

USINE CRISTAL UNION SUR LA COMMUNE DE SILLERY

Évaluation des risques sanitaires liés aux émissions atmosphériques



Version 2 – 21/12/2018

IDENTIFICATION ET RÉVISION DU DOCUMENT

IDENTIFICATION DU DOCUMENT

Projet	Usine CRISTAL UNION sur la commune de Sillery		
Maître d'ouvrage	CRISTAL UNION		
Document	Évaluation des risques sanitaires liés aux émissions atmosphériques		
Version	Version 2	Date	21/12/2018

RÉVISION DU DOCUMENT

Version	Date	Rédacteur(s)	Qualité du rédacteur(s)	Contrôle	Modifications
0	04/12/2017	B. AUTHIE	Ingénieur d'études	G. DEIBER	
1	21/12/2017	B. AUTHIE	Ingénieur d'études	G. DEIBER	
2	21/12/2018	L.DUCROS	Ingénieur d'études	G. DEIBER	

SOMMAIRE

1. CONTEXTE ET OBJECTIFS.....	7
2. ÉTAPE 1 : CARACTÉRISATION DU SITE ET DE SON ENVIRONNEMENT	9
2.1. Localisation du site et description de son environnement	9
2.1.1. Situation générale du site et définition du domaine d'étude.....	9
2.1.2. Démographie et populations sensibles.....	12
2.1.3. Industries et autres sources de pollution	14
2.1.4. Environnement naturel, pratiques agricoles et élevages.....	16
2.1.5. Qualité de l'air dans le domaine d'étude.....	17
2.2. Inventaire des rejets du site et des substances émises	19
3. ÉTAPE 2 : IDENTIFICATION DES DANGERS	25
3.1. Considération générale sur les substances toxiques et les valeurs toxicologiques de référence.....	25
3.2. Choix des traceurs de risque	26
3.2.1. Méthode de choix des traceurs de risque	26
3.2.2. Remarques préliminaires	27
3.2.3. Sélection des traceurs pour le risque sanitaire par inhalation	27
3.2.4. synthèse des traceurs de risque retenus.....	29
3.3. Synthèse des données toxicologiques et choix des relations dose-réponse.....	29
3.3.1. Acide chlorhydrique.....	29
3.3.2. Chrome	30
3.3.3. Dioxyde d'azote.....	31
3.3.4. Dioxyde de soufre	32
3.3.5. Nickel	33
3.3.6. Poussières	34
3.3.7. Synthèse des relations dose-réponse par inhalation	34
4. ÉTAPE 3 : ÉVALUATION DE L'EXPOSITION HUMAINE.....	36
4.1. Présentation du modèle de dispersion atmosphérique utilisé.....	36
4.2. Les données d'entrée du modèle relatives aux émissions.....	37
4.2.1. Flux des polluants traceurs de risque	37
4.2.2. Prise en compte des rythmes d'émission	38

4.3. Les données d'entrée du modèle relatives à la topographie et à l'occupation des sols.....	38
4.3.1. Topographie.....	38
4.3.2. Occupation des sols et bâti	39
4.4. Les données d'entrée du modèle relatives à la météorologie	41
4.4.1. Direction du vent.....	41
4.4.2. Vitesse du vent.....	43
4.4.3. Température	43
4.4.4. Stabilité de l'atmosphère	44
4.5. Mise en œuvre des calculs de dispersion atmosphérique	45
4.6. Choix des récepteurs	45
4.7. Résultats des calculs de dispersion atmosphérique	46
4.7.1. Concentrations dans l'air	47
4.8. Calcul de l'exposition des populations	48
4.8.1. Scénarios d'exposition	48
4.8.2. Evaluation de l'exposition chronique par inhalation	49
5. ÉTAPE 4 : CARACTÉRISATION DU RISQUE SANITAIRE	50
5.1. Caractérisation du risque par inhalation pour les polluants à effets à seuil 50	
5.1.1. Caractérisation du risque par inhalation pour les polluants à effets sans seuil 51	
5.2. Caractérisation globale du risque.....	52
6. IMPACT DU SITE PAR RAPPORT AU BRUIT DE FOND	53
7. REVUE DES INCERTITUDES	54
7.1. Facteurs de sous-estimation des risques	54
7.2. Facteurs de sur-estimation des risques.....	56
7.3. Facteurs d'incertitude dont l'influence sur les résultats n'est pas connue	56
7.4. Synthèse des incertitudes	57
8. SYNTHÈSE ET CONCLUSIONS.....	58
8.1. Rappel méthodologique.....	58
8.2. Conclusions	58

BIBLIOGRAPHIE	60
LISTE DES ANNEXES	61
ANNEXE 1 : ACRONYMES	62
ANNEXE 2 : CARTES	64

TABLES DES ILLUSTRATIONS

FIGURES

Figure 1 : Situation générale de la sucrerie CRISTAL UNION sur la commune du Sillery.....	10
Figure 2 : Domaine d'étude de 1 000 m centré sur site.....	11
Figure 3 : Localisation des établissements susceptibles de recevoir des populations sensibles au sein et à proximité du domaine d'étude.....	14
Figure 4 : Localisation des industries sources de pollution dans l'air dans un rayon de 3 km autour du site	15
Figure 5 : Localisation des parcelles agricoles dans le domaine d'étude	16
Figure 6 : Localisation des stations de mesure Atmo Grand Est et Météo France	18
Figure 7 : Visualisation du bâti pris en compte pour les calculs de dispersion atmosphérique	40
Figure 8 : Rose des vents reconstituée par le modèle : station Météo France de Reims - Courcy (période du 1 ^{er} janvier 2000 au 31 décembre 2004)	42
Figure 9 : Concentration moyenne annuelle en dioxyde d'azote dans l'air.....	46
Figure 10 : Concentration moyenne annuelle en PM 2,5 dans l'air	47

TABLEAUX

Tableau 1 : Effectif de population dans les communes du domaine d'étude (Source : INSEE, recensement 2015)	12
Tableau 2 : Recensement des établissements scolaires au sein et à proximité immédiate du domaine d'étude.....	13
Tableau 3 : Détail des émissions des industries sources de pollution dans l'air dans un rayon de 3 km autour du site.....	15
Tableau 4 : Teneurs annuelles 2017 mesurées au droit des stations d'Atmo Grand Est les plus proches du site	17
Tableau 5 : Caractéristiques émissives des chaudières	21
Tableau 6 : Caractéristiques émissives des rejets du four à chaux.....	22
Tableau 7 : Caractéristiques émissives des rejets des dépoussiéreurs (1).....	23
Tableau 8 : Caractéristiques émissives des rejets des dépoussiéreurs (2).....	24
Tableau 9 : Choix des traceurs de risque pour les effets à seuil par inhalation.....	28
Tableau 10 : Choix des traceurs de risque pour les effets sans seuil par inhalation	28
Tableau 11: Liste des composés retenus par type d'effet et par voie d'exposition	29
Tableau 12 : Présentation des VTR pour les effets à seuil par inhalation de l'acide chlorhydrique.....	30
Tableau 13 : Présentation des ERU pour les effets sans seuil par inhalation du chrome VI .	31

Usine CRISTAL UNION sur la commune de Sillery

Tableau 14 : Présentation de la valeur guide pour les effets à seuil par inhalation chronique des NO _x	32
Tableau 15 : Présentation de la valeur guide pour les effets à seuil par inhalation chronique du SO ₂	32
Tableau 16 : Présentation des VTR pour les effets à seuil par inhalation du nickel	33
Tableau 17 : Présentation de la valeur guide pour les effets à seuil par inhalation chronique des PM _{2,5}	34
Tableau 18 : Synthèse des VTR et des Valeurs Guide des polluants retenus pour l'exposition chronique par inhalation pour des effets à seuil.....	35
Tableau 19 : Synthèse des ERU des composés retenus pour l'exposition chronique par inhalation pour des effets sans seuil.....	35
Tableau 20 : Flux des polluants traceurs de risque à l'émission pour les chaudières et le four à chaux	37
Tableau 21 : Flux des polluants traceurs de risque à l'émission pour les dépoussiéreurs.....	37
Tableau 22 : Bâtiment principalement influant pour chaque rejet.....	39
Tableau 23 : Caractéristiques des bâtiments pris en compte.....	40
Tableau 24 : Statistiques mensuelles des températures.....	43
Tableau 25 : Fréquences d'apparition des différentes conditions de stabilité atmosphérique	44
Tableau 26 : Concentrations moyennes annuelles estimées par le modèle de dispersion atmosphérique des polluants.....	48
Tableau 27 : Paramètres d'exposition retenus pour l'évaluation des risques sanitaires	48
Tableau 28 : Concentrations moyennes d'exposition pour les traceurs de risque par inhalation.....	49
Tableau 29 : Comparaison des concentrations inhalées avec les valeurs guide de protection de la santé.....	50
Tableau 30 : Indice de Risque (IR) par inhalation pour une exposition chronique.....	51
Tableau 31 : Excès de Risque Individuel (ERI) par inhalation.....	52
Tableau 32 : Comparaison des concentrations mesurées par Atmo Grand Est avec les résultats de la modélisation des émissions du site	53
Tableau 33 : Vérification de la pertinence de la sélection des traceurs de risque – effets à seuil par inhalation en risque chronique	54
Tableau 34 : Vérification de la pertinence de la sélection des traceurs de risque – effets sans seuil par inhalation en risque chronique	54
Tableau 36 : Comparaison des concentrations de polluants dans le sol avec le fond géochimique.....	55

1. CONTEXTE ET OBJECTIFS

La sucrerie CRISTAL UNION souhaite augmenter sa capacité de production sur son site de Sillery (51 – Marne). Ce projet doit faire l'objet d'un dossier de demande d'autorisation d'exploiter dans lequel doit figurer une évaluation des risques sanitaires liés aux émissions atmosphériques.

Les articles L.122-1 et L.122-3 du Code de l'Environnement prévoient la réalisation d'études d'impact pour les projets d'aménagement, comprenant l'étude des effets du projet sur la santé. Les aménagements concernés et le contenu de l'étude d'impact sont présentés dans l'article R.122-3 du Code de l'Environnement. L'article R.512-6 de ce même code s'intéresse plus particulièrement à l'étude d'impact des Installations Classées pour la Protection de l'Environnement (ICPE) « qui peuvent présenter des dangers ou des inconvénients soit pour la commodité du voisinage, soit pour la santé, la sécurité, la salubrité publique... ». Au titre de cet article, l'étude d'impact des ICPE soumises à autorisation doit comporter une analyse des effets directs et indirects, temporaires et permanents de l'installation sur l'hygiène, la santé, la salubrité et la sécurité publique.

Ainsi, dans le cadre de l'étude d'impact constitutive du Dossier de Demande d'Autorisation d'Exploiter (DDAE), une évaluation des risques sanitaires liés aux rejets atmosphériques du site doit être réalisée. La présente étude y est consacrée. **Elle concerne l'analyse des risques chroniques liés à une exposition à long terme des populations riveraines, aux substances émises à l'atmosphère par l'ensemble des rejets atmosphériques du site.**

L'évaluation présentée dans ce rapport s'appuie sur la circulaire du 9 août 2013 relative à la démarche de prévention et de gestion des risques sanitaires des installations classées soumises à autorisation. Elle est conforme au cadre général défini par le guide de lecture de l'Institut national de Veille Sanitaire (InVS) [2000] et aux modalités de mise en œuvre décrites par le guide méthodologique pour l'évaluation des risques sanitaires des études d'impact des ICPE établi par l'Institut National de l'Environnement Industriel et des Risques (INERIS) [2013].

L'étude réalisée se décompose ainsi en 4 étapes indissociables :

- **L'étape 1** est consacrée à la **caractérisation des émissions atmosphériques du site et de son environnement**. Dans cette étape, les données d'émission caractérisant l'ensemble des rejets atmosphériques du site sont définies. En accord avec la DREAL, les données utilisées dans cette étude sont les valeurs limites à l'émission. L'environnement du site est par ailleurs décrit en particulier du point de vue de ses caractéristiques démographiques, des populations sensibles présentes dans la zone d'étude, des usages et sources de contamination déjà présentes dans le domaine d'étude ;
- **L'étape 2** traite de l'**identification des dangers liés aux substances émises**. Dans cette étape sont décrits, pour chacun des composés traceurs de risque émis à l'atmosphère, **les effets sur la santé, les valeurs toxicologiques de référence**, les limites d'exposition issues de la bibliographie, les valeurs réglementaires ainsi que les préconisations de l'Organisation Mondiale de la Santé (OMS) et autres structures de santé publique pour une exposition chronique ;

Usine CRISTAL UNION sur la commune de Sillery

- **L'étape 3** concerne **l'évaluation de l'exposition des populations**. Son but est de déterminer les voies de passage du composé traceur de la source vers la cible et d'estimer la fréquence, la durée et l'importance de l'exposition. La détermination des niveaux d'exposition auxquels sont soumises les populations riveraines est réalisée au moyen d'un modèle de dispersion atmosphérique des polluants puis au moyen d'un modèle de calcul des transferts dans la chaîne alimentaire, permettant d'estimer les concentrations de polluants dans les différents milieux d'exposition (légumes, végétaux, produits animaux, etc.) ;
- **L'étape 4** correspond à la **caractérisation des risques sanitaires**. Elle est effectuée à partir de la synthèse des informations issues de l'évaluation des expositions et de l'évaluation de la toxicité sous la forme d'une expression qualitative et quantitative du risque. Dans cette étape, les incertitudes sont évaluées et les résultats analysés.

Les éléments nécessaires à la prise de décision sont présentés de façon structurée et l'évaluation est conduite en appliquant les principes de proportionnalité, de transparence et de prudence scientifique.

2. ÉTAPE 1 : CARACTÉRISATION DU SITE ET DE SON ENVIRONNEMENT

2.1. LOCALISATION DU SITE ET DESCRIPTION DE SON ENVIRONNEMENT

2.1.1. SITUATION GÉNÉRALE DU SITE ET DÉFINITION DU DOMAINE D'ÉTUDE

Le site CRISTAL UNION est localisé sur la commune de Sillery dans la Marne (Figure 1).

Il se situe dans une zone dont l'occupation des sols est variée. L'environnement proche est constitué :

- principalement de zones agricoles du nord-ouest jusqu'à l'est, puis du sud-est, au sud-ouest;
- de zones d'activités industrielles à proximité du site à l'ouest et au nord-ouest (avec notamment l'aérodrome de Reims-Prunay);
- de zones d'habitats résidentiels en limite du domaine d'étude à l'ouest (Sillery) et sud-est (Prunay) ;
- et d'une zone boisée au nord du Canal de la Marne à l'Aisne qui traverse le domaine d'étude d'ouest en sud-est.

Usine CRISTAL UNION sur la commune de Sillery

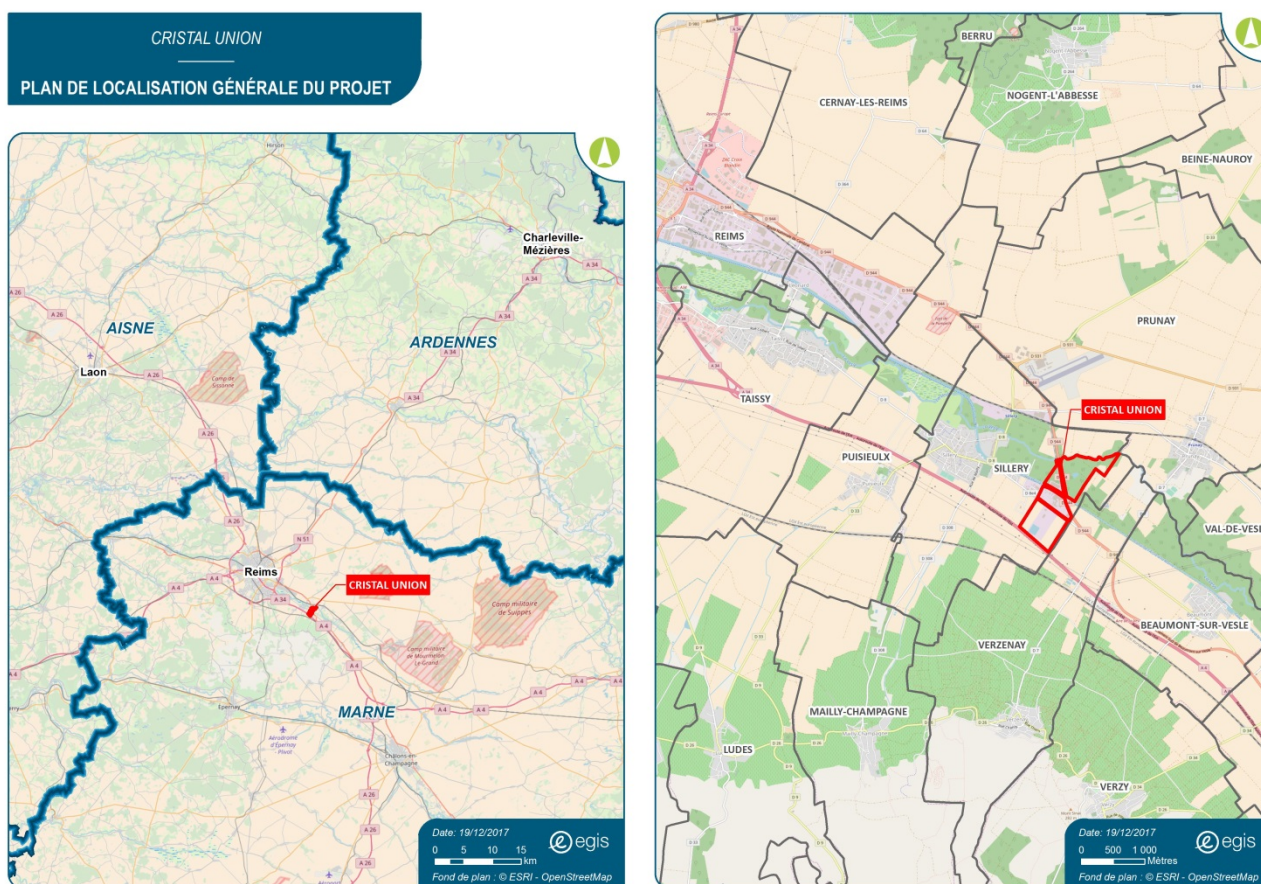


Figure 1 : Situation générale de la sucrerie CRISTAL UNION sur la commune du Sillery

Dans le cadre de la présente évaluation, un domaine d'étude de **1 km autour de l'emprise** du site a été considéré (cf. Figure 2). Il a été choisi de façon à pouvoir visualiser en totalité la zone potentielle d'influence du site sur son environnement. Les concentrations évaluées par le modèle de dispersion atmosphérique, pour les composés spécifiquement émis par le site, doivent être visibles jusqu'à des concentrations de l'ordre de 1/10^{ème} de la concentration maximale mise en évidence dans l'environnement.

Le domaine d'étude ainsi défini comprend partiellement le territoire des communes de **Beaumont-sur-Vesle, Prunay, Sillery, et Verzenay.**

Les habitations les plus proches se situent, par rapport aux limites de propriété du site, à environ :

- 20 m à l'est – commune de Verzenay;
- 65 m au nord-ouest – commune de Sillery;
- 190 m au à l'ouest – commune de Sillery;

Usine CRISTAL UNION sur la commune de Sillery

2.1.2. DÉMOGRAPHIE ET POPULATIONS SENSIBLES

Les populations exposées sont définies comme les populations résidant ou fréquentant le domaine d'étude. Ces populations ont été quantifiées pour chaque commune du domaine d'étude en utilisant les données de l'INSEE¹, le nombre total d'habitants est de **4 619 personnes**. Le Tableau 1 fournit la répartition de la population sur ces différentes communes ainsi que le recensement des moins de 6 ans et des plus de 80 ans, populations sensibles d'un point de vue sanitaire.

Communes	Population totale	Population de moins de 6 ans	Population de plus de 80 ans
BEAUMONT-SUR-VESLE	789	66	20
PRUNAY	1 031	73	25
SILLERY	1 748	95	93
VERZENAY	1 051	79	133
TOTAL	4 619	313	271

Tableau 1 : Effectif de population dans les communes du domaine d'étude (Source : INSEE, recensement 2015)

Les établissements susceptibles de recevoir régulièrement des populations sensibles doivent faire l'objet d'une attention particulière. Il s'agit des :

- Écoles maternelles, primaires ;
- Établissements de garde d'enfants d'âge pré-scolaire (crèches, haltes-garderies, etc.) ;
- Établissements d'hébergement pour personnes âgées ;
- Établissements à caractère sanitaire (établissements hospitaliers, de soin et de prévention, d'accueil, etc.).

¹ Populations légales 2013 en vigueur le 1er janvier 2016
<http://www.insee.fr/fr/bases-de-donnees/default.asp?page=recensements.htm>

Usine CRISTAL UNION sur la commune de Sillery

Les écoles maternelles, primaires ont été recensées à l'aide de l'annuaire de l'Éducation Nationale² et des sites des mairies. Le Tableau 2, ci-dessous liste les établissements scolaires au sein et à proximité immédiate du domaine d'étude.

Communes	Établissements scolaires	
	École	Adresse
Prunay	École maternelle et élémentaire	Rue de la Voie du Moulin
Sillery	École maternelle de Sillery	7 rue de la Vesle
Sillery	École élémentaire de Sillery	Place de la Mairie

Tableau 2 : Recensement des établissements scolaires au sein et à proximité immédiate du domaine d'étude

Aucun établissement sanitaires et sociaux ou de garde d'enfants d'âge pré-scolaire (moins de 3 ans) n'a été recensé au sein ou à proximité immédiate du domaine d'étude.

La Figure 3 présente la localisation des établissements susceptibles de recevoir des populations sensibles au sein du domaine d'étude et à proximité immédiate.

² <http://www.education.gouv.fr/pid24301/annuaire-accueil-recherche.html>

Usine CRISTAL UNION sur la commune de Sillery

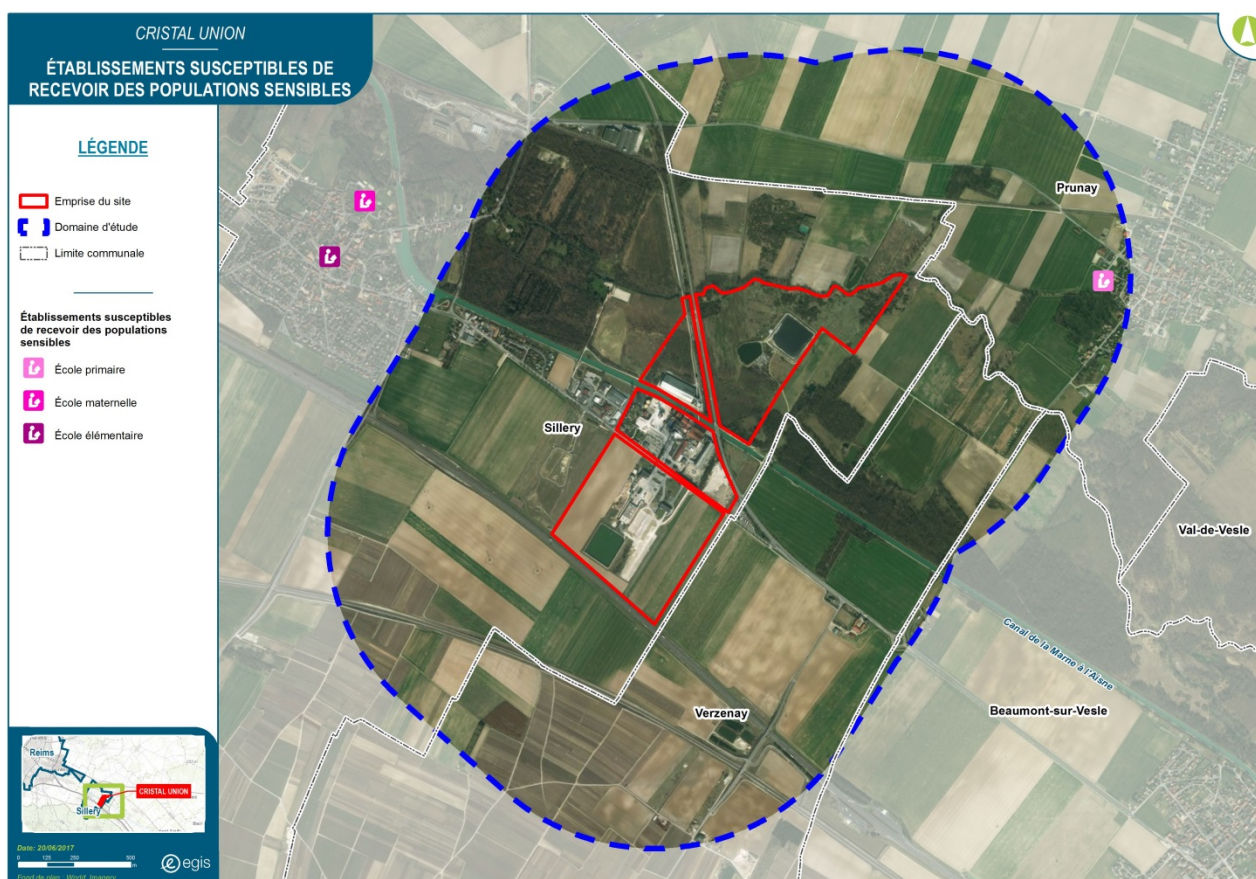


Figure 3 : Localisation des établissements susceptibles de recevoir des populations sensibles au sein et à proximité du domaine d'étude

2.1.3. INDUSTRIES ET AUTRES SOURCES DE POLLUTION

Le Registre Français des Émissions Polluantes (iREP) fait l'inventaire des émissions industrielles dans l'eau et dans l'air en France. Le registre est constitué des données déclarées chaque année par les exploitants. L'obligation de déclaration par les exploitants des installations industrielles et des élevages est fixée (polluants concernés et seuils de déclaration) par l'arrêté du 31 janvier 2008 relatif à la déclaration annuelle des émissions polluantes des installations classées soumises à autorisation.

La sucrerie de Cristal Union de Sillery est recensée dans la base iREP.

Sur le domaine d'étude de 1 km autour des limites de propriété de la sucrerie, aucune industrie n'est mentionnée dans le registre iREP (hors site étudié). Une industrie, dans un rayon de 3 km autour du site, est recensée au registre iREP. La localisation de celle-ci est présentée dans la Figure 4 ci-après.

Usine CRISTAL UNION sur la commune de Sillery

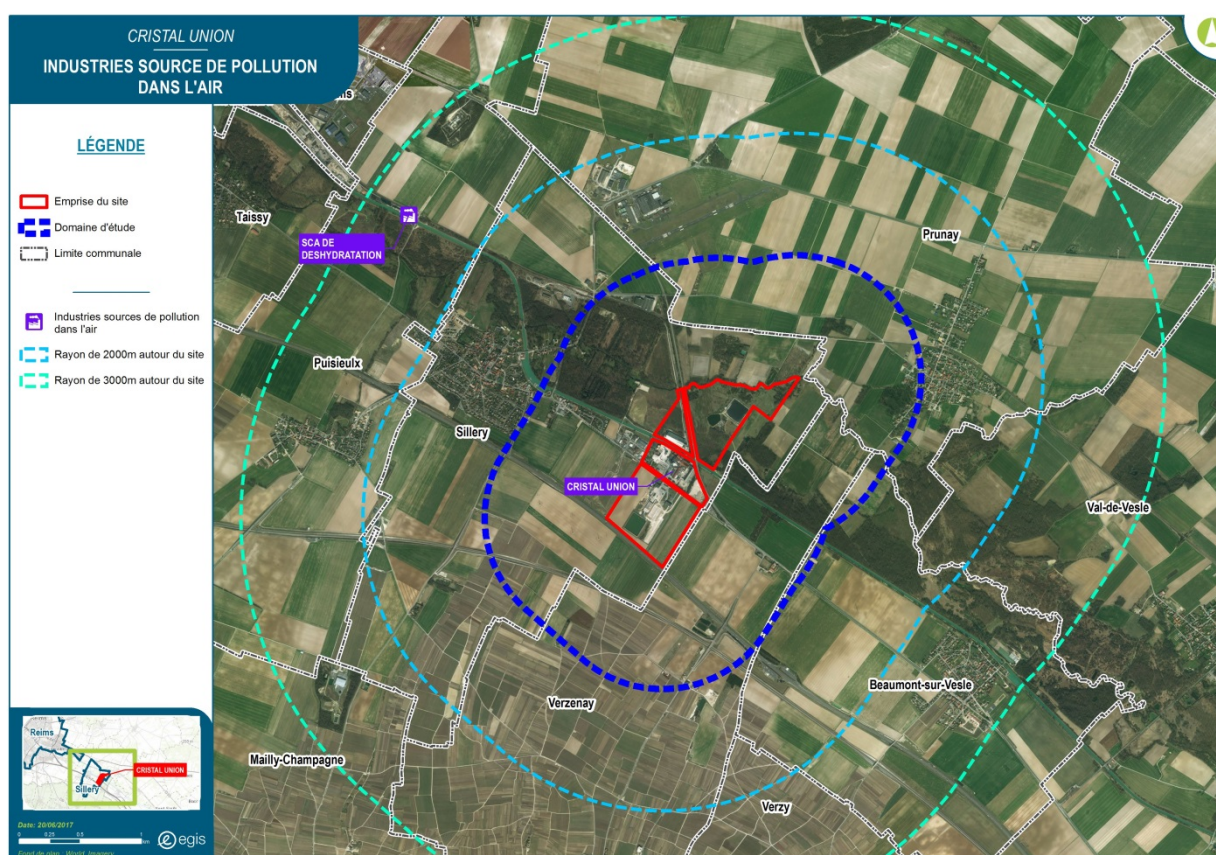


Figure 4 : Localisation des industries sources de pollution dans l'air dans un rayon de 3 km autour du site

Le Tableau 3 ci-dessous, détaille les émissions polluantes de ces industries.

	CRISTAL UNION - Sillery	SCA DE DESHYDRATATION - Puisieulx
Dioxyde de carbone (CO₂)	83 900 t/an - 2017	22 400 t/an - 2017
Oxydes d'azote (NO₂)	114t /an - 2009	
COVNM		36.6 t/an - 2009
Chlore	43 t/an - 2004	449 kg/an - 2003

Tableau 3 : Détail des émissions des industries sources de pollution dans l'air dans un rayon de 3 km autour du site

Il est également à noter, comme autres sources de pollution atmosphérique, celles liées aux activités humaines classiques (circulation automobile, chauffages, etc.).

Usine CRISTAL UNION sur la commune de Sillery

2.1.4. ENVIRONNEMENT NATUREL, PRATIQUES AGRICOLES ET ÉLEVAGES

Le site est localisé dans un contexte environnemental très agricole, les surfaces agricoles représentent environ 54% du domaine d'étude. Le site est entouré de parcelles agricoles quasi exclusivement en culture intensive mono spécifique. 59% des surfaces agricoles dans le domaine d'étude sont en cultures céréalières, 15% en cultures industrielles, 8% en viticultures, 7% en cultures fourragères. En moindre proportion on retrouve aussi des cultures oléagineuses et protéagineuses (cf. Figure 5).

Aucune parcelle de jardins familiaux ou de jardins partagés n'est recensée dans le domaine d'étude.



Figure 5 : Localisation des parcelles agricoles dans le domaine d'étude

Usine CRISTAL UNION sur la commune de Sillery

2.1.5. QUALITÉ DE L'AIR DANS LE DOMAINE D'ÉTUDE

L'AASQA locale – Atmo Grand Est – ne dispose d'aucune station de mesures de la qualité de l'air dans le domaine d'étude. Les quatre stations les plus proches, sont localisées sur la Figure 6 :

- une station au nord-ouest, commune de Bétheny, banlieue de Reims : station périurbaine Reims - Bétheny ;
- trois stations, au nord-ouest, sur la commune de Reims : deux stations urbaines Reims-Mairie et Reims-Jean d'Aulan et une station trafic Reims-Doumer ;

Les polluants et concentrations mesurés par Atmo Grand Est pour l'année 2017 sont présentés dans le Tableau 4.

Les niveaux mesurés font état d'une bonne qualité de l'air sur la commune de Reims. Le seul dépassement d'une valeur limite concerne le dioxyde d'azote et la station trafic Reims-Doumer qui n'est représentative que du trafic et non des valeurs de fond.

		Station périurbaine Reims Bétheny	Station urbaine Reims Mairie	Station trafic Reims Doumer	Station urbaine Reims Jean d'Aulan	Valeur limite
Dioxyde d'azote	$\mu\text{g}/\text{m}^3$	16 $\mu\text{g}/\text{m}^3$	25 $\mu\text{g}/\text{m}^3$	43 $\mu\text{g}/\text{m}^3$	17 $\mu\text{g}/\text{m}^3$	40 (moyenne annuelle)
Ozone	$\mu\text{g}/\text{m}^3$	49 $\mu\text{g}/\text{m}^3$			49 $\mu\text{g}/\text{m}^3$	120 (pour le maximum journalier de la moyenne sur 8 heures à ne pas dépasser plus de 25 jours par année civile en moyenne calculée sur 3 ans)
PM₁₀	$\mu\text{g}/\text{m}^3$	21 $\mu\text{g}/\text{m}^3$		25 $\mu\text{g}/\text{m}^3$	16 $\mu\text{g}/\text{m}^3$	40 (moyenne annuelle)
PM_{2,5}	$\mu\text{g}/\text{m}^3$			15 $\mu\text{g}/\text{m}^3$	12 $\mu\text{g}/\text{m}^3$	20 (moyenne annuelle - réglementation française)
Dioxyde de soufre	$\mu\text{g}/\text{m}^3$		3.4 $\mu\text{g}/\text{m}^3$		1.4 $\mu\text{g}/\text{m}^3$	50 (moyenne annuelle)
Benzène (2015)	$\mu\text{g}/\text{m}^3$		0.7 $\mu\text{g}/\text{m}^3$	0.8 $\mu\text{g}/\text{m}^3$		5 (moyenne annuelle)

Tableau 4 : Teneurs annuelles 2017 mesurées au droit des stations d'Atmo Grand Est les plus proches du site

Usine CRISTAL UNION sur la commune de Sillery

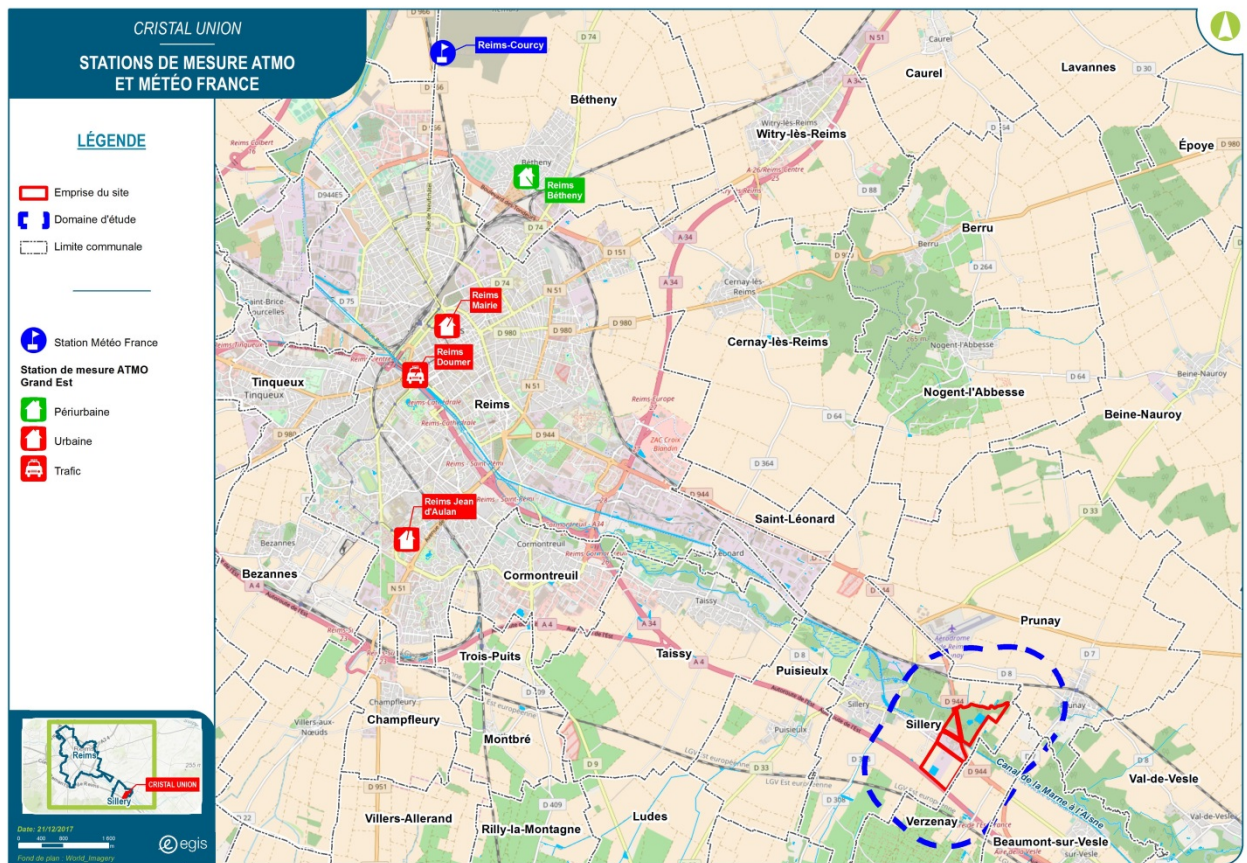


Figure 6 : Localisation des stations de mesure Atmo Grand Est et Météo France

2.2. INVENTAIRE DES REJETS DU SITE ET DES SUBSTANCES ÉMISES

L'augmentation de la capacité de production du site va se traduire par une augmentation de la durée de la campagne : en 2016 celle-ci était de 109 jours, il est prévu en situation future une durée de la campagne au maximum de 135 jours. Dans le cadre de cette étude, nous retiendrons donc la valeur de 135 jours.

Les installations du site présentant des rejets atmosphériques ont été répertoriées. Il s'agit :

- des chaudières au gaz naturel : 2 points de rejets à l'atmosphère pour 3 chaudières,
- du four à chaux : 2 points de rejet à l'atmosphère l'un correspondant au laveur de buées l'autre au laveur de gaz,
- des dépoussiéreurs : 7 points de rejets à l'atmosphère.

Chacun de ces rejets est de type **canalisé**. L'ensemble des caractéristiques physiques a été fournie par Cristal Union.

Les émissions considérées dans cette étude sont les valeurs limites à l'émission c'est à dire les valeurs maximales autorisées au niveau des rejets. Ces valeurs devraient être celles retenues dans le cadre du nouvel arrêté préfectoral dans la mesure où l'impact sanitaire associé ne s'avère pas préoccupant pour les populations riveraines. Les données nécessaires pour mener à bien l'évaluation des risques sanitaires doivent être formalisées sous la forme d'un flux (paramètres d'entrée du modèle de dispersion atmosphérique). Ainsi lorsque les flux ne seront pas directement exprimés dans les valeurs limites à l'émission, ils seront calculés à partir des concentrations limites à l'émission et des débits nominaux des installations.

Ces valeurs à l'émission ont été définies comme suit :

- **Pour les chaudières au gaz naturel (cf Tableau 5)**, les polluants réglementés sont les oxydes d'azote, le dioxyde de soufre, le monoxyde de carbone et les poussières :

La nouvelle demande d'autorisation d'émission est de 45 T/an pour les oxydes d'azote et de 0,6 T/an pour le dioxyde de soufre. La répartition de ces flux entre les chaudières est la suivante : 63,2 % du flux pour la chaudière Francine et 36,8 % du flux pour le groupe de chaudière Corinne + Jacqueline.

Concernant le monoxyde de carbone la valeur retenue est celle issue de l'arrêté préfectoral de 2008, à savoir 11,42 T/an. La répartition du flux entre les 2 chaudières reste identique à celle pour les oxydes d'azote ou le dioxyde de soufre.

Concernant les poussières, les flux ont été calculés à partir de la concentration limite à l'émission de l'arrêté préfectoral de 2008, du débit nominal des chaudières et du nombre d'heure de fonctionnement par an.

- **Pour le four à chaux (cf Tableau 6), les valeurs limites à l'émission sont issues de l'arrêté préfectoral complémentaire de 1999 :**
 - Pour le laveur de gaz du four à chaux, les polluants réglementés sont les oxydes d'azote, le dioxyde de soufre, les poussières, l'acide chlorhydrique et les métaux (Ni + Cr + Zn). Pour les 4 premiers polluants précités nous retenons comme flux à l'émission la valeur exprimée en kg/h à laquelle nous appliquons le nombre d'heure de fonctionnement par an.

Cas particulier des métaux. Le flux limite à l'émission est exprimé pour la somme des 3 métaux précités (0,03 kg/h). Pour pouvoir conduire l'évaluation

Usine CRISTAL UNION sur la commune de Sillery

des risques sanitaires, nous devons appliquer une répartition de ce flux pour chacun des métaux. Pour ce faire, à partir des mesures annuelles réalisées par l'APAVE, nous avons appliqué la répartition suivante : 70% du flux est affecté au nickel, 15 % du flux est affecté au chrome et 15 % du flux est affecté au Zinc. **Par ailleurs, nous proposons dans le cadre de cette étude de diviser par 20 la valeur de l'arrêté préfectoral complémentaire de 1999 de 0,03 kg/h** afin d'avoir un risque sanitaire cancérogène (notamment lié au chrome, assimilé à du chrome VI) non préoccupant sur l'ensemble du domaine d'étude. Cela conduit donc aux valeurs présentées dans le Tableau 6.

- **Pour le laveur de buées du four à chaux**, les polluants réglementés sont les oxydes d'azote, le dioxyde de soufre et les poussières. Nous retenons les valeurs limites à l'émission définies en T/an pour le dioxyde de soufre et les poussières. Pour les oxydes d'azote nous retenons la valeur en kg/h à laquelle nous appliquons le nombre d'heure de fonctionnement par an.
- **Pour les dépoussiéreurs silo 1, les chargements wagons et camions ainsi que pour le bâtiment sécheur, les valeurs limites à l'émission sont issues de l'arrêté initial d'autorisation (AP 88) (Tableau 7)**. Seules les poussières sont réglementées avec une valeur limite exprimée en concentration (30 mg/Nm³). Le flux annuel des poussières a été calculé à partir de cette valeur limite, du débit nominal des rejets et du nombre d'heure de fonctionnement par an pour chacun des rejets considérés.
- **Pour les dépoussiéreurs silo 2, les valeurs limites à l'émission retenues sont identiques à celle du silo 1, à savoir une valeur limite en concentrations de 30 mg/Nm³ pour les poussières (Tableau 8)**. Le flux annuel des poussières a été calculé à partir de cette valeur limite, du débit nominal des rejets et du nombre d'heure de fonctionnement par an pour chacun des rejets considérés.

Usine CRISTAL UNION sur la commune de Sillery

Chaudières au gaz naturel		
	Corinne et Jacqueline	Francine
Caractéristiques des rejets		
Hauteur (m)	61	43
Débit d'air (Nm ³ /h)	37 926	52 907
Débit d'air nominal (m ³ /h)	55 000	75 000
Température du rejet (°C)	123	114
diamètre au point d'éjection (m)	1,8	1,6
Vitesse d'éjection (m/s)	8,50	16
Nombre d'heures de fonctionnement / an	3 240 h (135 j de septembre à mi-janvier 24h/24)	
Polluants concentration (mg/Nm³)		
SO ₂		
NO _x		
Poussières	5	5
CO		
Polluants flux (kg/an)		
SO ₂	220,80	379,20
NO _x	16 560,00	28 440,00
Poussières	614,41	857,09
CO	4 202,56	7 217,44

Tableau 5 : Caractéristiques émissives des chaudières

Usine CRISTAL UNION sur la commune de Sillery

Four à chaux		
	Laveur de gaz	Laveur de buées
Caractéristiques physiques		
Hauteur (m)	51,55	12,55
Température du rejet (°C)	43	53
diamètre au point d'éjection (m)	0,40	0,30
Vitesse d'éjection (m/s)	4	11
Nombre d'heures de fonctionnement / an	3 240 h (135 j de septembre à mi-janvier 24h/24) ⁽¹⁾	
Polluants flux (kg/h)		
SO ₂	7,5	
NO _x	2,2	4
Poussières	0,3	
HCl	1	/
Cr	0,00023	/
Ni	0,0011	/
Zn	0,00023	/
Polluants flux (kg/an)		
SO ₂	24 300,00	40
NO _x	7 128,00	12 960
Poussières	972,00	120
HCl	3 240,00	/
Cr	0,73	/
Ni	3,40	/
Zn	0,73	/

Tableau 6 : Caractéristiques émissives des rejets du four à chaux

Usine CRISTAL UNION sur la commune de Sillery

Dépoussiéreurs					
	Silo 1 circuit de manutention	Silo 1 circuit conditionnement d'air	Chargement wagon	Chargement camions	Bâtiment sécheur
Caractéristiques physiques					
Hauteur (m)	15,5	15,5	3,5	7	5
Débit d'air (Nm ³ /h)	13 883	16 771	9 317	12 113	13 976
Débit d'air nominal (m ³ /h)	14 900	18 000	10 000	13 000	15 000
Température du rejet (°C)	20	20	20	20	20
diamètre au point d'éjection (m)	0,48	0,55 x 055	0,45	0,43	0,5
Vitesse d'éjection (m/s)	18,2	19,4	17,9	21,1	8
Nombre d'heures de fonctionnement / an	6 912	6 672	720	6 912	3 240
Polluants concentration (mg/Nm³)					
Poussières	30	30	30	30	30
Polluants flux (kg/an)					
Poussières	2 878,77	3 356,95	201,26	2 511,67	1 358,48

Les rythmes d'émission des dépoussiéreurs se décomposent ainsi :

- Silo circuit de manutention : 288 jours 24/24 répartis sur l'année
- Silo conditionnement d'air : 153 jours de septembre à fin janvier 24h/24 + 125 jours le reste de l'année 24h/24
- Chargement wagon : 30 jours par an 24h/24
- Chargement camions : 288 jours 24/24 répartis sur l'année
- Bâtiment sécheur : 3 240 h (135 j de septembre à mi-janvier 24h/24)

Tableau 7 : Caractéristiques émissives des rejets des dépoussiéreurs (1)

Usine CRISTAL UNION sur la commune de Sillery

	Dépoussiéreurs	
	Silo 2 circuit conditionnement d'air	Silo 2 manutention
Hauteur (m)	6,0	5,2
Débit d'air (m ³ /h)	18 821	6 802
Débit d'air nominal (m ³ /h)	20 200	7 500
Température du rejet (°C)	20	28
diamètre au point d'éjection (m)	0,6	0,35
Vitesse d'éjection (m/s)	10	18
Nombre d'heures de fonctionnement / an	6 672	6 912
Polluants concentration (mg/Nm ³)		
Poussières	30	30
Polluants flux (kg/an)		
Poussières	3 767,24	1 410,53

Les rythmes d'émission des dépoussiéreurs se décomposent ainsi :

- Silo circuit de manutention : 288 jours 24/24 répartis sur l'année
- Silo conditionnement d'air : 153 jours de septembre à fin janvier 24h/24 + 125 jours le reste de l'année 24h/24

Tableau 8 : Caractéristiques émissives des rejets des dépoussiéreurs (2)

3. ÉTAPE 2 : IDENTIFICATION DES DANGERS

Compte tenu des substances émises par les installations CRISTAL UNION, l'exposition des personnes vivant au voisinage du site est principalement liée à l'inhalation pour la plupart des polluants gazeux ou particulaires.

La non prise en compte de l'ingestion (via les retombées au sol des polluants particulaires et leur potentielle bioaccumulation dans les sols voire la chaîne alimentaire), compte tenu de leurs faibles flux sera discutée dans le chapitre des incertitudes.

3.1. CONSIDÉRATION GÉNÉRALE SUR LES SUBSTANCES TOXIQUES ET LES VALEURS TOXICOLOGIQUES DE RÉFÉRENCE

Les toxiques peuvent être rangés en deux catégories en fonction de leur mécanisme d'action :

- **Les toxiques à seuil** pour lesquels il existe des Valeurs Toxicologiques de Référence (VTR) en dessous desquelles l'exposition est réputée sans risque.

Ces valeurs toxicologiques de référence, basées sur les connaissances scientifiques, sont fournies pour chaque voie d'exposition par l'Organisation Mondiale de la Santé (OMS) ou des organismes tels que l'US-EPA (United States Environmental Protection Agency), l'ATSDR (Agency for Toxic Substances and Disease Registry), Santé Canada (Health Canada), l'OEHHA (Office of Environmental Health Hazard Assessment) ou encore le RIVM (National Institute of Public Health and the Environment, Pays-Bas) ;

- **Les toxiques sans seuil**, tels que la plupart des produits cancérigènes, pour lesquels il n'est pas possible de définir un niveau d'exposition sans risque pour la population.

Pour ces produits, les valeurs toxicologiques de référence sont nommées Excès de Risque Unitaire (ERU) et sont définies par les mêmes instances internationales.

Les ERU correspondent au nombre de cas de cancers attendus pour une exposition unitaire ($1 \mu\text{g}/\text{m}^3$ pour l'inhalation durant toute la vie, 24 heures sur 24. Ainsi, un ERU de 10^{-4} signifie qu'une personne exposée durant toute sa vie à $1 \mu\text{g}/\text{m}^3$ de polluant aurait une probabilité supplémentaire de contracter un cancer de 0,0001 (par rapport à un sujet non exposé). Cela signifie aussi que si 10 000 personnes sont exposées, un cas de cancer supplémentaire est susceptible d'apparaître.

Le Centre International de Recherche sur le Cancer (CIRC ou IARC en anglais), et l'US-EPA ont par ailleurs classé la plupart des composés chimiques en fonction de leur cancérigénicité.

Les VTR et ERU sont produits par des experts toxicologues en fonction des données de la littérature, de résultats expérimentaux ou d'enquêtes épidémiologiques. Ce travail nécessite des compétences spécialisées et est confié à des organismes tels que l'OMS, l'US-EPA ou l'ATSDR notamment.

Usine CRISTAL UNION sur la commune de Sillery

Les critères de **choix de la valeur toxicologique de référence** sont les suivants, en accord avec les recommandations de l'InVS [2000] et de la **note d'information N°DGS/EA1/DGPR/2014/307 du 31 octobre 2014 [Direction Générale de la Santé, 2014]** :

- l'existence d'une VTR ;
- la voie d'exposition en lien avec la voie à évaluer pour le composé considéré ;
- la durée d'exposition (aiguë, subaiguë ou chronique) en lien avec la durée à évaluer dans l'étude (chronique dans cette étude) ;
- la notoriété de l'organisme dans l'ordre de priorité suivant :
 - ANSES ;
 - Expertise collective nationale ;
 - US-EPA, ATSDR et OMS en tenant compte de la date d'actualisation de la VTR ;
 - Santé Canada, RIVM, OEHHA et EFSA.

3.2. CHOIX DES TRACEURS DE RISQUE

L'évaluation quantitative des risques sanitaires est menée pour une sélection de substances appelées « traceurs de risque ». Il s'agit des substances les plus pertinentes à prendre en compte du fait des quantités émises et de leurs propriétés toxicologiques.

3.2.1. MÉTHODE DE CHOIX DES TRACEURS DE RISQUE

De façon à conduire cette évaluation du risque sanitaire, une sélection des polluants traceurs de risque à considérer parmi ceux identifiés à l'émission est réalisée. De façon à sélectionner les traceurs, les valeurs toxicologiques de référence ont été regroupées dans un même tableau avec les flux totaux par polluant liés aux rejets du site.

En accord avec le guide méthodologique de l'INERIS [2013], un tri a été effectué selon les critères suivants :

- pour les polluants à effets à seuil : les polluants sont classés et sélectionnés en fonction du tri, par ordre décroissant, du rapport appelé « potentiel de toxicité » : **Flux Total / VTR**.

En effet, pour ces substances, la possibilité d'effets toxiques à seuil pour les populations exposées sera matérialisée par le calcul de l'Indice de Risque (IR) selon la formule suivante : $IR = \text{Dose d'exposition} / \text{VTR}$. La dose d'exposition (concentration inhalée) étant proportionnelle au flux total émis, le classement utilisé, par « potentiel de toxicité », revient à ranger les polluants par ordre décroissant des indices de risque qui seront calculés à partir des doses d'exposition.

- pour les polluants à effets sans seuil : les espèces sont classées et sélectionnées en fonction du tri, par ordre décroissant, du produit (appelé « potentiel de cancérogénicité ») : **Flux Total x ERU**.

Usine CRISTAL UNION sur la commune de Sillery

En effet, pour la quantification des effets sans seuil, un Excès de Risque Individuel (ERI) sera calculé, correspondant à la probabilité supplémentaire, par rapport au risque de base, de survenue d'un cancer au cours d'une vie entière pour les concentrations réelles d'exposition. L'Excès de Risque Individuel est calculé par la formule suivante : $ERI = Dose\ d'exposition \times ERU$. Ainsi, le classement utilisé, selon le potentiel de cancérogénicité « Flux Total x ERU », revient à ranger les polluants par ordre décroissant des ERI qui seront calculés à partir des doses d'exposition.

L'exposition des populations par inhalation est principalement proportionnelle au flux émis par le site (et en second lieu aux caractéristiques physiques d'émission). Ainsi, le classement utilisé, par « potentiel de toxicité », revient à ranger les polluants par ordre décroissant des IR (pour les polluants à seuil) ou des ERI (pour les polluants sans seuil) qui seront calculés à partir des concentrations dans l'environnement. Par contre, la valeur du potentiel de toxicité est arbitraire et ne présage en rien du risque calculé dans l'environnement.

3.2.2. REMARQUES PRÉLIMINAIRES

L'analyse des données toxicologiques des composés listés précédemment a permis d'effectuer les choix suivants :

- Les **oxydes d'azote** (NO_x) ont été assimilés au NO₂, espèce de plus grand intérêt toxicologique ;
- Les **poussières** ont été assimilées à des particules de taille inférieure à 2,5 µm (PM_{2,5}) en l'absence d'information sur la granulométrie aux niveau des rejets. Cette approche est majorante pour la voie d'exposition par inhalation dans la mesure où les poussières de type PM_{2,5} appartiennent à la fraction thoracique des particules inhalables, lesquelles peuvent pénétrer dans les alvéoles pulmonaires ;
- Le **chrome** a été assimilé à du chrome VI, forme la plus préoccupante en terme de risque sanitaire, pour les effets par inhalation, en l'absence d'information sur sa spéciation au niveau des rejets.

3.2.3. SÉLECTION DES TRACEURS POUR LE RISQUE SANITAIRE PAR INHALATION

3.2.3.1. EFFETS À SEUIL

Le choix des traceurs de risque, pour les effets à seuil par inhalation, est réalisé sur la base du Tableau 9. Ce tableau présente les flux (calculés à partir des données présentées dans les Tableau 5 au Tableau 8) et les VTR associées pour l'ensemble des substances ainsi que leur classement selon le rapport Flux Total / VTR. Les valeurs de référence indiquées en italique dans le tableau suivant sont relatives à des Valeurs Guide (VG) pour la protection de la santé (cas du dioxyde d'azote, dioxyde de soufre et PM_{2,5}).

Usine CRISTAL UNION sur la commune de Sillery

Substances	Flux annuel (kg/an)	VTR _i (µg/m ³)	Source	Flux/VTR _i	Potentiel de risque (%)
<i>Poussières PM_{2,5}</i>	1,80E+04	10	OMS 2005	1782,70	43%
<i>NO₂</i>	6,51E+04	40	OMS 2005	1627,20	39%
<i>SO₂</i>	2,49E+04	50	CSHPF 1997	498,80	12%
<i>HCl</i>	3,24E+03	20	US-EPA 1995	162,00	4%
<i>Nickel (Ni)</i>	3,40E+00	0,09	ATSDR 2005	37,8000	1%
<i>Chrome VI (Cr VI)</i>	7,29E-01	0,03	OMS CICAD 2013	24,3000	0,6%
Zinc (Zn)	1,75E-01	nd			
CO	3,76E+02	nd			

nd : non déterminé

Tableau 9 : Choix des traceurs de risque pour les effets à seuil par inhalation

Sur la base du classement Flux Total / VTR, **les poussières PM_{2,5}, le dioxyde d'azote, le dioxyde de soufre, l'acide chlorhydrique et le nickel** (substances surlignées en orange dans le tableau ci-dessus) sont retenus comme traceurs de risque. Ces substances représentent plus de 99 % du potentiel de risque à l'émission par inhalation. Par ailleurs, si l'évaluation des risques permet de conclure en l'absence d'effets indésirables liés à l'inhalation pour le nickel, il en sera de même pour les autres substances caractérisées par un potentiel de toxicité plus faible. Ce point sera discuté au chapitre des incertitudes.

3.2.3.2. EFFETS SANS SEUIL

Le choix des traceurs de risque, pour les effets sans seuil par inhalation, est réalisé sur la base du Tableau 10. Ce tableau présente les flux (calculés à partir des données présentées dans les Tableau 5 au Tableau 8) et les ERU associés pour l'ensemble des substances ainsi que leur classement selon le rapport Flux Total x ERU.

Substances	Flux annuel (kg/an)	ERU _i (µg/m ³) ⁻¹	Source	Flux * ERU _i	Potentiel de cancérogénicité (%)
<i>Cr (assimilé Cr VI)</i>	7,29E-01	4,00E-02	OMS 2000	2,92E-02	97%
<i>Ni</i>	3,40E+00	2,60E-04	OEHHA 2011	8,85E-04	3%
Autres substances	Pas d'ERU _i				

Tableau 10 : Choix des traceurs de risque pour les effets sans seuil par inhalation

Sur la base du classement Flux Total x ERU, **le chrome assimilé au CrVI** (surligné en orange dans le tableau ci-dessus) est retenu comme traceurs de risque. Cette seule substance représente 97 % du potentiel de cancérogénicité à l'émission par inhalation. Par ailleurs, si l'évaluation des risques permet de conclure en l'absence d'effets indésirables liés à l'inhalation pour le chrome, il en sera de même pour les autres substances caractérisées par un potentiel de cancérogénicité plus faible. Ce point sera discuté au chapitre des incertitudes.

3.2.4. SYNTHÈSE DES TRACEURS DE RISQUE RETENUS

Le Tableau 11 résume les types d'effets sanitaires (sans seuil ou avec seuil) par inhalation associés aux composés chimiques retenus comme traceurs de risque.

Substances	Exposition chronique – risque par inhalation	
	Effets à seuil	Effets sans seuil
Acide chlorhydrique (HCl)	✓	
Dioxyde d'azote (NO ₂)	✓	
Dioxyde de soufre (SO ₂)	✓	
Chrome (Cr VI)		✓
Poussières PM2.5	✓	
Nickel (Ni)	✓	

Tableau 11: Liste des composés retenus par type d'effet et par voie d'exposition

3.3. SYNTHÈSE DES DONNÉES TOXICOLOGIQUES ET CHOIX DES RELATIONS DOSE-RÉPONSE

Pour chacun des traceurs de risque retenus dans l'étude, le paragraphe ci-après présente un résumé des effets toxicologiques qui leur sont associés ainsi que les relations dose-réponse retenues selon les méthodes décrites au début du paragraphe 3.

3.3.1. ACIDE CHLORHYDRIQUE

L'acide chlorhydrique (HCl) est un gaz plus lourd, naturellement produit par l'activité volcanique. L'acide chlorhydrique, très corrosif, est utilisé dans l'industrie pour le décapage du fer. Il sert aussi dans l'industrie chimique (production de chlorures, décomposition thermique des gaz, formation de composés insaturés), alimentaire (fabrication de gélatine) et pharmaceutique. Il est aussi émis dans l'air lors de l'incinération des déchets. Son origine dans l'atmosphère est donc surtout anthropique et provient de son utilisation et de sa formation en tant que produit secondaire. Dans l'environnement, son devenir dépend de plusieurs facteurs tels la présence d'eau dans les sols, les caractéristiques chimiques et minérales du sol. Dans l'eau, l'acide chlorhydrique est en grande partie dissocié. La présence de carbonates dans les sols neutralise l'HCl.

L'acide chlorhydrique est classé dans la famille des gaz et vapeurs irritants primaires qui présentent un fort potentiel irritant et corrosif en exposition aiguë pour les yeux et l'appareil respiratoire supérieur en raison de son importante hydrosolubilité. Sa toxicité a été démontrée par des études expérimentales chez l'homme sain et l'animal.

L'acide chlorhydrique figure dans le groupe 3 du Centre International de Recherche sur le Cancer (CIRC), parmi les composés qui ne peuvent pas être classés quant à leur cancérogénicité.

Usine CRISTAL UNION sur la commune de Sillery

Les valeurs toxicologiques recensées pour des effets à seuil par inhalation sont présentées dans le Tableau 12.

Substance	VTR _i (µg/m ³)	Effets critiques associés, type d'étude et source
Acide chlorhydrique (HCl)	20	hyperplasies de la muqueuse nasale, étude sur les rats US-EPA, 1995
	9	Effets sur l'appareil respiratoire (hyperplasies de la muqueuse nasale, même étude que celle de l'OEHHA), étude sur les rats, OEHHA, 2005

Tableau 12 : Présentation des VTR pour les effets à seuil par inhalation de l'acide chlorhydrique

Les évaluations de l'US-EPA et de l'OEHHA sont basées sur la même étude réalisée sur des rats. Elles se distinguent seulement par l'extrapolation des données à l'homme (valeurs retenues pour les paramètres physiologiques). Nous choisissons donc de privilégier la VTR de l'US-EPA, conformément à la note d'information N°DGS/EA1/DGPR/2014/307 du 31 octobre 2014.

3.3.2. CHROME

Dans l'atmosphère, le chrome existe surtout sous forme de particules et provient essentiellement de l'industrie chimique et de la combustion de gaz, charbon et pétrole. Les principales voies de pénétration dans l'organisme sont pulmonaires, digestives et accessoirement cutanées. Ce sont essentiellement les sels hexavalents hydrosolubles (acide chromique, chromate et bichromate de sodium et potassium,...) qui sont à l'origine de la toxicité systémique et de la cancérogénicité du chrome.

Dans l'organisme, la majeure partie du chrome (VI) est transformée en chrome (III) après pénétration dans les globules rouges, mais aussi le foie, la surface des alvéoles pulmonaires et les macrophages alvéolaires.

Par inhalation, en exposition chronique, le tractus respiratoire est la principale cible d'expression de la toxicité du chrome. L'exposition répétée par inhalation de vapeurs et poussières de chrome peut provoquer, dès 2 µg/m³, des irritations, des épistaxis, un écoulement nasal chronique, du prurit, une sécheresse du nez, une perforation et une atrophie des muqueuses nasales, des bronchites et des diminutions de la fonction pulmonaire. Des cas d'asthme ont été observés chez des travailleurs sensibilisés.

Le Cr (VI) est cancérogène pour l'homme par inhalation (groupe 1 du CIRC et groupe A de l'US-EPA). Plusieurs études épidémiologiques en milieu professionnel ont montré une corrélation entre l'exposition au chrome et le cancer du poumon.

Dans le cadre de cette étude, nous retenons la forme chrome VI (forme la plus préoccupante) pour une exposition chronique, par inhalation, pour ses effets sans seuil.

Les ERU proposés pour les effets sans seuil par inhalation chronique de chrome VI sont présentés dans le Tableau 13.

Usine CRISTAL UNION sur la commune de Sillery

Substance	ERU _i ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) ⁻¹	Effets critiques associés, type d'étude et source
Chrome VI	1,2.10 ⁻²	Cancer du poumon, étude sur l'homme, US-EPA 1998
	7,6.10 ⁻²	Cancer du poumon, étude sur l'homme, Santé Canada, 1993
	4.10 ⁻²	Cancer du poumon, étude sur l'homme, RIVM, 1999
	4.10⁻²	Cancer du poumon, étude sur l'homme, OMS, 2000
	1,5.10 ⁻¹	Cancer du poumon, étude sur l'homme, OEHHA, 2002

Tableau 13 : Présentation des ERU pour les effets sans seuil par inhalation du chrome VI

Les effets sans seuil par inhalation (risque cancérogène) pour le chrome VI ont été évalués par 5 organismes. Dans la mesure où toutes les évaluations sont basées sur des études épidémiologiques, les données de l'US-EPA et de l'OMS sont privilégiées par rapport à celles du RIVM, de Santé Canada et de l'OEHHA (note de la DGS du 31 octobre 2014). L'excès de risque proposé par l'OMS est issu de plusieurs études épidémiologiques et apparaît donc plus robuste. Nous choisissons de le retenir pour cette étude. On notera de plus que l'ERU de l'OMS a également été retenu par l'INERIS dans le cadre de son rapport de mars 2009 concernant le choix des VTR, du fait :

- de l'utilisation de 3 études différentes (1979, 1982, 1990) par l'OMS alors que l'US-EPA n'en utilise qu'une (1975),
- de la prise en compte de la concentration d'exposition au chrome hexavalent alors que la VTR de l'US-EPA est calculée à partir de l'exposition au chrome total.

3.3.3. DIOXYDE D'AZOTE

Les oxydes d'azote (NO_x) sont des gaz composés d'au moins une molécule d'azote et une molécule d'oxygène, il s'agit principalement du NO et du NO₂. Parmi les NO_x, le dioxyde d'azote (NO₂) présente le plus grand intérêt sur le plan sanitaire. La principale voie d'exposition du NO₂ est la voie aérienne, par exposition à l'air extérieur et intérieur des locaux et par le tabagisme. 80 à 90 % du NO₂ inhalé est absorbé et distribué à partir du système circulatoire dans tout le corps après s'être dissout partiellement dans le mucus des voies respiratoires supérieures. Des études expérimentales chez le rat ont montré que le NO₂ était excrété via les urines.

Sa toxicité respiratoire, comparée aux autres polluants, est cependant assez faible. En raison de son interaction avec d'autres polluants, ce polluant est plus considéré comme un indicateur de pollution que pour sa toxicité propre.

Dans le cadre de cette étude le dioxyde d'azote est étudié pour ses effets à seuil par inhalation.

Usine CRISTAL UNION sur la commune de Sillery

La seule valeur de référence disponible pour une exposition de type chronique est la valeur guide définie en moyenne annuelle par l'OMS (Tableau 14), valeur indicative fixée pour protéger le grand public des effets sanitaire du dioxyde d'azote gazeux. Cette valeur est basée sur des changements légers de la fonction respiratoire chez les asthmatiques.

Substance	Valeur Guide ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	Effets critiques associés, type d'étude et source
NO_x (NO_2)	40	Effets respiratoires, études sur l'homme, OMS, 2005

Tableau 14 : Présentation de la valeur guide pour les effets à seuil par inhalation chronique des NO_x

3.3.4. DIOXYDE DE SOUFRE

Le dioxyde de soufre (SO_2) est un gaz incolore avec une odeur âcre qui se dissout très facilement dans l'eau. Dans l'air, le SO_2 subit des transformations en acide sulfurique, trioxyde de soufre ou sulfates. Le bruit de fond naturel en zone rurale est généralement inférieur à $5 \mu\text{g}/\text{m}^3$ (source : OMS).

L'inhalation est la principale voie d'exposition au SO_2 . De par sa grande solubilité dans l'eau, ce dernier est facilement absorbé par les muqueuses du nez et des poumons. L'atteinte des voies aériennes inférieures est favorisée par la fixation du SO_2 sur des particules fines en suspension dans l'air. Après son passage dans le sang à partir des poumons, il se transforme en sulfates pour être finalement éliminé dans les urines.

En milieu professionnel et à de fortes concentrations de SO_2 , des troubles rapides de la fonction respiratoire ont été démontrés. Des brûlures au niveau des yeux, du nez et de la gorge, une dyspnée, des douleurs diffuses au niveau de la poitrine, des nausées, des vomissements et une incontinence urinaire ont aussi été relatés.

Cependant, les données qui résultent d'observations épidémiologiques mettent en cause des expositions complexes où le SO_2 n'est qu'un des composants et un des indicateurs de pollution parmi d'autres. Sa responsabilité directe reste encore discutée et les études sur les effets des expositions prolongées à la pollution mettent plus en cause les particules que le SO_2 .

À ce jour, aucune valeur pour une exposition de type chronique (1 an ou plus) n'est proposée. En effet, la valeur définie précédemment par l'OMS ($50 \mu\text{g}/\text{m}^3$) a été remplacée en 2005 par une valeur en moyenne journalière de $20 \mu\text{g}/\text{m}^3$, le respect de cette valeur assurant un niveau d'exposition annuel suffisamment bas. Dans le cadre de cette étude, nous choisissons de nous référer au Conseil Supérieur d'Hygiène Publique de France (CSHPF) et au décret ministériel du 15 février 2002 qui préconisent un seuil de $50 \mu\text{g}/\text{m}^3$ pour une exposition annuelle.

Substance	Valeur Guide ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	Effets critiques associés, type d'étude et source
SO_2	50	Effets respiratoires CSHPF 1997

Tableau 15 : Présentation de la valeur guide pour les effets à seuil par inhalation chronique du SO_2

3.3.5. NICKEL

Le nickel est présent naturellement dans l'environnement. Dans l'industrie, il est principalement utilisé pour la production d'aciers inoxydables et autres aciers spéciaux dans le but d'améliorer leurs propriétés mécaniques et leur résistance à la corrosion et à la chaleur. Le nickel est également utilisé pour la préparation d'alliages non ferreux pour la fabrication d'outils, d'ustensiles de cuisine et de ménage. Il est utilisé dans les revêtements électrolytiques des métaux et comme catalyseur en chimie organique.

Par inhalation, les principaux effets portent sur une atteinte respiratoire (baisse de la capacité vitale, bronchite chronique, emphysème) mesurée dans des études en milieu professionnel. D'autres effets hématologiques, hépatiques et rénaux sont discutés.

Le CIRC (1990) a classé les composés du nickel dans le groupe 1 (cancérogène pour l'homme) et le nickel métallique dans le groupe 2B (probablement cancérogène pour l'homme). L'OMS distingue le nickel métal, cancérogène possible pour l'homme (groupe B2 : les données ne sont suffisantes que chez l'animal), des composés du nickel classés cancérogènes chez l'homme (classe 1 : les données sont suffisantes).

De nombreux composés du nickel existent et nous ne connaissons pas dans le cadre de cette étude la forme du nickel en présence. Nous faisons ainsi le choix de traiter des VTR qui concerne le plus de forme du nickel, à savoir le nickel et composés, ce qui exclut les formes de faible solubilité (à savoir oxyde de nickel et sous-sulfure de nickel).

Le nickel est étudié dans cette étude pour ses effets à seuil.

Les VTR proposées pour les effets à seuil par inhalation chronique du nickel sont présentées dans le Tableau 16.

Substance	VTR _i (µg/m ³)	Effets critiques associés, type d'étude et source
Nickel et ses composés (hors oxyde de nickel)	0,09 Sulfate de nickel	Effets respiratoires, étude sur l'animal, ATSDR, 2005
	0,05 Composés du nickel	Effets respiratoires, étude sur l'animal, RIVM, 2001
	0,014 Composés du nickel sauf oxyde de nickel	Effets sur le système respiratoire et lymphatique, étude sur l'animal, OEHHA, 2012

Tableau 16 : Présentation des VTR pour les effets à seuil par inhalation du nickel

Pour les effets à seuil par inhalation, trois organismes proposent une VTR pour le nickel et ses composés à partir d'une même étude. Les différences résultent donc dans la construction de ces VTR et les facteurs d'incertitude qui sont retenus. L'INERIS dans sa fiche de choix de valeur toxicologique de référence pour le nickel et ses composés de janvier 2018, fait le choix de retenir la valeur de l'ATSDR qui semble la plus appropriée pour la prise en compte des enfants. L'Indice de confiance vis-à-vis de cette valeur est élevé. Nous suivons donc ce choix qui est par ailleurs en accord avec la note d'information de la DGS N°DGS/EA1/DGPR/2014/307 du 31 octobre 2014.

3.3.6. POUSSIÈRES

Les poussières sont connues pour les risques d'affections respiratoires et cardiovasculaires qu'elles peuvent provoquer. Les poussières présentent des effets dits non spécifiques, liés principalement à leur taille qui conditionne elle-même le niveau de pénétration dans l'appareil respiratoire. Dans la partie inhalable des particules, nous distinguons, en fonction du D_{ae50} (diamètre aérodynamique médian), la fraction extrathoracique (D_{ae50} compris entre 10 et 100 μm), la fraction thoracique ($D_{ae50} = 10 \mu\text{m}$), la fraction trachéo-bronchique (D_{ae50} compris entre 4 et 10 μm) et la fraction alvéolaire dont le D_{ae50} est inférieur ou égal à 4 μm .

Les $\text{PM}_{2,5}$ (diamètre inférieur à 2,5 μm) entraînent en plus de leurs effets non spécifiques, une augmentation des troubles liés aux autres éléments polluants présents de façon concomitante. Les études à long terme sont peu nombreuses, mais les principaux effets reconnus sont les suivants : réduction de la durée de vie, augmentation des cas de bronchites chez les enfants, réduction des capacités respiratoires chez les adultes et les enfants.

Dans le cadre de cette étude les $\text{PM}_{2,5}$ sont étudiées pour leurs effets à seuil par inhalation pour une exposition chronique.

La seule valeur de référence disponible pour une exposition de type chronique est la valeur guide pour la protection de la santé humaine définie en moyenne annuelle par l'OMS (Tableau 17).

Substance	Valeur Guide ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	Effets critiques associés, type d'étude et source
Poussières $\text{PM}_{2,5}$	10	Effets respiratoires et mortalité par cancer, étude sur l'homme, OMS, 2005

Tableau 17 : Présentation de la valeur guide pour les effets à seuil par inhalation chronique des $\text{PM}_{2,5}$

L'OMS considère que des effets sanitaires des $\text{PM}_{2,5}$ peuvent être observés à partir d'une concentration dans l'air de 10 $\mu\text{g}/\text{m}^3$. Cette valeur correspond au niveau le plus bas pour lequel une augmentation significative de la mortalité par cancer a été observée dans l'étude ACS (American Cancer Society Study, Pope et al, 2002), avec une confiance supérieure à 95 %.

3.3.7. SYNTHÈSE DES RELATIONS DOSE-RÉPONSE PAR INHALATION

Parmi les relations dose-réponse relevées dans les bases de données toxicologiques, les valeurs retenues pour l'exposition chronique par inhalation sont résumées dans les deux tableaux suivants.

Le Tableau 18 récapitule les VTR et les Valeurs Guide (VG) choisies pour les polluants retenus pour l'exposition chronique par inhalation pour des effets à seuil.

Usine CRISTAL UNION sur la commune de Sillery

Substances	Effets à seuil	
	VTR _i (µg/m ³)	Effets critiques, source et année
Acide chlorhydrique	20	Effets sur la muqueuse nasale, US-EPA, 1995
<i>Dioxyde d'azote (NO₂)</i>	40 (VG)	<i>Effets respiratoires, OMS, 2005</i>
<i>Dioxyde de soufre (SO₂)</i>	50 (VG)	<i>Effets respiratoires, CSHPF, 1997</i>
Nickel	0,09	Effets respiratoires, ATSDR, 2005
<i>Poussières PM_{2,5}</i>	10 (VG)	<i>Effets respiratoires et mortalité par cancer du poumon, OMS, 2005</i>

Tableau 18 : Synthèse des VTR et des Valeurs Guide des polluants retenus pour l'exposition chronique par inhalation pour des effets à seuil

Pour le dioxyde d'azote (NO₂), le dioxyde de soufre (SO₂) et les PM_{2,5}, les valeurs présentées en italique sont des Valeurs Guide (VG) pour la protection de la santé, proposées par l'OMS ou le CSHPF.

Conformément à la note d'information de la DGS N°DGS/EA1/DGPR/2014/307 du 31 octobre 2014, **ces valeurs ne serviront pas à l'expression quantitative du risque sanitaire mais elles pourront toutefois être comparées aux concentrations moyennes annuelles dans l'air.**

Le Tableau 19 récapitule les ERU sélectionnés pour les polluants retenus pour l'exposition chronique par inhalation pour des effets sans seuil.

Substances	Effets sans seuil	
	ERU _i (µg/m ³) ⁻¹	Effets critiques, source et année
Chrome VI	4.10⁻²	Cancer du poumon, OMS, 2000

Tableau 19 : Synthèse des ERU des composés retenus pour l'exposition chronique par inhalation pour des effets sans seuil

4. ÉTAPE 3 : ÉVALUATION DE L'EXPOSITION HUMAINE

L'évaluation quantitative des expositions consiste à estimer les doses de substances, associées au site, auxquelles les populations sont exposées par inhalation. L'estimation des concentrations en substances dans l'air a été réalisée à partir des résultats d'une étude de la dispersion atmosphérique, tenant compte des caractéristiques réelles du site (topographie, météorologie, émissions).

Ce chapitre présente dans un premier temps le principe et les hypothèses retenues pour les calculs de dispersion atmosphérique. Dans une seconde partie, les méthodes et résultats des calculs de concentration en substance dans les différents milieux d'exposition sont détaillés.

4.1. PRÉSENTATION DU MODÈLE DE DISPERSION ATMOSPHÉRIQUE UTILISÉ

Il existe essentiellement trois familles de modèles numériques adaptés à l'étude de la dispersion atmosphérique des polluants dans l'environnement, à savoir les modèles gaussiens, les modèles lagrangiens et les modèles eulériens. Ces trois familles de modèles correspondent à différentes approches mathématiques de résolution des équations de la mécanique des fluides. Le choix de l'utilisation de l'un ou l'autre de ces modèles doit tenir compte de leurs limites d'utilisation respectives et des temps de calcul nécessaires pour arriver aux résultats attendus.

Dans le cadre de cette étude, EGIS Environnement a utilisé un **modèle de dispersion atmosphérique de type gaussien**. Ce type de modèle, largement répandu pour les études de qualité de l'air, présente l'avantage d'un temps de calcul très court, permettant ainsi l'étude d'un grand nombre de situations météorologiques. Les modèles gaussiens sont par ailleurs utilisables dans la plupart des configurations de site industriel.

Ainsi, cette étude a été réalisée en utilisant le logiciel de dispersion atmosphérique ADMS 5, Atmospheric Dispersion Modelling System, développé par le CERC, le Cambridge Environmental Research Consultants Ltd et intégrant un modèle de type **gaussien de seconde génération**³. Ce logiciel, largement utilisé en Europe, est reconnu en France (INERIS, InVS) pour la modélisation de la dispersion atmosphérique des rejets des installations industrielles, ainsi qu'à l'international (respecte notamment les recommandations de l'US-EPA, l'agence américaine de protection de l'environnement). Il

³ Les outils de « seconde génération » permettent une description plus fine de la turbulence atmosphérique que les approches numériques précédentes. La couche limite atmosphérique est décrite de façon continue et non plus sous la forme de classes de stabilité limitant le nombre de situations météorologiques. Le niveau de turbulence de l'atmosphère est par ailleurs caractérisé verticalement en 3 dimensions en tenant compte à la fois de la turbulence d'origine thermique et de la turbulence d'origine mécanique en fonction des caractéristiques d'occupation des sols.

Usine CRISTAL UNION sur la commune de Sillery

permet de répondre à l'ensemble des éléments demandés par la législation française et européenne sur la qualité de l'air.

Les chapitres suivants présentent les paramètres d'entrée permettant de tenir compte des spécificités intrinsèques du site : caractéristiques émissives, données météorologiques et caractéristiques concernant l'occupation des sols.

4.2. LES DONNÉES D'ENTRÉE DU MODÈLE RELATIVES AUX ÉMISSIONS

4.2.1. FLUX DES POLLUANTS TRACEURS DE RISQUE

Les caractéristiques physiques des rejets (chaudières, four à chaux et dépoussiéreurs (silo 1 et silo 2) ont été présentées du Tableau 5 au Tableau 8. Les flux des polluants traceurs de risque retenus sont présentés dans le Tableau 20 et le Tableau 21.

	Chaudières au gaz naturel		Four à chaux	
	Corinne et Jacqueline	Francine	Laveur de gaz	Laveur de buées
Polluants flux (g/s)				
SO ₂	1,89E-02	3,25E-02	2,08E+00	3,43E-03
NO _x	1,42E+00	2,44E+00	6,11E-01	1,11E+00
Poussières	5,27E-02	7,35E-02	8,33E-02	1,03E-02
HCl	/	/	2,78E-01	/
Cr	/	/	6,25E-05	/
Ni	/	/	2,92E-04	/

Tableau 20 : Flux des polluants traceurs de risque à l'émission pour les chaudières et le four à chaux

	Dépoussiéreurs 1					Dépoussiéreurs 2	
	Silo 1 Manutention	Silo 1 Conditionnement d'air	Chgt wagon	Chgt camions	Bâtiment sécheur	Silo 2 conditionnement d'air	Silo 2 manutention
Polluants flux (g/s)							
Poussières	1,16E-01	1,40E-01	7,76E-02	1,01E-01	1,16E-01	1,57E-01	5,67E-02

Tableau 21 : Flux des polluants traceurs de risque à l'émission pour les dépoussiéreurs

4.2.2. PRISE EN COMPTE DES RYTHMES D'ÉMISSION

Compte tenu de la discontinuité des émissions, un fichier de variation des émissions est intégré au modèle de dispersion atmosphérique. Ce profil de variation rend compte des périodes d'émission, et est légèrement majorant compte tenu des simplifications :

- Pour les **chaudières**, le **laveur des buées** et le **laveur de gaz** : les flux à l'émission pour les traceurs considérés sont renseignés sur 135 jours du 1er septembre à la mi-janvier 24h/24. En dehors de ces heures, les flux renseignés sont nuls. Ceci correspond à 3 240 h/an (données Cristal Union).
- Pour le **silo 1 et silo 2, circuit de manutention** : le flux à l'émission est renseigné 24h/24 sur 288 jours réparties sur l'année (soit 6 912 h/an).
- Pour le **silo 1 et silo 2, circuit conditionnement d'air**: le flux à l'émission de poussières est renseigné pour 153 jours du 1er septembre au 31 janvier 24h/24 puis le reste de l'année sur 125 jours 24h/24 (soit 6 672 h/an).
- Pour le **chargement wagon**, le flux à l'émission est renseigné sur 30 jours répartis sur l'année, 24h/24
- Pour le **chargement camion**, le flux à l'émission est renseigné 24h/24 sur 288 jours réparties sur l'année (soit 6 912 h/an).
- Pour le **bâtiment sécheur**, le flux à l'émission est renseigné sur 135 jours du 1er septembre à la mi-janvier 24h/24.

4.3. LES DONNÉES D'ENTRÉE DU MODÈLE RELATIVES À LA TOPOGRAPHIE ET À L'OCCUPATION DES SOLS

4.3.1. TOPOGRAPHIE

Compte tenu du relief peu marqué aux alentours du site (50 à 150 m d'altitude environ dans un rayon de 6 km autour du site), **aucune donnée altimétrique n'est intégrée au modèle de dispersion atmosphérique**. Le relief n'est donc pas pris en compte dans les calculs⁴.

⁴ Pour les calculs de dispersion atmosphérique, il est généralement conseillé de tenir compte du relief à partir de dénivelés de l'ordre de 10 %.

4.3.2. OCCUPATION DES SOLS ET BÂTI

La rugosité est une grandeur qui permet de caractériser les irrégularités d'occupation du sol (présence de bâtiments, de forêts, de la mer, etc.). Elle est exprimée avec une unité de longueur (mètre) qui caractérise l'épaisseur de la couche qui contient ces éléments d'occupation du sol. La rugosité varie de quelques dixièmes de millimètres (mer calme) à quelques mètres (dans les zones très fortement urbanisées). Cette grandeur est utilisée lors des calculs de dispersion atmosphérique pour estimer la turbulence de l'atmosphère d'origine mécanique (friction du vent à la surface du sol). Dans le cadre de cette étude, une valeur de **rugosité de 0,3 mètre** est affectée à l'ensemble du domaine d'étude. Elle permet de rendre compte de l'occupation des sols du domaine d'étude correspondant à un environnement agricole.

Par ailleurs, **les bâtiments** proches des sources peuvent avoir un effet non négligeable sur la dispersion atmosphérique des polluants, dans la mesure où leurs dimensions sont importantes par rapport aux dimensions des rejets. Le modèle de dispersion atmosphérique utilisé permet de prendre en compte de manière simplifiée l'influence aérodynamique des bâtiments sur la dispersion des polluants. Le modèle considère alors l'entraînement d'une partie du panache dans une zone de recirculation, ou « cavité », en aval du bâtiment, isolée du flux principal.

De manière générale, seuls les bâtiments très proches ou accolés à la source, dont la hauteur est supérieure au tiers de la hauteur de la source, sont à considérer. Dans le cadre de cette étude, nous avons donc intégré aux calculs de dispersion atmosphérique les bâtiments sur lesquels ou à proximité desquels les sources sont positionnées (Tableau 22 et Figure 7).

		Bâti influant
Chaudières	Corinne + Jacqueline	Bâtiment A
	Francine	Bâtiment A
Four à chaux	Laveur des buées	Bâtiment C
	Laveur de gaz	Bâtiment C
Dépoussiéreurs	Silo 1 - Manutention	Bâtiment B
	Silo 1 - Conditionnement	Bâtiment B
	Silo 2 - Manutention	Bâtiment B
	Silo 2 - Conditionnement	Bâtiment B
	Chargement wagons	Aucun
	Chargement camions	Bâtiment A
	Bâtiment sécheur	Bâtiment A

Tableau 22 : Bâtiment principalement influant pour chaque rejet

Usine CRISTAL UNION sur la commune de Sillery

Les caractéristiques de ces bâtiments sont présentées dans le Tableau 23.

Caractéristiques des bâtiments	Bâtiment A	Bâtiment B	Bâtiment C	Bâtiment D
Longueur	157 m	153 m	23 m	17 m
Largeur	102 m	61 m	23 m	12 m
Hauteur**	13 m	20 m	9 m	13 m
Angle***	120°	120°	120°	170°

** hauteur moyenne des différents bâtiments globalisés sous le nom « bâtiment A »

*** Angle : angle en degrés entre le Nord et longueur

Tableau 23 : Caractéristiques des bâtiments pris en compte

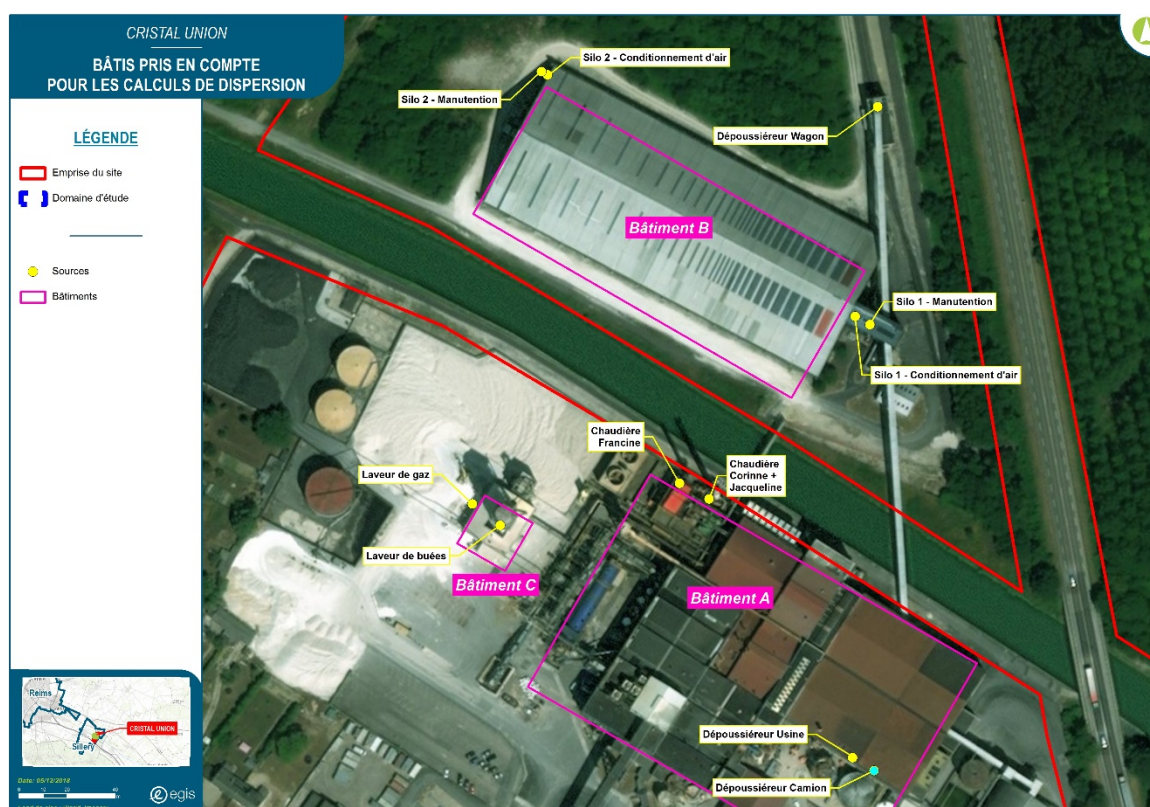


Figure 7 : Visualisation du bâti pris en compte pour les calculs de dispersion atmosphérique

4.4. LES DONNÉES D'ENTRÉE DU MODÈLE RELATIVES À LA MÉTÉOROLOGIE

Les paramètres météorologiques utilisés pour les calculs de dispersion proviennent de la station météorologique Météo France de **Reims - Courcy** (code station n° 51183001) pour la **température**, la **vitesse** et la **direction du vent**, ainsi que pour la **nébulosité**⁵. Cette station, située à environ 15 km au sud du site, est jugée comme la plus représentative des conditions météorologiques du site. Elle est localisée sur la Figure 6.

Le fichier météorologique utilisé dans le cadre de cette étude comporte 5 ans de données tri-horaires interpolées en données horaires, du 1^{er} janvier 2000 au 31 décembre 2004. Le fichier météorologique utilisé pour les calculs est ainsi constitué de 43 800 échéances temporelles, engendrant autant de simulations pour chaque polluant considéré. Il s'agit du même fichier météorologique que celui utilisé pour l'évaluation des risques sanitaires réalisée en 2007.

4.4.1. DIRECTION DU VENT

D'après la Figure 8, sur la période de 5 ans considérée, les vents dominants sont de secteur Sud-Ouest (de 170° à 260°) à hauteur de 44% des vents.

⁵ La nébulosité est une mesure de la couverture nuageuse. Ce paramètre permet d'appréhender l'état de turbulence de l'atmosphère.

Usine CRISTAL UNION sur la commune de Sillery

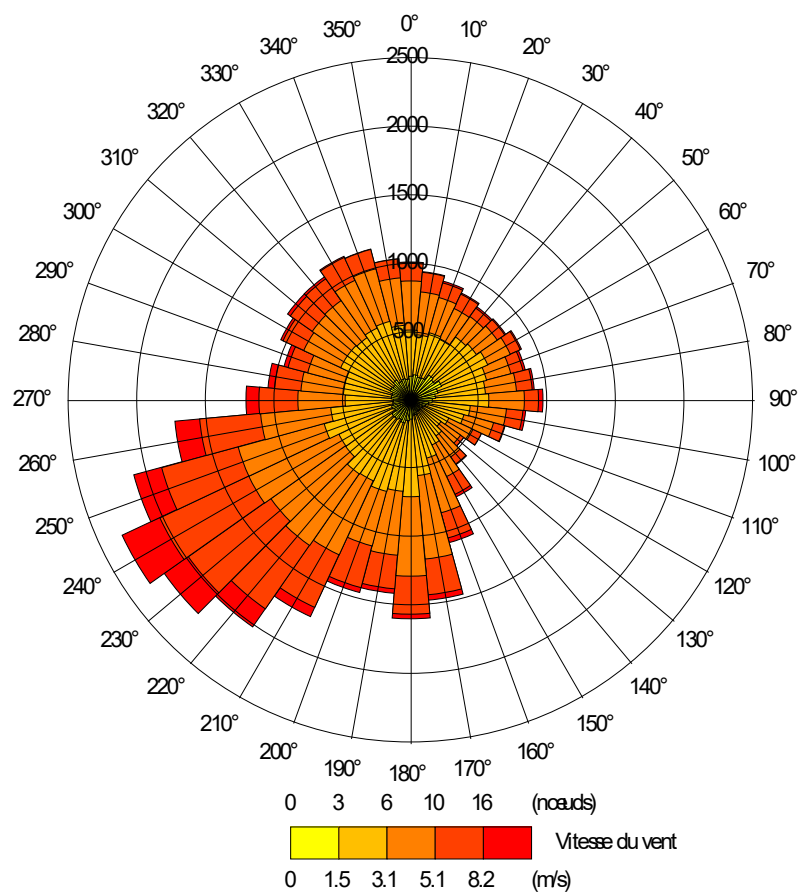


Figure 8 : Rose des vents reconstituée par le modèle : station Météo France de Reims - Courcy (période du 1^{er} janvier 2000 au 31 décembre 2004)

Usine CRISTAL UNION sur la commune de Sillery

4.4.2. VITESSE DU VENT

La répartition de la vitesse du vent est présentée ci-après :

- vents calmes, inférieurs à 0,75 m/s : 6,2 % ;
- vents faibles de 0,75 à 3 m/s : 46 % ;
- vents modérés, de 3 à 8 m/s : 44,4 % ;
- vents assez forts, de 8 à 14 m/s : 3,3 % ;
- vents forts, de 14 à 20 m/s : 0,1 % ;
- vents très forts, supérieurs à 20 m/s : 0 %.

Les vents calmes, correspondant à des vents dont la vitesse est trop faible pour être mesurée et la direction trop instable pour être déterminée, ont été pris en compte.

Lors des conditions de « vents calmes », le résultat est une moyenne pondérée de la concentration obtenue avec une approche gaussienne classique et de la concentration obtenue avec une approche de dispersion radiale symétrique (la pondération dépendant de la vitesse du vent à 10 m). La dispersion radiale symétrique est modélisée comme une source passive qui a une hauteur équivalente à la hauteur maximale d'un panache standard obtenu lors des calculs de surélévation. La dispersion est supposée comme étant équiprobable dans toutes les directions.

Sur la zone d'étude, les vents sont majoritairement **faibles** à **modérées** de 0,75 à 8 m/s (environ 90,4 % du temps) impliquant de ce fait une dispersion atmosphérique plutôt modérée.

4.4.3. TEMPÉRATURE

Les températures ont été prises en compte dans les calculs de dispersion atmosphérique. Les statistiques moyennes mensuelles par année des températures du fichier météorologique sont présentées dans le Tableau 24.

Mois	janv.	fév.	mars	avril	mai	juin	juillet	août	sept	oct.	nov.	déc.
2000	3,2	5,9	7,2	9,8	15,1	17,0	16,4	18,7	16,1	11,7	7,9	6,4
2001	3,9	4,7	8,0	8,4	15,0	15,7	19,1	19,4	13,0	14,3	5,3	2,1
2002	3,5	7,5	7,6	9,6	13,5	17,5	18,2	18,4	13,9	11,1	8,5	5,6
2003	1,7	1,8	8,3	10,0	14,3	19,5	19,9	21,8	14,7	8,3	7,8	4,2
2004	3,2	4,6	6,0	10,0	12,5	16,7	18,1	19,2	16,1	11,8	6,7	2,1
2000 à 2004	3,1	4,9	7,4	9,6	14,1	17,3	18,3	19,5	14,8	11,4	7,2	4,1

Tableau 24 : Statistiques mensuelles des températures

4.4.4. STABILITÉ DE L'ATMOSPHÈRE

La turbulence de l'atmosphère, ou **stabilité atmosphérique**, conditionne l'ampleur de la dilution et du transport des panaches. Selon que l'atmosphère est qualifiée de stable ou d'instable, la dilution des polluants est plus ou moins importante et le panache est plus ou moins rapidement rabattu au sol. On distingue généralement la turbulence d'origine «mécanique», générée par le cisaillement du vent et la présence d'obstacles, et la turbulence d'origine «thermique», générée par la distribution de températures.

Pour rendre compte de l'état de stabilité de l'atmosphère, les modèles de dispersion atmosphériques gaussiens de seconde génération utilisent et calculent les paramètres suivants :

- la **longueur de Monin-Obukhov (L_{MO})**. Cette grandeur, qui a une unité de longueur (m), correspond au ratio de la turbulence d'origine mécanique sur la turbulence d'origine thermique. Elle est déterminée à partir notamment de la connaissance de la vitesse de frottement de l'air en surface (calculée en tenant compte de la vitesse du vent et de la hauteur de rugosité), de la température de l'air, de la capacité calorifique de l'air, etc. ;
- la **hauteur de la couche limite atmosphérique (h)**. La couche limite atmosphérique est la zone de la troposphère influencée par la surface terrestre. C'est dans cette zone que la dispersion des polluants est observée.

Les différentes valeurs prises par le ratio h/L_{MO} permettent globalement de catégoriser l'atmosphère comme suit :

- $h/L_{MO} > -0,3$ correspond à une atmosphère instable ;
- $-0,3 \leq h/L_{MO} < 1$ correspond à une atmosphère neutre ;
- $h/L_{MO} \geq 1$ correspond à une atmosphère stable.

Le Tableau 25 présente les fréquences d'apparition de ces 3 catégories de stabilité atmosphérique calculées dans le cadre de cette étude. Les conditions de type stable sont prépondérantes (52,7%).

Condition de stabilité		Fréquence d'apparition
Atmosphère instable	$h/L_{MO} > -0,3$	30,2%
Atmosphère neutre	$-0,3 \leq h/L_{MO} < 1$	17,0%
Atmosphère stable	$h/L_{MO} \geq 1$	52,7%

Tableau 25 : Fréquences d'apparition des différentes conditions de stabilité atmosphérique

4.5. MISE EN ŒUVRE DES CALCULS DE DISPERSION ATMOSPHÉRIQUE

Les calculs ont été réalisés sur un domaine d'étude de 8 km sur 8 km environ centré sur le site. Sur ce domaine, une grille de calcul a été établie avec un pas de discrétisation de 85 m, soit 9 087 points de grille. Les calculs ont été effectués pour chacun de ces points de grille.

Les simulations de la dispersion atmosphérique (concentrations dans l'air en moyenne annuelle des traceurs de risque) ont été réalisées en évaluant pour chacune des données horaires contenues dans le fichier météorologique (43 800 échéances temporelles), et pour chacun des points de la grille de calcul (9 087 points).

À partir des concentrations horaires ainsi estimées, on en déduit pour chaque point de la grille, les **concentrations moyennes annuelles** (moyenne des concentrations horaires évaluées pour chacune des 43 800 échéances).

Les calculs de dispersion atmosphérique sont spécifiques aux émissions du site de Cristal Union.

4.6. CHOIX DES RÉCEPTEURS

Les polluants retenus comme traceurs de risque dans cette étude sont : **l'acide chlorhydrique, le dioxyde de soufre, le dioxyde d'azote, les PM_{2,5}, le chrome et le nickel.**

Pour tous ces polluants, les calculs de dispersion atmosphérique ont permis d'estimer les concentrations moyennes annuelles dans l'air attendus sur l'ensemble du domaine d'étude.

Pour rendre compte des résultats et caractériser le risque sanitaire, il est considéré, dans la suite de ce rapport, les concentrations moyennes annuelles estimées en plusieurs endroits (notés récepteurs) du domaine d'étude :

- à **Rmax**, récepteurs localisés au niveau de la concentration maximale dans l'air hors de limites de propriétés des installations ;
- à **R1**, localisés au niveau des habitations potentiellement les plus impactées selon les polluants, situées au nord-est du site ;
- à **R2**, localisés au niveau des habitations les plus proches et potentiellement les plus impactées selon les polluants, situées à l'ouest à 20m du site ;
- à **R3**, au niveau du **groupe scolaire, rue de la Voie du Moulin (Prunay)**, situé au nord-est du site.

Leur localisation est précisée sur la Figure 9.

4.7. RÉSULTATS DES CALCULS DE DISPERSION ATMOSPHÉRIQUE

L'ensemble des résultats cartographiés est présenté en annexe 2.

À titre d'illustration, la Figure 9 et la Figure 10 présentent respectivement la répartition des concentrations moyennes annuelles dans l'air pour le dioxyde d'azote et les PM 2,5.

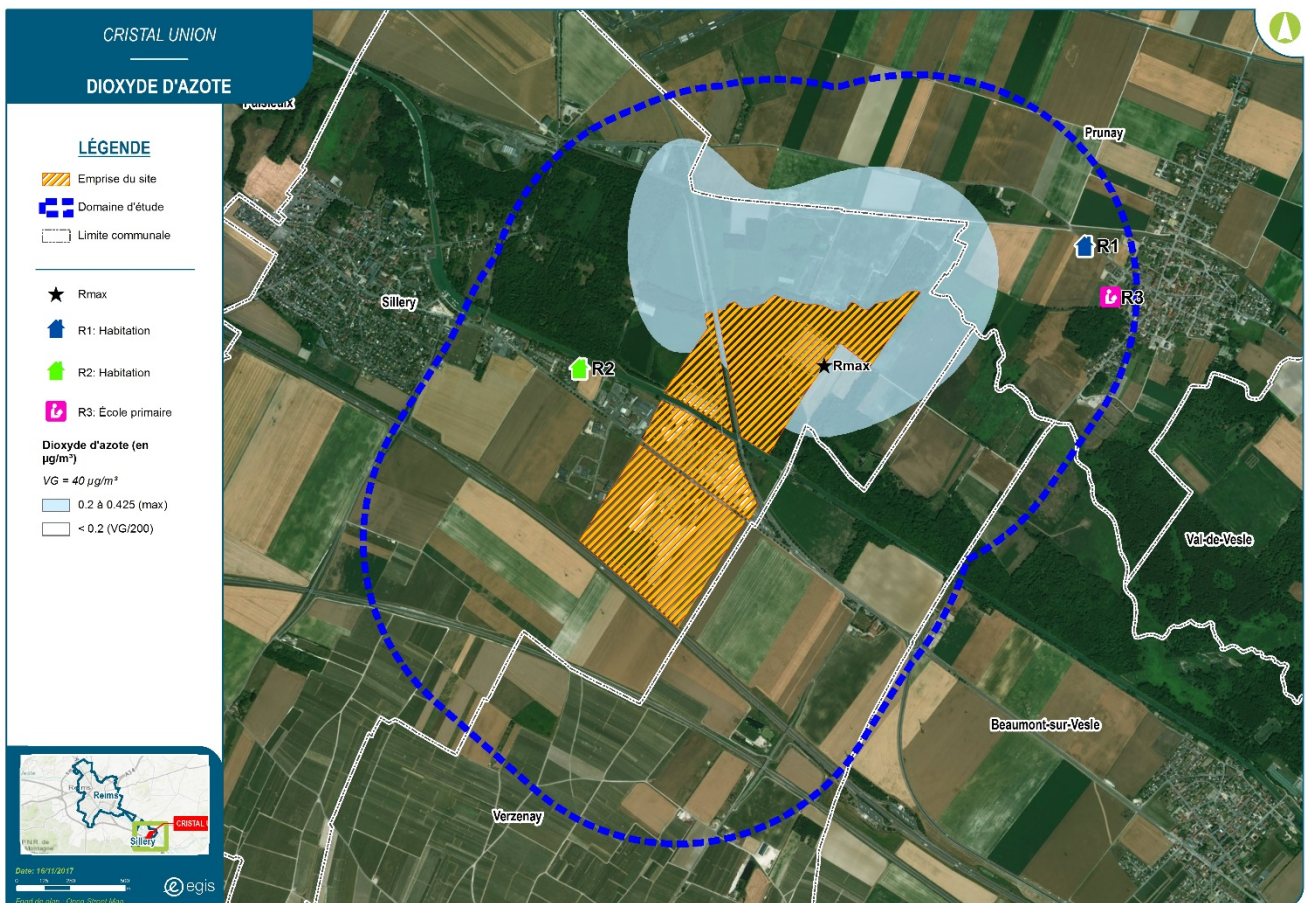


Figure 9 : Concentration moyenne annuelle en dioxyde d'azote dans l'air

Usine CRISTAL UNION sur la commune de Sillery

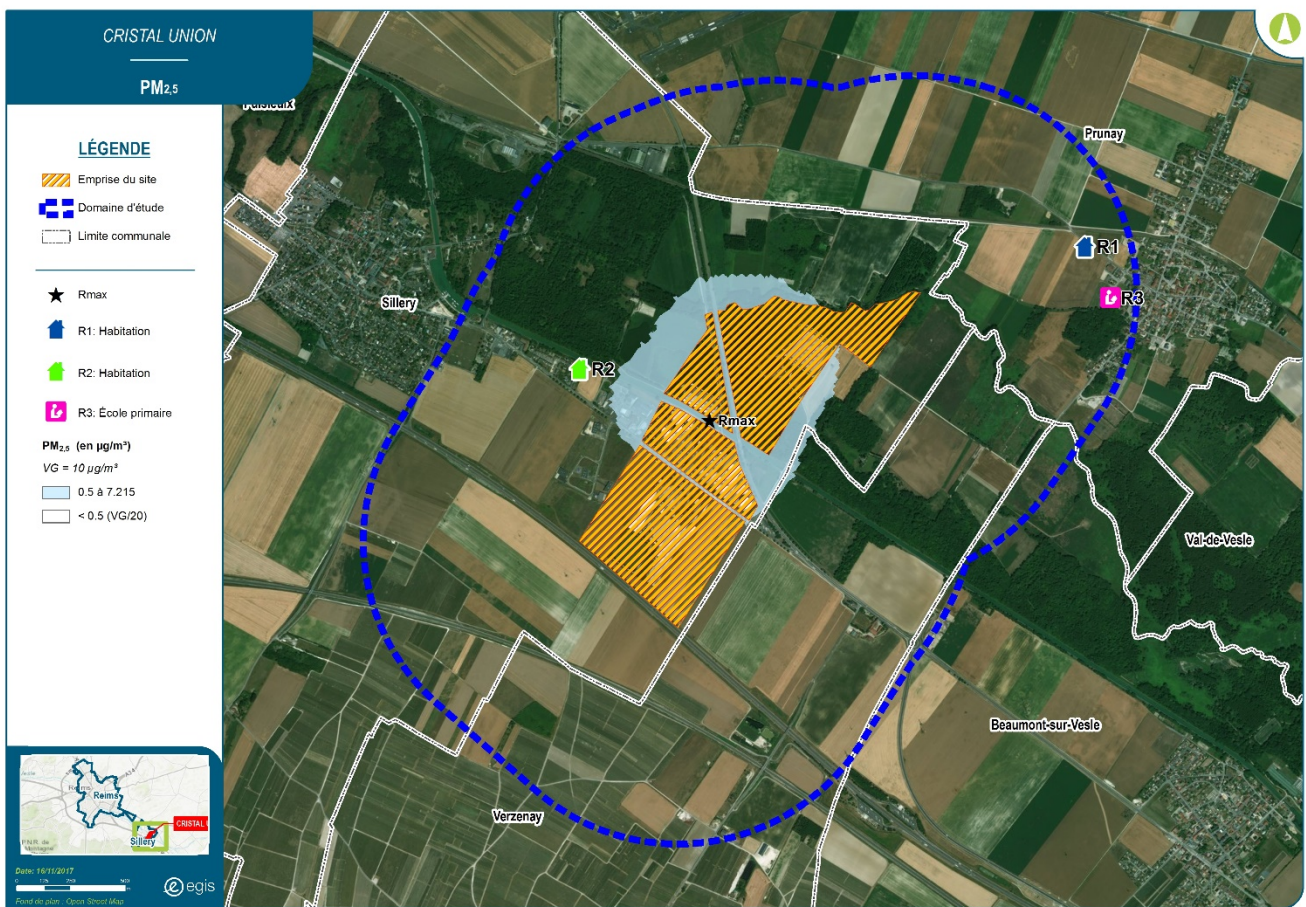


Figure 10 : Concentration moyenne annuelle en PM 2,5 dans l'air

4.7.1. CONCENTRATIONS DANS L'AIR

Pour les substances retenues comme traceurs de risque par inhalation, le Tableau 26 présente les résultats des calculs de concentrations moyennes annuelles dans l'air, hors des limites de propriété du site, au point d'impact maximal et au niveau des récepteurs considérés.

Usine CRISTAL UNION sur la commune de Sillery

Traceurs de risque	Concentrations dans l'air fournies par le modèle			
	Rmax	R1 (Habitations)	R2 (Habitations)	R3 Groupe scolaire rue de la Voie du Moulin (Prunay)
Chrome ng/m^3	1,23E-02	2,34E-03	3,34E-03	2,02E-03
Dioxyde d'azote $\mu g/m^3$	4,25E-01	1,48E-01	1,31E-01	1,29E-01
Nickel ng/m^3	5,74E-02	1,09E-02	1,56E-02	9,42E-03
PM_{2,5} $\mu g/m^3$	7,21E+00	1,02E-01	2,88E-01	8,96E-02
Dioxyde de soufre $\mu g/m^3$	4,54E-03	1,63E-03	1,29E-03	1,42E-03
HCl $\mu g/m^3$	5,78E-02	1,17E-02	1,57E-02	1,01E-02

Tableau 26 : Concentrations moyennes annuelles estimées par le modèle de dispersion atmosphérique des polluants

4.8. CALCUL DE L'EXPOSITION DES POPULATIONS

4.8.1. SCÉNARIOS D'EXPOSITION

Pour les cibles considérées, les paramètres d'exposition retenus sont présentés dans le Tableau 27.

Paramètres d'exposition	Rmax	R1 (Habitations)	R2 (Habitations)	Groupe scolaire rue de la Voie du Moulin (Prunay)
F (sans unité)	1	1	1	0,12
T (ans) (pour les effets sans seuil)	30	30	30	8

Tableau 27 : Paramètres d'exposition retenus pour l'évaluation des risques sanitaires

La fréquence annuelle d'exposition (F) du point récepteur Rmax (pas d'habitations), et des habitations R1 et R2 est considérée comme continue 24 h/j et 365 j/an, soit $F = 1$. Pour le récepteur localisé au niveau du groupe scolaire rue de la Voie du Moulin à Prunay, d'après l'étude GAUVIN [2001] dont les données ont été reprises par l'INERIS [2004], le temps passé dans les locaux d'une école est de 6 h/j et 180 j/an, soit $F = 0,12$ (unité d'exposition l'heure). Ce temps est majoritairement associé à un temps passé en intérieur mais dans une approche majorante nous l'assimilons à un temps passé en extérieur.

La durée d'exposition (T) des points Rmax (pas d'habitations) et des habitations R1 et R2 est fixée à 30 ans. En effet, des études montrent que le temps de résidence moyen d'un ménage dans un même logement est de 30 ans (percentile 90 – étude réalisée en France [Nedellec et al, 1998], percentile 95 de la distribution donnée dans l'Exposure Factor Handbook). La durée d'exposition est fixée à 8 ans pour le récepteur du groupe scolaire rue de la Voie du Moulin à Prunay.

Usine CRISTAL UNION sur la commune de Sillery

4.8.2. EVALUATION DE L'EXPOSITION CHRONIQUE PAR INHALATION

Pour évaluer l'exposition des populations par inhalation, une pénétration dans l'organisme de la totalité des substances inhalées est considérée. Les paramètres physiologiques n'interviennent pas.

La **concentration inhalée** est déduite de l'équation suivante : $CI = C_{air} \times F$

Avec :

- CI : Concentration moyenne annuelle inhalée par la cible (concentration moyenne d'exposition), exprimée en $\mu\text{g}/\text{m}^3$;
- C_{air} : Concentration moyenne annuelle en polluant dans l'air, exprimée en $\mu\text{g}/\text{m}^3$ et estimée à partir de la modélisation de la dispersion atmosphérique ;
- F : Fréquence annuelle d'exposition (sans unité) présentée dans le Tableau 27.

4.8.2.1. RÉSULTATS

Le Tableau 28 présente les concentrations moyennes d'exposition, hors des limites de propriété du site, au point d'impact maximal et au niveau des récepteurs considérés.

Traceurs de risque	Concentrations d'exposition			
	Rmax	R1 (Habitations)	R2 (Habitations)	R3 Groupe scolaire rue de la Voie du Moulin (Prunay)
Chrome ng/m^3	1,23E-02	2,34E-03	3,34E-03	2,42E-04
Dioxyde d'azote $\mu\text{g}/\text{m}^3$	4,25E-01	1,48E-01	1,31E-01	1,55E-02
Nickel ng/m^3	5,74E-02	1,09E-02	1,56E-02	1,13E-03
PM_{2,5} $\mu\text{g}/\text{m}^3$	7,21E+00	1,02E-01	2,88E-01	1,08E-02
Dioxyde de soufre $\mu\text{g}/\text{m}^3$	4,54E-03	1,63E-03	1,29E-03	1,70E-04
HCl $\mu\text{g}/\text{m}^3$	5,78E-02	1,17E-02	1,57E-02	1,21E-03

Tableau 28 : Concentrations moyennes d'exposition pour les traceurs de risque par inhalation

5. ÉTAPE 4 : CARACTÉRISATION DU RISQUE SANITAIRE

5.1. CARACTÉRISATION DU RISQUE PAR INHALATION POUR LES POLLUANTS À EFFETS À SEUIL

Pour le dioxyde d'azote, le dioxyde de soufre et les poussières (PM_{2,5}), qui ne disposent pas de VTR, mais de Valeurs Guide (VG) pour la protection de la santé, les concentrations moyennes annuelles inhalées sont comparées aux VG.

Le Tableau 29 présente le rapport entre la concentration d'exposition liée aux émissions du site (Tableau 28) et la Valeur Guide pour la protection de la santé (VG, présentées dans le Tableau 18).

Traceurs de risque	Rapport Concentration inhalée/VG			
	Rmax	R1 (Habitations)	R2 (Habitations)	R3 Groupe scolaire rue de la Voie du Moulin (Prunay)
Dioxyde de soufre	0,0046 / 50	0,0016 / 50	0,0013 / 50	0,00018 / 50
Dioxyde d'azote (NO₂)	0,43 / 40	0,15 / 40	0,13 / 40	0,016 / 40
Poussières PM_{2,5}	7,21 / 10	0,10 / 10	0,29 / 10	0,01 / 10

Tableau 29 : Comparaison des concentrations inhalées avec les valeurs guide de protection de la santé

Pour ces 3 polluants, les concentrations inhalées sont inférieures aux valeurs guide de protection de la santé. Ainsi, ces substances ne sont pas susceptibles d'engendrer un risque sanitaire au niveau du point d'impact maximal et des points récepteurs considérés.

Pour **les substances disposant d'une VTR pour des effets à seuil par inhalation**, la possibilité d'effets toxiques pour les populations exposées est évaluée par le calcul de l'Indice de Risque (IR), selon la formule suivante :

$$IR_i = \frac{CI}{VTR_i}$$

Avec :

- CI : concentration d'exposition moyenne inhalée, exprimée en µg/m³ d'air inhalé ;
- VTR_i : valeur toxicologique de référence choisie dans cette évaluation, exprimée en µg/m³ d'air inhalé, pour une exposition chronique par inhalation.

Usine CRISTAL UNION sur la commune de Sillery

En termes d'interprétation, lorsque l'indice de risque est inférieur à 1, la survenue d'effets à seuil paraît peu probable, même pour les populations sensibles. Au-delà de 1, la possibilité d'apparition d'effets ne peut être exclue.

Le Tableau 30 présente les indices de risque à seuil par inhalation calculés à partir de la concentration d'exposition (Tableau 28) et de la valeur de référence retenue pour caractériser le danger (VTR_i, présentées dans le Tableau 18).

Traceurs de risque	Indice de risque par inhalation			
	Rmax	R1 (Habitations)	R2 (Habitations)	R3 Groupe scolaire rue de la Voie du Moulin (Prunay)
HCl	2,89E-03	5,85E-04	7,85E-04	6,06E-05
Nickel	6,38E-04	1,21E-04	1,73E-04	1,26E-05

Tableau 30 : Indice de Risque (IR) par inhalation pour une exposition chronique

Tous les indices de risque sont inférieurs à 1 sur les points récepteurs et donc, à fortiori, sur l'ensemble du domaine d'étude.

L'indice de risque maximal est de 0,0029 pour l'acide chlorhydrique. Pour les populations riveraines les plus impactées (ici R2) celui-ci est de 0,0008.

Aucun effet à seuil par inhalation, lié aux émissions du site Cristal Union de Sillery n'est donc susceptible d'apparaître chez les populations environnantes.

5.1.1. CARACTÉRISATION DU RISQUE PAR INHALATION POUR LES POLLUANTS À EFFETS SANS SEUIL

Pour les effets sans seuil (cancérogènes), un **Excès de Risque Individuel (ERI)**, correspondant à la probabilité supplémentaire, par rapport au risque de base, de survenue d'un cancer au cours d'une vie entière pour les concentrations réelles d'exposition est calculé. L'Excès de Risque Individuel est déterminé par la formule suivante :

$$ERI_i = ERU_i \times CI \times T/T_m$$

Avec :

- ERU_i : Excès de Risque Unitaire par inhalation pour une vie entière (conventionnellement 70 ans). C'est la probabilité de survenue d'un cancer, au cours de l'exposition d'un individu durant sa vie entière à la concentration de 1 µg/m³ ;
- T : durée d'exposition en années (cf. Tableau 27) ;
- T_m : durée de vie, fixée à 70 ans ;
- CI : concentration d'exposition moyenne inhalée, exprimée en µg/m³ d'air inhalé.

En terme d'interprétation, de façon à apprécier le risque cancérogène, caractérisé par l'Excès de Risque Individuel, l'US-EPA prend en considération un risque repère de 10⁻⁶ pour

Usine CRISTAL UNION sur la commune de Sillery

un risque collectif touchant l'ensemble d'une population, et une valeur maximale de 10^{-4} pour juger du risque auquel un individu peut être exposé. L'ATSDR utilise souvent un intervalle de 10^{-4} à 10^{-6} pour l'excès de risque de cancer vie entière pour déterminer s'il y a une préoccupation particulière pour le risque cancérigène.

Pour sa part, le Ministère chargé de l'Environnement a retenu, dans sa circulaire du 9 août 2013, un critère d'acceptabilité du risque de 10^{-5} . Cette valeur correspond par ailleurs aux recommandations de l'Organisation Mondiale de la Santé.

Dans le cadre de cette étude, nous retenons la valeur de 10^{-5} comme critère d'acceptabilité de l'Excès de Risque Individuel (ERI).

Le Tableau 31 présente les excès de risque individuel par inhalation, calculés à partir des concentrations d'exposition (Tableau 28) et de la valeur de référence retenue pour caractériser le danger (ERU_i, présentées dans le Tableau 19).

Traceurs de risque	Excès de risque individuel par inhalation			
	Rmax	R1 (Habitations)	R2 (Habitations)	R3 Groupe scolaire rue de la Voie du Moulin (Prunay)
Chrome VI	2,11E-07	4,01E-08	5,73E-08	1,11E-09

Tableau 31 : Excès de Risque Individuel (ERI) par inhalation

Pour le chrome VI, les excès de risque individuels sont inférieurs à la valeur repère de 10^{-5} . Au point d'impact maximal (Rmax), l'ERI calculé est égal à $2,11 \cdot 10^{-7}$. Au niveau des populations riveraines les plus impactées (R2), l'ERI calculé est de $5,73 \cdot 10^{-8}$.

Le risque cancérigène par inhalation, lié aux émissions du site de Cristal Union Sillery peut donc être qualifié d'acceptable pour les populations environnantes.

5.2. CARACTÉRISATION GLOBALE DU RISQUE

En accord avec le guide de l'INERIS [2013], la caractérisation globale des risques est réalisée à titre indicatif en sommant les risques chroniques de la façon suivante :

- pour les **polluants à effets à seuil** : la somme des indices de risque est réalisée pour ceux dont la toxicité est identique en termes de mécanisme d'action et d'organe cible ;
- pour les **polluants à effets sans seuil** : la somme des ERI est réalisée, quels que soient le type de cancer et l'organe touché.

Pour le **dioxyde d'azote, le dioxyde de soufre et les poussières PM_{2,5}**, aucun IR n'a été calculé. Ces composés ne sont donc pas pris en compte dans la caractérisation globale du risque.

Par ailleurs, pour les effets à seuil, les deux polluants retenus (HCl et nickel) ne présentent pas des effets sur le même organe cible et pour les effets sans seuil, un seul polluant a été étudié, ce qui rend la caractérisation globale non applicable ici.

6. IMPACT DU SITE PAR RAPPORT AU BRUIT DE FOND

Aucune mesure de concentration dans l'air n'est disponible dans la zone d'étude du site. Les mesures les plus proches disponibles sont celle d'Atmo Grand Est présentées au paragraphe 2.1.5. Parmi ces stations, la plus proche est celle de Reims-Jean d'Aulan (station urbaine) et celle qui pourrait être la plus représentative de l'environnement du site est celle localisée sur la commune de Bétheny, banlieue de Reims : station périurbaine Reims – Bétheny.

Dans le Tableau 32, nous présentons les valeurs maximales hors des limites de propriétés du site ainsi que les valeurs en moyenne annuelle en 2017, sur les deux stations précitées. La contribution liée à l'impact des émissions du site (dans la zone d'impact maximale) serait au maximum de 60 % pour les PM_{2,5}. Elle serait de l'ordre de 2,7 % pour le NO₂ et inférieure à 0,5 % pour le SO₂.

Les résultats de cette comparaison sont toutefois à mettre en perspective avec le fait que les concentrations environnementales liées aux émissions du site sont calculées à partir des valeurs maximales autorisées à l'émission.

Traceurs de risque	Concentration (µg/m ³)			Valeurs limite qualité de l'air
	Résultat modélisation Rmax	Station urbaine Reims-Jean d'Aulan	Station péri-urbaine Reims – Bétheny.	
Dioxyde de soufre (SO ₂)	0,0046	1,4	Non mesuré	50
Dioxyde d'azote (NO ₂)	0,43	17	16	40
Poussières PM _{2,5}	7,21	12	Non mesuré	20

Tableau 32 : Comparaison des concentrations mesurées par Atmo Grand Est avec les résultats de la modélisation des émissions du site

7. REVUE DES INCERTITUDES

Les incertitudes qui portent sur cette évaluation sont précisées dans ce chapitre. Les paragraphes suivants présentent les incertitudes en les classant (facteurs de sous- ou sur-estimation des risques).

7.1. FACTEURS DE SOUS-ESTIMATION DES RISQUES

Les incertitudes qui portent sur cette évaluation et qui conduisent à sous-estimer les risques sont les suivantes :

- Certaines substances identifiées à l'émission ont été exclues de la caractérisation des risques sanitaires par inhalation pour une exposition chronique suite à la sélection des traceurs de risque. Toutefois, on peut noter que les classements par potentiel de toxicité ou de cancérogénicité sont globalement respectés dans le calcul des indices de risque et des excès de risque individuels comme l'indiquent le Tableau 33 et le Tableau 34. Les indices de risque des autres substances, s'ils avaient été calculés, auraient été inférieurs à 0,00017. Les excès de risque individuels auraient été inférieurs à $5,73 \cdot 10^{-8}$. Le fait de ne pas avoir pris en compte ces substances pour le risque par inhalation constitue donc un facteur négligeable de sous-estimation des risques.

Substances	Flux annuel (kg/an)	Potentiel de risque (%)	IR ou rapport Concentration/VG au niveau des habitations R2
Poussières PM2,5	1,80E+04	43%	0,029 (0,29 / 10)
NO ₂	6,51E+04	39%	0,0033 (0,13 / 40)
SO ₂	2,49E+04	12%	0,000026 (0,0013 / 50)
HCl	3,24E+03	4%	0,00079
Nickel (Ni)	3,40E+00	1%	0,00017
Autres substances	//	//	Non calculé

Tableau 33 : Vérification de la pertinence de la sélection des traceurs de risque – effets à seuil par inhalation en risque chronique

Substances	Flux annuel (kg/an)	Potentiel de cancérogénicité (%)	ERI au niveau des habitations les plus impactées
Cr (assimilé Cr VI)	7,29E-01	97%	5,73E-08
Autres substances	//	//	Non calculé

Tableau 34 : Vérification de la pertinence de la sélection des traceurs de risque – effets sans seuil par inhalation en risque chronique

Usine CRISTAL UNION sur la commune de Sillery

- L'exposition par ingestion n'a pas été considérée.** De façon à appréhender quantitativement la sous-estimation du risque entraînée par le fait de ne pas avoir considéré cette voie d'exposition pour les espèces bioaccumulables et potentiellement toxiques par ingestion (chrome, nickel), nous comparons, dans le Tableau 35 les concentrations de polluants dans le sol attribuables aux émissions du site aux valeurs de bruit de fond relevées dans la littérature (fond géochimique). Les concentrations de polluants dans le sol ont été calculées à partir du flux de dépôts au sol estimés via l'étude de dispersion atmosphérique.

Substances	Flux de dépôts au sol ⁽¹⁾ (mg/m ² /s)	Concentration de polluant dans le sol ⁽²⁾ (mg/kg sol)	Fond géochimique ⁽³⁾ (mg/kg sol)	Contribution ⁽⁴⁾
Chrome	3,65E-08	0,00013	37,6	<0,001%
Nickel	1,70E-07	0,00062	20,4	<0,001%

(1) Flux de dépôts totaux au sol estimés via l'étude de dispersion atmosphérique. La valeur indiquée dans le tableau est la valeur maximale relevée, mise en évidence au niveau des habitations les plus impactées.

(2) Concentrations en polluant dans le sol estimées pour une profondeur de sol de 20 cm et pour un cumul des dépôts pendant 30 ans selon l'équation :

$$C_{st} = \frac{D}{\mu \times Z} \times t$$

C_{st} : concentration de polluant dans le sol pour une durée d'exposition t , avec $C_{s0} = 0$ à l'instant $t = 0$ (mg de polluant/kg de sol),

D : flux de dépôts de polluant au sol (mg de polluant/m² de surface au sol/an),

t : durée de cumul des dépôts (30 ans),

μ : masse volumique du sol (1,3 g de sol / cm³ de sol),

Z : épaisseur de la couche de sol où s'accumule le polluant (20 cm de sol).

(3) Source : programme ADEME/INRA - collecte nationale ANADEME Baize et al., 2006a, chap 7.

(4) Contribution du site au fond géochimique (2) / (3)

Tableau 35 : Comparaison des concentrations de polluants dans le sol avec le fond géochimique

La concentration dans le sol indiquée dans le Tableau 35 est calculée en considérant un cumul des dépôts pendant 30 ans. La contribution des émissions du site au bruit de fond dans les sols (données de la littérature) s'avère faible (< 0,001 %).

Compte tenu de ces éléments et dans un principe de proportionnalité entre le degré d'approfondissement de l'étude et l'importance des incidences prévisibles de la pollution, le fait d'exclure la voie d'exposition par ingestion d'aliments élaborés dans le domaine d'étude nous paraît cohérent et source de sous-estimation négligeable du risque.

- L'exposition par la voie cutanée** n'a pas été prise en compte dans cette étude. Ce choix est justifié par plusieurs éléments. Peu de VTR existent pour cette voie et l'extrapolation d'une valeur de référence à partir d'une autre voie est entachée d'un grand nombre d'incertitudes. De plus, l'absorption cutanée des gaz est négligeable devant l'absorption par les voies respiratoires ;

7.2. FACTEURS DE SUR-ESTIMATION DES RISQUES

Les incertitudes qui portent sur cette évaluation et qui conduisent à surestimer les risques, sont les suivantes :

- En l'absence d'information sur la granulométrie des poussières, les espèces particulières émises **ont été assimilées à des PM_{2,5}**, fraction la plus toxique par inhalation.
- En l'absence de données précises sur la forme de chrome rejeté, les émissions de chrome total **ont été assimilées à du chrome VI**, forme la plus toxique.
- Les valeurs considérées à l'émission, pour tous les polluants, sont **les valeurs maximales limites réglementaires**. C'est donc le risque sanitaire maximal qui est calculé dans ces conditions. Dans la réalité du fonctionnement du site, ces concentrations ne devraient vraisemblablement pas être atteintes. Les calculs du risque dans ces conditions sont majorants.
- **L'exposition des personnes sédentaires est considérée comme permanente** dans le domaine d'étude soit 24 h/ 24 et 365 j/an pendant toute la durée d'exposition (30 ans). Cette exposition est peu probable puisque les personnes peuvent être amenées à résider hors du domaine d'étude, en tout cas hors de la zone la plus exposée, quotidiennement (lieu de travail hors du domaine d'étude par exemple) ou pendant certaines périodes de l'année comme les vacances. Cette hypothèse contribue certainement à une surestimation importante du risque. Cette surestimation ne peut néanmoins être estimée ;
- La caractérisation des risques a été réalisée également au niveau **du point d'impact maximal** hors des limites de propriétés du site, bien qu'aucune population n'y soit identifiée en tant que résident permanent.
- **Les valeurs toxicologiques de référence** choisies peuvent généralement être considérées comme bénéficiant d'un degré de confiance élevé. Des facteurs de sécurité sont systématiquement appliqués (pour l'extrapolation inter-espèces, pour les populations sensibles, la qualité des données sources, etc.). L'application de ces valeurs toxicologiques de référence, établies par les grandes instances internationales de la santé, conduit généralement à une surestimation des risques.

7.3. FACTEURS D'INCERTITUDE DONT L'INFLUENCE SUR LES RESULTATS N'EST PAS CONNUE

Les incertitudes qui portent sur cette évaluation et dont le sens d'influence n'est pas connu sont les suivantes :

- Les **calculs d'exposition** ont été menés sur la base des résultats de simulations de dispersion atmosphérique. L'incertitude sur les résultats obtenus est difficilement quantifiable. Les incertitudes sont liées :
 - A la fiabilité des codes de calcul du modèle. On notera que le modèle utilisé est reconnu par l'INERIS et que, comme de nombreux logiciels de dispersion atmosphérique commercialisés, il a été validé par comparaison à des mesures in-situ (« kit de validation »).

Usine CRISTAL UNION sur la commune de Sillery

- Aux données d'entrée utilisées : caractéristiques émissives et données météorologiques.
- Pour le risque cancérigène, il est considéré que **pendant 30 ans les émissions sont constantes**.
- **Les substances interagissent les unes par rapport aux autres**. Si la connaissance des effets sur la santé liés à l'inhalation de chacune d'entre elles a beaucoup avancé, ce n'est pas encore le cas pour un ensemble de substances. Ainsi, quand les effets sur la santé de plusieurs polluants sont les mêmes, quelle que soit la voie d'exposition, la pratique habituelle consiste à sommer les risques. Il est toutefois difficile de savoir si les effets sanitaires sont en réalité antagonistes, synergiques ou additifs ;

7.4. SYNTHÈSE DES INCERTITUDES

Il ressort de l'examen des incertitudes que les facteurs qui minorent le risque sont certainement sources d'une sous-estimation négligeable du risque sanitaire. Ceci souligne le souci permanent des auteurs de se placer dans des situations amenant à une majoration du risque chaque fois qu'il se présente une incertitude ou qu'une donnée est manquante. **La plupart des hypothèses amènent donc à une probable surestimation du risque qu'il n'est malheureusement pas possible de quantifier.**

Les résultats de cette étude sont à d'apprécier, en fonction de l'état des connaissances disponibles, aussi bien méthodologiques que descriptives. Les données et les méthodes de calculs utilisées ont été présentées et les choix ont été justifiés.

8. SYNTHÈSE ET CONCLUSIONS

8.1. RAPPEL MÉTHODOLOGIQUE

Afin d'évaluer l'impact sanitaire des émissions de la sucrerie Cristal Union située sur la commune de Sillery, nous avons considéré l'ensemble des rejets à l'atmosphère de cette installation.

Les paramètres d'émission considérés sont des valeurs limites réglementaires pour tous les polluants.

Après une synthèse des données caractérisant le site, les polluants traceurs de risque suivants ont été choisis pour le calcul du risque par inhalation, en considérant leurs propriétés toxiques intrinsèques et leur flux à l'émission :

- Acide chlorhydrique,
- Chrome VI,
- Dioxyde d'azote,
- Dioxyde de soufre,
- Nickel,
- Poussières PM_{2,5}

Les valeurs toxicologiques de référence ont été choisies selon les principes du guide méthodologique de l'INERIS en identifiant les dangers liés aux substances et en faisant une synthèse des relations dose-réponse répertoriées par les instances internationales et nationales de la santé (OMS, US-EPA, ATSDR, etc.).

À l'aide d'un modèle de dispersion atmosphérique des polluants de type gaussien, tenant compte des conditions météorologiques réelles du site, nous avons déterminé les concentrations environnementales dans l'air pour tous les polluants traceurs de risque et sur l'ensemble de la zone d'étude.

Les Indices de Risque (IR) et les Excès de Risque Individuels (ERI) par inhalation ont été déterminés pour chacun des polluants considérés.

8.2. CONCLUSIONS

En ce qui concerne les effets à seuil, les résultats montrent que tous les polluants étudiés dans cette évaluation présentent, par inhalation, des Indices de Risque inférieurs à 1, au niveau de l'impact maximal hors des limites de propriété du site et a fortiori sur l'ensemble du domaine d'étude (valeur maximale de l'ordre de 8.10^{-4} au niveau des populations les plus impactées pour l'acide chlorhydrique).

En considérant uniquement les émissions du site, aucun effet toxique à seuil par inhalation n'est donc susceptible de se produire pour la population avoisinant le site.

En ce qui concerne les effets sans seuil, les Excès de Risque Individuels estimés pour les risques cancérogènes par inhalation et par ingestion, **sont inférieurs à la valeur de 10^{-5} au niveau du point d'impact maximal** hors des limites de propriété et a fortiori sur l'ensemble

Usine CRISTAL UNION sur la commune de Sillery

du domaine d'étude. Au niveau des populations les plus impactées, l'ERI pour le chrome VI est de $5,7 \cdot 10^{-8}$.

En considérant uniquement les émissions du site, le risque cancérigène peut donc être considéré comme non préoccupant pour la population riveraine du site.

En conclusion, considérant les valeurs limites réglementaire, les émissions atmosphériques de la sucrerie Cristal Union de Sillery, ne sont pas préoccupantes en termes de risque pour la santé des populations avoisinant le site, en l'état actuel des connaissances scientifiques.

L'activité du site, dans ces conditions maximales de fonctionnement, est compatible avec les usages : les indicateurs sanitaire (IR et ERI) de même que les valeurs de référence sont respectées, et inférieures au valeurs seuil.

La modification des valeurs limites des rejets du site n'entraîne pas d'incidence en terme de risque sanitaire pour les populations riveraines.

Bibliographie

Circulaire du 9 août 2013 relative à la démarche de prévention et de gestion des risques sanitaires des installations classées soumises à autorisation.

DGS (Direction Générale de la Santé, Ministère de la Santé et des Solidarités) – *Circulaire n°DGS/SD7B/2006/234 du 30 mai 2006 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* – 2006.

INERIS – *Démarche intégrée pour la gestion des émissions de substances chimiques par les installations classées : Évaluation de l'état des milieux et des risques sanitaires* – première édition Août 2013

INERIS – *Bilan des choix de VTR disponibles sur le portail des substances chimiques de l'INERIS* – Rapport d'étude DRC-16-156195-12062A – 17 janvier 2017.

InVS – *Guide pour l'analyse du volet sanitaire des études d'impact* – 2000.

Nedellec V. et al. – *La durée de résidence des français et l'évaluation des risques liés aux sols pollués*. Énergies santé, vol. 9, n°91, p. 503-515 – 1998

Liste des annexes

ANNEXE 1 : Acronymes.....	62
ANNEXE 2 : Cartes	64

ANNEXE 1 : ACRONYMES

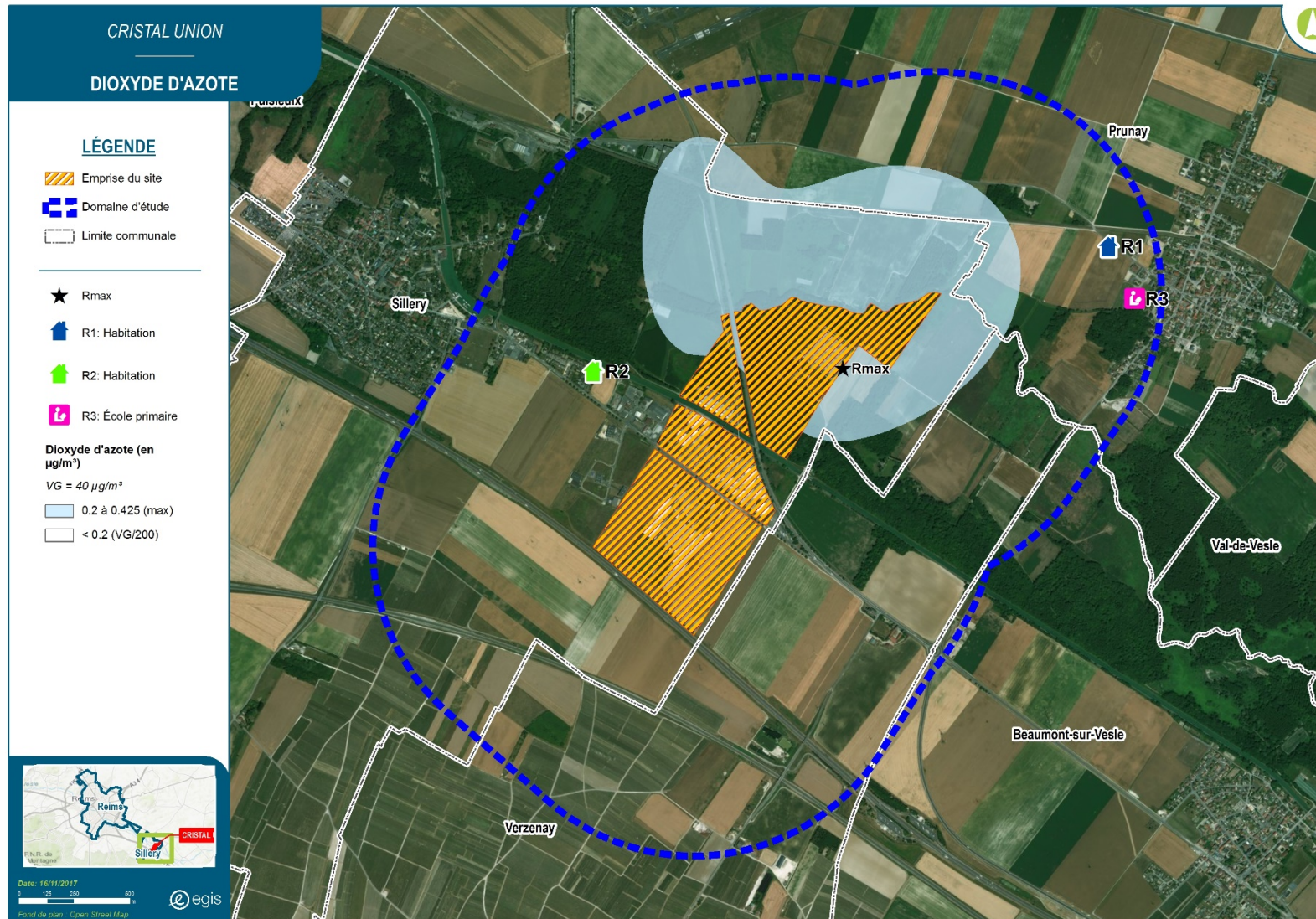
AASQA	Association Agréée pour la Surveillance de la Qualité de l'Air.
ADMS	Atmospheric Dispersion Modelling System.
ATSDR	Agency for Toxic Substances and Disease Registry, États-Unis.
CIRC	Centre International de Recherche sur le Cancer dont la dénomination anglo-saxonne est IARC (International Agency for Research on Cancer).
CSHPF	Conseil Supérieur d'Hygiène Publique de France.
EHPAD	Établissement d'Hébergement pour Personnes Âgées Dépendantes.
ERC	Excès de Risque Collectif.
ERI	Excès de Risque Unitaire
ERU_i	Excès de Risque Unitaire par inhalation, correspond à l'excès de risque de cancer pour une concentration standard de 1 µg/m ³ de la substance considérée dans l'air ambiant.
ERU_o	Excès de Risque Unitaire par ingestion, correspond à l'excès de risque de cancer pour une concentration standard de 1 mg/kg pc/jr de la substance considérée dans l'air ambiant.
FINESS	Fichier d'Identification National des Établissements Sanitaires et Sociaux.
FoBIG	Forschungs- und Beratungsinstitut Gefahrstoffe, Institut de recherche et de conseil pour les substances dangereuses, Allemagne.
IARC	International Agency for Research on Cancer, dont la dénomination française est CIRC (Centre International de Recherche sur le Cancer).
ICPE	Installations Classées pour la Protection de l'Environnement.
INERIS	Institut National de l'Environnement Industriel et des Risques, France.
INSEE	Institut National de la Statistique et des Études Économiques, France.
IR	Indice de Risque.
IREP	Registre Français des Émissions Polluantes.
InVS	Institut national de Veille Sanitaire, France.
OEHHA	Office of Environmental Health Hazard Assessment, États-Unis.
OMS	Organisation Mondiale pour la Santé.

Usine CRISTAL UNION sur la commune de Sillery

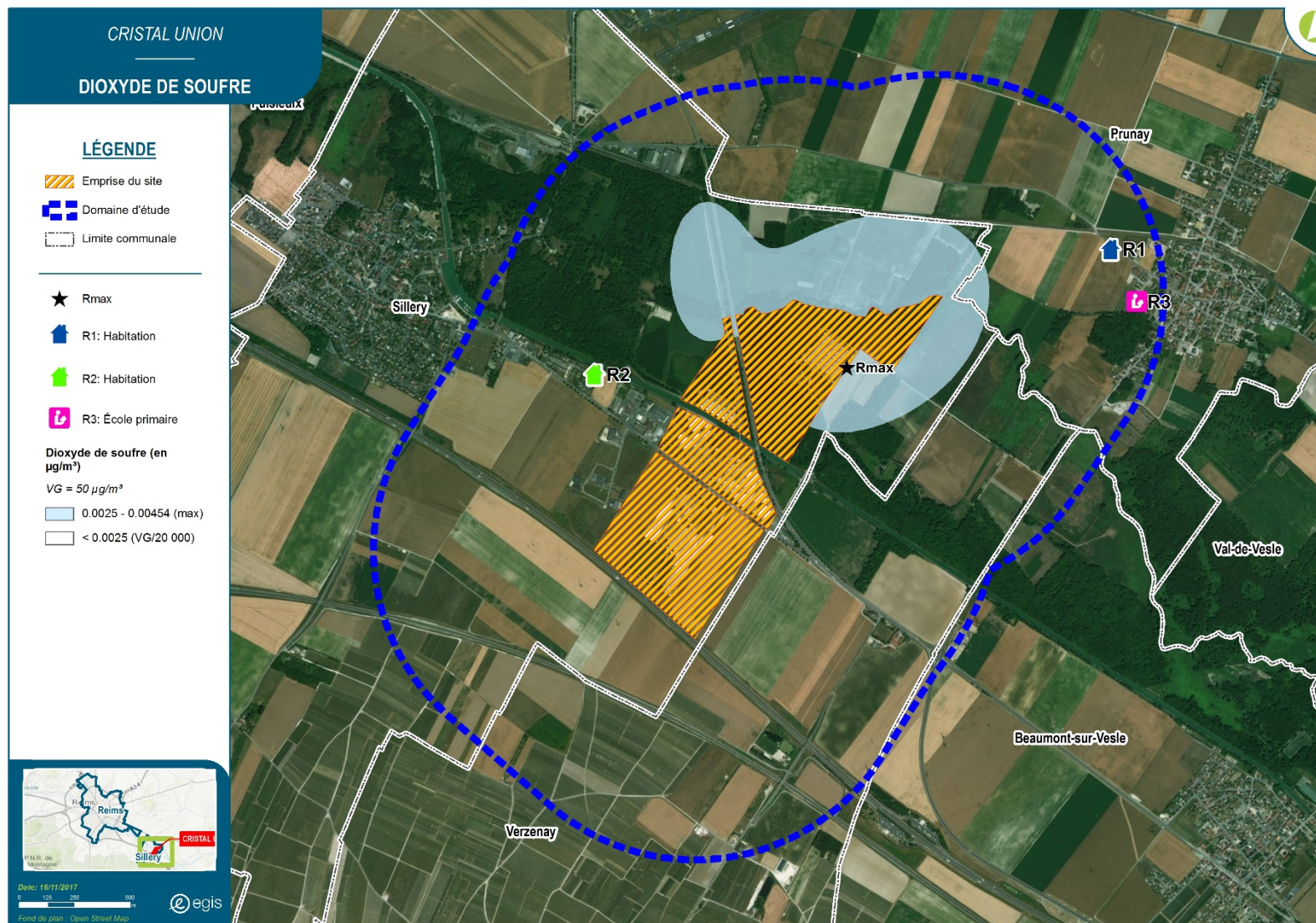
RIVM	Rijksinstituut voor Volksgezondheid en Milieu, institut national de la santé publique et de la protection de l'environnement des Pays-Bas.
TC	(Tolerable Concentration ou CT en français pour Concentration tolérable), terminologie de Santé Canada pour désigner la VTR à seuil par inhalation. Elle est exprimée en masse de substance par m ³ d'air inhalé.
US EPA	United States Environmental Protection Agency, agence nationale de protection de l'environnement aux États-Unis.
VG	Valeur Guide.
VTR	Valeur Toxicologique de Référence, grandeur numérique qui matérialise la relation entre une dose d'agent toxique et l'incidence de ses effets. Les VTR sont établies par diverses autorités nationales ou internationales.
WHO	World Health Organization, la dénomination française est OMS

ANNEXE 2 : CARTES

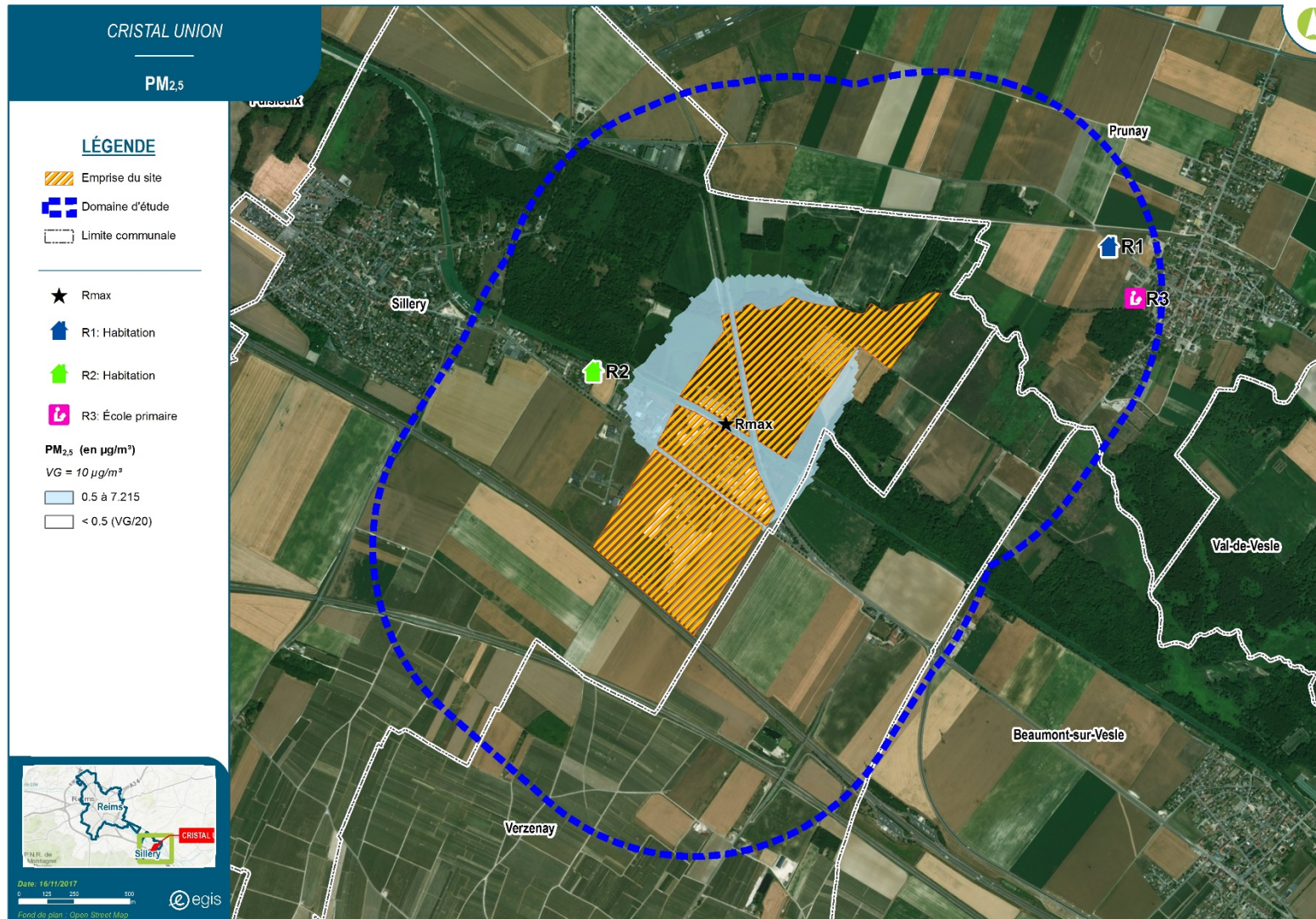
Usine CRISTAL UNION sur la commune de Sillery



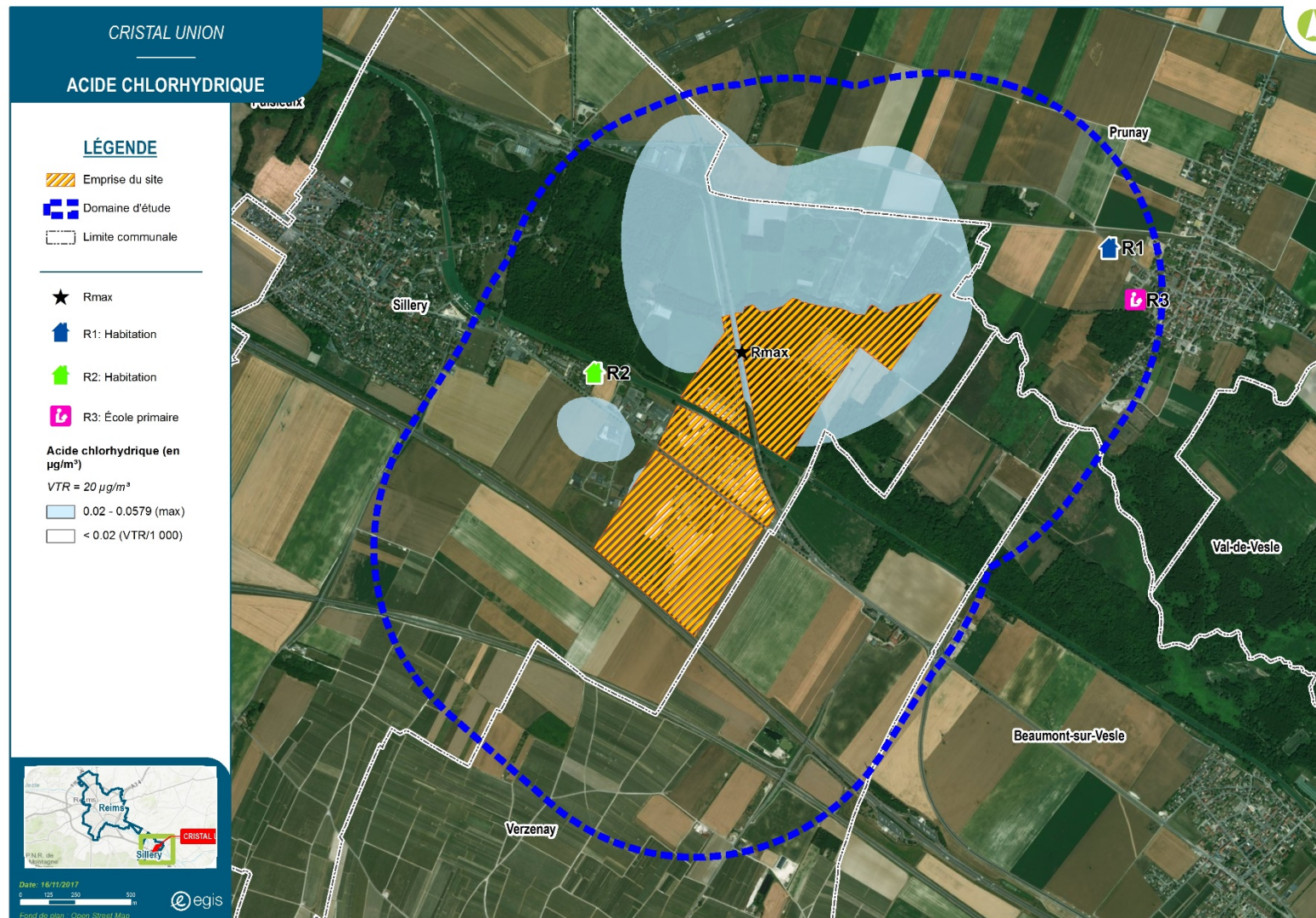
Usine CRISTAL UNION sur la commune de Sillery



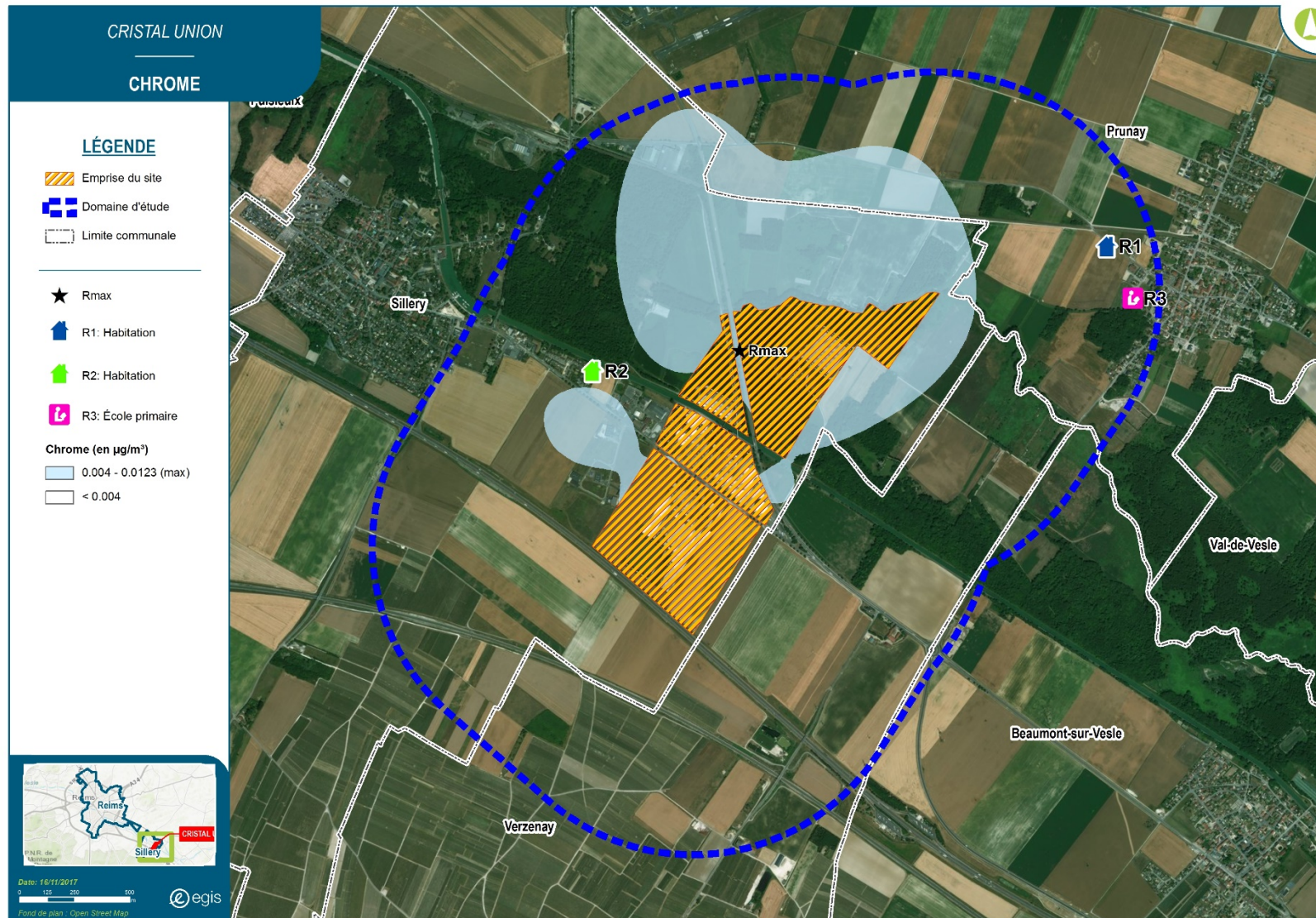
Usine CRISTAL UNION sur la commune de Sillery



Usine CRISTAL UNION sur la commune de Sillery



Usine CRISTAL UNION sur la commune de Sillery



Usine CRISTAL UNION sur la commune de Sillery

