



INSTITUT NATIONAL DE L'ENVIRONNEMENT INDUSTRIEL ET DES RISQUES

**Evaluation des risques sanitaires  
liés aux émissions de  
tétrachloroéthylène par 2  
installations françaises de nettoyage  
à sec**

Rapport **final**

Ministère de l'Ecologie et du Développement Durable

*L. DELERY*

*ERSA*

*DRC*

Décembre 2002

# Evaluation des risques sanitaires liés aux émissions de tétrachloroéthylène par 2 installations françaises de nettoyage à sec

Rapport **final**

Ministère de l'Ecologie et du Développement Durable

**DECEMBRE 2002**

**L. DELERY, R. MEININGHAUS (ERSA)**

**I. ZDANEVITCH, J.C. PINARD, N. FRANCOIS (AIRE)**

Ce document comporte 32 pages (hors couverture et annexes).

	<b>Rédaction</b>	<b>Vérification</b>	<b>Approbation</b>
<b>NOM</b>	DELERY	CICOLELLA	VINDIMIAN
<b>Qualité</b>	Ingénieur ERSA	Responsable unité ERSA	Directeur DRC
<b>Visa</b>			

## TABLE DES MATIERES

<b>1. RÉSUMÉ .....</b>	<b>3</b>
<b>2. ACRONYMES .....</b>	<b>5</b>
<b>3. LISTE DES TABLEAUX ET DES FIGURES.....</b>	<b>6</b>
<b>4. INTRODUCTION .....</b>	<b>7</b>
<b>5. REALISATION DES DEUX CAMPAGNES DE MESURE .....</b>	<b>7</b>
5.1 CHOIX DES INSTALLATIONS.....	7
5.2 IDENTIFICATION DES INSTALLATIONS.....	8
5.3 MÉTHODE DE PRÉLÈVEMENT ET D' ANALYSE.....	9
5.4 RÉALISATION DES CAMPAGNES .....	11
5.5 RÉSULTATS .....	14
5.6 DISCUSSION .....	17
<b>6. EVALUATION DES RISQUES.....</b>	<b>18</b>
6.1 EVALUATION DE LA TOXICITE DU TETRACHLOROETHYLENE.....	18
6.2 EVALUATION DE L' EXPOSITION.....	19
6.3 CARACTÉRISATION DU RISQUE.....	22
<b>7. CONCLUSION .....</b>	<b>30</b>
<b>8. RÉFÉRENCES.....</b>	<b>32</b>

## 1. RESUME

---

Cette étude fait suite à un travail bibliographique préliminaire d'évaluation des risques sanitaires liés aux émissions de tétrachloroéthylène par les installations de nettoyage à sec (Déléry, 2001).

Deux campagnes de mesure dans l'air ont été réalisées par l'INERIS en juin et juillet 2002 au niveau d'installations françaises à savoir un pressing de la galerie marchande d'un centre commercial (1 machine de type 4 représentant 2 % du parc français) et un pressing situé en zone habitée (1 machine de type 3 représentant 93 % du parc français). Dans le **centre commercial, les concentrations moyennes mesurées** le jour de la campagne (*activité importante de nettoyage à sec, fréquentation normale de l'hypermarché*) sont situées entre **680  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  au niveau des caisses en face du pressing et 50  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  au niveau des rayons de l'hypermarché situés au fond du magasin**. Pour le **pressing de la zone habitée**, les concentrations moyennes mesurées le jour de la campagne (*faible activité de nettoyage à sec*) sont comprises entre **6,6 et 18  $\text{mg}/\text{m}^3$  dans le commerce** et entre **1,6  $\text{mg}/\text{m}^3$  au 1<sup>er</sup> palier et 16,6  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  au 4<sup>ème</sup> palier** de l'immeuble jouxtant le pressing. Une concentration moyenne dans l'air ambiant de 100  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  a été mesurée au niveau du balcon au-dessus du pressing.

Deux catégories d'individus ont été considérés dans cette étude pour l'évaluation des expositions et des risques, la population générale et les professionnels. Pour la première, on a utilisé 2 valeurs toxicologiques de référence pour les effets non cancérogènes à savoir une VTR de l'ATSDR pour les effets neurologiques de 0,28  $\text{mg}/\text{m}^3$  et une VTR de l'OMS pour les effets rénaux de 0,25  $\text{mg}/\text{m}^3$  (elles sont toutes deux construites à partir de données épidémiologiques); pour la seconde, on a utilisé en parallèle la Valeur Moyenne d'Exposition (VME) de la réglementation du travail et les 2 VTR de l'ATSDR et de l'OMS « corrigées » d'un facteur 10 pour prendre en compte le fait qu'il y a peu de variabilité intra-humaine dans la population professionnelle (hypothèse communément utilisée). On a donc une VTR de 2,8  $\text{mg}/\text{m}^3$  pour les effets neurologiques et une VTR de 2,5  $\text{mg}/\text{m}^3$  pour les effets rénaux. Enfin, pour chaque catégorie d'individus, on a utilisé 2 Excès de Risque Unitaire pour évaluer le risque cancérogène (le tétrachloroéthylène est classé 2A par le CIRC : probablement cancérogène pour l'homme), l'ERU provisoire de l'US EPA de  $7,1 \cdot 10^{-7} (\mu\text{g}/\text{m}^3)^{-1}$  et l'ERU de Cal EPA de  $5,9 \cdot 10^{-6} (\mu\text{g}/\text{m}^3)^{-1}$ . Ces 2 ERU sont construits à partir de données d'exposition chez le rat.

L'évaluation du risque sanitaire réalisée à partir de ces mesures ne met pas en évidence de risque sanitaire préoccupant pour les effets non cancérogènes pour les populations (**clients de l'hypermarché, personnel en poste aux caisses**) exposées aux émissions du pressing du centre commercial. En effet, des **indices de risque calculés pour les 2 catégories de populations sont strictement inférieurs à 1** (marge de sécurité minimum de 75 entre la concentration d'exposition et la valeur toxicologique de référence). Pour le risque cancérogène, les **ERI sont compris entre  $1,6 \cdot 10^{-7}$  et  $2,2 \cdot 10^{-5}$  pour les clients de l'hypermarché** suivant le scénario et l'ERU retenu pour les calculs. Dans l'évaluation précédente (Déléry, 2001), on avait déterminé un risque individuel population générale global compris entre  $1 \cdot 10^{-5}$  et  $8,9 \cdot 10^{-5}$  ce qui signifie que **pour les personnes les plus exposées (moins de 10 % des personnes d'après l'estimation probabiliste), le risque lié à la fréquentation de l'hypermarché pourrait contribuer jusqu'à 40 % du risque cancérogène global**. En terme de coût sanitaire, on calcule un nombre annuel de cancers en excès compris entre 0,2 et 11,3 pour un effectif d'individus exposés estimé à 36 millions. Pour le **personnel en poste aux caisses** en face du pressing, le niveau de risque est estimé à  $2,6 \cdot 10^{-4}$ . Les niveaux sont légèrement supérieurs aux niveaux de risque considérés comme acceptables dans la réglementation française pour la population générale ( $10^{-5}$ )<sup>1</sup> ou dans la réglementation étrangère pour la population professionnelle (on considérera la valeur de  $10^{-4}$  de l'OSHA<sup>2</sup> aux Etats-Unis faute de valeur française ou européenne). Le pressing investigué ne possédant aucun système de ventilation propre, des mesures simples de réduction du risque sont envisageables.

Pour le **pressing de la zone habitée**, l'évaluation du risque sanitaire montre que **la survenue d'effets toxiques non cancérogènes du tétrachloroéthylène ne peut être écartée pour la commerçante du pressing et les personnes résidant directement au dessus de l'installation** (IR supérieur ou proche de 1) et ce d'autant plus que l'activité du pressing était faible le jour des mesures. De même, le **niveau de risque cancérogène est supérieur à  $10^{-5}$  pour ces 2 catégories de population** ( $4 \cdot 10^{-4}$  pour l'habitation au dessus du pressing et  $7,3 \cdot 10^{-4}$  pour la commerçante avec la VTR de l'US EPA). Les concentrations ayant servi aux calculs de risque pour les personnes résidant dans l'immeuble correspondent aux mesures effectuées sur les paliers de la cage d'escalier de l'immeuble. Il serait donc nécessaire de conforter ces résultats par la réalisation de campagnes de mesure supplémentaires prenant en compte la saisonnalité de l'activité de nettoyage à sec. Un bilan, par type de machine, du nombre d'installations françaises de nettoyage à sec dont l'étage supérieur est occupé par des habitants réguliers s'avère indispensable pour mettre l'ensemble des résultats en perspective à l'échelle française.

Cette étude contribue de manière novatrice à la connaissance des expositions et des risques d'origine environnementale pour la population française. C'est un travail pilote qui a permis de vérifier la faisabilité de la mise en place de campagnes d'expologie au niveau des installations de nettoyage à sec. Il est nécessaire de mener une campagne de mesures plus exhaustive, correspondant de manière plus représentative aux différents types de machines du parc français pour pouvoir effectuer une évaluation quantitative du risque pour l'ensemble de la population.

---

<sup>1</sup> Avis du Conseil Supérieur d'Hygiène Publique de France pour le benzène du 17/09/97

<sup>2</sup> Occupational Safety and Health Administration

## **2. ACRONYMES**

---

---

ATSDR Agency for Toxic Substances and Diseases Registry

CalEPA California Environmental Protection Agency

CINET Centre International de l'Entretien du Textile

CIRC Centre International de Recherche sur le Cancer

CREDOC Centre de Recherche pour l'Etude et l'Observation des Conditions de vie

CTTN-IREN Centre Technique de la Teinture et du Nettoyage – Institut de Recherche sur l'Entretien et le Nettoyage

DMENO Dose Minimale pour laquelle un Effet Nocif est Observé (en anglais Lowest Observed Adverse Effect Level –LOAEL)

ERU Excès de Risque Unitaire

ERI Excès de Risque Individuel

INC Institut National de la Consommation

INSEE Institut National de la Statistiques et des Etudes Economiques

IR Indice de Risque

IUP Institut Universitaire Professionalisé

OMS Organisation Mondiale de la Santé

US EPA United States Environmental Protection Agency

VG Valeur Guide

### 3. LISTE DES TABLEAUX ET DES FIGURES

#### FIGURES

<i>Figure 1 : Localisation du pressing de la campagne n°1.....</i>	8
<i>Figure 2 : Localisation du pressing de la campagne n°2.....</i>	9
<i>Figure 3 : Machine utilisée dans le pressing de la campagne n°2.....</i>	9
<i>Figure 4 : Schéma représentatif et photo d'un canister servant aux prélèvements d'air .....</i>	10
<i>Figure 5 : Cartographie de l'emplacement des canisters, campagne n°1. ....</i>	12
<i>Figure 6 : Photographie montrant l'emplacement des canisters, campagne n°1 .....</i>	12
<i>Figure 7 : Canister entrée .....</i>	13
<i>Figure 8 : Canister devant machine .....</i>	13
<i>Figure 9 : Canister fond local .....</i>	13
<i>Figure 10 : Canister palier immeuble .....</i>	13
<i>Figure 11 : Canister extérieur.....</i>	13
<i>Figure 12 : Courbes d'isoconcentration de tétrachloroéthylène obtenues pour la campagne n°1..</i>	15

#### TABLEAUX

<b>Tableau 1: Localisation des canisters dans la galerie marchande et l'hypermarché du centre commercial, campagne n°1. ....</b>	11
<b>Tableau 2 : Emplacement des canisters de la campagne n°2.....</b>	13
<b>Tableau 3 : Concentrations moyennes journalières (<math>\mu\text{g}/\text{m}^3</math>) obtenues lors de la campagne n°1 .....</b>	14
<b>Tableau 4 : Concentrations moyennes mesurées lors de la campagne n°2.....</b>	16
<b>Tableau 5 : Valeurs Toxicologiques de référence (VTR) retenues pour l'évaluation des risques .....</b>	18
<b>Tableau 6 : Concentrations moyennes inhalées pour les scénarios définis dans la campagne n°1.....</b>	21
<b>Tableau 7: Concentrations moyennes inhalées pour les scénarios définis dans la campagne n°2.....</b>	22
<b>Tableau 8 : Indices de risque pour les scénarios de la campagne n°1 .....</b>	23
<b>Tableau 9 : Excès de risque individuels vie entière calculés pour les scénarios de la campagne n°1.....</b>	23
<b>Tableau 10 : Indices de risque pour les scénarios de la campagne n°2 .....</b>	24
<b>Tableau 11 : Excès de risque individuel calculés pour les scénarios de la campagne n°2.....</b>	25
<b>Tableau 12: Données d'entrée de l'estimation probabiliste des expositions et du risque.....</b>	27
<b>Tableau 13: Estimations probabilistes de l'exposition et du risque lié aux émissions de tétrachloroéthylène, campagne n°1 .....</b>	28

## 4. INTRODUCTION

---

Le tétrachloroéthylène plus connu sous le nom de perchloroéthylène, est le principal solvant utilisé en Europe dans les entreprises de nettoyage à sec (8900 machines en France réparties en 8000 pressings selon le CINET). La majorité des émissions atmosphériques est attribuée aux pertes diffuses par évaporation lors des opérations de pré-traitement manuel, de chargement/déchargement des machines.

Cette étude fait suite au rapport INERIS «Evaluation des risques par substance : Tétrachloroéthylène» (Déléry, 2001) lequel avait consisté, à partir des données de la littérature constituées pour la plupart d'études américaines, à évaluer les risques sanitaires liés aux émissions de tétrachloroéthylène par les pressings pour 3 types de population (professionnels, personnes résidant au-dessus d'un pressing et population générale). Les résultats avaient mis en évidence un risque sanitaire préoccupant pour les professionnels du nettoyage à sec ainsi que pour les personnes résidant au-dessus de telles installations en zone urbaine.

Suite à ces premiers résultats, et au vu du peu de données disponibles en France sur l'exposition de la population aux émissions de tétrachloroéthylène par les pressings, l'INERIS a entrepris la réalisation de 2 campagnes de mesures au niveau d'installations françaises, suivie d'une ré-évaluation du risque sanitaire à partir de ces nouvelles données.

Ces 2 campagnes de mesures ont été réalisées en juin-juillet 2002 dans le cadre d'un stage de l'IUP d'Amiens « Management de l'Hygiène, de la Sécurité et de l'Environnement au Travail » réalisé par V. Lalevée.

## 5. REALISATION DES DEUX CAMPAGNES DE MESURE

---

### 5.1 CHOIX DES INSTALLATIONS

Plusieurs possibilités ont été envisagées pour le choix du type d'installation à investiguer :

- pressing en libre-service (on estime que 1000 à 1500 machines sont en libre-service en France, principalement en région parisienne),
- pressing commercial situé en zone habitée,
- pressing d'une galerie marchande d'un centre commercial (spécificité française).

D'après les données communiquées par le CINET, il n'est pas possible de connaître la répartition géographique et par type de commerce des 8900 machines en fonctionnement en France.

Par ailleurs, les problèmes recensés en France au niveau des libres-services sont principalement des cas d'intoxications d'usagers résultant, soit du nettoyage d'un volume trop important de linge, soit d'un mauvais entretien/vieillesse des machines, soit d'une mauvaise ventilation du pressing, soit d'une mauvaise isolation du bâti (Garnier et Bédouin, 1996). D'après le Laboratoire Central de la Préfecture de Paris, qui intervient sur plaintes pour la réalisation de mesures dans l'air, le nombre de plaintes annuel est environ de 10 à 15. Les plaignants sont fréquemment des personnes habitant au-dessus de l'installation et incommodées par l'odeur. Le seuil olfactif est estimé à 1 ppm (ATSDR, 1997) soit environ 6,8 mg/m<sup>3</sup>.



Après plusieurs difficultés rencontrées pour trouver des installations acceptant la réalisation de mesures, le choix définitif s'est porté sur un pressing situé dans la galerie d'un centre commercial et sur un pressing installé en bas d'un immeuble de quartier.

## 5.2 IDENTIFICATION DES INSTALLATIONS

### 5.2.1 Campagne n°1 : pressing centre commercial

Le pressing est localisé dans la galerie marchande du centre commercial en face des caisses de l'hypermarché (5500 m<sup>2</sup>). Son emplacement est visualisé par la *figure 1*. Il est ouvert du lundi au samedi de 9h à 19h30.

Il est équipé d'une unique machine SUPREMA Pro-série 850 (type 4, **2 % du parc français**). Cet équipement est récent et remplace une machine FRIMAIR Concorde 88 (type 3, 93 % du parc français). La principale différence entre les deux machines est la présence d'un filtre de carbone sur l'équipement récent, qui va permettre d'absorber le solvant résiduel non collecté. D'après les données du CITEPA (Allemand, 2000), pour les machines à circuit fermé (type 3), les émissions sont de l'ordre de 20-40 g COV/kg vêtement tandis que pour les machines à circuit fermé avec charbon actif (type 4), les émissions sont de l'ordre de 10 g COV/kg vêtement.

La machine a une capacité nominale de 12 kilos. Le nombre journalier moyen de cycles est de 8 à 9 en temps normal.

Le système de ventilation du pressing est celui de l'hypermarché. Une porte, située à l'arrière de la boutique, permet d'augmenter l'aération de la pièce.



*Figure 1 : Localisation du pressing de la campagne n°1*

### 5.2.2 Campagne n°2 : pressing zone habitée

Le pressing est localisé dans une zone commerçante de quartier HLM, ouverte sur l'extérieur (*figure 2*). Le commerce est ouvert du mardi au samedi de 9h à 19h30.

Il est équipé d'une unique machine BOWE P414 (type 3, **93 % du parc français**) (*figure3*).

Le pressing ne possède pas de ventilation mécanique forcée mais la porte d'entrée du pressing est équipée d'ouvertures en hauteur. A l'arrière de la boutique, une porte et des grandes fenêtres sont présentes et permettent une bonne aération. Les fenêtres sont systématiquement ouvertes car le repassage se fait à proximité.



Figure 2 : Localisation du pressing de la campagne n°2



Figure 3 : Machine utilisée dans le pressing de la campagne n°2

### 5.3 METHODE DE PRELEVEMENT ET D' ANALYSE

#### 5.3.1 Prélèvement

Les mesures ont été réalisées à l' aide de canisters, capteurs passifs capables d' accumuler 6 litres d' air (*figure 4*). Le seuil de détection de ces capteurs est de 0,2 ppb (soit environ  $1,4 \mu\text{g}/\text{m}^3$  pour le tétrachloroéthylène).

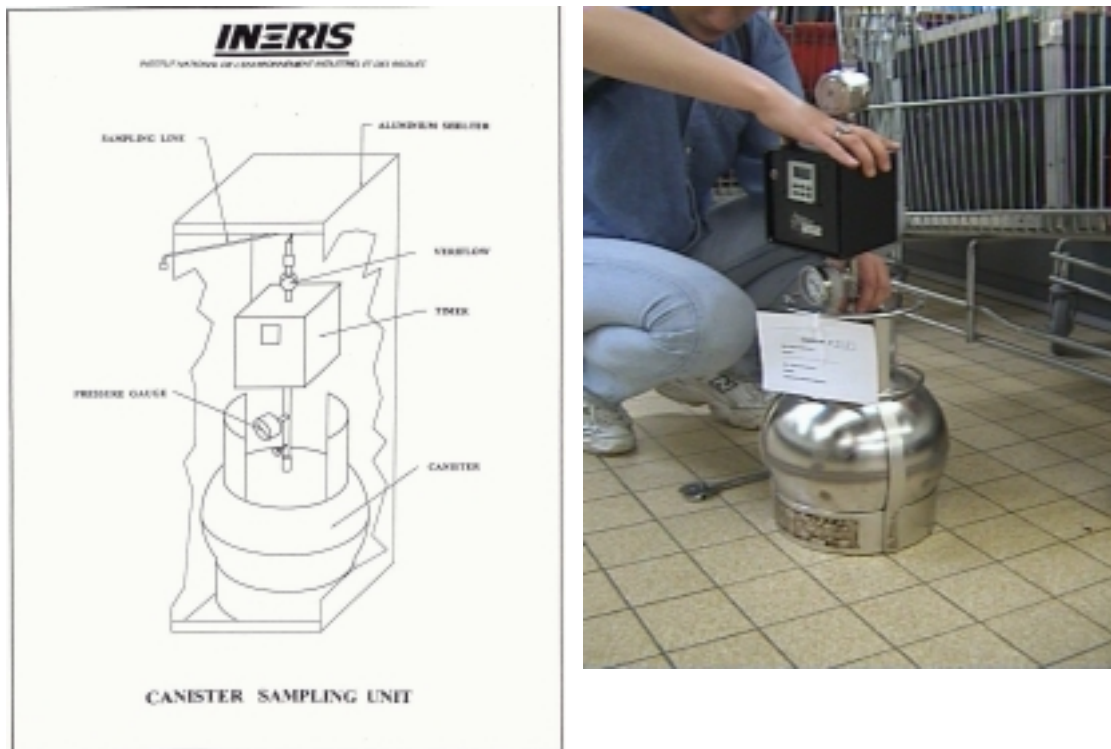


Figure 4 : Schéma représentatif et photo d'un canister servant aux prélèvements d'air

### 5.3.2 Analyse

Les canisters ont été analysés au laboratoire de l'INERIS à l'aide d'une technique décrite par l'US EPA (1999). Les techniques analytiques sont la chromatographie en phase gazeuse associée à la FID (Flamme Ionisation Detection) pour la quantification ou à la Spectroscopie de Masse pour l'identification des substances.

Différents polluants ont été analysés pour compléter les mesures de tétrachloroéthylène, à savoir benzène, toluène, éthylbenzène, (m+p)-xylène, o-xylène et trichloroéthylène.

## 5.4 REALISATION DES CAMPAGNES

### 5.4.1 Emplacement des capteurs et déroulement des campagnes

#### 5.4.1.1 Campagne n°1

Dix canisters ont été installés dans le centre commercial (galerie marchande + hypermarché) un mercredi de juin, de 9 h à 19 h, soit un total de 10 heures de prélèvement diurne.

Ce mois correspond au changement hiver-été des vêtements et donc la quantité de travail était assez importante. Le pressing a ainsi réalisé 11 cycles le jour des mesures par rapport à 8-9 en temps normal.

Les canisters ont été positionnés à 1,70 m du sol au niveau de poteaux de la galerie marchande, 3 au niveau des caisses en face du pressing et 7 dans l'hypermarché. Ainsi, ils ne généraient pas de gêne pour les clients du centre commercial et correspondaient à l'air inhalé par une personne moyenne.

La porte arrière de la boutique n'était pas ouverte le jour de la mesure.

Les emplacements précis des canisters sont présentés dans le **tableau 1** et visualisés par les *figures 5* (cartographie) et *6* (photos).

**Tableau 1: Localisation des canisters dans la galerie marchande et l'hypermarché du centre commercial, campagne n°1.**

Numéro des capteurs	Localisation
1	Caisse en face du pressing
2	Caisse
3*	Caisse
4	Rayon produits de nettoyage
5	Rayon surgelés
6	Rayon vêtements
7	Rayon meubles de jardin
8	Rayon papeterie et électroménager
9	Rayon sous-vêtements
10	Rayon conserves

\* distance approximative capteur 1 et capteur 3 = 20 mètres pour environ 13 caisses + escalier + 2 sorties entre le capteur 1 et capteur 3, 8 caisses en aval du capteur 3 le plus éloigné du pressing.

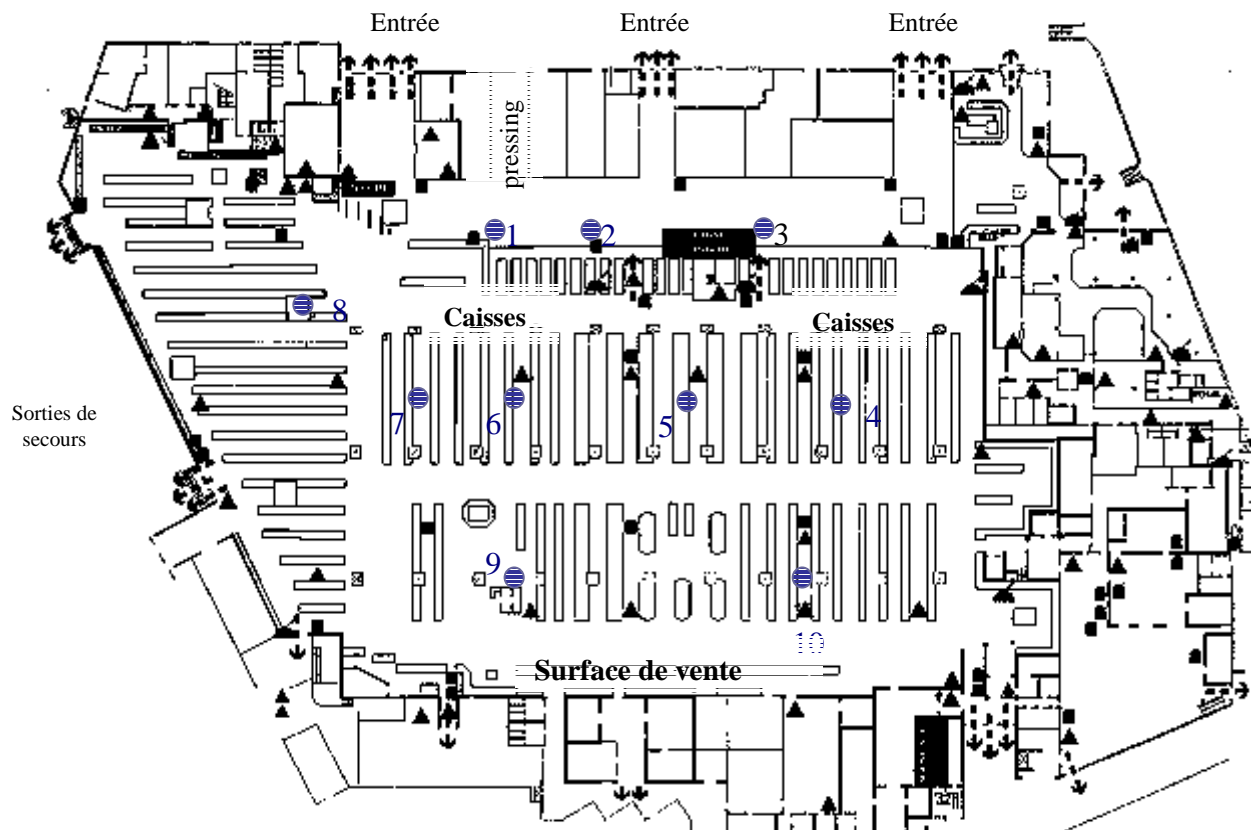


Figure 5 : Cartographie de l'emplacement des canisters, campagne n°1.



Figure 6 : Photographie montrant l'emplacement des canisters, campagne n°1

#### 5.4.1.2 Campagne n°2

Huit canisters ont été installés un mardi de juillet, de 9 h 30 à 18 h 30, soit un total de 10 heures de prélèvement diurne. Le mois de juillet correspond à une faible activité de l'installation. En effet, **3 cycles ont été effectués sur la journée de mesures au lieu de 5 ou 6 en temps normal.**



L' emplacement des canisters est présenté dans le **tableau 2**. Trois ont été installés dans le pressing : un à l' entrée du commerce à 1 mètre 90 du sol (figure 7), un à proximité de la machine à 2,3 m (figure 8) et un dernier à 1 mètre 20 dans le fond du local où se déroule le repassage et le traitement du linge (figure 9). Quatre ont été installés à chaque palier d' un étage de l' immeuble à 80 cm du sol (figure 10 ). Les canisters devaient être installés dans les logements même de l' immeuble mais nous n' avons pas obtenu l' accord des habitants. Un dernier canister a été placé sur le balcon au-dessus du pressing à environ 2 mètres 50 (figure 11). Le jour des mesures, l' ensemble des aérations du local étaient ouvertes, y compris les portes d' entrée et arrière du magasin.

**Tableau 2 : Emplacement des canisters de la campagne n°2**

Numéros des Capteurs	Localisation	
1	Pressing	Avant gauche, proche de la machine
2		Avant droit à l' entrée du pressing
3		Fond local
4	Immeuble	Premier palier de l' immeuble
5		Deuxième palier de l' immeuble
6		Troisième palier de l' immeuble
7		Quatrième palier de l' immeuble
8	Extérieur	Sur le balcon au-dessus du pressing

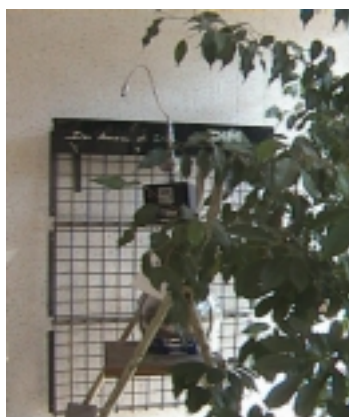


Figure 7 : Canister entrée



Figure 8 : Canister devant machine



Figure 9 : Canister fond local

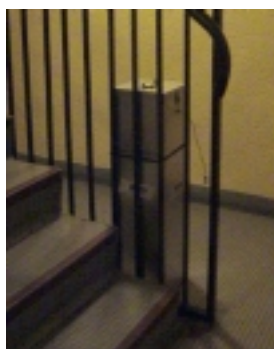


Figure 10 : Canister palier immeuble



Figure 11 : Canister extérieur

## 5.5 RESULTATS

### 5.5.1 Campagne n°1

Les concentrations moyennées sur les 10 heures de prélèvement sont présentées dans le **tableau 3**. Le canister n°5 ne s'est pas déclenché le jour de la mesure.

**Tableau 3 : Concentrations moyennes journalières ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ) obtenues lors de la campagne n°1**

Conc. $\mu\text{g}/\text{m}^3$	Site 1 - 02AJ403	Site 2 - 02AJ404	Site 3 - 02AJ405	Site 4 - 02AJ406
Benzène	0,18	0,18	0,38	0,18
Toluène	11,02	8,28	6,67	5,75
Ethylbenzène	0,54	0,51	5,39	0,93
m+p-Xylène	9,95	8,63	0,45	3,71
o-Xylène	4,45	4,41	1,55	1,99
Trichloroéthylène	3,23	3,47	1,76	6,03
Tétrachloroéthylène	678,57	476,82	222,53	98,21

Conc. $\mu\text{g}/\text{m}^3$	Site 6 - 02AJ407	Site 7 - 02AJ408	Site 8 - 02AJ409	Site 9 - 02AJ410	Site 10 - 02AJ411
Benzène	0,56	0,18	0,32	0,18	0,23
Toluène	14,47	6,28	8,58	10,40	4,85
Ethylbenzène	0,39	0,30	5,67	0,42	0,93
m+p-Xylène	7,70	5,04	0,29	9,10	3,78
o-Xylène	2,71	2,36	1,67	3,04	1,37
Trichloroéthylène	6,62	3,82	4,27	6,07	1,53
Tétrachloroéthylène	185,37	83,39	177,71	112,83	50,66

Les concentrations moyennes en tétrachloroéthylène varient d'environ  $680 \mu\text{g}/\text{m}^3$  au niveau des caisses en face du pressing à  $50 \mu\text{g}/\text{m}^3$  au niveau des rayons de l'hypermarché les plus éloignés du pressing.

Outre le tétrachloroéthylène, on note la présence de toluène (environ  $15 \mu\text{g}/\text{m}^3$  au niveau du rayon vêtements), de (m+p)-xylène ( $10 \mu\text{g}/\text{m}^3$  au niveau du capteur en face du pressing et au niveau du rayon sous-vêtements) et de façon moins marquée d'éthylbenzène ( $5,7 \mu\text{g}/\text{m}^3$  au niveau du rayon papeterie et produits de nettoyage) et de trichloroéthylène ( $6 \mu\text{g}/\text{m}^3$  au rayon vêtements et produits de nettoyage).

Les concentrations mesurées au niveau de chaque capteur sont utilisées pour le traçage de courbes d'isoconcentration selon le procédé de Krigeage. La méthode consiste, à partir des données des sites de prélèvement qui sont disposés de manière irrégulière, d'obtenir par interpolation, les concentrations au centre d'un système de mailles uniformément distribuées dans l'espace. Les points d'isoconcentration sont reliés et la cartographie est obtenue par superposition à échelle identique de ces courbes avec une carte de la zone étudiée (figure 12).

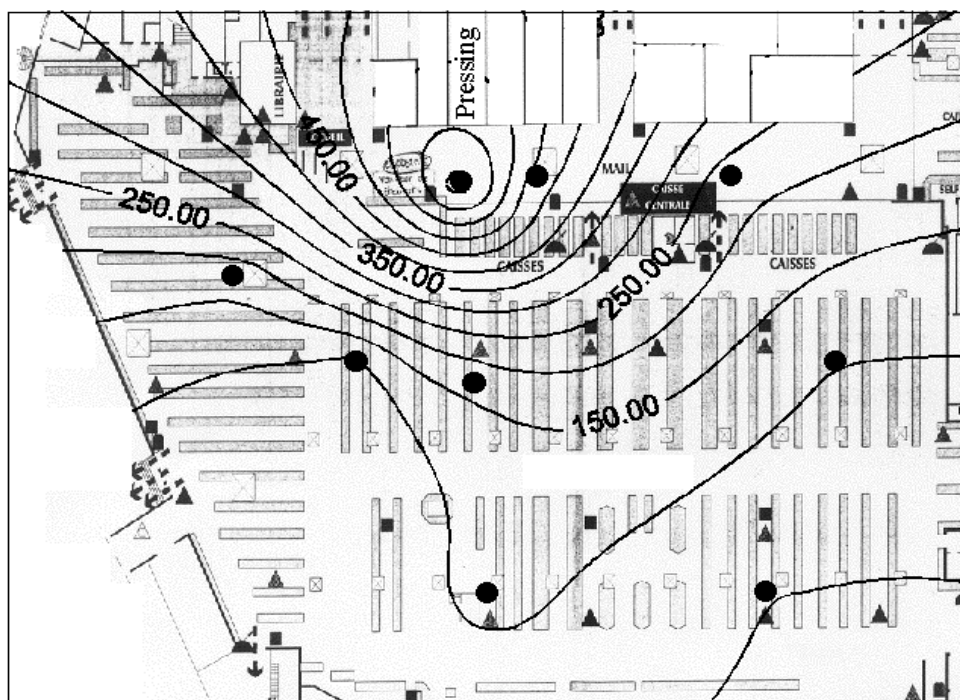


Figure 12 : Courbes d'isoconcentration de tétrachloroéthylène obtenues pour la campagne n°1

Le jour de la réalisation de la campagne, la plus grande partie de l'hypermarché a été exposée à des niveaux de concentration compris entre 100 et 350  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ . Pour la galerie marchande, on retrouve des concentrations moyennes comprises entre 200 et 600  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ .

Les résultats obtenus correspondent à une période d'activité intense du nettoyage à sec. Les mesures ayant été réalisées sur une seule journée, il est vraisemblable que les concentrations mesurées que l'on souhaite assimiler à des concentrations moyennes de fonctionnement soient surestimées. Toutefois, la cartographie réalisée montre une pollution généralisée du centre commercial résultant très certainement de la mauvaise ventilation de l'installation. En effet, bien que l'activité du pressing soit supérieure à la normale, il est équipé d'une machine de dernière technologie en France et ne devrait donc pas générer d'émissions diffuses trop importantes dans la galerie marchande s'il avait disposé d'un système de ventilation propre.



## 5.5.2 Campagne n°2

Les valeurs moyennes des concentrations mesurées sur la journée de campagne sont présentées dans le **tableau 4**.

*Tableau 4 : Concentrations moyennes mesurées lors de la campagne n°2*

Conc. $\mu\text{g}/\text{m}^3$	Entrée gauche - 02AM519	Fond local - 02AM517	Avt droit local - 02AM518	Balcon 1° étage - 02AM516
Benzène	0,14	0,14	0,22	0,35
Toluène	1,69	1,28	1,21	2,89
Ethylbenzène	0,40	2,43	0,79	0,43
m+p-Xylène	1,73	0,19	1,74	0,89
o-Xylène	0,78	0,39	0,64	0,21
Trichloroéthylène	840,47	584,11	527,54	13,07
Tétrachloroéthylène	17998,15	8401,30	6603,66	103,42

Conc. $\mu\text{g}/\text{m}^3$	Palier 1 - 02AM515	Palier 2 02AM514	Palier 3 - 02AM513	Palier 4 - 02AM512
Benzène	0,82	0,27	0,54	0,12
Toluène	8,86	2,62	8,58	2,15
Ethylbenzène	1,21	0,38	1,39	0,29
m+p-Xylène	6,29	0,64	8,48	2,14
o-Xylène	1,39	0,39	3,51	0,90
Trichloroéthylène	54,96	9,68	5,81	8,36
Tétrachloroéthylène	1623,01	229,69	269,80	16,58

Dans le magasin, les concentrations moyennes en tétrachloroéthylène varient de  $6,6 \text{ mg}/\text{m}^3$  à l'entrée du magasin à  $18 \text{ mg}/\text{m}^3$  à proximité de la machine. On note une concentration moyenne de  $8 \text{ mg}/\text{m}^3$  au niveau du poste de repassage.

A l'extérieur, la concentration moyenne en tétrachloroéthylène dans l'air est de  $100 \mu\text{g}/\text{m}^3$  au niveau du balcon au-dessus de l'installation de nettoyage à sec. Cette valeur nécessiterait d'être complétée par d'autres mesures pour connaître la distribution spatiale du tétrachloroéthylène dans l'air extérieur autour du pressing.

Dans l'entrée de l'immeuble jouxtant le commerce, la concentration moyenne en tétrachloroéthylène obtenue au niveau du premier palier est de  $1,6 \text{ mg}/\text{m}^3$  et celle obtenue au dernier étage est de  $16,5 \mu\text{g}/\text{m}^3$  soit un facteur 100 entre l'étage le plus proche du pressing et celui qui en est le plus éloigné.

On note la présence marquée de trichloroéthylène dans l'air intérieur à raison de  $840 \mu\text{g}/\text{m}^3$  dans le pressing (proximité machine) et  $55 \mu\text{g}/\text{m}^3$  au niveau du premier palier de l'immeuble.

Compte-tenu de la faible quantité de linge nettoyé le jour de la réalisation de la campagne de mesures, il est vraisemblable que les concentrations mesurées soient sous-estimées par rapport à un niveau d'activité moyen de l'installation.

## 5.6 DISCUSSION

Les données disponibles pour comparer les valeurs obtenues lors de ces 2 campagnes sont issues du rapport bibliographique INERIS (Déléry, 2001) et d'une étude du CTTN-IREN (2000) réalisée de janvier 1998 à juillet 2000 au niveau de 5 machines d'installations de nettoyage à sec.

Dans le rapport INERIS, les concentrations d'exposition des professionnels proviennent des données de l'OSHA (1998) et de l'INRS (2001). L'OSHA rapporte une concentration moyenne en tétrachloroéthylène de  $42 \text{ mg/m}^3$  et l'INRS de  $133 \text{ mg/m}^3$ . Pour les données du CTTN-IREN, la concentration en tétrachloroéthylène moyennée sur 8 heures était comprise entre 10 ppm ( $67,81 \text{ mg/m}^3$ ) et 44 ppm ( $298,4 \text{ mg/m}^3$ ). Au vu de ces valeurs, la mesure moyenne effectuée dans le local du pressing de la campagne n°2 apparaît très faible ( $6,6$  à  $18 \text{ mg/m}^3$ ). Toutefois, il faut noter que les conditions de réalisation des mesures, à savoir un jour de faible activité de nettoyage à sec (moitié moins de cycles que la normale), font que les concentrations dans l'air intérieur du pressing sont inférieures à celles que l'on s'attendrait à retrouver lors d'une activité normale.

En ce qui concerne l'air intérieur, le rapport INERIS (Déléry, 2001) mentionne des valeurs allant de  $5$  à  $50 \text{ } \mu\text{g/m}^3$  dans l'habitat classique tandis que pour les appartements situés au-dessus d'un pressing, les données de la littérature montrent des niveaux de concentrations d'environ  $2 \text{ mg/m}^3$ . Par ailleurs, au niveau des paliers de l'immeuble de la campagne n°2, on retrouve l'ordre de grandeur des concentrations mesurées par le Laboratoire Central de la Préfecture de Paris dans des habitations situées au-dessus de nettoyages à sec en libre service à savoir  $10 \text{ mg/m}^3$  au maximum.

## 6. EVALUATION DES RISQUES

### 6.1 EVALUATION DE LA TOXICITE DU TETRACHLOROETHYLENE

Pour rappel, l'exposition chronique au perchloroéthylène peut entraîner des effets rénaux et neurologiques. Il est classé dans le groupe 2A (probablement cancérigène pour l'homme) par le CIRC depuis 1995.

Des Valeurs Toxicologiques de Référence (VTR) ont été définies pour la voie inhalation pour la population générale. Elles ont été déterminées par différents organismes de référence et sont présentées dans le **tableau 5** suivant :

*Tableau 5 : Valeurs Toxicologiques de référence (VTR) retenues pour l'évaluation des risques*

Effets chroniques	Source et année d'évaluation	Dénomination	Valeur	Données sources
Rénaux	OMS 2000	VG (1 an)	0,25 mg/m <sup>3</sup> facteur de sécurité :100	Travailleurs hommes
Neurologiques	ATSDR 1996	Minimum Risk Level	0,28 mg/m <sup>3</sup> facteur de sécurité :100	Travailleurs femmes exposées pendant 10 ans à 15 ppm
Tumeurs hépatiques	CalEPA 1999	ERU <sub>inh</sub>	5,9.10 <sup>-6</sup> (µg/m <sup>3</sup> ) <sup>-1</sup>	Souris exposée pendant 2 ans, prise en compte de la fraction métabolisée par l'homme
Tumeurs hépatiques + leucémies	US EPA 1998	ERU <sub>inh</sub>	7,1.10 <sup>-7</sup> (µg/m <sup>3</sup> ) <sup>-1</sup>	Souris et rat exposés pendant 2 ans, hypothèse 100% inhalation

On remarquera que pour caractériser les effets cancérigènes, il existe un ordre de grandeur entre les VTR US EPA et CalEPA résultant de la construction mathématique de ces valeurs et reflétant la variabilité de l'état des connaissances toxicologiques pour les effets cancérigènes du tétrachloroéthylène.

Pour l'exposition professionnelle, il existe une VME (Valeur Moyenne d'Exposition) de **335 mg/m<sup>3</sup>** (50 ppm) pour 8 heures d'exposition au poste de travail. Cette valeur a été publiée dans une circulaire de 1983 du Ministère du Travail. Il n'est pas précisé pour quels effets particuliers elle est établie, ni comment elle est élaborée (notamment les données sources de sa construction).

Par ailleurs, les VTR établies pour la population générale (**tableau 5**) ont été obtenues à partir de données d'exposition en milieu professionnel suite à l'utilisation d'un facteur de sécurité de 100 prenant en compte la variabilité intra-humaine (facteur de 10) et l'utilisation d'une DMENO. Or on considère habituellement que la sensibilité intra-humaine dans la population «travailleurs» est faible. On pourrait donc s'affranchir d'un facteur de 10. La VTR pour une exposition chronique professionnelle serait par conséquent de 2,5 mg/m<sup>3</sup> pour les effets rénaux et de 2,8 mg/m<sup>3</sup> pour les effets neurologiques.

On utilisera ces deux démarches en parallèle pour l'évaluation des risques.

## 6.2 EVALUATION DE L' EXPOSITION

Pour rester en cohérence avec l' étude d' évaluation des risques précédente (Déléry, 2001), les 2 catégories de population considérées sont :

- La population générale (clients de l' hypermarché dans le cas de la campagne n°1, personnes résidant au-dessus du pressing dans le cas de la campagne n°2)
- Les travailleurs (personnel en poste aux caisses dans le cas de la campagne n°1, commerçante dans le cas de la campagne n°2),

Pour l' exposition chronique par inhalation, on calcule une concentration moyenne inhalée par jour définie par l' équation suivante :

$$CI = [\Sigma(C_i \times t_i)] \times F$$

Avec CI, concentration moyenne inhalée en  $\mu\text{g}/\text{m}^3$   
 $C_i$ , concentration du polluant dans l' air inhalé pendant la fraction de temps  $t_i$   
 $t_i$ , fraction d' exposition à la concentration  $C_i$  pendant une journée  
 F, fréquence d' exposition (sans unité : nombre de jours d' exposition par an)

Dans cette étude, on fait l' hypothèse que les concentrations moyennées sur la journée de campagne de mesures sont représentatives de l' exposition chronique des populations considérées. Pour juger du réalisme de cette hypothèse et conforter les résultats de l' évaluation, des campagnes de mesures supplémentaires devraient être menées pour prendre en compte la saisonnalité de l' activité des nettoyages à sec, propre à chaque type d' installation.

Par ailleurs, il faut noter que la position des canisters est satisfaisante au regard de sa représentativité de l' air inhalé par les clients de l' hypermarché dans le cas de la campagne n°1 (1,7 m) tandis qu' elle est trop élevée pour le personnel en poste aux caisses. Dans le cas de la campagne n°2, la hauteur de prélèvement des canisters n' est pas rigoureusement en mesure de renseigner sur l' exposition des habitants de l' immeuble ni sur celle de la commerçante. Toutefois, en l' absence de plus d' informations sur la distribution spatiale du tétrachloroéthylène, on prendra appui sur ces hypothèses pour les calculs d' exposition et de risque.

### 6.2.1 Campagne n°1

#### 6.2.1.1 Définition des scénarios d' exposition

**Pour la population générale fréquentant l' hypermarché**, des informations concernant le temps passé par un consommateur par type de rayon seraient nécessaires pour évaluer précisément le risque sanitaire. Toutefois, les contacts effectués auprès des organismes concernés (INC, INSEE, CREDOC) se sont avérés infructueux du fait de « secrets de concurrence ». Par ailleurs, les études portent le plus souvent sur les modes de consommation (influence de la publicité etc ...) que sur le temps réel passé dans les rayons.

Par conséquent, pour encadrer l'exposition de la **population générale** exposée du fait de sa fréquentation de l'hypermarché, les hypothèses suivantes sont retenues :

- Le temps total passé dans l'hypermarché est compris entre 15 minutes (Scénario 1), 1 heure (Scénario 2) et 2 heures (Scénario 3). Pour chaque scénario, on considère 2 niveaux de concentration pour encadrer l'exposition des consommateurs : le premier correspond à la valeur de la première courbe d'isoconcentration obtenue à l'intérieur de l'hypermarché à savoir  $350 \mu\text{g}/\text{m}^3$ , le second correspond à la valeur de la dernière courbe d'isoconcentration obtenue à l'intérieur de l'hypermarché à savoir  $50 \mu\text{g}/\text{m}^3$  soit un facteur 7 entre le niveau d'exposition minimal et maximal.
- Le **temps passé au niveau des caisses** est considéré de **10 minutes**. Pour chaque scénario (1, 2, 3), on aura toujours deux valeurs d'exposition aux caisses. La première correspondra au passage au niveau de la caisse où la concentration en tétrachloroéthylène est maximale (capteur 1) et la deuxième correspondra au passage au niveau de la caisse correspondant au capteur 3, le plus éloigné du pressing.
- La fréquentation du centre commercial sera de 1 fois par semaine (donnée INSEE, 1999) à raison de 10 mois sur l'année **pour la vie entière**.

D'après les données fournies par l'hypermarché concernant le nombre de caddies passés en caisse, le jour de la campagne correspondait à une fréquentation journalière moyenne (3000 caddies).

**Pour les travailleurs de l'hypermarché en poste aux caisses** (scénario 4), exposés du fait de leur localisation en face du pressing, on prend en compte deux niveaux d'exposition :

- celui de l'exposition maximale où le travailleur en caisse reste toute l'année en face du pressing (capteur 1)
- celui d'une exposition plus faible où l'agent en caisse reste toute l'année au niveau du site de prélèvement le plus éloigné du pressing (capteur 3)

Par ailleurs, pour tenir compte des spécificités d'un poste en caisse résultant assez couramment d'une mobilité des employés aux caisses, on considère que :

- le travailleur reste 5 heures par jour à la caisse et réalise 30 h par semaine,
- la fréquence d'exposition est de 11 mois sur une année (1 mois de vacances) **pendant 30 ans**.

#### 6.2.1.2 Quantification de l'exposition

L'ensemble des calculs de concentrations d'exposition est présenté dans le **tableau 6**.

Pour les **clients de l'hypermarché, la concentration moyenne inhalée par jour** calculée sous l'hypothèse de 2 heures de courses à la concentration ambiante maximale de  $350 \mu\text{g}/\text{m}^3$  et un passage à la caisse la plus exposée est **au maximum de  $3,7 \mu\text{g}/\text{m}^3$** . Une concentration moyenne personnelle au tétrachloroéthylène de  $15 \mu\text{g}/\text{m}^3$  est rapportée par Wallace (1991). Elle résulte de la fréquentation de pressing, du transport des vêtements nettoyés, de l'exposition sur le lieu de vie et le lieu de travail par l'intermédiaire de collègues ainsi que d'autres sources (peintures, solvants de bricolage). Le passage dans un hypermarché contribue de manière non négligeable à la concentration moyenne inhalée par la population générale (jusqu'à 40 %) et donc, par anticipation, au risque global lié au tétrachloroéthylène.

Le **personnel en poste aux caisses** est exposé à des niveaux de concentration moyens compris entre  $30 \mu\text{g}/\text{m}^3$  pour la caisse la plus éloignée du pressing (capteur 3) et  $100 \mu\text{g}/\text{m}^3$  pour les caisses situées en face du pressing (capteur 1).

Tableau 6 : Concentrations moyennes inhalées pour les scénarios définis dans la campagne n°1

	Population générale						Travailleurs
	Scénario 1		Scénario2		Scénario3		Scénario 4
	hypermarché	caisse	hypermarché	caisse	hypermarché	caisse	
Ci min $\mu\text{g}/\text{m}^3$	50	222,5	50	222,5	50	222,5	222,5
Ci max $\mu\text{g}/\text{m}^3$	350	678,6	350	678,6	350	678,6	678,6
ti	15/(24x60)	10/(24x60)	60/(24x60)	10/(24x60)	120/(24x60)	10/(24x60)	5/24
F	4x10/365		4x10/365		4x10/365		6x4x11/365
CI min $\mu\text{g}/\text{m}^3$	0,23		0,40		0,63		33,53
CI max $\mu\text{g}/\text{m}^3$	0,92		2,11		3,71		102,25

## 6.2.2 Campagne n°2

### 6.2.2.1 Définition des scénarios d exposition

Deux scénarios sont proposés, l'un pour les personnes résidant au-dessus du nettoyage à sec, l'autre pour le personnel du pressing.

**Pour les personnes résidant au-dessus du pressing**, on prendra pour hypothèses une exposition de 20 heures par jour via l'air intérieur (on considère habituellement que 80 à 90 % de la journée est passé à l'intérieur), 365 jours par an (afin de prendre en compte les gens susceptibles de résider en permanence dans leur logement) pour un **temps de résidence de 30 ans** (scénario résidentiel US EPA).

En l'absence de données plus précises, on fait l'hypothèse que les concentrations mesurées au niveau des paliers de l'immeuble sont représentatives des concentrations de l'air intérieur dans les habitations. A priori, la prise en compte de l'isolation du bâti d'un étage à l'autre et de la ventilation des pièces fait que les concentrations mesurées sur les paliers du hall d'entrée de l'immeuble sont surestimées par rapport aux concentrations inhalées par les résidents des appartements.

**Pour le personnel du pressing**, en l'occurrence la propriétaire de l'installation qui assure seule la mise en route de la machine, le traitement des éléments nettoyés et le service des clients, on considère : une exposition de 8 heures par jour, 5 jours par semaine pendant 11 mois de l'année soit 240 jours/an **pendant 30 ans**. Les calculs d'exposition sont réalisés à partir de la moyenne arithmétique des 3 résultats de mesure disponibles pour tenir compte du fait que la commerçante se déplace dans son magasin.

### 6.2.2.2 Quantification de l'exposition

L'ensemble des calculs de concentrations d'exposition est présenté dans le **tableau 7**.

**Tableau 7: Concentrations moyennes inhalées pour les scénarios définis dans la campagne n°2**

	population générale				personnel pressing
	1er palier	2ème palier	3ème palier	4ème palier	
Ci µg/m <sup>3</sup>	1623,01	229,69	269,8	16,58	11000
ti	0,83	0,83	0,83	0,83	0,33
F	1	1	1	1	0,66
CI µg/m <sup>3</sup>	1347,1	190,6	223,9	13,8	2395,8

La **concentration moyenne inhalée est de 1,3 mg/m<sup>3</sup> pour les personnes résidant au premier étage** de l'immeuble abritant le pressing. Elle atteint **13,8 µg/m<sup>3</sup> au 4<sup>ème</sup> et dernier étage**. Quant à la **commerçante du pressing**, elle est exposée à une concentration moyenne journalière de **2,4 mg/m<sup>3</sup>**.

### 6.3 CARACTERISATION DU RISQUE

On rappelle que le calcul des niveaux de risque en **population générale** s'effectue différemment suivant que l'exposition aux substances considérées provoque des effets non cancérogènes ou des effets cancérogènes :

Pour les effets non-cancérogènes, on calcule un Indice de Risque (IR) défini par la formule :

$$IR = \frac{CI}{VTR}$$

Pour les effets cancérogènes, on calcule un Excès de Risque Individuel (ERI) calculé grâce à l'expression :

$$ERI = ERU \times CI \times \frac{T}{Tm}$$

avec T = Durée d'exposition en années

Tm = Période de temps pendant laquelle l'exposition est moyennée (pour la vie entière la valeur utilisée par convention est de 70 ans)

Pour l'évaluation de risques **professionnels**, on appliquera la VTR modifiée pour l'évaluation des risques pour les effets non cancérogènes et l'ERU pour l'évaluation des risques cancérogènes. Pour la commerçante du pressing de la campagne n°2, on fera une comparaison supplémentaire avec la réglementation du ministère du travail en comparant la VME à la concentration d'exposition calculée pour le scénario travailleur -même s'il ne correspond pas rigoureusement au scénario d'exposition de l'INRS (8 h/jour, 5 jour/semaine, 240 jours/an). En effet, le personnel en poste aux caisses ne tombe pas rigoureusement sous la législation du travail du personnel du pressing car leur travail n'est pas en lien direct avec l'usage de tétrachloroéthylène.



### 6.3.1 Estimation ponctuelle du risque

#### 6.3.1.1 Calculs des niveaux de risque pour la campagne n°1

Les indices de risque sont présentés dans le **tableau 8** :

Tableau 8 : Indices de risque pour les scénarios de la campagne n°1

type d'effet considéré	population générale						caissières	
	Scénario 1		Scénario2		Scénario3		Scénario 4	
	effets rénaux	effets neurologiques	effets rénaux	effets neurologiques	effets rénaux	effets neurologiques	effets rénaux	effets neurologiques
IR min	9,06E-04	8,09E-04	1,59E-03	1,42E-03	2,50E-03	2,24E-03	1,34E-02	1,20E-02
IR max	3,66E-03	3,27E-03	8,46E-03	7,55E-03	1,49E-02	1,33E-02	4,09E-02	3,65E-02

**En surligné**, figurent les résultats pour les populations les plus exposées.

Tous les indices de risque sont inférieurs à 1, il est par conséquent peu probable, sous les conditions de réalisation de la campagne et dans les hypothèses retenues pour la construction des scénarios d'exposition, d'observer des effets toxiques non cancérogènes chez le personnel en poste aux caisses ou dans la population fréquentant l'hypermarché du fait de l'exposition résultant des émissions de tétrachloroéthylène par le pressing de la galerie marchande.

Le **tableau 9** présente les excès de risques individuels calculés pour la campagne n°1.

Tableau 9 : Excès de risque individuels vie entière calculés pour les scénarios de la campagne n°1

ERU	population générale						caissières	
	Scénario 1		Scénario2		Scénario3		Scénario 4	
	US EPA	Cal EPA	US EPA	Cal EPA	US EPA	Cal EPA	US EPA	Cal EPA
ERI min	1,61E-07	1,34E-06	2,82E-07	2,35E-06	4,44E-07	3,69E-06	1,02E-05	8,48E-05
ERI max	6,50E-07	5,40E-06	1,50E-06	1,25E-05	2,64E-06	2,19E-05	3,11E-05	2,59E-04

Les résultats encadrés correspondent au risque minimum et au risque maximum calculés pour chaque catégorie de population (population générale et caissières).

Pour les **clients de l'hypermarché**, le **niveau de risque** est compris entre **1,6.10<sup>-7</sup>** pour le scénario 1 et l'ERU de l'US EPA et **2,2.10<sup>-5</sup>** pour le scénario 3 et l'ERU de CalEPA.

Compte-tenu de l'activité importante du pressing le jour des mesures et des hypothèses majorant l'exposition maximale des clients de l'hypermarché (2 heures au niveau des rayons de l'hypermarché les plus exposés), le niveau de risque cancérogène obtenu est inférieur ou de l'ordre de 10<sup>-5</sup> (1 excès de cas de cancer supplémentaire vie entière du fait de l'exposition pour 100 000 personnes), valeur que l'on peut considérer **acceptable** selon les repères communément retenus dans le domaine (Mansoux, 2000). A noter qu'aux Etats-Unis, le niveau de risque acceptable en population générale est de 10<sup>-6</sup>.

Si l'on effectue l'hypothèse haute que 80 % de la population urbaine française (estimée à 45 millions) fréquente des hypermarchés soit 45.10<sup>6</sup>x0,8 = 36 millions d'individus, pour le scénario d'exposition le plus pénalisant (scénario 3), le **nombre de cancers en excès attribuables annuellement à l'exposition au tétrachloroéthylène dans les hypermarchés est compris entre 0,2 et 11,3**.

Détail des calculs :

Excès de risque collectif vie entière = excès de risque individuel x effectif population exposée



Pour  $ERI_{\min}$  (US EPA) =  $4,44 \cdot 10^{-7} \times 36 \cdot 10^6 = 15,9$  cancers en excès vie entière soit 15,9/70 = 0,2 cancers en excès annuels.

Pour  $ERI_{\max}$  (Cal EPA) =  $2,19 \cdot 10^{-5} \times 36 \cdot 10^6 = 788,4$  cancers en excès vie entière soit 788,4/70 = 11,3 cancers en excès annuels.

Pour le **personnel de l'hypermarché** en poste aux caisses, le niveau de risque calculé varie entre  $10^{-5}$  pour la caisse située au niveau du capteur 3 et  $2,6 \cdot 10^{-4}$  pour la caisse située en face du pressing. Du fait des hypothèses de travail (exposition continue de la personne pendant 30 ans au même poste), le niveau de risque calculé est compris dans la fourchette de risque considérée comme **tolérable** (Mansoux, 2000) pour les travailleurs.

### 6.3.1.2 Calculs des niveaux de risque pour la campagne n°2

Le **tableau 10** présente les indices de risque calculés à partir des scénarios d'exposition retenus pour l'étude.

**Tableau 10 : Indices de risque pour les scénarios de la campagne n°2**

type d'effet considéré	population générale								personnel pressing	
	1er palier		2ème palier		3ème palier		4ème palier		Effets rénaux	effets neurologiques
	Effets rénaux	effets neurologiques	Effets rénaux	effets neurologiques	Effets rénaux	effets neurologiques	Effets rénaux	effets neurologiques		
IR	5,4	4,8	0,8	0,7	0,9	0,8	0,1	0,05	0,96	0,86

Les indices de risque sont supérieurs à 1 pour les résidents du 1<sup>er</sup> palier, proche de 1 pour les résidents des 2<sup>ème</sup> et 3<sup>ème</sup> palier, inférieurs à 1 pour les résidents du 4<sup>ème</sup> palier. Pour préciser le sens des résultats il faut reprendre les hypothèses de travail à savoir que :

- la concentration utilisée pour calculer les expositions est la concentration mesurée sur les paliers,

Si l'on tient compte des phénomènes d'isolation du bâti entre les étages et de ventilation minimale des appartements, cette hypothèse surestime les niveaux de risque calculés.

- la hauteur du canister sur le palier est inférieure à la hauteur de l'air inhalé par une personne moyenne,

Cette hypothèse tend à surestimer les niveaux de risque calculés pour les adultes mais pas pour les **enfants**.

- le jour de la campagne de mesures, l'activité du pressing était faible.

Cette hypothèse tend à **sous-estimer les niveaux de risque calculés**.

L'intégration de l'ensemble de ces remarques amène à conclure qu'**il n'y a pas a priori de risque sanitaire préoccupant pour les personnes occupant les appartements des étages 2 à 4 de l'immeuble contigu au pressing**. Par contre, **le niveau de risque obtenu pour l'appartement du 1<sup>er</sup> étage de l'immeuble est préoccupant et mérite d'être confirmé** par des mesures supplémentaires dans l'air de l'appartement, un jour de fonctionnement normal de l'installation de nettoyage à sec et plutôt à une période de l'année où les fenêtres sont maintenues fermées.

D'après l'INSEE (2000), 90 % des installations (sous-secteur blanchisserie-teinturerie de la fiche sectorielle « services aux particuliers », exercice 2000) françaises ont moins de 5 salariés. On peut donc s'attendre à ce qu'elles soient majoritairement insérées en zone urbaine habitée. De ce fait, les résultats obtenus au niveau du 1<sup>er</sup> palier pourraient s'avérer encore plus **importants** à prendre en compte pour l'évaluation de l'impact sanitaire du fait du **nombre de pressing concernés à l'échelle française**.

**Pour la commerçante du nettoyage à sec, l'indice de risque est inférieur mais proche de 1.** L'activité du pressing le jour de la campagne de mesures étant inférieure à l'activité normale annoncée par la commerçante, les résultats de mesure de l'exposition sont vraisemblablement sous-estimés et l'évaluation des risques doit donc être reconduite à partir de données d'exposition supplémentaires.

Si l'on compare les concentrations d'exposition aux VME, on obtient un ratio de  $6,9.10^{-3}$ . D'après la réglementation du travail, le professionnel est protégé.

Les valeurs calculées pour les excès de risque individuels sont présentées dans le **tableau 11**.

**Tableau 11 : Excès de risque individuel calculés pour les scénarios de la campagne n°2**

	population générale								personnel pressing	
	1er palier		2ème palier		3ème palier		4ème palier		US EPA	Cal EPA
ERU	US EPA	Cal EPA	US EPA	Cal EPA	US EPA	Cal EPA	US EPA	Cal EPA	US EPA	Cal EPA
ERI	4,1E-04	3,4E-03	5,8E-05	4,8E-04	6,8E-05	5,7E-04	4,2E-06	3,5E-05	7,3E-04	6,1E-03

Les **niveaux de risque cancérigène** pour les **personnes résidant dans les appartements de l'immeuble** sont compris entre  $4,2.10^{-6}$  et  $3,4.10^{-3}$ . Le niveau de **risque maximum** calculé pour la **commerçante** est de  $6,1.10^{-3}$ .

En prenant en compte les conditions de réalisation de la campagne de mesures et sur la base des hypothèses de travail qui ont servi à la construction des scénarios d'exposition, on peut dire que les **niveaux de risque cancérigènes calculés pour les personnes résidant au 1<sup>er</sup> palier et pour la commerçante sont préoccupants compte tenu des connaissances toxicologiques disponibles actuellement.**

### 6.3.1.3 Discussion

**Pour la campagne n°1**, on dispose de peu de données pour pouvoir comparer les niveaux de risque calculés dans cette étude à partir des concentrations de tétrachloroéthylène dans l'air de la galerie marchande et de l'hypermarché. Dans l'étude bibliographique (Déléry, 2001), on avait déterminé un IR population générale de  $6.10^{-2}$  et un ERI compris entre  $1.10^{-5}$  et  $8,9.10^{-5}$ . ce qui signifie que pour les personnes les plus exposées (moins de 10 % des personnes d'après l'estimation probabiliste), le risque lié à la fréquentation de l'hypermarché pourrait contribuer jusqu'à 40 % du risque cancérigène global.

La mise en place d'une telle campagne à l'échelle française constitue donc une avancée importante dans l'état des connaissances de l'exposition humaine (clients de l'hypermarché et le personnel en poste aux caisses en face du pressing de la galerie marchande) et des risques sanitaires dans un tel lieu public.

Les conditions de réalisation de la campagne (jour d'activité intense du pressing, fréquentation normale de l'hypermarché) ont permis d'encadrer le risque sanitaire encouru par les populations fréquentant l'hypermarché avec un niveau de confiance élevé même si les mesures ne portent que sur une seule campagne de mesures.

La comparaison des niveaux de risque calculés dans le cadre de la **campagne n°2** et ceux obtenus à partir des données de la littérature, bien que limitée du fait des différences existant entre les machines étudiées, les conditions de réalisation des campagnes de mesures et le nombre de mesures, montre que :

- les valeurs des indices de risque «travailleur» calculées dans cette étude (0,9) sont inférieures aux valeurs de l'étude bibliographique (IR de 4 à 9 pour l'OSHA 1998 et IR de 12 à 40 pour l'INRS). Il faut cependant garder à l'esprit que le jour de la mesure l'activité était inférieure à l'activité normale et la ventilation était plus importante du fait de la saison.
- les valeurs des indices de risque calculées pour les personnes résidant au dessus du pressing (1<sup>er</sup> palier, IR moyen de 5) sont proches de la borne inférieure des valeurs obtenues dans l'étude bibliographique (Déléry, 2001) à savoir des IR variant de 6 à 50.
- Pour les risques cancérigènes, on retrouve l'ordre de grandeur des ERI moyens du rapport bibliographique à savoir  $10^{-3}$ - $10^{-2}$  pour les travailleurs et  $10^{-4}$ - $10^{-3}$  pour les personnes résidant au-dessus du pressing.

La mise en place de cette campagne «pilote» a permis de tester la faisabilité d'évaluer, au niveau national, l'exposition de la population générale aux émissions d'installations de nettoyage à sec insérées dans le tissu urbain.

Les conditions de réalisation de cette campagne (un jour de juillet et de faible activité de nettoyage à sec) ne sont pas représentatives d'un fonctionnement normal de l'installation. Par ailleurs, les capteurs n'ont pu être directement installés dans les habitations par crainte des résidents. Par conséquent, les conclusions à tirer de ces résultats sont plus limitées. Cependant, ces résultats apportent un éclairage sur le risque lié au tétrachloroéthylène, complémentaire du risque aigu et des plaintes liées aux odeurs.

## 6.3.2 Analyse des incertitudes

### 6.3.2.1 Analyse qualitative

Les principales sources d'incertitudes qui entourent les résultats de risque concernent l'évaluation de la toxicité et l'évaluation des expositions.

L'évaluation de la toxicité fait appel à des connaissances du moment relatives aux effets sur la santé et à la construction de relations dose-réponse pour caractériser le risque.

L'évaluation des expositions est l'étape la plus critique dans l'évaluation des risques car elle repose, dans cette étude, sur un nombre limité dans le temps de résultats de mesure. Toute l'évaluation des risques est basée sur l'hypothèse que ces mesures sont représentatives d'un risque chronique. Du fait de ce nombre restreint de données, l'appréciation de la robustesse des résultats de risques construits sur ces valeurs de mesure est donc limitée. Par ailleurs, l'incertitude liée à la mesure elle-même n'est pas limitante. En l'état des connaissances, elle est principalement dépendante de la limite de détection du tétrachloroéthylène par chromatographie et cette dernière est compatible avec les seuils de toxicité du tétrachloroéthylène. Enfin, les paramètres d'exposition pour la construction des scénarios peuvent être des sources d'incertitudes dont il convient, si le nombre de données sur les Ci est suffisant, de faire une analyse probabiliste pour en connaître la distribution.

### 6.3.2.2 Analyse quantitative

Au vu du faible nombre de mesures disponibles, une analyse quantitative pertinente n'a pu être menée que pour les résultats de risque obtenus pour les clients de l'hypermarché. En effet, seule cette campagne de mesures a permis de fournir un nombre minimal de données pour une analyse statistique.

#### 6.3.2.2.1 Méthode

Une estimation probabiliste du risque a été réalisée à l'aide du logiciel Crystal Ball® (Decisioneering, 2000). Ce logiciel permet de faire des simulations de type Monte-Carlo en considérant en données d'entrée dans le modèle non plus une valeur unique (dans notre cas un résultat de mesure) mais une distribution statistique. En sortie de logiciel, est donc disponible la distribution des probabilités d'exposition puis de risque liée au tétrachloroéthylène. Cette distribution représente en théorie l'ensemble des populations potentiellement exposées (des cas les plus extrêmes aux plus centraux).

Les hypothèses d'entrée utilisées pour le calcul des concentrations inhalées puis des risques (IR et ERI) sont les suivantes :

**Tableau 12: Données d'entrée de l'estimation probabiliste des expositions et du risque**

Ci (µg/m3)	<p><b>Distribution lognormale</b></p> <p>Moyenne géométrique : 168,77</p> <p>Ecart-type géométrique : 2,29</p>
F (j/an)	<p><b>Distribution triangulaire</b></p> <p>Minimum : 20/365 = 0,05</p> <p>Maximum : 80/365 = 0,22</p>
T (ans)	70
ti (su)	<p><b>Distribution triangulaire</b></p> <p>Minimum : 25/(24x60) = 0,02</p> <p>Maximum : 150/(24x60) = 0,1</p>

La distribution lognormale des Ci et ses paramètres statistiques sont obtenus sur la base des résultats de la campagne de mesures et des techniques de meilleure adéquation statistique (fonction "Fit" sous Crystal Ball) à partir du test de Kolmogorov-Smirnov. Ce type de test fournit la ou les distribution(s) statistique(s) qui s'ajuste le mieux aux données d'entrée. Il est généralement bien décrit dans la littérature que les concentrations de polluants dans l'air se comportent selon une distribution lognormale. Pour le tétrachloroéthylène, seul un nombre limité de données météorologiques sont disponibles et l'ajustement est de fait, peu puissant statistiquement.

La distribution uniforme est souvent utilisée, avec la distribution triangulaire, pour définir les fréquences d'exposition annuelles (F). pour cette dernière il est choisi une distribution uniforme de minimum 20/365 et de maximum 80/365.

La durée d'exposition (T) est prise par défaut égale à la vie entière car quel que soit l'âge, enfant, adulte ou retraité, on peut fréquenter un hypermarché. Il est donc difficile de limiter la durée d'exposition.

Pour la fraction de temps d'exposition  $t_i$  pendant une journée, on choisit une distribution triangulaire, en l'absence de plus d'informations sur la durée des courses d'un client. Cette dernière agrège un minimum de temps passé dans l'hypermarché (15 min) et en caisse (10 min) et un maximum de temps passé dans l'hypermarché (120 min) et en caisse (30 min).

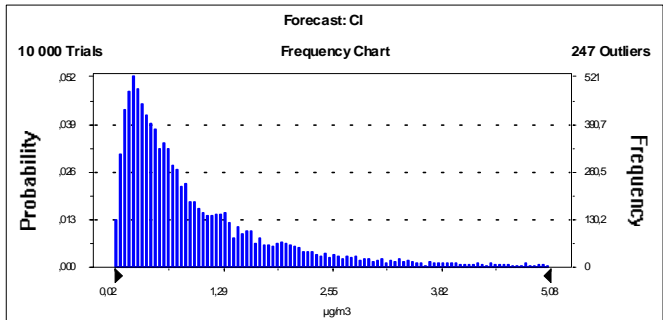
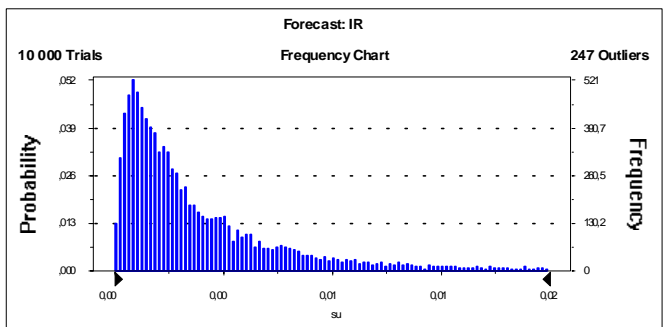
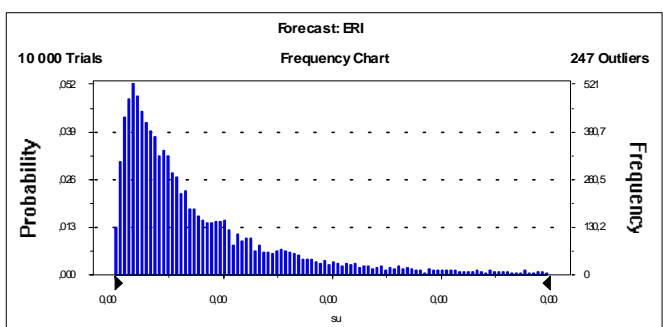
Pour les VTR, on travaille à partir des valeurs relatives aux effets neurologiques (VTR ATSDR) pour les effets non cancérigènes et à partir de l'ERU de l'US EPA pour les effets cancérigènes.

Les distributions statistiques des données d'entrée des simulations Crystal Ball se situent en **annexe**.

6.3.2.2.2 Résultats

Le fichier d'entrée de la simulation ainsi que le rapport complet des résultats (statistiques et graphes) se trouvent en **annexe**. Le tableau 13 résume les résultats statistiques (moyenne, percentile 10%, percentile 90%) et donne la forme des distributions de probabilité pour les paramètres de sortie CI, IR, ERI.

**Tableau 13: Estimations probabilistes de l'exposition et du risque lié aux émissions de tétrachloroéthylène, campagne n°1**

<p><b>CI (<math>\mu\text{g}/\text{m}^3</math>)</b></p> <p>Moyenne</p> <p>Ecart-type</p> <p>Percentile 50 %</p> <p>Percentile 90 %</p>	<p>1,16</p> <p>1,52</p> <p>1,08</p> <p>0,28</p>	 <p>Forecast: CI Frequency Chart 10 000 Trials 247 Outliers</p>
<p><b>IR</b></p> <p>Moyenne</p> <p>Ecart-type</p> <p>Percentile 50 %</p> <p>Percentile 90 %</p>	<p><math>4,1 \cdot 10^{-3}</math></p> <p><math>5,4 \cdot 10^{-3}</math></p> <p><math>3,87 \cdot 10^{-3}</math></p> <p><math>9,84 \cdot 10^{-4}</math></p>	 <p>Forecast: IR Frequency Chart 10 000 Trials 247 Outliers</p>
<p><b>ERI</b></p> <p>Moyenne</p> <p>Ecart-type</p> <p>Percentile 50 %</p> <p>Percentile 90 %</p>	<p><math>8,22 \cdot 10^{-7}</math></p> <p><math>1,08 \cdot 10^{-6}</math></p> <p><math>7,7 \cdot 10^{-7}</math></p> <p><math>1,96 \cdot 10^{-7}</math></p>	 <p>Forecast: ERI Frequency Chart 10 000 Trials 247 Outliers</p>

Les trois distributions sont asymétriques positives et très pointues ce qui signifie que les valeurs des paramètres sont concentrées dans la partie basse des distributions statistiques.

Par rapport à l'estimation ponctuelle des expositions et du risque, la gamme de variation des valeurs est élargie environ d'un facteur 10, ce qui permet de prendre en compte des données supplémentaires pour interpréter les résultats et leur donne plus de solidité.

Pour le risque non cancérigène, le percentile 90 ( $9,84.10^{-4}$ ) est encore nettement inférieur à la valeur de 1 qui n'est d'ailleurs jamais atteinte (percentile 100 =  $9,64.10^{-2}$ ). Cela signifie qu'il n'y a pas de problème sanitaire pour l'ensemble des personnes qui fréquentent l'hypermarché.

Pour le risque cancérigène, l'ERI se situe en moyenne autour de  $8,2.10^{-7}$  donc bien en deçà de la valeur repère de risque. Pour 90 % des personnes fréquentant l'hypermarché, le risque est inférieur à  $1,96.10^{-7}$ . La valeur de  $10^{-5}$  se situe entre le percentile 90 et le percentile 100 ( $1,92.10^{-5}$ ) ce qui signifie que pour une fraction des personnes exposées inférieure à 10 % la valeur repère de  $10^{-5}$  peut être potentiellement atteinte et dépassée. Pour valider ce résultat, il est bien évidemment nécessaire de collecter des données de mesures supplémentaires pour consolider et préciser la distribution statistique des Ci.

## 7. CONCLUSION

---

A partir des résultats de mesure de 2 campagnes mises en place par l'INERIS autour d'un pressing d'un centre commercial et d'un pressing commercial urbain, une évaluation des risques sanitaires liés aux émissions de tétrachloroéthylène a pu être menée dans un contexte français pour mettre en perspective les résultats de l'étude bibliographique préliminaire (Déléry, 2001).

Compte-tenu des conditions de réalisation de ces campagnes, les principaux résultats de l'évaluation du risque sanitaire montrent que :

- *Pressing de la galerie marchande d'un centre commercial (campagne n°1)*

Il n'y a **pas de risque sanitaire préoccupant pour les effets non cancérogènes** du tétrachloroéthylène **pour les clients de l'hypermarché et le personnel en poste aux caisses** exposés aux émissions du pressing de la galerie commerciale : tous les indices de risque sont inférieurs à 1 quel que soit le scénario d'exposition étudié (la survenue d'effets toxiques est peu probable). Ce résultat est confirmé par l'analyse probabiliste du risque pour les clients de l'hypermarché qui montre que la valeur de risque est inférieure à 1 pour l'ensemble des personnes exposées (percentile 100 =  $9,64.10^{-2}$ ).

Pour les *effets cancérogènes*, les risques ont été calculés à partir de deux ERU : l'un provisoire proposé par l'US-EPA (1998) dans une étude récente mais non validé sous la base IRIS, l'autre proposé par l'agence Californienne de l'EPA. Un **ERI ponctuel maximum de  $2,2.10^{-5}$**  est obtenu pour l'exposition des **clients de l'hypermarché** sous l'hypothèse d'une exposition par semaine, 10 mois par an et vie entière, de 2 heures à la concentration moyenne dans l'air mesurée le jour de la campagne de  $350 \mu\text{g}/\text{m}^3$  plus un passage de 10 minutes à la caisse la plus exposée aux émissions du pressing ( $680 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ). Le nombre annuel de cas de cancers en excès attribuables à l'exposition au tétrachloroéthylène dans les hypermarchés est compris entre 0,2 et 11,3 pour un effectif d'individus exposés estimé à 36 millions. Ce risque peut être mis en perspective avec le risque global population générale calculé dans le rapport bibliographique à savoir 6 à 57 cas de cancers en excès par an (sur 45 millions d'individus exposés). L'estimation probabiliste du risque montre que pour 90 % des personnes exposées, la valeur de risque est inférieure à  $10^{-5}$  (percentile 90 :  $1,96.10^{-7}$ ). Pour le **personnel en poste aux caisses** en face du pressing, un ERI maximum de  $2,6.10^{-4}$  est obtenu pour une exposition continue pendant 30 ans de 6 heures par jour, 5 jour par semaine, 11 mois par an à environ  $680 \mu\text{g}/\text{m}^3$ . Les niveaux de risque calculés sont situés en limite inférieure du risque acceptable pour la population générale et tolérable pour les travailleurs.

Les niveaux de risque obtenus à partir des émissions de tétrachloroéthylène résultant du fonctionnement d'une machine de type 4 pourraient être nettement réduits par la mise en place, au sein de l'installation de nettoyage à sec, d'un système de ventilation propre car c'est la ventilation de l'hypermarché qui assure à ce jour la ventilation du pressing investigué dans cette étude.



- *Pressing commercial d'une zone habitée*

**Il existe une probabilité d'apparition d'effets toxiques résultant des émissions de tétrachloroéthylène pour les personnes occupant les appartements au-dessus du pressing et pour le personnel de l'installation.** Les mesures ayant été réalisées un jour de faible activité du pressing, il est nécessaire de compléter ce travail par des mesures spécifiques dans plusieurs habitations situées au-dessus de pressing en les accompagnant d'un bilan sur le nombre d'appartements concernés en France par type de machines. Ce travail pourrait inclure les pressings en libre-service qui n'ont pas été pris en compte dans le cadre de cette étude.

Des difficultés ayant été rencontrées pour placer les capteurs directement dans l'habitation au dessus du pressing, on pourrait envisager un dosage du tétrachloroéthylène dans l'air exhalé par les résidents ou bien le dosage urinaire de l'acide trichloroacétique, principal métabolite du tétrachloroéthylène.

Le **risque sanitaire est préoccupant pour les effets cancérigènes du tétrachloroéthylène** puisqu'un ERI maximum de  $4.10^{-4}$  (VTR US EPA) a été calculé à partir des mesures pour les personnes résidant au-dessus du pressing sous l'hypothèse d'une exposition pendant 30 ans, 20 heures par jour, 365 jours par an à  $1,6 \text{ mg/m}^3$ . Là encore, une étude plus poussée sur le nombre de personnes concernées éclairerait les résultats. Le risque cancérigène est également préoccupant pour le personnel du nettoyage à sec avec un niveau de risque maximum de  $7,3.10^{-4}$  (VTR US EPA) obtenu pour une exposition 8 heures par jour, 5 jours par semaine, 11 mois/an pendant 30 ans à la moyenne des 3 résultats de mesure dans l'air.

L'ensemble de ces résultats devrait être complété par la mise en place de campagnes de mesures supplémentaires pour ce type d'installation pour prendre en compte la saisonnalité de l'activité de nettoyage à sec et affiner la connaissance des concentrations d'exposition directement dans les appartements situés au-dessus des pressings.

A partir d'un bilan du nombre de pressing concernés par type de machine, l'évaluation des risques pourrait être plus représentative du problème sanitaire réel existant au niveau français.

*La réalisation de cette étude est très importante, au niveau français, pour l'avancée des connaissances de l'exposition de la population générale aux émissions d'installations de nettoyage à sec. En effet, cette étude pilote fournit les premières données d'exposition de la population française aux émissions de tétrachloroéthylène par 2 types de pressing couramment rencontrés et en dehors d'un contexte d'intervention sur plainte ou suite à un cas d'intoxication accidentel.*



## 8. REFERENCES

---

- Allemand N., Bouscaren R., et al.**, 2000, Impact économique de la directive européenne sur la limitation des émissions de COV en provenance de l'utilisation des solvants en France, CITEPA/IFARE.
- ATSDR**, 1996, Toxicological profile for tetrachloroethylene. Atlanta.
- CTTN-IREN**, 2001, Revue de détail de 15 pressings, ETN n°167, rubrique environnement
- Decisioneering**, 2000, Crystal Ball® 2000 software, Decisioneering Inc., 151 Araphoe st., Suite 1311, Denver, Colorado, USA 80202.
- Déléry**, 2001, Rapport d'évaluation du risque par substance : tétrachloroéthylène ; rapport INERIS-DRC-01-25584-ERSA/Lde-202 pour le Ministère de l'environnement.
- EPA**, 1998, Cleaner Technologies Substitutes Assessment: Professional Fabricar Processes. <http://www.epa.gov/opptintr/dfe/garment/ctsa/fabricare.pdf> consulté 03/01.
- Garnier R. & Bédouin J.**, 1996, Coin-operated dry cleaning machines may be responsible for acute tetrachloroethylene poisoning: report of 26 cases including one death. *Clinical Toxicology*, 34, 191-197.
- INSEE**, 1999, « De la grande surface au marché : à chacun ses habitudes », Première de Mars N° 636
- INSEE**, 2000, fiche sectorielle des services" Les résultats de l'année 2000 : Immobilier et services aux particuliers", <http://www.insee.fr/fr/ffc/fichesect/ficheservice.htm>
- Mansoux H.**, 2000, Acceptability and safety objectives, use of concepts through various areas. Contract EU/DGXXIV n°B5-1030/99/094994, note **SEGR/LSEES 00-99**
- US EPA**, 1999, « Compendium of methods for determination of toxic organic compounds in ambient air » (TO 14-A, TO-15, TO-17), second edition rapport EPA/625/R-96/010b, <http://www.epa.gov/ttn/amtic/files/ambient/airtox/tocomp99.pdf>.
- Wallace**, 1991, Comparison of risks from outdoor and indoor exposure to toxic chemicals, Environmental Health Perspectives, **95**, 7-13