	107-98-2	9,38	179,03	196,61	162,75	143,63	0,18	0,00
Méthylisobutylcétone	108-10-1	0,00	0,74	0,00	3,69	18,80	23,88	0,00
1-methoxy-2-propyl acetate	108-65-6	0,00	33,11	47,03	166,02	0,00	2,31	0,00
Acétone	67-64-1	0,00	55,19	60,09	276,69	0,00	0,00	0,00

Légende :

20,79 : Flux calculé > flux extrapolé

64,20 : Flux calculé < flux extrapolé, mais du même ordre de grandeur

0,18 : Flux calculé < flux extrapolé, avec une différence significative

Remarque : Les valeurs indiquées comme étant égales à « 0,00 » dans ce tableau indiquent que la substance en question n'a pas été détectée lors des mesures (flux extrapolé), ou qu'elle n'a pas été identifiée dans les FDS des produits utilisés dans l'activité considérée (flux calculé).

La quasi-totalité des flux annuels estimés par calcul est supérieure à l'extrapolation faite sur la base des flux mesurés en sortie d'oxydeurs.

Seule la quantité de 1-méthoxy, 2-propanol extrapolée sur la base de la mesure en sortie des alvéoles navales est bien supérieure à celle calculée. Parmi l'ensemble des références de peintures utilisées au sein de cet atelier, une seule contient du 1-méthoxy, 2-propanol. La consommation annuelle de ce produit est faible (171 kg) par rapport à la quantité totale de peinture consommée à l'année, aussi le flux annuel d'émission calculé pour cette substance est faible. La concentration élevée mesurée en 2024 peut s'expliquer par le fait que la référence de produit contenant du 1-méthoxy, 2-propanol était utilisée lors de la mesure : un pic de concentration a donc été observé, non représentatif de la moyenne annuelle du flux à l'émission, pour cette substance.

Des mesures similaires effectuées en 2022 n'ont par ailleurs pas détecté de 1-méthoxy, 2-propanol en sortie de l'oxydeur des alvéoles navales, allant dans le sens de l'hypothèse précédente.

Par ailleurs, le 1-méthoxy, 2-propanol possède des valeurs toxicologiques de référence moins contraignantes que les xylènes et l'éthylbenzène (ces données seront explicitées au paragraphe 5), ce qui en fait un traceur de risque moins pertinent.

Les mesures à effectuer en sortie de l'oxydeur Anemos en 2024 ayant été reportées, les valeurs mesurées en 2022 ont été retenues dans le cadre de cette comparaison.



La présence de deux substances spécifiques a également été mise en avant lors des mesures effectuées en sortie des oxydeurs en 2022 et 2024 : le formaldéhyde et l'acétaldéhyde.

- Le formaldéhyde est présent dans certaines références de peintures utilisées sur le site des Chantiers de l'Atlantique, mais les flux mesurés sont plus importants que ceux calculés suite à la décomposition des FDS ;
- L'acétaldéhyde ne rentre pas dans la composition des peintures et solvants consommés sur le site.

Ces deux substances ne sont pas émises de manière directe par l'application de peinture et de solvants par le site, mais de manière secondaire par l'oxydation de composés organiques volatils, qu'ils soient d'origine naturelle ou anthropique.

L'oxydation de divers types de COV, tels que les terpènes, alcènes, alcanes, alcools, aldéhydes... est par exemple susceptible de former de l'acétaldéhyde.

Ces deux substances n'ayant pas pu être considérées, dans ces proportions, par le biais de la décomposition des FDS, une extrapolation des résultats de mesure obtenus est réalisée afin d'estimer le flux annuel de ces substances, en sortie des différents oxydeurs.

Le flux maximal mesuré lors des analyses effectuées en 2022 et 2024 est présenté dans le tableau ci-dessous, et un flux annuel extrapolé a pu être calculé :

Tableau 17 : Flux maximaux mesurés pour le formaldéhyde et l'acétaldéhyde

	Acétaldéhyde		Formaldéhyde		
	Période d'émission* (h/an)	Flux maximal mesuré (g/h)	Flux extrapolé (kg/an)	Flux maximal mesuré (g/h)	Flux extrapolé (kg/an)
Tôles	5520	5,2	28,70	2,8	15,46
PRS	6532	1,9	12,41	1,8	11,76
Alvéoles N.	3760	19	71,44	4,6	17,30
Anemos	3760	21,7	81,59	5	18,80

\* cf §3.2.1

Afin de majorer les émissions associées, les flux considérés pour ces deux substances dans le cadre de cette étude seront les flux calculés sur la base de leurs VLE, au sens de l'arrêté du 02/02/1998, soit 2 mg/m<sup>3</sup>. Les flux équivalents retenus, ainsi que les flux annuels associés, sont présentés dans le tableau suivant :

Tableau 18 : Flux retenus pour le formaldéhyde et l'acétaldéhyde

	Acétaldéhyde		Formaldéhyde		
	Période d'émission* (h/an)	Flux équivalent (g/h)	Flux extrapolé (kg/an)	Flux équivalent (g/h)	Flux extrapolé (kg/an)
Tôles	5520	25,60	141,31	25,60	141,31
PRS	6532	14,24	93,02	14,24	93,02
Alvéoles N.	3760	180,40	678,30	180,40	678,30
Anemos	3760	336,67	1265,86	336,67	1265,86

\* cf §3.2.1

Cette hypothèse revient à majorer la somme des émissions maximales d'acétaldéhyde mesurées d'un facteur 11, et la somme des émissions maximales de formaldéhyde mesurées d'un facteur 34.

### 3.4.3.3 Cas des substances non volatiles

D'une manière générale, une peinture est constituée de :

- Liants (résines époxy, acrylique, polyuréthane...) ;
- Pigments ;
- Additifs (stabilisants, biocides...) ;
- Charges (carbonates, quartz...) ;
- Solvants.

Certaines substances sont volatiles (possédant une pression de vapeur supérieure à 0,01kPa à 20°C), et seront considérées dans le cadre de cette étude, étant susceptibles d'être émises à l'atmosphère. Leur quantification a été réalisée dans les paragraphes précédents.

Du fait de leur caractère non volatil, les substances organiques possédant une pression de vapeur inférieure à 0,01kPa à 20°C (ex : acides gras, colophane, polymères...) et les substances non organiques (quartz, carbonate de calcium, métaux...) ne seront pas considérées comme pouvant être émises à l'atmosphère lors de l'application de peinture sur le site.

Une étude de la nature des substances non volatiles présentes dans les peintures utilisées sur site a toutefois été réalisée, et leur part dans la consommation totale des produits a été analysée.

Parmi les substances non volatiles présentes dans les peintures utilisées sur le site des Chantiers de l'Atlantique, les composés majoritaires sont :

- Résines époxy (environ 65%) ;
- Acides gras et polymères d'acides gras (environ 8%)
- Oxydes métalliques : dioxyde de titane (1,6%), oxyde de zinc (1,11%), oxyde de cuivre (5.29%), oxyde d'aluminium (1,74%).
- Poudre de zinc (4,65%) ;
- Résines polyuréthanes (4,26%).

L'exposition de salariés lors de la mise en œuvre de résines époxydiques a été étudiée par l'INRS<sup>1</sup>, et a conclu que l'exposition par voie respiratoire, lorsqu'elle était présente dans l'étude, était due aux agents durcisseurs (amines ou anhydrides d'acides par exemple), et non aux monomères ou polymères époxydiques.

Du fait du haut poids moléculaire et de la faible volatilité des résines époxydiques, confirmée par les résultats de cette étude, leur prise en compte dans les rejets atmosphériques du site ne semble pas appropriée.

Les agents durcisseurs volatils ont toutefois bien été pris en compte, et seront considérés dans la suite de l'étude.

La fonction des composés métalliques dans les peintures est variable : ces substances peuvent aider à la conservation, avoir des propriétés passivantes ou encore colorantes. Ces substances étant incluses dans la matrice de la peinture, et liées aux autres composants, leur libération dans l'air en tant que substances individuelles lors de l'application n'est pas attendue.

D'une manière générale, les substances non volatiles contenues dans les peintures ont pour vocation d'être présentes sur la structure à peindre, après application du produit, ce qui n'est pas le cas des solvants.

Dans le cas d'une pulvérisation, il est attendu que les particules de peinture en suspension dans l'air retombent rapidement au sol, dans l'environnement très proche du lieu de pulvérisation. Dans le cadre de la présente étude, les émissions maîtrisées et quantifiées dues à l'application de peinture seront considérées, et les risques sanitaires seront calculés sur la base notamment de la quantité et de la dangerosité des COV pouvant être émis en situation normale de fonctionnement au niveau des différentes activités.

Les cas d'overspray (dépôt à un emplacement non prévu de matière particulaire en suspension dans l'air, suite à une pulvérisation) sont assimilables à des rejets non contrôlés, et ne rentrent donc pas dans le cadre d'une ERS. En effet, d'après le guide INERIS de 2021 : « Les cas de rejets non contrôlés (incidents) par exemple, ne rentrent pas dans le champ de la démarche intégrée. »

<sup>1</sup> Jargot D., Hecht C., *Evaluer l'exposition des salariés lors de la mise en œuvre de résines époxydiques : exemples concrets d'évaluation en entreprise. Documents pour le médecin du travail*, 2011, n° 125, TF 190, pp49-60.

### 3.4.4 QUANTIFICATION DES ÉMISSIONS DUES AUX ACTIVITÉS DE GRENAILLAGE

Une quantification des émissions estimée sur la base du volume de métal grenaillé, à l'aide de potentiels facteurs d'émission, ne paraît pas réalisable pour cette activité. De ce fait, les émissions dues aux activités de grenaillage seront estimées grâce à la campagne de mesure effectuée en 2024, en sortie des différentes grenailleuses du site.

Des flux à l'émission annuels seront estimés par extrapolation des résultats de mesures obtenus, et en prenant en compte la période d'émission annuelle de chaque activité. **Cette extrapolation est majorante**, dans la mesure où le temps effectif de fonctionnement des grenailleuses est inférieur à la période d'émission des activités associées.

Des analyses de chrome hexavalent ont également été réalisées suite à ces mesures. Certains résultats donnent un flux de chrome hexavalent supérieur à celui de chrome total pour un même point de prélèvement, ce qui, en pratique, est impossible.

Du fait de l'absence d'analyses normalisées pour la détermination de CrVI dans ces rejets, la méthode d'analyse utilisée pour la détermination de la concentration en CrVI hydrosoluble est basée sur la norme AFNOR XP X43-136, applicable principalement aux effluents issus des unités de traitement de surface. Cette méthode est valable dans un effluent gazeux exempt de particules solides mais pouvant contenir des vésicules liquides, mais ne s'applique pas en présence de concentration élevée de composés réducteurs. Aussi, les résultats de mesure du CrVI sont donnés sous réserve.

La méthode d'analyse du chrome total est standardisée, faite sous accréditation COFRAC, et met en jeu des volumes prélevés plus importants : elle est donc plus fiable. Par ailleurs, les mesures effectuées sur la grenailleuse de l'atelier Panneaux Plans ont abouti à une analyse impossible du chrome hexavalent par le laboratoire.

D'autre part, les Chantiers de l'Atlantique ont sollicité l'Ineris afin d'évaluer la dangerosité de déchets de grenailles métalliques, au sens de la réglementation déchets. Les résultats de cette étude ont été rendus en Décembre 2024 et précisent que, du fait de l'absence de chrome lixiviable dans les échantillons, la forme hexavalente du chrome a pu être écartée. L'ensemble du chrome a donc été considéré sous la forme de chrome trivalent.

Au vu de ces éléments, le choix est fait, pour l'ensemble des mesures effectuées sur les grenailleuses :

- De privilégier les mesures de chrome total ;
- De considérer que la moitié du chrome émis est sous forme hexavalente.

Le choix a également été fait, pour l'extrapolation des résultats de mesures, de considérer la valeur maximale de chrome total mesurées parmi les différents essais réalisés (et non la moyenne des différents essais), ce qui implique une majoration supplémentaire des émissions de chrome, et donc de chrome hexavalent.

Les activités de grenaillage au sein des ateliers Tôles, PRS et Panneaux Plans peuvent être susceptibles d'émettre des métaux de manière diffuse en faible quantité. Toutefois, des particules métalliques émises de manière diffuse devraient retomber rapidement au sol au sein de ces ateliers, et la part de particules effectivement rejetées à l'atmosphère, à l'extérieur des bâtiments, peut être considérée comme négligeable.

Par ailleurs, les grenailleuses des ateliers Tôles et Panneaux Plans étant récentes, il n'est pas attendu que la part de rejets diffus de métaux soit importante.

**Les émissions diffuses dues aux activités de grenaillage au sein des ateliers Tôles, PRS et Panneaux Plans ne seront donc pas considérées dans cette étude.**

Les flux à l'émission présentés dans le tableau de la page suivante ont été obtenus par extrapolation des résultats de mesures obtenus, en prenant en compte la période d'émission annuelle de chaque activité. Ces flux seront utilisés pour la modélisation, et ceux de l'alvéole Anemos seront dupliqués afin de considérer la création de l'alvéole Anemos 2.

Les caractéristiques des différentes grenailleuses, telles qu'elles apparaissent dans ce tableau, sont issues des résultats de mesures de la campagne réalisée en 2024.

Tableau 19 : Caractéristiques des grenailleuses et flux extrapolés

	PRS	Tôles	Alvéoles Navales	Panneaux Plans	Anemos
<b>Caractéristiques</b>					
T° des gaz (°C)	31,2	33,4	15,7	19,6	20,7
Débit (m <sup>3</sup> /h)	8910	28223	48500	2750	170300
Vitesse (m/s)	14,3	15	20,1	8,6	12,3
Forme	Circulaire	Rectangulaire	Circulaire	Circulaire	Rectangulaire
Orientation	Verticale	Verticale	Horizontale	Horizontale	Verticale
Diamètre h. (m)	0,5	0,58	0,95	0,35	1,5
Hauteur (m)	12	15	25	4	30
Période d'émission* (h/an)	6532	5520	3760	5520	3760
<b>Flux de métaux</b>					
	Flux (kg/an)	Flux (kg/an)	Flux (kg/an)	Flux (kg/an)	Flux (kg/an)
As	-	0,012	-	-	-
Cd	-	-	-	-	-
Co	0,0014	0,012	0,083	-	-
Cr (III)	0,039	0,29	0,11	0,036	0,47
Cr (VI)	0,039	0,29	0,11	0,036	0,47
Cu	0,25	1,16	1,54	0,099	10,5
Fe	32,7	345,5	54,52	5,5	608,4
Hg	-	-	-	-	-
Mn	0,58	9,00	0,20	0,26	21,8
Ni	0,13	0,49	1,09	0,051	3,99
Pb	0,053	0,166	0,29	0,023	2,03
Sb	-	-	0,29	0,028	7,5
Se	-	-	-	-	-
Sn	1,96	4,2	2,29	0,32	21,432
[As, Se, Te]	-	0,012	-	-	-
[Cd, Ti]	-	-	-	-	-
[Sb, Cr, Co, Cu, Sn, Mn, Ni, Pb, V, Zn]	9,80	75,6	26,32	3,90	380,9
Te	-	-	-	-	-
Tl	-	-	-	-	-
V	-	0,0014	-	-	0,0075
Zn	8,49	63,5	21,81	3,09	329,0

\*cf §3.2.2

Des mesures de polluants au niveau des grenailleuses mobiles utilisées sur la Forme B n'ont pas pu être effectuées. Toutefois, considérant que la quantité de grenade utilisée à l'année sur ces grenailleuses mobiles est inférieure, mais du même ordre de grandeur, que la quantité utilisée à l'année au sein de l'atelier PRS, les flux de polluants retenus en sortie de l'atelier PRS peuvent également être considérés pour les grenailleuses mobiles de la Forme B.

En effet, la quantité de grenade utilisée au niveau de la Forme B a été estimée à 10 tonnes (en 2023), et celle de l'atelier PRS était de 24 tonnes (en 2022).

A titre de comparaison, 210 tonnes de grenade ont été consommées au sein de l'atelier Tôles en 2023. Les flux retenus dans le tableau 16 pour les ateliers Tôles et PRS sont cohérents avec ces valeurs : les flux annuels de Fer, Manganèse ou Zinc par exemple sont environ dix fois plus élevés pour l'atelier Tôles que l'atelier PRS.

Un système d'aspiration et de filtration étant mis en place au niveau des grenailleuses mobiles, une comparaison avec les rejets canalisés de la grenadeuse PRS est possible. Une description des grenailleuses mobiles utilisées est donnée dans la figure ci-dessous :

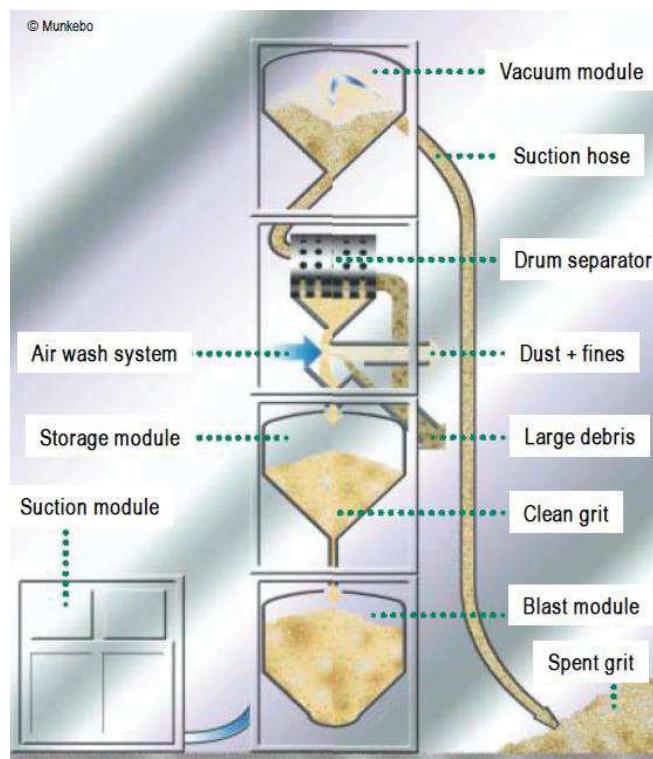


Figure 6 : Description des grenailleuses mobiles utilisées en Forme B

- Les flux à l'émission retenus en sortie des grenailleuses mobiles de la Forme B seront donc les mêmes que ceux retenus en sortie de la grenadeuse PRS.
- Il sera toutefois considéré que les rejets de métaux dus au grenaillage à Bord sont émis de manière diffuse.

### 3.4.4.1 *Emissions de métaux en sortie des oxydeurs dues aux activités de grenaillage*

Lors de la campagne de mesures effectuées en Février 2024, les flux de métaux ont également été mesurés en sortie des oxydeurs. Du fait d'une activité de grenaillage préalable à l'application de peinture, la présence de métaux dans les rejets des oxydeurs ne peut être exclue, et les mesures effectuées ont confirmé cette hypothèse. Les flux de métaux mesurés en sortie d'oxydeurs ont donc été pris en compte dans les rejets, et seront intégrés aux données d'entrée de la modélisation.

Sur la base des mesures effectuées et des périodes d'émission des différentes activités, les flux annuels retenus pour les métaux identifiés en sortie des oxydeurs sont les suivants :

Tableau 20 : Flux de métaux en sortie des oxydeurs

Oxydeur	Flux (kg/an)							
	Arsenic	Chrome (total)	Cuivre	Etain	Manganèse	Nickel	Plomb	Zinc
Tôles	ND	0,099	0,066	1,325	0,397	0,320	0,020	4,140
PRS	ND	0,048	0,031	0,477	0,105	0,150	0,030	4,376
Alvéoles Navales	ND	0,489	1,504	5,264	4,512	1,692	0,451	45,87
Anemos (2022)	0,060	0,120	0,094	10,90	1,617	0,414	0,564	11,28

ND : Non Détecté

Les teneurs en cadmium, cobalt, mercure, antimoine, sélénium, tellure, thallium et vanadium ont également été mesurées, mais ces métaux n'ont pas été détectés en sortie des oxydeurs.

Les mesures à effectuer en sortie de l'oxydeur Anemos en 2024 ayant été reportées, les valeurs mesurées en 2022 (préférées à 2023, car plus majorantes) ont été retenues.

En première approche, il sera considéré que l'ensemble du chrome mesuré est sous forme hexavalente. Cette hypothèse est majorante, dans la mesure où le chrome hexavalent possède une toxicité plus élevée que le chrome trivalent.

### 3.4.5 QUANTIFICATION DES ÉMISSIONS DUES AUX FUMÉES DE SOUDAGE

Les activités de soudage sont omniprésentes sur le site des Chantiers de l'Atlantique, du fait de la nécessité de ces opérations dans l'ensemble du processus de construction navale. Ainsi, 36 centrales d'aspiration ont été recensées sur le site, pouvant elles-mêmes être reliées à plusieurs postes de soudure.

D'une manière générale, la composition des fumées de soudage dépend :

- De la nature des métaux ou alliages soudés ;
- De la composition des matériaux d'apport utilisés ;
- Du procédé de soudage utilisé ;
- Des éventuels traitements de surface.

Effectuer des mesures sur chacune des centrales du site semble difficilement réalisable et ne prendrait pas en compte la part des émissions diffuses dues à cette activité. Aussi, la quantification des émissions dues aux fumées de soudage sera réalisée sur la base des éléments suivants :

- Composition des matériaux d'apport ;
- Nature des différents procédés de soudage utilisés, et facteurs d'émission associés ;
- Quantité de matériaux d'apport utilisés, par point de rejet ;
- Hypothèses sur l'efficacité de captage ;
- Comparaison avec les mesures effectuées.

#### 3.4.5.1 *Estimation de la composition des fumées de soudage*

- Identification des substances

L'ensemble des opérations de soudage effectuées sur le site des Chantiers de l'Atlantique nécessite la présence d'un matériau d'apport. Les opérations de soudage sans matériau d'apport sont généralement utilisées pour des matériaux de plus faible épaisseur, non utilisés dans le processus de construction navale. Considérant que 95% des constituants des fumées de soudage proviennent des matériaux d'apport et moins de 5% du matériau de base<sup>2</sup>, il paraît raisonnable de se baser sur la composition des matériaux d'apport pour estimer les émissions dues aux fumées de soudage.

La composition des aciers utilisés par le site comme matériaux de base a toutefois également été analysée, afin de vérifier l'absence de substances problématiques en quantité significative. Sur la base des certificats d'inspection transmis par le fabricant, qui mentionnent les analyses chimiques des aciers utilisés, la présence de substances problématiques en quantité significative n'a pas été identifiée. D'une manière générale, la composition d'un matériau d'apport et celle du métal de base associé sont proches, pour obtenir une soudure de qualité. Cela a pu être vérifié après comparaison des compositions des matériaux d'apport utilisés sur le site, et de celles des métaux de base.

- ➔ Pour la suite de l'étude, il sera considéré que la composition de la phase particulière des fumées de soudage correspond à celle des matériaux d'apports utilisés.

De la même manière que pour la décomposition des FDS des peintures et solvants, un travail préalable à l'ERS a été effectué sur les matériaux d'apport utilisés par les Chantiers de l'Atlantique, afin d'en estimer la composition. La composition des matériaux d'apport étant règlementée, les fabricants de ces matériaux doivent se conformer à des normes spécifiques et respecter des fourchettes de concentrations précises pour chaque type de matériau produit.

<sup>2</sup> ED6132. Aide-mémoire technique – Les fumées de soudage et des techniques connexes. INRS, 2018

Les Fiches de Données de Sécurité, Fiches Techniques et informations publiques disponibles relatives à la classification AWS (American Welding Society) ont ainsi été étudiées afin d'estimer la composition de chaque matériau d'apport.

Comme pour les émissions de COV, les concentrations retenues sont :

- La moyenne de la borne maximale et minimale de l'intervalle donné, lorsque la concentration est donnée sous la forme d'une fourchette de pourcentage ;
- La concentration exacte lorsqu'elle est nominale dans les documents étudiés.

Certains flux de soudure sont également utilisés avec les matériaux d'apport, lors des opérations de soudage. La composition retenue pour ces produits est donnée par l'analyse de la composition du métal déposé, telle qu'elle est donnée dans les Fiches Techniques des fabricants.

Les substances identifiées majoritairement dans l'ensemble de ces documents, et retenues en première approche pour cette étude sont les suivantes :

Carbone, Manganèse, Silicium, Phosphore, Soufre, Nickel, Chrome, Molybdène, Vanadium, Cobalt, Cuivre.

- Cas du Fer

Le Fer est prépondérant dans la composition des matériaux d'apport, mais la concentration de cette substance est rarement indiquée dans les documents étudiés. La concentration en Fer retenue par matériau d'apport sera la quantité suffisante pour 100% (QSP 100%), après quantification des autres substances du matériau considéré. Toutefois, cette substance n'ayant pas de valeur toxicologique de référence, elle ne sera pas considérée comme traceur de risque dans la suite de l'étude, et ne sera donc pas conservée pour la modélisation.

- Cas du Zinc

Bien que le Zinc ne soit présent ni dans la composition des matériaux d'apport étudiés ni dans les déclarations de conformité des aciers utilisés, sa présence en quantité significative dans les fumées de soudage peut être attendue, du fait de l'application préalable d'un primaire zingué sur les tôles grenaillées, destinées à être soudées. Cette présence a été confirmée lors de la campagne de mesure effectuée en Février 2024. La quantité de Zinc mesurée en amont des centrales d'aspiration était en moyenne deux fois supérieure à celle du Manganèse. Aussi, pour la modélisation de dispersion atmosphérique, il sera considéré que la teneur en Zinc correspond au double de celle de Manganèse calculée, pour chaque point de rejet.

- Cas du Plomb

D'après les documents fournisseurs étudiés et la littérature consultée sur le sujet, le plomb n'est pas introduit de manière intentionnelle dans les matériaux d'apport utilisés sur le site des Chantiers de l'Atlantique. Seul un document fournisseur mentionne la présence de plomb dans un matériau d'apport, en une très faible quantité probablement significative d'une présence en tant qu'impureté.

Le rapport AP-42 de l'Agence de Protection de l'Environnement américaine (US EPA)<sup>3</sup> précise par ailleurs que des facteurs d'émission de plomb n'ont été retenus que pour deux types de matériaux d'apport : les électrodes de type E310 et E7028, qui n'ont pas été identifiées parmi les matériaux d'apport utilisés sur le site. La présence de plomb en tant qu'impureté dans des matériaux d'apport n'est toutefois pas à exclure, et sa présence dans les fumées de soudage du site peut être considérée.

La garantie d'une teneur en plomb inférieure à 0,01% en masse du matériau d'apport est mentionnée dans de rares documents d'autres fournisseurs que ceux des Chantiers de l'Atlantique. L'hypothèse considérant que l'ensemble des matériaux d'apport utilisés sur le site contiennent 0,005% de plomb pourrait ainsi être formulée, en accord avec les autres hypothèses de calcul.

Toutefois, une teneur en élément Plomb pouvant aller jusqu'à 0,22% dans les fumées de soudage du procédé MIG est mentionnée dans la monographie n° 49 du CIRC<sup>4</sup>, reprenant les résultats d'une étude de Mayer & Salsi (1980).

<sup>3</sup> *Compilation of Air Pollutant Emission Factors: Development of Particulate and Hazardous Emission Factors for Electric Arc Welding; AP-42, Section 12-19; Revised Final Report, 1995*

<sup>4</sup> *IARC Monographs on the evaluation of Carcinogenic Risks to Humans. Volume 49. Chromium, Nickel and Welding (1990)*

Une teneur moyenne de Plomb de 0,1% dans chacun des matériaux d'apport utilisés sera donc considérée dans le cadre de cette étude, en première approche.

Cette hypothèse est majorante, dans la mesure où la présence intentionnelle de plomb n'est pas attendue dans les matériaux d'apport utilisés sur le site.

→ Concentration en plomb retenue : 0,1% par matériau d'apport

- Cas du Chrome hexavalent (Chrome VI)

La part de chrome dans la composition des matériaux d'apport est donnée en chrome total, sans qu'il ne soit possible de distinguer le chrome hexavalent des autres états d'oxydation du chrome. Or, une quantification du chrome hexavalent s'avère nécessaire, cette substance ayant des effets cancérogènes avérés.

Une revue bibliographique préliminaire a été effectuée, afin d'estimer la part de chrome hexavalent par rapport au chrome total, dans les fumées de soudage.

Une relation linéaire entre la teneur en chrome total et en chrome hexavalent, après caractérisation de fumées de soudage générées de manière contrôlée en laboratoire, a été identifiée par Rousset et al<sup>5</sup> :

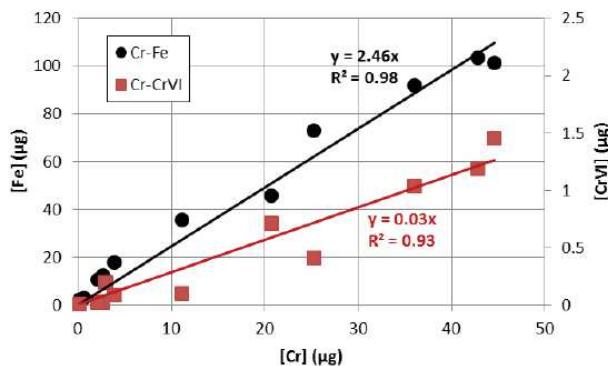


Figure 7 : Relation entre chrome total et chrome hexavalent dans des fumées de soudage

Ces résultats ont été obtenus à partir d'essais effectués avec un générateur de soudage MIG MAG, sur un fil inox contenant entre 10 et 25% de chrome.

Cette étude permet d'estimer à 3% la part de chrome hexavalent par rapport au chrome total, dans les fumées de soudage.

Cette valeur semble par ailleurs cohérente avec les pourcentages médians de chrome hexavalent mesurés dans deux GES (Groupes d'Exposition Similaires), par rapport au chrome total, dans une étude de l'INRS<sup>6</sup>, dont les résultats sont reportés dans le tableau ci-dessous :

Tableau 21 : Part de chrome hexavalent par rapport au chrome total (étude INRS, 2018)

GES	nbre sujet	n	Min	Max	p25	Médiane	p75
Chalumistes	3	12	0%	4%	1%	1%	2%
Soudeurs	4	7	1%	6%	1%	2%	3%

<sup>5</sup> Rousset et al. (2018), Distribution granulométrique du chrome hexavalent dans les fumées de soudage, Congrès Français sur les Aérosols 2018, Paris

<sup>6</sup> Aurélie Remy, Nadège Jacoby, Alain Robert, Pascal Wild. Biométrie des expositions professionnelles au chrome hexavalent et à ses composés. [Rapport de recherche] Notes scientifiques et techniques NS 361, Institut National de Recherche et de Sécurité (INRS). 2018, 49 p. hal-01896045

*n : nombre de mesures*

*p25 : 25ème percentile*

*p75 : 75ème percentile*

*Le pourcentage de CrVI a été calculé uniquement lorsque les concentrations en CrVI soluble, insoluble ou total étaient quantifiées ou calculées (CrVI total = CrVI soluble + CrVI insoluble), et lorsqu'il était possible de reconstituer la concentration en Cr total (Cr total = CrVI soluble + CrVI insoluble + Cr non VI) ou qu'elle était mesurée et quantifiée.*

Toutefois, de nombreuses études soulignent la difficulté d'analyser avec précision la présence de CrVI dans les fumées de soudage, car cette substance n'est pas stable en présence de fer, et sa teneur dans le chrome total peut être sous-évaluée.

Par ailleurs, ces études ne sont pas forcément représentatives des procédés et des matériaux d'apports utilisés sur le site des Chantiers de l'Atlantique. Afin d'obtenir des données plus proches de la réalité, il a été choisi de procéder à des mesures de chrome total et de chrome hexavalent (entre autres métaux) en sortie de plusieurs centrales d'aspiration réparties sur le site.

Des mesures ont ainsi été effectuées au niveau :

- D'une centrale d'aspiration située au sud du bâtiment des Panneaux Plans ;
- De deux centrales d'aspiration situées au niveau du bâtiment 180T ;
- D'une centrale d'aspiration située au niveau du bâtiment 2D.

La part de chrome hexavalent mesurée, par rapport à celle de chrome total, s'est révélée plus importante que ce qui aurait pu être estimé après la première revue bibliographique effectuée.

Une comparaison entre la part de chrome hexavalent et celle de chrome total dans les fumées analysées a été effectuée, en amont et en aval des centrales d'aspiration étudiées.

Une variabilité importante du ratio CrVI/Cr(T) a été observée lors de ces mesures, qui peut être expliquée du fait des éléments suivants :

1/ Les concentrations mesurées sont faibles, et proches des limites de quantification et des limites de détection.

Ainsi, lorsqu'une substance est détectée mais qu'elle est présente sous la limite de quantification du laboratoire, le fait de retenir une masse équivalente à la moitié de la limite de quantification a un impact non négligeable sur le résultat de mesure, et l'incertitude augmente. Cette règle d'expression des résultats est issue de la norme NFX 43551, mais ne semble pas être la plus pertinente dans ce cas de figure.

La quantité de chrome mesurée est faible en sortie du système d'épuration, notamment lors de travaux de soudage sur acier, et n'a pas toujours pu être quantifiée.

Du fait des faibles concentrations mesurées et du choix des masses retenues, une teneur en CrVI plus importante qu'en chrome total a pu être observée pour certaines mesures, ce qui, en pratique, est impossible.

2/ Les méthodes d'analyse du chrome VI et du chrome total et les volumes prélevés associés sont différents.

Du fait de l'absence d'analyses normalisées pour la détermination de CrVI dans ces rejets, la méthode d'analyse utilisée pour la détermination de la concentration en CrVI hydrosoluble est basée sur la norme AFNOR XP X43-136, applicable principalement aux effluents issus des unités de traitement de surface.

Cette méthode est valable dans un effluent gazeux exempt de particules solides mais pouvant contenir des vésicules liquides, mais ne s'applique pas en présence de concentration élevée de composés réducteurs. Aussi, les résultats de mesure du CrVI sont donnés sous réserve.

La méthode d'analyse du chrome total est standardisée et faite sous accréditation COFRAC, elle est donc plus fiable. Lorsqu'un résultat de mesure indique une quantité de CrVI supérieure à celle du chrome total, la valeur du chrome total sera donc retenue, et le choix est fait, pour ces mesures, de considérer que la totalité du chrome émis est sous forme hexavalente.

Afin d'obtenir le ratio CrVI/Cr(T) le plus fiable possible, il a donc été choisi :

- De ne considérer que les résultats de mesures dans lesquelles le chrome total (particulaire) avait pu être quantifié, et pour lesquelles le CrVI avait été analysé ;

- De considérer que la totalité du chrome était émise sous sa forme hexavalente, lorsque la quantité de CrVI mesurée était supérieure à celle du chrome total. Le ratio CrVI/Cr retenu est donc de 1, dans ce cas de figure.

La moyenne des ratios CrVI/Cr(T) ainsi retenus est de 46%.

L'épuration des centrales d'aspiration visant principalement les particules, un rendement plus faible de l'épuration du chrome gazeux, par rapport à celui chrome particulaire, est attendu. Le ratio CrVI/Cr(T) calculé s'en retrouve donc majoré, la part de chrome VI (présent dans la fraction gazeuse) étant plus faible dans les rejets diffus, en amont des centrales.

- ➔ En première approche, une valeur majorante de 50% de chrome hexavalent émis par rapport à la quantité de chrome total sera retenue.

Les compositions retenues des matériaux d'apport utilisés sur le site des Chantiers de l'Atlantique sont reportées dans les tableaux de l'Annexe III (Annexe confidentielle, du fait de la présence de la dénomination des références commerciales).

### 3.4.5.2 Prise en compte des facteurs d'émission

Bien que la composition de la phase particulaire des fumées de soudage soit similaire par sa nature à celle des matériaux d'apports, les quantités de substances émises peuvent varier en fonction du procédé utilisé. Différents facteurs d'émissions ont pu être mesurés, et des valeurs moyennes issues de la bibliographie ont été proposées par l'INRS<sup>7</sup> :

- Fil plein : 6000 mg/kg
- Fil fourré : 15000 mg/kg
- Baguette : 20000 mg/kg
- TIG : 25 mg/kg

L'US EPA a par ailleurs proposé des facteurs d'émission en fonction du procédé utilisé, mais aussi du type de matériau d'apport utilisé.

Deux types de facteurs d'émission ont ainsi été proposés par l'US EPA :

- Des facteurs d'émission de fumées totales, en grammes de fumées par kilogramme de matériau d'apport consommé, en fonction du procédé utilisé ;
- Des facteurs d'émission spécifiques à certains polluants atmosphériques particulièrement problématiques (Chrome, Cobalt, Manganèse, Nickel et Plomb), en fonction du type d'électrode utilisée.

Table 12.19-1 (Metric And English Units). PM-10 EMISSION FACTORS FOR WELDING OPERATIONS<sup>a</sup>

Welding Process	Electrode Type (With Last 2 Digits Of SCC)	Total Fume Emission Factor (g/kg [lb/10 <sup>3</sup> lb]) Of Electrode Consumed) <sup>b</sup>	EMISSION FACTOR RATING	
SMAW <sup>c</sup> (SCC 3-09-051)	14Mn-4Cr E11018 E308 E310 E316 E410 E6010 E6011 E6012 E6013 E7018 E7024 E7028 E8018 E9015 E9018 ECoCr ENi-CI ENiCrMo ENi-Cu	(-04) (-08) <sup>a</sup> (-12) <sup>j</sup> (-16) <sup>k</sup> (-20) <sup>m</sup> (-24) <sup>a</sup> (-28) (-32) (-36) (-40) (-44) (-48) (-52) (-56) <sup>p</sup> (-60) <sup>q</sup> (-64) <sup>y</sup> (-68) <sup>s</sup> (-72) (-76) <sup>t</sup> (-80) <sup>a</sup>	81.6 16.4 10.8 15.1 10.0 13.2 25.6 38.4 8.0 19.7 18.4 9.2 18.0 17.1 17.0 16.9 27.9 18.2 11.7 10.1	C C C C C D B C D B C C C C C C C C C C C C

Figure 8 : Extrait des facteurs d'émission de fumées totales proposées par l'US EPA

Table 12.19-2. HAZARDOUS AIR POLLUTANT (HAP) EMISSION FACTORS FOR WELDING OPERATIONS<sup>a</sup>

Welding Process	Electrode Type (With Last 2 Digits Of SCC)	HAP Emission Factor (10 <sup>-1</sup> g/kg [10 <sup>-1</sup> lb/10 <sup>3</sup> lb] Of Electrode Consumed) <sup>b</sup>						EMISSION FACTOR RATING	
		Cr	Cr(VI)	Co	Mn	Ni	Pb		
SMAW <sup>c</sup> (SCC 3-09-051)	14Mn-4Cr E11018 E308 E310 E316 E410 E6010 E6011 E6012 E6013 E7018 E7024 E7028 E8018 E9016	(-04) (-08) <sup>a</sup> (-12) <sup>j</sup> (-16) <sup>k</sup> (-20) <sup>m</sup> (-24) <sup>a</sup> (-28) (-32) (-36) (-40) (-44) (-48) (-52) (-56) <sup>p</sup> (-60)	13.9 ND 3.93 25.3 5.22 ND 0.03 0.05 ND 0.04 0.06 0.01 0.13 0.17 ND	ND ND 3.59 18.8 3.32 ND 0.01 ND ND ND ND ND ND ND ND	ND 13.8 0.01 ND ND ND ND ND ND ND ND ND ND ND ND	232 2.52 22.0 5.44 6.85 9.91 9.98 0.01 ND 9.45 10.3 6.29 8.4612 0.3 ND	17.1 0.43 1.96 0.55 0.14 0.04 0.05 0.05 ND 0.02 0.02 ND ND 0.51 ND ND	ND ND ND 0.24 ND ND ND ND ND ND ND ND ND ND ND	C C D C D C B C C B C C C C ND

Figure 9 : Extrait des facteurs d'émission spécifiques proposés par l'US EPA

<sup>7</sup> INRS. Les webinaires de l'INRS – Fumées de soudage à l'arc : solutions de prévention associées à la ventilation – 6 mai 2021



Les facteurs d'émission de fumées totales proposés par l'INRS et l'US EPA sont du même ordre de grandeur, et seront donc considérés dans le cadre de cette étude.

L'hypothèse qui aurait pu être effectuée dans le cadre de cette étude aurait été de se baser sur les facteurs d'émission spécifiques à certains polluants proposés par l'US EPA, et d'en faire la moyenne pour obtenir un facteur d'émission global par substance, et non par procédé. Toutefois, cette méthode est moins représentative de la réalité, pour les raisons suivantes :

- La moyenne des facteurs d'émission ainsi calculée l'aurait été sur la base de la composition d'électrodes qui ne sont pas forcément utilisées sur le site des Chantiers de l'Atlantique. Une étude de la composition au cas par cas de l'ensemble des matériaux d'apports utilisés sur site apparaît donc comme plus représentative ;
  - Seules six substances sont concernées par les facteurs d'émission spécifiques de l'US EPA : le chrome total, le chrome hexavalent, le cobalt, le manganèse, le nickel et le plomb. Le molybdène, le vanadium et le cuivre sont cités dans la composition de certains matériaux d'apport utilisés sur le site, mais n'apparaissent pas dans les facteurs d'émission spécifiques de l'US EPA, et n'auraient donc pas été pris en compte avec cette hypothèse ;
  - De nombreuses données sont manquantes dans le tableau 12.19-2 de l'US EPA, notamment en ce qui concerne les facteurs d'émission du chrome hexavalent, du cobalt et du plomb.
- Au vu des éléments proposés par l'US EPA et l'INRS, les facteurs d'émission suivants peuvent donc être retenus dans le cadre de cette étude, en fonction des procédés de soudage utilisés sur le site des Chantiers de l'Atlantique :

Tableau 22 : Facteurs d'émission retenus

Procédé	Facteur d'émission (mg/kg)
Baguette	20000
Fil fourré	15000
Fil plein	6000
Arc submergé	50
TIG	25

### 3.4.5.3 Recensement des quantités de matériaux d'apport consommées

La quantité de matériaux d'apport consommée en 2022 a été fournie par les Chantiers de l'Atlantique. Ces informations étant fournies soit par kilogramme de métal d'apport consommé, soit par nombre de pièces consommées, une conversion a été réalisée pour que la quantité de chaque matériau d'apport soit exprimée en tonnes, grâce aux informations des fabricants donnant le poids de leurs produits.

Ces données ont pu être fournies par lieux de consommation, afin d'estimer au mieux la quantité de substances susceptibles d'être émises par point de rejet.

Le tonnage de matériaux d'apports consommés sur les différents Bords et sur l'aire de prémontage ne pouvait toutefois pas être distingué par les Chantiers de l'Atlantique, une hypothèse a donc été nécessaire afin d'estimer la part des matériaux consommés au niveau des points de rejet S5 (Forme B), S6 (Forme C) et S7 (Bassin de Penhoët). Après échange avec les référents des Chantiers de l'Atlantique, il a été estimé que 90% des opérations de soudage sur les Bords étaient effectuées sur la Forme B et sur l'aire de prémontage, et 5% sur la Forme C et sur le Bassin de Penhoët. Les quantités de matériaux d'apport utilisées sur les Bords ont donc été réparties dans les mêmes proportions. Le point de rejet S5 prend donc en compte les opérations de soudage effectuées sur l'aire de prémontage et sur la Forme B.

La quantité de matériaux d'apport prise en compte étant lissée sur une année complète, les matériaux utilisés pour les opérations de soudage sur acier inoxydable ont bien été considérées. Afin d'avoir une composition proche de celle du métal de base, les matériaux d'apport utilisés pour le soudage « inox » contiennent une part importante de Chrome et de Nickel, et les émissions dues à ces opérations seront donc impactées dans les mêmes proportions. Les compositions retenues pour les produits 309L et 316L par exemple montrent bien la part importante de ces deux substances (cf Annexe III – composition des produits de soudage).

La consommation en matériaux d'apport pour le soudage « inox » a par ailleurs été majorée, en ce qui concerne les opérations effectuées dans l'atelier 180T : la quantité de matériaux d'apport nécessaire pour effectuer des opérations sur quatre écubiers a été prise en compte (capacité maximale absorbable par le site, correspondant à deux navires dans une année), bien que ces opérations ne soient pas nécessaires sur tous les navires.

- ➔ Les données considérées ont permis d'estimer la quantité totale de matériaux d'apport consommés à 1120,779 tonnes sur l'année 2022.
- ➔ Afin de prendre en compte la variabilité possible de la quantité de matériaux d'apport consommés sur une année, cette quantité de matériaux d'apport a été majorée de 10%. Les productions futures du site n'étant pas de nature à faire augmenter les opérations de soudure réalisées, cette marge de 10% se veut sécuritaire.

Les quantités de matériaux d'apport consommés en 2022 par point de rejet, et celles retenues pour la modélisation, sont présentées dans le tableau ci-dessous :

Tableau 23 : Consommation en matériau d'apport par point de rejet

Activité	Point de rejet	Quantité consommée en 2022 (tonnes)	Quantité retenue (tonnes)
Tôles	S1	53,677	59,045
Anemos	S2	48,119	52,931
PRS	S3	44,480	48,928
180T	S4	152,340	167,574
Forme B + PM	S5	353,570	388,927
Forme C	S6	19,643	21,607
Bassin de Penhoët	S7	19,643	21,607
120T	S8	162,089	178,298
Panneaux Plans	S9	258,281	284,109
PSI	S10	0,910	1,001
Ecole de soudure	S11	8,028	8,831
<b>TOTAL</b>		<b>1120,779</b>	<b>1232,858</b>

#### 3.4.5.4 Prise en compte de l'efficacité de captage et de la filtration des centrales

Des systèmes de captation des fumées de soudage sont mises en place sur le site de Chantiers de l'Atlantique, afin de limiter l'exposition des travailleurs. Ainsi, des torches aspirantes et des bras aspirants peuvent être utilisés par les opérateurs, lors des opérations de soudage.

Si les caractéristiques techniques des torches aspirantes mettent en avant un taux de captation pouvant atteindre 90-95%, cette valeur est très dépendante des conditions dans lesquelles les torches sont utilisées (distance par rapport à la soudure, inclinaison, position de l'opérateur...). Ainsi, une efficacité réaliste moyenne de captage d'une torche aspirante peut être estimée à 60%, et celle d'un bras aspirant à 50%.<sup>8</sup> Etant donné que les opérateurs ont le choix entre la torche aspirante (plus contraignante en terme de manipulation, car plus lourde) et le bras aspirant (dont l'efficacité est également dépendante de sa bonne utilisation par l'opérateur), une estimation globale de l'efficacité de captage égale à 50% peut être envisagée.

- ➔ Pour la suite de l'étude, il sera donc considéré que 50% des émissions dues aux activités de soudage sont des émissions diffuses, lorsqu'un système de captation existe.
- ➔ Des centrales d'aspiration mobiles et les réseaux d'aspiration associés sont disponibles pour les opérations de soudage effectuées sur les Bords. Cependant, le taux d'utilisation de ces dispositifs n'étant pas connu, les émissions seront considérées comme diffuses dans la suite de l'étude.

Les caractéristiques techniques des centrales d'aspiration présentes sur le site des Chantiers de l'Atlantique mettent en avant un taux d'abattement supérieur à 99%. Toutefois, la valeur réelle du rendement de ces installations semble plus faible, au vu des résultats de la campagne de mesures effectuée en Février 2024, et la prise en compte d'une valeur de 90% pour les calculs semble plus réaliste, tout en restant majorante.

En effet, en considérant la somme des flux de métaux quantifiés en entrée et en sortie des centrales ayant fait l'objet de mesures fiables (les résultats de mesure d'une centrale ont dû être écartés, du fait d'une probable erreur de mesure), le taux d'abattement moyen de ces installations est supérieur à 90%. Par ailleurs, le rendement moyen mesuré de ces centrales est supérieur à 95%, si l'on se réfère aux mesures de poussières effectuées.

Les taux d'abattement individuels de certains métaux peuvent être inférieurs à 90% dans les résultats de mesure obtenus, mais ces valeurs sont liées aux faibles concentrations mesurées des métaux considérés, ce qui génère de fortes incertitudes.

- ➔ Le taux d'abattement moyen des systèmes de filtration sera estimé à 90% dans la suite de l'étude. Cette valeur semble réaliste et majorante, au vu des caractéristiques techniques fournies et des résultats de mesures obtenus.

<sup>8</sup> INRS. Les webinaires de l'INRS – Fumées de soudage à l'arc : solutions de prévention associées à la ventilation – 6 mai 2021

### 3.4.5.5 Analyse des émissions des lattes en céramique

Lors de certaines opérations de soudage effectuées sur le site des Chantiers de l'Atlantique, des lattes en céramique sont utilisées. Ces lattes, positionnées sous la jonction de deux pièces de métal à souder, permettent de protéger le bain de fusion, d'éviter de souder des deux côtés des pièces, et de limiter la consommation en métal d'apport.



Figure 10 : Illustration de l'utilisation d'une latte en céramique

Ces lattes en céramique ne sont en principe pas fusibles, mais des gênes olfactives et respiratoires ont été rapportées dans le passé par les opérateurs utilisant cette technique. Des analyses qualitatives ont ainsi été commandées par les Chantiers de l'Atlantique en 2006, afin d'obtenir des informations sur l'identité des substances pouvant être émises lors de ces opérations.

Ces analyses ont montré une perte de masse d'environ 20-25% des lattes de soudage lors d'essais de dégradation thermique allant de 25 à 650°C, et l'émission, entre autres, de substances telles que l'acide acétique, le butanol, des acrylates, des hydrocarbures ou des esters.

Un screening a été réalisé lors des mesures effectuées en sortie de centrales d'aspiration en Février 2024. Une seule substance a été détectée, en sortie de deux centrales d'aspiration sur les cinq mesurées : l'isobutane, avec un flux maximal de 0,088 g/h.

Du fait de l'absence de données quantitatives sur la composition de ces lattes céramiques et sur les émissions associées lors d'opérations de soudage, et du fait de la seule détection d'isobutane lors des screening effectués en sortie de centrales, la prise en compte de ces émissions ne sera pas considérée dans cette étude.

L'acide acétique, le butanol ou l'acrylate de butyle par exemple, identifiés dans les fumées lors des essais de dégradation thermique, mais non identifiés lors des mesures en sortie de centrales, ne possèdent pas de valeur toxicologique de référence et n'auraient par conséquent pas été considérés lors du calcul de risque de cette étude.

Après calcul du poids des différentes lattes utilisées, une estimation de leur quantité a pu être effectuée, par point de rejet. Du fait de la faible part de substances émises lors de leur utilisation et de leur faible impact sur la santé, ces émissions peuvent effectivement être considérées comme négligeables dans cette étude par rapport aux émissions de COV et de métaux identifiées précédemment.

### 3.4.5.6 Bilan des émissions dues aux activités de soudage

Les données suivantes, détaillées dans les paragraphes précédents, ont donc été prises en compte afin d'estimer le flux des substances émises, par point de rejet :

- Composition des matériaux d'apport ;
- Facteurs d'émission associés aux procédés utilisés ;
- Quantité de matériaux d'apport consommés ;
- Efficacité de captage ;
- Efficacité des centrales d'aspiration.

Sur la base de ces éléments, les quantités annuelles émises (diffuses et canalisées) des substances considérées ont pu être calculées, par point de rejet, et sont présentées dans les tableaux des pages suivantes.

Les émissions totales du site, par métal considéré, sont les suivantes :

Tableau 24 : Emissions totales du site (métaux)

Substance	Quantité émise (kg/an)	Emissions diffuses (kg/an)	Emissions canalisées (kg/an)	Emissions totales (kg/an)
Carbone	24,41	20,18	0,42	20,61
Manganèse	327,10	239,72	8,74	248,46
Silicium	45,83	31,01	1,48	32,49
Phosphore	1,81	1,27	0,05	1,32
Soufre	1,80	1,28	0,05	1,33
Nickel	41,86	31,66	1,02	32,68
Chrome III	19,51	15,84	0,37	16,21
Chrome VI	19,51	15,84	0,37	16,21
Molybdène	10,11	7,49	0,26	7,75
Vanadium	3,30	2,42	0,09	2,51
Cobalt	0,01	0,01	0,00	0,01
Plomb	15,91	11,16	0,47	11,64
Cuivre	17,49	12,37	0,51	12,88
Zinc	654,20	479,44	17,48	496,92

Quantité émise : Quantité totale de polluants émise par les opérations de soudage, avant captation ou filtration ;

Emissions diffuses : Quantité de polluants non captés ;

Emissions canalisées : Quantité de polluants en sortie des systèmes de filtration

Emissions totales = Emissions diffuses + Emissions canalisées

Opération : Evaluation des Risques Sanitaires  
 Avenue Antoine Bourdelle – SAINT NAZARE (44)  
 Client donneur d'ordre : CHANTIERS DE L'ATLANTIQUE

Tableau 25 : Synthèse des émissions diffuses de métaux, par point de rejet

Rejet	Emplacement du rejet	Rejets diffus (%)	Emissions diffuses par substance (g/an)												
			C	Mn	Si	P	S	Ni	Cr (t)	Mo	V	Co	Pb	Cu	Zn
S1	Soudage des tôles - PPR	50	298,13	6983,68	1159,49	38,08	36,33	810,62	132,67	104,33	42,91	0,00	353,66	182,79	13967,36
S2	Anemos - bâtiment 2D	50	1116,03	3407,70	1802,16	59,78	59,67	3215,83	311,60	563,90	79,75	2,86	388,28	82,38	6815,40
S3	PRS - fromage	50	20,21	633,93	127,44	4,32	3,90	21,93	16,76	9,37	5,91	0,00	38,06	47,56	1267,86
S4	Bâtiment 180 T	50	1307,04	42004,67	643,69	153,79	181,30	5060,75	5608,52	1651,90	479,95	0,00	1224,35	1840,94	84009,33
S5	Forme B	100	14358,98	137106,00	14573,83	654,57	685,28	19319,00	21907,86	4386,71	1387,43	0,14	5781,19	6528,05	274212,01
S6	Forme C	100	797,72	7617,00	809,66	36,36	38,07	1073,28	1217,10	243,71	77,08	0,01	321,18	362,67	15234,00
S7	Bassin de Penhoët	100	797,72	7617,00	809,66	36,36	38,07	1073,28	1217,10	243,71	77,08	0,01	321,18	362,67	15234,00
S8	Bâtiment 120 T	50	646,23	16645,34	4951,02	140,64	117,26	265,22	402,89	111,80	135,67	0,00	1278,23	1452,72	33290,69
S9	Panneaux Plans	50	810,49	16912,02	5937,48	139,64	115,54	622,47	572,77	139,80	125,92	0,00	1403,35	1460,86	33824,05
S10	Bâtiment PSI	50	4,59	259,62	3,71	0,95	1,14	18,71	7,42	7,62	3,02	0,00	7,54	11,09	519,24
S11	Ecole de soudure	50	26,12	533,38	192,16	5,84	4,96	183,09	291,01	28,93	7,16	4,29	47,46	39,77	1066,76
<b>TOTAL (g/an)</b>			20183,24	239720,35	31010,30	1270,35	1281,52	31664,16	31685,69	7491,77	2421,89	7,31	11164,47	12371,49	479440,69
<b>TOTAL (kg/an)</b>			20,18	239,72	31,01	1,27	1,28	31,66	31,69	7,49	2,42	0,01	11,16	12,37	479,44



Tableau 26 : Synthèse des émissions canalisées de métaux, par point de rejet

Taux d'abattement des systèmes de filtration : 90%			Emissions canalisées par substance (g/an)												
Rejet	Emplacement du rejet	Rejets canalisés (%)	C	Mn	Si	P	S	Ni	Cr (t)	Mo	V	Co	Pb	Cu	Zn
S1	Soudage des tôles - PPR	50	29,81	698,37	115,95	3,81	3,63	81,06	13,27	10,43	4,29	0,00	35,37	18,28	1396,74
S2	Anemos - bâtiment 2D	50	111,60	340,77	180,22	5,98	5,97	321,58	31,16	56,39	7,98	0,29	38,83	8,24	681,54
S3	PRS - fromage	50	2,02	63,39	12,74	0,43	0,39	2,19	1,68	0,94	0,59	0,00	3,81	4,76	126,79
S4	Bâtiment 180 T	50	130,70	4200,47	64,37	15,38	18,13	506,07	560,85	165,19	47,99	0,00	122,44	184,09	8400,93
S5	Forme B	0	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
S6	Forme C	0	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
S7	Bassin de Penhoët	0	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
S8	Bâtiment 120 T	50	64,62	1664,53	495,10	14,06	11,73	26,52	40,29	11,18	13,57	0,00	127,82	145,27	3329,07
S9	Panneaux Plans	50	81,05	1691,20	593,75	13,96	11,55	62,25	57,28	13,98	12,59	0,00	140,33	146,09	3382,40
S10	Bâtiment PSI	50	0,46	25,96	0,37	0,10	0,11	1,87	0,74	0,76	0,30	0,00	0,75	1,11	51,92
S11	Ecole de soudure	50	2,61	53,34	19,22	0,58	0,50	18,31	29,10	2,89	0,72	0,43	4,75	3,98	106,68
<b>TOTAL (g/an)</b>			422,88	8738,03	1481,71	54,31	52,01	1019,86	734,36	261,77	88,03	0,72	474,09	511,81	17476,07
<b>TOTAL (kg/an)</b>			0,42	8,74	1,48	0,05	0,05	1,02	0,73	0,26	0,09	0,00	0,47	0,51	17,48



En rapportant les flux calculés aux périodes d'émission de chaque activité, les flux horaires moyens peuvent être estimés, et sont reportés dans les tableaux suivants :

Tableau 27 : Synthèse des flux horaires diffus moyens calculés

Rejet	Emplacement du rejet	Période d'émission* (h/an)	Flux horaire diffus moyen par substance (g/h)												
			C	Mn	Si	P	S	Ni	Cr (t)	Mo	V	Co	Pb	Cu	Zn
S1	Soudage des tôles - PPR	6532	0,046	1,069	0,178	0,006	0,006	0,124	0,020	0,016	0,007	0,000	0,054	0,028	2,138
S2	Anemos - bâtiment 2D	3680	0,303	0,926	0,490	0,016	0,016	0,874	0,085	0,153	0,022	0,001	0,106	0,022	1,852
S3	PRS - fromage	6532	0,003	0,097	0,020	0,001	0,001	0,003	0,003	0,001	0,001	0,000	0,006	0,007	0,194
S4	Bâtiment 180 T	4048	0,323	10,377	0,159	0,038	0,045	1,250	1,386	0,408	0,119	0,000	0,302	0,455	20,753
S5	Forme B	4416	3,252	31,048	3,300	0,148	0,155	4,375	4,961	0,993	0,314	0,000	1,309	1,478	62,095
S6	Forme C	4416	0,181	1,725	0,183	0,008	0,009	0,243	0,276	0,055	0,017	0,000	0,073	0,082	3,450
S7	Bassin de Penhoët	4416	0,181	1,725	0,183	0,008	0,009	0,243	0,276	0,055	0,017	0,000	0,073	0,082	3,450
S8	Bâtiment 120 T	4048	0,160	4,112	1,223	0,035	0,029	0,066	0,100	0,028	0,034	0,000	0,316	0,359	8,224
S9	Panneaux Plans	5520	0,147	3,064	1,076	0,025	0,021	0,113	0,104	0,025	0,023	0,000	0,254	0,265	6,128
S10	Bâtiment PSI	6072	0,001	0,043	0,001	0,000	0,000	0,003	0,001	0,001	0,000	0,000	0,001	0,002	0,086
S11	Ecole de soudure	1840	0,014	0,290	0,104	0,003	0,003	0,100	0,158	0,016	0,004	0,002	0,026	0,022	0,580

\* cf §3.2



Tableau 28 : Synthèse des flux horaires canalisés moyens calculés

Rejet	Emplacement du rejet	Période d'émission* (h/an)	Flux horaire canalisé moyen par substance (g/h)												
			C	Mn	Si	P	S	Ni	Cr (t)	Mo	V	Co	Pb	Cu	Zn
S1	Soudage des tôles - PPR	6532	0,005	0,107	0,018	0,001	0,001	0,012	0,002	0,002	0,001	0,000	0,005	0,003	0,214
S2	Anemos - bâtiment 2D	3680	0,030	0,093	0,049	0,002	0,002	0,087	0,008	0,015	0,002	0,000	0,011	0,002	0,185
S3	PRS - fromage	6532	0,000	0,010	0,002	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,001	0,001	0,019
S4	Bâtiment 180 T	4048	0,032	1,038	0,016	0,004	0,004	0,125	0,139	0,041	0,012	0,000	0,030	0,045	2,075
S5	Forme B	4416	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
S6	Forme C	4416	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
S7	Bassin de Penhoët	4416	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
S8	Bâtiment 120 T	4048	0,016	0,411	0,122	0,003	0,003	0,007	0,010	0,003	0,003	0,000	0,032	0,036	0,822
S9	Panneaux Plans	5520	0,015	0,306	0,108	0,003	0,002	0,011	0,010	0,003	0,002	0,000	0,025	0,026	0,613
S10	Bâtiment PSI	6072	0,000	0,004	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,009
S11	Ecole de soudure	1840	0,001	0,029	0,010	0,000	0,000	0,010	0,016	0,002	0,000	0,000	0,003	0,002	0,058

\* cf §3.2



### 3.4.5.7 *Comparaison de la méthode avec les mesures effectuées*

Certaines estimations d'émissions de métaux calculées dans les paragraphes précédents ont pu être comparées aux résultats de la campagne de mesures effectuée en Février 2024, afin de valider ou de modifier les hypothèses effectuées.

Plusieurs mesures ayant été effectuées sur des centrales d'aspiration du bâtiment 180T, cette activité a été considérée comme la plus représentative pour comparer le modèle de calcul aux résultats de mesures. Des mesures en amont et en aval des centrales d'aspiration 2697 DI et 2697 DH ont été réalisées.

Les travaux effectués lors des mesures sur ces deux centrales étaient les suivants :

- Mesures « 2697 DI Acier » : travaux sur acier uniquement ;
- Mesures « 2697 DI Inox » : travaux sur inox (2 soudeurs) et sur acier (3 soudeurs) ;
- Mesures « 2697 DH Inox » : travaux sur inox (2 soudeurs) et sur acier (3 soudeurs).

Par ailleurs, des opérations de soudage sur acier avaient également lieu dans les autres nef du bâtiment 180T, lors des mesures.

Cette répartition lors de travaux sur inox et le nombre de poste à souder occupés lors des mesures sont représentatifs de l'activité normale du site.

Les flux de Manganèse, Nickel, Chrome, Vanadium, Plomb et Cuivre ont, entre autres polluants, été mesurés, et seront comparables, après extrapolation, aux flux calculés dans les paragraphes précédents.

Pour rappel, le taux de captation a été défini à 50% dans le paragraphe 3.4.5.4. Cela implique que :

- La moitié des émissions totales issues d'une opération de soudage est considérée comme diffuse ;
- Et que l'autre moitié est captée, avant d'être filtrée en centrale.

La valeur des émissions diffuses est donc égale à celle des émissions captées, en amont du système de filtration. Les émissions diffuses calculées par substance dans les tableaux 22 et 24 sont ainsi équivalentes aux émissions captées par une torche d'aspiration, en amont d'une centrale de filtration. Pour le bâtiment 180T, une comparaison directe peut donc être effectuée entre les émissions diffuses calculées, et les mesures effectuées en amont des centrales.

Le nombre de poste à souder occupés lors des mesures effectuées étant représentatif d'une occupation moyenne sur l'année, les flux mesurés en amont des centrales d'aspiration, exprimés en grammes/heure et multipliés par le nombre de centrales d'aspiration présentes dans le bâtiment (6 centrales pour le 180T), peuvent être directement comparés aux valeurs de flux reportées dans le tableau 24, pour les substances considérées.

Plusieurs essais ont été réalisés lors des mesures effectuées. Les valeurs maximales et les valeurs moyennes de ces essais ont été prises en compte dans la comparaison.

Les valeurs obtenues sont reportées dans le tableau suivant, et comparées aux flux à l'émission calculés précédemment :

Tableau 29 : Comparaison des flux calculés et mesurés avant abattement - Atelier 180T

Rejet	Nature du flux	Mn	Ni	Cr	V	Pb	Cu
<b>Bâtiment 180 T - Calculé</b>	<b>Flux bâtiment moyen (g/h)</b>	<b>10,38</b>	<b>1,25</b>	<b>1,39</b>	<b>0,12</b>	<b>0,30</b>	<b>0,45</b>
<b>2697 DI Amont Acier (mesuré)</b>	Flux maximal mesuré (g/h)	1,3	0,035	0,023	0,0031	0,075	0,22
	Flux moyen mesuré (g/h)	0,87	0,018	0,011	0,0015	0,032	0,16
	<b>Flux bâtiment maximal extrapolé (g/h), pour 6 centrales équivalentes</b>	<b>7,80</b>	<b>0,21</b>	<b>0,14</b>	<b>0,02</b>	<b>0,45</b>	<b>1,32</b>
	<b>Flux bâtiment moyen extrapolé (g/h), pour 6 centrales équivalentes</b>	<b>5,22</b>	<b>0,11</b>	<b>0,07</b>	<b>0,01</b>	<b>0,19</b>	<b>0,96</b>
<b>2697 DI Amont Inox (mesuré)</b>	Flux maximal mesuré (g/h)	1,5	0,027	0,14	0,0028	0,016	0,048
	Flux moyen mesuré (g/h)	0,89	0,021	0,064	0,0017	0,0075	0,024
	<b>Flux bâtiment maximal extrapolé (g/h), pour 6 centrales équivalentes</b>	<b>9,00</b>	<b>0,16</b>	<b>0,84</b>	<b>0,02</b>	<b>0,10</b>	<b>0,29</b>
	<b>Flux bâtiment moyen extrapolé (g/h), pour 6 centrales équivalentes</b>	<b>5,34</b>	<b>0,13</b>	<b>0,38</b>	<b>0,01</b>	<b>0,05</b>	<b>0,14</b>
<b>2697 DH Amont Inox (mesuré)</b>	Flux maximal mesuré (g/h)	0,62	0,018	0,13	0,0023	0,007	0,018
	Flux moyen mesuré (g/h)	0,38	0,0093	0,049	0,0013	0,0055	0,011
	<b>Flux bâtiment maximal extrapolé (g/h), pour 6 centrales équivalentes</b>	<b>3,72</b>	<b>0,11</b>	<b>0,78</b>	<b>0,01</b>	<b>0,04</b>	<b>0,11</b>
	<b>Flux bâtiment moyen extrapolé (g/h), pour 6 centrales équivalentes</b>	<b>2,28</b>	<b>0,06</b>	<b>0,29</b>	<b>0,01</b>	<b>0,03</b>	<b>0,07</b>

Les conclusions suivantes peuvent être tirées de ce tableau :

- Les flux calculés sont supérieurs aux flux moyens mesurés et extrapolés, quelle que soit la centrale considérée et quels que soient les travaux de soudage effectués, pour cinq des six substances considérées (Mn, Ni, Cr, V, Pb) ;
- Seul un flux moyen extrapolé de cuivre, celui de la centrale 2697 DI Amont Acier, est supérieur au flux calculé pour cette substance, mais les flux moyens extrapolés de cuivre des centrales 2697 DI Amont Inox et 2697 DH Amont Inox sont inférieurs au flux calculé ;
- Les flux maximaux extrapolés ne dépassent pas 60% de la valeur des flux mesurés, pour les traceurs de risque principaux (Ni, Cr, Pb), sauf pour une mesure de plomb qui aboutit à un dépassement du flux calculé.
- Les flux de chrome augmentent lors de la réalisation de travaux sur inox (ce qui est attendu au vu de la composition des matériaux d'apports associés), mais les flux mesurés restent inférieurs à ceux estimés par calcul, même en considérant le flux maximal extrapolé ;
- Les flux calculés restent globalement du même ordre de grandeur que ceux qui ont été mesurés et extrapolés, tout en restant majorants.

La centrale d'aspiration 2697 DI étant partagée entre les nef 5.2 et 6.2, des flux plus importants de polluants présents en plus grande quantité dans les matériaux d'apport de soudage sur acier sont observés : les flux de manganèse et de cuivre sont en effet plus élevés que ceux mesurés au niveau de la centrale 2697 DH.

L'estimation faite sur la base de la composition des matériaux d'apport, et qui sera utilisée pour la modélisation, est donc réaliste et majorante pour les métaux considérés comme les principaux traceurs de risque. En particulier, les flux annuels retenus pour le Nickel et Chrome semblent grandement majorés, étant supérieurs aux flux maximaux extrapolés qui correspondraient à des travaux de soudure inox effectués en continu sur une année.

Une comparaison similaire a pu être effectuée au niveau du bâtiment 2D, au sein duquel une des deux centrales a fait l'objet de mesures lors de la campagne de Février 2024 (centrale 2697 FW).

Des commentaires identiques aux précédents peuvent être effectués pour les flux des traceurs de risque principaux (Ni, Cr, Pb), qui sont majorés dans le modèle retenu. Les flux calculés sont en effet supérieurs aux flux qui ont été extrapolés sur la base des valeurs maximales des flux mesurés.

Les flux à l'émission calculés pour le manganèse et le cuivre s'avèrent être inférieurs à ceux mesurés et extrapolés, dans ce cas de figure. Toutefois, l'impact de ces substances sur la santé est moindre que celui des autres substances considérées. Par ailleurs, une différence entre la part des substances émises lors des mesures effectuées et celle estimée par calcul était attendue, l'ensemble des références de matériaux d'apport utilisées sur une année n'ayant pu l'être lors des travaux de soudage réalisés pendant les mesures.

Une variabilité est inévitable entre des mesures effectuées sur un temps restreint, avec un nombre limité de références de matériaux d'apports, et une estimation annuelle basée sur la consommation de l'ensemble des matériaux d'apport du site.

- ➔ Le modèle de calcul utilisé et les hypothèses effectuées sont donc réalistes et majorantes pour le calcul de risque, et peuvent donc être conservées dans la suite de l'étude.

## 4 EVALUATION DES ENJEUX ET DES VOIES D'EXPOSITION

### 4.1 DELIMITATION DE LA ZONE D'ETUDE

Le site des Chantiers de l'Atlantique est localisé Avenue Bourdelle, dans la zone portuaire de la commune de Saint-Nazaire, à environ 1,5 km au Nord-Est de son centre-ville.

Le terrain est globalement plan, avec une altitude moyenne de 4 m NGF.

Ses coordonnées géographiques en Lambert 93 sont les suivantes :

47.2874866902627, -2.194683835475377

X (Est) : ~ 307 860 m

Y (Nord) : ~ 6 700 014 m

Du fait de la localisation du site en zone urbaine, une zone d'étude d'un rayon de 2 km autour des limites du site des Chantiers de l'Atlantique englobe de nombreuses habitations, entreprises, et des établissements recevant du public.

Ce rayon sera donc retenu dans le cadre de l'ERS, et l'emprise de la zone d'étude est schématisée sur la figure ci-dessous :



Figure 11 : Représentation d'une zone de rayon de 2km autour des limites du site

## 4.2 CARACTERISATION DES POPULATIONS ET DES USAGES

### 4.2.1 DESCRIPTION DE LA POPULATION

La population susceptible d'être impactée par les rejets du site des Chantiers de l'Atlantique est celle résidant ou travaillant dans les communes environnantes, à savoir : Saint-Nazaire, Trignac, Montoir-de-Bretagne et Saint-Brevin-les-Pins.

**Le centre-ville de Saint-Nazaire est situé à environ 1,5 km au Sud-Ouest du site, et de nombreuses habitations, entreprises, et des établissements recevant du public de la commune sont présents dans la zone d'étude.** D'après le dernier recensement de 2021, la population légale de la commune de Saint-Nazaire est de 73760 habitants (population totale).

Le centre-ville de Trignac est à environ 3 km au Nord du site, et des habitations, entreprises, et des établissements recevant du public de la commune sont présents dans la zone d'étude. D'après le dernier recensement de 2021, la population légale de la commune de Trignac est de 8186 habitants (population totale).

Le centre-ville de Montoir-de-Bretagne est situé à environ 5 km au Nord-Est du site. Quelques habitations, entreprises, et établissements recevant du public de la commune sont présents dans la partie Nord-Est de la zone d'étude. D'après le dernier recensement de 2021, la population légale de la commune de Montoir-de-Bretagne est de 7347 habitants (population totale).

Le centre-ville de Saint-Brevin-les-Pins est situé à environ 4,5 km au Sud du site. Aucune habitation, entreprise, ni aucun établissement recevant du public de la commune n'est présent dans la zone d'étude. Certaines habitations sont toutefois à la limite de cette zone d'étude, et la prise en compte des premières cibles présentes au sud du site, sur l'autre rive de la Loire et dans la commune de Saint-Brevin-les-Pins, paraît importante pour modéliser la dispersion atmosphérique au sud du site des Chantiers de l'Atlantique.

D'après le dernier recensement de 2021, la population légale de la commune de Saint-Brevin-les-Pins est de 14774 habitants (population totale).

### 4.2.2 LOCALISATION DES HABITATIONS

**Les habitations les plus proches du site sont situées, entre autres :**

- Le long de la rue Henri Gautier, sur la commune de Saint-Nazaire ;**
- Le long des rues de la Croix Amisse et de la Commune de Paris, sur la commune de Saint-Nazaire ;**
- Dans une zone délimitée à l'ouest par le boulevard de la Liberté, et à l'Est par le boulevard des Apprentis, sur la commune de Saint-Nazaire.**

### 4.2.3 LOCALISATION DES POPULATIONS SENSIBLES OU VULNÉRABLES

Une recherche des établissements sensibles (établissements recevant des personnes dites « sensibles » : crèches, établissements scolaires, maisons de retraite, centres de soins...) éventuellement présents à proximité du site a été effectuée.

Une synthèse est donnée sur la figure 12. **Des écoles, crèches et maisons de retraite sont situées à proximité du site, sur la commune de Saint-Nazaire.** Des établissements scolaires de la commune de Trignac sont également présents dans la zone d'étude.

#### 4.2.4 LOCALISATION DES ETABLISSEMENTS RECEVANT DU PUBLIC (ERP) AVOISINANTS

Le site des Chantiers de l'Atlantique est situé sur la zone portuaire de Saint-Nazaire, dans laquelle sont également présents d'autres sites industriels tels que ceux du Groupe Blondel-BL2A, de MAN Energy Solutions, d'ArcelorMittal, d'Autodistribution ou d'Airbus Atlantic par exemple. Des sites industriels sont présents sur l'autre rive de l'embouchure du Brivet, sur la commune de Montoir-de-Bretagne (GEFCO, Somaloir), ainsi qu'au Nord de la zone d'étude, sur la commune de Trignac (Lafarge Bétons).

De nombreux hôtels, restaurants, commerces et autres entreprises sont présents dans la zone d'étude, sur les communes de Saint-Nazaire, Trignac et Montoir-de-Bretagne.

Une synthèse de ces ERP est également reportée en figure 12.

#### 4.2.5 LES USAGES

**Certaines habitations présentes dans les environs du site sont de type pavillonnaire et sont donc susceptibles d'abriter des jardins potagers.**

L'environnement des Chantiers de l'Atlantique étant principalement urbain et industriel, aucune activité agricole ou élevage n'a été recensé à proximité immédiate du site.

La synthèse des habitations, des points sensibles, des entreprises et des ERP est reportée dans la figure de la page suivante.

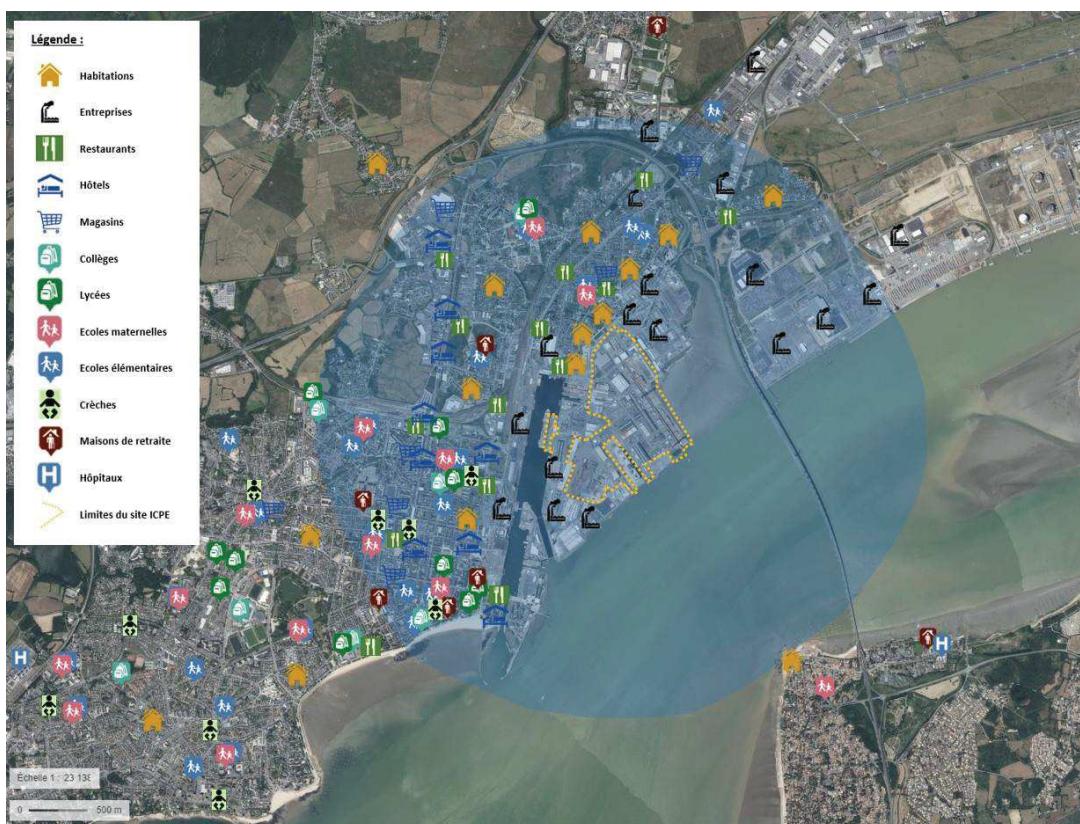


Figure 12 : Localisation des habitations et des usages



## 5 EVALUATION DES DANGERS

L'évaluation du potentiel dangereux des substances consiste à identifier les effets indésirables qu'une substance est intrinsèquement capable de provoquer chez l'homme. Pour évaluer les dangers d'une substance, il est nécessaire de connaître :

- Son comportement dans l'environnement, qui est déterminé par ses caractéristiques physico-chimiques (solubilité, volatilité...),
- Ses effets sur la santé, ce qui consiste à identifier les effets indésirables qu'une substance est intrinsèquement capable de provoquer chez l'homme, et de définir les valeurs de référence qui représentent la limite entre le risque acceptable et le risque inacceptable.

Dans le cadre d'une ERS, les éléments suivants sont recherchés :

- L'identification du **potentiel dangereux** des substances : effets toxiques aigus, chroniques, effets cancérogènes, organes cibles,
- L'évaluation de la **relation dose-effet** qui a pour but de définir une relation quantitative entre la dose ou la concentration absorbée ou administrée et l'incidence de l'effet délétère. Les Valeurs Toxicologiques de Référence (VTR) sont alors recherchées.

### Pour les substances non cancérogènes (substances avec effets à seuil) :

Les effets néfastes apparaissent à partir d'une certaine concentration d'exposition. Les valeurs des doses de référence (RfD pour la voie orale) et concentration de référence (RfC pour la voie inhalation) sont recherchées. Ces valeurs correspondent à des niveaux d'exposition sans risque appréciable d'effets néfastes sur l'homme.

### Pour les substances cancérogènes (substances avec effets sans seuil) :

Il n'y a pas de niveau d'exposition sans risque, il y a un risque dès la première exposition. Les valeurs toxicologiques de références sont exprimées sous forme d'Excès de Risque Unitaire (ERUo pour la voie orale et ERUi pour la voie inhalation) qui expriment la relation entre le niveau d'exposition et la probabilité supplémentaire de développer l'effet cancérogène.

Les VTR sont établies expérimentalement par des organismes de santé de notoriété internationale ou nationale. Les valeurs proposées peuvent donc diverger en fonction de l'organisme qui les établit ou encore en fonction des conditions expérimentales.

La note d'information n° DGS/EA1/DGPR/2014/307 du 31 octobre 2014 aide à la sélection des VTR proposées en recommandant de respecter la hiérarchisation suivante :

- En premier lieu, sélectionner les VTR construites par l'ANSES<sup>9</sup> si elles existent ;
- En second lieu, si une expertise nationale a été menée, retenir les VTR issues de la sélection approfondie réalisée dans le cadre de l'expertise (sous réserve que l'expertise soit postérieure à la date de parution de la VTR la plus récente) ;
- Sinon, sélectionner la VTR la plus récente parmi les trois bases de données suivantes : l'US-EPA<sup>10</sup>, l'ASTDR<sup>11</sup>, ou l'OMS<sup>12</sup>, sauf s'il est fait mention par l'organisme de référence que la VTR n'est pas basée sur l'effet survenant à la plus faible dose et jugé pertinent pour la population visée ;
- Enfin, si aucune VTR n'est retrouvée dans les quatre bases de données précédentes, choisir la plus récente proposée par Santé Canada<sup>13</sup>, RIVM<sup>14</sup>, l'OEHHA<sup>15</sup> ou l'EFSA<sup>16</sup>.

<sup>9</sup> ANSES : Agence Nationale de Sécurité Sanitaire de l'alimentation, de l'environnement et du travail :

<sup>10</sup> US-EPA : United States – Environmental Protection Agency –

<sup>11</sup> ATSDR : Agency for Toxic Substances and Disease Registry (Etats-Unis) – <http://atsdr.cdc.gov/>

<sup>12</sup> OMS : Organisation Mondiale de la Santé

<sup>13</sup> Santé Canada :

<sup>14</sup> RIVM : Rijksinstituut voor Volksgezondheid en Milieu. Institut national de la santé publique et de l'environnement (Pays-Bas)

<sup>15</sup> OEHHA : Office of Environmental Health Hazard Assessment (antenne californienne de l'US-EPA)

<sup>16</sup> EFSA : European Food Safety Authority –



Les documents suivants sont également retenus, lorsque pertinents :

- Rapport n°DCR-08-94380-11776C : Point sur les valeurs toxicologiques de référence – mars 2009, INERIS ;
- Rapport n°DCR-03-47026-ETSC-BDo-N°03DR177 : Hydrocarbures Aromatiques Polycycliques, INERIS, décembre 2003.

*Remarque 1 : les valeurs limites d'exposition professionnelle (VLEP) sont destinées à protéger les travailleurs mais ne sont pas des valeurs toxicologiques de référence. Elles ne sont donc pas considérées dans cette étude.*

*Remarque 2 : des valeurs guides de qualité de l'air sont disponibles notamment pour les oxydes d'azote et le monoxyde de carbone mais il ne s'agit pas de Valeur Toxicologique de Référence.*

Le logigramme présenté ci-dessous synthétise les recommandations de la note d'information n° DGS/EA1/DGPR/2014/307 :

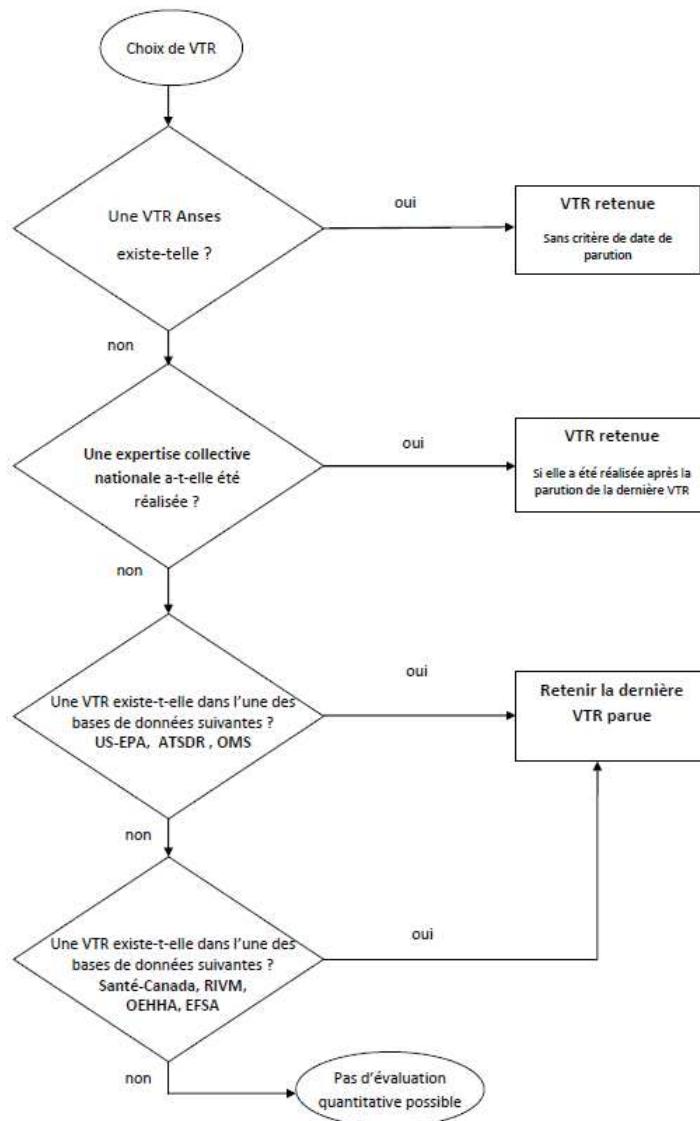


Figure 13 : Logigramme d'aide au choix des VTR

Les tableaux suivants présentent les VTR ainsi retenues pour les différentes substances susceptibles d'être émises par le site.

Tableau 30 : Liste des VTR retenues - Effets à seuil

Substance	CAS	EFFETS A SEUILS					
		RfD (mg/kg/j)	Cible/Effet	Source	Rfc (mg/m3)	Cible/Effet	Source
<b>Composés Organiques Volatils</b>							
Styrène	100-42-5	2,00E-01	Masse corporelle	US EPA 1987	8,60E-01	Système neurologique	ATSDR 2010
Acétaldéhyde	75-07-0				1,60E-01	Dégénérescence de l'épithélium olfactif	INERIS 2017
1,2,4-triméthylbenzène	95-63-6	1,00E-02	Diminution de la sensibilité	US EPA 2016	6,00E-02	Diminution du poids foetal Lésions inflammatoires des poumons Diminution du temps de coagulation	US EPA 2016
Cumène	98-82-8	1,00E-01	Reins	US EPA 1997	4,00E-01	Reins et surrénales	US EPA 1997
Butanol	71-36-3	1,00E-01	Ataxie	US EPA 1987			
Formaldéhyde	50-00-0	2,00E-01	Irritations de l'estomac	INERIS 2023	1,23E-01	Irritation oculaire Cancers du nasopharynx	ANSES 2018
Isopropanol	67-63-0				7,00E+00	Reins	OEHHA 2000
Chlorure de vinyle	75-01-4	3,00E-03	Foie	INERIS 2020	6,00E-02	Foie	INERIS 2020
4-méthylpentan-2-one	108-10-1				3,00E+00	Développement foetal	US EPA 2003
Triéthylamine	121-44-8				7,00E-03	Système respiratoire	US EPA 1991
1-méthoxy-2-propanol	107-98-2				2,00E+00	Sédation réversible	US EPA 1991
2-butoxyéthanol	111-76-2	1,00E-01	Foie	US EPA 2010	1,60E+00	Foie	US EPA 2010
Cyclohexanone	108-94-1	5,00E+00	Masse corporelle	US EPA 1987	1,36E-01	/	RIVM 2001
Butanone	78-93-3	6,00E-01	Masse corporelle	US EPA 2003	5,00E+00	Développement	US EPA 2003
Méthacrylate de méthyle	80-62-6	1,20E+00	/	OMS 1998	7,00E-01	Système respiratoire	ANSES 2017
Xylènes	1330-20-7	1,30E-02	Neurologique	INERIS 2022	1,00E-01	Neurologique	ANSES 2022
Ethylbenzène	100-41-4	2,20E-02	Reins, foie	INERIS 2021	1,50E+00	Système auditif	ANSES 2016
Toluène	108-88-3	9,70E-03	Neurotoxicité	INERIS 2022	1,90E+01	Effets neurologiques	ANSES 2017

Pour rappel : RfD = dose de référence pour la voie orale et Rfc = concentration de référence pour la voie inhalation



Substance	CAS	EFFETS A SEUILS					
		RfD (mg/kg/j)	Cible/Effet	Source	Rfc (mg/m3)	Cible/Effet	Source
Méthanol	67-56-1	2,00E+00	Développement	US EPA 2013	2,00E+01	Développement	US EPA 2013
2-méthylpropan-1-ol	78-83-1	3,00E-01	Ataxie	US EPA 1987			
Acétate de n-butyle	123-86-4				2,00E+00	Dégénérescence de l'épithélium olfactif	ANSES 2018
Phénol	108-95-2	3,00E-01	Masse corporelle	INERIS 2021	2,00E-01	/	INERIS 2021
Octaméthylcyclotérasiloxane	556-67-2				1,83E+02	/	ANSES 2017
Diméthylcétone	67-64-1	9,00E-01	Néphropathie	US EPA 2003			
Acétate d'éthyle	141-78-6	9,00E-01	Masse corporelle	US EPA 1987	6,40E+00	Neurotoxicité	ANSES 2015
Anhydride phthalique	85-44-9	2,00E+00	Poumons, reins	US EPA 1988	2,00E-02	Système respiratoire, yeux	OEHHA 2001
<b>Métaux</b>							
Cobalt	7440-48-4	1,50E-03	/	ANSES 2016	1,00E-04	Système respiratoire	OMS 2006
Chrome (III, métal)	7440-47-3	3,00E-01	/	EFSA 2014	2,00E-03	Système respiratoire	INERIS 2022
Chrome (VI, métal)	7440-47-3	9,00E-04	Hyperplasie du duodénum	ATSDR 2012	3,00E-05	Système respiratoire	INERIS 2022
Manganèse	7439-96-5	5,50E-02	Effets neuro-développementaux	INERIS 2020	3,00E-04	Neurologique	INERIS 2020
Nickel	7440-02-0	1,30E-02	Effets reprotoxiques	EFSA 2020	2,30E-04	Système respiratoire	ANSES 2015
Plomb	7439-92-1	6,30E-04	Reins	ANSES 2013	9,00E-04	Reins	ANSES 2013
Vanadium	7440-62-2	9,00E-03	/	INERIS 2023	1,00E-04	Système respiratoire	INERIS 2023
Cuivre	7440-50-8	1,50E-01	Effets hépatotoxiques et gastrointestinaux	INERIS 2019	1,00E-03	/	INERIS 2019
Molybdène	7439-98-7	5,00E-03	Augmentation des taux d'acide urique	US EPA 1992	2,00E-03	Système respiratoire	ATSDR 2020
Mercure	7439-97-6	6,00E-03	Reins	INERIS 2023	3,00E-05	Effets neurologiques	INERIS 2023
Cadmium	7440-43-9	3,50E-04	Ostéoporose	ANSES 2019	3,00E-04	Tumeurs pulmonaires	ANSES 2012
Arsenic	7440-38-2	3,00E-04	Lésions cutanées	INERIS 2022	1,50E-05	Effets neurologiques	INERIS 2022
Sélénium	7782-49-2	5,00E-03	Sélénose	INERIS 2011	2,00E-02	Sélénose	OEHHA 2001
Antimoine	7440-36-0	6,00E-03	/	INERIS 2022	3,00E-04	Inflammations pulmonaires	INERIS 2022
Zinc	7440-66-6	3,00E-01	Système sanguin	US EPA 2005			



Tableau 31 : Liste des VTR retenues - Effets sans seuil

Substance	CAS	EFFETS SANS SEUILS					
		ERUo (mg/kg/j) <sup>-1</sup>	Cible/Effet	Source	ERUi (mg/m <sup>3</sup> ) <sup>-1</sup>	Cible/Effet	Source
<b>Composés Organiques Volatils</b>							
Formaldéhyde	50-00-0				1,30E-02	Carcinome squameux	US EPA 1990
Acétaldéhyde	75-07-0				2,20E-03	Augmentation de l'incidence des adénocarcinomes et des carcinomes des cellules squameuses de la cloison nasale	INERIS 2017
Chlorure de vinyle	75-01-4	6,25E-01	Angiosarcomes hépatiques Carcinomes hépatocellulaires Nodules néoplasiques	ANSES 2012	3,80E-03	Angiosarcomes hépatiques Tumeurs hépatocellulaires	ANSES 2012
Ethylbenzène	100-41-4	1,10E-02	Carcinome rénal	OEHHA 2007	2,50E-03	Carcinome rénal	OEHHA 2007
<b>Métaux</b>							
Cobalt	7440-48-4				7,70E+00	Cancers pulmonaires	OEHHA 2020
Chrome (III, métal)	7440-47-3				1,10E+01	Cancers pulmonaires	Santé Canada 2010
Chrome (VI, métal)	7440-47-3	5,00E-01	Adénomes et carcinomes de l'intestin grêle	INERIS 2022	4,00E+01	Cancers pulmonaires	OMS CICAD 2013
Nickel	7440-02-0				1,70E-01	Cancers pulmonaires	TCEQ 2011
Plomb	7439-92-1	8,50E-03	Tumeurs rénales	INERIS 2016	1,20E-02	Tumeurs rénales	INERIS 216
Cadmium	7440-43-9				1,80E+00	Cancers pulmonaires	US EPA 1987
Arsenic	7440-38-2	1,50E+00	Cancers cutanés	INERIS 2022	1,50E-01	Cancers pulmonaires	INERIS 2022

Pour rappel : ERUo = Excès de Risque Unitaire pour la voie orale et ERUi = Excès de Risque Unitaire pour la voie inhalation

Le Cadmium, le Mercure et le Sélénium n'ayant été ni détectés lors de la campagne de mesures de février 2024, ni identifiés dans les matériaux d'apport de soudage, ces substances ne seront pas considérées dans la suite de l'étude. Au total, 26 Composés Organiques Volatils et 12 métaux seront donc retenus.

Les xylènes et l'éthylbenzène font l'objet de valeurs toxicologiques de références, reprises ci-dessus. Toutefois, certains fabricants de peintures utilisent comme matière première le mélange possédant le numéro CAS 905-588-0 (masse réactionnelle d'éthylbenzène et de xylènes), qui ne fait pas l'objet d'une VTR. Par souci de cohérence, la quantité calculée de *masse réactionnelle d'éthylbenzène et de xylènes* (CAS n° 905-588-0) sera répercutée, pour chaque point d'émission, sur les quantités de xylènes et d'éthylbenzène associées. Ainsi, la moitié des émissions de cette matière première aux points de rejet concernés sera considérée comme du xylène, et l'autre moitié comme de l'éthylbenzène. Cette hypothèse est plus réaliste que le fait de considérer le CAS n° 905-588-0 comme ne possédant pas de VTR, mais reste majorante, le xylène et l'éthylbenzène n'étant pas les seuls constituants de cette matière première.



Les substances suivantes, identifiées dans l'inventaire des émissions, ne disposent pas de VTR et ne seront pas prises en compte pour la suite de l'étude :

Tableau 32 : Substances ne possédant pas de VTR

Substance	N° CAS	Substance	N° CAS
N,N-diéthylaniline	91-66-7	Acide salicylique	69-72-7
Acétate de 2-méthoxy-1-méthyléthyle	108-65-6	3-aminopropylidéthylamine	104-78-9
Hydroperoxyde de cumène	80-15-9	Bis[(diméthylamino)méthyl]phénol	71074-89-0
2-phénylpropane-2-ol	617-94-7	Pentane-2,4-dione	123-54-6
Hydrocarbures en C9-C11	919-857-5	Silicate de tétraéthyle	78-10-4
Solvant naphta	64742-95-6	White spirit	64742-88-7
Hydrocarbures aromatiques en C9	918-668-5	Méthacrylate de butyle	97-88-1
Ethylénediamine	107-15-3	2,2,4(ou 2,4,4)-triméthylhexane-1,6-diamine	25513-64-8
Alcool benzyllique	100-51-6	2-méthylpentane-1,5-diamine	15520-10-2
2,4,6-tris(diméthylaminométhyl)phénol	90-72-2	éthanediamine-1,2, N-(amino-2 éthyl)-, produits de réaction avec l'oxyde de glycidyle et de tolyle	84144-79-6
3-cyclohexylaminopropylamine	3312-60-5	Ethanol	64-17-5
Acrylate de 2-hydroxyéthyle	818-61-1	Acétate d'isopropyle	108-21-4
Hydrocarbures aromatiques en C9	128601-23-0	Hydrocarbures C7, n-alcanes, isoalcanes, cycliques	927-510-4
Hydrocarbures en C9-C11, n-alcanes, isoalcanes, cycliques, <2% aromatiques	64742-48-9	1,4-bis(2,3 époxypropoxy)butane	2425-79-8
Naphta lourd (pétrole), hydrosulfuré	64742-82-1	Terpinol	8000-41-7
(2-méthoxyméthylethoxy)propanol	34590-94-8	N-éthyl-2-pyrrolidone	2687-91-4
Masse réactionnelle de Bis(1,2,2,6,6-pentaméthyl-4-piperidyl)sebacate et de Methyl 1,2,2,6,6-pentaméthyl-4-piperidyl sebacate	1065336-91-5	Ethylhexyl glycidyl éther	2461-15-6
Polymère phénol-formol et 1-chloro-2,3-époxypropane	9003-36-5	Phosphore	1314-24-5
Diéthylénetriamine	111-40-0	Fer	7439-89-6
5-méthylhexane-2-one	110-12-3	Carbone	7440-44-0
Hydrocarbures en C9-C12, n-alcanes, isoalcanes, cycliques, aromatiques (2-25%)	919-446-0	Silicium	7440-21-3
Acrylate de n-butyle	141-32-2	Soufre	7704-34-9
1,3-cyclohexylènebis(méthylamine)	2579-20-6	Thallium	7440-28-0
3-aminopropyltriéthoxysilane	919-30-2	Tellure	13494-80-9
3-(triméthoxysilyl)propylamine	13822-56-5	Etain	7440-31-5
2-butanone oxime	96-29-7		



## 6 EVALUATION DES EXPOSITIONS

### 6.1 CHOIX DES POLLUANTS TRACEURS ET DES CONCENTRATIONS À L'ÉMISSION

#### 6.1.1 CHOIX DES POLLUANTS TRACEURS

Il convient tout d'abord de distinguer les polluants traceurs d'émission des polluants traceurs de risque.

Les traceurs d'émission sont les substances susceptibles de révéler une contribution de l'installation aux concentrations mesurées dans l'environnement et éventuellement une dégradation des milieux attribuables à ces émissions.

Les traceurs de risque sont les substances émises susceptibles de générer des effets sanitaires chez les personnes qui y sont exposées.

##### 6.1.1.1 *Cas des métaux*

En première approche, les métaux identifiés dans les chapitres précédents, dont les flux à l'émission ont été déterminés et disposant d'une VTR, ont été retenus comme traceurs de risques (risque quantifiable) et traceurs d'émission.

##### 6.1.1.2 *Cas des COV*

Une liste de 26 COV, dont les flux à l'émission ont été déterminés par point de rejet, et disposant d'une VTR, a été établie dans les paragraphes précédents.

Les flux à l'émission de chacune de ces substances, par point de rejet, ont pu être calculés et pourraient être utilisés dans la suite de l'étude. La modélisation de dispersion atmosphérique de chacune de ces substances, avec les flux individuels calculés en sortie de chaque installation, pourrait être ainsi réalisée.

Toutefois, afin de considérer une situation enveloppe et de majorer le risque dans le cadre de cette étude, le choix a été fait de se limiter aux substances contribuant majoritairement au risque, en augmentant leurs émissions au prorata de la part qu'ils représentent dans les émissions des différentes activités du site.

Les COV contribuant majoritairement au risque, du fait de leurs VTR contraignantes et/ou des quantités émises, et qui seront retenus dans la suite de l'étude, sont les suivants :

- Ethylbenzène (CAS n° 100-41-4) ;
- Xylènes (CAS n° 1330-20-7) ;
- Butanol (CAS n° 71-36-3) ;
- 4-méthylpentan-2-one (CAS n° 108-10-1) ;
- Acétaldéhyde (CAS n° 75-07-0) ;
- Formaldéhyde (CAS n° 50-00-0).

Les critères ayant conduit à cette sélection, ainsi que le choix des quantités émises, sont présentés dans le paragraphe suivant.

## 6.1.2 CHOIX DES QUANTITÉS ÉMISES

### 6.1.2.1 Cas des métaux

En première approche, les flux de polluants calculés au point 3.4 ont été considérés, pour chaque point de rejet. Ces flux de polluants ont été estimés sur la base :

- Des mesures effectuées en sorties des grenailleuses et des oxydeurs, pour le calcul des flux de métaux émis par les activités de grenaillage ;
- De la composition des matériaux d'apport et de leur quantité consommée, et des facteurs d'émission associés pour le calcul des flux de métaux émis par les activités de soudage.

Les flux retenus rejetés par les différentes installations sont reportés dans les tableaux de l'Annexe II.

### 6.1.2.2 Cas des COV

La liste des 26 COV dont les flux à l'émission ont été déterminés par point de rejet, et disposant d'une VTR, est présentée dans le tableau ci-dessous. Pour chaque substance, la part individuelle des émissions associées, par installation (en cumulant les émissions diffuses et canalisées), par rapport à l'ensemble des COV possédant une VTR, est également donnée.

Tableau 33 : Part individuelle des COV retenus dans les émissions

COV	CAS n°	P1 - Tôles	P2,8 - Anemos	P3 - PRS	P4 - Alvéoles	P5,6,7,9 - Bords
		Part (%)	Part (%)	Part (%)	Part (%)	Part (%)
Styrène	100-42-5					2,47%
Acétaldéhyde	75-07-0	1,42%	39,27%	1,07%	37,99%	
1,2,4-triméthylbenzène	95-63-6				0,00%	0,00%
Cumène	98-82-8				0,00%	0,01%
Butanol	71-36-3	0,22%	2,42%	0,69%	4,03%	21,04%
Formaldéhyde	50-00-0	1,42%	39,27%	1,07%	37,99%	0,01%
Isopropanol	67-63-0	65,24%		39,76%	0,00%	0,01%
Chlorure de vinyle	75-01-4				0,00%	0,01%
4-méthylpentan-2-one	108-10-1	0,06%		0,21%	1,34%	1,59%
Triéthylamine	121-44-8				0,00%	0,01%
1-méthoxy-2-propanol	107-98-2	15,09%	0,25%	8,74%	0,00%	0,01%
2-butoxyéthanol	111-76-2				0,00%	0,03%
Cyclohexanone	108-94-1		0,28%		0,00%	0,33%
Butanone	78-93-3	2,79%		8,91%	0,06%	0,01%
Méthacrylate de méthyle	80-62-6					0,17%
Xylènes	1330-20-7	1,75%	14,15%	3,44%	9,30%	39,46%
Ethylbenzène	100-41-4	1,75%	3,32%	3,44%	9,30%	34,55%
Méthanol	67-56-1					0,00%
2-méthylpropan-1-ol	78-83-1		0,31%			0,17%
Toluène	108-88-3		0,09%			0,04%
Acétate de n-butyle	123-86-4	2,79%	0,65%	8,91%		0,08%
Phénol	108-95-2					0,00%
Octaméthylcyclotérasiloxane	556-67-2					0,00%
Diméthylcétone	67-64-1	4,65%		14,85%		
Acétate d'éthyle	141-78-6	2,79%		8,91%		
Anhydride phthalique	85-44-9					0,00%

Remarque : les substances pour lesquelles la part individuelle est indiquée comme étant de « 0,00% » dans le tableau possèdent une part individuelle inférieure à 0,005%.

Du fait de leur dangerosité avérée sur la santé, au sens du règlement CLP (règlement CE n° 1272/2008), l'acétaldéhyde et le formaldéhyde seront retenus d'office dans la suite de l'étude, et les émissions associées, basées sur les VLE de ces deux substances, seront modélisées.

Le xylène et l'éthylbenzène sont les COV majoritairement émis par le site dans sa globalité, du fait d'importantes émissions diffuses au niveau des Bords, et sont par ailleurs les principaux traceurs de risque, au vu de leurs VTR contraignantes. Etant à la fois les traceurs de risque et les traceurs d'émission principaux, ces deux substances seront conservées dans la suite de l'étude.

Le butanol étant émis en quantité importante au niveau des Bords, il sera également conservé dans la suite de l'étude.

Enfin, la 4-méthylpentan-2-one étant une substance d'intérêt du fait de sa classification harmonisée « Carc.2 – H351 » au sens du règlement CLP, cette substance sera également conservée dans la suite de l'étude.

Le styrène, l'isopropanol et le 1-méthoxy-2-propanol, bien que présents en quantité non négligeable dans les émissions globales du site (plus de 1% de la somme des COV considérés), possèdent des VTR moins contraignantes que le xylène et l'éthylbenzène. Le choix est donc fait de ne pas conserver ces substances dans la suite de l'étude, et de les englober dans les émissions des traceurs de risque considérés, qui auront été majorées en conséquence.

Afin de majorer le risque et d'obtenir une situation enveloppe, les concentrations individuelles en xylène, éthylbenzène, butanol et 4-méthylpentan-2-one seront augmentées de sorte à englober les autres COV possédant des VTR, et qui ne seront pas conservés dans la suite de l'étude. Les émissions d'acétaldéhyde et de formaldéhyde étant basées sur les VLE de ces deux substances, et ayant déjà été considérablement majorées par rapport aux émissions maximales mesurées sur le site (respectivement d'un facteur 11 et d'un facteur 34 par rapport aux émissions maximales mesurées, cf §3.4.3.2.), elles ne seront pas augmentées de nouveau.

Dans ce cadre, il est donc choisi :

- Pour les émissions des **Bords** :
  - o De considérer que la totalité des COV possédant des VTR est constituée de xylènes, d'éthylbenzène, de butanol et de 4-méthylpentan-2-one ;
  - o D'augmenter la part individuelle de chacune de ces substances, afin que leur somme englobe les flux des autres COV possédant des VTR.
- ➔ Ce choix a pour but de majorer le risque, en considérant l'émission de quatre substances aux VTR contraignantes, dont les émissions sont majorées afin d'englober celles des autres COV possédant des VTR.
- Pour les émissions des ateliers **Tôles et PRS** :
  - o De conserver les flux d'acétaldéhyde et de formaldéhyde tels qu'ils ont été estimés précédemment ;
  - o De considérer que les autres COV possédant des VTR sont exclusivement constitués de xylènes et d'éthylbenzène, dans des proportions identiques ;
  - o De se baser sur les flux de COV précédemment calculés pour estimer les flux individuels de xylènes et d'éthylbenzène.
- ➔ Le xylène et l'éthylbenzène n'étant pas les composés majoritairement émis par les activités Tôles et PRS, mais étant les principaux traceurs de risque, le fait de ne conserver que ces deux substances en complément de l'acétaldéhyde et du formaldéhyde est largement majorant.

- Pour les émissions des ateliers **Anemos et Alvéoles Navales** :
  - o De conserver les flux d'acétaldéhyde et de formaldéhyde tels qu'ils ont été estimés précédemment ;
  - o De considérer que les autres COV possédant des VTR sont exclusivement constitués de xylènes et d'éthylbenzène, dans des proportions identiques
  - o De se baser sur les VLE des COV totaux en sortie des oxydeurs pour calculer les flux individuels de xylènes et d'éthylbenzène.
- ➔ De la même manière que pour les ateliers Tôles et PRS, le xylène et l'éthylbenzène sont les principaux traceurs de risque, et ne conserver ne conserver que ces deux substances en complément de l'acétaldéhyde et du formaldéhyde est majorant.
- ➔ Une majoration supplémentaire est appliquée à ces deux ateliers, afin d'avoir une situation enveloppe plus importante : le flux total des quatre substances retenues sera calculé sur la base de la VLE applicable aux COV, soit une concentration en sortie de 20mg/m<sup>3</sup>. Les flux d'acétaldéhyde et de formaldéhyde précédemment calculés seront conservés, et les flux de xylènes et d'éthylbenzène seront augmentés de sorte à ce que le total des émissions de COV estimé atteigne le flux associé à une concentration de 20 mg/m<sup>3</sup>, par installation.
- ➔ Pour rappel, afin de considérer également les émissions attendues de l'alvéole Anemos 2, les émissions calculées pour l'alvéole existante Anemos seront dupliquées au niveau du point de rejet P8 : cette hypothèse constitue une nouvelle majoration des émissions, dans la mesure où les émissions diffuses actuelles et les émissions correspondantes prévues au sein de l'alvéole Anemos 2 seront considérées lors de la modélisation de dispersion atmosphérique.

Une synthèse de la répartition des flux à l'émission estimée sur la base de ces hypothèses est présentée dans le tableau ci-dessous :

Tableau 34 : Répartition des flux à l'émission choisie, par atelier

COV	CAS n°	P1 - Tôles	P2,8 - Anemos	P3 - PRS	P4 - Alvéoles	P5,6,7,9 - Bords
		Part (%)	Part (%)	Part (%)	Part (%)	Part (%)
Acétaldéhyde	75-07-0	1,42%	10%	1,07%	10%	
Butanol	71-36-3					22,00%
Formaldéhyde	50-00-0	1,42%	10%	1,07%	10%	
4-méthylpentan-2-one	108-10-1					2,00%
Xylènes	1330-20-7	48,58%	40%	48,93%	40%	40,00%
Ethylbenzène	100-41-4	48,58%	40%	48,93%	40%	36,00%

Les hypothèses réalisées en ce qui concerne les flux à l'émission de l'acétaldéhyde et du formaldéhyde étant basées sur les VLE de ces deux substances (2 mg/m<sup>3</sup>), et les hypothèses réalisées pour les flux totaux de COV des ateliers Anemos et Alvéoles Navales étant basées sur la VLE de 20 mg/m<sup>3</sup>, il est cohérent d'observer cette répartition au niveau de ces deux ateliers.

Les flux (horaires et annuels) de chacune de ces six substances peuvent ainsi être calculés, sur la base de la quantification réalisée au paragraphe 3.4.3 et des hypothèses présentées ci-dessus. Une synthèse de ces flux, qui seront considérés pour la modélisation, est présentée dans le tableau de la page suivante.

Tableau 35 : Synthèse des flux considérés

COV	CAS n°	P1 - Tôles				P2,8 - Anemos		P3 - PRS				P4 - Alvéoles N.		P5,6,7,9 - Bords	
		Diffus		Sortie oxydeur		Sortie oxydeur		Diffus		Sortie oxydeur		Sortie oxydeur		Diffus	
		Flux horaire (g/h)	Flux annuel (kg/an)												
Acétaldéhyde	75-07-0			25,6	141,31	336,7	1265,86			14,2	93,02	180,4	678,3		
Butanol	71-36-3													10142,2	44788,13
Formaldéhyde	50-00-0			25,6	141,31	336,7	1265,86			14,2	93,02	180,4	678,3		
4-méthylpentan-2-one	108-10-1													922,0	4071,65
Xylènes	1330-20-7	768,4	4241,5	104,4	576,5	1346,7	5063,5	513,5	3354,5	139,6	912	721,6	2713,2	18440,4	81432,96
Ethylbenzène	100-41-4	768,4	4241,5	104,4	576,5	1346,7	5063,5	513,5	3354,5	139,6	912	721,6	2713,2	16596,4	73289,66

Pour rappel, les émissions de COV au niveau des Bords seront réparties de la manière suivante :

- P5 (Forme B) : 59% des émissions maximales calculées ;
- P6 et P7 (Forme C et Quai de Penhoët): 20% des émissions maximales calculées, pour chaque point d'émission ;
- P9 (Forme Joubert) : 1% des émissions maximales calculées.



Une synthèse de la démarche ayant abouti au choix des traceurs de risque et des quantités émises est présentée dans la figure ci-dessous :

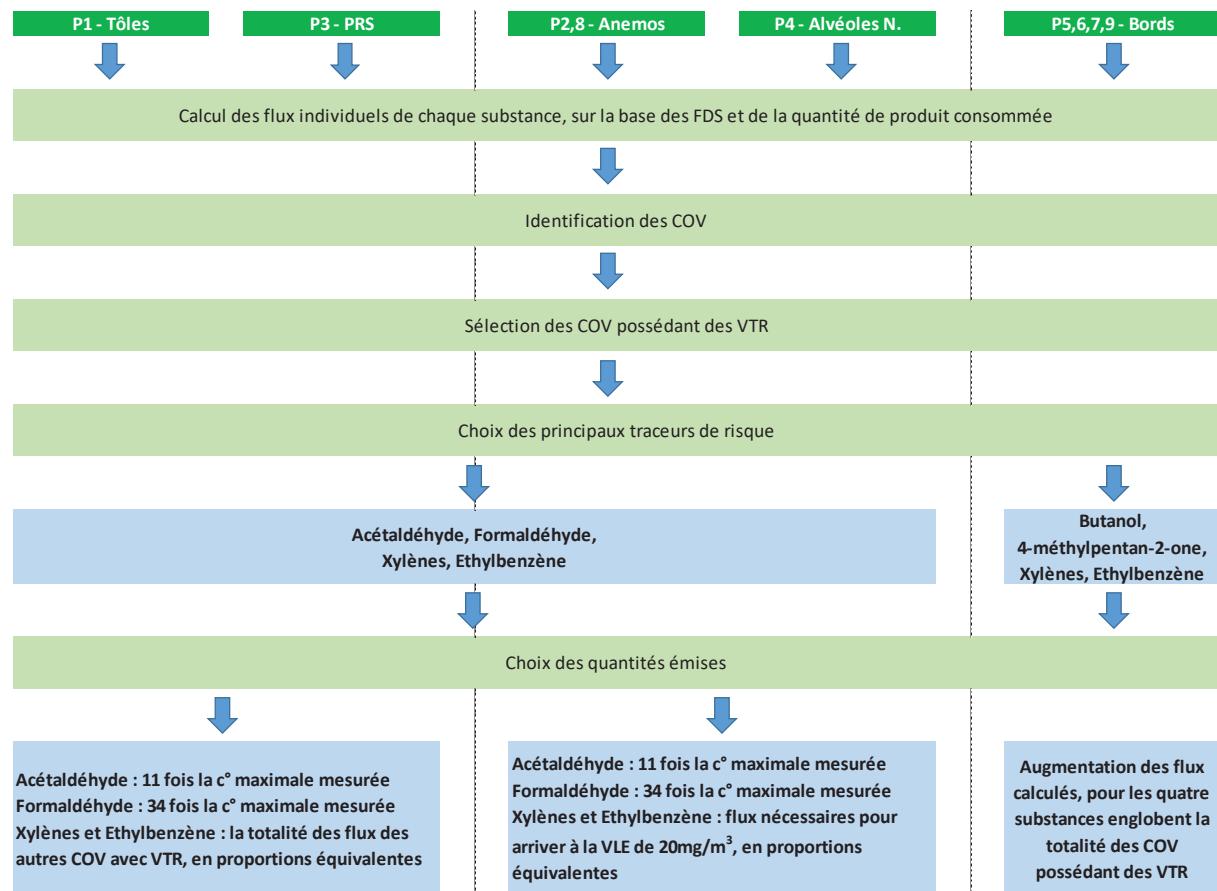


Figure 14 : Synthèse de la démarche relative au choix des traceurs

## 6.2 MODÉLISATION DE LA DISPERSION ATMOSPHÉRIQUE

### 6.2.1 OUTIL DE MODÉLISATION

La dispersion atmosphérique a été réalisée avec le logiciel ADMS 6 développé par le CERC (Cambridge Environmental Research Consultants).

ADMS est un modèle de dispersion atmosphérique à échelle locale destiné à simuler la dispersion d'un rejet de polluants à partir des conditions météorologiques et des caractéristiques thermocinétiques des émissions.

Le logiciel permet également la prise en compte du relief, des bâtiments et de l'occupation des sols (rugosité).

ADMS est un modèle de type gaussien dit de 2<sup>ème</sup> génération. Les modèles gaussiens reposent sur la description mathématique simplifiée des équations de dispersion pour estimer la concentration d'un polluant en un point donné. Cette concentration est donnée par la relation :

$$C(x,y,z;H) = \frac{Q}{2\pi u \sigma_y \sigma_z} \exp\left(-\frac{y^2}{2\sigma_y^2}\right) \left\{ \exp\left(-\frac{(z-H)^2}{2\sigma_z^2}\right) + \exp\left(-\frac{(z+H)^2}{2\sigma_z^2}\right) \right\}$$

Avec : Q : débit de la source

u : vitesse du vent

H : hauteur d'émission

$\sigma_y$  et  $\sigma_z$  : coefficients de dispersion (déviations standard dans les directions horizontales et verticales)

Bien qu'ADMS soit un logiciel de type gaussien, l'élévation du panache est basée sur un modèle intégral dans lequel les équations intégrales de conservation sont résolues pour les flux de masse, de quantité de mouvement et de chaleur par un schéma de Runge-Kutta à pas de temps variable.

Le modèle intègre une description continue de la stabilité de la couche limite atmosphérique à partir de la hauteur de la couche limite atmosphérique (h) et la longueur de Monin-Obukhov ( $L_{MO}$ ).

A l'intérieur du panache, les profils de concentration sont :

- Des profils gaussiens tenant compte des différentes réflexions possibles (au sol ou au sommet de la couche limite) lorsque la couche limite est stable ou neutre ;
- Des profils gaussiens dans les directions horizontales (et oblique dans la direction verticale lorsque la couche limite est convective) ;
- Principe :
  - Après une phase de dilution et de dispersion atmosphérique, le modèle détermine les concentrations dans l'air ambiant et les dépôts au sol (secs et humides) des composés émis par les sources modélisées. Les résultats dépendent de la nature des composés, des conditions de rejet, des conditions météorologiques et de la topographie du terrain.
  - Le modèle prend en compte simultanément les phénomènes de dispersion et de sédimentation, en fonction de la granulométrie (pour les poussières). A la différence des modèles gaussiens classiques, ADMS 6 recalcule les intensités de turbulence de manière continue et pour chaque enregistrement météo, plutôt que de répertorier en six classes le phénomène de stabilité atmosphérique.
  - Le domaine de calcul est divisé en un nombre fini de points (plus de 10 000), appelés mailles. Le modèle calcule les concentrations horaires (moyennes et maximales) pour chaque maille définie, et fournit des valeurs moyennes pour la période d'enregistrement météorologique considérée. Le logiciel Surfer, permettant des représentations bi et tridimensionnelles, a ensuite été utilisé pour tracer les isocontours des concentrations et les dépôts calculés par interpolation.

## 6.2.2 DONNÉES D'ENTRÉE

### 6.2.2.1 *Données météorologiques*

Les conditions météorologiques du site ont une forte influence sur la dispersion atmosphérique. La dispersion est conditionnée par des facteurs tels que la vitesse du vent, sa direction et l'intensité des turbulences. Pour un flux d'émission donné, les concentrations dans l'air prédictes au niveau de la surface du sol peuvent fortement varier selon les conditions météorologiques.

Les données météorologiques qui ont servi de base à la modélisation sont des **données météorologiques horaires sur 3 ans des années 2021, 2022 et 2023 de la station météorologique de Saint-Nazaire** regroupant les paramètres suivants :

- Vitesse du vent à 10 m (m/s) ;
- Direction du vent à 10 m (°) ;
- Température (°C) ;
- Précipitation (mm/h) ;
- Hauteur de couche limite et longueur de Monin-Obukhov (permettant de caractériser la stabilité de l'atmosphère) (m).

Ce choix est cohérent avec les recommandations des guides méthodologiques publiés par l'INERIS et l'InVS (Institut de Veille Sanitaire), ou par le CSHPF (Conseil Supérieur d'Hygiène Publique de France) pour l'évaluation de l'impact sur la santé des rejets atmosphériques des ICPE. Ce choix permet ainsi de tenir compte de la variabilité des données météorologiques durant l'année (données horaires) et d'une année à l'autre (données sur 3 ans). Ce type de données permet également de modéliser plus fidèlement la dispersion des émissions atmosphériques que l'utilisation d'une rose des vents statistique.

La rose des vents correspondant à la période de données utilisée est représentée dans la figure suivante.

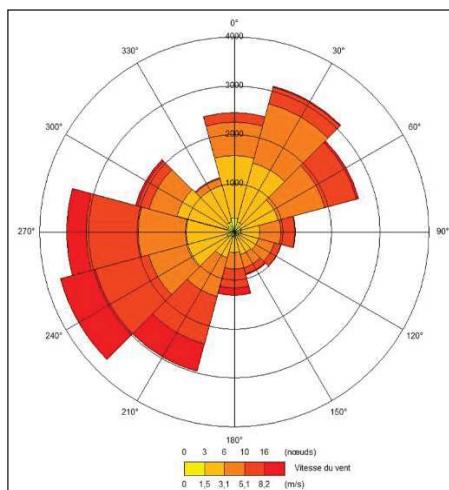


Figure 15 : Rose des vents utilisée pour la modélisation

### 6.2.2.2 *Données influant sur la dispersion*

- Relief

Au niveau du site, le relief n'est pas assez marqué pour influer sur l'écoulement de l'air et donc la dispersion atmosphérique des polluants.

- Rugosité

Un coefficient de rugosité introduit dans le modèle, traduit le degré de turbulence causé par le passage des vents à travers les structures de surface au sol. La turbulence est plus élevée dans les zones urbaines que dans les zones rurales en raison de la présence de bâtiments plus nombreux et de plus grande taille. Dans les zones urbaines, les dépôts de poussières tendent à s'effectuer à une distance plus courte que dans les zones rurales. Un coefficient de rugosité de 1 m est utilisé pour cette étude, valeur représentative des villes / forêts.

- Hauteur des bâtiments

La hauteur des bâtiments principaux du site a été considérée dans le cadre de la modélisation de dispersion atmosphérique. Les données présentées dans la figure suivante ont été retenues :

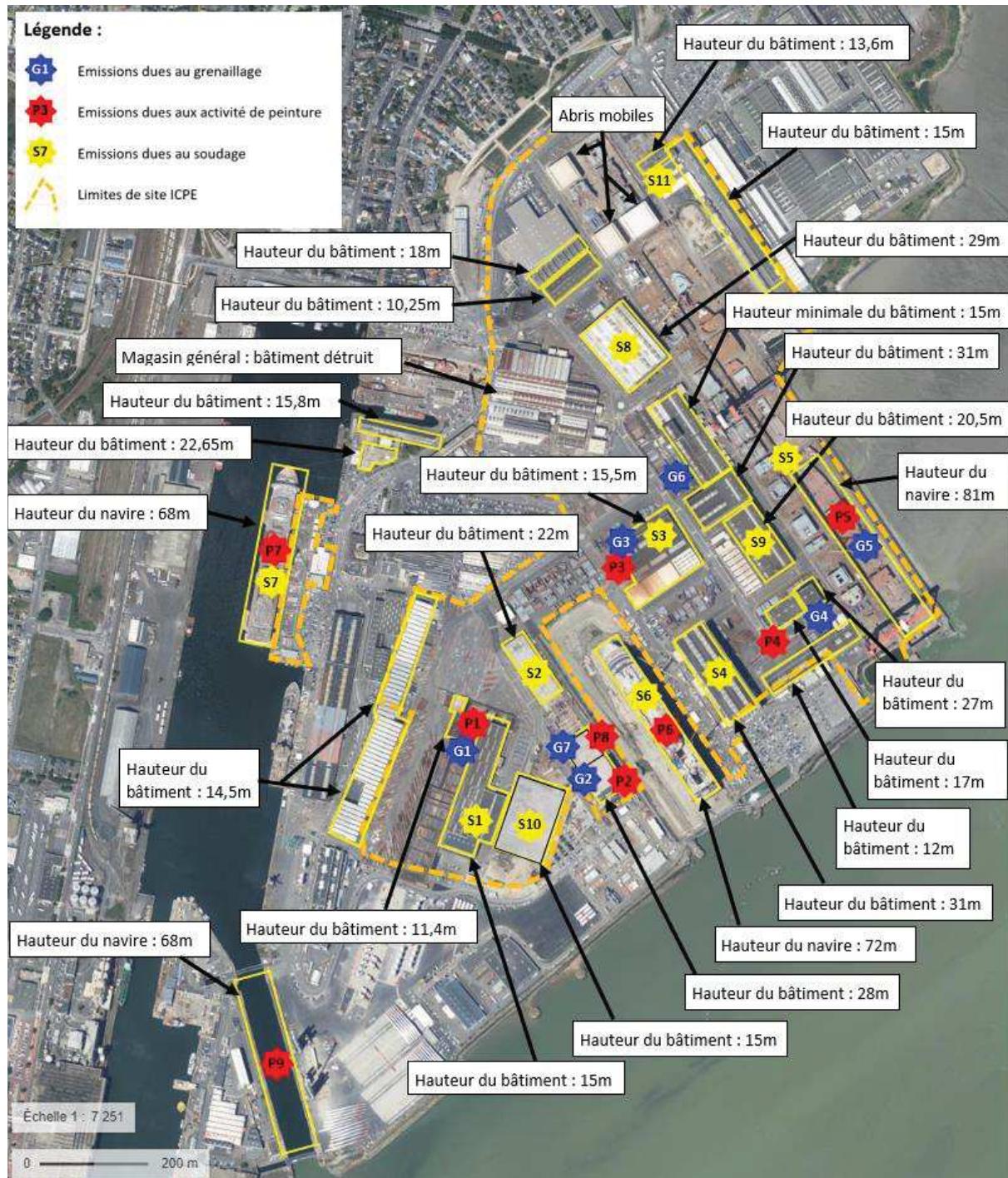


Figure 16 : Hauteur des bâtiments principaux du site

Le magasin général du site a été détruit, et un nouveau bâtiment sera élevé à cet endroit. Dans le cadre de cette étude, il sera considéré qu'il n'y a pas de bâtiment au niveau de l'ancien magasin général, ce qui facilite la dispersion des polluants, et majore l'exposition.

### 6.2.2.3 Caractéristiques des rejets

Les caractéristiques des rejets considérés sont détaillées dans les tableaux suivants.

Les débits et les vitesses des oxydeurs et des grenailleuses sont issus des résultats de mesures disponibles pour ces installations. Lorsqu'un conduit fictif a été considéré pour associer deux conduits existants, les débits des deux rejets existants ont été sommés.

En ce qui concerne les centrales d'aspiration des fumées de soudure, les débits ont été choisis :

- Sur la base des mesures effectuées, lorsqu'elles existent ;
- Sur la base des débits maximaux théoriques fournis par les Chantiers de l'Atlantique.

#### Rejets canalisés :

Tableau 36 : Caractéristiques des rejets canalisés

N° du rejet	Désignation de la source	Type de rejet	Hauteur du rejet (m)	Diamètre exutoire (m)	Température de sortie (°C)	Vitesse (m/s)	Débit (m <sup>3</sup> /h)
P1	Peinture des Tôles	Canalisé - Vertical	17	1.10	81.1	5.1	12 800
G1	Grenaillage des Tôles (grenailleuse Tôle 1)		15	0.76*	33.4	15	28 223
S1	Soudage des Tôles		14.5	0.39	Tamb	46.5	20 000
P2	Peinture dans l'alvéole Anemos		28	2.20	33.8	14.1	168 333
G2	Grenaillage dans l'alvéole Anemos		30	2.12*	20.7	12.3	170 300
S2	Soudage pour Anemos		22	0.39	42.2	9.7	3 550
P3	Peinture des PRS		17.2	1.10	98	3	7 120
G3	Grenaillage des PRS		12	0.50	31.2	14.3	8 910
S3	Soudage PRS		15.5	0.39	Tamb	0.4	180
P4	Peinture dans les alvéoles navales		21.3	3.00	28.7	3.9	90 200
G4	Grenaillage dans les alvéoles navales		25	0.95	15.7	20.1	48 500
S4	Soudage pour la préfabrication - 180T		31	0.39	45.5	7.2	2 620
G6	Grenaillage aux Panneaux Plans		4	0.35	19.6	8.6	2 750
P8	Peinture dans l'alvéole Anemos 2		28	2.20	33.8	14.1	168 333
G7	Grenaillage dans l'alvéole Anemos 2		30	2.12*	20.7	12.3	170 300
S8	Soudage pour la préfabrication - 120T		29	0.39	Tamb	4.6	2 000
S9	Soudage pour la préfabrication - PPx		20.5	0.39	37	4.2	1 573
S10	Soudage du bâtiment PSI		15	0.39	Tamb	7	3 000
S11	Ecole de soudure		12	0.39	Tamb	27.9	12 000

\* Remarque : diamètre équivalent calculé pour le cumul des deux conduits associés à la source de rejet.

**Rejets diffus :**

Tableau 37 : Caractéristiques des rejets diffus

N° du rejet	Désignation de la source	Type de rejet	Hauteur du rejet (m)	Surface d'émission (m <sup>2</sup> )	Température de sortie (°C)
P1	Peinture des Tôles	Diffus - Source volumétrique	11.4	1337	Tamb
S1	Soudage des Tôles		14.5	13432	
S2	Soudage pour Anemos		22	3984	
P3	Peinture des PRS		15.5	12290	
S3	Soudage PRS		15.5	12290	
S4	Soudage pour la préfabrication - 180T		31	12949	
P5	Peinture à Bord - Forme B		81	23892	
G5	Grenailage à Bord - Forme B		81	23892	
S5	Soudage à Bord - Forme B		81	23892	
P6	Peinture à Bord - Forme C		72	23892	
S6	Soudage à Bord - Forme C		72	23892	
P7	Peinture à Bord - Bassin de Penhoët		68	15651	
S7	Soudage à Bord - Bassin de Penhoët		68	15651	
S8	Soudage pour la préfabrication - 120T		29	13911	
P9	Peinture à Bord – Forme Joubert		68	15651	
S9	Soudage pour la préfabrication - PPx		20.5	35843	
S10	Soudage du bâtiment PSI		15	12000	
S11	Ecole de soudure		12	1200	

Les sources volumiques sont représentées dans l'outil ADMS par des parallélépipèdes. Les volumes des bâtiments et des navires retenus (pour les émissions Bords) sont calculés sur la base des hauteurs et des surfaces présentées dans le tableau ci-dessus.

Pour rappel, les dimensions du navire Utopia of the Seas (hauteur : 72m avec un tirant d'eau de 9m) ont été retenues pour le navire situé dans la Forme C, et les dimensions du World America (hauteur : 68m) pour le navire situé dans le bassin de Penhoët et au niveau de la Forme Joubert, ces navires étant les plus hauts pouvant être accueillis à ces emplacements à ce jour.

Il a été considéré dans le cadre de cette étude que la Forme C était constamment en eau, une hauteur totale de 72m a donc été retenue pour les points de rejets associés.

En ce qui concerne la Forme B, mise en eau uniquement au moment du départ des navires, la hauteur retenue comprend le tirant d'eau, d'où la valeur indiquée de 81m. Toutefois, le fond de la Forme B, sur lequel est monté le navire en construction, est situé 14m en-dessous du niveau de l'aire de prémontage. La hauteur maximale des rejets concernés a donc été surestimée, et une hauteur maximale de 67m au-dessus du niveau de l'aire de prémontage aurait été plus réaliste.

La valeur de 81m utilisée pour la modélisation est majorante, dans la mesure où une hauteur importante de la source volumétrique facilite la dispersion atmosphérique des polluants, et sera conservée pour la suite de l'étude.

Les débits et les vitesses des oxydeurs et des grenailleuses sont issus des résultats de mesures disponibles pour ces installations. Lorsqu'un conduit fictif a été considéré pour associer deux conduits existants, les débits des deux rejets existants ont été sommés.

En ce qui concerne les centrales de soudure, les débits ont été choisis :

- Sur la base des mesures effectuées, lorsqu'elles existent ;
- Ou sur la base des débits maximaux théoriques fournis par les Chantiers de l'Atlantique.

#### 6.2.2.4 *Localisation des récepteurs*

La localisation et la nature des récepteurs ont été choisies afin d'avoir des cibles variées et représentatives des usages identifiés dans l'environnement proche du site. Les récepteurs retenus, pour lesquels les concentrations en polluants sont calculées, sont les suivants :

Tableau 38 : Description des récepteurs retenus

Récepteur	Code	Description	Localisation par rapport aux limites du site
Habitations	H1	Rue de la Guyane	850m au Sud-Ouest
Habitations	H2	Rue Henri Gautier	700m à l'Ouest
Habitations	H3	Rue René Cassin	750m à l'Ouest
Habitations	H4	Rue des Chantiers	100m au Nord-Ouest
Habitations	H5	Rue Nungesser et Coli	100m au Nord
Habitations	H6	Rue Jules Vallès	450m au Nord
Habitations	H7	Rue Pierre Loti (Montoir-de-Bretagne)	1,2km au Nord-Est
Habitations	H8	Av. du Bois (Saint-Brevin-les-Pins)	2km au Sud-Est
Entreprise	E1	Groupe Blondel-BL2A	100m au Sud
Entreprise	E2	MAN Energy Solutions	50m au Sud-Ouest
Entreprise	E3	ArcelorMittal	50m à l'Ouest
Entreprise	E4	Garage Citroën	400m à l'Ouest
Entreprise	E5	Autodistribution	50m au Nord
Entreprise	E6	Sides	350m au Nord
Entreprise	E7	Airbus Altantic	50m au Nord-Est
Entreprise	E8	General Electric	1,4km au Nord-Est
ERP	P1	Restaurant Gamin	1,1km au Sud-Ouest
ERP	P2	Square Delzieux	800m au Sud-Ouest
ERP	P3	Ecole maternelle Anne Frank	1,1km au Nord-Ouest
ERP	P4	Ecole primaire Ernest Renan	700m au Nord
ERP	P5	Ecole maternelle Elisa Lemonnier	300m au Nord

Les concentrations sont calculées à une hauteur de 1,5 m, ce qui correspond à la hauteur moyenne de respiration de l'Homme. Il faut noter que les phénomènes de transfert entre l'air extérieur et l'air intérieur sont complexes et difficiles à caractériser. Aussi, les concentrations auxquelles seront éventuellement exposées les populations à proximité du site, en intérieur ou en extérieur, sont supposées être celles calculées par ADMS dans l'air extérieur.

La localisation de ces points récepteurs est reportée sur le schéma ci-dessous :



Figure 17 : Localisation des points récepteurs

## 6.2.3 RÉSULTATS

### 6.2.3.1 Concentrations dans l'atmosphère

Les concentrations moyennes annuelles obtenues sont présentées dans les tableaux suivants.

Tableau 39 : Concentrations moyennes annuelles modélisées - métaux

Récepteur	Concentrations moyennes annuelles en mg/m <sup>3</sup>											
	Antimoine	Arsenic	Chrome (III, métal)	Chrome (VI, métal)	Cobalt	Cuivre	Manganèse	Molybdène	Nickel	Plomb	Vanadium	Zinc
<b>H1</b>	4,97E-08	2,27E-10	4,07E-08	4,27E-08	2,85E-10	1,34E-07	1,05E-06	2,97E-08	1,07E-07	6,40E-08	8,57E-09	5,00E-06
<b>H2</b>	3,53E-08	1,37E-10	4,07E-08	4,23E-08	2,14E-10	1,13E-07	1,01E-06	2,87E-08	1,01E-07	6,41E-08	8,82E-09	4,14E-06
<b>H3</b>	2,82E-08	1,08E-10	3,34E-08	3,49E-08	2,21E-10	9,40E-08	8,31E-07	2,29E-08	8,21E-08	5,17E-08	7,08E-09	3,32E-06
<b>H4</b>	4,64E-08	1,67E-10	7,82E-08	8,10E-08	5,59E-10	2,15E-07	2,10E-06	5,04E-08	1,79E-07	1,37E-07	1,81E-08	7,12E-06
<b>H5</b>	3,31E-08	1,20E-10	5,08E-08	5,25E-08	4,79E-10	1,34E-07	1,26E-06	3,21E-08	1,12E-07	8,17E-08	1,10E-08	4,52E-06
<b>H6</b>	2,07E-08	7,61E-11	2,84E-08	2,94E-08	2,19E-10	7,64E-08	7,03E-07	1,90E-08	6,42E-08	4,40E-08	6,10E-09	2,65E-06
<b>H7</b>	2,14E-08	8,11E-11	2,81E-08	2,92E-08	2,25E-10	7,41E-08	6,65E-07	1,86E-08	6,31E-08	4,03E-08	5,81E-09	2,60E-06
<b>H8</b>	1,19E-08	5,12E-11	1,48E-08	1,54E-08	1,12E-10	4,17E-08	3,65E-07	1,09E-08	3,39E-08	2,28E-08	3,16E-09	1,53E-06
<b>E1</b>	3,88E-07	1,72E-09	1,91E-07	2,04E-07	1,29E-09	8,36E-07	5,77E-06	1,46E-07	6,41E-07	3,63E-07	4,23E-08	3,09E-05
<b>E2</b>	1,91E-07	1,08E-09	1,32E-07	1,43E-07	1,09E-09	4,94E-07	3,91E-06	1,02E-07	4,29E-07	2,33E-07	2,90E-08	1,93E-05
<b>E3</b>	1,47E-07	6,35E-10	1,25E-07	1,34E-07	7,89E-10	4,07E-07	3,40E-06	9,82E-08	4,01E-07	2,17E-07	2,82E-08	1,53E-05
<b>E4</b>	3,79E-08	1,44E-10	4,22E-08	4,39E-08	2,54E-10	1,22E-07	1,06E-06	2,86E-08	1,05E-07	6,65E-08	8,94E-09	4,31E-06
<b>E5</b>	4,15E-08	1,48E-10	7,22E-08	7,43E-08	9,32E-10	1,78E-07	1,68E-06	4,18E-08	1,51E-07	1,12E-07	1,47E-08	5,83E-06
<b>E6</b>	3,04E-08	1,10E-10	4,31E-08	4,46E-08	4,04E-10	1,16E-07	1,07E-06	2,76E-08	9,64E-08	6,83E-08	9,23E-09	3,93E-06
<b>E7</b>	7,26E-08	2,58E-10	1,28E-07	1,33E-07	1,15E-09	3,33E-07	3,20E-06	7,62E-08	2,75E-07	2,09E-07	2,78E-08	1,09E-05
<b>E8</b>	2,40E-08	1,12E-10	4,67E-08	4,81E-08	1,37E-10	1,01E-07	1,06E-06	3,11E-08	9,74E-08	6,12E-08	9,53E-09	3,76E-06
<b>P1</b>	4,66E-08	2,26E-10	4,01E-08	4,20E-08	2,95E-10	1,30E-07	1,04E-06	2,93E-08	1,04E-07	6,29E-08	8,48E-09	4,85E-06
<b>P2</b>	4,31E-08	1,82E-10	4,25E-08	4,44E-08	2,51E-10	1,26E-07	1,07E-06	3,14E-08	1,10E-07	6,60E-08	9,18E-09	4,69E-06
<b>P3</b>	1,22E-08	4,44E-11	1,47E-08	1,53E-08	1,09E-10	4,22E-08	3,71E-07	1,04E-08	3,42E-08	2,33E-08	3,20E-09	1,49E-06
<b>P4</b>	2,35E-08	8,63E-11	2,95E-08	3,06E-08	2,49E-10	8,21E-08	7,31E-07	1,95E-08	6,74E-08	4,60E-08	6,30E-09	2,83E-06
<b>P5</b>	2,46E-08	8,74E-11	3,52E-08	3,64E-08	2,73E-10	9,48E-08	8,83E-07	2,33E-08	7,96E-08	5,60E-08	7,65E-09	3,25E-06



Tableau 40 : Concentrations moyennes annuelles modélisées - COV

Récepteur	Concentrations moyennes annuelles en mg/m <sup>3</sup>					
	Ethylbenzène	Xylènes	4-méthylpentan-2-one	Formaldéhyde	Butanol	Acétaldéhyde
H1	3,40E-04	3,68E-04	1,38E-05	7,99E-06	1,52E-04	7,99E-06
H2	4,39E-04	4,78E-04	1,94E-05	5,65E-06	2,13E-04	5,65E-06
H3	2,90E-04	3,15E-04	1,26E-05	4,53E-06	1,39E-04	4,53E-06
H4	5,89E-04	6,41E-04	2,61E-05	7,49E-06	2,86E-04	7,49E-06
H5	3,10E-04	3,37E-04	1,35E-05	5,42E-06	1,49E-04	5,42E-06
H6	1,92E-04	2,10E-04	8,56E-06	3,39E-06	9,41E-05	3,39E-06
H7	1,73E-04	1,88E-04	7,68E-06	3,91E-06	8,45E-05	3,91E-06
H8	8,88E-05	9,61E-05	3,69E-06	1,91E-06	4,05E-05	1,91E-06
E1	1,48E-03	1,57E-03	4,16E-05	5,84E-05	4,58E-04	5,84E-05
E2	1,27E-03	1,34E-03	3,61E-05	3,13E-05	3,97E-04	3,13E-05
E3	1,45E-03	1,54E-03	4,34E-05	2,15E-05	4,77E-04	2,15E-05
E4	4,33E-04	4,72E-04	1,93E-05	5,66E-06	2,12E-04	5,66E-06
E5	3,62E-04	3,93E-04	1,55E-05	6,85E-06	1,70E-04	6,85E-06
E6	2,61E-04	2,84E-04	1,14E-05	5,13E-06	1,25E-04	5,13E-06
E7	6,46E-04	7,00E-04	2,71E-05	1,46E-05	2,98E-04	1,46E-05
E8	2,72E-04	2,96E-04	1,23E-05	4,75E-06	1,35E-04	4,75E-06
P1	3,30E-04	3,57E-04	1,33E-05	7,76E-06	1,46E-04	7,76E-06
P2	3,79E-04	4,11E-04	1,57E-05	7,15E-06	1,73E-04	7,15E-06
P3	9,97E-05	1,08E-04	4,33E-06	1,89E-06	4,76E-05	1,89E-06
P4	1,89E-04	2,05E-04	8,26E-06	4,02E-06	9,08E-05	4,02E-06
P5	2,43E-04	2,65E-04	1,08E-05	3,89E-06	1,19E-04	3,89E-06



Tableau 41 : Dépôts moyens annuels au sol - métaux

Récepteur	Dépôts moyens annuels au sol en µg/m <sup>2</sup> /s											
	Antimoine	Arsenic	Chrome (III, métal)	Chrome (VI, métal)	Cobalt	Cuivre	Manganèse	Molybdène	Nickel	Plomb	Vanadium	Zinc
H1	2,32E-07	1,01E-09	2,32E-06	2,43E-06	1,33E-09	6,22E-07	1,31E-05	1,37E-07	6,73E-06	2,96E-07	1,07E-07	1,13E-05
H2	1,66E-07	6,67E-10	2,34E-06	2,43E-06	1,08E-09	5,38E-07	1,28E-05	1,36E-07	6,34E-06	3,04E-07	1,12E-07	1,01E-05
H3	1,33E-07	5,11E-10	1,70E-06	1,77E-06	1,02E-09	4,39E-07	9,81E-06	1,05E-07	4,63E-06	2,42E-07	8,25E-08	8,14E-06
H4	2,80E-07	1,04E-09	4,37E-06	4,52E-06	2,83E-09	1,10E-06	2,64E-05	2,46E-07	1,15E-05	6,60E-07	2,21E-07	1,94E-05
H5	2,39E-07	8,72E-10	2,96E-06	3,07E-06	2,46E-09	8,20E-07	1,82E-05	1,74E-07	7,94E-06	4,64E-07	1,51E-07	1,50E-05
H6	1,52E-07	5,68E-10	1,70E-06	1,76E-06	1,28E-09	4,88E-07	1,03E-05	1,08E-07	4,58E-06	2,63E-07	8,62E-08	9,50E-06
H7	1,72E-07	6,47E-10	2,38E-06	2,46E-06	1,69E-09	5,60E-07	1,28E-05	1,35E-07	6,03E-06	2,96E-07	1,10E-07	1,07E-05
H8	4,48E-08	1,92E-10	5,05E-07	5,26E-07	4,31E-10	1,64E-07	3,34E-06	4,39E-08	1,33E-06	9,21E-08	2,86E-08	3,35E-06
E1	1,65E-06	7,10E-09	1,03E-05	1,09E-05	5,59E-09	3,59E-06	6,56E-05	6,29E-07	3,63E-05	1,55E-06	4,82E-07	6,34E-05
E2	8,92E-07	4,82E-09	7,71E-06	8,28E-06	5,02E-09	2,29E-06	4,93E-05	4,66E-07	2,75E-05	1,07E-06	3,62E-07	4,16E-05
E3	6,69E-07	2,92E-09	7,04E-06	7,50E-06	3,81E-09	1,87E-06	4,22E-05	4,52E-07	2,52E-05	9,92E-07	3,48E-07	3,37E-05
E4	1,71E-07	6,49E-10	2,30E-06	2,39E-06	1,21E-09	5,63E-07	1,30E-05	1,33E-07	6,31E-06	3,12E-07	1,09E-07	1,00E-05
E5	3,05E-07	1,08E-09	4,47E-06	4,63E-06	4,91E-09	1,11E-06	2,56E-05	2,32E-07	1,12E-05	6,56E-07	2,15E-07	1,93E-05
E6	2,29E-07	8,30E-10	2,88E-06	2,99E-06	2,56E-09	7,72E-07	1,71E-05	1,66E-07	7,59E-06	4,29E-07	1,43E-07	1,42E-05
E7	5,47E-07	1,92E-09	1,01E-05	1,05E-05	7,63E-09	2,26E-06	5,73E-05	4,87E-07	2,51E-05	1,36E-06	4,87E-07	3,70E-05
E8	2,03E-07	9,03E-10	4,05E-06	4,15E-06	1,56E-09	7,66E-07	2,01E-05	2,25E-07	9,39E-06	4,40E-07	1,81E-07	1,56E-05
P1	2,12E-07	9,78E-10	2,21E-06	2,32E-06	1,33E-09	5,85E-07	1,26E-05	1,31E-07	6,34E-06	2,82E-07	1,03E-07	1,06E-05
P2	2,01E-07	8,47E-10	2,45E-06	2,56E-06	1,21E-09	5,88E-07	1,36E-05	1,46E-07	7,03E-06	3,08E-07	1,16E-07	1,07E-05
P3	7,25E-08	2,68E-10	6,96E-07	7,25E-07	5,39E-10	2,25E-07	4,44E-06	5,16E-08	1,90E-06	1,18E-07	3,69E-08	4,61E-06
P4	1,82E-07	6,68E-10	2,13E-06	2,22E-06	1,73E-09	5,81E-07	1,25E-05	1,27E-07	5,65E-06	3,10E-07	1,05E-07	1,11E-05
P5	1,68E-07	6,15E-10	1,91E-06	1,99E-06	1,38E-09	5,47E-07	1,17E-05	1,21E-07	5,18E-06	2,99E-07	9,73E-08	1,05E-05



Tableau 42 : Dépôts moyens annuels au sol - COV

Récepteur	Dépôts moyens annuels au sol en µg/m <sup>2</sup> /s					
	Ethylbenzène	Xylènes	4-méthylpentan-2-one	Formaldéhyde	Butanol	Acétaldéhyde
H1	6,82E-03	7,40E-03	2,91E-04	1,57E-04	3,20E-03	1,57E-04
H2	8,95E-03	9,79E-03	4,17E-04	1,19E-04	4,58E-03	1,19E-04
H3	5,73E-03	6,25E-03	2,59E-04	1,03E-04	2,85E-03	1,03E-04
H4	1,29E-02	1,41E-02	5,95E-04	1,78E-04	6,53E-03	1,78E-04
H5	6,87E-03	7,48E-03	3,06E-04	1,34E-04	3,36E-03	1,34E-04
H6	4,27E-03	4,66E-03	1,94E-04	8,47E-05	2,13E-03	8,47E-05
H7	4,15E-03	4,52E-03	1,87E-04	9,89E-05	2,06E-03	9,89E-05
H8	1,47E-03	1,60E-03	6,32E-05	3,85E-05	6,95E-04	3,85E-05
E1	2,75E-02	2,93E-02	8,93E-04	1,20E-03	9,82E-03	1,20E-03
E2	2,45E-02	2,61E-02	7,74E-04	6,57E-04	8,51E-03	6,57E-04
E3	2,68E-02	2,85E-02	8,92E-04	4,69E-04	9,81E-03	4,69E-04
E4	8,76E-03	9,57E-03	4,08E-04	1,27E-04	4,48E-03	1,27E-04
E5	8,05E-03	8,75E-03	3,51E-04	1,71E-04	3,85E-03	1,71E-04
E6	5,90E-03	6,42E-03	2,61E-04	1,29E-04	2,86E-03	1,29E-04
E7	1,49E-02	1,62E-02	6,36E-04	3,66E-04	7,00E-03	3,66E-04
E8	6,36E-03	6,95E-03	2,95E-04	1,17E-04	3,25E-03	1,17E-04
P1	6,53E-03	7,09E-03	2,77E-04	1,55E-04	3,04E-03	1,55E-04
P2	7,70E-03	8,37E-03	3,34E-04	1,44E-04	3,67E-03	1,44E-04
P3	2,03E-03	2,21E-03	9,00E-05	4,41E-05	9,90E-04	4,41E-05
P4	4,35E-03	4,74E-03	1,93E-04	1,01E-04	2,12E-03	1,01E-04
P5	5,32E-03	5,80E-03	2,42E-04	9,47E-05	2,66E-03	9,47E-05



#### 6.2.3.2 Cartographies des iso-concentrations

Une concentration est calculée pour chaque point du maillage et des isocontours sont obtenus par interpolation en utilisant le logiciel Surfer 10. Les isocontours des concentrations horaires moyennes annuelles, pour une sélection des principaux polluants émis, sont présentés sur les figures suivantes. L'ensemble des cartographies est présenté en Annexe IV.

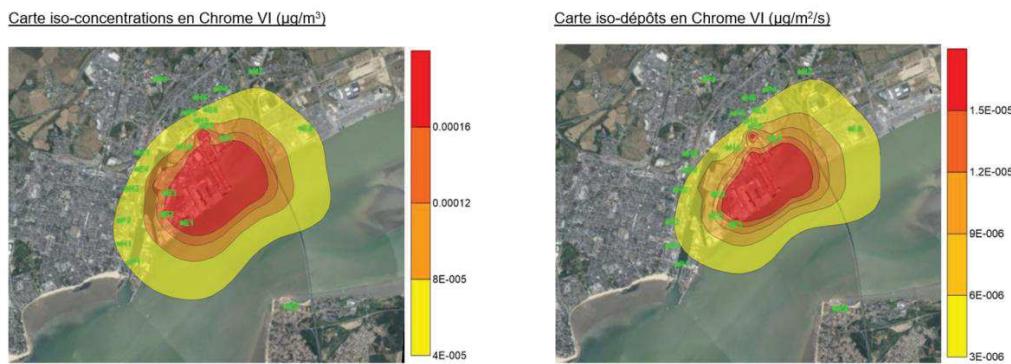


Figure 18 : Cartographies du chrome hexavalent

Carte iso-concentrations en Nickel ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )



Carte iso-dépôts en Nickel ( $\mu\text{g}/\text{m}^2/\text{s}$ )



Carte iso-concentrations en Manganèse ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )



Carte iso-dépôts en Manganèse ( $\mu\text{g}/\text{m}^2/\text{s}$ )



Figure 19 : Cartographies du Nickel et du Manganèse

Carte iso-concentrations en Ethylbenzène ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )



Carte iso-dépôts en Ethylbenzène ( $\mu\text{g}/\text{m}^2/\text{s}$ )



Carte iso-concentrations en Xylènes ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )



Carte iso-dépôts en Xylènes ( $\mu\text{g}/\text{m}^2/\text{s}$ )



Figure 20 : Cartographies de l'éthylbenzène et des xylènes



### 6.2.3.3 Points d'impacts maximaux

Les points d'impact maximaux ont été modélisés, et sont localisés sur le site des Chantiers de l'Atlantique.

Leur localisation et les concentrations associées sont présentées dans le tableau ci-dessous.

Tableau 43 : Concentrations aux points d'impacts maximaux

Polluant	Point d'impact max			
	X(m)	Y(m)	Z(m)	Concentration (µg/m <sup>3</sup> )
Antimoine	308009.12	6699849.00	1.50	3,32E-03
Arsenic	308009.12	6699677.00	1.50	9,70E-06
Cr(III)	308009.12	6700021.50	1.50	3,44E-02
Cr(VI)	308009.12	6700021.50	1.50	3,44E-02
Cobalt	308009.12	6700021.50	1.50	1,57E-04
Cuivre	308009.12	6700021.50	1.50	2,84E-02
Manganèse	308009.12	6700021.50	1.50	1,44E-01
Molybdène	308171.56	6699849.00	1.50	9,39E-04
Nickel	308009.12	6700021.50	1.50	5,38E-01
Plomb	308009.12	6700021.50	1.50	1,94E-02
Vanadium	308171.56	6699849.00	1.50	2,67E-04
Zinc	308009.12	6699849.00	1.50	1,79E-01
Ethylbenzène	308171.56	6700193.50	1.50	9,29E+00
Xylènes	308171.56	6700193.50	1.50	9,45E+00
4-méthylpentan-2-one	308496.44	6700193.50	1.50	2,81E-01
Formaldéhyde	308171.56	6699849.00	1.50	4,36E-01
Butanol	308496.44	6700193.50	1.50	3,09E+00
Acétaldéhyde	308171.56	6699849.00	1.50	4,36E-01

La localisation du point d'impact maximal, par substance, est présentée dans la figure de la page suivante.



Figure 21 : Localisation des points d'impacts maximaux, par substance

## 6.3 SCHÉMA CONCEPTUEL

### 6.3.1 VOIES DE TRANSFERT ET MILIEUX D'EXPOSITION

Un risque est défini par :

- Une source de contamination ;
- Un vecteur de transfert de la contamination ;
- Un milieu d'exposition ;
- Une cible.

Si l'un de ces éléments n'existe pas, alors aucun risque n'est caractérisable.

**L'évaluation porte sur les risques pour les populations humaines, exposées de manière chronique aux émissions atmosphériques du site.**

L'exposition des cibles peut être directe pour ce qui concerne l'inhalation de contaminants issus des émissions atmosphériques du site et présents dans l'air.

L'exposition peut également être indirecte via les sols superficiels non recouverts sur lesquels se sont déposés les contaminants issus des émissions du site. Dans ce cas, les voies d'exposition concernent :

- Le contact cutané avec le premier centimètre de sols ;
- L'ingestion de sols superficiels (premier centimètre) ;
- L'ingestion de produits alimentaires autoproduits (fruits et légumes du potager, viande animale, lait, œufs).

Dans la suite de l'étude et au vu de la localisation des habitations les plus proches, l'ingestion d'aliments d'origine animale autoproduits ne sera pas retenue (impliquant des élevages d'animaux, non recensés à proximité du site).

Le schéma proposé ci-dessous récapitule les expositions retenues par rapport à la problématique du site.

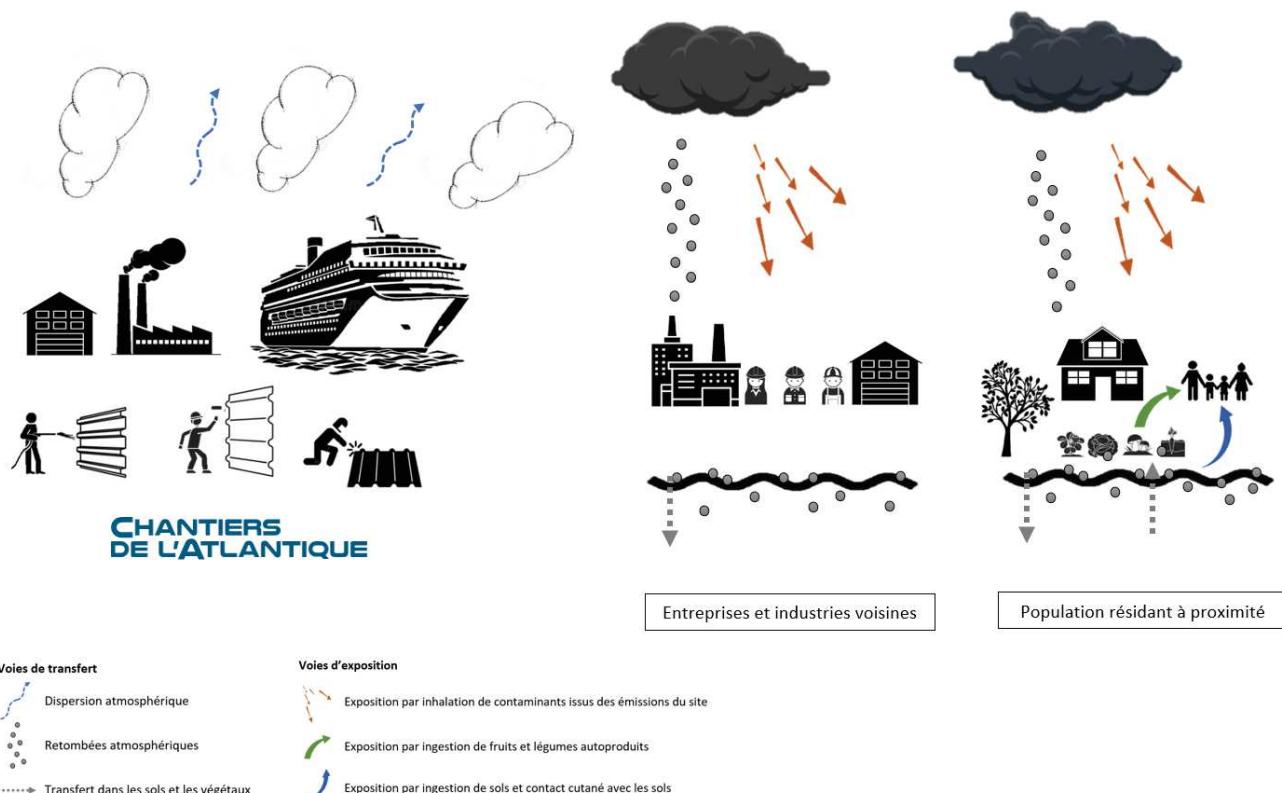


Figure 22 : Schéma conceptuel

### 6.3.2 SÉLECTION DES CIBLES

Dans la suite de l'étude, les cibles retenues seront celles qui sont les plus exposées au regard des données de la modélisation et de leur typologie d'exposition.

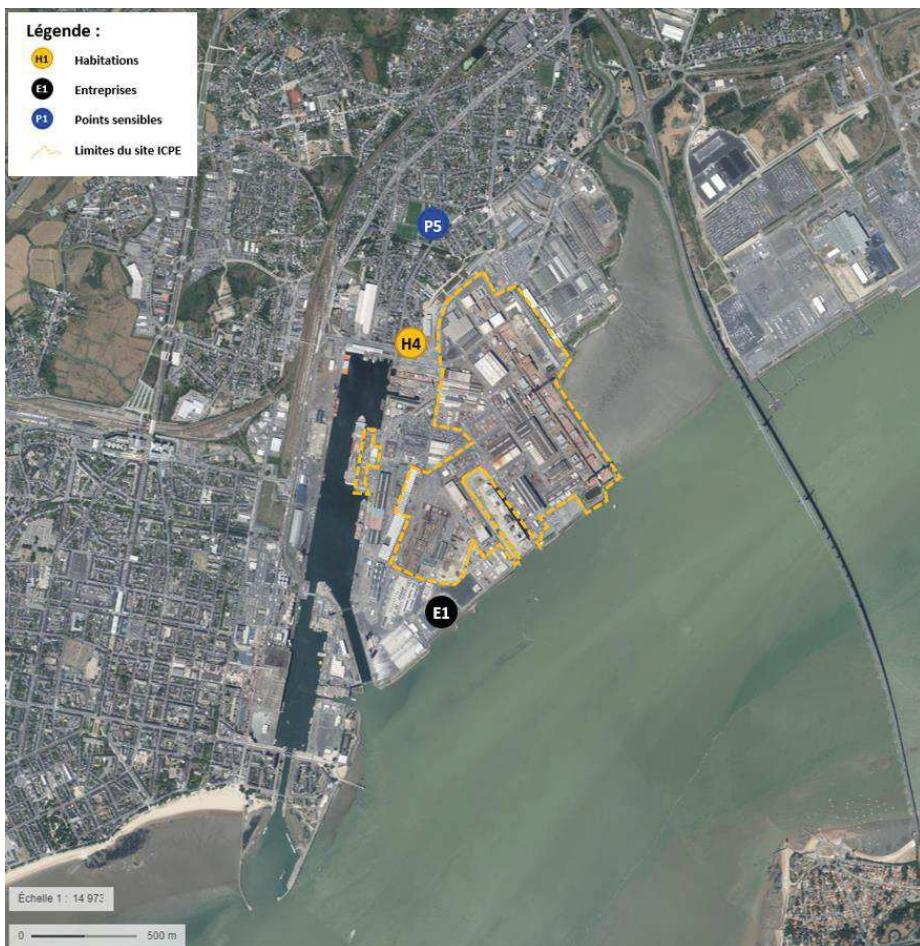
Dans ce contexte, les cibles sélectionnées au vu des résultats de la modélisation de la dispersion atmosphérique sont :

- H4 : des riverains, adultes et enfants, résidant au niveau des habitations les plus exposées (H4). Parmi les points récepteurs représentant des habitations, le point H4 est celui qui possède les concentrations maximales modélisées pour la quasi-totalité des polluants considérés.
- E1 : des « travailleurs », au niveau de l'entreprise la plus exposée, c'est-à-dire au droit de la société Blondel-BL2A ;
- E1/H4 : un « habitant travailleur », habitant dans l'habitation la plus exposée (H4) et employé dans l'entreprise Blondel-BL2A. Pour cette cible, il sera considéré que l'habitant passe 80% du temps à domicile, et 20% du temps en entreprise, conformément à la description du scénario correspondant, présenté dans le tableau 5 du guide de l'INERIS de 2021.
- P5 : un écolier habitant dans l'habitation la plus exposée (H4) et scolarisé au niveau de l'école possédant les concentrations modélisées maximales (P5). Pour cette cible, il sera considéré que l'écolier passe 10% du temps à l'école (6h/j, 144j/an) et 90% du temps au niveau de l'habitation la plus exposée.

### 6.3.3 CONCENTRATION AUX POINTS D'EXPOSITION

La figure suivante rappelle la localisation des cibles H4, E1 et P5.

Figure 23 : Localisation des cibles H4, E1 et P5



Le tableau suivant présente les concentrations retenues pour les cibles considérées :

Tableau 44 : Concentrations modélisées des cibles retenues

	Concentrations modélisées (mg/m <sup>3</sup> )			
	E1	H4	E1 / H4	P5
<b>Antimoine</b>	3,88E-07	4,64E-08	1,15E-07	4,42E-08
<b>Arsenic</b>	1,72E-09	1,67E-10	4,78E-10	1,59E-10
<b>Chrome (III, métal)</b>	1,91E-07	7,82E-08	1,01E-07	7,39E-08
<b>Chrome (VI, métal)</b>	2,04E-07	8,10E-08	1,06E-07	7,65E-08
<b>Cobalt</b>	1,29E-09	5,59E-10	7,05E-10	5,30E-10
<b>Cuivre</b>	8,36E-07	2,15E-07	3,39E-07	2,03E-07
<b>Manganèse</b>	5,77E-06	2,10E-06	2,84E-06	1,98E-06
<b>Molybdène</b>	1,46E-07	5,04E-08	6,95E-08	4,77E-08
<b>Nickel</b>	6,41E-07	1,79E-07	2,71E-07	1,69E-07
<b>Plomb</b>	3,63E-07	1,37E-07	1,82E-07	1,29E-07
<b>Vanadium</b>	4,23E-08	1,81E-08	2,30E-08	1,71E-08
<b>Zinc</b>	3,09E-05	7,12E-06	1,19E-05	6,73E-06
<b>Ethylbenzène</b>	1,48E-03	5,89E-04	7,68E-04	5,54E-04
<b>Xylènes</b>	1,57E-03	6,41E-04	8,26E-04	6,03E-04
<b>4-méthylpentan-2-one</b>	4,16E-05	2,61E-05	2,92E-05	2,45E-05
<b>Formaldéhyde</b>	5,84E-05	7,49E-06	1,77E-05	7,13E-06
<b>Butanol</b>	4,58E-04	2,86E-04	3,21E-04	2,70E-04
<b>Acétaldéhyde</b>	5,84E-05	7,49E-06	1,77E-05	7,13E-06

Pour la cible E1/H4, la concentration retenue a été calculée grâce aux concentrations modélisées aux points E1 et H4, et selon les critères évoqués précédemment. Ainsi, la concentration retenue est égale à la somme de 20% de la concentration au point E1 et de 80% de la concentration au point H4.

Pour la cible P5, la concentration retenue a été calculée grâce aux concentrations modélisées aux points H4 et P5, et selon les critères évoqués précédemment. Ainsi, la concentration retenue est égale à la somme de 90% de la concentration au point H4 et de 10% de la concentration au point P5.

Dans la suite de l'étude, les cibles étudiées seront dénommées cibles E1, cibles H4, cibles E1/H4 et cibles P5.



#### 6.3.4 DÉPOTS AUX POINTS D'EXPOSITION

Les dépôts modélisés serviront, dans la suite de l'étude, à évaluer le risque par ingestion des cibles considérées.

Le risque par ingestion sera évalué sur la base :

- Du risque par ingestion de végétaux autoproduits ;
- Du risque par ingestion des sols.

Les travailleurs identifiés (cibles E1) ne seront donc pas concernés par cette voie d'exposition, dans la mesure où l'ingestion de sols et de végétaux autoproduits sur le lieu de travail n'est pas attendue.

Les cibles H4 (adultes et enfants), P5 et E1/H4 seront concernées par cette voie d'exposition.

Dans ce cadre, le dépôt modélisé au point H4 sera retenu, pour l'ensemble de ces cibles. Cette hypothèse est majorante pour les cibles P5 et E1/H4, dans la mesure où :

- L'ingestion de sols, si elle existe au point P5 (lorsque l'enfant est à l'école, soit 10% du temps) devrait être associée aux dépôts au point P5, qui sont plus faibles qu'au point H4 ;
- L'ingestion de sols n'est pas attendue pour les cibles E1/H4, lorsque l'adulte concerné est sur le lieu de travail (20% du temps).

Les dépôts considérés sont présentés dans le tableau suivant :

Tableau 45 : Dépôts modélisés au point H4

	Dépôts modélisés - Point H4	
	Dépôts ( $\mu\text{g}/\text{m}^2/\text{s}$ )	Dépôts ( $\text{mg}/\text{m}^2/\text{j}$ )
<b>Antimoine</b>	2,80E-07	2,42E-05
<b>Arsenic</b>	1,04E-09	8,98E-08
<b>Chrome (III, métal)</b>	4,37E-06	3,77E-04
<b>Chrome (VI, métal)</b>	4,52E-06	3,91E-04
<b>Cobalt</b>	2,83E-09	2,45E-07
<b>Cuivre</b>	1,10E-06	9,47E-05
<b>Manganèse</b>	2,64E-05	2,28E-03
<b>Molybdène</b>	2,46E-07	2,12E-05
<b>Nickel</b>	1,15E-05	9,94E-04
<b>Plomb</b>	6,60E-07	5,71E-05
<b>Vanadium</b>	2,21E-07	1,91E-05
<b>Zinc</b>	1,94E-05	1,67E-03
<b>Ethylbenzène</b>	1,29E-02	1,12E+00
<b>Xylènes</b>	1,41E-02	1,22E+00
<b>4-méthylpentan-2-one</b>	5,95E-04	5,14E-02
<b>Formaldéhyde</b>	1,78E-04	1,54E-02
<b>Butanol</b>	6,53E-03	5,65E-01
<b>Acétaldéhyde</b>	1,78E-04	1,54E-02



## 6.4 QUANTIFICATION DE L'EXPOSITION

Dans cette phase, les doses de substances auxquelles sont exposées les cibles seront quantifiées.

Les doses d'exposition, pour un type de cible, une substance et une voie d'exposition donnée sont détaillées dans les chapitres suivants.

Les modalités de calcul et les résultats des doses d'exposition présentées concernent :

- L'inhalation de substances émises par les Chantiers de l'Atlantique ;
- L'ingestion de sols superficiels sur lesquels se sont déposées des substances émises par les Chantiers de l'Atlantique ;
- Le contact cutané avec les sols superficiels sur lesquels se sont déposées des substances émises par les Chantiers de l'Atlantique ;
- L'ingestion de végétaux ayant adsorbé les dépôts de substances émises par les Chantiers de l'Atlantique et poussant sur des sols sur lesquels se sont également déposées ces substances.

Les formules générales de calcul présentées dans les paragraphes suivants sont issues du guide de l'INERIS de 2021<sup>17</sup>.

### 6.4.1 FORMULES GÉNÉRALES DE CALCUL DE L'EXPOSITION

Pour la voie orale, la formule de la dose journalière d'exposition est, pour une substance et une voie d'exposition :

$$DJE \text{ (mg/kg}_\text{pc/j)} = \frac{C_\text{env} \cdot Q_\text{adm} \cdot F \cdot D_\text{exp}}{P \cdot D_\text{moy}}$$

avec  $C_\text{env}$  : concentration dans le milieu administré (air, eau, aliment...) (mg/kg)  
 $Q_\text{adm}$  : quantité de milieu administrée par voie d'exposition (orale/cutanée) (kg/j)  
 $F$  : fréquence d'exposition (jour/an)  
 $D_\text{exp}$  : durée d'exposition en années (unité : an) ; 6 ans / enfant et 40 ans / adulte  
 $P$  : poids corporel (unité : kgpc) ; 15 kg / enfant, ou 70 kg / adulte  
 $D_\text{moy}$  : durée sur laquelle l'exposition est moyennée (unité : jours), c'est-à-dire  $D_\text{exp}$  pour le calcul de la dose d'exposition pour un effet à seuil et  $D_\text{vie} = 70$  ans pour un effet sans seuil

Pour la voie respiratoire, la dose journalière d'exposition s'exprime par la concentration moyenne inhalée, CI, par jour :

$$CI \text{ (mg/m}^3\text{)} = \sum_i (C_i \cdot t_i) \frac{F \cdot D_\text{exp}}{D_\text{moy}}$$

avec  $C_i$  : concentration en polluants dans l'air inhalé pendant la fraction de temps  $t_i$  (mg/m<sup>3</sup>)  
 $t_i$  : fraction de temps exposé à la concentration  $C_i$  pendant une journée (sans unité)  
 $F$  : fréquence d'exposition (jour/an)  
 $D_\text{exp}$  : durée d'exposition (unité : an) ; 6 ans / enfant et 40 ans / adulte  
 $D_\text{moy}$  : durée sur laquelle l'exposition est moyennée (unité : jours) ; c'est-à-dire  $D_\text{exp}$  pour le calcul de la dose d'exposition pour un effet à seuil et  $D_\text{vie} = 70$  ans pour un effet sans seuil

<sup>17</sup> Evaluation de l'état des milieux et des risques sanitaires – démarche intégrée pour la gestion des émissions de substances chimiques par les installations classées. INERIS, deuxième éditions, septembre 2021.



## 6.4.2 EVALUATION LIÉE À L'INHALATION

### 6.4.2.1 *Outil de l'évaluation*

L'équation générale présentée ci-avant permet de définir les concentrations inhalées des différents polluants émis par l'installation.

Les Ci (concentrations en polluant dans l'air) correspondent aux concentrations présentées au point 6.3.3.

Les valeurs des paramètres pour les cibles sont présentées dans le tableau suivant :

Tableau 46 : Paramètres des cibles

Paramètre	Unité	Adulte E1	Enfant H4	Adulte H4	Enfant P5	Adulte E1/H4
Poids corporel	kg	70	15	70	15	70
Dexp= durée d'exposition	années	42	6	40	6	40
F=fréquence d'exposition	jour/an	220	365	365	365	365
	heure/jour	10	24	24	24	24
Tm: période de temps sur laquelle l'exposition est moyennée (cancérogène)	années	70	70	70	70	70
Tm: période de temps sur laquelle l'exposition est moyennée (non cancérogène)	années	42	6	40	6	40

### 6.4.2.2 *Justification du choix des valeurs des paramètres*

Les paramètres d'exposition utilisés pour l'ensemble des voies d'exposition sont les suivants :

- **Dexp** : la durée d'exposition est considérée de 6 ans pour un enfant (valeur recommandée par l'US EPA et l'INERIS) et de 40 ans pour un adulte résident (valeur majorée par rapport à la préconisation du guide de l'INERIS de 2021, qui est de 30 ans). Pour le travailleur, la durée d'exposition retenue est de 42 ans (temps de travail légal).
- **Dvie** : la durée de vie retenue est de 70 ans.
- **P** : il sera considéré que le poids moyen est de 15 kg pour un enfant et 70 kg pour un adulte.
- **F** : la fréquence d'exposition choisie est de 365j et 24h/24 pour les adultes et les enfants résidant dans les habitations proches du site, ce qui implique que les personnes ne sortent jamais de leur domicile. Pour le travailleur, il a été retenu un temps de présence de 220j/an (nombre de jours légalement travaillés en moyenne en France) et un temps de présence de 10h/jour dans l'entreprise, ce qui inclut également les temps de pause sur place.

Les résultats des concentrations inhalées sont présentés dans le tableau de la page suivante.

Tableau 47 : Résultat des concentrations inhalées

Substance	Concentration moyenne de polluants inhalée (mg/m <sup>3</sup> )									
	Effets toxiques à seuil					Effets cancérogènes (sans seuil)				
	Adulte E1	Enfant H4	Adulte H4	Enfant P5	Adulte E1/H4	Adulte E1	Enfant H4	Adulte H4	Enfant P5	Adulte E1/H4
<b>Métaux</b>										
<b>Antimoine</b>	9,76E-08	4,64E-08	4,64E-08	4,42E-08	1,15E-07	*	*	*	*	*
<b>Arsenic</b>	4,33E-10	1,67E-10	1,67E-10	1,59E-10	4,78E-10	2,60E-10	1,43E-11	9,56E-11	1,37E-11	2,73E-10
<b>Chrome III</b>	4,81E-08	7,82E-08	7,82E-08	7,39E-08	1,01E-07	2,88E-08	6,70E-09	4,47E-08	6,33E-09	5,76E-08
<b>Chrome VI</b>	5,13E-08	8,10E-08	8,10E-08	7,65E-08	1,06E-07	3,08E-08	6,94E-09	4,63E-08	6,56E-09	6,04E-08
<b>Cobalt</b>	3,24E-10	5,59E-10	5,59E-10	5,30E-10	7,05E-10	1,94E-10	4,79E-11	3,19E-10	4,54E-11	4,03E-10
<b>Cuivre</b>	2,10E-07	2,15E-07	2,15E-07	2,03E-07	3,39E-07	*	*	*	*	*
<b>Manganèse</b>	1,45E-06	2,10E-06	2,10E-06	1,98E-06	2,84E-06	*	*	*	*	*
<b>Molybdène</b>	3,67E-08	5,04E-08	5,04E-08	4,77E-08	6,95E-08	*	*	*	*	*
<b>Nickel</b>	1,61E-07	1,79E-07	1,79E-07	1,69E-07	2,71E-07	9,66E-08	1,53E-08	1,02E-07	1,45E-08	1,55E-07
<b>Plomb</b>	9,11E-08	1,37E-07	1,37E-07	1,29E-07	1,82E-07	5,46E-08	1,18E-08	7,85E-08	1,11E-08	1,04E-07
<b>Vanadium</b>	1,06E-08	1,81E-08	1,81E-08	1,71E-08	2,30E-08	*	*	*	*	*
<b>Zinc</b>	7,76E-06	7,12E-06	7,12E-06	6,73E-06	1,19E-05	*	*	*	*	*
<b>BTEX</b>										
<b>Ethylbenzène</b>	3,72E-04	5,89E-04	5,89E-04	5,54E-04	7,68E-04	2,23E-04	5,05E-05	3,37E-04	4,75E-05	4,39E-04
<b>Xylènes</b>	3,93E-04	6,41E-04	6,41E-04	6,03E-04	8,26E-04	*	*	*	*	*
<b>Autres COV</b>										
<b>Butanol</b>	1,15E-04	2,86E-04	2,86E-04	2,70E-04	3,21E-04	*	*	*	*	*
<b>Formaldéhyde</b>	1,47E-05	7,49E-06	7,49E-06	7,13E-06	1,77E-05	8,79E-06	6,42E-07	4,28E-06	6,11E-07	1,01E-05
<b>4-méthylpentan-2-one</b>	1,05E-05	2,61E-05	2,61E-05	2,45E-05	2,92E-05	*	*	*	*	*
<b>Acétaldéhyde</b>	1,47E-05	7,49E-06	7,49E-06	7,13E-06	1,77E-05	8,79E-06	6,42E-07	4,28E-06	6,11E-07	1,01E-05

\* : substance non concernée par cet effet.



### 6.4.3 EVALUATION LIÉE À L'INGESTION DE SOLS

La voie d'exposition par ingestion est considérée si les substances rejetées dans l'air ou les eaux sont susceptibles d'impacter les milieux environnementaux comme les sols et les eaux de surface et/ou les produits alimentaires locaux, et si ces matrices peuvent être ingérées par les populations locales, en fonction des propriétés physico-chimiques des substances et des usages.

Le tableau ci-dessous, issu du guide de l'INERIS<sup>18</sup>, précise le potentiel d'exposition par ingestion en fonction des propriétés des substances et des usages locaux après émission dans l'atmosphère ou les eaux :

Ingestion possible de :	Transferts possibles suite aux émissions atmosphériques ou aqueuses	Conditions relatives aux	
		types de substances	usages dans la zone d'influence des émissions de l'installation
Sol	• Dépôts atmosphériques • Dépôts par irrigation	Particulaires persistantes : métaux, POP <sup>33</sup> ...	Jardins, parcs et aires de jeux, potagers, etc.
Eau	• Dispersion dans les eaux de surface et/ou souterraines • Dépôts atmosphériques sur la surface (généralement négligeable)	Persistantes : métaux, POP	• Captage pour l'alimentation en eau potable (réseau collectif ou usage privé) • Baignades et activités nautiques
Fruits et légumes	• Absorption foliaire (gazeuse) • Transferts racinaires (par le sol) • Dépôts atmosphériques (particules) ou par irrigation sur les feuilles et les parties comestibles	Particulaires ou gazeuses et bioaccumulables : métaux, POP...	• Potagers, jardins familiaux, cultures • Captages pour l'irrigation
Viandes, œufs, lait et produits dérivés	Transferts suite à l'ingestion par l'animal de sol, d'eau (abreuvement) ou de végétaux (pâturages et aliments)	Particulaires ou gazeuses, et bioaccumulables : métaux, POP...	• Elevages familiaux ou professionnels • Captages pour l'abreuvement • Pâturages ou cultures destinées à l'alimentation des animaux
Produits de la pêche ou de l'aquaculture	Transferts par l'eau dans la zone de pêche/élevage	Solubles, en suspension ou persistantes dans les sédiments et bioaccumulables : métaux, POP...	Pêche ou aquaculture

Figure 24 : Potentiel d'exposition par ingestion

© Ineris

Remarque : bien que les COV identifiés dans cette étude ne soient pas concernés par le potentiel d'exposition par ingestion, selon le guide de l'INERIS de 2021, la totalité de ces substances a toutefois été considérée pour cette voie d'exposition.

L'ensemble des métaux a également été pris en compte pour ces voies d'exposition. Il a été considéré que la totalité des métaux émis étaient présents sous forme particulaire.

Seules les cibles H4, P5 et E1/H4 seront considérées pour cette voie d'exposition, étant donné que l'ingestion de sols ou de végétaux autoproduits n'est pas attendue au niveau de la cible E1.

<sup>18</sup> Evaluation de l'état des milieux et des risques sanitaires – démarche intégrée pour la gestion des émissions de substances chimiques par les installations classées. INERIS, deuxième éditions, septembre 2021.

#### 6.4.3.1 *Outil de l'évaluation*

L'équation utilisée pour déterminer les apports quotidiens en polluant à partir de l'ingestion de particules de sols est la suivante :

$$\text{DJE}_{\text{ingestion de sol}} \text{ (mg/kg}_{\text{pc}}/\text{j}) = \frac{C_{\text{sol}} \cdot Q_{\text{sol}} \cdot F \cdot D_{\text{exp}}}{P \cdot D_{\text{moy}}}$$

avec  $C_{\text{sol}}$  : concentration en polluant dans le sol (mg/kg)  
 $Q_{\text{sol}}$  : quantité ingérée de sol (kg/jour)  
 $D_{\text{exp}}$  : durée d'exposition (années)  
 $F$  : fréquence d'exposition (jour/an)  
 $P$  : poids corporel (unité : kg<sub>pc</sub> = "kg de poids corporel")  
 $D_{\text{moy}}$  : durée sur laquelle l'exposition est moyennée (jour) : *il s'agit de D<sub>exp</sub> pour le calcul de la dose d'exposition pour un effet à seuil et de D<sub>vie</sub> = 70 ans pour un effet sans seuil (unité : jours)*

La concentration dans les sols des jardins des particuliers peut être déterminée en évaluant tout d'abord les dépôts qui vont se cumuler sur le sol. Il sera considéré que l'ensemble des dépôts se cumule sans aucune perte, ce qui correspond à une approche majorante.

Les dépôts ont été calculés dans le cadre de la modélisation de la dispersion atmosphérique (cf. chapitre dédié), et seront considérés dans les calculs. A partir des dépôts calculés, la quantité de polluant qui se retrouve dans le sol est déterminée.

Une distinction sera faite entre les dépôts de métaux et les dépôts de COV, du fait du comportement différent de ces deux familles de substances.

#### Cas des métaux :

Il sera considéré, pour ces polluants, que le dépôt se fait à flux constant pendant 40 ans (durée d'exposition considérée), du fait du caractère persistant de cette famille de substances. Une quantité de métaux déposée pendant 40 ans est ainsi obtenue.

#### Cas des COV :

Les COV identifiés et considérés dans le cadre de cette étude ne sont pas des substances persistantes et/ou bioaccumulables. Aussi, l'hypothèse d'une accumulation à flux constant pendant 40 ans ne paraît pas appropriée, et aboutirait à une part anormalement élevée du risque par ingestion de COV dans le calcul final, ce qui ne serait pas représentatif de la répartition des risques associés à l'émission des polluants identifiés.

Afin d'estimer la quantité de COV pouvant s'accumuler au sol, les demi-vies (DT50) des différents COV identifiés ont été recherchées dans la littérature. La DT50 est définie comme la durée nécessaire à la dégradation de 50% de la quantité initiale de substance, dans le milieu considéré.

La base de données HSDB (Hazardous Substance Data Bank), développée par l'organisation américaine National Library of Medicine, fournit, entre autres, des informations sur le devenir dans l'environnement des substances.

Une synthèse des informations disponibles dans cette base de données, concernant le devenir dans l'environnement des six COV considérés, est présentée dans le tableau de la page suivante.

Tableau 48 : Synthèse des données relatives au devenir des COV considérés dans l'environnement

	Air	Sol	Eau	Synthèse
Ethylbenzène	Vapor-phase ethylbenzene will be degraded in the atmosphere by reaction with photochemically-produced hydroxyl radicals and nitrate radicals; the half-lives for these reactions in air is estimated to be 2.3 and 56 days, respectively.	Ethylbenzene is expected to volatilize from dry soil surfaces based upon its vapor pressure. Based on results of biodegradation screening studies, ethylbenzene is considered to be inherently biodegradable in soil and water under aerobic conditions. Ethylbenzene was degraded in 8 days in groundwater and 10 days in seawater as a component of gas oil.	Volatilization from water surfaces is expected to be an important fate process based upon this compound's Henry's Law constant. Estimated volatilization half-lives for a model river and model lake are 3.1 hours and 4.1 days, respectively.	Air : DT50 < 56 jours Sol : dégradé en 10 jours Eau : DT50 < 4,1 jours
Xylènes	Vapor-phase 2-xylene will be degraded in the atmosphere by reaction with photochemically-produced hydroxyl radicals and nitrate radicals; the half-lives for these reaction in air is estimated to be 1.2 and 85 days respectively. Vapor-phase 3-xylene will be degraded in the atmosphere by reaction with photochemically-produced hydroxyl radicals; the half-life for this reaction in air is estimated to be 17 hours. Vapor-phase 4-xylene will be degraded in the atmosphere by reaction with photochemically-produced hydroxyl radicals and nitrate radicals; the half-lives for these reaction in air is estimated to be 26 hours and 65 days respectively.	Xylene is expected to volatilize from dry soil surfaces based upon its vapor pressure. Xylene biodegrades in soil and water under both aerobic and anaerobic conditions. Biodegradation is an important process in subsurface soils and groundwater where volatilization is hindered.	Volatilization from water surfaces is expected to be an important fate process based upon this compound's Henry's Law constant. Estimated volatilization half-lives for a model river and model lake are 3.1 hours and 4.1 days, respectively.	Air : DT50 < 85 jours Sol : volatilisation et biodégradation rapides attendues Eau : DT50 < 4,1 jours
Butanol	If released to air, a vapor pressure of 7 mm Hg at 25 °C indicates n-butyl alcohol will exist solely as a vapor in the ambient atmosphere. Vapor-phase n-butyl alcohol will be degraded in the atmosphere by reaction with photochemically-produced hydroxyl radicals; the half-life for this reaction in air is estimated to be 45 hours.	n-Butyl alcohol is expected to volatilize from dry soil surfaces based upon its vapor pressure. The biodegradation half-life of n-butyl alcohol in a sub-surface soil was approximately 7 days.	Volatilization from water surfaces is expected to be an important environmental fate process based upon this compound's Henry's Law constant. Estimated volatilization half-lives for a model river and model lake are 3.7 and 29 days, respectively.	Air : DT50 < 45 heures Sol : DT50 < 7 jours Eau : DT50 < 29 jours
4-méthyl-2-pentanone	Vapor-phase methyl isobutyl ketone will be degraded in the atmosphere by reaction with photochemically-produced hydroxyl radicals; the half-life for this reaction in air is estimated to be 30 hours.	Methyl isobutyl ketone may volatilize from dry soil surfaces based upon its vapor pressure. Utilizing the Japanese MITI test, 84% of the Theoretical BOD was reached in 2 weeks indicating that biodegradation is an important environmental fate process in soil and water.	Volatilization from water surfaces is expected to be an important fate process based upon this compound's estimated Henry's Law constant. Estimated volatilization half-lives for a model river and model lake are 9 hours and 6 days, respectively.	Air : DT50 < 30 heures Sol : volatilisation et biodégradation rapides attendues Eau : DT50 < 6 jours

	Air	Sol	Eau	Synthèse
Formaldéhyde	Gas-phase formaldehyde will be degraded in the atmosphere by reaction with photochemically-produced hydroxyl radicals; the half-life for this reaction in air is 45 hrs.	Formaldehyde will volatilize from dry soil surfaces based upon its vapor pressure. Formaldehyde has been found to be readily biodegradable in various screening tests.	The half-life of formaldehyde has been reported between 1-7 days in surface water and 2-14 days in groundwater, based on estimated aqueous aerobic biodegradation half-lives.	Air : DT50 < 45 heures Sol : volatilisation et biodégradation rapides attendues Eau : DT50 < 14 jours
Acétaldéhyde	Vapor-phase acetaldehyde will be degraded in the atmosphere by reaction with photochemically-produced hydroxyl radicals; the half-life for this reaction in air is estimated to be 26 hours. Vapor-phase acetaldehyde will also be degraded in the atmosphere by reaction with photochemically-produced hydroxyl radicals; the half-life for this reaction in air is estimated to be 12 days.	Acetaldehyde is expected to volatilize from dry soil surfaces based upon its vapor pressure. Utilizing the Japanese MITI test, 80% of the Theoretical BOD was reached in 2 weeks indicating that biodegradation is an important environmental fate process in soil and water.	Volatilization from water surfaces is expected to be an important fate process based upon this compound's Henry's Law constant. Estimated volatilization half-lives for a model river and model lake are 11 hours and 5.3 days, respectively.	Air : DT50 < 12 jours Sol : volatilisation et biodégradation rapides attendues Eau : DT50 < 5,3 jours

Les données relatives à la biodégradation et à la volatilisation des COV considérés dans les différents milieux confirment le fait qu'une hypothèse d'accumulation de ces COV pendant une durée de 40 ans ne serait pas appropriée.

Afin de conserver une approche réaliste mais volontairement majorante, il sera considéré que les COV de la présente étude sont susceptibles de s'accumuler dans les sols pendant un an.



Afin d'estimer l'exposition par ingestion, deux types de sols seront considérés dans le cadre de cette évaluation :

- un sol non cultivé qui peut servir de terrain de jeu à des enfants. Dans ce cas, les particules vont s'accumuler à la surface, dans le premier centimètre ;
- un sol bêché, prospecté par les racines de légumes cultivés. La couche de sols considérée sera alors 0 – 20 cm.

Il est ensuite considéré que la quantité de polluant qui s'est accumulée (pendant 40 ans pour les métaux et 1 an pour les COV) sur 1 m<sup>2</sup> se mélange de façon homogène dans 0,01 m<sup>3</sup> de sol (cas d'un jardin de particulier enherbé) ou dans 0,2 m<sup>3</sup> (cas d'un sol bêché et cultivé). Les concentrations de polluants dans les sols sont obtenues en utilisant la densité apparente du sol.

L'équation permettant de déterminer ces concentrations dans les sols est issue d'une publication de l'US EPA<sup>19</sup>.

La formule associée au calcul de concentrations de métaux est présentée ci-dessous :

$$C_{Sol} = \frac{D_{MJ} * 40ans * 365jours * 1m^2}{0,01m^3 * 1700kg / m^3}$$

ou

$$C_{Sol} = \frac{D_{MJ} * 40ans * 365jours * 1m^2}{0,2m^3 * 1700kg / m^3}$$

Pour les COV, les mêmes formules seront utilisées, avec une durée d'accumulation adaptée (1 an).

Les résultats des Csol (concentrations dans les sols) sont présentés dans le tableau de la page suivante.

<sup>19</sup> Human Health Risk Assessment Protocol - Chapter 5 : Estimating Media Concentrations, US EPA, September 2005



Tableau 49 : Résultats des concentrations dans les sols (point H4)

Point H4	Débit Moyen Journalier	Concentration sol non	Concentration sol cultivé
		cultivé (0-1 cm)	(0-20 cm)
	DMJ (mg/m <sup>2</sup> .j)	Csol (0-1) mg/kg	Csol (0-20) mg/kg
<b>Métaux</b>			
Antimoine	2,42E-05	2,08E-02	1,04E-03
Arsenic	8,98E-08	7,71E-05	3,86E-06
Chrome III	3,77E-04	3,24E-01	1,62E-02
Chrome VI	3,91E-04	3,36E-01	1,68E-02
Cobalt	2,45E-07	2,10E-04	1,05E-05
Cuivre	9,47E-05	8,14E-02	4,07E-03
Manganèse	2,28E-03	1,96E+00	9,79E-02
Molybdène	2,12E-05	1,82E-02	9,12E-04
Nickel	9,94E-04	8,53E-01	4,27E-02
Plomb	5,71E-05	4,90E-02	2,45E-03
Vanadium	1,91E-05	1,64E-02	8,20E-04
Zinc	1,67E-03	1,44E+00	7,19E-02
<b>BTEX</b>			
Ethylbenzène	1,12E+00	2,40E+01	1,20E+00
Xylènes	1,22E+00	2,62E+01	1,31E+00
<b>Autres COV</b>			
Butanol	5,65E-01	1,21E+01	6,06E-01
Formaldéhyde	1,54E-02	3,30E-01	1,65E-02
4-méthylpentan-2-one	5,14E-02	1,10E+00	5,52E-02
Acétaldéhyde	1,54E-02	3,30E-01	1,65E-02

#### 6.4.3.2 Valeurs des paramètres

Les paramètres liés aux récepteurs sont présentés dans le tableau suivant.

Tableau 50 : Paramètres liés aux récepteurs pour l'ingestion de sol

Paramètre	Unité	Enfants	Adultes
		Ingestion de sols et de poussières	
Quantité de sols et poussières ingérée en extérieur	kg/j	0,000091	0,000050

#### 6.4.3.3 Justification du choix des valeurs des paramètres

##### Quantité de sol ingéré (Qsol) :

Pour les récepteurs enfants, l'estimation de l'ingestion moyenne quotidienne de sol dans les 7 études utilisées par l'US EPA<sup>20</sup> se trouve entre 56 et 79 mg/j. Il est proposé de retenir la valeur de 91 mg/j issue d'une étude de l'InVS<sup>21</sup> sur les variables humaines d'exposition. Cette valeur est plus proche des données issues de l'évaluation des risques en Angleterre, Allemagne et aux Etats Unis pour l'ingestion moyenne quotidienne de sol (respectivement 114, 100 et 123 mg/j).

Les quantités de sol ingéré retenues pour l'adulte sont celles proposées par l'INERIS<sup>22</sup> d'après l'US EPA, à savoir 50 mg/j, cette valeur est préconisée dans le cadre d'un scénario mixte intérieur / extérieur.

<sup>20</sup> Exposure Factors Handbook (1997), US EPA

<sup>21</sup> Synthèse des travaux de Département santé environnement de l'Institut de veille sanitaire sur les variables humaines d'exposition, juillet 2012, InVS.

<sup>22</sup> Méthode de calcul des VCI dans les sols (2001), INERIS



#### 6.4.3.4 Résultats des DJE pour l'ingestion de sols

Les résultats des DJE pour l'ingestion de sols sont présentés dans le tableau ci-dessous.

Tableau 51 : Résultats de DJE pour l'ingestion des sols

Substance	DJE Ingestion de sol (mg/kg/j)			
	Effets toxiques à seuil		Effets cancérogènes (sans seuil)	
	Enfant H4	Adulte H4	Enfant H4	Adulte H4
<b>Métaux</b>				
Antimoine	1,26E-07	1,48E-08	*	*
Arsenic	4,68E-10	5,51E-11	4,01E-11	3,15E-11
Chrome III	1,97E-06	2,31E-07	*	*
Chrome VI	2,04E-06	2,40E-07	1,75E-07	1,37E-07
Cobalt	1,28E-09	1,50E-10	*	*
Cuivre	4,94E-07	5,81E-08	*	*
Manganèse	1,19E-05	1,40E-06	*	*
Molybdène	1,11E-07	1,30E-08	*	*
Nickel	5,18E-06	6,10E-07	*	*
Plomb	2,97E-07	3,50E-08	2,55E-08	2,00E-08
Vanadium	9,95E-08	1,17E-08	*	*
Zinc	8,72E-06	1,03E-06	*	*
<b>BTEX</b>				
Ethylbenzène	1,45E-04	1,71E-05	1,25E-05	9,78E-06
Xylènes	1,59E-04	1,87E-05	*	*
<b>Autres COV</b>				
Butanol	7,35E-05	8,66E-06	*	*
Formaldéhyde	2,00E-06	2,35E-07	*	*
4-méthylpentan-2-one	6,69E-06	7,88E-07	*	*
Acétaldéhyde	2,00E-06	2,35E-07	*	*

\* : substance non concernée par cet effet.

#### 6.4.4 EVALUATION LIÉE AU CONTACT CUTANÉ

L'exposition liée au contact cutané avec des sols contaminés ne sera pas quantifiée du fait de l'absence de VTR adaptée et conformément aux recommandations de la note d'information DGS/EA1/DGPR/2014/307 du 31 octobre 2014 qui déconseille l'extrapolation des VTR de la voie orale à la voie cutanée.

## 6.4.5 EVALUATION LIÉE À L'INGESTION D'ALIMENTS AUTOPRODUITS D'ORIGINE VÉGÉTALE

### 6.4.5.1 *Outil de l'évaluation*

L'équation utilisée pour déterminer les apports quotidiens en polluant à partir de l'ingestion d'aliments autoproduits est la suivante :

$$DJE_{\text{ingestion végétaux}} \text{ (mg/kg}_{\text{pc}}\text{/j)} = \frac{C_{\text{veg}} \cdot Q_{\text{veg}} \cdot F \cdot D_{\text{exp}}}{P \cdot D_{\text{moy}}}$$

avec  $C_{\text{veg}}$  : concentration en polluant dans le végétal (mg/kg)  
 $Q_{\text{veg}}$  : quantité consommée de végétaux (kg/jour)  
 $D_{\text{exp}}$  : durée d'exposition (années)  
 $F$  : fréquence d'exposition (jour/an)  
 $P$  : poids corporel (unité :  $\text{kg}_{\text{pc}} = \text{"kg de poids corporel"}$ )  
 $D_{\text{moy}}$  : durée sur laquelle l'exposition est moyennée (jour) : *il s'agit de  $D_{\text{exp}}$  pour le calcul de la dose d'exposition pour un effet à seuil et de  $D_{\text{vie}} = 70$  ans pour un effet sans seuil (unité : jours)*

La concentration en polluant dans le végétal et la quantité de végétaux consommés seront déterminées d'une part pour les végétaux dont la partie comestible est aérienne (ex : salade, haricots verts, fruits) et d'autre part pour les végétaux dont la partie racinaire est consommée (ex : pommes de terres, carottes, betteraves).

La concentration dans les végétaux est liée à des phénomènes distincts :

- aux dépôts de particules sur les parties aériennes des végétaux, qui vont ensuite se bioaccumuler =  $C_D$  (1) ;
- aux sols sur lesquels se sont accumulés les dépôts =  $C_{\text{plante}}$  (2).

Ainsi :

$$C_{\text{veg}} = C_D + C_{\text{plante}}$$

(1) : la concentration dans les végétaux due aux dépôts est déterminée à partir de la formule suivante :

$$C_D = D_{MJ} * R_p * \frac{1 - e^{(-kp * Tp)}}{Yp * kp}$$

avec  $C_D$  : concentration en polluant dans le végétal due aux dépôts (mg/kg)  
 $D_{MJ}$  : dépôt (mg/m<sup>2</sup>.j) : déterminé précédemment par modélisation  
 $R_p$  : fraction interceptée par les cultures (-)  
 $kp$  : coefficient de perte (j<sup>-1</sup>)  
 $Tp$  : durée de culture (j)  
 $Yp$  : rendement de production (kg/m<sup>2</sup>)

- (2) la concentration des différentes substances polluantes dans les parties aériennes et racinaires des végétaux due à l'absorption depuis les sols est estimée à l'aide de facteurs de bioconcentration (BCF) à partir de la formule suivante :

$$C_{\text{plante}} = (BCF_a + BCF_r) * C_{\text{sol}}$$

avec  $C_{plante}$  : Concentration dans la plante par absorption racinaires (mg/kg poids frais)  
 $C_{sol}$  : Concentration dans les 20 premiers cm de sols (mg/kg)  
 $BCF_a$  : Facteur de bioconcentration dans les parties aériennes de la plante [(mg/kg frais de feuille)/(mg/kg de sol)]  
 $BCF_r$  : Facteur de bioconcentration dans les parties racinaires de la plante [(mg/kg frais de racine)/(mg/kg de sol)]

Des valeurs de facteurs de bioconcentration ( $BCF_s$ ) issues de la littérature et spécifiques à chaque substance sont utilisées lorsqu'elles existent. Ces BCF correspondent à une évaluation du transfert des composés depuis le milieu sol vers les végétaux. Ces BCF sont exprimés par rapport à la matière sèche du végétal. Ainsi, le BCF (en matière fraîche) depuis le milieu sol vers les plantes est évalué selon la formule suivante :

$$BCF_{a,r} = BCF_s * tms_{a,r}$$

avec  $BCF_{a,r}$  : Facteur de bioconcentration dans les parties aériennes ou racinaires de la plante [(mg/kg frais de racine/feuille)/(mg/L dans l'eau du sol)]  
 $BCF_s$  : Facteur de bioconcentration vers les parties aériennes ou racinaires [(mg/kg sec de racine/feuille)/(mg/kg sol)]  
 $tms_{a,r}$  : Taux de matière sèche dans les parties aériennes ou racinaires de la plante

Lorsqu'aucune valeur de BCF n'est disponible dans la littérature, pour les composés organiques en particulier, ces derniers sont déterminés à l'aide des équations génériques suivantes.

Pour le transfert vers les parties aériennes des végétaux :

$$BCF_a = 10^{(1,588 - 0,578 * \log Kow)} * tms_a$$

avec  $BCF_a$  : Facteur de bioconcentration dans les parties aériennes de la plante [(mg/kg frais de racine/feuille)/(mg/L dans l'eau du sol)]  
 $tms_a$  : Taux de matière sèche dans les parties aériennes ou racinaires de la plante

Pour le transfert vers les parties racinaires des végétaux :

$$BCF_r = \frac{10^{(-0,77 * \log Kow - 1,52)} + 0,82}{Koc * foc}$$

avec  $BCF_r$  : Facteur de bioconcentration dans les parties racinaires de la plante [(mg/kg frais de racine/feuille)/(mg/L dans l'eau du sol)]  
 $Koc$  : Coefficient d'absorption sur la matière organique (g/mL)  
 $foc$  : Fraction de carbone organique dans le sol (g/g)

#### 6.4.5.2 Valeurs des paramètres

Les valeurs des paramètres liés à la concentration des polluants dans les végétaux, due aux dépôts, sont présentées dans le tableau ci-dessous :

Tableau 52 : Paramètres liés à la concentration de polluants dans les végétaux

Paramètres nécessaires au calcul de la concentration dans les végétaux	Unité	Valeur retenue	Origine de la valeur
Rp : Fraction de polluant interceptée par les cultures	(-)	0,39	HHRAP <sup>(a)</sup>
Yp : Rendement de production	kg MS/ m <sup>2</sup>	0,3	INERIS <sup>(b)</sup>
Kp : Coefficient de perte	j <sup>-1</sup>	0,049	HHRAP
Tp : Durée de la culture (2 mois)	j	60	HHRAP
Tms,a : Teneur en matière sèche dans les végétaux aériens	(-)	0,115	INERIS
Tms,r : Teneur en matière sèche dans les végétaux racinaires	(-)	0,186	INERIS
Foc : Fraction de carbone organique dans les sols	(-)	0,03	INERIS

(a) : Human Health Risk Assessment Protocol, Appendix B, September 2005, US EPA.

(b) : Méthode de calcul des VCI dans les sols, 2001, INERIS.

Les quantités retenues de végétaux autoproduits consommés sont présentées dans le tableau suivant :

Tableau 53 : Quantités retenues de végétaux autoproduits

Paramètre	Unité	Enfants H4/P5	Adulte H4
Consommation totale de légumes fruits	g/jour	61	110
Taux d'autoconsommation légumes fruits	-	0,31	0,31
Consommation totale de légumes feuilles	g/jour	11	24
Taux d'autoconsommation légumes feuilles	-	0,31	0,31
Consommation totale légumes racinaires y compris les pommes de terres	g/jour	10	12
Taux d'autoconsommation légumes racines	-	0,53	0,53

Les facteurs de bioconcentration sol/plante retenus sont présentées dans le tableau ci-dessous :

Tableau 54 : Facteurs de bioconcentration retenus

Substance	BCF fruit	BCF feuille	BCF Racine	Référence BCF
	Poids sec [mg de substance/kg de fruit par mg de substance /kg de sol]	Poids sec [mg de substance/kg de feuille par mg de substance /kg de sol]	Poids sec [mg de substance/kg de racine par mg de substance /kg de sol]	
<b>Métaux</b>				
Antimoine	5,00E-04	6,00E-03	4,00E-04	INERIS**
Arsenic	1,70E-02	1,70E-02	3,40E-03	INERIS**
Chrome III	1,10E-01	3,30E-02	1,40E-02	INERIS**
Chrome VI	1,10E-01	3,30E-02	1,40E-02	INERIS**
Cobalt	2,00E-02	2,00E-02	2,00E-02	RAIS*
Cuivre	4,00E-01	4,00E-01	4,00E-01	RAIS*
Manganèse	5,50E-01	5,50E-01	4,40E-02	INERIS**
Molybdène	2,50E-01	2,50E-01	2,50E-01	RAIS*
Nickel	1,45E-03	6,00E-03	3,00E-03	INERIS**
Plomb	1,30E-02	1,70E-02	3,60E-02	INERIS**
Vanadium	1,00E-04	3,00E-03	1,00E-03	INERIS**
Zinc	2,00E-01	2,00E-01	1,20E-01	INERIS**
<b>BTEX</b>				
Ethylbenzène	5,85E-01	5,85E-01	3,75E-02	BCF calculés
Xylènes	5,77E-01	5,77E-01	4,45E-02	BCF calculés
<b>Autres COV</b>				
Butanol	1,72E+01	1,72E+01	5,59E-01	BCF calculés
Formaldéhyde	2,43E+01	2,43E+01	1,57E+00	BCF calculés
4-méthylpentan-2-one	6,77E+00	6,77E+00	1,62E-01	BCF calculés
Acétaldéhyde	6,09E+01	6,09E+01	1,50E+00	BCF calculés

\* RAIS : Risk Assessment Information System (<http://rais.ornl.gov>).

\*\* INERIS – BCF moyens d'après les « Fiches de données toxicologiques et environnementales des substances chimiques ».

#### 6.4.5.3 Justification du choix des valeurs des paramètres

##### Quantités de végétaux autoproduits consommés :

Les données retenues proviennent du rapport INERIS-DRC-14-141968-11173C, relatif aux paramètres d'exposition de l'Homme du logiciel MODUL'ERS.

Les quantités utilisées sont donc représentatives d'un comportement moyen au sein de la population française.

##### Facteurs de Bioconcentration :

Les valeurs de facteurs de bioconcentrations sont issues de la littérature, ou calculés à l'aide des équations présentées au point 6.4.5.1.

#### 6.4.5.4 Résultats des DJE

Les résultats des DJE pour l'ingestion de fruits et légumes autoproduits sont présentés dans le tableau de la page suivante.

Tableau 55 : Résultats des DJE pour l'ingestion de fruits et légumes

Substance	DJE Ingestion de végétaux autoproduits (mg/kg/j)			
	Effets toxiques à seuil		Effets cancérogènes (sans seuil)	
	Enfant H4	Adulte H4	Enfant H4	Adulte H4
<b>Métaux</b>				
<b>Antimoine</b>	1,61E-08	7,50E-09	*	*
<b>Arsenic</b>	7,08E-11	3,21E-11	6,07E-12	1,84E-11
<b>Chrome III</b>	5,34E-07	2,25E-07	*	*
<b>Chrome VI</b>	5,53E-07	2,34E-07	4,74E-08	1,33E-07
<b>Cobalt</b>	2,10E-10	9,27E-11	*	*
<b>Cuivre</b>	4,47E-07	1,67E-07	*	*
<b>Manganèse</b>	1,10E-05	4,44E-06	*	*
<b>Molybdène</b>	6,78E-08	2,59E-08	*	*
<b>Nickel</b>	6,73E-07	3,12E-07	*	*
<b>Plomb</b>	4,88E-08	2,12E-08	4,18E-09	1,21E-08
<b>Vanadium</b>	1,26E-08	5,88E-09	*	*
<b>Zinc</b>	4,12E-06	1,64E-06	*	*
<b>BTEX</b>				
<b>Ethylbenzène</b>	8,52E-04	3,89E-04	7,30E-05	2,23E-04
<b>Xylènes</b>	9,29E-04	4,25E-04	*	*
<b>Autres COV</b>				
<b>Butanol</b>	2,17E-03	8,89E-04	*	*
<b>Formaldéhyde</b>	8,03E-05	3,25E-05	*	*
<b>4-méthylpentan-2-one</b>	9,81E-05	4,13E-05	*	*
<b>Acétaldéhyde</b>	1,83E-04	7,36E-05	*	*

\* : substance non concernée par cet effet.

## 7 CARACTERISATION DES RISQUES

La caractérisation des risques est l'étape finale d'un calcul de risque. Les résultats de l'évaluation de l'exposition et des dangers sont intégrés sous la forme d'une expression quantitative du risque.

Afin de caractériser les effets potentiels, les concentrations d'exposition (calculées dans l'évaluation de l'exposition) sont comparées avec les valeurs toxicologiques de référence (présentées dans l'évaluation des dangers). Ces comparaisons sont faites séparément pour les substances cancérogènes et les substances non cancérogènes. Les risques sont d'abord calculés pour chaque substance et chaque voie d'exposition. L'exposition à plusieurs substances peut induire l'additivité, la synergie (amplification des effets) ou l'antagonisme (annulation des effets). En l'absence de données sur la synergie entre les substances, il a été considéré, en première approche, l'additivité des risques liés à l'exposition à plusieurs substances dont on suppose que les effets propres à chacune vont s'additionner.

### 7.1 PRINCIPE DE L'ÉVALUATION

#### 7.1.1 CALCUL DE RISQUE POUR LES SUBSTANCES NON CANCÉROGÈNES

Pour les substances non cancérogènes, la possibilité de survenue d'un effet toxique chez l'homme est représentée par un Quotient de Danger (QD), calculé comme suit :

Pour la voie d'exposition par inhalation :

$$QD = CI / RfC$$

RfC : Reference Concentration, désigne la dose journalière tolérable liée à une exposition par voie respiratoire.  
CI : Concentration Inhalée.

Pour les autres voies d'exposition :

$$QD = DJE / RfD$$

RfD : Reference Dose, désigne la dose journalière tolérable pour une exposition par voie orale.  
DJE : Dose Journalière d'Exposition.

La circulaire du Ministère en charge de l'Environnement de 1999 recommande de considérer comme acceptable un quotient de danger cumulé inférieur à 1.

Lorsque le QD est inférieur à 1, la survenue d'un effet toxique apparaît peu probable, y compris pour les populations sensibles.

Au-delà de 1, la possibilité d'apparition d'un effet toxique ne peut être exclue. En outre, cette possibilité apparaît d'autant plus forte que le QD augmente, mais ce n'est pas une relation linéaire.

### 7.1.2 CALCUL DE RISQUE POUR LES SUBSTANCES CANCÉROGÈNES

L'effet cancérogène implique que, quel que soit le niveau d'exposition, la substance est susceptible d'induire un effet. Il y a donc un risque dès la première dose d'exposition – on parle dans ce cas d'effet sans seuil.

La relation entre le niveau d'exposition chez l'homme et la probabilité de développer un cancer est exprimée par l'Excès de Risque Unitaire (ERU).

L'ERU représente la probabilité supplémentaire, par rapport à un sujet non exposé, qu'un individu a de développer un cancer s'il est exposé toute sa vie à une unité de dose toxique.

L'ERU multiplié par la Concentration Inhalée (CI) pour l'inhalation ou la Dose Journalière d'Exposition (DJE) pour les autres voies permet de déduire un Excès de Risque Individuel (ERI), qui représente la probabilité que l'individu a de développer l'effet (cancer) associé à la substance, pendant toute sa vie, du fait de l'exposition considérée.

Pour la voie d'exposition par inhalation :

$$\mathbf{ERI = CI \times ERUi}$$

Pour les autres voies d'exposition :

$$\mathbf{ERI = DJE \times ERUi}$$

L'ERI est calculé pour chaque substance. En première approche, la somme des ERI ainsi calculés sera considérée pour l'évaluation du risque.

Cette valeur d'ERI est à comparer à un niveau de risque acceptable généralement compris entre  $10^{-4}$  et  $10^{-6}$ . Un ERI égal à  $10^{-5}$  est équivalent à l'apparition d'un cas de cancer supplémentaire dû à l'exposition à la substance, dans une population de 100 000 personnes, en plus du risque de base.

La circulaire du Ministère en charge de l'Environnement du 10 décembre 1999 indique que le niveau de risque acceptable correspond à un ERI inférieur à la valeur de  $10^{-5}$ .

## 7.2 RÉSULTATS DE LA CARACTÉRISATION DES RISQUES

Pour chaque cible retenue, les quotients de danger et les excès de risque individuels de chaque substance et de l'ensemble des substances, par voie d'exposition, sont présentés dans les tableaux et graphiques de ce paragraphe.

### 7.2.1 VUE D'ENSEMBLE DES RÉSULTATS

Le tableau ci-dessous présente, pour chaque cible retenue et pour chaque voie d'exposition considérée, les quotients de danger calculés :

Tableau 56 : Vue d'ensemble des quotients de danger calculés

Voie d'exposition	Quotient de danger (QD)				
	Adulte E1	Enfant H4	Adulte H4	Enfant P5	Adulte E1/H4
Inhalation	1,25E-02	1,82E-02	1,82E-02	1,71E-02	2,45E-02
Ingestion sols	*	2,30E-02	2,71E-03	2,30E-02	2,71E-03
Ingestion végétaux	*	1,33E-01	5,98E-02	1,33E-01	5,98E-02
<b>TOTAL</b>	<b>1,25E-02</b>	<b>1,75E-01</b>	<b>8,08E-02</b>	<b>1,73E-01</b>	<b>8,70E-02</b>

\* : Cible non concernée par cette voie d'exposition

Les quotients de danger totaux obtenus sont inférieurs à 1, quelle que soit la cible considérée.

Le tableau ci-dessous présente, pour chaque cible retenue et pour chaque voie d'exposition considérée, les excès de risque individuels calculés :

Tableau 57 : Vue d'ensemble des ERI calculés

Voie d'exposition	Excès de risques individuel (ERI)				
	Adulte E1	Enfant H4	Adulte H4	Enfant P5	Adulte E1/H4
Inhalation	2,26E-06	4,91E-07	3,27E-06	4,63E-07	4,33E-06
Ingestion sols	*	2,25E-07	1,76E-07	2,25E-07	1,76E-07
Ingestion végétaux	*	8,27E-07	2,52E-06	8,27E-07	2,52E-06
<b>TOTAL</b>	<b>2,26E-06</b>	<b>1,54E-06</b>	<b>5,96E-06</b>	<b>1,51E-06</b>	<b>7,02E-06</b>

\* : Cible non concernée par cette voie d'exposition

Les excès de risque individuels sont tous inférieurs à  $10^{-5}$ , quelle que soit la cible considérée.

Le détail des résultats, par cible et par substance, est donné dans les paragraphes suivants.



## 7.2.2 RÉSULTATS DE LA CARACTÉRISATION DES RISQUES – CIBLES E1 ADULTES

Pour rappel, pour les cibles E1, seule la voie d'exposition par inhalation a été retenue.

Les résultats de la caractérisation des risques pour les Cibles Adultes E1 sont présentés dans le tableau ci-dessous :

Tableau 58 : Résultats de la caractérisation des risques - Cibles E1

Substance	Quotient de danger (QD)	Excès de risque individuel (ERI)
<b>Métaux</b>		
Antimoine	3,25E-04	**
Arsenic	2,88E-05	3,89E-11
Chrome III	2,40E-05	3,17E-07
Chrome VI	1,71E-03	1,23E-06
Cobalt	3,24E-06	1,50E-09
Cuivre	2,10E-04	**
Manganèse	4,83E-03	**
Molybdène	1,83E-05	**
Nickel	7,00E-04	1,64E-08
Plomb	1,01E-04	6,56E-10
Vanadium	1,06E-04	**
Zinc	*	*
<b>Somme métaux</b>	<b>8,06E-03</b>	<b>1,57E-06</b>
<b>BTEX</b>		
Ethylbenzène	2,48E-04	5,59E-07
Xylènes	3,93E-03	**
<b>Somme BTEX</b>	<b>4,18E-03</b>	<b>5,59E-07</b>
<b>Autres COV</b>		
Butanol	*	*
Formaldéhyde	1,19E-04	1,14E-07
4-méthylpentan-2-one	3,49E-06	**
Acétaldéhyde	9,16E-05	1,93E-08
<b>Somme Autres COV</b>	<b>2,14E-04</b>	<b>1,34E-07</b>
<b>TOTAL</b>	<b>1,25E-02</b>	<b>2,26E-06</b>

\* : Substance non concernée par cette voie d'exposition

\*\* : Substance non concernée par cet effet

Ces résultats mettent en évidence :

- La contribution majoritaire du manganèse et des xylènes dans le calcul du quotient de danger, et la part importante que représente le chrome hexavalent dans ce résultat ;
- La contribution majoritaire du chrome hexavalent dans le calcul de l'excès de risque individuel, par rapport aux autres substances susceptibles d'induire des effets sans seuil.

### 7.2.3 RÉSULTATS DE LA CARACTÉRISATION DES RISQUES – CIBLES H4 ENFANTS

Les résultats de la caractérisation des risques pour les cibles Enfants H4 sont présentés dans le tableau ci-dessous :

Tableau 59 : Résultats de la caractérisation des risques - Cibles H4 enfants

Substance	Quotient de danger (QD)			Excès de risque individuel (ERI)		
	Inhalation	Ingestion de sol	Ingestion de végétaux autoproduits	Inhalation	Ingestion de sol	Ingestion de végétaux autoproduits
<b>Métaux</b>						
Antimoine	1,55E-04	2,10E-05	2,68E-06	**	**	**
Arsenic	1,12E-05	1,04E-06	1,57E-07	2,15E-12	6,02E-11	9,10E-12
Chrome III	3,91E-05	6,55E-06	1,78E-06	7,37E-08	**	**
Chrome VI	2,70E-03	2,26E-03	6,14E-04	2,78E-07	8,73E-08	2,37E-08
Cobalt	5,59E-06	8,50E-07	1,40E-07	3,69E-10	**	**
Cuivre	2,15E-04	3,29E-06	2,98E-06	**	**	**
Manganèse	7,01E-03	2,16E-04	2,00E-04	**	**	**
Molybdène	2,52E-05	2,21E-05	1,36E-05	**	**	**
Nickel	7,77E-04	3,98E-04	5,18E-05	2,61E-09	**	**
Plomb	1,53E-04	4,72E-04	7,74E-05	1,41E-10	2,17E-10	3,55E-11
Vanadium	1,81E-04	1,11E-05	1,40E-06	**	**	**
Zinc	*	2,91E-05	1,37E-05	**	**	**
<b>Somme métaux</b>	<b>1,13E-02</b>	<b>3,44E-03</b>	<b>9,80E-04</b>	<b>3,55E-07</b>	<b>8,76E-08</b>	<b>2,37E-08</b>
<b>BTEX</b>						
Ethylbenzène	3,93E-04	6,61E-03	3,87E-02	1,26E-07	1,37E-07	8,03E-07
Xylènes	6,41E-03	1,22E-02	7,15E-02	**	**	**
<b>Somme BTEX</b>	<b>6,80E-03</b>	<b>1,88E-02</b>	<b>1,10E-01</b>	<b>1,26E-07</b>	<b>1,37E-07</b>	<b>8,03E-07</b>
<b>Autres COV</b>						
Butanol	*	7,35E-04	2,17E-02	**	**	**
Formaldéhyde	6,09E-05	1,00E-05	4,01E-04	8,34E-09	**	**
4-méthylpentan-2-one	8,68E-06	*	*	**	**	**
Acétaldéhyde	4,68E-05	*	*	1,41E-09	**	**
<b>Somme Autres COV</b>	<b>1,16E-04</b>	<b>7,45E-04</b>	<b>2,21E-02</b>	<b>9,75E-09</b>	<b>0,00E+00</b>	<b>0,00E+00</b>
<b>TOTAL</b>	<b>1,82E-02</b>	<b>2,30E-02</b>	<b>1,33E-01</b>	<b>4,91E-07</b>	<b>2,25E-07</b>	<b>8,27E-07</b>

\* : Substance non concernée par cette voie d'exposition

\*\* : Substance non concernée par cet effet

Ces résultats mettent en évidence :

- La contribution majoritaire du butanol, de l'éthylbenzène et des xylènes dans le calcul du quotient de danger total, notamment du fait de l'exposition par ingestion ;
- La contribution majoritaire du manganèse et des xylènes dans le calcul du quotient de danger par inhalation, et la part importante que représente le chrome hexavalent dans ce résultat ;
- La contribution majoritaire de l'éthylbenzène dans le calcul de l'ERI total, par rapport aux autres substances susceptibles d'induire des effets sans seuil, notamment du fait de l'exposition par ingestion ;
- La contribution majoritaire du chrome dans le calcul de l'ERI, en ce qui concerne l'exposition par inhalation.

#### 7.2.4 RÉSULTATS DE LA CARACTÉRISATION DES RISQUES – CIBLES H4 ADULTES

Les résultats de la caractérisation des risques pour les cibles H4 Adultes sont présentés dans le tableau ci-dessous :

Tableau 60 : Résultats de la caractérisation des risques - Cibles H4 adultes

Substance	Quotient de danger (QD)			Excès de risque individuel (ERI)		
	Inhalation	Ingestion de sol	Ingestion de végétaux autoproduits	Inhalation	Ingestion de sol	Ingestion de végétaux autoproduits
<b>Métaux</b>						
Antimoine	1,55E-04	2,47E-06	1,25E-06	**	**	**
Arsenic	1,12E-05	1,22E-07	7,14E-08	1,43E-11	4,72E-11	2,75E-11
Chrome III	3,91E-05	7,71E-07	7,51E-07	4,91E-07	**	**
Chrome VI	2,70E-03	2,66E-04	2,60E-04	1,85E-06	6,85E-08	6,67E-08
Cobalt	5,59E-06	1,00E-07	6,18E-08	2,46E-09	**	**
Cuivre	2,15E-04	3,87E-07	1,12E-06	**	**	**
Manganèse	7,01E-03	2,54E-05	8,08E-05	**	**	**
Molybdène	2,52E-05	2,60E-06	5,18E-06	**	**	**
Nickel	7,77E-04	4,69E-05	2,40E-05	1,74E-08	**	**
Plomb	1,53E-04	5,56E-05	3,37E-05	9,42E-10	1,70E-10	1,03E-10
Vanadium	1,81E-04	1,30E-06	6,54E-07	**	**	**
Zinc	*	3,42E-06	5,46E-06	**	**	**
<b>Somme métaux</b>	<b>1,13E-02</b>	<b>4,05E-04</b>	<b>4,13E-04</b>	<b>2,36E-06</b>	<b>6,87E-08</b>	<b>6,69E-08</b>
<b>BTEX</b>						
Ethylbenzène	3,93E-04	7,78E-04	1,77E-02	8,41E-07	1,08E-07	2,45E-06
Xylènes	6,41E-03	1,44E-03	3,27E-02	**	**	**
<b>Somme BTEX</b>	<b>6,80E-03</b>	<b>2,22E-03</b>	<b>5,04E-02</b>	<b>8,41E-07</b>	<b>1,08E-07</b>	<b>2,45E-06</b>
<b>Autres COV</b>						
Butanol	*	8,66E-05	8,89E-03	**	**	**
Formaldéhyde	6,09E-05	1,18E-06	1,62E-04	5,56E-08	**	**
4-méthylpentan-2-one	8,68E-06	*	*	**	**	**
Acétaldéhyde	4,68E-05	*	*	9,41E-09	**	**
<b>Somme Autres COV</b>	<b>1,16E-04</b>	<b>8,78E-05</b>	<b>9,06E-03</b>	<b>6,50E-08</b>	<b>0,00E+00</b>	<b>0,00E+00</b>
<b>TOTAL</b>	<b>1,82E-02</b>	<b>2,71E-03</b>	<b>5,98E-02</b>	<b>3,27E-06</b>	<b>1,76E-07</b>	<b>2,52E-06</b>

\* : Substance non concernée par cette voie d'exposition

\*\* : Substance non concernée par cet effet

Ces résultats mettent en évidence :

- La contribution majoritaire du butanol, de l'éthylbenzène et des xylènes dans le calcul du quotient de danger total, notamment du fait de l'exposition par ingestion ;
- La contribution majoritaire du manganèse et des xylènes dans le calcul du quotient de danger par inhalation, et la part importante que représente le chrome hexavalent dans ce résultat ;
- La contribution majoritaire du chrome et de l'éthylbenzène dans le calcul de l'ERI, par rapport aux autres substances susceptibles d'induire des effets sans seuil.

## 7.2.5 RÉSULTATS DE LA CARACTÉRISATION DES RISQUES – CIBLES P5 ENFANTS

Les résultats de la caractérisation des risques pour les cibles P5 enfants sont présentés dans le tableau ci-dessous :

Tableau 61 : Résultats de la caractérisation des risques - Cibles P5 enfants

Substance	Quotient de danger (QD)			Excès de risque individuel (ERI)		
	Inhalation	Ingestion de sol	Ingestion de végétaux autoproduits	Inhalation	Ingestion de sol	Ingestion de végétaux autoproduits
<b>Métaux</b>						
Antimoine	1,47E-04	2,10E-05	2,68E-06	**	**	**
Arsenic	1,06E-05	1,04E-06	1,57E-07	2,05E-12	6,02E-11	9,10E-12
Chrome III	3,69E-05	6,55E-06	1,78E-06	6,97E-08	**	**
Chrome VI	2,55E-03	2,26E-03	6,14E-04	2,62E-07	8,73E-08	2,37E-08
Cobalt	5,30E-06	8,50E-07	1,40E-07	3,50E-10	**	**
Cuivre	2,03E-04	3,29E-06	2,98E-06	**	**	**
Manganèse	6,61E-03	2,16E-04	2,00E-04	**	**	**
Molybdène	2,38E-05	2,21E-05	1,36E-05	**	**	**
Nickel	7,34E-04	3,98E-04	5,18E-05	2,46E-09	**	**
Plomb	1,44E-04	4,72E-04	7,74E-05	1,33E-10	2,17E-10	3,55E-11
Vanadium	1,71E-04	1,11E-05	1,40E-06	**	**	**
Zinc	*	2,91E-05	1,37E-05	**	**	**
<b>Somme métaux</b>	<b>1,06E-02</b>	<b>3,44E-03</b>	<b>9,80E-04</b>	<b>3,35E-07</b>	<b>8,76E-08</b>	<b>2,37E-08</b>
<b>BTEX</b>						
Ethylbenzène	3,70E-04	6,61E-03	3,87E-02	1,19E-07	1,37E-07	8,03E-07
Xylènes	6,03E-03	1,22E-02	7,15E-02	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00
<b>Somme BTEX</b>	<b>6,40E-03</b>	<b>1,88E-02</b>	<b>1,10E-01</b>	<b>1,19E-07</b>	<b>1,37E-07</b>	<b>8,03E-07</b>
<b>Autres COV</b>						
Butanol	*	7,35E-04	2,17E-02	**	**	**
Formaldéhyde	5,79E-05	1,00E-05	4,01E-04	7,94E-09	**	**
4-méthylpentan-2-one	8,18E-06	*	*	**	**	**
Acétaldéhyde	4,45E-05	*	*	1,34E-09	**	**
<b>Somme Autres COV</b>	<b>1,11E-04</b>	<b>7,45E-04</b>	<b>2,21E-02</b>	<b>9,29E-09</b>	<b>0,00E+00</b>	<b>0,00E+00</b>
<b>TOTAL</b>	<b>1,71E-02</b>	<b>2,30E-02</b>	<b>1,33E-01</b>	<b>4,63E-07</b>	<b>2,25E-07</b>	<b>8,27E-07</b>

\* : Substance non concernée par cette voie d'exposition

\*\* : Substance non concernée par cet effet

Ces résultats mettent en évidence, de la même manière que pour les cibles H4 enfants :

- La contribution majoritaire du butanol, de l'éthylbenzène et des xylènes dans le calcul du quotient de danger total, notamment du fait de l'exposition par ingestion ;
- La contribution majoritaire du manganèse et des xylènes dans le calcul du quotient de danger par inhalation, et la part importante que représente le chrome hexavalent dans ce résultat ;
- La contribution majoritaire de l'éthylbenzène dans le calcul de l'ERI total, par rapport aux autres substances susceptibles d'induire des effets sans seuil, notamment du fait de l'exposition par ingestion ;
- La contribution majoritaire du chrome dans le calcul de l'ERI, en ce qui concerne l'exposition par inhalation.

## 7.2.6 RÉSULTATS DE LA CARACTÉRISATION DES RISQUES – CIBLES E1/H4 ADULTES

Les résultats de la caractérisation des risques pour les Cibles Adultes E1/H4 sont présentés dans le tableau ci-dessous :

Tableau 62 : Résultats de la caractérisation des risques - Cibles E1/H4 adultes

Substance	Quotient de danger (QD)			Excès de risque individuel (ERI)		
	Inhalation	Ingestion de sol	Ingestion de végétaux autoproduits	Inhalation	Ingestion de sol	Ingestion de végétaux autoproduits
<b>Métaux</b>						
Antimoine	3,83E-04	2,47E-06	1,25E-06	**	**	**
Arsenic	3,19E-05	1,22E-07	7,14E-08	4,10E-11	4,72E-11	2,75E-11
Chrome III	5,04E-05	7,71E-07	7,51E-07	6,34E-07	**	**
Chrome VI	3,52E-03	2,66E-04	2,60E-04	2,42E-06	6,85E-08	6,67E-08
Cobalt	7,05E-06	1,00E-07	6,18E-08	3,10E-09	**	**
Cuivre	3,39E-04	3,87E-07	1,12E-06	**	**	**
Manganèse	9,46E-03	2,54E-05	8,08E-05	**	**	**
Molybdène	3,48E-05	2,60E-06	5,18E-06	**	**	**
Nickel	1,18E-03	4,69E-05	2,40E-05	2,64E-08	**	**
Plomb	2,03E-04	5,56E-05	3,37E-05	1,25E-09	1,70E-10	1,03E-10
Vanadium	2,30E-04	1,30E-06	6,54E-07	**	**	**
Zinc	*	3,42E-06	5,46E-06	**	**	**
<b>Somme métaux</b>	<b>1,54E-02</b>	<b>4,05E-04</b>	<b>4,13E-04</b>	<b>3,08E-06</b>	<b>6,87E-08</b>	<b>6,69E-08</b>
<b>BTEX</b>						
Ethylbenzène	5,12E-04	7,78E-04	1,77E-02	1,10E-06	1,08E-07	2,45E-06
Xylènes	8,26E-03	1,44E-03	3,27E-02	**	**	**
<b>Somme BTEX</b>	<b>8,77E-03</b>	<b>2,22E-03</b>	<b>5,04E-02</b>	<b>1,10E-06</b>	<b>1,08E-07</b>	<b>2,45E-06</b>
<b>Autres COV</b>						
Butanol	*	8,66E-05	8,89E-03	**	**	**
Formaldéhyde	1,44E-04	1,18E-06	1,62E-04	1,31E-07	**	**
4-méthylpentan-2-one	9,72E-06	*	*	**	**	**
Acétaldéhyde	1,10E-04	*	*	2,22E-08	**	**
<b>Somme Autres COV</b>	<b>2,64E-04</b>	<b>8,78E-05</b>	<b>9,06E-03</b>	<b>1,53E-07</b>	<b>0,00E+00</b>	<b>0,00E+00</b>
<b>TOTAL</b>	<b>2,45E-02</b>	<b>2,71E-03</b>	<b>5,98E-02</b>	<b>4,33E-06</b>	<b>1,76E-07</b>	<b>2,52E-06</b>

\* : Substance non concernée par cette voie d'exposition

\*\* : Substance non concernée par cet effet

Ces résultats mettent en évidence, de la même manière que pour les cibles H4 :

- La contribution majoritaire du butanol, de l'éthylbenzène et des xylènes dans le calcul du quotient de danger total, notamment du fait de l'exposition par ingestion ;
- La contribution majoritaire du manganèse et des xylènes dans le calcul du quotient de danger par inhalation, et la part importante que représente le chrome hexavalent dans ce résultat ;
- La contribution majoritaire du chrome et de l'éthylbenzène dans le calcul de l'ERI, par rapport aux autres substances susceptibles d'induire des effets sans seuil.

## 7.2.7 COMPARAISON DES RÉSULTATS PAR TYPE DE SUBSTANCE

Afin de pouvoir visualiser l'impact des familles de polluants mis en jeu sur les calculs de quotient de danger et d'excès de risque individuel, les substances modélisées ont été réparties dans trois catégories :

- Les métaux ;
- Les BTEX ;
- Les autres COV.

Le graphique suivant permet de visualiser :

- La contribution de chaque famille de substance au quotient de danger, par cible et par voie d'exposition ;
- La somme de ces contributions ;
- Le positionnement de ces valeurs par rapport au seuil d'acceptabilité (QD = 1).

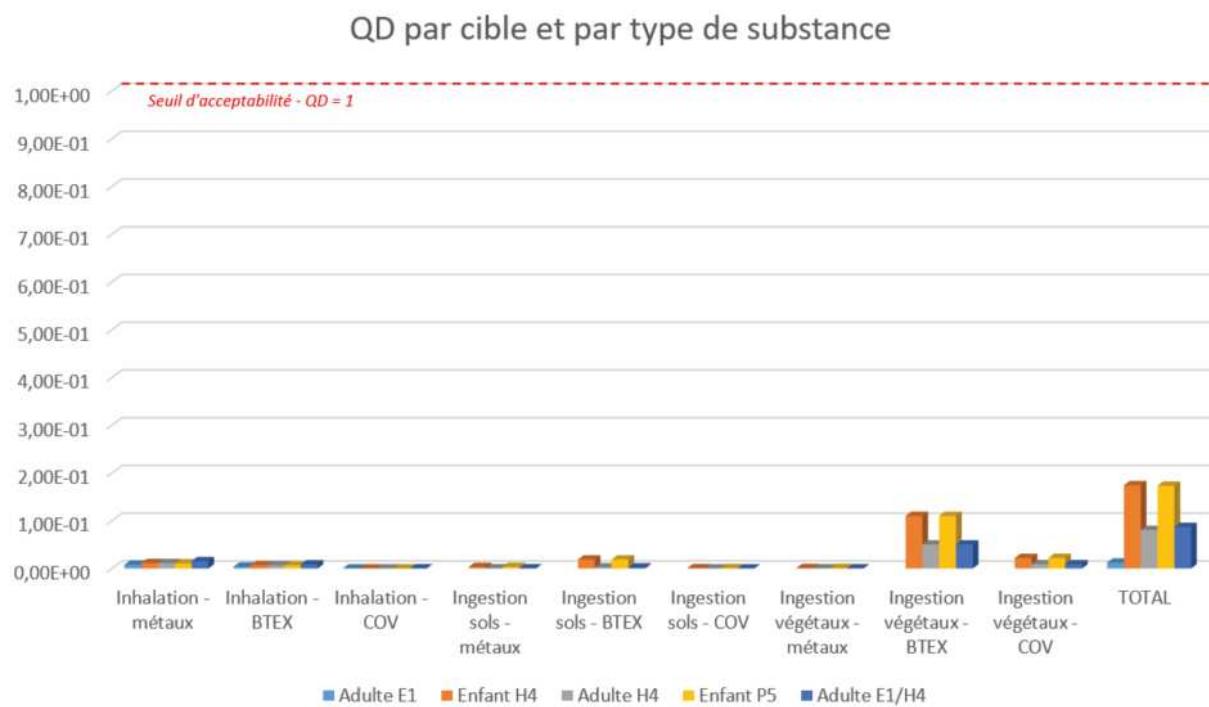


Figure 25 : QD par famille de substance, par cible et par voie d'exposition

Cette visualisation met en évidence la part prépondérante des voies d'exposition par ingestion dans les calculs de quotients de danger. En complément, la contribution majoritaire des BTEX et des COV est mise en avant pour ces voies d'exposition, principalement due à l'éthylbenzène, aux xylènes et au butanol.

Le graphique suivant permet de visualiser :

- La contribution de chaque famille de substance aux ERI, par cible et par voie d'exposition ;
- La somme de ces contributions ;
- Le positionnement de ces valeurs par rapport au seuil d'acceptabilité (ERI =  $1.10^{-5}$ ).

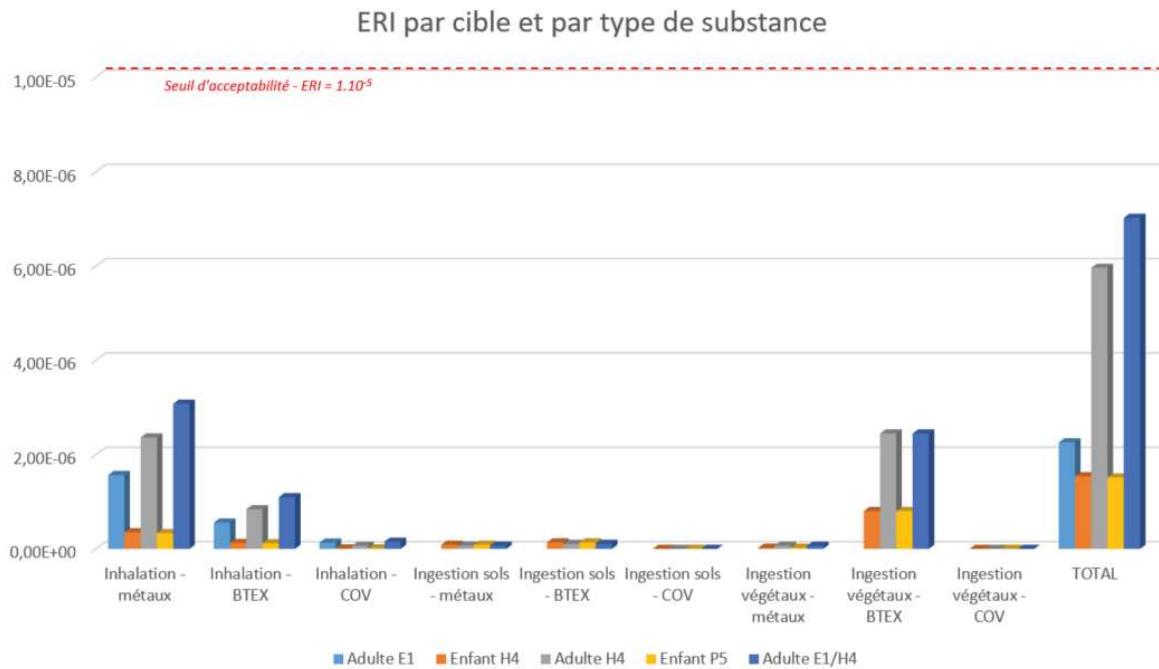


Figure 26 : ERI par famille de substance, par cible et par voie d'exposition

L'inhalation de métaux et l'exposition aux BTEX (et plus précisément à l'éthylbenzène, seule substance de la famille BTEX possédant des effets sans seuil), sont les contributions majoritaires dans le calcul d'excès de risque individuel.

Le détail des contributions de chaque substance aux ERI, pour une voie d'exposition donnée, est présenté dans les graphiques suivants.

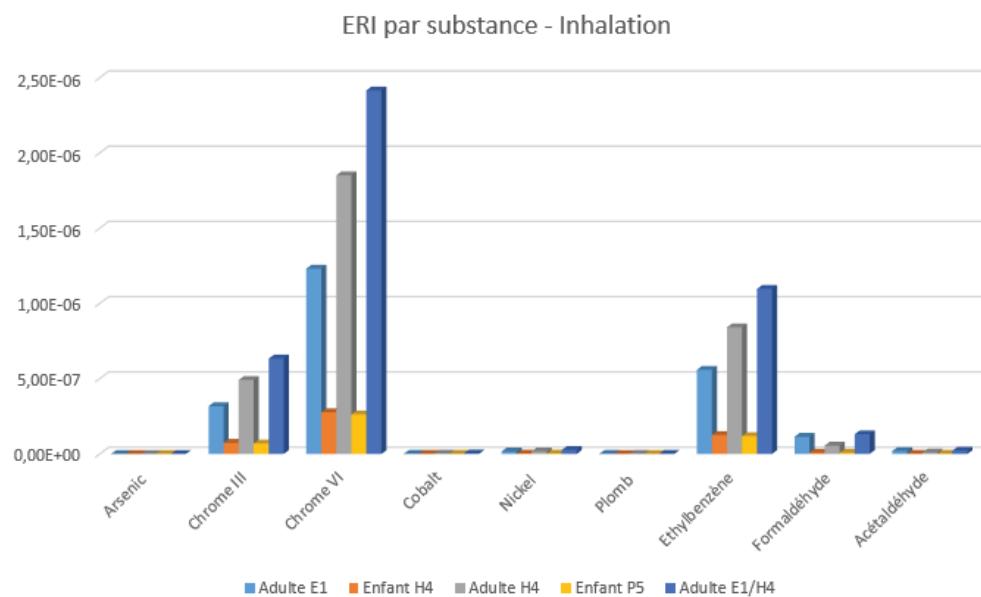


Figure 27 : ERI par substance et par cible - inhalation

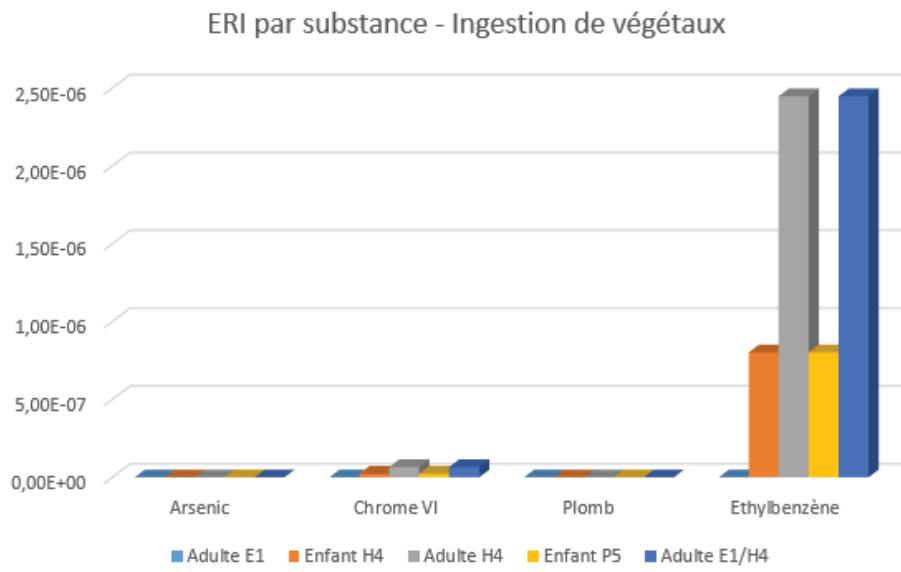


Figure 28 : ERI par substance et par cible - ingestion de végétaux

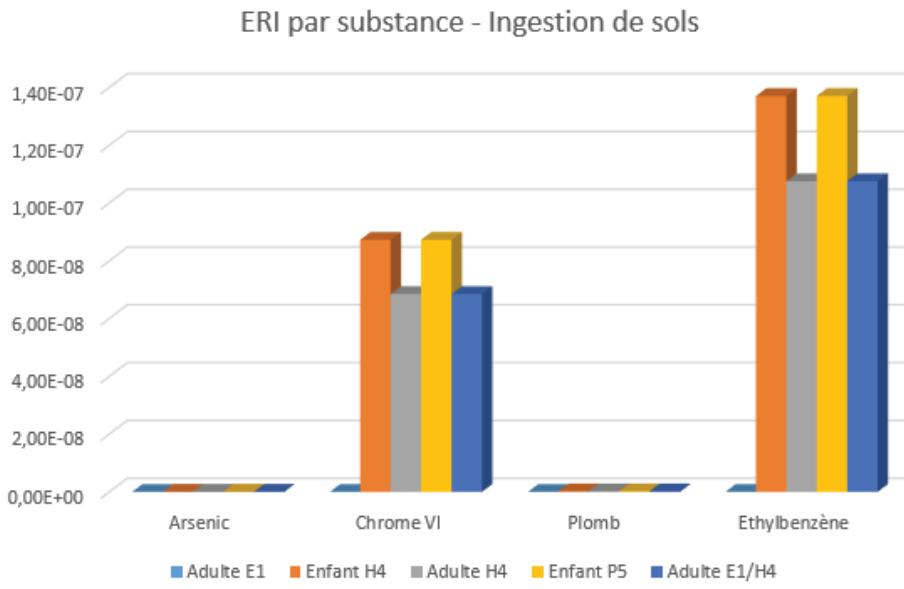


Figure 29 : ERI par substance et par cible - ingestion de sol

Le chrome et l'éthylbenzène sont les contributeurs majoritaires aux ERI par inhalation et par ingestion de sols, et l'éthylbenzène est le contributeur prépondérant à l'ERI par ingestion des végétaux.

## 7.2.8 COMMENTAIRES SUR LES RÉSULTATS

Les commentaires ci-après peuvent être effectués au vu des résultats obtenus :

### Pour les quotients de danger (effets à seuil) :

- Les voies d'exposition contribuant majoritairement aux quotients de danger sont l'ingestion de sols et l'ingestion de végétaux autoproduits. Pour cet effet et ces voies d'exposition, les substances contributrices principales sont les xylènes, l'éthylbenzène et le butanol ;
- Les substances contribuant majoritairement aux quotients de danger par inhalation sont le manganèse, les xylènes et le chrome hexavalent. Cette voie d'exposition n'est toutefois pas majoritaire dans le calcul du quotient de danger.

Les résultats observés pour les xylènes, l'éthylbenzène et le butanol sont principalement dus à la consommation importante de ces substances sur le site, via l'application de peinture. Bien que les flux à l'émission de butanol soient plus faibles que ceux de l'éthylbenzène et des xylènes, les quotients de danger calculés sont du même ordre de grandeur pour ces trois substances, pour la voie d'exposition par ingestion de végétaux autoproduits, le butanol ayant des BCF plus élevés.

Les VTR à seuil par ingestion des xylènes et de l'éthylbenzène sont toutefois plus restrictives que celle du butanol. Associées à des quantités mises en jeu de xylènes et d'éthylbenzène plus importantes, cela explique la prépondérance de ces deux substances dans le calcul du quotient de danger par ingestion de sol.

### Pour les excès de risque individuels (effets sans seuil) :

- Aucune voie d'exposition n'apparaît comme prépondérante dans le calcul de risque parmi les trois considérées, pour les cibles H4 et P5. Pour les cibles enfants, l'ingestion de sol et de végétaux autoproduits constituent les voies d'exposition majoritaires. Pour la cible H4 adulte, la voie d'exposition majoritaire est l'ingestion de végétaux autoproduits, et l'exposition par inhalation est du même ordre de grandeur ;
- Pour les cibles E1, seule la voie d'exposition par inhalation a été retenue, et les ERI associés dépassent ceux calculés pour les cibles H4 enfants et P5 enfants, pour cette même voie d'exposition. L'ERI par inhalation des cibles E1 reste toutefois en-deçà de l'ERI obtenu pour la cible H4 adulte, pour cette voie d'exposition ;
- L'éthylbenzène contribue de manière prépondérante aux ERI par ingestion ;
- Le chrome hexavalent contribue majoritairement aux ERI par inhalation, et la contribution de l'éthylbenzène n'est pas négligeable.

De la même manière que pour les quotients de danger, les résultats observés pour l'éthylbenzène sont principalement dus à la quantité élevée consommée de cette substance sur le site, via l'application de peinture.

La part importante qu'occupe le chrome hexavalent dans les calculs d'ERI par inhalation est principalement due à la valeur élevée de l'excès de risque unitaire par inhalation de cette substance, par rapport aux autres substances considérées. Ainsi, pour des émissions totales de chrome hexavalent du même ordre de grandeur que celles du plomb ou du nickel, l'ERI par inhalation associé est bien plus élevé.

Cette contribution du chrome hexavalent au calcul de risque était attendue, et les émissions de cette substance ont volontairement été majorées dans le cadre de cette étude, afin de majorer également les ERI associés.

## 7.2.9 ANALYSE DES INCERTITUDES

L'explication et la discussion des incertitudes qui concernent les paramètres et les hypothèses de calcul sont destinées à faciliter l'interprétation des résultats et permettre une gestion optimale des risques.

Les choix qui ont été faits sur les valeurs à attribuer à certains paramètres ou sur le comportement des individus sont entachés d'une incertitude. L'ensemble des paramètres déterminants est discuté dans ce chapitre, et notamment les concentrations de référence et les paramètres descriptifs de l'exposition.

L'approche générale se veut sécuritaire et conduit à des valeurs du risque majorantes (quotients de danger et excès de risque individuels). Ce chapitre permettra d'apprécier la sensibilité des paramètres et de vérifier l'influence sur le résultat du calcul.

Une vue d'ensemble des données majorées est présentée dans le tableau ci-dessous, et le détail de ces incertitudes est donné dans les paragraphes suivants.

Tableau 63 : Synthèse des données majorées

Description de la donnée majorée	Origine de la majoration	Substances concernées	Estimation de la majoration minimale
Consommation totale de COV retenue	Prise en compte de la capacité maximale absorbable du site : 600t/an	COV	10%
Quantités retenues de xylènes et d'éthylbenzène lors du bilan des flux	Répercussion de la quantité consommée du CE n° 905-588-0	Xylènes et Ethylbenzène	5%
Emissions d'acétaldéhyde et de formaldéhyde (oxydeurs)	Estimation des flux à l'émission réalisée sur la base des VLE de ces deux substances	Acétaldéhyde, Formaldéhyde	> 100%
Nature des COV retenus	Choix et majoration de certains polluants traceurs de risque, pour obtenir une situation enveloppe	COV	10%
Emissions de xylènes et d'éthylbenzène au niveau d'Anemos et des Alvéoles Navales	Estimation des flux à l'émission réalisée sur la base de la VLE des COVT	Xylènes et Ethylbenzène	> 100%
Flux de métaux en sortie des grenailleuses	Flux d'émission de métaux retenus sur l'ensemble de la période d'émission des activités concernées	Métaux	20%
Emissions de chrome hexavalent en sortie de grenailleuse	La moitié du chrome émis a été considéré comme du chrome hexavalent	Chrome hexavalent	10%
	Les valeurs maximales mesurées en sortie de grenailleuse ont été retenues	Chrome hexavalent	10%
Emissions dues au grenaillage à Bord	Parallèle effectué avec la grenailleuse PRS	Métaux	10%
Emissions de chrome hexavalent en sortie des oxydeurs	La totalité du chrome émis a été considéré comme du chrome hexavalent	Chrome hexavalent	10%
Teneur en plomb dans les fumées de soudage	Concentration en plomb retenue, par matériau d'apport	Plomb	5%
Part de chrome hexavalent dans les fumées de soudage	Part de chrome hexavalent retenue : 50% du chrome total	Chrome hexavalent	5%
Consommation des matériaux d'apport "Inox"	La quantité annuelle nécessaire pour quatre écubiers a été considérée	Nickel et Chrome	20%
Consommation totale des matériaux d'apport	Donnée majorée de 10% par rapport à 2022, pour prendre en compte la variabilité sur une année	Métaux	5%
Taux d'abattement des centrales d'aspiration	Efficacité retenue : 90%	Métaux	2%

#### 7.2.9.1 Variabilité des flux et des concentrations à l'émission

##### - Estimation des flux de COV émis par le site

Les données relatives à la définition des flux de COV émis ont été choisies sur la base de la capacité maximale de la consommation de COV pouvant être absorbée par les Chantiers de l'Atlantique.

Ainsi, une consommation totale de COV de 600t sur l'ensemble du site a été retenue et considérée pour les calculs.

Ce choix s'avère majorant, dans la mesure où une telle consommation de COV ne pourra en pratique pas être dépassée par le site. En comparaison, la quantité de COV consommée par le site en 2022 représente 80% de la capacité pouvant être absorbée par les Chantiers de l'Atlantique.

Par ailleurs, une démarche d'identification et de substitution de substances et de produits dangereux étant en cours au sein des Chantiers de l'Atlantique, la prise en compte des FDS des produits utilisés en 2022 est majorante pour la caractérisation du risque, dans la mesure où certains produits dangereux devraient être substitués à moyen terme.

Les quantités de Xylènes et d'Ethylbenzène consommées par le site ont été majorées, car les teneurs du mélange *masse réactionnelle d'éthylbenzène et de xylènes* (CE n° 905-588-0) ont été répercutées, pour chaque point d'émission concerné, sur les quantités de xylène et d'éthylbenzène associées. Cette hypothèse est plus réaliste que le fait de ne pas prendre en compte le CAS n° 905-588-0 pour la modélisation de dispersion atmosphérique, mais reste majorante, le xylène et l'éthylbenzène n'étant très probablement pas les seuls constituants de cette matière première.

Les flux à l'émission de COV ont par ailleurs été majorés sur l'ensemble des installations du site :

- Les flux d'acétaldéhyde et de formaldéhyde retenus sont basés sur les VLE de ces deux substances, et se traduisent par une augmentation respective d'un facteur 11 et d'un facteur 34, par rapport aux valeurs maximales mesurées sur le site en 2022 et 2024 ;
- Les flux de COV possédant des VTR ont été englobés dans les émissions considérées pour les principaux traceurs de risques identifiés (six substances distinctes) ;
- Les flux retenus de xylène et d'éthylbenzène en sortie des oxydeurs d'Anemos et des Alvéoles Navales sont basés sur les VLE des COV totaux : en complément des émissions d'acétaldéhyde et de formaldéhyde, le flux de xylène et d'éthylbenzène a été choisi de sorte à ce que le flux de COV soit basé sur la VLE de 20mg/m<sup>3</sup>.

##### - Estimation des émissions dues aux activités de grenaillage

Les flux de métaux émis en sortie des grenailleuses ont été calculés par extrapolation des résultats de mesures obtenus en 2024. Les flux mesurés et les périodes d'émission des activités concernées ont ainsi été considérées, pour cette extrapolation.

Cette hypothèse est majorante, dans la mesure où les grenailleuses du site ne fonctionnent pas en continu sur les périodes d'émission des activités considérées. Cela est particulièrement le cas pour les alvéoles de peinture, au sein desquelles les grenailleuses ne peuvent être continuellement en fonctionnement, les opérations de grenaillage et de peinture étant réalisées en alternance.

Les hypothèses choisies au sujet des émissions de chrome hexavalent sont également majorantes, dans la mesure où il a été considéré que la moitié du chrome émis était sous sa forme hexavalente, et que les valeurs maximales de chrome total mesurées parmi les différents essais réalisés (et non les moyennes des différents essais) ont été retenues.

Du fait de l'absence de mesure, les émissions de métaux au niveau des activités de grenaillage à Bord, en Forme B, ont été considérées comme étant identiques aux émissions de la grenailleuse PRS. Cette comparaison possède un fort degré d'incertitude, mais reste majorante, dans la mesure où la quantité de grenaille utilisée au sein de l'atelier PRS est deux fois plus importante que celle utilisée au niveau de la Forme B, et qu'un système d'aspiration existe sur les grenailleuses mobiles.

Des métaux ont également été mesurés en sortie des différents oxydeurs, du fait d'opérations de grenaillage préalables. Il a été considéré, pour ces émissions, que la totalité du chrome mesuré en sortie d'oxydeurs était sous sa forme hexavalente, ce qui est une hypothèse majorante pour le calcul de risque.

- Estimation des émissions dues aux activités de soudage.

La teneur en plomb retenue par matériau d'apport (0,1%) est majorante, dans la mesure où la présence intentionnelle de cette substance n'est pas attendue dans les matériaux d'apport utilisés sur le site. Les émissions de plomb associées sont ainsi également majorées.

La part de chrome hexavalent retenue pour les calculs (50% du chrome total) a également été majorée, la moyenne des ratios CrVI/Cr(T) obtenue après analyse des résultats de la campagne de mesure étant de 0,46.

Par ailleurs, ce ratio CrVI/Cr(T) est également majoré, la part de chrome VI (présent dans la fraction gazeuse) étant plus faible dans les rejets diffus, en amont des centrales d'aspiration.

La consommation en matériaux d'apport pour le soudage « inox » a été majorée, en ce qui concerne les opérations effectuées dans l'atelier 180T : la quantité de matériaux d'apport nécessaire pour effectuer des opérations sur quatre écubiers a été prise en compte (capacité maximale absorbable par le site, correspondant à deux navires dans une année), bien que ces opérations ne soient pas nécessaires sur tous les navires. Les émissions associées, notamment en Chrome et en Nickel, constituants majoritaires des matériaux d'apport utilisés pour le soudage « inox », s'en retrouvent également majorées.

La consommation totale en matériaux d'apport a par ailleurs également été majorée de 10%, par rapport aux quantités consommées en 2022. Cette majoration a pour but de prendre en compte la variabilité de la consommation sur une année, et se veut sécuritaire.

Le taux d'abattement moyen des systèmes de filtration des centrales d'aspiration a été estimé à 90%. Cette valeur est majorante, au vu des caractéristiques techniques fournies (donnant une efficacité de 99%) et des résultats de mesures obtenus suite à la campagne de février 2024.

Une comparaison du modèle retenu pour le calcul des émissions dues aux activités de soudage avec les résultats de mesures obtenus suite à la campagne de février 2024 a montré que les flux de nickel, chrome et plomb (traceurs de risque principaux) sont majorés dans le modèle retenu.

#### 7.2.9.2 *Localisation des points d'émission*

Lorsqu'un bâtiment possède plusieurs centrales d'aspiration, il a été choisi de localiser la source d'émission du bâtiment considéré en un point virtuel représentant le barycentre estimé des émissions, sur la base de la localisation des centrales identifiées.

Cette hypothèse est majorante, dans la mesure où les rejets considérés ont été assimilés à des rejets verticaux en toiture, et que l'influence des parois accolées aux centrales d'aspiration n'a pas été prise en compte pour la modélisation.

Deux points de rejet distincts ont été considérés pour les émissions des fumées de soudage en sortie de l'atelier PPR et du bâtiment PSI, bien que les activités de soudage de l'atelier PPR seront inexistantes dans la configuration future du site des Chantiers de l'Atlantique, et seront déplacées vers le bâtiment PSI. Ce choix, basé sur les données de consommations des matériaux d'apport de l'année 2022, n'aura pas d'impact, dans la mesure où la quantité de matériaux d'apports totale considérée est identique, et du fait de la proximité des deux bâtiments.

### 7.2.9.3 Toxicité des composés

#### 7.2.9.3.1 Valeurs Toxicologiques de Référence

L'extrapolation des VTR à partir d'études sur l'homme ou les animaux induit de nombreuses incertitudes. Pour les effets à seuil, le principe même de la dérivation des VTR induit l'utilisation de facteurs d'incertitudes qui atteignent jusqu'à 100 dans le cas des substances retenues.

Dans l'état actuel des connaissances, l'application de ces VTR implique des estimations majorantes du risque.

Il est à noter que ces VTR sont proposées par des organismes reconnus pour leur compétence dans ce domaine. Il s'agit notamment de l'ANSES, de l'US EPA, de l'ATSDR, et de l'OMS.

Le choix des VTR s'est basé sur la « *note d'information n°DGS/EA1/DGPR/2014/307 du 31 octobre 2014 relative aux modalités de sélection des substances chimiques et de choix des valeurs toxicologiques de référence pour mener les évaluations des risques sanitaires dans le cadre des études d'impact et de la gestion des sites et sols pollués* ». Ainsi le choix n'est pas réalisé par rapport à la pertinence de la construction de la VTR mais basé sur la confiance qu'accorde le législateur aux différents organismes établissant les VTR et leur date d'actualisation.

#### 7.2.9.3.2 Cumul des quotients de danger des différentes voies d'exposition et des différents composés

L'ensemble des QD a été sommé. La sommation est justifiée pour les composés cancérogènes car il est question de cancer (en général), quelle que soit la cause ou le mécanisme.

Pour les composés non cancérogènes, cette hypothèse n'est justifiée qu'en première approche.

Toutefois, les risques toxiques étant acceptables en cumulant l'ensemble des quotients de danger, une approche par substance ne modifierait pas les résultats de l'étude.

#### 7.2.9.4 Paramètres d'exposition

Les valeurs prises en compte sont issues de bases de données représentatives du comportement de la population Française. Elles sont probablement surestimées, notamment pour les enfants et les adultes actifs résidant dans les plus proches habitations (H4), qui devraient être absents de leur maison une partie du temps. Les valeurs prises en compte se veulent alors sécuritaires.

Concernant les voies d'exposition liées à l'ingestion de denrées alimentaires autoproduites, le taux de végétaux consommés reste également issu de données relatives à la population générale. Il ne peut être exclu que des taux d'autoconsommation soient localement plus élevés.

L'environnement proche du site des Chantiers de l'Atlantique étant principalement urbain, la présence de jardins privatifs est limitée. Il n'est donc pas attendu que les taux d'autoconsommation soient plus élevés que ceux de la population générale.

#### 7.2.9.5 Paramètres relatifs à la modélisation

##### 7.2.9.5.1 Choix du modèle de dispersion atmosphérique

Le choix s'est porté sur un modèle utilisant une résolution de type gaussienne pour la dispersion des polluants dans l'atmosphère simulant la dispersion des composés retenus selon une rose des vents complète.

Il prend notamment en compte :

- Le relief ;
- La rugosité ;
- La hauteur des bâtiments environnants.

Le modèle choisi apparaît approprié au vu de l'environnement du site.

#### 7.2.9.5.2 Incertitudes liées au calcul des concentrations dans les milieux d'exposition

La concentration dans les sols a été déterminée à partir d'une formule générique. De ce fait, les expositions liées au milieu sol sont largement surestimées.

Les concentrations dans les végétaux ont été déterminées à partir de BCF issus de la littérature.

Il reste toutefois relativement difficile de quantifier l'incertitude entourant la définition des concentrations dans les milieux d'exposition.

#### 7.2.9.6 *Conclusions sur les incertitudes*

Les paramètres utilisés pour la modélisation et pour l'exposition de la population semblent adaptés aux conditions de l'étude.

Par ailleurs, la revue des paramètres utilisés pour les calculs d'évaluation des risques a montré que les données retenues pour la quantification des flux à l'émission et pour la toxicité des composés sont systématiquement majorantes.

Les résultats de la présente ERS se veulent donc sécuritaires.

## 8 CONCLUSION DE L'EVALUATION DES RISQUES SANITAIRES

Ce rapport présente les résultats de l'Evaluation des Risques Sanitaires liée aux émissions projetées du site des Chantiers de l'Atlantique dans sa configuration future.

L'étude a été menée conformément à la démarche nationale suivant les guides et outils actuellement en vigueur.

La description des dangers potentiels présentés par les polluants émis par le site et l'identification des relations doses-réponses a conduit au choix de Valeurs Toxicologiques de Références (VTR).

La description des populations représentatives de l'environnement et les résultats de la modélisation de la dispersion atmosphérique des polluants ont permis de sélectionner **deux types principaux de cibles exposées : des proches riverains du site (adultes et enfants résidants dans les habitations individuelles situées à environ 100 m au Nord-Ouest du site) et des travailleurs de l'entreprise Blondel-BL2A, située au sud du site.**

**Les niveaux d'exposition ont été évalués à partir de la définition de flux à l'émission de COV et de métaux, et des données issues de la modélisation de la dispersion atmosphérique de ces polluants.** Leur comparaison aux VTR a permis de caractériser le risque.

Trois voies d'exposition ont été considérées pour ces polluants : l'inhalation, l'ingestion de sol et l'ingestion de végétaux autoproduits.

**Les calculs ainsi réalisés ont conclu que les risques toxiques et cancérogènes sont inférieurs aux limites acceptables quel que soit le scénario considéré.**

L'analyse des incertitudes a permis de montrer que la démarche utilisée va dans le sens d'une surestimation probable des risques notamment par la majoration des flux à l'émission.

**En l'état actuel des connaissances et sur la base des activités présentes et projetées des Chantiers de l'Atlantique, les risques sanitaires liés aux émissions atmosphériques de ce site sont considérés comme acceptables.**

# ANNEXES

## ANNEXE I – EMISSIONS DE COV EN 2022, PAR SUBSTANCE ET PAR ACTIVITE

	P1 - Tôles				P2 - Anemos				P3 - PRS				P4 - Alvéoles N				P5,6,7 - Bords					
	Qté totale (T)	Diffus	Sortie oxydeur	Emission totale (T)	Qté totale (T)	Diffus	Sortie oxydeur	Emission totale (T)	Qté totale (T)	Diffus	Sortie oxydeur	Emission totale (T)	Qté totale (T)	Diffus	Sortie oxydeur	Emission totale (T)	Qté totale (T)	Diffus	Emission totale (T)			
Styrene	100-42-5																3,58E+00	3,58E+00				
N,N-diéthylaniline	91-66-7																1,19E-02	1,19E-02	1,19E-02			
Acétate de 2-méthoxy-1-méthyléthyle	108-65-6	4,52E+00	2,22E-01	3,01E-02	2,52E-01				3,91E+00	5,55E-01	1,51E-01	7,06E-01	4,83E-02	0,00E+00	1,64E-03	1,64E-03	1,40E+00					
1,2,4-triméthylbenzène	95-63-6																5,36E-04	0,00E+00	1,82E-05	1,82E-05		
Hydroperoxyde de cumène	80-15-9																	3,20E-03	3,20E-03	3,20E-03		
2-phénylpropane-2-ol	617-94-7																	4,34E-02	4,34E-02	4,34E-02		
Cumène	98-82-8																					
Acétophénone	98-86-2																					
Hydrocarbures en C9-C11	919-857-5																					
Masse réactionnelle d'éthylbenzène	905-589-0	5,68E+00	2,78E-01	3,78E-02	3,16E-01				3,02E+00	4,29E-01	1,17E-01	5,46E-01	6,95E+00	0,00E+00	2,36E-01	9,59E-01	9,59E-01	9,59E-01				
Solvant naphtha	64742-95-6																6,47E-01	0,00E+00	2,20E-02	1,80E-01	1,80E-01	
Butanol	71-36-3	3,52E-01	1,72E-02	2,34E-03	1,96E-02	7,42E-01	0,00E+00	5,56E-02	3,04E-01	4,32E-02	1,17E-02	5,49E-02	1,50E+00	0,00E+00	5,11E-02	3,05E-01	3,05E-01	5,80E-01				
Ethylénediamine	107-15-3																4,86E-02	0,00E+00	1,65E-03	1,65E-03	1,01E-00	
Formaldéhyde	50-00-0																6,16E-04	0,00E+00	2,10E-05	2,10E-05	1,69E-02	
Alcool benzylique	100-51-6								2,07E-01	0,00E+00	1,55E-02	1,55E-02					7,33E-01	0,00E+00	2,49E-02	2,49E-02	2,13E-00	
2,4,6-tris(diméthylaminométhyl)phé	90-72-2								2,68E-01	0,00E+00	2,01E-02	2,01E-02					2,25E-01	0,00E+00	7,66E-03	7,66E-03	5,80E-01	
3-cyclohexylaminopropylamine	3312-60-5																6,19E-05	0,00E+00	2,10E-06	2,10E-06	1,63E-03	
Isopropanol	67-63-0	1,06E+02	5,18E+00	7,04E-01	5,88E+00												1,75E+01	2,48E+00	6,74E-01	3,15E+00	5,67E-03	
Acrylate de 2-hydroxyéthyle	818-61-1																3,40E-03	0,00E+00	1,16E-04	1,16E-04	8,78E-03	
Chlorure de vinyle	75-05-1																6,43E-04	0,00E+00	2,19E-05	2,19E-05	7,95E-03	
4-méthylpentan-2-one	108-10-1	1,00E-01	4,92E-03	6,69E-04	5,59E-03												8,26E-04	0,00E+00	1,70E-02	1,70E-02	2,31E+00	
Hydrocarbures aromatiques en C9	128601-23-0								1,27E+00	0,00E+00	9,52E-02	9,52E-02					7,27E-01	0,00E+00	2,47E-02	2,47E-02	2,76E+00	
Tréthylamine	121-44-8																1,71E-04	0,00E+00	5,83E-06	5,83E-06	9,24E-03	
1-méthoxy-2-propanol	107-98-2	2,44E+01	1,20E+00	1,63E-01	1,36E+00	7,71E-02	0,00E+00	5,79E-03	3,83E+00	5,44E-01	1,48E-01	6,92E-01	3,78E-03	0,00E+00	1,29E-04	1,38E-02	1,38E-02	1,38E-02				
2-butoxyéthanol	111-76-2																1,54E-03	0,00E+00	5,23E-05	5,23E-05	3,93E-02	
Hydrocarbures en C9-C11, n-alcanes	64742-48-9																8,26E-04	0,00E+00	2,81E-05	2,81E-05	3,56E+01	
Naphtou (ou pétrole), hydrodesulfu	64742-82-1																2,20E-02	0,00E+00	7,69E-04	7,69E-04	2,05E+00	
(2-methoxyméthylethoxy)propanol	34590-94-8																7,25E-04	0,00E+00	9,36E-06	9,36E-06	7,01E-02	
Cyclohexanone	108-94-1								8,53E-02	0,00E+00	6,40E-03	6,40E-03					8,26E-04	0,00E+00	2,81E-05	2,81E-05	4,84E-01	
Masse réactionnelle de Bis(1,2,2,6,6,7-	1065336-91-5								3,45E-02	0,00E+00	2,59E-03	2,59E-03					1,55E-03	0,00E+00	5,26E-05	5,26E-05	6,52E-02	
Butanone	78-93-3	4,52E+00	2,22E-01	3,01E-02	2,52E-01												3,91E+00	5,55E-01	1,51E-01	7,06E-01	3,03E-03	
Diéthylénetriamine	111-40-0																1,86E-02	1,86E-02	1,86E-02	1,86E-02		
5-méthylhexane-2-one	110-12-3																	8,00E-02	8,00E-02	8,00E-02		
Méthacrylate de méthyle	80-62-6																	1,34E-01	1,34E-01	1,34E-01		
Anhydride maléique	108-31-6																	2,43E-01	2,43E-01	2,43E-01		
Hydrocarbures en C9-C12, n-alcanes	919-446-0																8,70E-02	0,00E+00	2,96E-03	2,96E-03	9,60E-01	
Kylène	1330-20-7								4,32E+00	0,00E+00	3,24E-01	3,24E-01						8,94E+00	8,94E+00	8,94E+00		
Ethylbenzène	100-41-4								1,02E+00	0,00E+00	7,62E-02	7,62E-02					1,27E-03	0,00E+00	4,33E-05	4,33E-05	1,83E+00	
Méthanol	67-56-1																	4,33E-03	4,33E-03	4,33E-03		
Acrylate de n-butyle	141-32-2																1,47E-03	0,00E+00	4,99E-05	4,99E-05	4,53E-02	
p,p'-isopropylidenediphénol polymé	25036-25-3																	1,36E-01	1,36E-01	1,36E-01		
1,3-cyclohexylénénobis(méthylamine)	2579-20-6																	2,54E-01	2,54E-01	2,54E-01		
Acide salicylique	69-72-7								1,28E-03	0,00E+00	9,57E-05	9,57E-05						1,22E-02	0,00E+00	4,14E-04	4,14E-04	1,11E-02
2-méthylpropan-1-ol	78-83-1								9,20E-02	0,00E+00	6,90E-03	6,90E-03							2,51E-01	2,51E-01	2,51E-01	
Toluène	108-88-3								2,39E-02	0,00E+00	1,79E-03	1,79E-03							5,94E-02	5,94E-02	5,94E-02	
3-aminopropyldiéthylamine	104-78-9								1,95E-02	0,00E+00	1,46E-03	1,46E-03							4,82E-02	4,82E-02	4,82E-02	



Opération : Evaluation des Risques Sanitaires  
 Avenue Antoine Bourdelle – SAINT NAZaire (44)  
 Client donneur d'ordre : CHANTIERS DE L'ATLANTIQUE

	P1 - Tôles				P2 - Anemos				P3 - PRS				P4 - Alvéoles N				P5, 6, 7 - Bords			
	Qté totale (T)	Diffus	Sortie oxydeur	Emission totale (T)	Qté totale (T)	Diffus	Sortie oxydeur	Emission totale (T)	Qté totale (T)	Diffus	Sortie oxydeur	Emission totale (T)	Qté totale (T)	Diffus	Sortie oxydeur	Emission totale (T)	Qté totale (T)	Diffus	Sortie oxydeur	Emission totale (T)
Acéate de n-butyle	123-86-4	4,52E+00	2,22E-01	3,01E-02	2,52E-01	1,97E-01	0,00E+00	1,48E-02	1,48E-02	3,91E+00	5,55E-01	1,51E-01	7,06E-01					1,20E-01	1,20E-01	1,20E-01
Phénol	108-95-2																	1,60E-04	1,60E-04	1,60E-04
Bis[(diméthylamino)méthyl]phénol	71074-89-0					4,00E-02	0,00E+00	3,00E-03	3,00E-03									2,32E-02	2,32E-02	2,32E-02
Octaméthylcyclotérasiloxane	556-67-2																	3,58E-03	3,58E-03	3,58E-03
Pentane-2,4-dione	123-54-6																	4,93E-02	4,93E-02	4,93E-02
Silicate de tétraéthyle	79-10-4	2,18E+00	1,07E-01	1,45E-02	1,21E-01					3,41E-01	4,85E-02	1,32E-02	6,17E-02					2,31E-02	2,31E-02	2,31E-02
White spirit	64742-88-7																	2,03E-01	2,03E-01	2,03E-01
o-xylène	95-47-6																	3,04E-02	3,04E-02	3,04E-02
Méthacrylate de butyle	97-88-1																	6,83E-03	6,83E-03	6,83E-03
2,2,4(ou 2,4,4)-triméthylhexane-1,6-d	25513-64-8																	3,03E-02	3,03E-02	3,03E-02
2-méthylpentane-1,5-diamine	15520-10-2																	4,67E-04	4,67E-04	4,67E-04
éthanediamine-1,2, N-(amino-2 éthy	84144-79-6																	1,91E-02	1,91E-02	1,91E-02
Ethanol	64-17-5	2,30E+01	1,13E+00	1,53E-01	1,28E+00					4,50E+00	6,39E-01	1,74E-01	8,13E-01					1,49E-02	1,49E-02	1,49E-02
Diméthylcétone	67-64-1	7,54E+00	3,69E-01	5,02E-02	4,19E-01					6,51E+00	9,25E-01	2,52E-01	1,18E+00							
Acéate d'isopropyle	108-21-4	4,52E+00	2,22E-01	3,01E-02	2,52E-01					3,91E+00	5,55E-01	1,51E-01	7,06E-01							
Acéate d'éthyl	141-78-6	4,52E+00	2,22E-01	3,01E-02	2,52E-01					3,91E+00	5,55E-01	1,51E-01	7,06E-01							
Hydrocarbures C7, n-alcanes, isocalcar	927-510-4	1,26E+00	6,16E-02	8,36E-03	6,99E-02					1,09E+00	1,54E-01	4,19E-02	1,96E-01							
1,4-bis(2,3 époxypropoxy)butane	2425-79-8					1,09E-02	0,00E+00	8,17E-04	8,17E-04											
Terpinolé	8000-41-7																	6,37E-03	6,37E-03	6,37E-03
N-éthyl-2-pyrrolidone	2687-91-4																	8,64E-06	8,64E-06	8,64E-06
Ethylhexyl glycidyl éther	2461-15-6																	2,22E-02	2,22E-02	2,22E-02
2-butanone oxime	96-29-7																	5,42E-05	5,42E-05	5,42E-05
Anhydride phthalique	85-44-9																	1,63E-05	1,63E-05	1,63E-05
3-aminopropyltriéthoxysilane	919-30-2																	2,83E-02	0,00E+00	9,63E-04
3-(triméthoxysilyl)propylamine	13822-56-5																	1,02E-02	0,00E+00	3,47E-04
<b>TOTAL COV :</b>		192,889	9,452	1,284	10,736	8,406	0,000	0,630	0,630	56,688	8,050	2,189	10,238	11,599	0,000	0,394	0,394	211,592	211,592	211,592



## ANNEXE II – FLUX DE POLLUANTS RETENUS POUR LA MODELISATION

Code rejet	Désignation du rejet	Période d'émission (h/an)	COMPOSÉS ORGANIQUES VOLATILS												Métaux					
			Acétoxymercure	Bis(2-éthoxyethyl)formaldehyde	4-méthylbenzene-2-one	Xyloïne	Ethylbenzène	Antioxydant	Aromatic	Cymene (III mésol)	Chloro (VI mésol)	Cobalt	Cuivre	Manganèse	Molybdène	Nickel	Plomb	Vanadium	Zinc	
P1	Peinture des Tôles	5520	1,41E+02	1,41E+02	5,77E+02	5,77E+02				9,90E-02	6,60E-02	3,97E-01	3,20E-01	2,00E-02		4,14E+00				
G1	Grenailage des Tôles (grenailleuse Tôle 1)	5520					1,17E-02	2,90E-01	2,90E-01	1,19E-02	1,16E+00	9,00E+00	4,86E-01	1,86E-01	1,44E-03	6,35E+01				
S1	Soudage et usinage des Tôles	6532					6,63E-03	6,63E-03			1,83E-02	6,98E-01	1,04E-02	8,11E-02	3,54E-02	4,29E-03	1,40E+00			
P2	Peinture dans l'alvéole Anémox	3760	1,27E+03	1,27E+03	5,06E+03	5,06E+03	6,00E-02		1,20E-01		9,40E-02	1,62E+00	4,14E-01	5,64E-01		1,13E+01				
G2	Grenailage dans l'alvéole Anémox	3760					7,52E+00	4,70E-01	4,70E-01		1,05E+01	2,18E+01	3,99E+00	2,03E+00	7,52E-03	3,29E+02				
S2	Soudage et usinage pour Anemos	3680								4,80E-02		3,10E-02	1,05E-01	1,50E-01	3,00E-02	4,38E+00				
P3	Peinture des PRS	6532	9,30E+01	9,30E+01	9,12E+02	9,12E+02				3,92E-02	3,92E-02	1,44E-03	2,55E-01	5,81E-01	1,31E-01	5,29E-02	8,49E+00			
G3	Grenailage des PRS	6532								8,38E-04	8,38E-04		4,76E-03	6,34E-02	9,37E-04	2,19E-03	3,81E-03	5,91E-04	1,27E-01	
S3	Soudage et usinage PRS	6532									4,89E-01		1,50E+00	4,51E+00	1,69E+00	4,51E-01	4,59E+01			
P4	Peinture dans les alvéoles navales	3760	6,78E+02	6,78E+02	2,71E+03	2,71E+03				1,15E-01	1,15E-01	8,27E-02	1,54E+00	2,03E-01	1,09E+00	2,90E-01	2,18E+01			
G4	Grenailage dans les alvéoles navales	3760						2,90E-01												
S4	Soudage et usinage pour la préfabrication - 180T	4048								2,80E-01	2,80E-01		1,84E-01	4,20E+00	1,85E-01	5,06E-01	1,22E-01	4,80E-02	8,40E+00	
G6	Grenailage aux Panneaux Plans	5520								2,78E-02		3,60E-02		9,94E-02	2,59E-01	5,13E-02	2,28E-02		3,09E+00	
P8	Peinture dans l'alvéole Anémox 2	3760	1,27E+03	1,27E+03	5,06E+03	5,06E+03				7,52E+00	4,70E-01	4,70E-01	1,05E+01	2,18E+01	3,99E+00	2,03E+00	7,52E-03	3,29E+02		
G7	Grenailage dans l'alvéole Anémox 2	3760										2,01E-02	2,01E-02	1,45E-01	1,66E+00	1,12E-02	2,65E-02	1,28E-01	1,36E-02	3,33E+00
S8	Soudage et usinage pour la préfabrication - 120T	4048										2,86E-02	2,86E-02	1,46E-01	1,69E+00	1,40E-02	6,22E-02	1,40E-01	1,26E-02	3,38E+00
S9	Soudage et usinage pour la préfabrication - PPx	5520										3,71E-04	3,71E-04	1,11E-03	2,60E-02	7,62E-04	1,87E-03	7,54E-04	3,02E-04	5,10E-02
S10	Soudage et usinage du bâtiment PSI	6072												1,46E-02	1,46E-02	4,29E-04	3,98E-03	5,33E-02	2,89E-03	
S11	Ecole de soudure	1840														1,83E-02	4,75E-03	7,16E-04	1,07E-01	

Figure 30 : Flux retenus (kg/an) - émissions canalisées



Opération : Evaluation des Risques Sanitaires  
 Avenue Antoine Bourdelle – SAINT NAZARE (44)  
 Client donneur d'ordre : CHANTIERS DE L'ATLANTIQUE

Code rejet	Designation du rejet	Période d'émission (h/an)	COMPOSÉS ORGANIQUES VOLATILS												Métaux						
			Acétoxyde	Butanol	Comtéoxyde	Formaldehyde	Formaldehyde-2-one	Xyloles	Ethylbenzene	Acrylate	Acrylic	Chloro (V, métal)	Chromate (VI, métal)	Cobalt	Cu/Vg	Manganate	Molybdate	Nickel	Plumb	Veratrum	Zinc
P1	Peinture des Tôles	5520	2,56E+01	2,56E+01		1,04E+02	1,04E+02					1,79E-02	1,20E-02	7,19E-02	5,80E-02	3,62E-03		7,50E-01			
G1	Grenailage des Tôles (grenailleuse Tôle 1)	5520										2,13E-03	5,25E-02	5,25E-02	2,16E-03	2,11E-01	1,63E+00	8,80E-02	3,00E-04	2,60E-04	1,15E+01
S1	Soudage et usinage des Tôles	6532										1,02E-03	1,02E-03		2,80E-03	1,07E-01	1,60E-03	1,24E-02	5,41E-03	6,57E-04	2,14E-01
P2	Peinture dans l'alvéole Anemos	3760	3,37E+02	3,37E+02		1,35E+03	1,35E+03					1,60E-02		3,19E-02	2,50E-02	4,30E-01	1,10E-01	1,50E-01		3,00E+00	
G2	Grenailage dans l'alvéole Anemos	3760										2,00E+00		1,25E-01	1,25E-01	2,80E+00	5,80E+00	1,05E+00	5,40E-01	2,00E-03	8,75E-01
S2	Soudage et usinage pour Anemos	3680										4,23E-03	4,23E-03	7,77E-05	2,24E-03	9,26E-02	1,53E-02	8,74E-02	1,06E-02	2,17E-03	1,85E-01
P3	Peinture des PRS	6532	1,42E+01	1,42E+01		1,40E+02	1,40E+02						7,35E-03		4,75E-03	1,61E-02	2,30E-02	4,59E-01			6,70E-01
G3	Grenailage des PRS	6532										6,00E-03	6,00E-03	2,20E-04	3,90E-02	8,90E-02		2,00E-02	8,10E-03		1,30E+00
S3	Soudage et usinage PRS	6532										1,28E-04	1,28E-04		7,28E-04	9,70E-03	1,43E-04	3,39E-04	5,83E-04	9,05E-05	1,94E-02
P4	Peinture dans les alvéoles navales	3760	1,80E+02	1,80E+02		7,22E+02	7,22E+02						1,30E-01		4,00E-01	1,20E+00	4,50E-01	1,20E-01		1,22E+01	
G4	Grenailage dans les alvéoles navales	3760										7,70E-02		3,06E-02	3,06E-02	2,20E-02	4,10E-01	5,40E-02	2,90E-01	7,70E-02	5,80E+00
S4	Soudage et usinage pour la préfabrication - 180T	4048										6,93E-02	6,93E-02		4,55E-02	1,04E+00	4,08E-02	1,25E-01	3,02E-02	1,19E-02	2,08E+00
G6	Grenailage aux Panneaux Plans	5520										5,00E-03		6,52E-03	6,52E-03	1,80E-02	4,70E-02	9,30E-03	4,10E-03		5,60E-01
P8	Peinture dans l'alvéole Anemos 2	3760	3,37E+02	3,37E+02		1,35E+03	1,35E+03					2,00E+00		1,25E-01	1,25E-01	2,80E+00	5,80E+00	1,05E+00	5,40E-01	2,00E-03	8,75E-01
G7	Grenailage dans l'alvéole Anemos 2	3760										1,25E-01	1,25E-01								
S8	Soudage et usinage pour la préfabrication - 120T	4048										4,98E-03	4,98E-03		3,59E-02	4,11E-01	2,76E-03	6,55E-03	3,16E-02	3,35E-03	8,22E-01
S9	Soudage et usinage pour la préfabrication - PPx	5520										5,19E-03	5,19E-03		2,65E-02	3,06E-01	2,53E-03	1,13E-02	2,54E-01	2,28E-03	6,13E-01
S10	Soudage et usinage du bâtiment PSI	6072										6,11E-05	6,11E-05		1,83E-04	4,28E-03	1,25E-04	3,08E-04	1,24E-03	4,97E-05	8,55E-03
S11	Ecole de soudure	1840										7,91E-03	7,91E-03	2,33E-04	2,16E-03	2,90E-02	1,57E-03	9,95E-03	2,58E-03	3,89E-04	5,80E-02

Figure 31 ; Flux retenus (g/h) - émissions canalisées



Code rejet	Désignation du rejet	Période d'émission (h/an)	Emissions diffuses (kg/an)																
			Acrylate	Butanol	Acrylonitrile	vinyle/propénate	éthanol	éthylbenzène	Ammoniac	Arsenic	Chrome (VI métal)	Chrome (II métal)	Cobalt	Cuivre	Manganèse	Nickel	Plomb	Vanadium	Zinc
COMPOSÉS ORGANIQUES VOLATILS																			
<b>P1</b>	Peinture des Tôles	5520				4,24E+03	4,24E+03			5,10E-03	4,83E-02	3,40E-03	2,05E-02	1,65E-02	1,03E-03				
<b>S1</b>	Soudage et usinage des Tôles	6532								6,63E-02	6,63E-02	1,83E-01	6,98E+00	1,04E-01	9,11E-01	3,54E-01	4,29E-02	1,40E+01	
<b>S2</b>	Soudage et usinage pour Anemos	3680								1,56E-01	1,56E-01	2,86E-03	8,24E-02	3,41E+00	5,64E-01	3,22E+00	3,88E-01	7,98E-02	6,82E+00
<b>P3</b>	Peinture des PRS	6532				3,35E+03	3,35E+03			7,94E-03	5,30E-02	5,13E-03	1,74E-02		2,48E-02	4,97E-03			
<b>S3</b>	Soudage et usinage PRS	6532								8,38E-03	8,38E-03	4,76E-02	6,34E-01	9,37E-03	2,19E-02	3,81E-02	5,91E-03	1,27E+00	
<b>S4</b>	Soudage et usinage pour la préfabrication - 180T	4048								2,80E+00	2,80E+00		1,84E+00	4,20E+01	1,65E+00	5,06E+00	1,22E+00	4,80E-01	8,40E-01
<b>P5</b>	Peinture à Bord - Forme B	4416	2,64E+04	2,40E+03	4,80E+04	4,32E+04													
<b>G5</b>	Grenailage à Bord - Forme B	4416								3,92E-02	3,92E-02	1,44E-03	2,55E-01	5,81E-01		1,31E-01	5,29E-02		8,49E+00
<b>S5</b>	Soudage à Bord - Forme B	4416								1,10E+01	1,10E+01	1,42E-04	6,53E+00	1,37E+02	4,39E+00	1,93E+01	5,78E+00	1,39E+00	2,74E+02
<b>P6</b>	Peinture à Bord - Forme C	4416	8,96E+03		8,14E+02	1,63E+04	1,47E+04												
<b>S6</b>	Soudage à Bord - Forme C	4416								6,09E-01	6,09E-01	7,87E-06	3,63E-01	7,62E+00	2,44E-01	1,07E+00	3,21E-01	7,71E-02	1,52E+01
<b>P7</b>	Peinture à Bord - Bassin de Penhoët	4416	8,96E+03		8,14E+02	1,63E+04	1,47E+04												
<b>S7</b>	Soudage à Bord - Bassin de Penhoët	4416								6,09E-01	6,09E-01	7,87E-06	3,63E-01	7,62E+00	2,44E-01	1,07E+00	3,21E-01	7,71E-02	1,52E+01
<b>S8</b>	Soudage et usinage pour la préfabrication - 120T	4048								2,01E-01	2,01E-01		1,45E+00	1,66E+01	1,12E-01	2,65E-01	1,28E+00	1,36E-01	9,33E+01
<b>P9</b>	Peinture à Bord - Forme Joubert	4416	4,48E+02		4,07E+01	8,14E+02	7,33E+02												
<b>S9</b>	Soudage et usinage pour la préfabrication - PPx	5520								2,86E-01	2,86E-01		1,46E+00	1,69E+01	1,40E-01	6,22E-01	1,40E+00	1,26E-01	3,38E+01
<b>S10</b>	Soudage et usinage du bâtiment PSI	6072								3,71E-03	3,71E-03		1,11E-02	2,60E-01	7,62E-03	1,87E-02	7,54E-03	3,02E-03	5,19E-01
<b>S11</b>	Ecole de soudure	1840								1,46E-01	1,46E-01	4,29E-03	3,98E-02	5,33E-01	2,69E-02	1,83E-01	4,75E-02	7,16E-03	1,07E+00

Figure 32 : Flux retenus (kg/an) - émissions diffuses



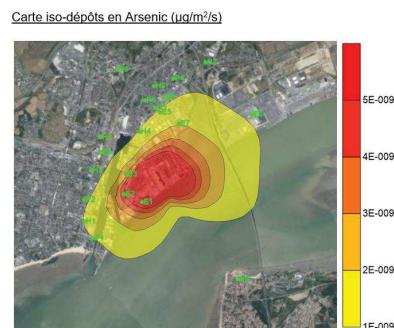
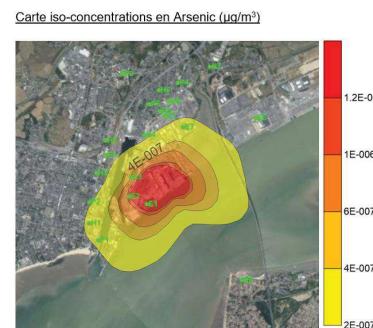
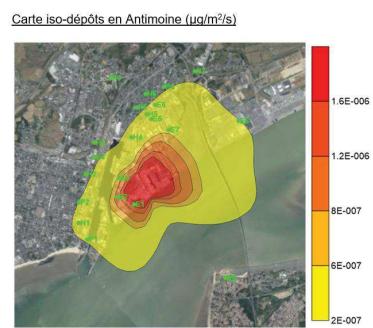
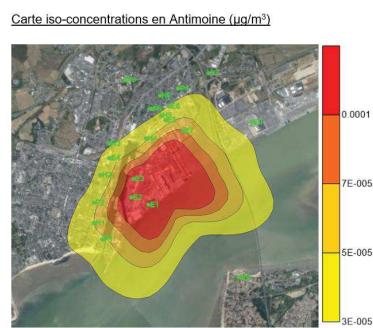
Opération : Evaluation des Risques Sanitaires  
 Avenue Antoine Bourdelle – SAINT NAZARE (44)  
 Client donneur d'ordre : CHANTIERS DE L'ATLANTIQUE

Code rejet	Désignation du rejet	Période d'émission (h/an)	COMPOSÉS ORGANIQUES VOLATILS												Métaux					
			Acrylate/Alkyde	Burolol	Formamide/Aldehyde	4-méthoxyphenol/4-zone	Xyloïne	Epoxyépoxy	Anisone	Anisonec	Chromé(lit. mél)	Chromé (V, mél)	Cobalt	Cuivre	Manganèse	Acrydine	Nickel	Plomb	Vanadium	Zinc
P1	Peinture des Tôles	5520				7,68E+02	7,68E+02			9,24E-04	8,76E-03	6,16E-04	3,71E-03		2,99E-03	1,87E-04				
S1	Soudage et usinage des Tôles	6532								1,02E-02	1,02E-02	2,80E-02	1,07E+00	1,60E-02	1,24E-01	5,41E-02	6,57E-03	2,14E+00		
S2	Soudage et usinage pour Anemos	3680								4,23E-02	4,23E-02	7,77E-04	2,24E-02	9,26E-01	1,53E-01	8,74E-01	1,06E-01	2,17E-02	1,85E+00	
P3	Peinture des PRS	6532				5,14E+02	5,14E+02			1,22E-03	8,11E-03	7,85E-04	2,66E-03		3,80E-03	7,60E-04				
S3	Soudage et usinage PRS	6532								1,28E-03	1,28E-03	7,28E-03	9,70E-02	1,43E-03	3,36E-03	5,83E-03	9,05E-04	1,94E-01		
S4	Soudage et usinage pour la préfabrication - 180T	4048								6,93E-01	6,93E-01	4,55E-01	1,04E+01	4,08E-01	1,25E+00	3,02E-01	1,19E-01	2,08E+01		
P5	Peinture à Bord - Forme B	4416	5,98E+03	5,44E+02	1,09E+04	9,79E+03				8,88E-03	8,88E-03	3,25E-04	5,77E-02	1,32E-01		2,96E-02	1,20E-02	1,92E+00		
G5	Grenaille à Bord - Forme B	4416								2,48E+00	2,48E+00	3,21E-05	1,48E+00	3,10E+01	9,93E-01	4,37E+00	1,31E+00	3,14E-01	6,21E+01	
S5	Soudage à Bord - Forme B	4416								1,38E-01	1,38E-01	1,78E-06	8,21E-02	1,72E+00	5,52E-02	2,43E-01	7,27E-02	1,75E-02	3,45E+00	
P6	Peinture à Bord - Forme C	4416	2,03E+03	1,84E+02	3,69E+03	3,32E+03														
S6	Soudage à Bord - Forme C	4416								4,98E-02	4,98E-02	3,59E-01	4,11E+00	2,76E-02	6,55E-02	3,16E-01	3,35E-02	8,22E+00		
P7	Peinture à Bord - Bassin de Penhoët	4416	2,03E+03	1,84E+02	3,69E+03	3,32E+03														
S7	Soudage à Bord - Bassin de Penhoët	4416								1,38E-01	1,38E-01	1,78E-06	8,21E-02	1,72E+00	5,52E-02	2,43E-01	7,27E-02	1,75E-02	3,45E+00	
S8	Soudage et usinage pour la préfabrication - 120T	4048																		
P9	Peinture à Bord - Forme Joubert	4416	1,01E+02		9,22E+00	1,84E+02	1,66E+02			5,19E-02	5,19E-02	2,65E-01	3,06E+00	2,53E-02	1,13E-01	2,54E-01	2,28E-02	6,13E+00		
S9	Soudage et usinage pour la préfabrication - PPx	5520								6,11E-04	6,11E-04	1,83E-03	4,28E-02	1,25E-03	3,08E-03	1,24E-03	4,97E-04	8,55E-02		
S10	Soudage et usinage du bâtiment PSI	6072																		
S11	Ecole de soudure	1840								7,91E-02	7,91E-02	2,33E-03	2,16E-02	2,90E-01	1,57E-02	9,95E-02	2,58E-02	3,89E-03	5,80E-01	

Figure 33 : Flux retenus (g/h) - émissions diffuses



## ANNEXE IV – CARTOGRAPHIES



Carte iso-concentrations en Chrome III ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )



Carte iso-dépôts en Chrome III ( $\mu\text{g}/\text{m}^2/\text{s}$ )



Carte iso-concentrations en Chrome VI ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )



Carte iso-dépôts en Chrome VI ( $\mu\text{g}/\text{m}^2/\text{s}$ )



Carte iso-concentrations en Cobalt ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )



Carte iso-dépôts en Cobalt ( $\mu\text{g}/\text{m}^2/\text{s}$ )



Carte iso-concentrations en Cuivre ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )



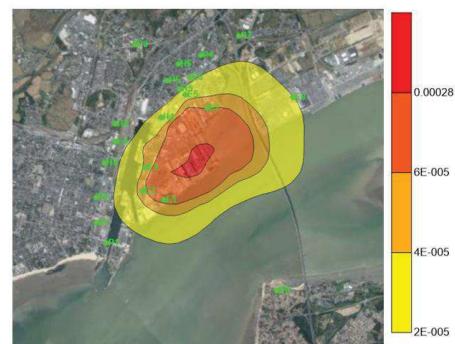
Carte iso-dépôts en Cuivre ( $\mu\text{g}/\text{m}^2/\text{s}$ )



Carte iso-concentrations en Manganèse ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )



Carte iso-dépôts en Manganèse ( $\mu\text{g}/\text{m}^2/\text{s}$ )



Carte iso-concentrations en Molybdène ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )



Carte iso-dépôts en Molybdène ( $\mu\text{g}/\text{m}^2/\text{s}$ )



Carte iso-concentrations en Nickel ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )



Carte iso-dépôts en Nickel ( $\mu\text{g}/\text{m}^2/\text{s}$ )



Carte iso-concentrations en Plomb ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )



Carte iso-dépôts en Plomb ( $\mu\text{g}/\text{m}^2/\text{s}$ )



Carte iso-concentrations en Vanadium ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )



Carte iso-dépôts en Vanadium ( $\mu\text{g}/\text{m}^2/\text{s}$ )



Carte iso-concentrations en Zinc ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )



Carte iso-dépôts en Zinc ( $\mu\text{g}/\text{m}^2/\text{s}$ )



Carte iso-concentrations en Ethylbenzène ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )



Carte iso-dépôts en Ethylbenzène ( $\mu\text{g}/\text{m}^2/\text{s}$ )



Carte iso-concentrations en Xylènes ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )



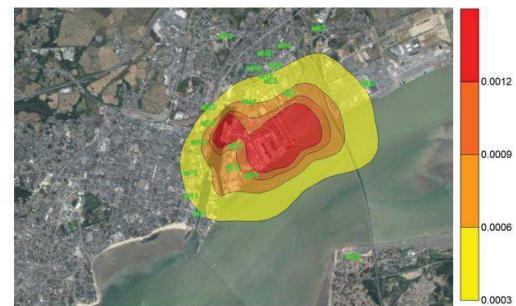
Carte iso-dépôts en Xylènes ( $\mu\text{g}/\text{m}^2/\text{s}$ )



Carte iso-concentrations en 4-méthylpentane-2-one ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )



Carte iso-dépôts en 4-méthylpentane-2-one ( $\mu\text{g}/\text{m}^2/\text{s}$ )



Carte iso-concentrations en Formaldéhyde ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )



Carte iso-dépôts en Formaldéhyde ( $\mu\text{g}/\text{m}^2/\text{s}$ )



Carte iso-concentrations en Butanol ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )



Carte iso-dépôts en Butanol ( $\mu\text{g}/\text{m}^2/\text{s}$ )



Carte iso-concentrations en Acétaldéhyde ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )



Carte iso-dépôts en Acétaldéhyde ( $\mu\text{g}/\text{m}^2/\text{s}$ )

