

VEILLE ET
SURVEILLANCE
RÉGIONALE

JUIN 2019

ÉTUDES ET ENQUÊTES

PERTINENCE ET FAISABILITÉ
D'UNE ÉTUDE ÉPIDÉMIOLOGIQUE
OU D'UNE CAMPAGNE D'IMPRÉGNATION

Cas d'une pollution à des solvants chlorés dans le collège Saint-Exupéry et la crèche Liberté Vincennes (Val-de-Marne)

RÉGION
ÎLE-DE-FRANCE

En partenariat avec :

Pertinence et faisabilité d'une étude épidémiologique ou d'une campagne d'imprégnation*

Cas d'une pollution à des solvants chlorés dans le collège Saint-Exupéry et la crèche Liberté Vincennes (Val-de-Marne)

*Ce rapport, mis en ligne en juin 2019, reprend intégralement le contenu de la note scientifique « Pertinence et faisabilité d'une étude épidémiologique ou d'une campagne d'imprégnation en lien avec une pollution à des solvants chlorés (TCE/PCE) dans le collège Saint-Exupéry et la crèche Liberté Vincennes (Val-de-Marne) », publiée en avril 2018 et transmise aux auteurs de la saisine.

Résumé

Pertinence et faisabilité d'une étude épidémiologique ou d'une campagne d'imprégnation

Cas d'une pollution à des solvants chlorés (TCE/PCE) dans le collège Saint-Exupéry et la crèche Liberté Vincennes (Val-de-Marne)

Dans le cadre d'un projet de réhabilitation du collège Saint-Exupéry de Vincennes, des études préparatoires menées en 2017 ont conduit à une analyse de la qualité de l'air ambiant du collège et de la crèche Liberté, contiguë, analyse qui a mis en évidence une pollution au trichloroéthylène (TCE) et au perchloroéthylène (PCE). Les niveaux identifiés pour ces deux polluants dépassaient alors en de nombreux points de prélèvement les valeurs de gestion proposées par le Haut Conseil de santé publique (HCSP), notamment les Valeurs d'action rapide (VAR) pour le TCE. Cette pollution était en lien probable avec l'activité passée d'une ancienne fabrique d'œilletons métalliques implantée sur le site jusqu'à la fin des années 1960.

La découverte de cette pollution a conduit les gestionnaires des établissements concernés à fermer le collège Saint-Exupéry et la crèche Liberté fin novembre 2017. Les enfants des deux établissements ont été transférés dans d'autres établissements équivalents du secteur.

Parallèlement, Santé publique France a été saisie en novembre 2017 par l'ARS Île-de-France pour étudier la pertinence et la faisabilité d'une étude épidémiologique et/ou d'une campagne d'imprégnation chez les enfants et les salariés ayant été exposés dans ces établissements.

L'analyse des pièces mises à disposition de Santé publique France montrait, concernant l'opportunité de mettre en place une étude épidémiologique visant à caractériser l'impact sanitaire de cette exposition passée, que cette étude n'apparaissait ni pertinente, ni faisable. En effet, concernant la pertinence, une telle étude épidémiologique n'apportait aucun bénéfice individuel ou collectif, notamment en termes de prise en charge médicale ou de reconnaissance du préjudice subi. Par ailleurs, les mesures de gestion ayant déjà été prises pour faire cesser l'exposition, les résultats d'une étude épidémiologique ne pouvaient pas être utilisés pour orienter les décisions. En matière de faisabilité, une telle étude se heurtait à des difficultés méthodologiques majeures (impossibilité de quantifier précisément l'exposition et de dater le début de la pollution, difficulté à reconstituer la cohorte des personnes exposées depuis le début des années 1970) et surtout, le nombre nécessaire de sujets à inclure dans une telle étude pour observer l'impact sanitaire de cette pollution était insuffisant par rapport à la population ayant été exposée. Concernant la réalisation d'une campagne d'imprégnation des populations ayant fréquenté ces établissements, la durée de demi-vie des biomarqueurs d'exposition pour le TCE et le PCE ne dépassant pas quelques jours, ce dosage ne présentait plus d'intérêt alors que le collège Saint-Exupéry et la crèche Liberté étaient fermés depuis plusieurs semaines.

MOTS CLÉS : POLLUTION DES SOLS, SOLVANTS CHLORÉS, TRICHLOROÉTHYLÈNE, PERCHLOROÉTHYLÈNE, PERTINENCE ET FAISABILITÉ D'UNE ÉTUDE ÉPIDÉMIOLOGIQUE, PERTINENCE ET FAISABILITÉ D'UNE CAMPAGNE D'IMPRÉGNATION

Citation suggérée : Bassi C, Kairo C, Lapostolle A, Fillol C, Bidondo ML, Bonaldi C, Lepoutre A, Verrier A *Pertinence et faisabilité d'une étude épidémiologique ou d'une campagne d'imprégnation. Cas d'une pollution à des solvants chlorés (TCE/PCE) dans le collège Saint-Exupéry et la crèche Liberté Vincennes (Val-de-Marne)*. 64 p. Disponible à partir de l'URL : www.santepubliquefrance.fr

ISSN : 2609-2174 - ISBN-NET : - RÉALISÉ PAR LA DIRECTION DE LA COMMUNICATION, SANTÉ PUBLIQUE FRANCE - DÉPÔT LÉGAL : JUIN 2019

Abstract

Relevance and feasibility of an epidemiological study or impregnation campaign

Pollution with chlorinated solvents (TCE/PCE) in Saint-Exupéry secondary school and Vincennes Liberté nursery (Val-de-Marne)

As part of a project to rehabilitate the Saint-Exupéry secondary school in Vincennes, preparatory studies conducted in 2017 led to an analysis of the ambient air quality of the secondary school and the adjoining Liberté nursery. The analysis highlighted pollution with trichloroethylene (TCE) and perchlorethylene (PCE). The levels identified at the time for these two pollutants exceeded in many sampling points the management values proposed by the High Council of Public Health (HCSP), including the rapid action values (RAV) for TCE. This pollution was probably related to the past activity of an old metal eyelets factory located on the site until the end of the 1960s.

The discovery of this pollution led the managers of the facilities concerned to close the Saint-Exupéry secondary school and the Liberté nursery at the end of November 2017. The children from both institutions were transferred to other equivalent establishments in the area.

At the same time, Santé publique France was commissioned in November 2017 by the regional health authorities (ARS Île-de-France) to study the relevance and feasibility of an epidemiological study and/or impregnation campaign for children and employees who had been exposed in these facilities.

The analysis of the documents made available to Santé publique France showed, concerning the desirability of setting up an epidemiological study aimed at characterizing the health impact of this past exposure, that this study did not appear relevant or feasible. Indeed, concerning the relevance, such an epidemiological study did not bring any individual or collective benefit, particularly in terms of medical care or recognition of the harm suffered. In addition, since management measures were already taken to stop exposure, the results of an epidemiological study could not be used to guide decisions. In terms of feasibility, such a study encountered major methodological difficulties (inability to accurately quantify exposure and date the onset of pollution, difficulty in reconstructing the cohort of people exposed since the early 1970s) and most importantly, the necessary number of subjects to be included in such a study to observe the health impact of this pollution was insufficient in relation to the population that was exposed. Regarding the implementation of an impregnation campaign of the populations having attended these facilities, the half-life duration of the biomarkers of exposure for TCE and PCE not exceeding a few days, this assay was no longer of interest since the Saint-Exupéry secondary school and the Liberté nursery had been closed for several weeks.

KEY WORDS: SOIL POLLUTION, CHLORINATED SOLVENTS, TRICHLOROETHYLENE, PERCHLOROETHYLENE, RELEVANCE AND FEASIBILITY OF AN EPIDEMIOLOGICAL STUDY, RELEVANCE OF AN IMPREGNATION CAMPAIGN

Auteurs

Clément Bassi, ingénieur évaluateur de risques – épidémiologiste, direction des régions, cellule Île-de-France, Santé publique France

Cécile Kairo, direction santé environnement, Santé publique France

Annabelle Lapostolle, direction santé travail, Santé publique France

Clémence Fillol, direction santé environnement, Santé publique France

Marie-Laure Bidondo, direction appui, traitement et analyse des données, Santé publique France

Christophe Bonaldi, direction appui, traitement et analyse des données, Santé publique France

Dr Agnès Lepoutre, direction des régions, cellule Ile-de-France, Santé publique France

Agnès Verrier, direction santé environnement, Santé publique France

Relecteur

Dr Robert Garnier, Centre antipoison et de de toxicovigilance de Paris

Sommaire

1. CONTEXTE	6
2. OBJECTIF	7
2.1 Synthèse des principaux éléments disponibles sur la pollution et les risques sanitaires associés	7
2.1.1 Historique et caractérisation du site, populations exposées.....	7
2.1.2 Caractérisation de la qualité de l'air sur le site.....	10
2.1.3 Caractérisation de la qualité des eaux sur le site.....	14
2.1.4 Nature des polluants retrouvés, comportement dans l'environnement et voies d'exposition	15
2.1.5 Valeurs de référence dans les milieux retrouvés dans la littérature pour le TCE et le PCE.....	15
2.1.6 Valeurs de gestion disponibles pour le TCE et le PCE	16
2.1.7 Conclusions sur la contamination des milieux.....	17
2.1.8 Effets sanitaires connus pour des expositions chroniques au TCE et au PCE	19
2.1.9 Valeurs toxicologiques de référence pour des expositions chroniques par inhalation au PCE et au TCE (liste non exhaustive)	19
2.1.10 Valeurs toxicologiques de référence pour des expositions chroniques par ingestion au PCE et au TCE (liste non exhaustive)	21
2.1.11 Synthèse de l'évaluation quantitative du risque sanitaire (EQRS).....	21
2.2 Pertinence et faisabilité d'une étude épidémiologique	24
2.2.1 Objectif d'une étude épidémiologique.....	24
2.2.2 Types d'étude épidémiologique possibles	25
2.2.3 Pertinence d'une étude épidémiologique	27
2.2.4 Faisabilité d'une étude épidémiologique	28
2.2.5 Conclusions sur la pertinence et la faisabilité d'une étude épidémiologique	34
2.3 Pertinence et faisabilité d'une campagne d'imprégnation	35
2.3.1 Biomarqueurs d'exposition du TCE	35
2.3.2 Indicateurs biologiques d'effets précoces du TCE	36
2.3.3 Biomarqueurs d'exposition du PCE	36
2.3.4 Indicateurs biologiques d'effets précoces du PCE	37
2.3.5 Conclusions sur la pertinence et la faisabilité d'une campagne d'imprégnation	37
2.4 Conclusion	37
Références bibliographiques	39
Annexe 1 : fondement des valeurs de gestion sanitaire proposées par le HCSP pour le TCE et le PCE	42
Trichloroéthylène [12,13].....	42
Perchloroéthylène [14,15].....	43
Annexe 2 : toxicité du TCE et du PCE	44
Trichloroéthylène [8].....	44
Perchloroéthylène [9]	44
Annexe 3 : Évaluation du risque sanitaire réalisée par l'ARS IDF	46

1. CONTEXTE

Dans le cadre d'un projet de réhabilitation du collège Saint-Exupéry de Vincennes, des études préparatoires et des mesures ont été menées à partir de juin 2017. Les mesures dans le collège ont été complétées en septembre 2017 par une analyse de la qualité de l'air ambiant du collège et de la crèche Liberté, contiguë, qui a mis en évidence une pollution au trichloréthylène (TCE) et au perchloroéthylène (PCE) ou tétrachloroéthylène. Les niveaux identifiés pour ces deux polluants dépassaient alors en de nombreux points de prélèvement les valeurs de gestion proposées par le Haut Conseil de santé publique (HCSP), notamment les Valeurs d'action rapide (VAR) pour le TCE. Une campagne de prélèvements complémentaires en air ambiant, réalisée d'octobre à novembre 2017, a confirmé la présence des polluants sur le site. Cette pollution est en lien possible avec l'activité d'une ancienne fabrique d'œillets métalliques implantée sur le site jusqu'à la fin des années 1960.

La découverte de cette pollution a conduit les gestionnaires des établissements concernés à fermer le collège Saint-Exupéry et la crèche Liberté fin novembre 2017. Les enfants des deux établissements ont été transférés dans d'autres établissements équivalents du secteur.

En parallèle, des inquiétudes ont été exprimées par les parents d'élèves et les associations au sujet des risques que cette pollution pouvait entraîner pour la santé des élèves ou des riverains.

Dans ce contexte, Santé publique France a été saisie le 28 novembre 2017 par l'ARS Île-de-France suite à la découverte de cette pollution pour apporter des éléments sur la pertinence et la faisabilité d'une étude épidémiologique et/ou d'une campagne d'imprégnation chez les enfants et les salariés ayant été exposés dans ces établissements. Santé publique France participe également avec cette note à formuler une réponse aux inquiétudes et questions posées par les parents d'élèves et les associations. L'objet de cette note est de fait focalisé sur les composés identifiés dans l'air ambiant, soient le TCE et le PCE.

2. OBJECTIF

L'objectif de cette note est de fournir à l'ARS, à partir des éléments qu'elle a transmis à Santé publique France entre octobre 2017 et mars 2018 et des données de la littérature, les éléments suivants :

1. Une synthèse des principaux documents disponibles et des connaissances sur les effets sanitaires attendus au regard des niveaux d'exposition identifiés en solvants chlorés ;
2. Un argumentaire sur la pertinence et la faisabilité d'une étude épidémiologique ;
3. Un argumentaire sur la pertinence et la faisabilité d'une campagne d'imprégnation.

2.1 Synthèse des principaux éléments disponibles¹ sur la pollution et les risques sanitaires associés

2.1.1 Historique et caractérisation du site, populations exposées

- **Collège Saint-Exupéry**

Le collège Saint-Exupéry de Vincennes situé au 5, rue de la Liberté (Figure 1) est composé de 5 bâtiments (Figure 2) :

- Bâtiments A et B : salles de classe du collège au RdC et 1^{er} étage ;
- Bâtiment C : stockage matériel enseignant ;
- Bâtiment D : services administratifs du collège ;
- Bâtiment E : réfectoire et cuisine du collège au RdJ, salles de classe du collège au RdC, 1^{er} et 2^e étage ; logements de fonction au 3^e étage.

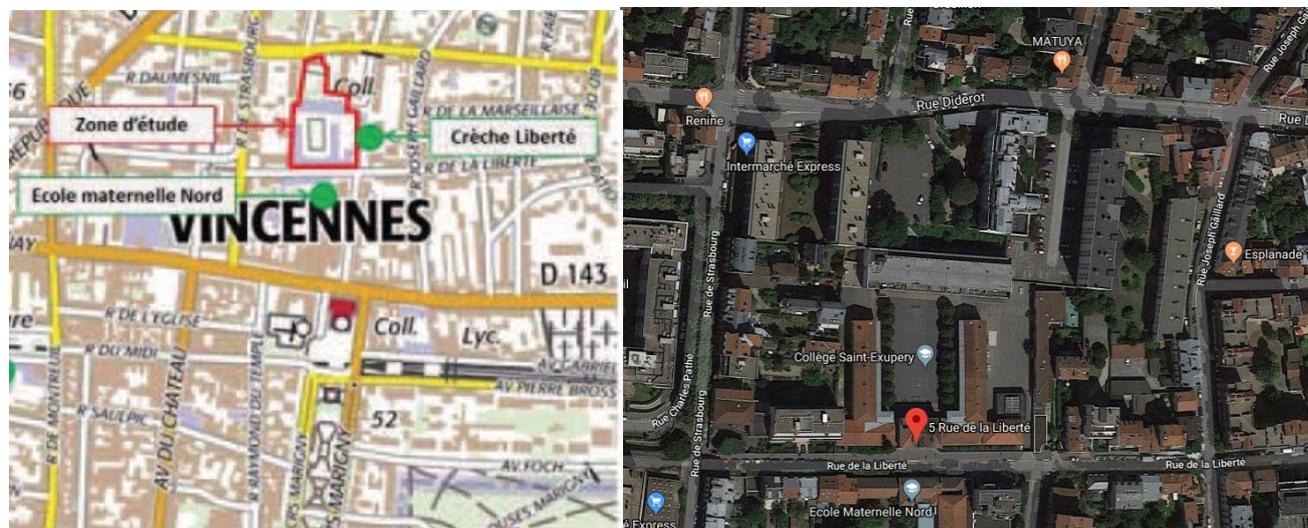
Concernant le bâtiment E, le réfectoire est semi-enterré et il existe une chaufferie à un niveau inférieur à celui du réfectoire (sous-sol partiel du côté ouest du bâtiment E). Il existe également une galerie souterraine sous la cour du collège.

À la rentrée 2017, 650 enfants étaient inscrits au collège. Le personnel de l'établissement était composé de 45 professeurs, 3 personnels de direction, 2 agents administratifs et 3 professionnels travaillant dans la restauration. Enfin, l'établissement comportait 6 logements de fonction dont 5 étaient occupés en septembre 2017.

¹ Cette synthèse est basée sur les éléments fournis par l'ARS Île-de-France.

I FIGURE 1 I

Localisation du collège Saint-Exupéry (extrait du rapport Iddea [1] – page 16)



Le Conseil général 94 projetant la réhabilitation du collège Saint-Exupéry, le bureau d'étude Iddea a été missionné pour réaliser une étude historique du site qui a été finalisée en septembre 2017.

Le rapport de l'étude historique transmis au Conseil général 94 [1] mettait en évidence que le site avait été occupé depuis les années 1900 jusqu'aux années 1960 par les établissements BAC & ses fils, une usine de fabrication d'œillets métalliques. Des sources potentielles de pollution étaient recensées dans ce rapport (atelier de métaux, machine à graisser...) (Figure 3). Cette activité a cessé à la fin des années 1960 lors de l'agrandissement du groupe scolaire présent au sud de la parcelle dès les années 1890.

• Crèche municipale Liberté

La crèche Liberté est contiguë au collège, à l'est. Elle est implantée dans un bâtiment contigu au collège. Ce bâtiment est composé d'un :

- RdC : accueil des parents de la crèche, cuisine de la crèche et réfectoire pour les élèves de l'école maternelle Nord ;
- 1^{er} étage : relai d'assistantes maternelles et espace crèche (dont restauration).

Selon le Conseil général 94, la crèche ne possède ni sous-sol, ni vide sanitaire.

La crèche accueillait, à la rentrée 2017, 33 enfants, 5 jours par semaine. Huit professionnels de la petite enfance et 2 agents (agents de direction et administratifs) composent le personnel de la crèche.

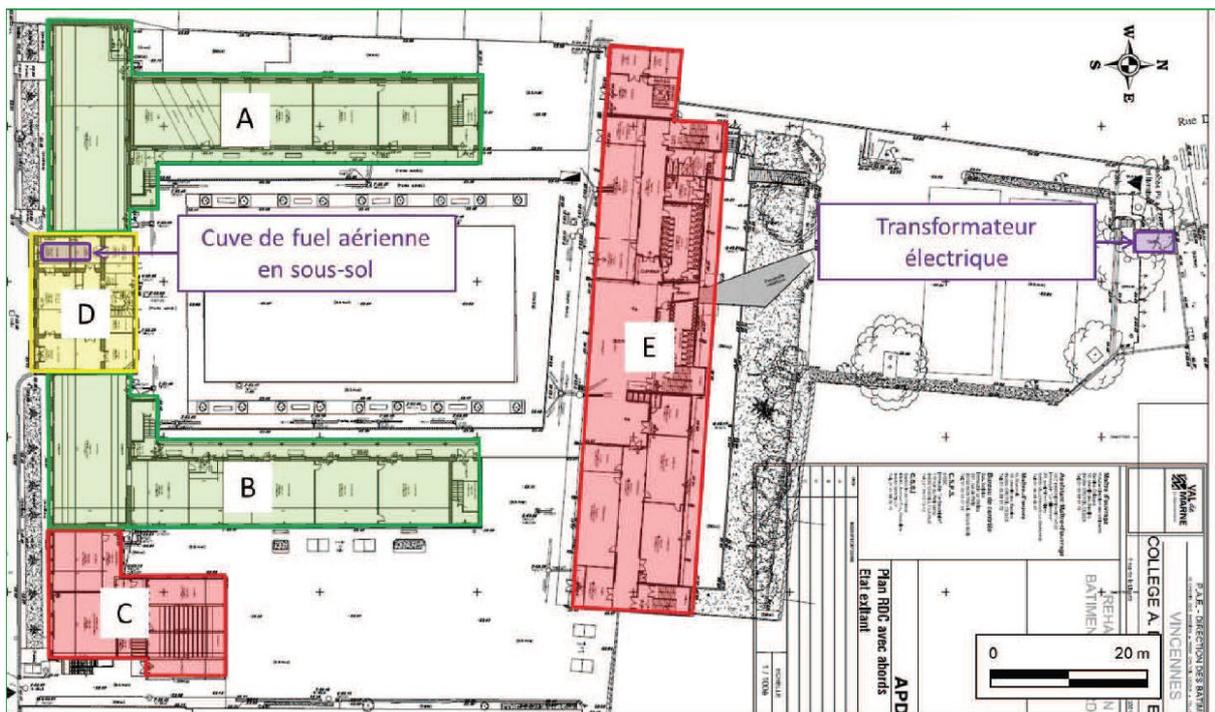
• École maternelle Nord

L'école maternelle Nord se situe au sud du collège, de l'autre côté de la rue de la Liberté.

Les enfants de l'école maternelle se rendent dans le réfectoire situé au RdC du bâtiment ci-dessus évoqué (repas du midi et goûter) en période scolaire. Hors période scolaire, la restauration du centre de loisirs se déroule également dans ce bâtiment. L'école maternelle accueillait 264 enfants à la rentrée 2017 et 18 animateurs accompagnant les enfants dans le réfectoire pour la pause déjeuner et le goûter. Les instituteurs ne se rendaient habituellement pas dans le réfectoire.

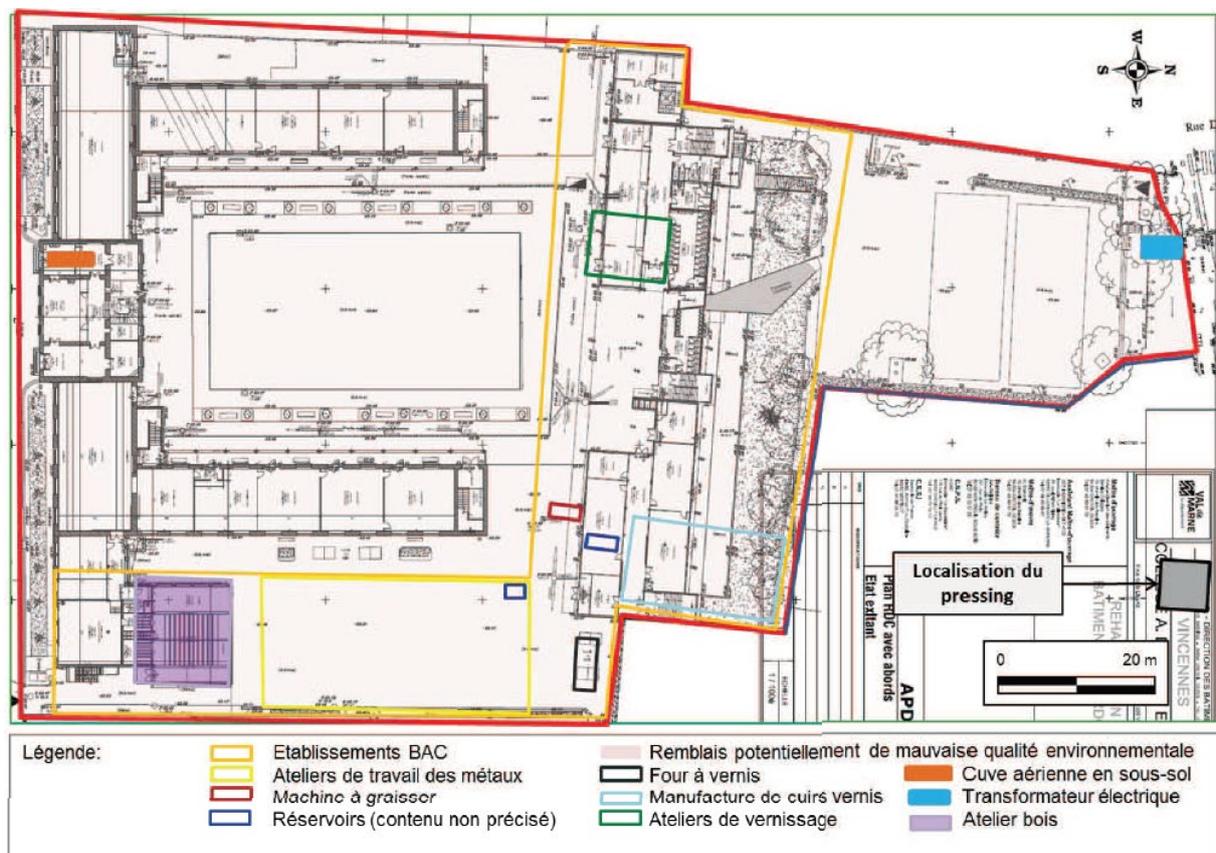
I FIGURE 2 I

Plan du site actuel avec dénomination des bâtiments A à E, activités et stockage tel que visité en mai 2017 (extrait du rapport Iddea [1] – page 98)



I FIGURE 3 I

Plan de localisation des sources potentielles de pollution au droit du site (extrait du rapport Iidea [1] – page 39)



2.1.2 Caractérisation de la qualité de l'air sur le site

Gaz du sol et air ambiant dans le collège Saint-Exupéry et la crèche Liberté

Dans le cadre de la réhabilitation d'une partie du collège, des investigations de terrain réalisées en juin 2017 dans les gaz du sol ont mis en évidence une forte teneur en composés organiques halogénés volatils (COHV) (concentrations entre 1 200 et 239 974 $\mu\text{g}/\text{m}^3$).

Conformément aux recommandations en vigueur [2], en raison d'éléments volatils dans les gaz du sol et compte tenu de l'incertitude sur la qualité de l'air ambiant à l'aplomb des zones impactées, des prélèvements d'air ambiant ont été réalisés dans le collège et la crèche contiguë. Ainsi, le 23 septembre 2017, une campagne de prélèvements et d'analyses [3] a été réalisée pour rechercher les composés volatils mis en évidence en juin dans les gaz du sol. Au cours de cette campagne, 13 prélèvements d'air ambiant ont notamment été effectués dans les locaux du site ; il s'agissait de prélèvements actifs réalisés sur des durées d'environ 8 heures sur des supports de type charbon actif et/ou carulite. Un large panel de molécules volatiles et semi-volatiles ont été recherchées : les hydrocarbures TPH, BTEX, COVH, mercure volatil et chlorobenzène.

Cette campagne a permis d'identifier dans l'air ambiant du collège et de la crèche la présence de TCE et de PCE à des concentrations significatives sur la totalité des points de prélèvement,

avec des concentrations comprises entre 6,6 et 213 µg/m³ pour le TCE, et entre 62,8 et 2 176 µg/m³ pour le PCE (Tableau 1).

Aucune autre molécule n'était identifiée dans ces prélèvements en air ambiant dans les pièces d'exposition à des concentrations préoccupantes.

I TABLEAU 1 I

Caractérisation de l'air ambiant du site par prélèvements actifs - 23 septembre 2017

Localisation du prélèvement en air ambiant		Nombre de prélèvements actifs (8h)	Concentration ² en PCE (µg/m ³)	Concentration ² en TCE (µg/m ³)	
Collège	Bâtiment A RdC salle de classe	1	62,8	11,8	
	Bâtiment B RdC salle de classe	2	314,1	65,5	
	Bâtiment D Sous-sol cuve à fioul	1	67,7	6,6	
	Bâtiment E	RdJ sanitaires	1	330,1	41,8
		RdJ réfectoire	1	1 205,9	213,1
	RdC salle de classe	2	151,9	18,2	
Galerie souterraine	R - 1	1	2 176	210	
Crèche	RdC cuisine + réfectoire des maternelles	2	183	46,5	
	R + 1 salle de jeu + relai assistantes maternelles	2	176	32,5	
Air extérieur	Cour crèche	1	86,9	11,9	

Compte tenu de ces résultats, une campagne spécifique de mesurage des COVH a été réalisée, à la demande de l'ARS Ile-de-France, afin de confirmer ce signal environnemental.

En octobre et novembre 2017, une nouvelle campagne de prélèvements et d'analyses [4] a donc été réalisée spécifiquement pour la recherche de COVH afin de mieux caractériser le niveau de contamination des locaux. Ainsi, une campagne comportant 33 prélèvements en air ambiant dont 11 prélèvements actifs sur 8 heures réalisés le 24 octobre 2017 et 22 prélèvements passifs sur 7 jours réalisés entre le 24 octobre et le 3 novembre 2017 a été menée.

Comme recommandé par l'Agence nationale de sécurité sanitaire de l'alimentation, de l'environnement et du travail (Anses) pour la métrologie du PCE et du TCE en air ambiant [5,6], cette seconde campagne a été réalisée en privilégiant la technique de diffusion passive sur tube contenant du charbon actif avec désorption thermique (au disulfure de carbone pour le PCE). La mise en œuvre de ce mode de prélèvement sur une durée de 7 jours était en effet préconisée pour la comparaison des mesures aux valeurs guide long terme proposées.

² Seules les concentrations moyennes sont indiquées lorsque plusieurs prélèvements ont été réalisés sur le même étage du même bâtiment dans des salles affectées aux mêmes activités.

Finalement, les concentrations en air ambiant variaient entre 0,3 et 256 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ pour le TCE et entre 0,42 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ et 1 752 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ pour le PCE (Tableau 2). Seuls les résultats des prélèvements passifs sur 7 jours, plus représentatifs de l'exposition chronique, sont indiqués ci-dessous. Les concentrations mesurées en air ambiant à l'aide des prélèvements actifs étaient globalement du même ordre de grandeur.

Cette nouvelle campagne confirmait les résultats de la première campagne sur la présence de COVH, essentiellement du TCE et du PCE, dans l'air ambiant des 2 établissements.

Enfin, une campagne de prélèvements en air ambiant (prélèvements passifs sur 7 jours) réalisée fin novembre par le Laboratoire central de la préfecture de police (LCPP) de Paris [7] a confirmé ces résultats. Lors de cette dernière campagne, les 6 logements de fonction situés au 3^e étage du bâtiment E ont également été prélevés : 2 logements présentaient un dépassement de la VR en TCE, l'un à 2,2 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ et l'autre à 6 $\mu\text{g}/\text{m}^3$. Le logement de fonction présentant une concentration en TCE de 6 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ était inoccupé depuis plusieurs mois : moins aéré, ce dernier logement n'a pas été considéré par le LCPP et l'ARS comme représentatif de conditions habituelles d'exposition.

I TABLEAU 2 I

Caractérisation de l'air ambiant du site par prélèvements passifs – 24 octobre au 3 novembre 2017

Localisation du prélèvement en air ambiant			Nombre de prélèvements passifs (7j)	Concentration ³ en PCE ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	Concentration ³ en TCE ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)
Collège	Bâtiment A	RdC salle de classe	1	1,3	< 0,3
		R + 1 salle de classe	1	0,6	< 0,3
	Bâtiment B	RdC vestiaire / foyer élèves	2	72,7	32
		R + 1 salles de classe	2	21,1	8,3
	Bâtiment D	Sous-sol cuve à fioul	1	0,9	< 0,3
		RdJ réfectoire	1	432	54,8
	Bâtiment E	RdJ cuisine	1	19,2	2,2
		RdC réserve + salle classe	2	6,8	0,8
		R + 1 salles de classe	3	75,2	9,3
		R + 2 salles de classe	3	155,3	19,2
		R + 3 logements de fonction	3	1,8	< 0,3
	Galerie souterraine	R - 1	1	1 752	256
	Crèche	RdC réfectoire des maternelles	1	112	31,2
	Air extérieur	Toit terrasse crèche	1	< 0,3	< 0,3

³ Seules les concentrations médianes sont indiquées lorsque plusieurs prélèvements ont été réalisés sur le même étage du même bâtiment dans des salles affectées aux mêmes activités.

Air ambiant dans l'école maternelle Nord

Au cours de la campagne de prélèvements en air ambiant réalisée du 24 octobre au 3 novembre 2017, 13 prélèvements en air ambiant dont 6 prélèvements passifs et 7 prélèvements actifs ont été réalisés à l'intérieur des locaux de l'école maternelle Nord [4]. L'objectif de cette campagne était de vérifier la présence d'une pollution au COVH après la détection de la pollution des locaux voisins du collège et de la crèche.

Au cours de cette campagne, les concentrations maximales relevées en TCE et PCE étaient respectivement de $0,4 \mu\text{g}/\text{m}^3$ et $5,7 \mu\text{g}/\text{m}^3$.

Air ambiant chez les riverains du site

Une campagne de prélèvements en air ambiant dans 18 logements riverains du collège a été réalisée à la demande de l'ARS (Figure 4) à la fin du mois de novembre 2017 par le LCPP de Paris [7]. Il s'agissait de prélèvements passifs sur 7 jours. Les capteurs étaient positionnés en rez-de-chaussée ($n = 17$) ou en sous-sol ($n = 2$).

Les logements choisis ont été sélectionnés en fonction de leur proximité avec le site et en tenant compte du sens d'écoulement de la nappe ainsi que de la présence de personnes sensibles (enfants et/ou pathologies chroniques déclarées) au domicile.

I FIGURE 4 I

Localisation des prélèvements en air ambiant chez les riverains du site – Novembre 2017 (extrait du rapport LCPP [7] - page 6)



Au cours de cette campagne, les concentrations relevées en TCE étaient toutes inférieures à la limite de détection ($LD = 0,46 \mu\text{g}/\text{m}^3$) ou de quantification ($LQ = 1,4 \mu\text{g}/\text{m}^3$) excepté pour un

prélèvement dont la concentration était de 2,2 µg/m³. Ce dernier logement était assez éloigné du lieu supposé de la source de la pollution.

De même, toutes les concentrations relevées en PCE étaient inférieures à la limite de détection (LD = 0,96 µg/m³) ou de quantification (LQ = 2,9 µg/m³) excepté pour 3 prélèvements dont les concentrations atteignaient 3,2 à 12 µg/m³.

2.1.3 Caractérisation de la qualité des eaux sur le site

Eaux souterraines sur le site

D'après une étude réalisée en novembre 2017 par BG ingénieur conseil (bureau d'études assurant l'assistance à maîtrise d'ouvrage auprès du Conseil général 94), les informations recueillies indiquent au droit du site la présence d'eau souterraine à une profondeur de 10,3 à 11,3 mètres. Les coupes piézométriques indiquent la présence de remblais hétérogènes sablo-graveleux à argileux sur 1 mètre puis d'argile et sable marron à beige orangé sur 7 mètres. Le sens d'écoulement de la nappe est nord → sud ou nord-est → sud-ouest.

L'analyse des eaux souterraines (novembre 2017) montre pour les solvants chlorés :

- une absence de contamination significative sur les piézomètres situés sur le site du collège, en amont de la source de pollution, au Nord (des traces de PCE sont relevées mais sont très faibles : 3,5 à 8,1 µg/L) ;
- au droit de la zone source, une forte contamination en PCE et en TCE (19 mg/L de TCE et 39 mg/L de PCE), indiquant que la pollution dans les sols a clairement atteint la nappe ;
- en aval de la source, toujours sur le site du collège, mais plus au Sud, le PCE demeure à des teneurs élevées (2,1 à 2,7 mg/L), avec une atténuation de l'ordre d'un facteur 10 à 20 par rapport au piézomètre situé au droit de la source. Le TCE n'est pas quantifié mais le seuil du laboratoire est rehaussé (inférieure à 50 µg/L) : le facteur d'atténuation est néanmoins de l'ordre de 400 par rapport au piézomètre situé au droit de la source ;
- Le chlorure de vinyle, résultant de la dégradation des PCE et TCE n'est pas retrouvé (concentration <0,5 µg/l) et le dichloroéthylène (cis- ou trans-) est quasiment absent.

Eau destinée à la consommation humaine dans le collège Saint-Exupéry et la crèche municipale Liberté

La qualité de l'EDCH distribuée dans la crèche et le collège a été vérifiée en novembre 2017 par le laboratoire Carso : 1 échantillon d'eau prélevé sur 3 points dans le collège et 1 échantillon prélevé sur 1 point dans la crèche ont été analysés.

Les concentrations mesurées en TCE dans l'eau prélevée sur les 3 points du collège étaient inférieures à la limite de détection (LD = 0,5 µg/L). Des traces de PCE ont été retrouvées sur 2 des 3 points de prélèvements du collège avec des concentrations de 1,1 et 1,5 µg/L.

Sur le point de distribution de la crèche, les concentrations mesurées étaient pour le PCE de 8,2 µg/L et pour le TCE de 6,1 µg/L.

Eau destinée à la consommation humaine dans l'école maternelle Nord

La qualité de l'EDCH distribuée dans l'école maternelle Nord a été vérifiée en novembre 2017 par le laboratoire Carso : 1 échantillon d'eau prélevé sur 1 point a été analysé. Les concentrations mesurées en TCE et PCE dans l'eau prélevée sur ce point étaient inférieures à la limite de détection (LD = 0,5 µg/L).

Eau destinée à la consommation humaine chez les riverains du site

La qualité de l'EDCH distribuée chez les riverains du site a été vérifiée en novembre et décembre 2017 dans 18 logements. Les concentrations mesurées en TCE et PCE dans l'eau prélevée sur l'ensemble des points étaient inférieures à la limite de détection (LD = 0,5 µg/L).

Les logements sélectionnés étaient les mêmes que ceux ayant fait l'objet de mesures en air ambiant.

2.1.4 Nature des polluants retrouvés, comportement dans l'environnement et voies d'exposition

Le TCE et le PCE sont les molécules ayant été retrouvées à des concentrations préoccupantes dans l'air ambiant du site. Ils appartiennent à la famille des composés organiques halogénés volatiles (COHV) ayant fait l'objet des campagnes de mesures. Cette famille a été recherchée en cohérence avec les anciennes activités (notamment dégraissage des métaux) ayant été recensées sur le site suite à l'étude historique menée dans le cadre de la réhabilitation du collège. Les composés recherchés incluent les molécules mères et leurs produits de dégradation. En effet, sous l'action d'une dégradation microbiologique par déhalogénéation anaérobie dans les sols et les eaux souterraines, on observe la chaîne de dégradation suivante pour le PCE/TCE [8,9] :



Dans l'environnement, le TCE et le PCE ont tendance à migrer au fond des nappes phréatiques en raison de leur densité, avec une très faible possibilité de dégradation. Les sols et les eaux souterraines contaminés par une pollution ancienne peuvent constituer des sources spécifiques de contamination des locaux. En effet, les vapeurs de TCE et PCE en provenance de la nappe peuvent atteindre les habitations en remontant par les fractures ou les pores des formations géologiques.

Pour ces substances, la littérature retient deux voies principales d'exposition. Ces composés étant particulièrement volatils, l'inhalation est la voie d'entrée privilégiée dans l'organisme. Par ailleurs, bien que ces composés soient très peu solubles dans l'eau, l'ingestion peut devenir prépondérante si les eaux de consommation sont fortement contaminées en PCE et TCE [8,9].

2.1.5 Valeurs de référence dans les milieux retrouvés dans la littérature pour le TCE et le PCE

L'observatoire de la qualité de l'air intérieur (OQAI) a produit en 2006 un état de la qualité de l'air des logements en France [10]. Les données de 567 résidences principales réparties sur 50 départements et 74 communes en France ont permis de caractériser la qualité de l'air à l'intérieur des logements, notamment pour les concentrations en TCE et en PCE (Tableau 3).

I TABLEAU 3 I

Distribution des concentrations en PCE et TCE dans les logements français, hors garage (Campagne nationale logements, 2006. Observatoire de la qualité de l'air intérieur)

	Trichloroéthylène (TCE)	Perchloroéthylène (PCE)
Médiane	1,0 [LQ – 1,1] µg/m ³	1,4 [1,2 – 1,6] µg/m ³
95 ^e percentile	7,3 [5,1 – 16,6] µg/m ³	7,3 [6 – 11,5] µg/m ³

Le Service parisien de santé environnementale (SPSE), ex-laboratoire d'hygiène de la ville de Paris, a produit en 2006 une étude sur la qualité de l'air intérieur dans 26 crèches de Paris [11] au cours de laquelle les concentrations en PCE ont été mesurées dans l'air ambiant (Tableau 4).

I TABLEAU 4 I

Distribution des concentrations en PCE dans les crèches de Paris (Qualité de l'air dans les crèches parisiennes. Laboratoire d'hygiène de la ville de Paris)

	Minimum	Percentile 25	Médiane	Percentile 75	Maximum
Perchloroéthylène (PCE)	< 0,1 µg/m ³	0,5 µg/m ³	0,8 µg/m ³	1,4 µg/m ³	7,0 µg/m ³

2.1.6 Valeurs de gestion disponibles pour le TCE et le PCE

Air intérieur

Le Haut conseil de santé publique (HCSP) a émis pour le TCE et le PCE des rapports et avis, respectivement en 2012 [12,13] et en 2010 [14,15]. Le HCSP définit pour chacun des polluants, deux valeurs d'aide à la gestion (Tableau 5) :

- une Valeur repère (VR) : cette valeur repère de qualité de l'air vise à protéger des effets sanitaires à long terme en lien avec l'inhalation de la substance, qu'il s'agisse d'effets cancérogènes ou non cancérogènes ;
- une Valeur d'action rapide (VAR) : cette valeur déclenche la mise en œuvre d'actions correctives dans les logements concernés pour abaisser la concentration de la substance au niveau de la VR dans un délai de 6 mois.

Ces seuils ont été établis à partir de données toxicologiques (Annexe 1).

I TABLEAU 5 I

Valeurs de gestion proposées par le HCSP pour le TCE et le PCE [12,13,14,15]

	Trichloroéthylène (TCE)	Perchloroéthylène (PCE)
Valeur repère de qualité de l'air (VR)	2 µg/m ³	250 µg/m ³
Valeur d'action rapide (VAR)	10 µg/m ³	1 250 µg/m ³

Les valeurs limites de moyenne d'exposition professionnelle (VME) sont établies pour le TCE à 405 mg/m³ pour 8 heures et 1 080 mg/m³ pour 15 minutes et pour le PCE à 138 mg/m³ pour 8 heures (pas de valeur limite d'exposition à court terme pour le PCE). Néanmoins dans cette situation, les expositions n'étant pas générées directement par les activités de l'entreprise, ni indissociables de l'activité, ces valeurs limites ne s'appliquent pas et ce sont les valeurs de gestion en population générale émises par le HCSP qui sont prises en compte.

Eau destinée à la consommation humaine

Des limites de qualité dans les eaux destinées à la consommation humaine existent pour les COVH recherchés dans les eaux destinées à la consommation humaine⁴ :

- TCE : 10 µg/L ;
- PCE : 10 µg/L ;
- Somme (PCE + TCE) : 10 µg/L ;
- CV : 0,5 µg/L.

Ces valeurs ont été établies en fonction de la connaissance du risque sanitaire lié à l'ingestion de ces substances. Le dépassement d'une limite de qualité rend l'eau impropre à la consommation et nécessite la mise en place de mesures pour revenir à des niveaux inférieurs à la limite de qualité.

2.1.7 Conclusions sur la contamination des milieux

Dans le cadre des investigations menées entre septembre et décembre 2017, de nombreuses molécules volatiles et semi-volatiles ont été recherchées sur le site, à la fois en air ambiant et dans les gaz du sol où un screening complémentaire a été réalisé. En raison des résultats des gaz du sol et des premières mesures en air ambiant dans le collège et la crèche, les investigations se sont rapidement orientées vers la recherche de COVH, notamment TCE et PCE, à la fois dans l'air ambiant et dans l'eau distribuée sur le site et à proximité, chez les riverains. Ces 2 molécules étaient les seules retrouvées dans les milieux d'exposition sur le site (air ambiant des locaux et EDCH) à des concentrations préoccupantes.

Les deux campagnes réalisées afin de caractériser l'air ambiant du collège Saint-Exupéry et de la crèche Liberté ont confirmé la présence d'une contamination des deux établissements. Les niveaux relevés dépassaient pour une majorité de points le 95^e percentile des concentrations relevées en TCE et PCE dans les pièces de vie des logements français [10]. De plus, pour de nombreux prélèvements, les concentrations relevées dépassaient les valeurs de gestion proposées par le HCSP, à savoir la VAR pour le TCE [12,13] et la VR pour le PCE [14,15].

Les niveaux de contamination en air ambiant les plus importants étaient globalement retrouvés de façon cohérente à l'aplomb des points de prélèvement en gaz du sol les plus contaminés. L'air ambiant des ailes Nord (bâtiment E) et Est (bâtiment B) du collège apparaissait plus contaminé que les ailes Ouest (bâtiment A) et Sud (bâtiment D). Les concentrations les plus élevées étaient observées dans la galerie souterraine située sous la cour du collège et le réfectoire semi-enterré du collège. Concernant les logements de fonction du collège, au 3^e étage du bâtiment E, aucun dépassement des VR en TCE et PCE n'a été identifié dans des conditions représentatives d'exposition en dehors d'un dépassement pour un logement. La concentration atteinte était juste au-dessus de la VR en TCE (VR = 2 µg/m³) et atteignait 2,2 µg/m³.

⁴ Arrêté du 11 janvier 2007 relatif aux limites et références de qualité des eaux brutes et des eaux destinées à la consommation humaine mentionnées aux articles R. 1321-2, R. 1321-3, R. 1321-7 et R. 1321-38 du code de la santé publique.

Cette variabilité dans l'espace peut s'expliquer par la localisation de la ou des sources de pollution dans le sol, l'étage ou la présence de vecteurs préférentiels (présence de fissures dans le bâti...).

Les concentrations en TCE et PCE mesurées dans l'air ambiant du collège et de la crèche dans la campagne menée en octobre étaient globalement plus basses que lors de la campagne de septembre. Cette variabilité dans le temps du niveau de contamination est fréquemment observée sur ce type de pollution aux solvants chlorés, en lien avec des facteurs environnementaux (hauteur de la nappe et température extérieure notamment) ou liés au bâtiment (variation du renouvellement de l'air des locaux).

Au cours des campagnes en air ambiant dans le collège et la crèche, les produits issus de la dégradation du PCE et du TCE ont également été recherchés. Si la présence de CV n'a pas été détectée dans l'air ambiant des bâtiments, des traces de cis-DCE dans 9 prélèvements en air ambiant ont été détectées lors de la campagne d'octobre 2017 (concentrations comprises entre 0,2 et 1,4 µg/m³).

Concernant la qualité de l'EDCH distribuée sur le site, la présence de PCE et de TCE a été identifiée dans l'eau de la crèche : le dépassement de la limite de qualité pour la somme PCE + TCE mesuré dans l'échantillon prélevé rend l'eau impropre à sa consommation. Cette eau sert à la vaisselle (et éventuellement la toilette) des enfants de la crèche. L'eau destinée à la consommation humaine pour les enfants de la crèche, notamment pour la préparation des biberons, provenait exclusivement de bouteilles. En revanche, cette eau était consommée par les enfants de l'école maternelle Nord lors des repas et des goûters pris dans le bâtiment de la crèche ainsi que par le personnel encadrant de la crèche et les animateurs de l'école maternelle Nord. Des traces de PCE ont également été détectées sur 2 points de prélèvement du collège mais l'eau distribuée était conforme à la réglementation.

Aucun impact de la pollution ne semble avoir été détecté chez les riverains du site et dans l'école maternelle Nord, tant en air ambiant où les concentrations retrouvées étaient semblables à celles rapportées dans l'étude de l'OQAI [10] que dans l'EDCH où tous les prélèvements effectués étaient conformes aux limites de qualité actuelles.

Étant donné la forte volatilité du TCE et du PCE, leur détection uniquement à de faibles concentrations sur des prélèvements d'EDCH du collège et leur détection quasi-systématique à des niveaux élevés dans l'air ambiant du collège et de la crèche uniquement, le risque lié à l'inhalation de ces 2 molécules chez les personnes ayant fréquenté ces deux établissements a été pris en compte dans la présente note. Par ailleurs, étant donné la détection de TCE et de PCE à des niveaux rendant l'eau de la crèche impropre à la consommation, une exposition par ingestion d'eau a également été considérée pour les travailleurs exposés dans la crèche et les enfants de l'école maternelle Nord.

2.1.8 Effets sanitaires connus pour des expositions chroniques au TCE et au PCE

La toxicité chronique par inhalation du TCE et du PCE a été mise en évidence dans plusieurs études menées chez l'animal et chez l'homme [8,9] (Tableau 6 ; Annexe 2).

I TABLEAU 6 I

Synthèse des effets sanitaires chez l'homme pour une exposition par inhalation de TCE et de PCE (Avis relatif à la proposition de valeurs guides de la qualité de l'air intérieur pour le trichloréthylène et perchloroéthylène. Anses)

	Effets pour une exposition aiguë	Effets non cancérogènes (à seuil) pour une exposition chronique	Effets cancérogènes (sans seuil) pour une exposition chronique
TCE	Atteinte du système nerveux central, troubles cardiaques	Effets neurologiques (céphalées, troubles de la mémoire, incoordination motrice, etc.), cardiaques, rénaux et immunotoxiques	Cancérogène avéré (groupe 1, CIRC) Cancer du rein (certain), lymphomes non hodgkiniens (suspecté), cancers du foie et des voies biliaires (suspecté) Cancérogène probable selon l'UE (1B)
PCE	Atteinte du système nerveux central, irritations cutanée et nasale	Effets rénaux (lésions tubulaires) et neurologiques (troubles de la mémoire, perte de la vision des couleurs, augmentation du temps de réaction, etc.)	Cancérogène probable (groupe 2A, CIRC) Cancérogène possible selon l'UE (2)

2.1.9 Valeurs toxicologiques de référence pour des expositions chroniques par inhalation au PCE et au TCE (liste non exhaustive)

Une valeur toxicologique de référence (VTR) est un indice toxicologique qui permet, par comparaison avec l'exposition, de qualifier ou de quantifier un risque pour la santé humaine. Le mode d'élaboration des VTR dépend des données disponibles sur les mécanismes d'action toxicologique des substances et d'hypothèses communément admises : on distingue ainsi des « VTR sans seuil de dose » et des « VTR à seuil de dose ».

- **Trichloroéthylène (TCE)**

- (i) **VTR pour des effets à seuil (exposition chronique par inhalation) :**

Pour évaluer la survenue des effets à seuil de l'exposition chronique au TCE, trois VTR sont disponibles : celle de *US Environmental Protection Agency* (US EPA) publiée en 2011, celle de l'*Office of Environmental Health Hazard Assessment* (OEHHA) publiée en 2003 et celle de l'ATSDR (en cours).

L'US EPA a analysé en 2011 les études les plus récentes qui sont des études expérimentales sur des petits rongeurs. Les effets observés les plus faibles l'ont été après administration orale : des effets immunotoxiques chez la femelle souris (Keil *et al*, 2009) et des effets de développement foetal chez le rat (Jonhson *et al*, 2003) ont été constatés. À partir de ces études, l'US EPA a proposé en 2011 une VTR de type Reference concentration (RfC) de 2 µg/m³.

L'OEHHA a proposé en 2003 un REL de $0,6 \text{ mg}\cdot\text{m}^{-3}$ pour une exposition chronique par inhalation. Cette valeur est issue d'une étude réalisée chez 19 travailleurs exposés durant 8 ans au TCE (Vandervort et Polnkoff, 1973).

Dans son rapport d'expertise de 2013 [35], l'Anses n'a retenu aucune des VTR chroniques pour des effets à seuil par inhalation construite par les différentes agences de référence. Dans son rapport de juillet 2012 [12], le HCSP a tenu compte de la VTR pour des effets à seuil par inhalation de l'US-EPA de $2 \text{ }\mu\text{g}/\text{m}^3$ pour définir sa valeur repère de la qualité de l'air du TCE (Annexe 1).

(ii) VTR pour des effets sans seuil (exposition chronique par inhalation) :

Deux VTR de type « excès de risque unitaire⁵ » (ERU) sont actuellement disponibles.

Le premier ERU fixé à $4,3 \cdot 10^{-7} (\mu\text{g}/\text{m}^3)^{-1}$ a été élaboré en 2000 par l'OMS. Il est fondé sur deux études expérimentales sur animal dont l'effet critique est l'effet cancérogène (tumeurs testiculaires des cellules de Leydig) chez le rat.

Le deuxième ERU fixé à $4,1 \cdot 10^{-6} (\mu\text{g}/\text{m}^3)^{-1}$ a été élaboré par US EPA en 2011 à partir d'une étude épidémiologique portant sur 86 cas de cancer du rein et 316 témoins (Charbotel *et al*, 2006). L'ERU pour le cancer du rein, issu de cette étude, est de $1 \cdot 10^{-6} (\mu\text{g}/\text{m}^3)^{-1}$. Il a été multiplié par 4 pour extrapoler les relations dose-effet établies pour le cancer du rein à l'ensemble des tumeurs possiblement induites par le TCE chez l'homme (lymphome non hodgkinien et cancer du foie et voies biliaires), soit un ERU de $4,1 \cdot 10^{-6} (\mu\text{g}/\text{m}^3)^{-1}$.

Dans son rapport d'expertise d'avril 2013, l'Anses [35] a réalisé une analyse de la VTR effets sans seuil (ou ERU) publiée par l'US EPA à l'issue de laquelle les experts recommandent de ne pas retenir l'ERU proposé par l'US EPA, au motif que la méthode de construction de cette VTR est inhabituelle et que les sujets ont pu être coexposés aux huiles de coupe et de pétrole (Annexe 1).

Dans son avis de juillet 2012 [12] relatif à la définition des valeurs repères d'aide à la gestion dans l'air des espace clos pour le TCE, le HCSP a, pour sa part, tenu compte de la VTR effets sans seuil de l'US-EPA de $4,1 \cdot 10^{-6} (\mu\text{g}/\text{m}^3)^{-1}$ dans la définition de la valeur repère de la qualité de l'air (VR).

- **Perchloroéthylène (PCE)**

(i) VTR pour des effets à seuil (exposition chronique par inhalation) :

Pour prévenir la survenue d'effets à seuil de l'exposition chronique au PCE, plusieurs VTR sont disponibles dont celle de l'US EPA établie en 2012 une VTR. Il s'agit d'un « Reference Concentration » $\text{RfC} = 40 \text{ }\mu\text{g}/\text{m}^3$. Cette valeur a été établie à partir de deux études menées en milieu professionnel (Echeverria *et al*, 1995 ; Cavalleri *et al*, 1994). Ces études mettent en évidence la survenue d'effets neurotoxiques.

L'Anses, dans son rapport d'expertise de 2013 [35], n'a cependant pas retenu cette valeur (Annexe 1).

Le RIVM propose une TCA de $0,25 \text{ mg}\cdot\text{m}^{-3}$ pour une exposition chronique par inhalation (Baars *et al*. 2001). Cette valeur est celle proposée par l'OMS comme valeur guide pour la qualité de l'air, il s'agit d'une valeur établie en 1995 qui est encore retenue en 2000. Cette valeur est

⁵ Excès de risque unitaire (ERU) : excès attendu de cas d'une pathologie donnée, consécutif à l'exposition continue (24h/24), sur une vie entière (70 ans), à une concentration de 1 unité d'une substance.

établie à partir de l'étude épidémiologique de Mutti *et al.* (1992) sur des travailleurs exposés pendant 10 ans. De cette étude, une LOAEC de 102 mg.m⁻³ pour des effets rénaux est retenue.

(ii) **VTR pour des effets sans seuil (exposition chronique par inhalation) :**

Pour prévenir la survenue d'effets chroniques à seuil par inhalation, l'Anses retient en 2013 [35] la VTR proposée par l'US EPA en 2012, à savoir un excès de risque unitaire ERU = 2,6.10⁻⁷ (µg.m⁻³)⁻¹. Cette VTR se fonde sur les effets critiques (adénomes et carcinomes hépatocellulaires) observés chez des souris mâles dans l'étude JISA (1993) (Annexe 1).

2.1.10 Valeurs toxicologiques de référence pour des expositions chroniques par ingestion au PCE et au TCE (liste non exhaustive)

À partir de l'avis de l'Anses rendu en décembre 2014 sur l'évaluation des risques sanitaires liés aux situations de dépassement de la limite de qualité du TCE et du PCE dans l'eau destinée à la consommation humaine [22], il est retenu, pour les effets à seuil et sans seuil, les doses journalières tolérables (DJT) et les excès de risque unitaire (ERU) détaillés ci-après (Tableau 7).

I TABLEAU 7 I

Valeurs toxicologiques de référence retenues par l'Anses dans le cadre de l'évaluation des risques sanitaires dans l'eau destinée à la consommation humaine (exposition chronique)

	Dose journalière tolérable (effet à seuil)	Excès de risque unitaire (effet sans seuil)
Trichloroéthylène (TCE)	1,46 µg/kg p.c./jour (ingestion), OMS (2005)	7,8.10 ⁻⁴ (mg/kg p.c./jour) ⁻¹ (ingestion), OMS (2005)
Perchloroéthylène (PCE)	14 µg/kg p.c./jour (ingestion), OMS (2003)	2,6.10 ⁻⁷ (µg/m ³) ⁻¹ (inhalation) *, US EPA (2012)

* Utilisation d'un modèle PBPK pour estimer une dose interne à partir de la VTR inhalation puis estimation de 0,1 / BMDL₁₀.

Par ailleurs, pour prévenir des effets sans seuil par ingestion du PCE, l'US EPA a également établi en 2011 un ERU de 2.10⁻³ (mg.kg p.c./jour)⁻¹ par transposition d'un ERU par inhalation à l'ERU par voie orale à l'aide d'un modèle PBPK associé à un effet critique de survenue d'Adénomes et carcinomes hépatocellulaires chez la souris [22].

2.1.11 Synthèse de l'évaluation quantitative du risque sanitaire (EQRS)

Afin d'estimer le risque sanitaire global lié à la présence de TCE et de PCE dans les deux établissements, l'ARS Ile-de-France a finalisé en mars 2018 une évaluation quantitative des risques sanitaires (EQRS) pour les différentes populations exposées à partir des concentrations relevées dans les deux campagnes de mesures d'air ambiant [3,4] et dans l'eau du robinet. Cette démarche est utilisée en premier lieu par l'ARS pour affiner la connaissance des risques sanitaires mais elle peut également permettre de fournir des éléments, sur les populations les plus à risque par exemple ou les effets sanitaires liées aux substances considérées à intégrer pour analyser la faisabilité et la pertinence de mise en œuvre d'investigations épidémiologiques. Ce document a été transmis à Santé publique France IdF en mars 2018 (Annexe 3).

Deux scénarios d'exposition ont été retenus par l'ARS pour réaliser cette EQRS :

- Un scénario moyen élaboré pour chaque population sur la base des concentrations moyennes relevées dans les locaux fréquentés par ces populations et d'un temps d'exposition habituellement constaté ;
- Un scénario maximaliste élaboré pour chaque population sur la base des concentrations maximales relevées dans les locaux fréquentés par ces populations et d'un temps d'exposition maximal⁶.

N'ayant pas la connaissance des niveaux de contamination passés dans les locaux, les scénarios d'exposition ont été construits en prenant l'hypothèse que les concentrations en air ambiant en TCE et en PCE relevées lors des deux campagnes menées fin 2017 n'avaient pas évolué dans le temps. Il a été fait de même pour les concentrations en TCE et en PCE dans l'EDCH.

Les quotients de danger (QD) n'ont pas été additionnés car relatifs à des effets et des voies d'exposition différents. En revanche, les ERI ont tous été additionnés pour l'obtention d'un ERI global.

Les résultats de cette EQRS sont résumés dans les tableaux 8 et 9.

Finalement, l'EQRS montrait que :

- la survenue d'effets sanitaires à seuil tels que décrits dans le tableau 6 ci-dessus, était exclue quelle que soit la population exposée et le scénario considéré ;
- pour des effets sans seuil (ou cancérogènes), les seules populations concernées par un risque sanitaire au-delà du seuil considéré comme acceptable⁷ de 10^{-5} seraient le personnel du collège (professeurs, agents administratifs et chargés de la restauration) et de la crèche, uniquement dans l'hypothèse d'un scénario d'exposition maximaliste. Le niveau de risque atteint dans ce scénario maximaliste était légèrement au-dessus du risque acceptable (compris entre $1,2 \cdot 10^{-5}$ et $4,5 \cdot 10^{-5}$ en fonction du personnel concerné). Dans l'hypothèse d'un scénario moyen d'exposition, tous les niveaux de risque calculés sont inférieurs à 10^{-5} .

L'EQRS réalisée par l'ARS montrait également que la voie d'exposition orale aux solvants chlorés par l'ingestion de l'eau d'alimentation pour les populations consommant l'eau distribuée contaminée de la crèche (enfants de la maternelle et adultes travaillant sur le site) n'était pas prépondérante face à la voie d'exposition de l'inhalation de ces composés pour la survenue d'effets sans seuil. Ce constat rejoignait les données de la littérature qui indiquent que, s'agissant de composés fortement volatiles, l'inhalation est la voie d'entrée privilégiée dans l'organisme sauf dans les situations où les eaux de consommation sont fortement contaminées [8,9], ce qui n'est pas le cas ici. Par conséquent, l'exposition passée des populations aux solvants chlorés par ingestion d'eau du robinet n'est pas prise en compte dans la suite de cette note pour la survenue d'effets sanitaires sans seuil.

⁶ Le temps d'exposition maximal retenu dans le scénario de l'ARS correspond, pour les travailleurs sur le site, à une durée théorique de 40 ans alors que les durées de présence les plus longues rapportées par l'ARS chez les travailleurs actuellement en poste variaient de 7 à 25 ans en fonction du métier exercé.

⁷ Le seuil habituellement utilisé et proposé par l'OMS pour définir un risque acceptable pour les effets sans seuil (ou cancérogènes) est de 10^{-5} , ce qui correspond à un excès d'un cas de pathologie pour 100 000 personnes exposées durant toute leur vie (70 ans).

I TABLEAU 1 I

Synthèse des résultats de l'EQRS réalisée par l'ARS IDF : quotients de danger (QD)* pour une exposition chronique par inhalation et ingestion au TCE et au PCE

	Scénario d'exposition moyen				Scénario d'exposition maximaliste			
	Inhalation		Ingestion eau		Inhalation		Ingestion eau	
	QD TCE ⁸	QD PCE ⁹	QD TCE ¹⁰	QD PCE ¹¹	QD TCE	QD PCE	QD TCE	QD PCE
Enfants (crèche)	0,01	0,1	-	-	0,02	0,22	-	-
Enfants (maternelle)	0,004	0,04	0,03	0,004	0,01	0,05	0,05	0,007
Enfants (collège)	0,01	0,11	-	-	0,02	0,19	-	-
Enfants Scénario cumulé (crèche + maternelle + collège)	0,02	0,25	0,03	0,004	0,04	0,46	0,05	0,007
Animateurs (maternelle)	0,004	0,04	0,01	0,002	0,01	0,05	0,02	0,003
Personnel (crèche)	0,01	0,07	0,01	0,002	0,01	0,16	0,02	0,003
Professeurs (collège)	0,01	0,1	-	-	0,02	0,16	-	-
Personnel administratif (collège)	0,004	0,06	-	-	0,01	0,08	-	-
Personnel en charge de la restauration (collège)	0,01	0,22	-	-	0,02	0,37	-	-

* Le quotient de danger (QD) correspond au ratio entre le niveau d'exposition et la valeur toxicologique de référence. Il n'exprime pas une probabilité de survenue et est donc plutôt d'ordre qualitatif. Un QD inférieur à 1 permet d'exclure la survenue d'un effet sanitaire (effet à seuil).

⁸ Le QD pour l'inhalation de TCE a été calculé avec la VTR OEHHA (2003) (effets à seuil neurotoxiques et irritations oculaires) : 600 µg/m³. La formule suivante a été employée : QD = CI / VTR avec CI = [Σ (Ci x ti)].

⁹ Le QD pour l'inhalation de PCE a été calculé avec la VTR RIVM (2000) (effets à seuil rénaux) : 250 µg/m³. La formule suivante a été employée : QD = CI / VTR avec CI = [Σ (Ci x ti)].

¹⁰ Le QD pour l'ingestion de TCE a été calculé avec la VTR OMS (2005) de 1,46 µg/kg p.c./jour (toxicité pour le développement cardiaque). La formule suivante a été employée : QD = DJE / VTR avec DJE = (concentration dans l'eau) x (fréquence d'exposition) x (quantité d'eau ingérée) / (poids corporel).

¹¹ Le QD pour l'ingestion de PCE a été calculé avec la VTR OMS (2003) de 14 µg/kg p.c./jour (effets hépatotoxiques et rénaux). La formule suivante a été employée : QD = DJE / VTR avec DJE = (concentration dans l'eau) x (fréquence d'exposition) x (quantité d'eau ingérée) / (poids corporel).

I TABLEAU 9 I

Synthèse des résultats de l'EQRS réalisée par l'ARS IDF : excès de risque individuels (ERI)* pour une exposition chronique par inhalation et ingestion au TCE et au PCE

	Scénario d'exposition moyen	Scénario d'exposition maximaliste
	Somme des ERI TCE ¹² + PCE ¹³	Somme des ERI TCE + PCE
Enfants (crèche)	7,0.10 ⁻⁷	1,5.10 ⁻⁶
Enfants (maternelle)	5,4.10 ⁻⁷	1,0.10 ⁻⁶
Enfants (collège)	1,6.10 ⁻⁶	3,9.10 ⁻⁶
Enfants Scénario cumulé (crèche + maternelle + collège)	2,8.10 ⁻⁶	6,4.10 ⁻⁶
Animateurs (maternelle)	1,3.10 ⁻⁶	9,8.10 ⁻⁶
Personnel (crèche)	1.10 ⁻⁶	2,2.10⁻⁵
Professeurs (collège)	3,3.10 ⁻⁶	2,7.10⁻⁵
Personnel administratif (collège)	3,8.10 ⁻⁷	1,2.10⁻⁵
Personnel chargé de la restauration (collège)	4,6.10 ⁻⁶	4,5.10⁻⁵

* L'excès de risque individuel (ERI) représente la probabilité de survenue d'une pathologie pour les individus exposés, compte tenu du scénario construit. On parle d'excès de risque car cette probabilité est liée à l'exposition au polluant considéré et s'ajoute au risque de base présent dans la population. Le seuil habituellement utilisé et proposé par l'OMS pour définir un risque acceptable pour les effets sans seuil (ou cancérogènes) est de 10⁻⁵, ce qui correspond à un excès d'une pathologie pour 100 000 personnes exposées durant toute leur vie (70 ans).

2.2 Pertinence et faisabilité d'une étude épidémiologique

2.2.1 Objectif d'une étude épidémiologique

En épidémiologie, l'approche analytique s'attache à comparer deux groupes de sujets (exposés/non exposés ou étude de cohorte ; cas/témoin) pour mettre en évidence une association statistique entre une exposition et une maladie en tenant compte d'autres facteurs associés à la maladie.

L'objectif d'une telle étude serait, ici, de mettre en évidence et de quantifier, à l'échelle de la population, une relation entre la survenue de maladies dans la population exposée et la contamination de l'air ambiant des locaux en TCE et PCE. Le signal environnemental fort concernant ces 2 molécules (cf. synthèse des données disponibles) et les préoccupations des populations exprimées au sujet de leur effet sanitaire justifiaient ce choix.

Par ailleurs, la plupart des cancers ont une étiologie multifactorielle : les pathologies ne sont pas spécifiques de l'exposition. De nombreux autres facteurs peuvent être liés à la survenue de la maladie et il faut en tenir compte dans l'étude.

¹² L'ERI pour l'inhalation de TCE a été calculé avec la VTR US EPA (2011) (effets cancérogènes) : 4,1.10⁻⁶ (µg/m³)⁻¹. La formule suivante a été employée : ERI = VTR x CI x T_{expo}/T_{vie} et CI = [Σ (Ci x ti)] x (Fréquence exposition). L'ERI pour l'ingestion de TCE a été calculé avec la VTR OMS (2005) de 7,8.10⁻⁴ (mg/kg p.c./jour)⁻¹. La formule suivante a été employée : ERI = VTR x DJE x T_{expo}/T_{vie} avec DJE = (concentration dans l'eau) x (fréquence d'exposition) x (quantité d'eau ingérée) / (poids corporel).

¹³ L'ERI pour l'inhalation de PCE a été calculé avec la VTR US EPA (2012) (effets cancérogènes) : 2,6.10⁻⁶ (µg/m³)⁻¹. La formule suivante a été employée : ERI = VTR x CI x T_{expo}/T_{vie} et CI = [Σ (Ci x ti)] x (Fréquence exposition). L'ERI pour l'ingestion de PCE a été calculé avec la VTR US EPA (2011) de 2.10⁻³ (mg/kg p.c./jour)⁻¹. La formule suivante a été employée : ERI = VTR x DJE x T_{expo}/T_{vie} avec DJE = (concentration dans l'eau) x (fréquence d'exposition) x (quantité d'eau ingérée) / (poids corporel).

2.2.2 Types d'étude épidémiologique possibles

Étude cas témoin

Elle vise à rechercher d'éventuelles différences en termes d'expositions antérieures entre deux groupes : l'un atteint de la maladie étudiée (les cas), l'autre indemne de cette maladie (les témoins). L'étude n'est donc envisageable que lorsque des cas existent.

Ce type d'étude permet, comme les études de cohorte, de tester une hypothèse spécifique avec une association d'un facteur de risque. Elle peut présenter des limites en lien avec la présence de biais introduisant des erreurs systématiques au moment de la constitution des groupes (biais de sélection), du recueil des expositions antérieures (biais d'information), ou la présence de tiers facteurs à l'association entre facteur d'exposition et maladie (biais de confusion).

Enfin, la chronologie entre l'exposition et la maladie peut être difficile à établir. L'étude de cas-témoins est toutefois le schéma privilégié pour obtenir des résultats rapides à faible coût. Ce type d'étude est, en particulier, approprié aux cas de maladies rares ayant une période de latence importante (apparaissant longtemps après l'exposition).

Étude de cohorte

Elle vise à comparer l'incidence d'un événement de santé observé dans plusieurs groupes d'individus définis en fonction de critères comme l'exposition ou non à certains facteurs à partir d'un suivi dans le temps, le plus souvent de manière prospective, de la population étudiée (la cohorte) [42]. Une cohorte peut également être réalisée de façon rétrospective, pour identifier l'impact sanitaire d'un facteur de risque passé comme une pollution environnementale ayant exposé une population dans le passé, ce qui est le cas ici.

Le schéma d'étude est particulièrement indiqué lorsque l'exposition est rare. Il permet d'explorer plusieurs événements de santé simultanément, de réduire les biais de mesure de l'exposition et de la maladie, d'établir la séquence chronologique entre l'exposition et la maladie et de calculer l'incidence dans les deux groupes. Il présente toutefois la limite de ne pas être adapté aux maladies rares ou à période de latence importante : suivi long et coûteux dans le cas d'une cohorte prospective pouvant entraîner la présence de nombreux perdus de vue, un changement des expositions ou des modifications de critères diagnostiques remettant en cause la validité des résultats.

Étude de morbidité ou de mortalité

Une étude de morbidité ou de mortalité ne s'inscrit dans une démarche de recherche de lien statistique entre une exposition et un événement de santé (morbidité ou mortalité) en tant qu'épidémiologie analytique comme précédemment. Dans le cas d'une étude de mortalité, ce type d'étude consiste à étudier la mortalité (souvent par l'intermédiaire de causes spécifiques de décès) pour mettre en évidence une différence (excès ou déficit) entre la mortalité observée et celle attendue (à partir d'un taux de référence) sur une période donnée en ajustant le plus souvent sur des facteurs démographiques tels que l'âge ou le sexe. L'approche alors classiquement utilisée pour l'analyse du risque à proximité d'un point source consiste dans le calcul du ratio de mortalité standardisée (SMR), de son intervalle de confiance et d'un test statistique [40].

Ces études présentent toutefois des limites importantes au niveau de la méthodologie d'analyse ou de l'interprétation des résultats [41]. Les études locales autour d'un point source souffrent d'être mises en place pour répondre à une perception parfois existante d'une sur-incidence. En effet, ces études sont souvent menées pour répondre à l'interrogation des

populations locales à proximité de ces points sources. Les tests statistiques sont alors utilisés a posteriori "pour confirmer" l'éventuelle sur-incidence. Les hypothèses des tests statistiques, la collecte des données et la définition de la zone d'étude peuvent être biaisés par ce problème. De plus, les études locales souffrent de leur construction intrinsèque basée sur une analyse écologique géographique (biais écologique), d'un manque de contrôle des facteurs de confusion, de leur caractère unique, les rendant potentiellement sujettes aux variations aléatoires. Aucun ajustement sur les facteurs de confusion autres que le sexe et l'âge n'est possible. En outre, aucune information individuelle n'est utilisée comme l'histoire résidentielle. Ces défauts rendent difficilement crédible toute analyse locale basée sur cette approche, sauf dans le cas exceptionnel où le risque serait tellement élevé qu'il ne pourrait pas, a priori, être lié à un facteur de confusion ou au hasard. En outre, dans le cas d'une étude de mortalité, ce type d'étude pose le problème de la survenue de l'événement et du temps nécessaire pour recueillir l'information sur le statut vital dans le cadre d'une population en majorité jeune.

Choix parmi les types d'étude épidémiologique possibles

Parmi les différents types d'étude possibles, l'étude cas témoin n'est pas adaptée. En effet, ce type d'étude ne correspond pas à l'objectif assigné dans le contexte de la pollution aux solvants chlorés de l'air ambiant du collège Saint-Exupéry et de la crèche de Vincennes. De plus, à ce jour, aucun signalement sanitaire (cas) n'a été rapporté à l'ARS. De même, une étude de mortalité ou de morbidité ne s'inscrivant pas dans une démarche de recherche de lien statistique entre l'exposition et la survenue de la maladie, elle ne pourra pas non plus répondre à l'objectif assigné.

Une étude de cohorte serait la plus adaptée pour mesurer l'effet de l'exposition sur la survenue d'un évènement de santé compte tenu du contexte. En effet, ce type d'étude permet d'établir un lien statistique entre l'exposition et la survenue de la maladie, ce qui correspond à l'objectif recherché ici. Si l'évènement observé est la survenue d'une maladie, on compare alors à la fin de l'étude le nombre de sujets atteints parmi les exposés versus le nombre de sujets atteints de la maladie chez les non exposés.

Dans la situation présente, les mesures de gestion ayant été appliquées et ayant consisté en la fermeture des 2 établissements concernés, il n'y a plus de sujets exposés à l'avenir. Seul le schéma d'une étude de cohorte constituée rétrospectivement (et éventuellement suivie de façon prospective) est envisageable. Cette étude de cohorte consisterait alors à constituer 2 groupes de sujets, l'un constitué de sujets ayant été exposés au sein des 2 établissements, l'autre de sujets ne l'ayant pas été. À l'issue de l'étude de cohorte, on compare le taux d'incidence entre exposés et non-exposés. Les sujets non exposés doivent alors être choisis dans la même population que celle dont sont issus le groupe des sujets exposés, et avoir une structure démographique comparable, ceci pour ne pas introduire de biais. Des tiers facteurs associés à la maladie doivent également être prise en compte.

Dans la pratique, ce schéma de cohorte rétrospective, adapté à la présente situation, consisterait à reconstituer la cohorte des personnes ayant fréquenté les 2 établissements concernés (élèves et travailleurs) et à comparer la survenue des pathologies identifiées et apparues postérieurement au début de l'exposition au PCE et au TCE parmi les personnes exposées, en fonction de leur niveau d'exposition, à la survenue de ces pathologies au sein d'une cohorte de personnes non exposées de structure démographique comparable et qu'il s'agirait d'identifier (un autre établissement scolaire sur Vincennes par exemple).

2.2.3 Pertinence d'une étude épidémiologique

Classiquement, lorsque la question de mettre en place une étude épidémiologique visant à mettre en évidence statistiquement le lien entre un contaminant dans l'environnement et un impact sanitaire est posée, la pertinence d'une telle étude est analysée au regard des critères suivants :

- L'existence d'un signal environnemental (contamination des milieux) ;
- L'existence d'une population exposée ;
- Des effets sanitaires attendus consécutifs à l'exposition et identifiables au sein de cette population ;
- Un excès de risque individuel (ERI) de cancer supérieur au niveau repère de l'OMS (10^{-5}) pour des effets cancérigènes ou un quotient de danger (QD) supérieur à 1 pour des effets à seuil avec un scénario d'exposition réaliste¹⁴ ;
- L'existence d'un bénéfice sanitaire individuel et/ou collectif pour la population.

Les 3 premiers critères sont remplis dans la situation des élèves et professionnels fréquentant le collège et la crèche, mais les 2 derniers critères ne le sont pas.

Ainsi, la quantification du risque, tout en ayant été établie dans des conditions conservatoires, à partir des concentrations actuelles, montre que, quelle que soit la population considérée (enfant ou adulte), les risques calculés sont faibles : pour un scénario moyen d'exposition, tous les QD sont inférieurs à 1 et tous les ERI inférieurs à 10^{-5} . Toutefois, cette estimation du risque a été établie sous l'hypothèse de concentrations stables pendant 45 ans et égales à celles retrouvées fin 2017. Cette hypothèse ne peut pas être vérifiée *a posteriori* et constitue une limite pour l'établissement de ces niveaux de risque.

Concernant les ERI supérieurs à 10^{-5} pour les populations de travailleurs obtenus dans des scénarios maximalistes, ceux-ci ont été établis à titre conservatoire mais ils correspondent à des expositions peu réalistes (40 ans de travail sur le site et exposition durant toute la durée de la carrière à la concentration maximale relevée en TCE et en PCE dans les pièces de travail) et qui n'ont pas été rencontrées parmi les travailleurs actuels du site¹⁵. Ces niveaux de risque plus élevés ne sauraient justifier à eux seuls la pertinence de mettre en place une étude épidémiologique chez les travailleurs du site.

Enfin, concernant l'existence d'un bénéfice sanitaire individuel et/ou collectif pour la population, le dépassement des VAR en TCE et en PCE dans l'air ambiant ayant conduit à la fermeture de la crèche et du collège, les résultats d'une étude épidémiologique ne pourraient pas être utilisés pour orienter d'autres décisions en matière de gestion. S'agissant de substances présentes aujourd'hui dans les milieux contaminés, une étude épidémiologique n'apporterait pas de bénéfice sanitaire complémentaire par rapport à la suppression de la source de pollution ou de la cessation de l'exposition. La gestion du milieu visant à supprimer la source ou l'exposition est le critère déterminant dans la réduction des risques et donc des impacts sanitaires potentiels à venir. On ne peut pas attendre non plus de cette étude épidémiologique un bénéfice individuel en termes de prise en charge médicale, de dépistage ou même d'information individuelle vis-à-vis du risque. De même, une telle étude ne permettra pas d'établir un lien à l'échelle individuelle. Elle ne permettra donc pas d'affirmer que telle

¹⁴ Actuellement, en France, on considère par convention que les résultats qui peuvent déclencher une action de santé publique – par exemple la mise en place de mesures correctives, de surveillance ou de prise en charge médicale des populations – sont : (i) un quotient de danger supérieur à 1 (l'exposition est supérieure à la VTR) et (ii) un excès de risque individuel supérieur à 10^{-5} pour une vie entière, repère classiquement utilisé par de nombreuses instances nationales et internationales notamment l'OMS pour fixer des normes ou des valeurs guides dans le domaine environnemental [43].

¹⁵ Le temps d'exposition maximal retenu pour la réalisation de leur EQRS par l'ARS correspond, pour les travailleurs sur le site, à une durée théorique de 40 ans alors que les durées de présence les plus longues rapportées par l'ARS chez les travailleurs actuellement en poste variaient de 7 à 25 ans en fonction du métier exercé.

maladie survenant chez un individu donné est causée par l'exposition étudiée. Enfin, une étude épidémiologique ne pourra pas apporter de nouvelles connaissances sur les effets sanitaires consécutifs à une inhalation chronique au TCE et au PCE, la toxicité de ceux-ci ayant été clairement établie selon la littérature scientifique.

Au regard du bénéfice collectif ou individuel attendu, la pertinence d'une étude épidémiologique n'est pas établie, et ce pour aucune des populations exposées.

2.2.4 Faisabilité d'une étude épidémiologique

La faisabilité d'une étude épidémiologique est analysée dans cette note pour une exposition au TCE, reconnu cancérigène certain par le CIRC ce qui n'est pas le cas du PCE. Cette étude faisabilité est rendue possible par l'existence de données d'incidence en population générale pour les pathologies concernées [20].

Identification des cas en lien avec l'exposition et caractérisation de l'exposition passée

La mise en œuvre d'une étude épidémiologique relative à un facteur de risque environnemental nécessite de caractériser le plus précisément possible les expositions passées de chaque individu à ce facteur de risque et d'être en capacité d'identifier les pathologies potentiellement en lien avec ces expositions.

Les données acquises sur la toxicité du TCE sont suffisamment établies pour cibler certaines pathologies d'intérêt : cancers du rein, lymphomes non hodgkiniens et cancer du foie et des voies biliaires suite à une exposition au TCE. Par ailleurs, dans l'établissement des valeurs toxicologiques de référence, l'OMS a retenu un effet critique du TCE sur les cellules de Leydig (testicules). Ces pathologies ont une période de latence longue après une exposition à risque et sont considérées comme rares. Des données d'incidence existent en population générale pour ces pathologies [8].

Néanmoins, la prise en compte des facteurs de confusion connus doit être prise en compte. En effet, s'agissant de cancer, il s'agit de pathologies multifactorielles. Le recueil des informations médicales devrait ainsi être complété par l'administration d'un questionnaire sur les habitudes de vie afin de prendre en compte certains facteurs de confusion (consommation d'alcool, de tabac, etc.). Ainsi, à titre d'exemple, le cancer du foie est associé à plusieurs facteurs de risque : les cirrhoses induites par l'alcoolisme ou les virus de l'hépatite B ou C, le diabète, l'obésité et le tabagisme [16]. De même, les expositions professionnelles devraient être documentées pour l'ensemble des emplois occupés par les personnels de ces établissements, de façon à prendre en compte notamment les autres facteurs de risque professionnels des pathologies d'intérêt retenues.

De plus, en l'absence de registre des cancers en Ile-de-France, il faut rechercher toutes les personnes ayant été exposées dans les deux établissements concernés à partir d'une date à déterminer et avoir accès à leurs dossiers médicaux pour identifier les cas.

Ces démarches sont généralement longues et coûteuses : obtention d'un accord de la Cnil, élaboration du protocole, information des personnes dont certaines auraient fréquenté les deux établissements il y a plusieurs dizaines d'années, suivi de la cohorte dans le temps pendant des années (pathologies à période de latence importante pour la survenue de cancer notamment), recueil et analyse des données, présentation des résultats.

Concernant l'exposition, celle-ci est difficile à appréhender du fait que le début de la pollution n'est pas précisément daté et que les niveaux d'exposition évoluent dans le temps et

présentent de fortes variabilités inter-saisonnères, du fait de la variabilité saisonnière importante probable de ces molécules dans l'air des bâtiments.

Ainsi, l'absence de données sur les expositions passées contribue à atténuer la faisabilité d'une telle étude épidémiologique. En effet, même si on prenait par exemple l'hypothèse de la survenue de pathologies parmi les personnes exposées par le passé, pathologies consécutives à des niveaux de contamination dans la crèche et le collège plus élevés par le passé, l'absence de la connaissance de ces niveaux de contamination de l'époque rendrait difficile l'établissement d'un lien statistique entre la pollution et la survenue de ces pathologies et leur interprétation en termes de causalité, surtout dans le cadre de pathologies cancéreuses pour lesquelles il existe d'autres facteurs de risques qu'une exposition aux solvants chlorés.

Effectif nécessaire pour mettre en évidence une association statistiquement significative entre pathologie et exposition

Dans l'hypothèse où une étude épidémiologique serait mise en place, l'étude de cohorte rétrospective étant le schéma le plus adapté, il est démontré que le nombre de sujets nécessaires pour une telle étude dont les deux groupes de population exposée et non exposée seraient de taille identique est égal à n [17] :

$$n > \frac{\left[Z(2\beta) \times \sqrt{I(\text{ne}) + I(\text{ne}) \times RR - I(\text{ne})^2} - I(\text{ne})^2 \times RR^2 + Z(\alpha) \times \sqrt{2p \times (1 - p)} \right]^2}{[I(\text{ne}) \times (1 - RR)]^2}$$

Avec :

n : le nombre de sujets nécessaires dans chaque groupe

$I_{(\text{ne})}$: incidence de la maladie chez les non exposés

$Z_{(\alpha)}$: la valeur de Z pour le risque de première espèce (pour $\alpha = 5\%$ ¹⁶, $Z_{(\alpha)} = 1,96$)

$Z_{(2\beta)}$: la valeur de Z pour une puissance¹⁷ de $1-\beta$ (pour une puissance de 80%, $\beta = 20\%$ et $Z_{(2\beta)} = 0,84$)

RR : le risque relatif minimum qu'on se fixe pour que l'étude présente un intérêt de santé publique

p : l'incidence moyenne de la maladie dans les 2 groupes :

$$p = \frac{I(\text{ne}) \times (1 + RR)}{2}$$

On retient les cancers du rein, du foie et les lymphomes non hodgkiniens comme évènements sanitaires d'intérêt en lien avec une exposition au TCE. Pour rappel, le TCE a été classé comme cancérigène avéré (groupe 1) par le CIRC en octobre 2012. L'US-EPA en 2011 a déterminé un ERU à partir de l'étude de Charbotel *et al.* [18] pour le cancer des reins de $1.10^{-6} (\mu\text{g}/\text{m}^3)^{-1}$. Pour tenir compte des lymphomes non hodgkiniens et cancer du foie et voies biliaires, deux calculs de risque relatif ont été effectués à partir d'une étude multicentrique et de celle de Rasschou-Nielsen *et al.* [19]. Un ratio de 4 a été retenu pour tenir compte des deux autres cancers cibles. Ce qui a permis de déterminer une VTR pour les effets chroniques cancérigènes par inhalation de $4,1.10^{-6} (\mu\text{g}/\text{m}^3)^{-1}$.

Avant de réaliser le calcul du nombre de sujets nécessaires, plusieurs paramètres doivent être fixés au préalable : l'incidence de la maladie chez les non exposés ($I_{(\text{ne})}$), le risque relatif (RR) que l'on souhaite obtenir et l'incidence moyenne de la maladie (p) dans les 2 groupes.

¹⁶ Le risque α (ou risque de première espèce) est fixé à 5%, ce qui signifie que l'on accepte que les résultats soient statistiquement significatifs moins d'une fois sur 20 dans l'hypothèse de l'absence d'une réelle association (résultat faussement positif).

¹⁷ La puissance d'une étude est sa capacité à mettre en évidence une relation statistiquement significative entre un facteur de risque et un effet présumé. Dans les études épidémiologiques, on cherche à atteindre une puissance supérieure ou égale à 80%, permettant d'aboutir à une conclusion positive quant à l'existence d'une association dans 4 cas sur 5.

(i) *Incidence de la maladie chez les non-exposés :*

L'hypothèse est faite que l'incidence de la maladie chez les non exposés équivaut à l'incidence de la maladie dans la population générale.

En l'absence de registre national de cancers, plusieurs sources de données sont croisées de façon à fournir des estimations d'incidence par localisation cancéreuse [20,21] :

- le programme de médicalisation des systèmes d'information (PMSI) des établissements sanitaires ;
- les affections de longue durée (ALD 30), qui font l'objet d'une exonération du ticket modérateur, centralisées depuis 2005 pour tous les régimes au niveau du Système d'information inter-régimes de l'assurance maladie (Sniiram) ;
- la mortalité.

Ainsi, en Île-de-France, les taux d'incidence bruts pour le cancer du rein, du foie et les lymphomes non hodgkiniens ont été calculés à partir des données d'incidence nationale (taux bruts) en 2012 [20,21] (Tableau 10).

I TABLEAU 10 I

Taux bruts estimés en 2012 pour les cancers du rein, du foie et les lymphomes non-hodgkiniens en Ile-de-France (Estimation nationale de l'incidence et de la mortalité par cancer en France entre 1980 et 2012. Institut de veille sanitaire)

	Taux brut moyen * chez la femme	Taux brut moyen * chez l'homme	Taux brut moyen * en Ile-de-France ¹⁸
Rein	11,6	25,2	18,2
Foie	5,7	22,2	13,7
Lymphomes non hodgkiniens	21,5	32,3	26,8
Total	38,8	79,7	I _(ne) = 58,7

* pour 100 000 personnes années.

(ii) *Risque relatif :*

Le risque relatif doit être significativement supérieur à 1 (borne inférieure de l'IC 95% > 1) pour mettre en évidence un excès de risque dans le groupe des exposés. Cela signifie qu'il existe une relation entre l'exposition au facteur étudié et la survenue de la maladie.

- *Risques relatifs issus de la littérature en milieu professionnel :*

À défaut de connaître les risques relatifs pour des expositions environnementales (très peu d'études disponibles pour de faibles niveaux d'exposition), les données de la littérature concernant l'établissement de risques relatifs pour des expositions professionnelles, plus élevées, ont été exploitées.

La méta-analyse de Wartenberg [44], réalisée à partir de 80 publications sur les cancers et l'exposition au TCE, retient un risque relatif de RR = 1,7, IC95% [1,1 ; 2,7] pour le cancer du rein, RR = 1,9 [1,0 ; 3,4] pour le cancer du foie et RR = 1,5 [0,9 ; 2,3] pour les lymphomes non hodgkiniens. Finalement, le RR moyen retenu dans cette étude est de 1,7.

¹⁸ En 2018, en Île-de-France, le sex-ratio était de 0,93.

- *Estimation du risque relatif dans la situation du collège Saint-Exupéry et de la crèche Liberté :*

Pour des situations d'exposition environnementale, avec des durées d'exposition et surtout des concentrations dans l'air généralement moins importantes, les risques relatifs seraient nettement moins importants.

En l'absence de littérature, le calcul de l'ERI pour une exposition au TCE par inhalation dans l'EQRS réalisée par l'ARS de $3,1 \cdot 10^{-5}$, soit un excès tout au long de la vie (70 ans) de 3,1 cancers (rein, lymphome non hodgkinien ou foie) pour 100 000 personnes exposées dans le scénario le plus défavorable¹⁹ peut être exploité. Cet excès de cas vie entière apparaît très faible en comparaison de l'incidence annuelle en population non exposée de 58,7 cas par an pour 100 000 personnes indiquée dans le tableau 10 et on ne peut pas raisonnablement estimer un sur-risque de 10% ou plus (ou $RR \geq 1,1$) en lien avec cette exposition au TCE.

(iii) Calcul du nombre de sujets nécessaires dans chaque groupe de la cohorte :

- *Situation en milieu professionnel :*

En tenant compte de l'estimation de l'incidence en population non exposée $I_{(ne)} = 58,7$ pour 100 000 personnes années et d'un risque relatif $RR = 1,7$, on obtiendrait une valeur de $n > 73\,535$ personnes années, soit par exemple 7 353 personnes exposées et 7 353 personnes non exposées à suivre pendant 10 ans. On peut par ailleurs représenter la valeur de n en fonction du risque relatif RR et du temps de suivi de la cohorte (Figure 5).

- *Situation dans le cas du collège Saint-Exupéry et de la crèche Liberté :*

Pour des situations de risque relatif inférieur ($RR = 1,1$), on obtiendrait une valeur de n nettement plus importante, supérieure à 2,8 millions personnes années (Figure 5), soit par exemple 70 000 personnes exposées et autant de personnes non exposées à suivre pendant 40 ans. Ce chiffre supérieur à celui de la population ayant fréquenté les 2 établissements depuis les années 1970 (environ 12 600 personnes, cf. Tableau 11), date présumée du début de la pollution, rend inenvisageable la réalisation d'une étude de cohorte.

¹⁹ Scénario maximaliste pour les travailleurs de la restauration dans le collège : exposition de 40 ans aux concentrations les plus élevées relevées dans le réfectoire semi-enterré.

I FIGURE 5 I

Nombre total de sujets à inclure dans la cohorte des exposés (cas d'une exposition au TCE seule) en fonction du risque relatif et du temps de suivi de la cohorte

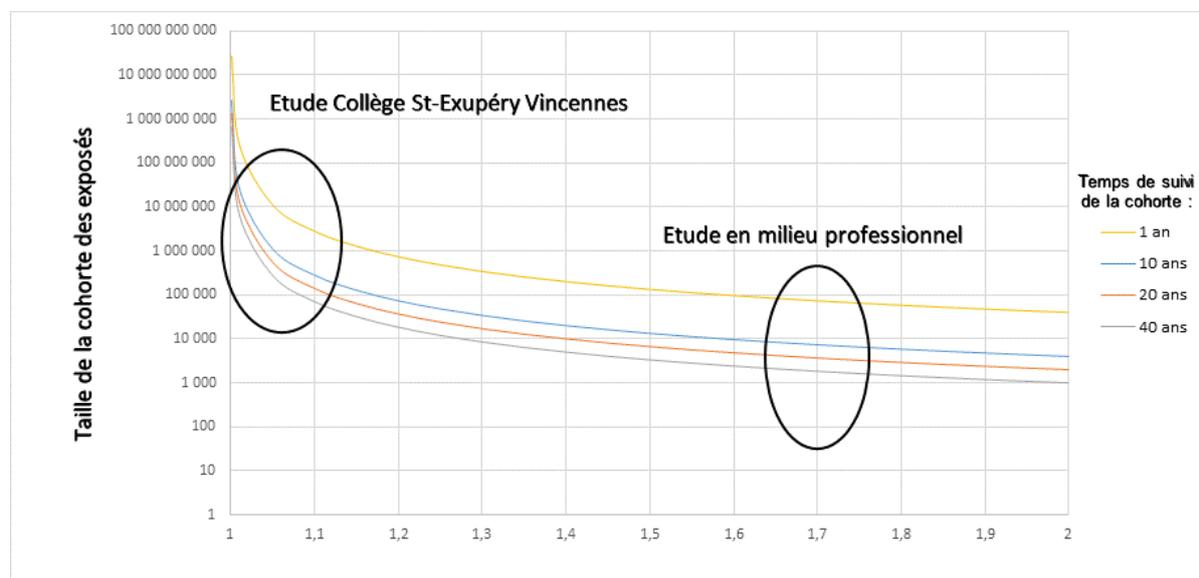


Illustration par le nombre de cas de cancer supplémentaires attendus en lien avec l'exposition au TCE pour chaque population

Une autre façon d'illustrer la nécessité d'inclure de nombreux sujets exposés dans l'étude pour pouvoir mettre en évidence un effet sanitaire en lien statistiquement significatif avec une exposition environnementale est d'estimer le nombre de pathologies attendues pour cette exposition et de la comparer avec des données d'incidence en population générale.

Cette analyse peut facilement être réalisée pour l'exposition au TCE, reconnu cancérigène certain (CIRC), en s'appuyant sur les 2 VTR sans seuil disponibles et leur effet critique associé (Tableau 11).

Pour réaliser ce calcul, trois hypothèses ont été considérées :

- Une période de suivi, ou recul, de 45 ans (la date supposée de début de la pollution datant du début des années 1970) avec des durées d'exposition variables pour chaque sous-population ;
- N'ayant pas la connaissance du niveau de la pollution en air ambiant dans les deux établissements par le passé, le calcul est également réalisé en prenant l'hypothèse que cette pollution est restée constante dans le temps, au même niveau que celui identifié dans les deux campagnes réalisées fin 2017 ;
- Il est enfin supposé que l'effectif de la population dans chaque sous-groupe n'a pas évolué durant ces 45 années et que celui-ci correspond à l'effectif recensé en 2017.

Par exemple, parmi la population estimée de 7 313 collégiens ayant fréquenté l'établissement depuis le début des années 1970, en comparant avec une population de référence non sur-exposée au TCE, de même sex-ratio, à partir des estimations d'incidence de cancer en population générale, on pourrait estimer qu'au cours de leur vie, 93 d'entre eux développeraient un cancer du rein (Tableau 11). La sur-exposition au TCE durant la période de fréquentation du collège entraînerait, au sein de cette population de collégiens, un excès « théorique » de 0,00209 cas de cancer du rein dans l'hypothèse d'un scénario d'exposition

moyen (4 années de scolarité au collège, exposition à la moyenne des concentrations relevées en TCE dans les salles de classe) et de 0,00548 cas de cancer du rein dans l'hypothèse d'un scénario d'exposition maximaliste (5 années de scolarité au collège, exposition au maximum de la concentration relevée en TCE dans les salles de classe).

I TABLEAU 11 I

Estimation des excès de cancer du rein et des testicules qui pourraient être théoriquement liés à l'exposition par inhalation au TCE dans le collège Saint-Exupéry et la crèche Liberté, selon le sous-groupe de population et comparaison avec le nombre attendu de cas dans une population de structure démographique identique non sur-exposée au TCE

	Population recensée en septembre 2017	Effectif estimé de la population totale ayant fréquenté le site en 45 ans ²⁰	Nombre de cas attendu (population de référence non sur-exposée au TCE)		Scénario d'exposition moyen		Scénario d'exposition maximaliste	
			Nombre de cas de cancer du rein attendus ²¹ (vie entière)	Nombre de cas de cancer des testicules attendus ²¹ (vie entière)	Nombre de cas de cancer du rein supplémentaire en lien avec l'exposition au TCE (vie entière)	Nombre de cas de cancers des testicules supplémentaire en lien avec l'exposition au TCE (vie entière)	Nombre de cas de cancer du rein supplémentaire en lien avec l'exposition au TCE (vie entière)	Nombre de cas de cancer des testicules supplémentaire en lien avec l'exposition au TCE (vie entière)
Enfants (crèche)	33	743	9,4	1,9	0,00010	0,00002	0,00020	0,00004
Enfants (maternelle)	264	3 960	50,4	10,0	0,00043	0,00009	0,00059	0,00013
Enfants (collège)	650	7 313	93,0	18,5	0,00209	0,00045	0,00548	0,00118
Personnel (crèche)	10	113	1,4	0,3	0,00002	0,00000	0,00026	0,00006
Animateurs (maternelle)	18	108	1,4	0,3	0,00003	0,00001	0,00021	0,00005
Professeurs (collège)	45	203	2,6	0,5	0,00012	0,00003	0,00105	0,00023
Personnel administratif (collège)	5	113	1,4	0,3	0,00001	0,00000	0,00024	0,00005
Personnel restauration (collège)	3	19	0,2	0,0	0,00002	0,00000	0,00015	0,00003
Total	1 028	12 572	159,9	31,9	0,00281	0,00060	0,00818	0,00176

²⁰ La population totale ayant fréquenté le site pendant 45 ans est estimée en tenant compte de la population recensée en 2017 et de la durée moyenne de résidence sur le site. Par exemple pour les collégiens : population totale d'élèves ayant fréquenté le collège en 45 ans = 650 X 45 ans / 4 ans = 7 313 personnes.

²¹ Le nombre de cas de cancer du rein et des testicules attendu dans une population de référence non sur-exposée au TCE pour chaque groupe d'individus a été estimé à partir des taux bruts estimés en 2012 [20] pour ces 2 localisations cancéreuses en prenant l'hypothèse d'un sex-ratio de 0,93 (donnée Insee en 2018 pour l'Île-de-France) sur une période vie entière. Par exemple, pour les collégiens, parmi les 7 313 personnes ayant fréquenté cet établissement depuis 45 ans, on estime, en reportant les données de l'incidence nationale des cancers, qu'au cours de leur vie, 93 d'entre eux développeront un cancer du rein et 18 à 19 d'entre eux un cancer des testicules, ceci sans avoir de sur-exposition au TCE.

²² Le nombre de cancer du rein excédentaire lié à l'exposition au TCE a été calculé en tenant compte de l'effectif de chaque population dans les conditions de chaque scénario d'exposition retenu par l'ARS IDF à partir de l'ERU issu de l'étude de Charbotel *et al.* (2006) proposé pour les cancers du rein ($ERU = 1.10^{-6} (\mu\text{g}/\text{m}^3)^{-1}$) et selon la formule : (nb cas attendus) = ERI x (taille population) avec $ERI = ERU \times CI \times T_{\text{expo}}/T_{\text{vie}}$ et $CI = [\sum (Ci \times ti)] \times (\text{Fréquence exposition})$.

²³ Le nombre de cancer des testicules excédentaire lié à l'exposition au TCE a été calculé en tenant compte de l'effectif de chaque population (application d'un sex-ratio de 0,93) dans les conditions de chaque scénario d'exposition retenu par l'ARS IDF à partir de la VTR proposée par l'OMS (2000) pour des effets cancérogènes sur les testicules ($VTR = 4,3.10^{-7} (\mu\text{g}/\text{m}^3)^{-1}$) et selon la formule : (nb cas attendus) = ERI x (taille population) avec $ERI = VTR \times CI \times T_{\text{expo}}/T_{\text{vie}}$ et $CI = [\sum (Ci \times ti)] \times (\text{Fréquence exposition})$.

L'impact estimé, en termes de cas de cancers en excès liés à l'exposition environnementale au TCE, telle qu'elle a été décrite dans le collège Saint-Exupéry et la crèche Liberté apparaîtrait comme « très faible », y compris pour les hypothèses d'exposition maximalistes. Ramené à l'effectif de chaque population exposée, cet impact serait pratiquement impossible à identifier par rapport à l'incidence du cancer du rein ou des testicules attendue en population générale non sur-exposée au TCE.

Il est néanmoins important de souligner que ces résultats doivent être interprétés avec prudence puisqu'ils sont issus de l'EQRS et que celle-ci présentent un certain nombre d'incertitudes sur le niveau de risque calculé, notamment au travers du manque de connaissance des expositions passées.

2.2.5 Conclusions sur la pertinence et la faisabilité d'une étude épidémiologique

La pollution au TCE et au PCE relevée dans les différentes campagnes de mesures en air ambiant dans le collège Saint-Exupéry et la crèche Liberté de Vincennes constitue un signal environnemental qui, à lui seul, justifie la mise en place de mesures de gestion visant à faire cesser l'exposition dans ces établissements.

Afin de mettre en évidence et de quantifier les relations entre la survenue de maladies et l'exposition passée due à cette contamination des locaux en TCE et PCE, le schéma d'étude épidémiologique le plus approprié serait celui d'une cohorte rétrospective. Cependant, une telle étude épidémiologique n'apparaît pas pertinente au regard des risques faibles et de l'absence de bénéfice sanitaire individuel et/ou collectif, tant sur la prise en charge médicale individuelle que sur les connaissances des effets sanitaires attendus qui sont déjà très documentés pour une exposition à ces solvants chlorés.

Concernant la faisabilité de réaliser une telle étude, elle se heurterait à des difficultés méthodologiques majeures (impossibilité de quantifier précisément l'exposition passée et de dater le début de la pollution, difficulté à retrouver puis à contacter des personnes ayant fréquenté ces établissements dans le passé pour récupérer leur dossier médical).

Par ailleurs, si une telle étude de cohorte rétrospective devait être menée, la taille de la cohorte de la population exposée reconstituée *a posteriori* serait très inférieure à l'effectif minimum nécessaire permettant d'espérer démontrer statistiquement un impact sanitaire de cette pollution environnementale : le nombre de sujets exposés au sein du collège et de la crèche, même en étant suivi pendant 40 ans, constituerait un effectif insuffisant pour espérer mettre en évidence un effet sanitaire démontrable statistiquement en lien avec cette exposition au TCE, compte tenu des excès de risque estimés.

Enfin, une étude épidémiologique parmi les enfants et les travailleurs ayant été exposés aux solvants chlorés dans le collège Saint-Exupéry et/ou la crèche Liberté ne remplit pas les conditions de pertinence ou de faisabilité.

2.3 Pertinence et faisabilité d'une campagne d'imprégnation

La pertinence de mener une campagne d'imprégnation rejoint la question du bénéfice individuel et collectif attendu de ce dosage (possibilité d'interprétation du résultat, traduction du résultat en termes d'impact sur la santé).

Quant à la faisabilité d'une telle campagne de doser des biomarqueurs au sein d'une population exposée, elle dépend de nombreux paramètres [23] :

- La concentration mesurée dans les lieux de vie ;
- Le temps de contact avec les personnes exposées (budget espace-temps) ;
- La faisabilité technique du dosage des biomarqueurs à ce niveau d'exposition ;
- Le degré de corrélation entre le dosage du biomarqueur et le degré d'exposition ;
- La demi-vie du biomarqueur (reflétant une exposition ancienne ou récente).

2.3.1 Biomarqueurs d'exposition du TCE

Le TCE est rapidement et intensivement absorbé par toutes les voies d'exposition. Après absorption, il est largement réparti dans l'organisme, en particulier dans les tissus adipeux, sans rétention prolongée. Il est ensuite rejeté dans l'air expiré ou métabolisé puis éliminé dans les urines. Il existe plusieurs biomarqueurs d'exposition au TCE [24] dont les principaux sont le TCE sanguin, le TCE urinaire, l'acide trichloroacétique (TCA) urinaire, le trichloréthanol sanguin ou le trichloréthanol urinaire. Toutefois, seuls le TCE sanguin et le TCE urinaire sont spécifiques d'une exposition au TCE. Ces marqueurs sont bien corrélés avec les concentrations atmosphériques d'exposition et reflètent tous deux une exposition récente : jour même et jour précédent (demi-vie de 20 minutes à 40 heures).

TCE sanguin

Pour des expositions professionnelles de l'ordre de 12,5 et 25 ppm (soit 66 672 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ et 138 900 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ respectivement) pendant 7 heures chez des travailleurs, des taux de trichloroéthylène sanguins de 0,08 et 0,16 mg/L ont été mesurés en fin de période d'exposition. Une exposition à 100 ppm (sans activité physique) a entraîné une concentration sanguine de 1,2 mg/L en fin de poste et de 70 $\mu\text{g}/\text{L}$ seize heures plus tard. A des niveaux plus faibles, il n'existe pas encore de valeur de référence en population générale française avec lesquelles les résultats pourraient être comparés mais ce biomarqueur a été dosé en population générale américaine. Selon les dernières actualisations de février 2015 de l'étude NHANES conduite sur un échantillon représentatif de l'ordre de quelques milliers d'américains [25], le dosage du TCE sanguin était toujours inférieur à la limite de détection établie à 0,012 ng/mL (soit 0,012 $\mu\text{g}/\text{L}$) quelle que soit la période d'étude 2001-2002, 2003-2004 ou 2005-2006. En conclusion, on ne s'attend pas, en population générale, à détecter de TCE dans les prélèvements de sang des populations non spécifiquement exposées.

TCE urinaire

Pour une exposition professionnelle à 50 ppm (277 800 $\mu\text{g}/\text{m}^3$), les concentrations urinaires de trichloroéthylène mesurées en fin de semaine sont de l'ordre de 26 $\mu\text{g}/\text{L}$ [23]. A des niveaux plus faibles, il n'existe pas encore de valeurs de référence en population générale avec lesquelles les résultats pourraient être comparés.

Faisabilité technique du dosage des biomarqueurs du TCE à des niveaux d'exposition faibles

Les personnes ayant été exposées sur le site du collège Saint-Exupéry ou de la crèche Liberté ont inhalé des concentrations ambiantes de TCE de l'ordre de quelques dizaines, voire

quelques centaines de $\mu\text{g}/\text{m}^3$. Au regard des résultats des dosages chez les travailleurs exposés à de plus fortes concentrations, on pouvait s'attendre, après l'exposition, pour ces personnes à des résultats de TCE sanguin et TCE urinaires extrêmement faibles (de l'ordre de $0,1 \mu\text{g}/\text{L}$ et $0,01 \mu\text{g}/\text{L}$ respectivement après ajustement temporel). Peu de laboratoires présenteraient une limite de quantification de $0,1 \mu\text{g}/\text{L}$ et seraient donc susceptibles de mesurer de si faibles concentrations de TCE sanguin. En pratique, il est probablement inutile d'essayer de doser le TCE sanguin si la concentration atmosphérique est en dessous de $100 \mu\text{g}/\text{m}^3$. Quant au TCE urinaire, aucun laboratoire semble-t-il n'apparaît à ce jour en capacité de le doser à ces concentrations.

Enfin et surtout, le temps de demi-vie de quelques heures à quelques jours des biomarqueurs d'exposition connus au TCE ne permet de mettre en évidence qu'une exposition récente, ce qui n'est pas le cas ici puisque le collège et la crèche sont fermés depuis fin novembre 2017.

2.3.2 Indicateurs biologiques d'effets précoces du TCE

Selon l'Anses, les effets critiques susceptibles d'être observés aux plus faibles doses sont une augmentation modérée des risques de cancer des testicules. Pour l'US EPA, les effets critiques susceptibles d'être observés aux plus faibles doses sont une augmentation modérée des risques de cancer du rein et possiblement de lymphome non-hodgkinien et de tumeur du foie et des voies biliaires.

À ce jour, il n'existe pas d'indicateur biologique d'effet adapté à la détection précoce de ces diverses pathologies : il n'y a donc pas d'indicateurs biologiques d'effets précoces du TCE.

2.3.3 Biomarqueurs d'exposition du PCE

Le PCE, une fois absorbé, se répartit dans tout l'organisme, notamment les graisses, les tissus adipeux et le lait. La voie principale d'oxydation du PCE est oxydative et se produit au niveau du foie. Elle conduit principalement à la production d'acide trichloroacétique (TCA) dans le sang et les urines. Le taux de métabolisation reste néanmoins faible (1 à 3% chez l'homme). Le TCA produit est ensuite éliminé par voie urinaire alors que le PCE non métabolisé est essentiellement exhalé, quelle que soit la voie d'exposition. Il existe plusieurs biomarqueurs d'exposition au PCE mais les plus connus et les plus valides à l'heure actuelle sont le PCE sanguin et le PCE exhalé [26,27]. Ils sont notamment spécifiques et sensibles en milieu professionnel.

PCE sanguin

Le PCE sanguin est un biomarqueur d'exposition spécifique représentant l'exposition dans les jours qui précèdent. Le temps de demi-vie du PCE sanguin est situé entre 4 et 8 jours chez les travailleurs exposés dans des unités de nettoyage à sec [28]. Les concentrations en population générale sont connues et varient de 20 à 210 ng/L [29,30]. Ce biomarqueur semble sensible pour de fortes concentrations comme celles relevées dans des nettoyages à sec (pouvant atteindre plusieurs dizaines de milliers de $\mu\text{g}/\text{m}^3$). Une seule étude indique que le PCE sanguin est sensible pour distinguer des expositions proches de population d'une zone industrielle et d'une zone témoin [31].

PCE exhalé

Le PCE exhalé est un biomarqueur d'exposition spécifique dont la mesure représente l'exposition des 4 à 8 derniers jours en milieu professionnel [28]. Les concentrations en population générale varient entre 2 et 7 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ chez l'adulte [32]. Comme pour le PCE sanguin, la littérature indique qu'il s'agit d'un biomarqueur sensible pour des expositions

professionnelles mais ne permet pas de définir le niveau de sensibilité pour des expositions environnementales.

Faisabilité technique du dosage des biomarqueurs du PCE à des niveaux d'exposition faibles

Les personnes ayant été exposées sur le site du collège Saint-Exupéry ou de la crèche Liberté ont inhalé des concentrations ambiantes de PCE de l'ordre de quelques centaines, voire quelques milliers de $\mu\text{g}/\text{m}^3$. Ces concentrations restent assez faibles au regard des concentrations relevées en milieu professionnel et pour lesquelles les concentrations en air ambiant peuvent atteindre plusieurs dizaines voire centaines de milliers de $\mu\text{g}/\text{m}^3$. Au contraire, peu d'études scientifiques ont mis en évidence une spécificité des biomarqueurs connus du PCE à des niveaux d'exposition beaucoup plus faibles, semblables à ceux retrouvés dans des expositions environnementales.

De plus, il s'agit de biomarqueurs représentant une exposition des jours passés étant leur demi-vie de 4 à 8 jours. Comme pour le dosage des biomarqueurs d'exposition du TCE, le collège Saint-Exupéry et la crèche Liberté étant fermé depuis novembre 2017, le dosage des biomarqueurs d'exposition du PCE ne permettra pas d'identifier une exposition.

2.3.4 Indicateurs biologiques d'effets précoces du PCE

À ce jour, il n'est pas possible d'utiliser un indicateur biologique d'effets précoces du PCE dont la méthode de mesure serait validée.

2.3.5 Conclusions sur la pertinence et la faisabilité d'une campagne d'imprégnation

Si l'exposition individuelle pourrait être théoriquement recherchée au moyen d'indicateurs biologiques dont la détection constitue un marqueur d'exposition au TCE ou au PCE, compte tenu des niveaux attendus faibles, ce dosage se heurte à des difficultés d'interprétation et de réalisation.

Par ailleurs, la durée de demi-vie des biomarqueurs d'exposition pour le TCE et le PCE ne dépassant pas quelques jours, ce dosage ne présente désormais plus d'intérêt alors que le collège Saint-Exupéry et la crèche Liberté sont fermés depuis plusieurs mois.

2.4 Conclusion

La contamination de l'air ambiant du collège Saint-Exupéry et de la crèche Liberté de Vincennes a été confirmée par la réalisation de plusieurs campagnes de mesures concordantes qui indiquent une contamination des 2 établissements en TCE et PCE. Les niveaux de concentration atteints présentent en de nombreux points des dépassements importants des valeurs de gestion proposées par le HCSP, justifiant la mise en place de mesures visant à réduire l'exposition.

Pour ce qui est des salariés, ils font l'objet d'une exposition professionnelle indirecte, dont les niveaux sont ceux d'une exposition environnementale. Il apparaît néanmoins nécessaire que cette exposition au TCE et au PCE soit notifiée dans le dossier médical de médecine du travail (DMMT) de ces derniers. Bien qu'il n'existe pas de tableaux de reconnaissance de maladie professionnelle s'appliquant à la survenue d'une maladie suite à une exposition environnementale sur le lieu de travail, la reconnaissance du caractère de maladie professionnelle peut être décidée en dehors de ces tableaux par décision des Comités

régionaux de reconnaissance des maladies professionnelles (CRRMP). En effet le caractère professionnel d'une maladie peut être reconnu lorsqu'il est établi qu'elle est essentiellement et directement causée par le travail habituel de la victime et qu'elle entraîne le décès de celle-ci ou une incapacité permanente (Article L. 461-1 du code de la sécurité sociale).

Concernant l'opportunité de mettre en place une étude épidémiologique visant à caractériser l'impact sanitaire de cette exposition passée, cette étude n'apparaît ni pertinente, ni faisable.

Concernant la pertinence, une telle étude épidémiologique n'apporterait aucun bénéfice individuel ou collectif, notamment en termes de prise en charge médicale ou de reconnaissance du préjudice subi. Par ailleurs, les mesures de gestion ayant déjà été prises pour faire cesser l'exposition, les résultats d'une étude épidémiologique ne pourraient pas être utilisés pour orienter les décisions. Une étude épidémiologique n'apporterait aucun bénéfice sanitaire complémentaire par rapport à la suppression de la source de pollution ou de la cessation de l'exposition qui constituent les critères déterminants dans la réduction des risques et donc les impacts sanitaires potentiels à venir.

En matière de faisabilité, elle se heurterait à des difficultés méthodologiques majeures (impossibilité de quantifier précisément l'exposition passée et de dater le début de la pollution, difficulté à retrouver puis à contacter des personnes exposées il y a plusieurs décennies pour récupérer leur dossier médical). De même, si une étude épidémiologique devait être menée au sein de la population exposée, le nombre de sujets exposés par le passé à inclure dans cette étude serait largement inférieur à l'effectif minimum nécessaire permettant de mettre en évidence d'un point de vue statistique les effets de cette exposition sur la santé. Par conséquent, une telle étude épidémiologique ne permettrait pas de répondre à la question posée.

Concernant la réalisation d'une campagne d'imprégnation des populations ayant été exposées, à laquelle s'appliquent les limites déjà énoncées, si l'exposition individuelle pourrait être théoriquement recherchée au moyen d'indicateurs biologiques dont la détection constitue un marqueur d'exposition au TCE ou au PCE, compte tenu des niveaux attendus faibles, ce dosage se heurte à des difficultés d'interprétation et de réalisation. Par ailleurs, la durée de demi-vie des biomarqueurs d'exposition pour le TCE et le PCE ne dépassant pas quelques jours, ce dosage ne présente désormais plus d'intérêt alors que le collège Saint-Exupéry et la crèche Liberté sont fermés depuis plusieurs mois.

Références bibliographiques

- [1] Iddea. Étude historique documentaire et mémorielle - diagnostic environnemental des sols. Réhabilitation du Collège Saint-Exupéry à Vincennes (94). 20/09/2017. 283 p.
- [2] Ministère de l'écologie et du développement durable. Note du 19 avril 2017 relative aux sites et sols pollués - Mise à jour des textes méthodologiques de gestion des sites et sols pollués de 2007.
- [3] Iddea. Investigations sur l'air ambiant, les gaz du sol et les eaux usées. Campagne de septembre 2017. Collège Saint-Exupéry, bâtiment accueillant la crèche Liberté, le réfectoire de la maternelle Nord et le RAM à Vincennes (94). 22/11/2017. 246 p.
- [4] Iddea. Investigations complémentaires sur l'air ambiant, les gaz du sol et l'eau potable – Campagne d'octobre et novembre 2017. Collège Saint-Exupéry, bâtiment accueillant la crèche Liberté, le réfectoire de la maternelle Nord à Vincennes (94). 07/12/2017. 324 p.
- [5] Anses. Addendum au rapport d'expertise collective « Proposition de valeurs guides d'air intérieur - Tétrachloroéthylène ». Fiche de recueil de données relatives à la métrologie du Tétrachloroéthylène. Novembre 2011.
- [6] Anses. Addendum au rapport d'expertise collective « Proposition de valeurs guides d'air intérieur – Trichloroéthylène ». Fiche de recueil de données relatives à la métrologie du Trichloroéthylène. Novembre 2011.
- [7] LCPP. Mesures de concentrations en TCE et PCE dans l'air intérieur de logements situés à proximité et au collège Saint-Exupéry, sis 5 rue de la Liberté à Vincennes (94). 08/12/2017. 12 p.
- [8] Anses. Avis relatif à la proposition de valeurs guides de qualité de l'air intérieur pour le trichloroéthylène. 28 septembre 2009.
- [9] Anses. Avis relatif à la proposition de valeurs guides de qualité de l'air intérieur pour le tétrachloroéthylène. 18 janvier 2010.
- [10] Observation de la qualité de l'air intérieur. Campagne nationale Logements : étude de la qualité de l'air dans les logements français. DDD/SB-2006-57. Novembre 2006.
- [11] Laboratoire d'hygiène de la ville de Paris. Étude de la qualité de l'air dans 26 crèches parisiennes - Rapport juin 2009.
- [12] Haut Conseil de santé publique. Valeurs repères d'aide à la gestion dans l'air des espaces clos : le trichloroéthylène. Collection Avis et Rapports. Juillet 2012.
- [13] Haut Conseil de santé publique. Avis relatif à la fixation de valeurs repères d'aide à la gestion pour le trichloroéthylène dans l'air des espaces clos. 6 juillet 2012.
- [14] Haut Conseil de santé publique. Valeurs repères d'aide à la gestion dans l'air des espaces clos : le tétrachloroéthylène. Collection Avis et Rapports. Juin 2010.
- [15] Haut Conseil de santé publique. Avis relatif à la fixation de valeurs repères d'aide à la gestion pour le tétrachloroéthylène dans l'air des espaces clos. 16 juin 2010.
- [16] Institut national du cancer. Cancer du foie : les points clés.
- [17] Ancelle T. Statistique et épidémiologie. Paris : Maloine, 2006, 2^e édition, 300 p. BC00/0210, BC00/0209.
- [18] Charbotel *et al.* Case-control study on renal cell cancer and occupational exposure to trichloroethylene. Part II: Epidemiological aspects. *Annals of Occupational Hygiene* 2006; 50: 777-787.
- [19] Raaschou-Nielsen *et al.* Cancer risk among workers at Danish companies using trichloroethylene: A cohort study. *Am J Epidemiol.* 2003;158: 1182-1192.
- [20] Binder-Foucard F, Belot A, Delafosse P, Remontet L, Woronoff A-S, Bossard N. Estimation nationale de l'incidence et de la mortalité par cancer en France entre 1980 et 2012. Partie 1 - Tumeurs solides. Saint-Maurice (Fra) : Institut de veille sanitaire ; 2013. 122 p.

- [21] Monnereau A, Remontet L, Maynadié M, Binder-Foucard F, Belot A, Troussard X, Bossard N. Estimation nationale de l'incidence des cancers en France entre 1980 et 2012. Partie 2 – Hémopathies malignes. Saint-Maurice (Fra) : Institut de veille sanitaire ; 2013. 88 p.
- [22] Anses. Avis relatif à l'évaluation des risques sanitaires liés aux situations de dépassement de la limite de qualité du trichloroéthylène et du tétrachloroéthylène. Avis du 19 décembre 2014 révisé le 26 janvier 2016.
- [23] Dor F, Fréry N *et al.* Utilisation des biomarqueurs dans les situations de pollution locale. Aide méthodologique. Saint Maurice : Institut de veille sanitaire ; 2012. 61 p.
- [24] INRS. Fiche toxicologique Trichloroéthylène. FT 22. 12 p. 2011.
- [25] Legout C. Exposition environnementale au TCE chez les riverains de sites pollués en Île-de-France. Saint-Maurice : Santé publique France ; 2016. 22 p.
- [26] Ineris. (2008). Fiche de données toxicologiques et environnementales : tétrachloroéthylène. 2008.
- [27] INRS. (2004). Fiche toxicologique n°29 : Tétrachloroéthylène. 2008.
- [28] Monster, A. C. (1986). Biological monitoring of chlorinated hydrocarbon solvents. *J Occup Med.* 28(8): 583-8.
- [29] Ashley, D. L., M. A. Bonin, *et al.* (1994). "Blood-Concentrations of Volatile Organic-Compounds in a Nonoccupationally Exposed Us Population and in Groups with Suspected Exposure." *Clinical Chemistry* 40(7B): 1401-1404.
- [30] Sexton, K., J. L. Adgate, *et al.* (2005). Children's exposure to volatile organic compounds as determined by longitudinal measurements in blood. *Environmental Health Perspectives* 113(3): 342-349.
- [31] Begerow, J., E. Jermann, *et al.* (1996). Internal and external tetrachloroethene exposure of persons living in differently polluted areas of Northrhine-Westphalia (Germany). *Zentralblatt Fur Hygiene Und Umweltmedizin* 198(5): 394-406.
- [32] Wallace, L. A. (1996). Breath measurements as volatile organic compound biomarkers. *Environ Health Perspect.* 104(suppl. 5): 861-9.
- [33] Haut Conseil de santé publique. Valeurs repères d'aide à la gestion dans l'air des espaces clos : le benzène. Juin 2010.
- [34] Haut Conseil de santé publique. Valeurs repères d'aide à la gestion dans l'air des espaces clos : le naphthalène. Janvier 2012.
- [35] Anses. Avis de l'Anses relatif à « l'Analyse des valeurs toxicologiques de référence par inhalation de l'US EPA pour le trichloroéthylène et le perchloroéthylène ». Saisines n°« 2012-SA-0140 et 2012-SA-0141 ». Avril 2013.
- [36] Keil DE, Peden-Adams MM, Wallace S, Ruiz P, Gilkeson GS. (2009) Assessment of trichloroethylene (TCE) exposure in murine strains genetically-prone and non-prone to develop autoimmune disease. *J Environ Sci Health A Tox Hazard Subst Environ Eng.* 2009 Apr;44(5):443-53.
- [37] Johnson PD, Goldberg SJ, Mays MZ, Dawson BV. (2003) Threshold of trichloroethylene contamination in maternal drinking waters affecting fetal heart development in the rat. *Environ Health Perspect.* 2003 Mar;111(3):289-92.
- [38] Cavalleri A., Gobba F., Paltrinieri M., Fantuzzi G., Righi E. and Aggazzotti G. (1994) - Perchloroethylene exposure can induce colour vision loss. *Neurosci Lett*, 179, (1-2), 162-166.
- [39] Echeverria D., White R.F. and Sampaio C. (1995) - A behavioral evaluation of PCE exposure in patients and dry cleaners: a possible relationship between clinical and preclinical effects. *J Occup Environ Med*, 37, 667-680.
- [40] Gorla S, Stempfelet M, de Crouy-Chanel P. Introduction aux méthodes statistiques et aux systèmes d'information géographique en santé environnement– Application aux études écologiques. Saint-Maurice : Institut de veille sanitaire, 2011, 65 p.

[41] Gorla S, Le Tertre A. Les études locales autour d'un point source - Les différentes méthodes statistiques, leurs avantages et leurs inconvénients. Note méthodologique. Saint-Maurice : Institut de veille sanitaire ; 2010. 8 p.

[42] Salines G, De Launay C. Les cohortes : intérêt, rôle et position de l'InVS. Saint-Maurice : Institut de veille sanitaire, 2010, 23 p.

[43] Ministère de l'écologie, du développement durable et de l'énergie. Circulaire du 9 août 2013 relative à la démarche de prévention et de gestion des risques sanitaires des installations classées soumises à autorisation.

[44] Wartenberg D, Reyner D, Scott CS. TCE meta-analyses [Response] Environ Health Perspect.2000a;108:543–544.

Annexe 1 : Fondement des valeurs de gestion sanitaire proposées par le HCSP pour le TCE et le PCE

Trichloroéthylène [12,13]

Pour le TCE, la VR se fonde sur l'excès de risque unitaire (ERU) de $4,1 \cdot 10^{-6} (\mu\text{g}/\text{m}^3)^{-1}$, reconnu en 2011 par l'Agence américaine de protection de l'environnement (US-EPA) pour les effets cancérigènes par inhalation (carcinome rénal, lymphome non hodgkinien et tumeurs hépatiques). Le TCE fait partie des substances classées en cancérogène avéré (groupe 1, CIRC). Cette réévaluation par le CIRC en octobre 2012 fait suite à différentes études montrant un lien entre le trichloroéthylène et le risque de cancer du rein. La concentration arrondie qui correspond à un excès de risque vie entière de 10^{-5} est de $2 \mu\text{g}/\text{m}^3$. Selon le HCSP, ce seuil de concentration protège également contre les effets chroniques non cancérigènes du TCE : effets hépatiques, rénaux, neurologiques, immunologiques, effets sur la reproduction et le développement. La VR s'applique pour les immeubles d'habitation et les locaux ouverts au public. Le HCSP préconise le respect de cette valeur dans un délai de 5 ans.

La VAR a été fixée à $10 \mu\text{g}/\text{m}^3$, soit cinq fois la VR. Ce ratio de concentrations VAR/VR est dans l'ordre de grandeur de celui adopté pour le benzène, le tétrachloroéthylène et le naphthalène [33,34]. Au-delà de cette valeur le HCSP préconise d'identifier et de neutraliser rapidement les sources émettrices pour ramener les teneurs à des niveaux inférieurs. Le délai de mise en œuvre de ces actions correctives ne devrait pas dépasser 6 mois.

En mai 2012, l'Anses s'est auto-saisie en vue d'analyser les VTR par inhalation élaborées par l'US-EPA pour le TCE [35]. Pour les effets à seuil, l'US-EPA a proposé en 2011 une concentration de référence (RfC) égale à $2 \mu\text{g}/\text{m}^3$. Cette concentration a été calculée sur la base de deux études : l'étude de Keil *et al.* en 2009 mettant en évidence une diminution du thymus chez les souris femelles pendant 30 semaines par ingestion dans l'eau [36] et l'étude de Johnson *et al.* en 2003 mettant en évidence une augmentation des malformations cardiaques fœtales chez des rats exposés du jour de gestation 1 à 22 par ingestion dans l'eau [37]. Toutefois, la RfC n'a pas été retenue par l'Anses en raison notamment de la méthode de construction de la RfC et du choix des études clés.

De même, l'excès de risque unitaire pour les effets sans seuil : $\text{ERU} = 4,1 \cdot 10^{-6} (\mu\text{g}/\text{m}^3)^{-1}$ n'a pas été retenu par l'Anses. Cette valeur a été construite à partir de l'étude de Charbotel *et al.* ayant pour objet le risque de cancer rénal et les expositions au TCE en milieu professionnel [18]. L'Anses remet en cause, comme pour la VTR à seuil, la méthode de construction. Même si selon l'Anses, l'étude clé « paraît bien menée », il existe des facteurs de confusion (exposition concomitantes au TCE et aux huiles de coupe et de pétrole). La reconstitution de l'exposition des travailleurs reste difficile. Le fait d'utiliser des expositions combinées (inhalation et cutanée) rend discutable l'utilisation de ces chiffres pour l'établissement d'une VTR par inhalation. L'Anses critique également le choix qui a été fait d'ajuster l'excès de risque calculé pour le cancer du rein sur le risque potentiel de tumeurs multi-sites en appliquant un facteur multiplicatif discutable.

Les valeurs de référence pour l'air intérieur proposées par le HCSP en 2012, restent d'actualité ($2 \mu\text{g}/\text{m}^3$ pour la valeur repère de qualité d'air ; $10 \mu\text{g}/\text{m}^3$ pour la valeur d'action rapide) ; si l'avis « Valeur toxicologique de référence du trichloroéthylène » de l'Anses de 2013 discute le choix des articles et des modèles de transposition des données scientifiques sur lesquels l'US-EPA fonde ses valeurs de référence, il n'a pas conduit à modifier la valeur du risque unitaire

du TCE, sur laquelle le HCSP s'était basé pour la proposition de valeurs repères d'aide à la gestion dans l'air intérieur.

Perchloroéthylène [14,15]

Le HCSP a émis son avis relatif au PCE en juin 2010, à une période où les débats et incertitudes au sein de la communauté scientifique ne permettaient pas d'intégrer le risque cancérigène. A la différence du TCE, le caractère cancérigène n'est pas avéré ; le PCE est classé comme « cancérigène possible » (catégorie 3) par l'Union européenne (1996) et comme « cancérigène probable pour l'homme » (groupe 2A) par le CIRC (1995) (preuve limitée chez l'homme et suffisante chez l'animal). Les seuils proposés par le HCSP sont donc beaucoup plus élevés que ceux définis pour le TCE. La VR correspond à la valeur guide long terme de 250 µg/m³ proposée par l'Anses en 2010. Cette valeur protège contre les effets non cancérigènes à long terme du PCE, notamment les atteintes rénales. Elle s'applique dans tous les bâtiments (immeubles d'habitation ou locaux ouverts au public), dans un délai de 5 ans.

En 2012, deux nouvelles VTR sont proposées par l'US-EPA :

- une VTR pour les effets à seuil d'une exposition chronique au PCE par inhalation : RfC (Reference Concentration) = 40 µg/m³. Cette valeur a été établie à partir de deux études menées en milieu professionnel (Echeverria *et al.*, 1995 ; Cavalleri *et al.*, 1994). Ces études mettent en évidence la survenue d'effets neurotoxiques : augmentation du temps de réaction, altération des performances au cours de 3 tests cognitifs et confusion des couleurs ;
- une VTR pour les effets sans seuil d'une exposition chronique au PCE par inhalation : ERU_i = 2,6.10⁻⁷ (µg.m⁻³)⁻¹. Cette VTR se fonde sur les effets critiques (adénomes et carcinomes hépatocellulaires) observés chez des souris mâles dans l'étude JISA (1993).

En 2013, l'Anses a expertisé ces deux nouvelles VTR dans le cadre de la mise à jour des VGAI. La RfC n'a pas été retenue, l'Anses étant en désaccord avec le choix des études de Cavalleri *et al.* [38] et surtout d'Echeverria *et al.* [39] comme études clés pour la construction de cette VTR. Elle désapprouve plusieurs points de méthodologie, comme la construction de la VTR basée sur une moyenne de plusieurs VTR ou encore le choix des facteurs d'incertitude.

En revanche, l'Anses retient l'ERU_i de 2,6.10⁻⁷ (µg/m³)⁻¹ pour une exposition chronique au PCE par inhalation, correspondant à une concentration dans l'air de 40 µg/m³ pour un risque de 10⁻⁵.

L'Anses ne rejette pas l'étude JISA (*Japan Industrial Safety Association*) comme étude clé même si elle présente certaines incertitudes concernant le mode d'action cancérigène du PCE au niveau hépatique, l'extrapolation à l'homme des tumeurs du foie observées chez la souris et le l'influence du métabolisme chez l'homme.

La VAR a été fixée à 1 250 µg/m³, soit cinq fois la VR (ratio appliqué pour le TCE, le benzène et le formaldéhyde). La VAR est proche de la valeur guide de 1 380 µg/m³ établie par l'Anses en 2010 pour une exposition brève au PCE (1 à 14 jours). Son dépassement doit s'accompagner de la mise en place d'actions correctives pour abaisser les niveaux en dessous de 250 µg/m³. Aucun délai de mise en œuvre n'est précisé par le HCSP.

Annexe 2 : Toxicité du TCE et du PCE

Trichloroéthylène [8]

Une exposition aiguë, intermédiaire et chronique au trichloroéthylène est susceptible d'entraîner des effets néfastes sur la santé. Les effets observés chez l'Homme liés à une exposition court terme ont été décrits pour des cas d'intoxications à des concentrations élevées de l'ordre de milliers de mg/m³. Des atteintes du système nerveux central (perte des réflexes et de la coordination motrice etc.) pouvant évoluer vers le coma ainsi que des lésions neurologiques périphériques (nerf optique trijumeau) ont été observées. Des troubles cardiaques pouvant conduire au décès ont également été rapportés.

Concernant les effets non cancérogènes associés à une exposition intermédiaire et long-terme, les études chez l'Homme montrent une neurotoxicité (céphalées, troubles de la mémoire, incoordination motrice, etc.). Les données sur les effets reprotoxiques issues d'études épidémiologiques sont difficilement interprétables du fait notamment des co-expositions.

Sur la base des études chez l'Homme et chez l'animal, le trichloroéthylène a été classé en cancérogène avéré pour l'Homme (groupe 1) par le Centre international de recherche sur le cancer (CIRC) (octobre 2012). Dans sa dernière évaluation, le CIRC a estimé qu'il y avait des preuves suffisantes d'un lien causal chez l'homme entre l'exposition à ce solvant et le risque de cancer rénal, et des preuves limitées d'une telle association avec le risque de lymphome non-hodgkinien et de cancer du foie et des voies biliaires. Cette réévaluation fait en effet suite à différentes études montrant un lien entre le trichloroéthylène et le risque de cancer du rein. D'autres études épidémiologiques ont rapporté des excès de risques de lymphomes non hodgkiniens et de cancers du foie et des voies biliaires. Cependant, les études de cohorte disponibles montrent des limites méthodologiques liées, d'une part aux co-expositions, et, d'autre part, au faible nombre de sujets étudiés et, pour certaines études, à l'absence de quantification des expositions. Le CIRC a également conclu que les preuves de cancérogénicité chez l'animal étaient suffisantes (rein, foie, lymphome, poumon).

Les mécanismes de la génotoxicité du trichloroéthylène ne sont pas bien connus, mais les métabolites jouent probablement un rôle important. Les experts ont retenu par défaut l'absence de seuil pour les effets cancérogènes du trichloroéthylène chez l'homme.

Perchloroéthylène [9]

Chez l'Homme, une exposition aiguë par inhalation au tétrachloroéthylène peut conduire à la mort. Des signes de dépression du système nerveux central, des pertes de conscience et une narcose, ont été rapportés. Après une exposition de courte durée à de fortes concentrations, des effets neurologiques comme des modifications comportementales, des troubles visuels et de la coordination motrice ainsi que des effets hépatiques ont été rapportés. Le tétrachloroéthylène est un irritant cutané et nasal. Les résultats concernant les atteintes rénales sont contradictoires.

Des effets rénaux, hépatiques et neurologiques non cancérogènes ont été rapportés suite à une exposition intermédiaire ou long terme. Ces observations proviennent notamment d'études épidémiologiques réalisées en milieu professionnel, incluant principalement des personnes exposées au tétrachloroéthylène dans des pressings. Deux études ont été réalisées en milieu résidentiel incluant des personnes exposées qui habitaient un logement situé au-dessus d'un pressing. Au niveau rénal et après une exposition répétée par voie respiratoire, des lésions tubulaires modérées ont été rapportées. Au niveau hépatique, les

effets observés sont, dans ce cas, une induction enzymatique avec une augmentation des gamma-GT sériques (gamma-Glutamyl Transferase) ou des anomalies de structure à l'échographie par ultrasons (altérations parenchymateuses diffuses). Enfin, les symptômes rapportés au niveau du système nerveux central incluent des troubles de la mémoire, une augmentation du temps de réaction, une perte de la vision des couleurs... Certains de ces effets sont persistants.

Des effets sur la reproduction ont été également décrits chez des travailleurs de pressings exposés au tétrachloroéthylène. Ces effets incluent des troubles du cycle menstruel, des avortements spontanés, des effets sur la fertilité et sur le sperme, des malformations congénitales ou des diminutions du poids des nouveau-nés. Cependant, il est difficile de conclure car ces études sont limitées par le faible nombre de sujets, le manque d'informations sur le niveau des expositions et l'influence d'autres facteurs (co-exposition, chaleur, posture...). Des discussions sont en cours au niveau européen concernant la classification du tétrachloroéthylène en tant que substance reprotoxique. Actuellement, il n'est pas classé pour cet effet.

Le tétrachloroéthylène a été classé comme cancérogène possible (C3) chez l'homme par l'Union européenne. Le Centre international de recherche sur le cancer (CIRC) l'a classé comme cancérogène probable (2A) sur la base d'études animales et de quelques études épidémiologiques démontrant une association entre exposition à la substance et le risque de cancers de la vessie, de l'œsophage, du col de l'utérus ou de lymphomes non hodgkiniens. Les données de la littérature ne sont cohérentes que pour le cancer de la vessie. Ces effets sont toutefois à nuancer par l'influence possible de co-facteurs (en particulier le tabagisme pour le cancer de la vessie) et le faible effectif total dans les études de cohorte.

Annexe 3 : Évaluation du risque sanitaire réalisée par l'ARS IDF

RAPPORT

Pollution aux PCE et TCE – Collège Saint- Exupéry de Vincennes

Démarche complémentaire d'évaluation
des risques sanitaires

Sommaire

Contexte	2
Objectifs et méthode	3
1- Élaboration des scénarios complémentaires	3
2- Choix des valeurs d'exposition	4
3- Choix des Valeurs Toxicologiques de Référence	4
Pour le TCE	4
Pour le PCE	5
4- Méthodes de calcul	5
Calcul des niveaux d'exposition.....	5
Calcul des indicateurs de risque	5
Résultats et discussions	7
1- Plan du site	7
2- Scénarios Crèche	7
Scénario enfants accueillis à la crèche	7
Scénario professionnels de la petite enfance/agents de la crèche	9
3- Scénarios Maternelle.....	10
Scénario enfants accueillis à la maternelle	10
Scénario personnel enseignant et agents travaillant auprès des élèves.....	11
4- Scénarios Collège	12
Scénarios collégiens.....	12
Scénario professeurs du collège.....	13
Scénario agents de direction et administratifs.....	14
Scénario professionnels de la restauration du collège.....	15
5- Scénario cumulé.....	16
Conclusion	17

1. CONTEXTE

L'ARS a été sollicitée par la préfecture du Val-de-Marne pour rendre un avis sanitaire concernant la pollution détectée dans les locaux du collège Saint-Exupéry et dans le bâtiment accueillant la crèche Liberté, le Relais d'assistantes maternelles (RAM) et la restauration scolaire de la maternelle du Nord. Les résultats des mesures faites dans l'air intérieur montrent une contamination en tétrachloroéthylène (PCE) et en trichloroéthylène (TCE). Pour le TCE, des points de prélèvements dépassent les valeurs repères établies par le Haut Conseil de la Santé Publique (HCSP) dans ses recommandations²⁴ pour l'aide à la gestion de la présence de TCE dans l'air des espaces clos. Le HCSP propose deux valeurs repères d'aide à la gestion :

- Valeur repère de qualité de l'air intérieur (VR): La valeur repère « peut être considérée comme la teneur maximale acceptable pour une bonne qualité de l'air intérieur vis-à-vis du polluant considéré dans des conditions d'occupation régulière d'un local ». Pour le Trichloroéthylène, le HCSP retient une VR de 2 µg/m³ et recommande que celle-ci soit applicable et respectée dans tous les bâtiments dans un délai de 5 ans.
- Valeur d'action rapide (VAR): La Valeur d'action rapide « correspond à un niveau de concentration tel que des travaux et actions d'amélioration sont nécessaires à court terme afin d'identifier les sources de pollution et les neutraliser ». Pour le trichloroéthylène, le HCSP retient une VAR de 10 µg/m³ en indiquant que le délai de mise en œuvre des actions correctrices pour revenir en dessous de la VR ne devrait pas excéder 6 mois.

Il s'agit de recommandations d'aide à la gestion. Il n'existe pas de valeurs réglementaires pour le TCE dans l'air intérieur des bâtiments recevant du public. Le HCSP précise par ailleurs la méthode de prélèvement d'air nécessaire pour pouvoir comparer les mesures dans l'air aux valeurs repères.

Dans les locaux du collège Saint-Exupéry, comme dans le bâtiment accueillant la crèche Liberté, le Relais d'assistantes maternelles (RAM) et la restauration scolaire de la maternelle du Nord, des dépassements de la valeur d'action rapide ont été constatés pour le TCE dans plusieurs salles.

Par ailleurs, sur la base des premiers résultats des campagnes de prélèvement réalisées par le bureau d'études mandaté par le Conseil Départemental, l'ARS a réalisé une première démarche d'Évaluation des risques sanitaires (ERS).

Le présent rapport complète cette ERS en tenant compte des résultats complémentaires des prélèvements réalisés et en intégrant des scénarios complémentaires. Il permet ainsi de compléter les éléments relatifs au risque sanitaire mais ne constitue pas une démarche complète de quantification (EQRS). Ce complément à l'évaluation des risques n'a pas pour objectif de modifier les mesures de gestion. Il permet de disposer d'éléments d'ERS plus complets, établis sur l'ensemble des éléments disponibles à date.

²⁴ Valeurs repères d'aide à la gestion dans l'air des espaces clos : le trichloroéthylène – HCSP – juillet 2012.

2. OBJECTIFS ET MÉTHODE

Ce complément à l'évaluation des risques permet d'intégrer dans cette démarche d'évaluation des risques sanitaires, l'ensemble des résultats de prélèvement obtenus par l'ARS à date.

L'ARS a ainsi pu s'appuyer sur les éléments suivants :

Rapport	Date	Réalisation	Commanditaire	
Investigations sur l'air ambiant, les gaz du sol et les eaux usées campagne de septembre 2017- collège	23/09 2017	Iddea	Conseil Départemental 94	Rapport définitif
Investigations sur l'air ambiant, les gaz du sol et les eaux usées Campagne complémentaire d'octobre 2017 – collège, crèche et maternelle	24/10- 03/11 2017	Iddea	Conseil Départemental 94	Rapport définitif
Investigation sur l'air ambiant Campagne de novembre 2017	23/11- 30/11 2017	LCPP	Conseil Départemental 94	Rapport Définitif

Cette analyse s'intéresse uniquement aux deux principaux polluants identifiés sur le site. Les produits de dégradations de ces substances ne sont pas étudiés dans ce rapport.

Les effets sanitaires associés au PCE et au TCE ont été évalués selon une méthodologie d'évaluation quantitative des risques sanitaires qui permet de mettre en relation les niveaux d'exposition mesurés avec les données toxicologiques disponibles. Il s'agit d'une démarche réalisée en première approche afin de disposer d'éléments permettant d'estimer les risques sanitaires.

La campagne de mesure réalisée sur l'eau potable distribuée sur le site montre que seul le résultat d'un point de prélèvement n'est pas conforme aux dispositions réglementaires de l'arrêté du 11 janvier 2007 relatif aux limites et références de qualité des eaux brutes et des eaux destinées à la consommation humaine. Il s'agit du point de distribution situé dans le réfectoire du bâtiment accueillant la crèche Liberté. Pour cette raison, la voie d'exposition par ingestion d'eau potable n'a été considérée que pour les personnes fréquentant ce bâtiment.

Le rapport du LCPP montre un dépassement significatif de la valeur repère en TCE dans un seul logement de fonction, qui était inoccupé depuis 6 mois à la date des mesures. Cette situation n'est pas considérée comme représentative des conditions d'expositions dans ces logements. De ce fait, ce complément d'évaluation des risques n'a pas étudié plus en profondeur la question de l'exposition au sein des logements de fonction présents sur l'école.

2.1 Elaboration des scénarios complémentaires

Les scénarios étudiés complètent ceux ayant fait l'objet d'une évaluation en octobre.

Pour la crèche, les durées d'exposition ainsi que les valeurs d'exposition ont été revues pour tenir compte des éléments complémentaires recueillis.

Des scénarios d'exposition ont été ajoutés pour les élèves et employés de la maternelle.

Pour le collège, les durées d'exposition ainsi que les valeurs d'exposition ont été revues pour tenir compte des éléments complémentaires recueillis. La situation des professionnels intervenants en restauration a fait l'objet d'un scénario dédié.

Enfin, un scénario modélisant une exposition successive en crèche, école maternelle puis collège a été intégré.

Pour chaque situation, une situation « médiane » a été décrite (en s'appuyant sur les éléments factuels fournis par les gestionnaires d'établissement en termes de fonctionnement, de temps passé dans les

différentes salles etc...). Une situation « majorante » a également été construite en retenant les valeurs les plus élevées et des scénarios d'exposition très majorants.

2.2 Choix des valeurs d'exposition

Les résultats des deux campagnes de mesure ont pu être intégrés dans ce complément d'évaluation des risques.

Pour réaliser le complément à l'évaluation, l'ensemble des résultats de prélèvements disponibles ont été utilisés.

Lorsque, sur un même point de prélèvement, deux valeurs étaient disponibles, c'est la valeur la plus pénalisante qui a été retenue.

Une valeur « moyenne » a été retenue : il s'agit de la moyenne arithmétique de l'ensemble des valeurs ainsi mesurées qui a été utilisé dans les calculs de risques.

Une valeur « majorante » a également été retenue : il s'agit de la valeur la plus élevée parmi toutes les valeurs du lieu et sur l'ensemble des campagnes de mesures.

Il est important de souligner que, s'agissant de polluants volatils, il est fréquent de constater au droit des sites pollués des fluctuations importantes des concentrations mesurées dans l'air. Le TCE est par ailleurs un produit de dégradation du PCE.

2.3 Choix des Valeurs Toxicologiques de Référence

Le choix des VTR repose sur les dispositions de la note d'information n° DGS/EA1/DGPR/2014/307 du 31 octobre 2014 relative aux modalités de sélection des substances chimiques et de choix des valeurs toxicologiques de référence pour mener les évaluation de risque sanitaire dans le cadre des études d'impact et de la gestion des sites et sols pollués. Dans ce cadre, et en continuité avec la première évaluation de risque, deux documents ayant valeur d'expertise collective nationale ont été retenus :

- Pour les VTR relatives à l'exposition par inhalation au TCE : le rapport du HCSP de 2012 *Valeurs repères d'aide à la gestion dans l'air des espaces clos : le trichloroéthylène* ;
- Pour les VTR relative à l'exposition par ingestion au TCE et PCE : l'Instruction n°DGS/EA4/2015/356 du 4 décembre 2015 relative à la gestion des risques sanitaires et aux modalités de dérogation en cas de contamination de l'eau destinée à la consommation humaine par du TCE ou du PCE.

L'instruction du 4 décembre 2015 se fonde sur l'avis du 19 décembre 2014 relatif à l'évaluation des risques sanitaires liés aux situations de dépassement de la limite de qualité du TCE et du PCE de l'Agence Nationale de Sécurité Sanitaire de l'alimentation, de l'environnement et du travail (Anses).

2.3.1 Pour le TCE

Exposition par inhalation

Pour les effets cancérigènes, deux VTR de type Excès de Risque Unitaire (ERU) sont actuellement disponibles (ERU de $4,3 \cdot 10^{-7} (\mu\text{g}/\text{m}^3)^{-1}$, Organisation Mondiale de la Santé (OMS) 2000 ; ERU de $4 \cdot 10^{-6} (\mu\text{g}/\text{m}^3)^{-1}$, *United States Environmental Protection Agency* (US EPA) 2011), c'est la VTR établie pour les effets sur le développement de carcinome rénale, de lymphome non Hodgkinien et de tumeurs hépatiques par l'US EPA qui a été retenue.

Pour les effets non cancérigènes (à seuil), la VTR de l'Office of Environmental Health Hazard Assessment (OEHHA) établie en 2003 pour les effets neurotoxiques et des irritations oculaires a été retenue : Concentration de Référence (RfC) = $600 \mu\text{g}/\text{m}^3$.

Exposition par ingestion

Pour les effets cancérigènes, la VTR de l'OMS établie en 2005 pour les effets sur le développement du cancer du rein a été retenue : $ERU = 7,8 \cdot 10^{-4} \text{ (mg/kg.p.c./jour)}^{-1}$.

Pour les effets non cancérigènes, la VTR de l'OMS établie en 2005 pour les effets toxiques sur le développement cardiaque a été retenue : Dose Journalière Tolérée (DJT) = $1,46 \text{ } \mu\text{g/kg.p.c./jour}$.

2.3.2 Pour le PCE

Exposition par inhalation

Pour les effets cancérigènes, la VTR recommandée par l'Anses en 2013 a été utilisée. La VTR de l'US EPA établie en 2011 pour des effets sur le développement d'adénomes et de carcinomes hépatocellulaires a donc été retenue : $ERU = 2,6 \cdot 10^{-7} \text{ (}\mu\text{g/m}^3\text{)}^{-1}$.

Pour les effets non cancérigènes (à seuil), la VTR du Rijksinstituut voor Volksgezondheid en Milieu (RIVM) établie en 2001 pour des effets rénaux a été retenue : $RfC = 250 \mu\text{g/m}^3$.

Exposition par ingestion

Pour les effets cancérigènes, la VTR de l'US EPA établie en 2011 pour les effets sur le développement d'adénomes et de carcinomes hépatocellulaires a été retenue : $ERU = 2 \cdot 10^{-3} \text{ (mg/kg.p.c./jour)}^{-1}$.

Pour les effets non cancérigènes, la VTR de l'OMS établie en 2003 pour des effets hépatotoxiques et rénaux a été retenue : DJT = $14 \text{ } \mu\text{g/kg.p.c./jour}$.

2.4 Méthodes de calcul

Les formules de calcul sont basées sur la méthodologie de l'INERIS détaillée dans son guide *Evaluation de l'état des milieux et des risques sanitaires* publié en 2013.

2.4.1 Calcul des niveaux d'exposition

Inhalation

La concentration moyenne inhalée (CI) est calculée selon la formule suivante :

$$CI = \frac{\sum_0^i C_i \times t_i}{T}$$

Avec :

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

C_i : Concentration de polluant dans l'air inhalé pendant une fraction de temps i ($\mu\text{g/m}^3$)

t_i : Durée d'exposition à la concentration C_i sur la période d'exposition

T : Durée de la période d'exposition (ici ramenée à un an)

Ingestion

La Dose Journalière d'Exposition (DJE) est calculée selon la formule suivante :

$$DJE = \frac{\sum_0^i Q_i \times C_i \times f_i}{P} \times \nu$$

Avec :

DJE : Dose journalière d'exposition liée à l'ingestion de la substance (mg/kg/jour)

Q_i : Quantité d'eau ingérée par jour (L/j)

C_i : Concentration de la substance ingérée dans l'eau (mg/L)

f_i : Fraction de la matrice eau concernée par le polluant (ici $f=1$)

P : Poids de l'individu (kg)

ν : Fréquence d'exposition ramenée sur un an.

2.4.2 Calcul des indicateurs de risque

Inhalation

Les quotients de danger (QD) et Excès de risque individuels sont calculés selon les formules :

$$QD = \frac{CI}{VTR} \text{ et } ERI = \sum_0^i \frac{CI_i \times T_i}{T_m} \times ERU$$

Ingestion

Les quotients de danger (QD) et Excès de risque individuels sont calculés selon les formules :

$$QD = \frac{DJE}{VTR} \text{ et } ERI = \sum_0^i \frac{DJE_i \times T_i}{T_m} \times ERU$$

Avec :

VTR : Valeur toxicologique de référence à seuil pour la voie et la durée d'exposition considérée

ERU : Excès de risque unitaire pour la voie d'exposition considérée

T_i : Durée de la période d'exposition i , en années, sur laquelle l'exposition est calculée

T_m : Durée de temps, en années, sur laquelle l'exposition est rapportée. Par convention pour les substances cancérigènes, l'exposition est ramenée à une durée de vie de 70 ans.

Présentation des calculs

En raison de différences de cibles tissulaires pour les effets à seuil selon la voie d'exposition, les QD sont présentés séparément.

3. RÉSULTATS ET DISCUSSIONS

Actuellement, on considère par convention que les résultats qui peuvent déclencher une action de santé publique – par exemple la mise en place de mesures correctives, de surveillance ou de prise en charge médicale des populations – sont :

- un quotient de danger supérieur à 1 ;
- un excès de risque individuel supérieur à 10^{-5} pour une vie entière.

3.1 Plan du site

Le site comprend 6 bâtiments :

- **Bâtiment A et B** : Collège ;
- **Bâtiment C** : stockage matériel enseignant ;
- **Bâtiment D** : service administratif du collège ;
- **Bâtiment E** : Collège au rez-de-chaussée, 1^{er} étage, 2^{ème} étage. Logement de fonction au 3^{ème} étage.
- **Crèche (à l'est du bâtiment C, non représenté sur le schéma ci-dessous)** : rez-de-chaussée : Accueil parents crèche, Cuisine Crèche, réfectoire pour les maternelles. Au 1^{er} étage : RAM et espace crèche. La restauration des enfants de la crèche se déroule au 1^{er} étage.

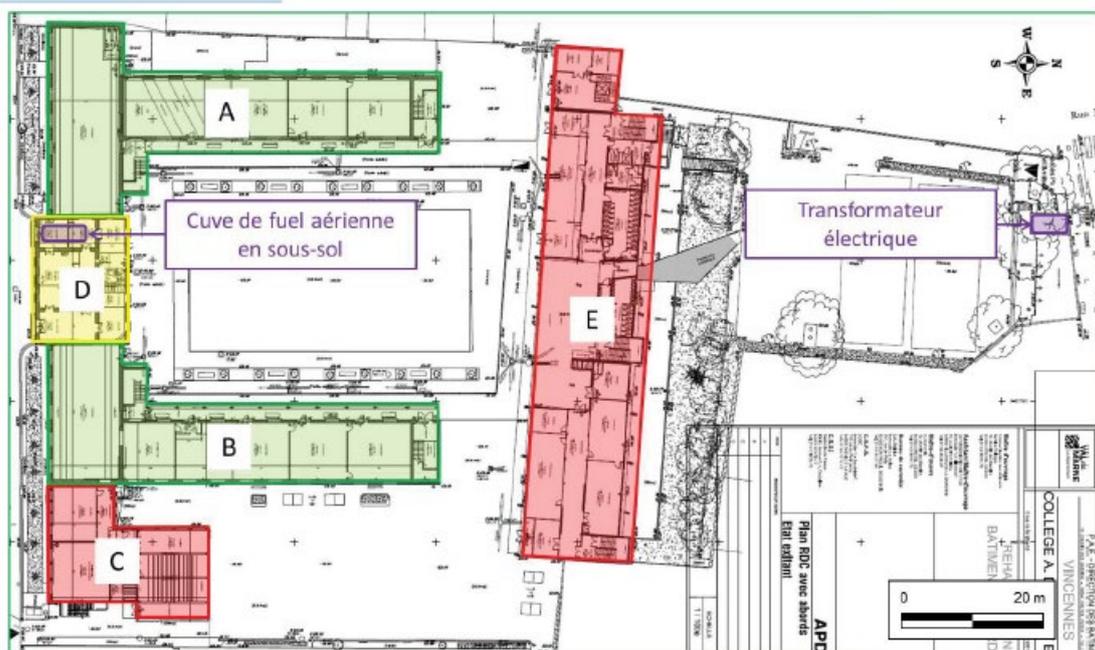


Figure 1 : Plan de masse actuel du site avec dénomination des bâtiments, activités et stockages visités le 18/05/2017

Issu de *Étude Historique Documentaire et Mémoirelle – Diagnostic environnemental des Sols ; Iddea ; Septembre 2017*

3.2 Scénarios Crèche

Scénario enfants accueillis à la crèche

La crèche compte 33 enfants.

Cette structure est ouverte 5 jours par semaine et 48 semaines par an.

L'amplitude horaire maximale est de 11 heures 30 (ouverture de 7h30 à 19h). En moyenne les enfants fréquentent la crèche 10 heures par jour (9h en intérieur, 1h en extérieur en moyenne sur l'année). Pour des accueils « classiques », les enfants fréquentent la crèche au maximum 2 années.

A noter qu'il n'existe pas d'accueil adapté pour des enfants ayant un suivi médical spécialisé (Par exemple des enfants handicapés fréquentant en parallèle la crèche durant les 1ères années de maternelle).

Les enfants évoluent principalement :

- au niveau R+1 de la crèche durant les temps d'activités, les repas et les temps de sieste (soit 9h/jour),
- les temps d'activités peuvent également avoir lieu dans la cour de la crèche (soit 1heure/jour ou 5h/semaine en moyenne), l'été les enfants peuvent rester le matin, pendant les repas et l'après-midi dans le jardin lorsqu'il y a de grosses chaleurs (le jardin est ombragé et les températures dans les sections peuvent aller jusqu'à 37°).

Calculs de risque :

Scénario médian

Crèche	Enfants
ERI	$7,0 \cdot 10^{-7}$
QD TCE	0,01
QD PCE	0,10

Scénario maximum

Crèche	Enfants
ERI	$1,5 \cdot 10^{-6}$
QD TCE	0,02
QD PCE	0,22

Scénario professionnels de la petite enfance/agents de la crèche (direction, administratifs)

La crèche compte 8 professionnels de la petite enfance et 2 agents (comprenant les agents de direction et administratifs).

Cette structure est ouverte 5 jours par semaine. Ces professionnels travaillent en moyenne 39 heures par semaine et 42,5 semaines par an. A notre connaissance, la personne ayant travaillé le plus longtemps au sein de la crèche est restée 7 années en poste. Pour le calcul du scénario maximum, il a été considéré qu'un salarié reste au maximum 40 ans en poste.

Calcul de risque :

Scénario médian

Crèche		Agents Crèche	
Effets sans seuil	ERI	1.10^{-6}	
Effets à seuil	Inhalation	QD TCE	0,01
		QD PCE	0,07
	Ingestion	QD TCE	0,01
		QD PCE	0,002

Scénario maximaliste

Crèche		Agents crèche	
Effets sans seuil	ERI	$2,2.10^{-5}$	
Effets à seuil	Inhalation	QD TCE	0,01
		QD PCE	0,16
	Ingestion	QD TCE	0,02
		QD PCE	0,003

3.3 Scénarios Maternelle

Au sein de la maternelle, aucune des mesures réalisées en air ambiant ne dépasse la valeur repère pour le TCE et le PCE. L'exposition des populations à ces solvants est donc en lien avec le temps passé au sein de l'espace de restauration au sein du bâtiment de la crèche.

Scénario enfants accueillis à la maternelle

La maternelle compte 264 élèves (constat de rentrée).

Selon les informations collectées, le réfectoire est ouvert toute l'année :

- Durant la période scolaire (36 semaines), la restauration pour les élèves de maternelle (repas du midi et goûter) se déroule dans le réfectoire situé au RDC du bâtiment de la crèche (ce bâtiment accueille également la crèche et le RAM au 1^{er} étage).
- Durant les vacances scolaires (16 semaines) : la restauration du centre de loisirs se déroule également au sein de ce même bâtiment. Il a été considéré pour l'ensemble des calculs qu'en moyenne les élèves passaient 8 semaines par an au centre de loisirs.

D'une manière globale, le temps de restauration totale est de maximum 2 h par jour (midi et goûter). Ce réfectoire peut accueillir les élèves de maternelle 5 jours par semaine.

A noter que la maternelle n'accueille pas de « Très Petite Section ». Les enfants qui entrent à l'école sont dans l'année de leurs 3 ans et y restent 3 années (petite, moyenne et grande section).

Pour le calcul de l'exposition par ingestion, sur la base des résultats de la 3^e Étude Individuelle Nationale des Consommations Alimentaires (Inca) publiés par l'Anses en 2017, nous avons considéré les paramètres suivants :

- Un enfant de 4 à 6 ans consomme en moyenne 300 mL d'eau du robinet par jour. Pour le scénario médian, il est considéré que l'enfant consomme les deux tiers de ce volume à l'école. Pour le scénario maximaliste, il est considéré que la totalité de ce volume d'eau est consommé à l'école.
- Le poids moyen des enfants de 4 à 6 ans dans l'échantillon de l'étude Inca est de 19,1 kg, ce poids a été retenu pour le scénario médian. Pour le scénario maximaliste, il est retenu le poids au 5^e percentile de la distribution, soit 14,2 kg.

Calcul de risque :

Scénario médian

Maternelle		Elèves	
Effets sans seuil	ERI	$5,43 \cdot 10^{-7}$	
Effets à seuil	Inhalation	QD TCE	0,004
		QD PCE	0,04
	Ingestion	QD TCE	0,03
		QD PCE	0,004

Scénario maximaliste

Maternelle		Elèves	
Effets sans seuil	ERI	1,0.10 ⁻⁶	
Effets à seuil	Inhalation	QD TCE	0,01
		QD PCE	0,05
	Ingestion	QD TCE	0,05
		QD PCE	0,007

Scénario personnel enseignant et agents travaillant auprès des élèves (ex : ATSEM, animateur)

Les enseignants ne prennent pas leur repas au sein du bâtiment de la crèche avec les élèves de maternelle mais au sein de la salle des maîtres de la maternelle. Ils ne sont donc pas exposés à des concentrations supérieures aux valeurs repères ni pour le TCE, ni pour le PCE.

Le scénario d'exposition pour les agents est identique à celui des élèves de maternelle en heures par jour et jours par semaine au sein du réfectoire.

En moyenne, les agents évoluant auprès des élèves (Ex : ATSEM, animateurs) travaillent depuis 7,5 années au sein de la maternelle. D'après les informations recueillies, la personne ayant travaillé le plus longtemps au sein de cet établissement est restée environ 25 années en poste. Ils travaillent 5 jours par semaine et 43 semaines par an. Pour le calcul du scénario maximum, il a été considéré qu'un travailleur reste au maximum 40 ans en poste.

Pour le calcul de l'exposition par ingestion, sur la base des résultats de la 3^e Étude Individuelle Nationale des Consommations Alimentaires (Inca) publiés par l'Anses en 2017, nous avons considéré les paramètres suivant :

- Un adulte de 18 à 64 ans consomme en moyenne 500 mL d'eau du robinet par jour. Pour le scénario médian, il est considéré que l'adulte consomme les deux tiers de ce volume à l'école. Pour le scénario maximaliste, il est considéré que la totalité de ce volume d'eau est consommé à l'école.
- Le poids moyen des adultes de 18 à 64 ans dans l'échantillon de l'étude Inca est de 73,5 kg, ce poids a été retenu pour le scénario médian. Pour le scénario maximaliste, il est retenu le poids au 5^e percentile de la distribution, soit 51,7 kg.

Calcul de risque :

Scénario médian

Maternelle		ATSEM-Animation	
Effets sans seuil	ERI	1,32.10 ⁻⁶	
Effets à seuil	Inhalation	QD TCE	0,004
		QD PCE	0,04
	Ingestion	QD TCE	0,01
		QD PCE	0,002

Scénario maximaliste

Maternelle		ATSEM-Animation	
Effets sans seuil	ERI	9,8.10 ⁻⁶	
Effets à seuil	Inhalation	QD TCE	0,01
		QD PCE	0,05
	Ingestion	QD TCE	0,02
		QD PCE	0,003

3.4 Scénarios Collège

Scénarios collégiens

Le collège compte 646 élèves (constat de rentrée).

Cet établissement accueille les élèves 5 jours par semaine et 36 semaines par an. L’amplitude horaire pour ce collège est de 10 heures par jour au maximum (7h45 à 18h00). Un élève de collège assiste en moyenne à 972 heures de cours par an (soit 27 heures par semaine et 5,4 heures par jour). Il est considéré qu’un élève reste en moyenne 1 heure par jour au réfectoire et 2 heures par semaine au foyer. Les élèves fréquentent en moyenne 4 ans et au maximum 5 années.

La restauration a lieu au sein du réfectoire du collège (bâtiment E) et dure en moyenne 1 heure.

Les cours sont dispensés dans les bâtiments suivants :

- Bâtiment A (rez-de-chaussée, 1^{er} étage, Est / Ouest),
- Bâtiment B (rez-de-chaussée, 1^{er} étage, Est / Ouest) et,
- Bâtiment E (rez-de-chaussée, 1^{er} étage, 2^{ème} étage, Nord / Sud).

L’organisation des cours prévoit que cela soit les enseignants qui soient affectés à une salle de classe. Les élèves changent de salle régulièrement dans la journée.

Le foyer des élèves est donc fréquenté par les élèves, sur les horaires d’ouverture de l’établissement.

L’association sportive organise des activités le mercredi après-midi de 13h à 17h. Celle-ci compte une 60^{aine} d’adhérents. L’AS Handball réalise ces activités dans la cour et l’AS Basketball sur le parking

arrière. Pour la gymnastique, le tennis de table et le volley-ball, les activités sont réalisées dans les 2 gymnases ou sur des installations extérieures.

Calcul de risque :

Scénario médian

Collège	Collégiens
ERI	1,6.10 ⁻⁶
QD TCE	0,01
QD PCE	0,11

Scénario maximaliste

Collège	Collégiens
ERI	3,9.10 ⁻⁶
QD TCE	0,02
QD PCE	0,19

Scénario professeurs du collège

Le collège compte 45 professeurs.

En moyenne, ceux-ci effectuent 18 heures d'enseignement par semaine au sein d'une classe et évoluent 5 heures supplémentaires au sein du collège (exemple : salle des professeurs, locaux administratifs,...).

Le temps de restauration se fait dans le réfectoire du collège et dure 1 heure.

Le collège est ouvert 5 jours par semaine. Ces professionnels travaillent en moyenne 36 semaines par an. D'après les informations recueillies, les enseignants travaillent en moyenne 10 ans au sein du collège. La personne ayant travaillé le plus longtemps au sein de cet établissement est restée 20 années en poste. A noter qu'il existe un fort turn-over pour cette population en raison du nombre important d'enseignants stagiaires. Pour le calcul du scénario maximum, il a été considéré qu'un enseignant reste au maximum 40 ans en poste.

Les professeurs évoluent dans les mêmes bâtiments que les élèves mais sont affectés à une salle durant la journée.

La salle des professeurs se situe dans le bâtiment E au 1^{er} étage (côté Sud).

Calcul de risque :

Scénario médian

Collège	Enseignants
ERI	$3,3 \cdot 10^{-6}$
QD TCE	0,01
QD PCE	0,10

Scénario maximaliste

Collège	Enseignants
ERI	$2,7 \cdot 10^{-5}$
QD TCE	0,02
QD PCE	0,16

Scénario agents de direction et administratifs

Le collège compte 3 personnels de direction et 2 agents administratifs. En moyenne, ces agents travaillent respectivement de 8h à 17h tous les jours (soit 9 heures sur place), principalement au sein du bâtiment D. Le temps de restauration se fait au réfectoire du collège et dure 45 minutes.

Ces agents travaillent en moyenne 5 jours par semaine et 39 semaines par an. D'après les informations recueillies, la personne ayant travaillé le plus longtemps au sein de cet établissement est restée 4 ans et 3 mois en poste. Pour le calcul du scénario maximum, il a été considéré qu'un travailleur reste au maximum 40 ans en poste.

Calcul de risque :

Scénario médian

Collège	Personnels administratifs
ERI	$3,8 \cdot 10^{-7}$
QD TCE	0,004
QD PCE	0,06

Scénario maximaliste

Collège	Personnels administratifs
ERI	1,2.10 ⁻⁵
QD TCE	0,01
QD PCE	0,08

Scénario professionnels de la restauration du collège

Le collège compte 3 professionnels de la restauration. Ces agents travaillent en moyenne 8,5 heures par jour, 5 jours par semaine et 39 semaines par an. D’après les informations recueillies, les agents travaillent en moyenne 7 ans au sein de la structure. La personne ayant travaillé le plus longtemps au sein de ce service est restée 17 années en poste. Pour le calcul du scénario maximum, il a été considéré qu’un travailleur reste au maximum 40 ans en poste.

Ces agents évoluent principalement au sein de la cuisine et du réfectoire du collège (R-1/RDJ). Certains agents évoluent exclusivement dans l’espace « cuisine », d’autres agents travaillent 1,5 heures par jour au maximum dans le réfectoire.

Calcul de risque :

Scénario médian

Collège	Personnels restauration
ERI	4,6.10 ⁻⁶
QD TCE	0,01
QD PCE	0,22

Scénario maximaliste

Collège	Personnels restauration
ERI	4,5.10 ⁻⁵
QD TCE	0,02
QD PCE	0,37

3.5 Scénario cumulé

L'évaluation des risques associés à un scénario cumulant l'exposition des enfants de la crèche, des élèves de maternelle puis de collège a été réalisée en complément.

Scénario médian

Σ ERI Elèves de la crèche au collège	$2,8 \cdot 10^{-6}$
Σ QD _{inhalation} TCE Elèves de la crèche au collège	0,02
Σ QD _{ingestion} TCE Elèves de la crèche au collège	0,03
Σ QD _{inhalation} PCE Elèves de la crèche au collège	0,25
Σ QD _{ingestion} PCE Elèves de la crèche au collège	0,004

Scénario maximaliste

Σ ERI Elèves de la crèche au collège	$6,4 \cdot 10^{-6}$
Σ QD _{inhalation} TCE Elèves de la crèche au collège	0,04
Σ QD _{ingestion} TCE Elèves de la crèche au collège	0,05
Σ QD _{inhalation} PCE Elèves de la crèche au collège	0,46
Σ QD _{ingestion} PCE Elèves de la crèche au collège	0,007

4. CONCLUSION

Les premiers éléments d'évaluation des risques sanitaires formulés en octobre sont ainsi complétés dans les scénarios évalués et dans les expositions. Ces nouveaux éléments confirment l'évaluation alors réalisée.

Si ces éléments permettent d'apporter des compléments en matière d'évaluation des risques sanitaires, il est important de souligner que les mesures de gestion ne sont pas liées à ces évaluations mais au dépassement des valeurs repères recommandées par le Haut Conseil de la Santé Publique.

Les résultats issus de cette évaluation montrent :

- Que le risque sanitaire évalué pour les enfants de la crèche, les élèves de maternelle et du collège ne montre pas de dépassement des seuils habituellement retenus, y compris avec des hypothèses maximalistes ;
- Que le risque sanitaire évalué pour les adultes enseignant ou intervenant dans ces mêmes structures ne montre pas de dépassement de ces seuils lorsque l'on applique des scénarios médians qui reflètent l'utilisation actuelle de ces locaux ;
- Que le risque sanitaire évalué dépasse ces seuils lorsque l'on retient des hypothèses maximalistes en durée d'exposition notamment pour les professionnels de la crèche, les enseignants, administratifs et employés de la restauration du collège.

Il est important par ailleurs de souligner que les calculs de risques réalisés à partir des données actuelles d'exposition ne peuvent renseigner avec certitude sur le passé.

En particulier, la variabilité probablement forte des concentrations en polluants volatils dans l'air intérieur est à souligner.