

PROFILS D'EXPOSITION AU PERCHLOROÉTHYLÈNE DANS LE SECTEUR DU NETTOYAGE À SEC

Confrontés à des exigences réglementaires environnementales, les professionnels du nettoyage à sec ont remplacé les machines à circuit ouvert par des machines à circuit fermé entraînant une baisse de l'exposition professionnelle au perchloroéthylène (PERC). Cet article fait le point sur les concentrations auxquelles sont exposés les opérateurs de pressings industriels et commerciaux. L'exposition moyenne est comprise entre 25 et 60 ppm dans les pressings industriels, et d'environ 10 ppm dans les pressings commerciaux. Conjointement, l'utilisation d'instruments à lecture directe de type détecteur à photo-ionisation (PID) portable par les salariés a permis de déterminer leurs profils d'exposition et de mettre en évidence de nombreux pics pouvant atteindre 1 000 ppm, notamment lors des ouvertures de hublots des machines et lors d'opérations particulières sur les machines. Globalement, 80 % des profils d'exposition présentent au moins un pic égal ou supérieur à 100 ppm pendant une minute ou plus avec une nette prédominance dans les pressings industriels. L'étude des procédés et le recensement des sources polluantes ainsi que l'utilisation du système CAPTIV ont permis de mieux comprendre l'exposition de la profession pour appréhender les mesures de prévention.

En France, le secteur du nettoyage à sec utilise essentiellement du tétrachloroéthylène communément appelé perchloroéthylène (PERC) en raison de ses propriétés de solvant et de son ininflammabilité. Cependant, notamment en raison des réglementations environnementales concernant la plupart des solvants chlorés, la consommation de PERC a fortement diminué durant ces 30 dernières années et avoisine environ 10 000 tonnes en 2004 [1]. L'application de l'arrêté type 2345 concernant la législation pour la protection de l'environnement s'est entre autres traduite, pour les professionnels de pressings, par l'obligation de travailler avec des machines à circuit fermé ; l'utilisation des machines à circuit ouvert n'étant plus autorisée depuis le 1er janvier 2003. L'évolution continue dans la conception des machines, dont le recyclage du PERC, a entraî-

né une importante diminution de consommation. La réglementation a causé également une diminution sensible du nombre de pressings commerciaux passant de 7 500 à 5 200 ; certains établissements n'ayant pu s'adapter aux nouvelles normes. Globalement, l'activité semble en légère régression d'autant que l'évolution des textiles s'accommode de plus en plus du lavage à l'eau. Néanmoins, 25 000 personnes travaillant dans les pressings commerciaux et industriels sont susceptibles d'être en contact avec le PERC [2 - 5] qui constitue le principal risque chimique dans le secteur du nettoyage à sec en raison de sa volatilité. Dès lors, il a paru opportun de conduire une nouvelle étude afin d'actualiser les données d'exposition dans la profession d'autant plus que les données archivées (cf. Chapitre sur les Valeurs limites d'exposition) montrent que l'exposition pouvait être élevée.

- Perchloroéthylène
- Nettoyage à sec
- Exposition professionnelle
- Pics d'exposition
- Détecteur à photo-ionisation

► Pascal POIROT, Marie-Thérèse LECLER, Bruno GALLAND, Geneviève HUBERT-PELLE, Thérèse NICOT, Jérôme GROSJEAN, INRS, département Ingénierie des procédés

PERCHLOROETHYLENE EXPOSURE PROFILES IN DRY CLEANING

In the face of environmental regulation requirements, dry cleaning professionals have replaced open circuit by closed circuit machines, thereby ensuring a reduction in occupational exposure to perchloroethylene (PERC). This paper reviews the concentrations to which industrial and commercial dry cleaning operators are exposed. Their mean exposure lies between 25 and 60 ppm at industrial dry cleaners and is approximately 10 ppm at commercial establishments. Concurrently, use of direct reading instruments, such as the photoionization detector (PID), which can be worn by employees, has allowed determination of operator exposure profiles, revealing multiple exposure peaks up to 1,000 ppm, especially when opening machine hatches performing special operations on machines. Overall, 80% of exposure profiles feature at least one peak equal to or greater than 100 ppm during one minute or more with a clear prevalence at industrial dry cleaners. Process study and pollutant source survey, along with use of the CAPTIV system, have provided a better understanding of the occupation's exposure to ensure a more effective grasp of suitable prevention measures.

- Perchloroethylene
- Dry cleaning
- Occupational exposition
- Exposure peaks
- Photoionization detector

Par ailleurs, la toxicité du solvant soulève de nombreuses questions, les experts européens pourraient faire évoluer son classement des effets sur la santé. Cette problématique, tant du point de vue hygiène du travail que de l'environnement, conduit au développement, encore marginal en France, de produits de substitution au PERC.

Par ailleurs, l'utilisation récente d'appareils portables à lecture directe équipés de détecteurs à photo-ionisation (PID) a mis en évidence les variations d'exposition des salariés à plusieurs solvants dans diverses activités industrielles [6 - 9]. Ces études ont montré que, si dans la plupart des secteurs étudiés, les VME étaient respectées, les VLE l'étaient beaucoup moins. La technologie évolutive, notamment en termes de réduction de volume et de poids de ce type d'appareil, a permis leur utilisation dans les pressings et l'évaluation de l'exposition individuelle de courte durée due au PERC en déterminant les concentrations durant les pics d'exposition.

L'INRS propose, dans cet article, de décrire principalement l'exposition moyenne et aiguë au PERC des opérateurs en milieu industriel et en milieu commercial. Conjointement, l'utilisation du système CAPTIV [10] a permis de recueillir des informations complémentaires utiles aux préventeurs et aux professionnels en établissant la corrélation entre le geste de l'opérateur et son exposition. Enfin, des mesures de ventilation ainsi que le recensement des sources polluantes complètent l'ensemble des données de cette étude pour définir au mieux les actions de prévention.

GÉNÉRALITÉS

CARACTÉRISTIQUES PHYSIQUES

Le PERC est un liquide incolore, volatil, d'odeur caractéristique perceptible à des concentrations atmosphériques d'environ 27 ppm. Peu soluble dans l'eau et très dense ($d = 1,623$), il est miscible à la plupart des solvants et dissout un grand nombre de substances telles que graisses, huiles... Sa tension de vapeur est de 1,9 kPa à 20°C et son point d'ébullition est de 121,3°C. Par rapport à l'air, sa densité de vapeur est de 5,8. Dans les conditions normales d'utilisation, le PERC peut être considéré comme ininflammable et inexposable.

TOXICITÉ SUR L'HOMME

Absorption - Élimination - Métabolisation

Le PERC pénètre principalement par les voies respiratoires où l'absorption est rapide et, partiellement, sous forme liquide par voie cutanée. Il s'accumule dans les tissus riches en lipides et quelle que soit la voie d'exposition, 80 à 100 % du PERC absorbé sont éliminés, inchangés, par expiration en 162 heures. Après absorption, le PERC se distribue préférentiellement dans les tissus adipeux. Les demi-vies sont variables et sont estimées à 12-16 heures dans les tissus vascularisés et à 55 heures dans les tissus adipeux. Seuls 1 à 3 % du PERC absorbé sont métabolisés en acide trichloracétique (TCA) et excrétés par voie urinaire. La concentration en TCA urinaire est fonction de la concentration d'exposition jusqu'à 50 ppm et sa demi-vie serait de 80 heures [11].

La surveillance biologique repose sur cinq techniques [12] : dosage du PERC dans l'air expiré, dosage du PERC dans le sang et/ou dans les urines, dosage du TCA dans le sang et/ou dans les urines. L'ACGIH (American conference of industrial hygienists) propose des indices biologiques d'exposition (BEI) qui sont de 5 ppm de PERC dans l'air expiré, 0,5 mg/l dans le sang et 3,5mg/l de TCA urinaire.

Toxicité générale et organes-cibles

Le PERC, solvant étiqueté Xn, nocif pour la santé, est inscrit au Tableau 12 des maladies professionnelles. Les organes-cibles sont le système nerveux central, le cœur, le foie et le rein [13].

L'intoxication aiguë par cette substance se manifeste par une dépression du système nerveux central de type anesthésique et des risques de troubles du rythme cardiaque. Les effets induits varient suivant les concentrations atmosphériques :

- à partir de 100 ppm, l'inhalation peut causer des céphalées, vertiges et troubles de coordination motrice ;
- à partir de 1 000 ppm, l'inhalation peut provoquer une action narcotique avec ébriété et somnolence ;
- à très forte concentration, un coma peut survenir accompagné de troubles respiratoires.

La toxicité chronique se traduit par des risques de dermatose, d'irritation

oculaire et des troubles sur un plan neurologique [14, 15]. A long terme, l'inhalation de PERC peut entraîner des troubles psychiques pouvant évoluer vers un état démentiel.

Cancérogénèse

Depuis 1995, le CIRC (Centre international de recherche sur le cancer) a classé le PERC comme cancérogène probable chez l'homme (groupe 2A).

Des études épidémiologiques conduites dans la profession montrent des augmentations de certains cancers (reins, pancréas). Il semblerait, également, y avoir un risque légèrement accru concernant les cancers du foie, du poumon et du cerveau [14, 16, 17].

Effets sur la reproduction

Des études épidémiologiques concernant le risque d'avortement chez les salariées exposées principalement au PERC sont l'objet de discussions scientifiques. L'opportunité d'un classement Toxique pour la reproduction catégorie 2 (R61 : risque pendant la grossesse d'effets néfastes pour l'enfant) ou Toxique pour la reproduction catégorie 3 (R63 : risque possible pendant la grossesse d'effets néfastes pour l'enfant) est envisagée par les experts européens.

CLASSEMENT DU PERC

Le PERC est actuellement classé comme suit :

- cancérogène Catégorie 3 ; R40,
- Xi ; R38 (irritant pour la peau),
- R67 (l'inhalation de vapeurs peut provoquer somnolences ou vertiges).

Une évolution de classement du PERC en catégorie 1 ou 2 concernant les effets cancérogènes ou reprotoxiques entraînerait, pour les exploitants de pressings, l'obligation de substitution automatique lorsque cela est techniquement possible.

VALEURS LIMITES D'EXPOSITION

En France, pour couvrir l'ensemble des risques toxiques en milieu professionnel et assurer la protection des salariés exposés aux polluants présents dans l'air des lieux de travail, deux types de valeurs limites ont été définies par le Ministère du Travail : des valeurs limites de moyenne d'exposition sur huit heures (VME) destinées à protéger les

salariés des effets à terme et des valeurs limites d'exposition à court terme (VLE) mesurées sur une durée maximale de quinze minutes et dont le respect permet d'éviter les risques toxiques immédiats ou à court terme. La VME du PERC est de 50 ppm, soit 335 mg/m³, mais il n'existe pas de VLE [18] pour ce solvant.

Aux USA, l'ACGIH, dont les valeurs servent de référence dans de nombreux pays y compris en France, a abaissé en 1996 la TLV-TWA (Threshold Limit Value - Time Weighted Average), qui est une valeur moyenne pondérée sur huit heures, à 25 ppm, soit 170 mg/m³. La TLV-STEL (Threshold Limit Value - Short Term Exposure Limit), qui est une valeur moyenne pondérée sur 15 minutes, a également été abaissée à 100 ppm, soit 685 mg/m³ [19].

EXPOSITION CONNUE

L'exposition moyenne au PERC des salariés au poste de travail a déjà été étudiée [20 - 25]. En France, l'exploitation des mesures d'exposition stockées dans la base de données COLCHIC en 2006 fait apparaître que, sur 446 analyses atmosphériques effectuées dans les pressings (code risque 930BB) depuis 1986, 14 % des résultats étaient supérieurs ou égaux à la VME (50 ppm) [26].

Les contrôles de l'exposition aiguë au PERC sont plus rares [27, 28]. Cependant, la base de données COLCHIC révèle que, même s'ils n'étaient pas adaptés à ce type de contrôles en raison de leur durée trop importante, 33 % des prélèvements (d'ambiance et individuels) donnaient des valeurs supérieures ou égales à 100 ppm.

Ces résultats, bien que provenant d'une base aux données hétérogènes et variables (historique de 14 années, évolution du parc machines, durées d'échantillonnage très variables,...), montrent néanmoins que le risque chimique lié au PERC est réel.

TABLEAU I

Caractéristiques des pressings Main characteristics of dry cleaning

Pressing	Type	Nombre de machines en service	Capacité totale en kg et vol de PERC en L	Nombre d'opérateurs machine *
A1 (avant)	Industriel	5	192 - 770	2 (2)
A2 (après)	Industriel	6	227 - 890	1 (1)
B1 (avant)	Industriel	2	70 - 450	1 (3)
B2 (après)	Industriel	2	70 - 450	2 (3)
C	Commercial	2	38 - 300	3 (3)
D	Commercial	1	18 - 150	1 (1)
E	Commercial	2	30 - 290	2 (3)

* Par demi-journée () = Nombre de salariés présents.

LES PRESSINGS

Les mesurages ont été menés dans cinq pressings qui ont accepté de collaborer à l'étude conduite par l'INRS avec le concours des services prévention des Caisses régionales d'assurance maladie concernées. Des visites préliminaires ont permis d'étudier la faisabilité d'interventions. Les entreprises sélectionnées devaient satisfaire aux contraintes imposées par l'étude.

L'étude a été conduite au travers de sept campagnes de mesures réalisées dans deux pressings industriels (A, B) et dans 3 pressings commerciaux (C, D, E). Le *Tableau I* présente les caractéristiques des pressings étudiés.

LES PRESSINGS INDUSTRIELS

Le pressing A, de type industriel, est un atelier de nettoyage à sec intégré dans une grande blanchisserie. Il collecte principalement des vêtements provenant d'établissements hôteliers de luxe. L'atelier comporte sept machines relativement anciennes et peu entretenues (l'une d'entre elle a présenté des fuites) et deux postes de travail avec table aspirante réservée au prédétachage avec rinçage à la vapeur et au prébrossage avec savon. Au cours de la première intervention (A1), deux opérateurs machine se partageaient le travail et cinq machines étaient en service.

Les modifications effectuées par l'entreprise après cette intervention (mise en place d'un système de remplissage des machines avec pompe électrique, de deux extractions d'air supplémentaires et

de bacs de stockage des boues de raclage) ont conduit l'INRS à réaliser une nouvelle campagne de mesures (A2). Lors de celle-ci, un seul salarié travaillait sur six machines alors que le volume d'articles à nettoyer était approximativement comparable à celui rencontré précédemment. Il est à noter que les deux interventions ont été réalisées à deux ans d'intervalle, en début d'été, période de forte activité dans le nettoyage à sec.

Le pressing B, intégré dans un groupe industriel spécialisé dans l'assainissement nucléaire, comporte une salle de lavage comprenant deux machines dont l'une est réservée au nettoyage de combinaisons de travail et l'autre au nettoyage de chaussures de travail en toile. Un seul opérateur travaille dans cette salle qui ne dispose pas de table de détachage. Le pressing comporte également une salle de pliage et de repassage dans laquelle travaillent deux opératrices. Suite aux résultats de la première série de mesures (B1), l'entreprise a réalisé des modifications au niveau de la ventilation.

Une seconde intervention (B2) a eu lieu après ces modifications apportées par l'entreprise. Un nouvel extracteur plus puissant est relié aux trois extractions existantes dans la salle de lavage et aux deux extractions créées en salle de pliage. Deux extractions avec hotte débouchent environ à 50 cm au-dessus des hublots des machines. Il est important de souligner que l'activité, au cours de la seconde campagne, était plus faible que lors de la première intervention.

LES PRESSINGS COMMERCIAUX

Les pressings C et D sont situés dans des galeries marchandes de centre commercial alors que le pressing E est accolé à un supermarché. Ces commerces, généralement ouverts de 9 h 00 à 19 h 00, emploient une à trois personnes le matin et l'après-midi. Les horaires sont flexibles en fonction de la charge de travail et l'amplitude horaire ne dépasse pas six heures. Dans ces pressings, les salariées sont souvent polyvalentes et effectuent tous les travaux inhérents à cette activité qui sont, hormis le travail sur machines à PERC, le repassage des vêtements et la réception des clients en caisse. Le lavage à l'eau par machine à laver, la mise des vêtements sur cintres avec emballage sous housse de protection, le rangement des autres effets (couvertures, couettes) et le prébrossage constituent des activités relativement secondaires par rapport au temps total de travail. Durant ces interventions, les mesurages ont concerné un personnel polyvalent, à l'exception d'une salariée en poste à l'accueil client et au repassage.

FONCTIONNEMENT D'UNE MACHINE DE NETTOYAGE À SEC

Les pressings visités sont tous équipés de machines à circuit fermé avec condensation qui représentent 93 % du parc français.

Un cycle est constitué de deux étapes :
■ *une phase de nettoyage* : le linge est brassé avec du PERC chauffé dans le tambour de la machine, puis essoré par centrifugation. Le solvant récupéré est ensuite filtré puis envoyé soit au distillateur s'il contient beaucoup d'impuretés, soit au bac de stockage s'il est propre ;

■ *une phase de séchage/désodorisation* : un courant d'air chaud (50 à 70°C) souffle à travers le linge pour entraîner le PERC résiduel. Le mélange d'eau et de solvant récupéré est condensé, filtré et décanté. A la sortie du décanteur, la phase aqueuse est rejetée à l'égout et la phase organique est envoyée dans le bac de stockage. La désodorisation consiste à envoyer un courant d'air froid afin d'entraîner les traces de solvant et de refroidir le linge. L'air est recyclé dans la machine et la condensation est généralement améliorée par un réfrigérant où circule un fluide frigorigène. Le captage des résidus de PERC peut être amélioré par adsorption sur charbon actif.

TABLEAU II

Caractéristiques des machines Characteristics of machines

Machines	N° machine	Pressings	Capacité (kg)	Vol (L) PERC	Filtre à charbon actif
SECO M 60	1	A1, A2	60	200	non
BÖWE FRIMAIR P 300	2	A1, A2	12	110	non
FRIMAIR	3	A1, A2	50	230	non
BÖWE P 540	4	A1, A2 B1, B2	35	120	non
SECO cuir	5	A1, A2	35	120	non
SECO M 35	6	A2	35	140	non
BÖWE P 5100	7	B1, B2	50	280	non
UNION IDEAL 400	8	C	20	150	oui
UNION P 740	9	C, D	18	150	oui
BÖWE P 300	10 A, 10B	E	15	non connu	non

Le PERC usagé est purifié par distillation, pendant le nettoyage ou en différé :

- à 88°C, un azéotrope (eau 16 % / PERC 84 %) distille puis est envoyé au séparateur,
- à 121°C, le PERC distille vers le réservoir de stockage,
- arrêt de la distillation dès que la température remonte pour éviter la décomposition thermique à 140°C.

Les boues non distillées sont évacuées régulièrement du fond du distillateur, manuellement au moyen d'une raclette puis sont envoyées dans des centres de traitement spécialisés.

La durée des cycles et la température de séchage peuvent être modifiées volontairement par l'opérateur en fonction du type de linge et du remplissage de la machine.

Les caractéristiques des différentes machines sont décrites dans le *Tableau II*.

LES SOURCES POLLUANTES

En général, les émissions de solvant ont pour origine :

- l'ouverture du hublot lors du chargement (du PERC peut rester dans la cuve) et/ou du déchargement des machines (les émissions sont accentuées par un séchage insuffisant et par une surcharge de la machine) ;
- les vêtements juste en sortie de machine, généralement déposés dans des chariots ;
- le raclage et la manipulation des boues (surtout quand elles sont humides) ; les boues sont régulièrement récupérées dans des bidons de 20 litres qui

restent en général ouverts avant d'être vidés dans une cuve, préalablement à l'élimination dans un centre de destruction ; les émissions dépendent de la température des boues ;

- l'ouverture des réceptacles des filtres ;
- le nettoyage du filtre à boutons et du filtre à air ;
- les fuites de PERC dans le circuit (lors de la distillation, d'un cycle de lavage, etc.) ;
- les opérations de maintenance importantes.

MÉTHODOLOGIE

MESURES DE DÉBITS D'AIR

Tous les ateliers de nettoyage sont équipés de dispositifs de ventilation, à l'exception du pressing D qui ne possède pas de ventilation mécanique forcée.

Les débits d'air ont été déterminés par mesure des vitesses en conduit à l'aide d'un anémomètre thermique de marque TSI. Les mesures ont été effectuées dans la section de chaque conduit d'aspiration.

Remarque : ces mesurages n'ont pas été réalisés dans le pressing A (campagnes de mesures 1 et 2) en raison de la configuration des lieux ni dans le pressing D pour cause d'absence d'extraction d'air.

MESURES D'EFFICACITÉ DE CAPTAGE

Ce type de mesure a été réalisé dans le pressing E en raison de la surface disponible.

L'efficacité de captage η est définie comme le rapport du débit massique du polluant (ou de traceur) collecté directement par le système de captage (q_c) au débit massique total de polluant émis (q_e) :

$$\eta = \frac{q_c}{q_e} \times 100 \text{ (\%)}$$

Lorsque les débits d'air extrait et les débits de traceur restent constants pendant toute la durée des mesures, l'efficacité moyenne de captage η d'un dispositif d'aspiration localisée est calculée à partir de la relation :

$$\eta = \frac{\bar{C}_3 - \bar{C}_1}{\bar{C}_2 - \bar{C}_1} \times 100 \text{ (\%)}$$

avec :

- \bar{C}_1 et \bar{C}'_1 : concentration moyenne du gaz traceur en ambiance en l'absence de toute génération (avant et après génération) en ppb ;

- \bar{C}_2 : concentration moyenne du gaz traceur dans le conduit d'aspiration lorsqu'il est totalement généré dans celui-ci (concentration de référence) en ppb ;

- \bar{C}_3 : concentration moyenne du gaz traceur dans le conduit lorsque celui-ci est généré au poste de travail et simule l'émission du polluant (mesure en configuration de travail) en ppb.

Le gaz traceur utilisé est l'hexafluorure de soufre (SF_6). La concentration de SF_6 est mesurée au moyen d'un analyseur infrarouge portable à lecture directe de marque Foxboro et de type Miran Sapphire. Le SF_6 est généré au moyen d'un régulateur de débit massique Bronkhorst High-tech relié à un boîtier de commande.

Afin de générer le gaz traceur représentatif de l'émission du polluant, il est, dans la plupart des cas, nécessaire de s'équiper d'une sonde de génération appropriée (tube droit percé d'une dizaine de trous sur sa longueur).

CONSOMMATION DE PERC ET DÉBIT D'ÉMISSION

La consommation de PERC a été établie dans les pressings commerciaux. Le suivi régulier de consommation par l'exploitant permet de maîtriser l'exposition

potentielle due à des fuites ou à une maintenance non adaptée, de situer la consommation par rapport aux données de la littérature et d'estimer les émissions en grammes de solvant par kg de vêtements pour chaque mois et chaque machine.

PRÉLÈVEMENTS ET ANALYSES

Pour mesurer les concentrations en vapeur de PERC présentes dans les atmosphères de travail, différentes techniques de mesurages ont été utilisées.

Prélèvements par badges

Le badge GABIE [29], développé par l'INRS et commercialisé par la société ARELCO - France, est un échantillonneur passif de vapeurs et de polluants organiques présents dans les locaux de travail. Le principe de prélèvement est basé sur la diffusion des vapeurs de solvants au travers d'une couche adsorbante de charbon actif. Il se présente sous la forme d'un boîtier plastique de 4 cm de diamètre contenant 550 mg de charbon. La surface de diffusion circulaire est de 7 cm². La connaissance de la quantité de PERC piégée, de la vitesse d'échantillonnage et de la durée d'exposition de ce badge permet de calculer l'exposition du salarié. Très léger, ce dispositif se fixe à proximité des voies respiratoires.

Le prélèvement par badge (non adapté pour des mesures d'une durée inférieure à 30 minutes) permet de comparer directement les résultats à la VME.

L'analyse du badge GABIE est identique à celle d'un tube de charbon actif.

PRÉLÈVEMENTS PAR TUBES DE CHARBON ACTIF (TCA)

Les mesures sur TCA, par opposition au badge GABIE, sont des prélèvements dynamiques. Le dispositif de prélèvement est constitué d'un tube contenant deux plages de charbon actif de 100 et 50 mg (SKC 226-06) relié par un tuyau souple à une pompe de prélèvement assurant un débit d'environ 75 ml/min (GILIAN - LFS 113). L'air du lieu de travail est aspiré au travers des plages de charbon actif dont la première piège les vapeurs de PERC, la seconde servant de témoin de saturation de la première. Le débit de la pompe est mesuré en début et en fin de prélèvement avec un débitmètre électronique.

En fonction de la durée de prélèvement, le TCA permet de comparer directement les résultats à la VME du PERC et/ou de mesurer les concentrations à court terme.

ANALYSE DES SUPPORTS DE PRÉLÈVEMENTS

L'analyse du badge GABIE est identique à celle d'un TCA. Après désorption du support adsorbant dans 5 ou 1 ml de sulfure de carbone (badge ou TCA), le désorbant a été analysé par chromatographie en phase gazeuse (CPG) en mode d'étalonnage externe avec colonne semi-capillaire et détecteur à ionisation de flamme :

- chromatographe Hewlett-Packard® 5890 équipé d'un passeur automatique d'échantillons ;
- colonne Supelco® SPB-1 ; L = 60 m, diamètre interne = 0,75 mm ;
- gaz vecteur : hélium, débit : 10,7 ml.mn⁻¹ ;
- température colonne : isotherme 65°C ;
- température injecteur : 220°C, détecteur 230°C.

MESURES DES PICS D'EXPOSITION PAR PID

Pour mettre en évidence les variations de concentration de PERC pendant un poste de travail, des appareils de mesure à lecture directe équipés d'un détecteur à photo-ionisation (PID) ont été utilisés.

Le fonctionnement du PID repose sur le principe de détection des substances ayant un potentiel d'ionisation inférieur à celui de la lampe standard utilisée, soit 10,6 eV. Les photons générés par la lampe UV ionisent les molécules. Les ions sont soumis à un champ électrique continu entre les électrodes et créent un courant proportionnel aux molécules ionisées. Il réagit donc avec la plupart des composés organiques volatils (COV) ; avec, cependant, des coefficients de réponse variant dans un rapport de 1 à 20 suivant la structure de la chaîne carbonée.

Des essais en laboratoire, à partir d'atmosphères contrôlées et générées, ont notamment permis de vérifier que la réponse des PID était linéaire en fonction des concentrations.

Le calibrage en deux points s'effectue avec un gaz étalon qui est de l'isobutylène à 100 ppm et avec de l'air synthétique (zéro). L'appareil mesure en continu l'ensemble des COV photoionisables présents dans l'atmosphère mais délivre une valeur moyenne par intervalle de temps programmé. Cette fréquence d'échantillonnage, variable entre 1 et 60 secondes, selon les appareils est programmée en fonction de la capacité et du temps de fonctionnement de l'enregistreur. Les données sont ensuite transférées vers un micro-ordinateur permettant de visualiser le profil d'exposition du salarié pendant son travail et de mettre en évidence les pics d'exposition.

Trois types de PID ont été utilisés :

- le « ToxiRAE » modèle PGM 30 de RAE SYSTEMS. Cet appareil de technologie passive, sans pompe (un petit ventilateur assure le brassage de la cellule de détection), occupe un faible volume et ne pèse que 250 grammes ;
- le « PHOTOVAC® 2020 ». Cet appareil, équipé d'une pompe de prélèvement interne, est de ce fait beaucoup plus encombrant. Sa masse est de l'ordre du kilogramme ;
- le « MiniRAE 2000 » de RAE SYSTEMS. Cet appareil de technologie active (avec pompe) a été utilisé pour le système CAPTIV en raison de sa sortie analogique.

Dans le cas de ces interventions (mono-pollution), les concentrations en PERC en « temps réel » ont été calculées en appliquant les facteurs de réponse donnés par les fabricants de 0,57 pour le ToxiRAE et de 0,50 pour le 2020 à la réponse des PID.

Remarque : les PID ont été calibrés avec du PERC à 100 ppm lors de la première campagne menée dans le pressing B.

SYSTÈME CAPTIV

D'une manière générale, CAPTIV (cf. Figure 1) est un outil logiciel permettant de piloter l'acquisition :

- de données issues de capteurs ;
- d'images enregistrées via des caméscopes numériques.

Les données et les images sont ensuite synchronisées. Il devient possible de corrélérer un pic de pollution à une phase précise (voire un geste) du poste de travail.

FIGURE 1

Principe de la technologie CAPTIV et photo du poste de contrôle
Principle of CAPTIV technology and photography applied to monitoring checks

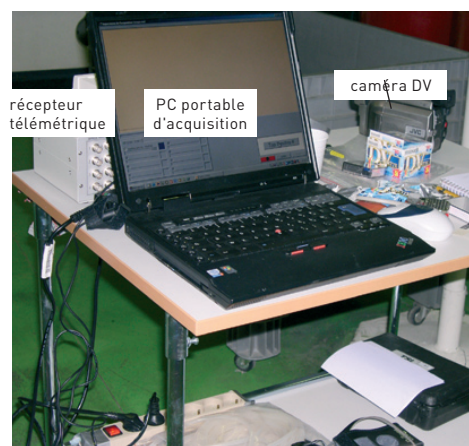
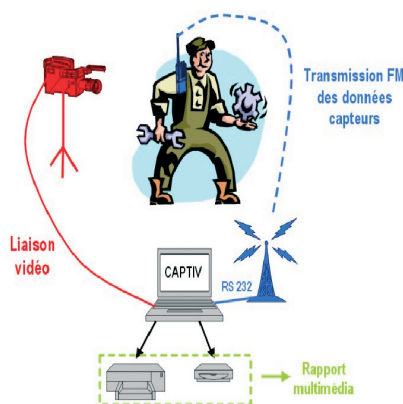
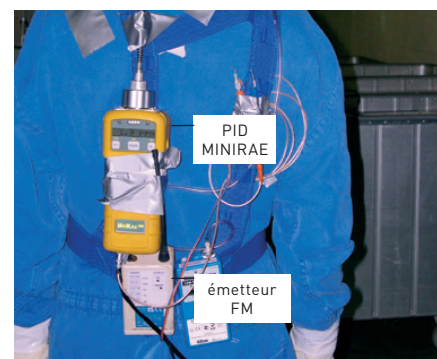


FIGURE 2

Équipement des opérateurs
Workers equipment



Les opérateurs dans les pressings industriels, en charge des machines à laver, ont été équipés d'un détecteur à photo-ionisation de type MiniRAE 2000 dont la sortie analogique est connectée à l'émetteur de la télémétrie (cf. Figure 2). Les données issues de ce détecteur sont transmises en temps réel au PC d'acquisition (à la fréquence de 25Hz). Pour des raisons d'encombrement et de poids trop importants, les opératrices des pressings commerciaux ont été équipées de PID de modèle ToxiRAE dont l'horloge interne est synchronisée avec celle du PC d'acquisition.

Les données sont stockées dans l'enregistreur interne de l'appareil avant d'être transférées au PC à la fin de leur poste de travail. L'association des PID à CAPTIV permet, d'une part, de mettre en évidence des pics de PERC (de quelques ppm par rapport à l'ambiance jusqu'à plusieurs milliers de ppm) et,

d'autre part, d'expliquer en détail les profils d'exposition des salariés et les profils de pollution.

STRATÉGIE DE MESURAGE DU PERC

Exposition des salariés

Les salariés volontaires ont été équipés d'un badge de prélèvement destiné à mesurer les concentrations moyennes en PERC et d'un PID ToxiRAE (des PID 2020 ont été utilisés dans le pressing A) pour déterminer les pics d'exposition durant un demi-poste de travail. Ces dispositifs étaient placés à proximité des voies respiratoires. De façon à pouvoir interpréter les profils d'exposition, le travail des salariés a fait l'objet d'un suivi attentif. En particulier, les heures d'ouverture de hublots, le type de machine et les autres opérations potentiellement polluantes ont été relevés.

L'utilisation du système CAPTIV contribue également à connaître l'exposition aiguë d'un salarié particulièrement lors d'une opération polluante.

La *Figure 2* montre les deux configurations du système CAPTIV en fonction des pressings.

Pollution en ambiance

Pour mesurer les concentrations en ambiance dans chaque pressing, des badges de prélèvement GABIE couplés à un système de mesure « actif » comprenant des TCA et des PID 2020 ont été utilisés. Ces capteurs ont été placés pendant des durées de 4 ou 8 heures à une hauteur de 1,70 m de façon à évaluer au mieux la concentration moyenne en PERC et l'évolution de la pollution par rapport au fonctionnement des machines.

Mesures au-dessus des hublots

Des PID 2020, non couplés à des prélèvements classiques, ont été également placés au-dessus des hublots de machines. A la différence des mesures en ambiance, ces mesurages de pollution à des endroits peu fréquentés par le personnel ont été réalisés dans le but de mieux cibler l'origine des sources polluantes, de déterminer les fuites éventuelles et d'en connaître l'évolution en fonction de la géographie des lieux et du temps. Ces mesurages par PID croisés avec les données des ToxiRAE portés par le personnel ont permis de « valider » toutes les ouvertures de hublots des machines.

RÉSULTATS

VENTILATION

Débits d'air

Les débits de ventilation ont été mesurés dans tous les pressings sauf dans le pressing A. Le taux de renouvellement d'air est compris entre 1 et 10 volumes par heure. Les mesures réalisées dans le pressing B lors de la seconde intervention (B2) indiquent un débit dix fois supérieur à celui mesuré lors de la première intervention (B1) et semblent indiquer une certaine disproportion entre les moyens apportés et les résultats obtenus en termes d'exposi-

TABLEAU III

Mesures des débits d'air Measurement of air flow rate

Pressing	S (m ²)	Vol (m ³)	Nombre de machines en service	Ventilation : nombre d'extracteurs		Débit total d'aspiration en m ³ .h ⁻¹
				Nombre total	Nombre par machine	
A1	400	1 600	5	2	sans	n.d.
A2			6	4	sans	n.d.
B1	150	660	2	4 + 1 mobile	1	520
B2			2	5	1	5 530
C	106	420	2	8	1	3 010
D	40	106	1	pas d'extraction d'air		
E	273	1 365	2	7	2	2 260

n.d. non déterminé.

TABLEAU IV

Débits et efficacité de la ventilation dans le pressing E Flow rates and efficiency of airing in dry cleaning E

Point	Localisation	Débit d'aspiration (m ³ .h ⁻¹) *	Débit d'aspiration (m ³ .h ⁻¹) **	Efficacité moyenne de captage (%) **
1	Au-dessus de la machine 1 (P 300)	490	670	62
2	Derrière la machine 1 (P 300)	190	280	84
3	Au-dessus de la machine 2 (P 300)	465	730	80
4	Derrière la machine 2 (P300)	175	255	70
5	Extraction de la table de détachage	940*	73**	-
Débit total		2 260	2 008	-

* Ventilation de la table de détachage en marche.

** Mesuré avec la ventilation de la table de détachage à l'arrêt.

TABLEAU V

Consommation mensuelle de PERC et débit d'émission Consumption per month of PERC and flow release

	Machine	Consommation de PERC (kg)	Nb articles	Masse d'articles (kg)	Débit d'émission Q (g/kg)
Pressing C	IDEAL 400	78	6 128	3 676	21
Pressing C	P 740	64	3 972	2 383	27
Pressing D	P 740	24	3 027	1 817	13
Pressing E	BÖWE P300	93	5 426	3 256*	24

* Masse estimée sur la base moyenne de 0,7 kg/article.

tion. Ces mesures ainsi que les volumes des locaux ventilés sont consignés dans le *Tableau III*.

Efficacité de captage

L'efficacité de captage des quatre dispositifs d'aspiration correspondant aux deux machines a été mesurée dans le pressing E. Les résultats, ainsi que les

débats correspondants, sont présentés dans le *Tableau IV*.

L'efficacité mesurée à 80 % et 62 % semble être insuffisante, particulièrement au-dessus des deux machines où les émissions de polluants sont les plus importantes et les plus fréquentes. Des essais au fumigène montrent que tous les polluants ne sont pas captés par ces dispositifs. La performance de ces deux dispositifs doit être améliorée par un meilleur dimensionnement des bouches d'aspiration situées au-dessus de chaque machine. Les deux autres dispositifs de captage situés derrière chaque machine permettent d'aspirer partiellement les émissions de PERC émises lors du raclage des boues et en présence de fuites potentielles à l'arrière de la machine.

CONSOMMATION DE PERC

Le *Tableau V* résume, pour les pressings commerciaux, les consommations mensuelles moyennes de solvant, la masse d'articles nettoyés et les émissions de COV calculées par kg d'articles nettoyés.

La consommation de PERC varie de 13 à 27 g par kg d'articles nettoyés. Ces chiffres sont comparables à ce qu'indique la littérature. D'après les données du CITEPA [30], pour les machines à circuit fermé (type 3), les émissions sont de l'ordre de 20-40 g de COV/kg de vêtements tandis que pour les machines à circuit fermé avec filtre de charbon actif (type 4), les émissions sont de l'ordre de 10 g COV/kg de vêtements. Il faut noter que les débits d'émissions peuvent varier en fonction notamment du type de machine, de la nature des articles nettoyés et de la charge des machines.

Ces informations n'étaient pas disponibles pour les pressings industriels.

EXPOSITION MOYENNE DES SALARIÉS

Les résultats des badges ont été analysés à l'aide d'un logiciel spécifique [31] qui utilise un certain nombre de tests pour vérifier la validité des hypothèses comme la loi de distribution log normale et le fait qu'on soit bien en présence d'un groupe d'exposition homogène (GEH) constitué *a priori* à partir du poste de travail et des tâches effectuées par les salariés. La probabilité de dépassement de la VME a été calculée avec un intervalle

TABLEAU VI

Concentration et exposition moyenne des salariés Concentration and mean exposures of workers

Pressing	Prélèvements sur badge (VME)						
	Nombre de salariés	Nombre de mesures et de jours ()	Durée moy (min)	C moy (ppm)	Min-max (ppm)	Nb > VME	Pb en % C > 50 ppm
A1	2	13 (3)	191	40	28-52	2	9,2
A2	1	7 (3)	190	61	50-73	7	90,9
B1	2	4 (3)	347	17	11-24	0	/
	1	6 (3)	200	27	13-55	1	6,8
B2	3	6 (2)	247	12	6-12	0	0,06
C	1	3 (3)	230	2	1-2	0	/
	7	12 (3)	230	10	4-19	0	0,13
D	2	7 (3)	230	7	8-10	0	0,01
E	5	11 (3)	194	11	2-29	0	0,4

Valeurs grisées : pas de travail sur machine.

FIGURE 3

Exposition au PERC, pressing A1 PERC exposure, Dry Cleaning A1

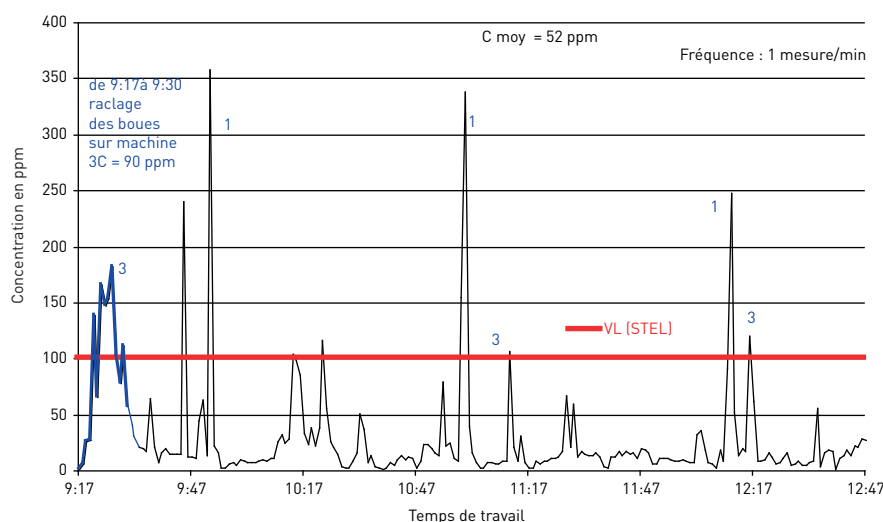
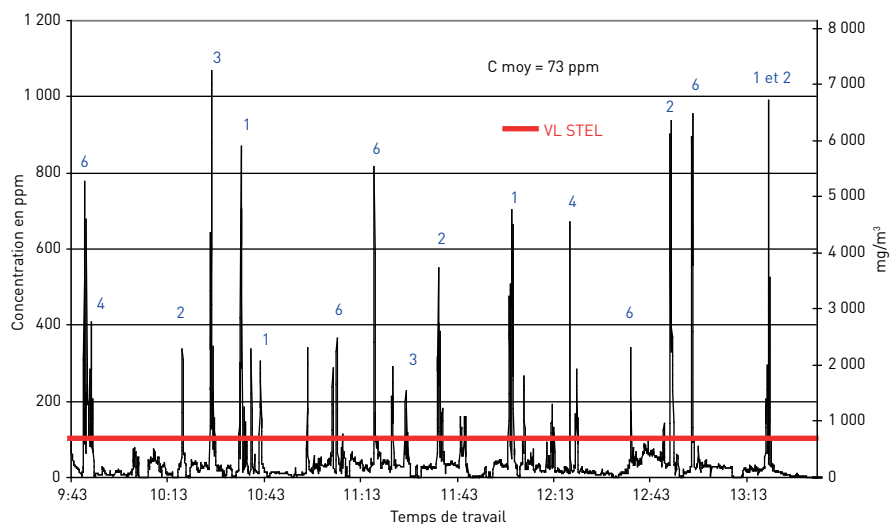


FIGURE 4

Exposition au PERC, pressing A2 PERC exposure, Dry Cleaning A2



de confiance $p = 90\%$. L'exposition est considérée comme acceptable, suivant les prescriptions de l'annexe indicative de la norme EN 689, lorsque cette probabilité est inférieure à $0,1\%$ (diagnostic vert). Une probabilité supérieure à 5% amène à considérer que l'exposition est excessive (diagnostic rouge).

Les résultats concernant l'exposition moyenne des salariés sont présentés dans le **Tableau VI**. Les valeurs suivantes sont mentionnées par pressing :

- le nombre de jours de prélèvement et de salariés concernés ;
- les concentrations moyennes obtenues par prélèvements individuels par badges ;
- l'amplitude des mesures (mini-maxi) ;
- le nombre de mesures supérieures à la VME française et la probabilité de dépassement de cette VME.

L'exposition moyenne des salariés est élevée dans le pressing industriel A. Les concentrations moyennes mesurées par badge lors des deux interventions sont respectivement de 40 et de 60 ppm. Lors de la seconde campagne, l'exposition de l'opérateur n'est jamais inférieure à la VME.

Dans le pressing industriel B, un seul dépassement de VME a été enregistré ; les moyennes respectives lors des interventions B1 et B2 étant 23 et 12 ppm.

Pour les pressings commerciaux, l'exposition moyenne est d'environ 10 ppm et n'excède pas 29 ppm.

PROFILS D'EXPOSITION DES SALARIÉS

Le profil d'exposition des opérateurs au PERC a été déterminé pendant 242 heures. Les **Figures 3 à 9** illustrent quelques profils d'exposition représentatifs de différentes situations dans les pressings. Dans tous les cas, ces enregistrements graphiques issus des données des PID montrent des profils d'exposition reflétant correctement l'activité des salariés. Les numéros de machines (cf. **Tableau II**) à l'origine de pics d'exposition sont mentionnés. Les pics dépourvus d'annotation sont d'origine non déterminée mais probablement, pour les plus intenses, dus à une ouverture de hublot.

Les opérateurs machine sont fréquemment soumis à des pics d'exposition au PERC plus ou moins intenses

FIGURE 5

Exposition au PERC, pressing B1 PERC exposure, Dry Cleaning B1

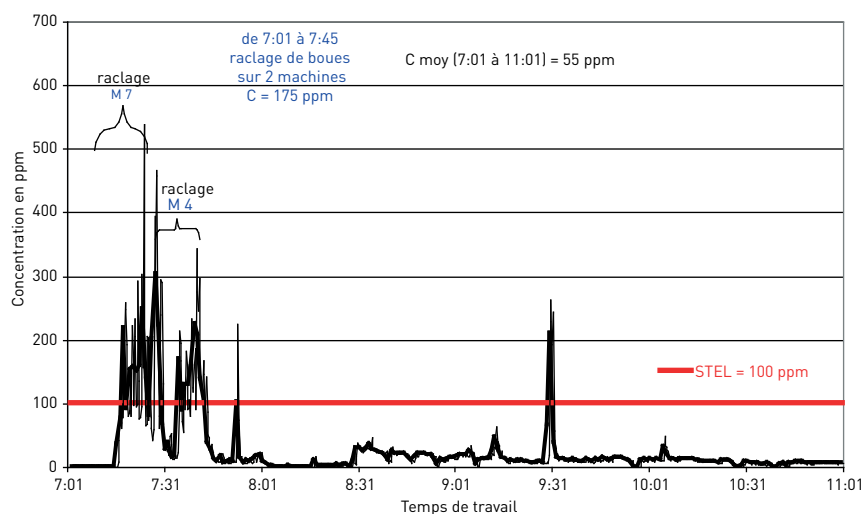


FIGURE 6

Exposition au PERC, pressing B2 PERC exposure, Dry Cleaning B2

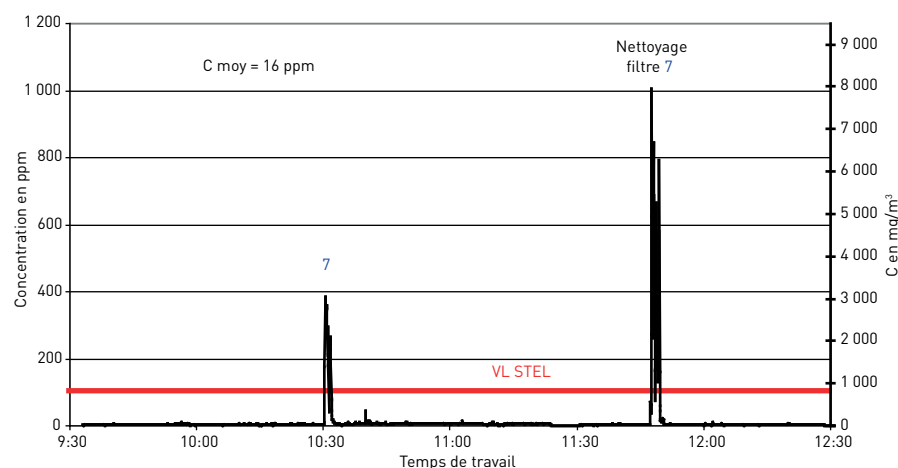
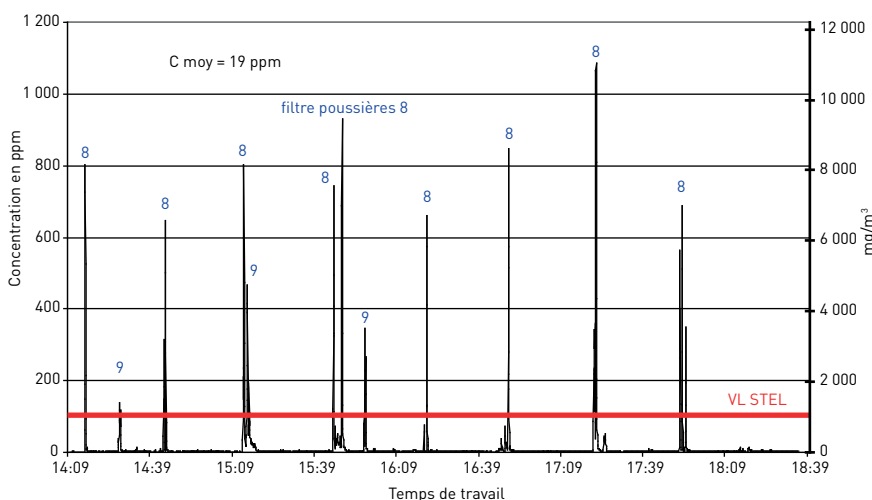


FIGURE 7

Exposition au PERC, pressing C PERC exposure, Dry Cleaning C



à chaque ouverture de hublot. Mesurés avec une fréquence d'échantillonnage de 4 secondes, les pics atteignent 1 000 ppm. Les opérations de déchargement et de chargement sont de courte durée et se succèdent en moins d'une minute en général. Le hublot est parfois refermé après un déchargement avant d'effectuer un nouveau chargement. Il est à noter que le cycle est parfois interrompu par une brève ouverture du hublot pour ajouter un article.

Les *Figures 3, 5 et 8* renseignent sur l'exposition lors du raclage des boues.

Les résultats apportés par le système CAPTIV complètent les informations sur les pics d'exposition. La *Figure 10*, issue d'un extrait vidéo de CAPTIV, montre l'opérateur d'un pressing industriel lors d'une opération de déchargement de la machine P 5100. Cet extrait est typique de l'exposition à ce poste : la concentration en perchloréthylène qui serait respiré par l'opérateur non équipé d'un masque de protection respiratoire pourrait presque atteindre 1 000 ppm.

Cette séquence vidéo (*cf. Figure 11*) correspond à trois opérations distinctes, chacune correspondant à un pic d'exposition. La première est l'ouverture du hublot de la machine Ideal 400 pour le déchargement du linge propre suivi du chargement du linge sale. Cette étape dure approximativement 35 secondes et la concentration maximale atteinte est de l'ordre de 1 150 ppm de PERC. La deuxième opération est identique à la première mais concerne l'ouverture de la machine P740. Sa durée est d'une quarantaine de secondes et le niveau en PERC avoisine les 700 ppm. Enfin, la dernière opération, réalisée par l'opératrice au cours de cette séquence vidéo, est le nettoyage des filtres (à épingle(s) et à poussière(s)) de la P740 à l'aide d'un aspirateur. L'impact sur le profil d'exposition de cette étape de 90 secondes est moindre que pour les deux précédentes puisque la concentration en PERC ne dépasse pas 300 ppm pour le nettoyage du filtre à épingle(s).

INTENSITÉ ET FRÉQUENCE DES PICS D'EXPOSITION

Le *tableau VII* présente une synthèse des résultats obtenus par PID et renseigne sur l'exposition aiguë au PERC des salariés au cours de cette étude. Sont notamment mentionnés dans ce tableau :

- le nombre de profils positifs (avec

TABLEAU VII

Exposition des opérateurs aux pics de perchloroéthylène Workers exposure to perchloroethylene peaks

Pressing	Mesures par PID (VLE) : exposition des opérateurs						
	Nb de mesures	Durée moy (min)	Nb profil «positif» (1)	Nb moy de pics	C max (ppm) sur 1 min	C > 100 ppm	
T moy en min et (%)						T max en min et (%)	
A1	13	191	13	5	358	7 (4)	14 (7)
A2	8	190	8	11	605	16 (8)	21 (11)
B1	4	347	1	0	213	0 (0)	1 (0)
	6	200	6	2	467	6 (3)	19 (9)
B2	6	247	6	2	401	4 (2)	6 (2)
C	3	230	0	0	61	sans objet	sans objet
	12		9	4	367	4 (2)	13 (6)
D	7	236	6	1	241	2 (1)	5 (2)
E	7	194	5	1	468	1 (1)	3 (2)

(1) Profil «positif» : profil présentant au moins un pic d'exposition → 100 ppm pendant une minute ou plus.

Les temps moyens et maximaux sont non cumulés.

Valeurs grisées : pas de travail sur machine.

FIGURE 8

Exposition au PERC, pressing D PERC exposure, Dry Cleaning D

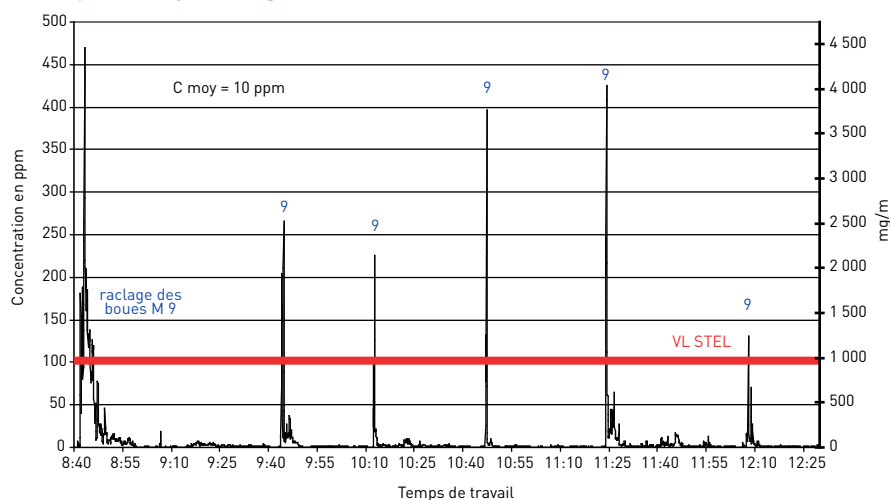


FIGURE 9

Exposition au PERC, pressing E PERC exposure, Dry Cleaning E

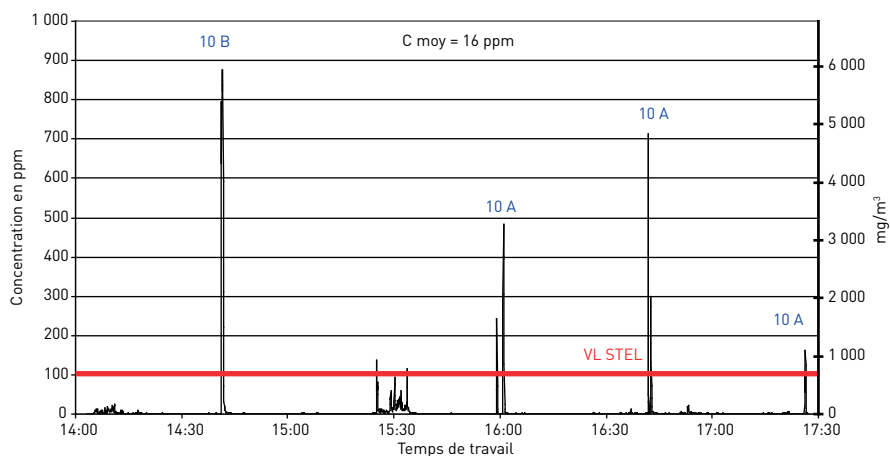


TABLEAU VIII

Concentrations en perchloroéthylène en ambiance

Concentrations en perchloroéthylène en ambiance

Pressing	Mesures en ambiance					Mesures par PID (VLE)				
	Durée moy (min)	Type de prel	Nombre de mesures	C moy (ppm)	Min-max (ppm)	Nombre de mesures	Nb profil positif (1)	C max (ppm) sur 1 min	Durée moy en min (2)	Durée max en min (2)
A1	215	TCA	11	20	16-25	11	3	114	< 1	1
		Badge	12	22	15-30					
A2	204	TCA	12	24	11-41	12	5	308	1	3
		Badge	11	23	11-37					
B1	226	TCA	16	19	10-37	16	2	104	< 1	1
		Badge	16	17	10-31					
B2	253	TCA	10	8	6-13	10	1	184	< 1	1
		Badge	10	8	6-11					
C	264	TCA	9	5	2-10	10	0	56	sans objet	sans objet
		Badge	10	5	2-11					
D	380	TCA	4	3	2-5	9	0	33	sans objet	sans objet
		Badge	7	3	2-7					
E	450	TCA	6	2	1-3	6	0	23	sans objet	sans objet
		Badge	6	2	1-3					

(1) Profil positif : profil présentant au moins un pic d'exposition → 100 ppm pendant une minute ou plus.

(2) Durée non cumulé.

un pic ou plus > 100 ppm) par rapport au nombre de profils déterminés ;

- le nombre moyen de pics avec concentration supérieure à 100 ppm par profil d'exposition ;

- la concentration maximale déterminée sur une minute ;

- les durées d'exposition moyennes et maximales en minutes et en % du temps de travail avec concentrations égales ou supérieures à 100 ppm.

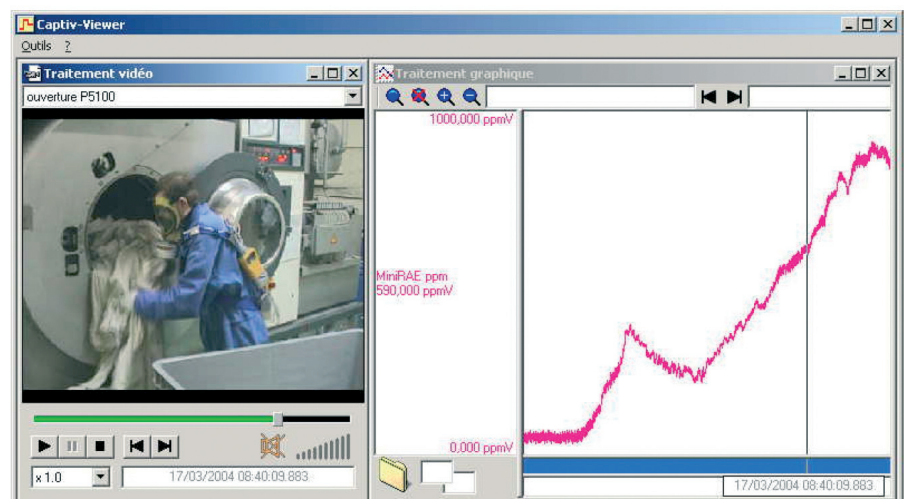
Ce tableau indique que 85 % des profils déterminés sont positifs pour l'ensemble des pressings. Lors de l'intervention A2, l'opérateur est exposé en moyenne 8 % de son temps de travail à des pics supérieurs à 100 ppm.

Concernant les pressings commerciaux, trois opérateurs sur quatre sont exposés à au moins un pic de PERC et cette exposition aiguë ne représente que 1 à 2 % du temps de travail.

Les intensités maximales relevées pendant une minute sont respectivement de 600 et 468 ppm pour les pressings industriels.

FIGURE 10

Vidéo issue du système CAPTIV: déchargement P 5100, pressing B1
CAPTIV system video: unloading P 5100 - Dry Cleaning B1



POLLUTION EN AMBIANCE

Concentrations moyennes et maximales

Le *Tableau VIII* fait état du niveau de pollution en ambiance dans les pressings. Les concentrations moyennes et leurs

étendues ainsi que l'intensité et la durée des pics de pollution sont mentionnées.

Dans les pressings industriels, les mesures en ambiance (à l'exception des mesures réalisées lors de la seconde intervention dans le pressing B où la charge de travail n'était pas représentative d'une

journée « normale ») sont élevées : de l'ordre de 20 ppm en moyenne. On note quelques pics de pollution supérieurs à 100 ppm durant une minute. Les concentrations ambiantes sont inférieures à 5 ppm dans les pressings commerciaux. Ces valeurs sont confirmées par les mesures PID puisque le pic maximal est de 56 ppm pendant une minute.

PROFILS DE POLLUTION

Les profils de pollution déterminés à partir de PID placés en ambiance sont illustrés par les *Figures 12 et 13*. Selon la durée d'utilisation des PID 2020, la fréquence d'échantillonnage a varié de 15 secondes à 1 minute.

Les profils de pollution au niveau du hublot indiquent l'intensité des pics lors de leurs ouvertures. Les concentrations peuvent également atteindre 1 000 ppm. Les *Figures 14 et 15* présentent deux exemples dans deux pressings.

Corrélation entre les concentrations des badges GABIE et des TCA

Le *Tableau VIII* montre que les concentrations mesurées par les deux types de prélèvements sont équivalentes. Sur l'ensemble des données, l'équation de la droite est : $y = 0,96 x + 0,37$ avec $R^2 = 0,96$.

DISCUSSION

PRESSINGS INDUSTRIELS

Les mesures ont été reconduites dans les pressings industriels car des modifications ont été réalisées par les entreprises suite aux premières campagnes de mesures.

Pressing A

Deux opérateurs machines y travaillaient lors de la première intervention. Au cours de la seconde campagne, à la même période, un seul des deux opérateurs habituels était aux machines pour une charge de travail globalement identique. Entre les deux interventions, les principales modifications apportées ont été :

- le changement du système de remplissage des machines en PERC ;
- la mise en place de deux extrac-

FIGURE 11

Vidéo issue du système CAPTIV. Ouverture de la machine Ideal 400 suivie de l'ouverture de la machine P 740 et nettoyage des filtres, pressing C
CAPTIV system video: opening of dry cleaning machines id400 and p740, cleaning of filters - Dry Cleaning C

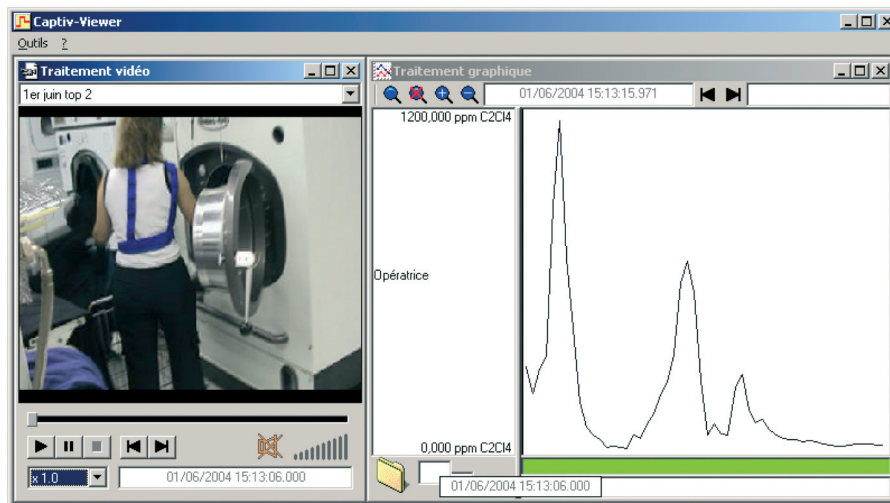


FIGURE 12

Profil de pollution en ambiance, pressing A2
Profile of pollution in ambient air, Dry Cleaning A2

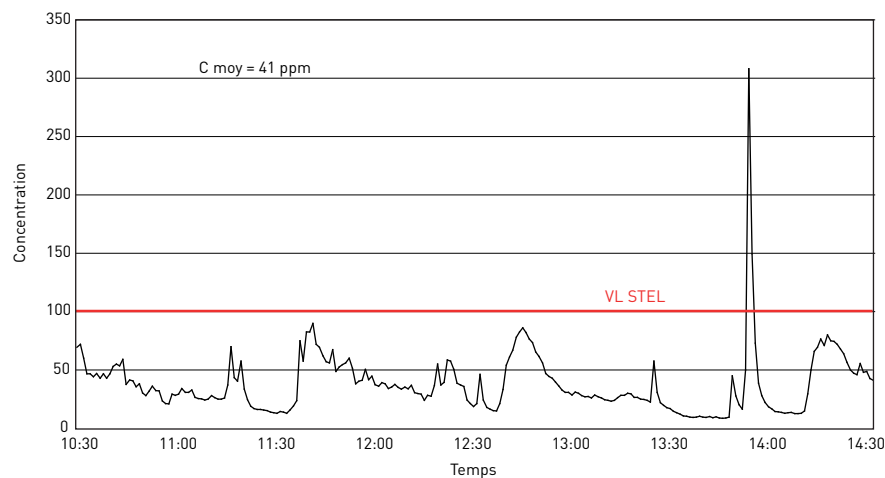
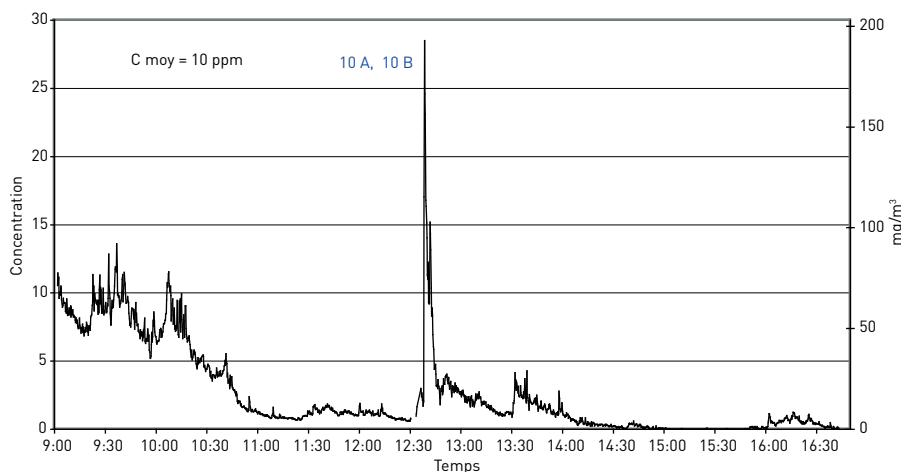


FIGURE 13

Profil de pollution en ambiance, pressing E
Profile of pollution in ambient air, Dry Cleaning E



tions supplémentaires dans l'atelier (en raison de l'emplacement des bouches d'extraction, les débits d'air n'ont pu être mesurés).

Ces modifications n'ont pas contribué à la diminution attendue de la concentration moyenne en PERC dans l'air ambiant de l'atelier (20 ppm en moyenne aux mêmes endroits dans les deux cas). En raison du manque d'information sur les débits d'air, il est difficile d'expliquer la « stabilité » du niveau de pollution entre les deux interventions. En revanche, l'exposition moyenne des opérateurs, qui était de 40 ppm, est passée à 60 ppm pour l'unique opérateur, soit une augmentation de 50 %, et se trouve de surcroît supérieure à la VME française.

Concernant l'exposition aiguë, pendant la première intervention, les deux opérateurs étaient exposés chacun, en moyenne pendant sept minutes, à cinq pics de concentration supérieure à 100 ppm durant une demi-journée, la concentration maximale étant de 360 ppm sur une minute. Lors de la seconde campagne, l'opérateur de A2 est exposé seize minutes (onze pics) en moyenne à des concentrations supérieures à 100 ppm et la concentration maximale atteint 600 ppm.

Les résultats entre les deux campagnes sont cohérents et montrent, qu'en tenant compte de la pollution résiduelle dans l'atelier, l'exposition de l'opérateur due aux pics de pollution est deux fois plus importante lorsque sa charge de travail sur machine est doublée.

FIGURE 14

Pollution au niveau du hublot de la BÔWE P 5100, pressing B 1
Profile of pollution near to porthole P 5100, Dry Cleaning B 1

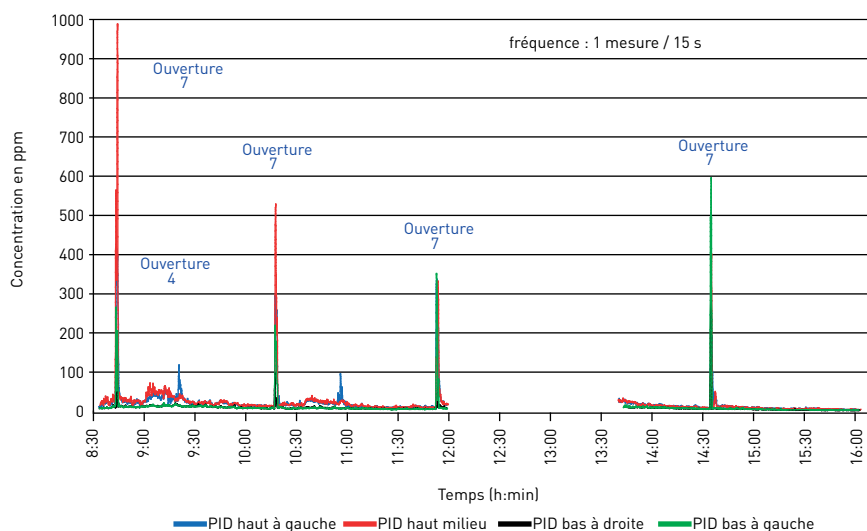


FIGURE 15

Pollution au niveau du hublot de l'ID 400 et de la P 740, Pressing C
Profile of pollution near to portholes, Dry Cleaning C

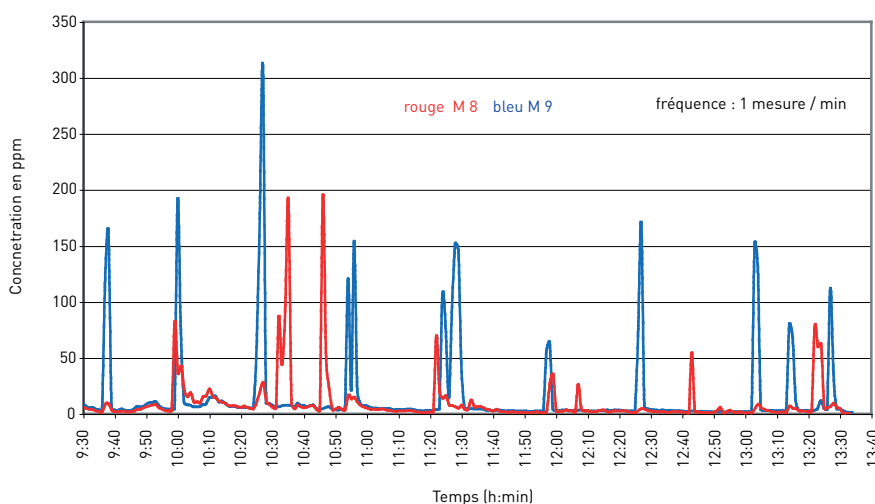


TABLEAU IX

Pressing B : comparaison des valeurs avant et après modification
Dry cleaning : comparison of values before and after alteration

		Mesures en ambiance		Ventilation débit d'aspiration (m ³ .h ⁻¹)			Mesures individuelles		Pics C > 100 ppm	
			C moy ppm	Machine P450	Machine P5100	Conduit extraction extérieur	C moy ppm (VME)	Durée moy en min (2)	C max sur 1 min	
avant modif : B1	salle machine	21	140	280	520*	opérateur salle machines	27	6	467	
	salle pliage	15	sans	sans		opératrice salle pliage repassage	17	< 1	213	
après modif : B2	salle de machine	8	1 330	2 460	5 530**	opérateurs machines	12	4	400	
	salle pliage	8		185		pas de travail spécifique pliage				

* et ** : dont respectivement 70 et 1 350 au-dessus table de préparation

Pressing B

L'entreprise a mis en place un extracteur d'air dix fois plus puissant relié aux extractions existantes.

Entre les deux interventions, la pollution moyenne de la salle des machines est passée de 21 à 8 ppm. Dans le même temps, l'exposition moyenne des opérateurs machines est passée de 27 à 12 ppm. Par rapport aux pics de pollution, l'exposition aiguë des opérateurs a été réduite sur la durée (4 minutes au lieu de 6 minutes) et en intensité sur l'ensemble des pics observés.

Par ailleurs, la réduction de la pollution due à l'augmentation du débit de ventilation est difficile à estimer car le volume de nettoyage était nettement inférieur lors de la seconde intervention. Cependant, même si la forte augmentation des débits des extracteurs au-dessus des machines n'a pas apporté les bénéfices attendus, elle contribue très probablement à la diminution de l'intensité des pics lors des ouvertures de hublots, ce qui entraîne une diminution du nombre de pics dépassant 100 ppm sur une minute. Il faut souligner que la réduction du nombre de pics résulte également d'une activité réduite dans l'atelier. Ces résultats montrent que les débits d'une ventilation ne sont pas les seuls paramètres à prendre en compte pour réduire la pollution en ambiance. Des mesures d'efficacité auraient sans doute apporté des informations supplémentaires.

Le *Tableau IX* associe les débits de ventilation aux concentrations en PERC, à l'exposition aiguë et de longue durée des opérateurs.

PRESSINGS COMMERCIAUX

Les mesures effectuées montrent que, globalement dans ces pressings, l'exposition des salariées au PERC est inférieure à la VME. Elles s'échelonnent de 2 à 29 ppm et correspondent à l'ensemble des opératrices des pressings.

Par rapport à l'exposition de courte durée, 70 % des profils d'exposition déterminés par PID sont qualifiés de « positifs ». Les opératrices sont exposées en moyenne de 1 à 4 minutes à des pics de concentration supérieurs à 100 ppm. On note également que les concentrations maximales peuvent dépasser 450 ppm et

sont équivalentes à celles observées dans les pressings industriels.

La pollution mesurée en ambiance dans ces établissements se situe entre 2 et 5 ppm (3 ppm moyennés dans le pressing D dépourvu de ventilation mécanique forcée).

Dans l'ensemble, on observe des résultats similaires dans les pressings C et E tant au niveau des mesures de concentrations (toutefois, moins de pics de pollution dans E en raison d'une faible activité) que des débits de ventilation mesurés. Les données concernant les quantités utilisées de PERC par rapport à la masse d'articles nettoyés confirment que les débits d'émission sont équivalents et conformes à ce qu'indique la littérature pour ce type de machines.

Dans les pressings commerciaux, les débits de ventilation sont adaptés aux volumes à ventiler. Cependant, les mesurages réalisés dans le pressing E ont montré que l'efficacité de la ventilation est insuffisante malgré des débits corrects. Il convient donc d'adapter au mieux les dimensions et le positionnement des dispositifs de captage, notamment au-dessus des hublots pour optimiser l'efficacité de la ventilation et réduire l'exposition des opérateurs.

OPÉRATIONS POLLUANTES

Raclage des boues

Ce sont des opérations potentiellement polluantes qui se font en principe une fois par semaine. Les émissions de PERC dépendent du volume, de la température et du degré de séchage des boues.

Dans le pressing A, le raclage des boues a duré 13 minutes et l'exposition correspondante était de 90 ppm. Dans le pressing B, un TCA spécifique, porté par l'opérateur pendant une opération de raclage des boues sur les deux machines, a révélé une concentration de 175 ppm pendant 45 minutes occasionnant, de ce fait, un large dépassement de la valeur STEL tant en concentration qu'en durée. Durant les secondes campagnes, les raclages effectués sur de très faibles quantités de boues n'ont pas généré des niveaux de pollution identiques.

Dans les pressings commerciaux, les raclages de boues sont à l'origine de

pics de concentration de 150 à 200 ppm durant 4 à 10 minutes.

Il convient toutefois de noter que l'exposition réelle des opérateurs qui portaient dans la plupart des cas une protection respiratoire lors de ces opérations est probablement plus faible que celle mesurée que l'on peut qualifier de potentielle.

Nettoyage des filtres

Des pics de concentration pouvant atteindre 1 000 ppm (cf. *Figure 6*) pendant une brève durée sont dus aux nettoyages des différents filtres qui sont effectués une fois par jour.

MESURES PRÉVENTIVES

Les salariés - Le travail

Le personnel doit être informé des dangers du PERC et les règles de prévention correspondantes doivent être affichées. Les employeurs ainsi que le personnel doivent être sensibilisés au risque identifié lors de leur évaluation par une formation initiale et continue pour éviter les dérives augmentant le risque.

Les mesurages et le système CAPTIV ont montré que l'ouverture des hublots était la principale source d'exposition des salariés. Il convient donc d'ouvrir les hublots uniquement pour charger et décharger le tambour. Leurs ouvertures intempestives pendant un cycle de nettoyage pour y ajouter un article, les fonctionnements en sous charge et en surcharge doivent être proscrits car les articles peuvent encore contenir du PERC.

L'évacuation des déchets (essentiellement les boues) doit s'effectuer dans des fûts fermés et stockés à l'extérieur. Les articles sortant des machines et déposés dans des chariots doivent être stockés dans un endroit ou un local ventilé.

Les machines

Par rapport aux installations existantes et pour réduire le risque d'exposition au PERC, il convient de respecter les principes généraux de prévention applicables aux activités de pressings qui sont un entretien régulier des machines pour éviter les fuites de solvant, le strict respect des conditions d'utilisation des machines, notamment au

niveau du cycle du temps de séchage. Certaines machines peuvent être équipées d'options réduisant les possibilités d'ouverture de hublots. Sur les modèles anciens, l'ouverture du hublot n'est possible qu'après une durée de cycle programmée et déterminée. Toutefois, il convient de noter que ces programmes peuvent être stoppés par le personnel pour réduire la durée du cycle quand la charge de travail est importante.

Le suivi des consommations en PERC de chaque machine permet d'éviter des dysfonctionnements. En cas de surconsommation, une intervention de maintenance est à réaliser.

Au-delà, la prévention vis-à-vis du PERC dans les pressings passe par des machines de nouvelle génération avec :

- filtre à charbon régénérable dans le circuit pour une épuration complémentaire de l'air de séchage,
- condenseur amélioré par une réfrigération,
- ouverture de hublots impossible en dehors des cycles programmés, l'ouverture étant asservie à la détection d'arrêt de la condensation du PERC (seuil de séchage) ou à un seuil de détection du solvant résiduel dans le tambour,
- raclage et évacuation automatique des boues.

La ventilation

Cette étude a montré que les dispositifs de ventilation existants ne permettent pas toujours de réduire l'exposition à des niveaux acceptables. Des captages spécifiques doivent être positionnés aux points d'émissions principaux, notamment au-dessus des hublots et au niveau de l'évacuation des boues. Ces dispositifs doivent être complétés par une ventilation générale des locaux. Il convient également de s'assurer, par mesurage, de l'efficacité des captages mis en place.

Les procédés de substitution [32]

Les autres types de machines utilisant des produits de substitution au PERC sont :

- les machines à hydrocarbures qui doivent travailler en atmosphère inerte en raison des risques incendie/explosion. Ces machines, plus répandues en Allemagne qu'en France, sont d'une utilisation plus coûteuse ;
- les machines de nettoyage à l'eau qui utilisent des tensioactifs dont les risques sont peu ou pas connus ;
- les machines utilisant des siloxanes, produits inflammables et qui nécessitent un inertage de la machine à l'azote ; les machines à CO₂ liquide, qui sont d'une technologie très récente et très peu développée à ce jour.

CONCLUSION

Cette étude a permis d'établir un premier constat sur les profils d'exposition au PERC dans des pressings industriels et commerciaux équipés de machines à circuit fermé. Les salariés sont soumis à des pics d'exposition plus ou moins intenses, jusqu'à 1 000 ppm, correspondant essentiellement aux ouvertures de hublots. Elle montre, notamment dans les pressings industriels, que l'exposition répétée aux pics de pollution dans un environnement de surcroît pollué peut engendrer un dépassement de VME. Dans les pressings commerciaux, même si l'exposition individuelle est bien plus faible, les opérateurs sont également exposés à des pics de pollution. Néanmoins, ces résultats témoignent de la réduction générale de l'exposition au PERC dans la profession par rapport aux mesures antérieures faites entre 1986 et 2006 et stockées dans la base de données COLCHIC. Cependant, concernant

ses propriétés cancérigènes, le classement actuel du PERC en catégorie 3 et sa possible évolution en catégorie 1 ou 2, souhaitée par les experts européens, incite à limiter au maximum l'exposition des travailleurs.

Cette étude démontre, une nouvelle fois, l'intérêt de l'utilisation des appareils à mesure directe par photo-ionisation dans la description des expositions aux solvants et, en particulier, dans leur comparaison aux valeurs limites de courte durée (VLE, TLV-STEL ou TLV-C), quand elles existent. Par ailleurs, même si le PERC n'est pas réglementé par une VLE, elle soulève le problème de prévention des salariés face aux pics d'exposition dont l'étude des effets constitue actuellement un axe de recherche important en neurotoxicologie. En l'absence de solutions technologiques évoquées précédemment (machines récentes ou procédés de substitution au PERC) visant à mieux protéger les salariés, le préventeur pourra s'appuyer sur ces résultats pour faire appliquer les règles de prévention générale et pour justifier, en derniers recours, l'obligation du port d'une protection respiratoire (déjà utilisée occasionnellement) lors des tâches les plus polluantes. Dans ce cadre, afin d'aider les professionnels du nettoyage à sec, une brochure « pressing » est en cours de réalisation par le Réseau Prévention.

Reçu le : 19/01/2007
Expertisé le : 09/03/2007
Accepté le : 26/09/2007

BIBLIOGRAPHIE

- [1] TRIOLET J., – Panorama de l'utilisation des solvants en France fin 2004. *Hygiène et Sécurité du Travail*, 2005, ND 2230 – 199 – 05.
- [2] GUICHARD C. – Risques et prévention dans les activités de pressing. *Mémoire de prévention d'Ingénieur-Conseil* : Caisse Régionale d'Assurance Maladie d'Île de France, 2001, E.T.A.P./2001-368.
- [3] LARVOR X., BEDRY R., BROCHARD P., FAVAREL-GARRIGUES J.C. – Perchloroéthylène et nettoyage à sec. *Archives des Maladies Professionnelles*, 1998, 59, 2, pp. 127-128.
- [4] DELRUE R., FONTAINE B., LEVENT D. – Étude d'un milieu professionnel : les pressings. *Cahiers de Médecine Interprofessionnelle*, 1995, 35, 1, pp. 5-19.
- [5] BOITEAU H.L. – Risques toxiques dans les pressings. *Archives des Maladies Professionnelles*, 1999, 60, 8, pp. 771-778.
- [6] POIROT P., SUBRA I., BAUDIN V., HERY M., CHOUANIERE D., VINCENT R. – Détermination du profil d'exposition à moyen terme de peintres en bâtiment. INRS, *Cahiers de notes documentaires*, 2000, ND 2125, 179, pp. 3-13.
- [7] POIROT P., SUBRA I., GERARDIN F., BAUDIN V., HERY M. – Determination of short time exposure with a direct reading photoionization detector. *Annals of Occupational Hygiene*, 2004, vol. 48, N° 1, pp. 75-84.
- [8] POIROT P., HUBERT-PELLE G. – Profils d'exposition aux solvants et comparaison aux valeurs limites de courtes durée. INRS, *Hygiène et Sécurité du Travail*, 2005, ND 2235, 179, pp. 83-93.
- [9] BRAND F., CASTELB., LEFEVRE C., DELCOURT J. – Test de deux détecteurs à photo-ionisation DL-101 (HNU) et MICROTIP (PHOTOVAC). *Chimie Info*, 1996, 56, pp. 31-48.
- [10] MARTIN P., BRAND F., SERVAIS M. – Correlation of the exposure to a pollutant with a task-related action or workplace: The CAPTIV System. *Annals of occupational hygiene*, 1999, 43, pp. 221-233.
- [11] Fiches Toxicologiques N° 29 Tétrachloroéthylène. Site Web INRS. FT N°29 édition 2004.
- [12] Fiche Biotox – Substance TETRACHLOROETHYLENE. Site Web INRS juillet 2007.
- [13] VERPLANKEA., LEUMMENS M.H.L., HERBER R.F.M. – Occupational Exposure to Tetrachlorethene and Its Effects on the Kidneys. *Journal of Occupational Environmental Medicine*, 1999, 41, pp. 11-16.
- [14] ILLING H.P.A., MARISCOTTI S.P., SMITH A.M. – Toxicity review Tetrachlorethylene (tetrachlorethene, perchlorethylene). Health and Safety Executive, HMSO, London, 1987, pp. 1-81.
- [15] ECHEVERRIA D., WHITE R.F., SAMPAIO C. – A Behavioral Evaluation of PCE in Patients and Dry Cleaners: A Possible Relationship Between Clinical and Preclinical Effects. *Journal of Occupational Environmental Medicine*, 1995, 37, pp. 667-680.
- [16] WALKER J.T., BURNETT C.A., LALICH N.R., SESTITO J.P., HALPERIN W.E. – Cancer Mortality Among Laundry and Dry Cleaning Workers. *American Journal of Industrial Medicine*, 1997, 32, pp. 614-619.
- [17] MUNDT KA., BIRK T., BURCH MT. – Critical Review of the Epidemiological Literature Occupational Exposure to Perchloroethylene a Cancer. *International Archives of Occupational and Environmental Health*, 2003, 76, pp. 473-491.
- [18] Valeurs limites d'exposition professionnelles aux agents chimiques en France. INRS, aide-mémoire technique, 2006, ED 984, pp. 01-23.
- [19] ACGIH Documentation of the TLVs® and BEIs® with other Worldside Occupational Exposure Values 2004 CD-ROM.
- [20] HOWARD R., LUDWIG H.R., MEISTER M.V., ROBERTS D.R., COX C. – Worker Exposure to Perchloroethylene in the Commercial Dry Cleaning Industry. *American Industrial Hygiene Association Journal*, 1983, 44, pp. 600-605.
- [21] MATERNA B.L. – Occupational Exposure to Perchloroethylene in the Dry Cleaning Industry. *American Industrial Hygiene Association Journal*, 1985, 46, pp. 268-273.
- [22] SOLET D., ROBINS T.G., SAMPAIO C. – Perchloroethylene Exposure Assessment Among Dry Cleaning Workers. *American Industrial Hygiene Association Journal*, 1990, 51, pp. 566-574.
- [23] LAUWERYS R., HERBRAND J., BUCHET JP., BERNARD A., GAUSSIN J. – Health Surveillance of Workers exposed to Tetrachlorethylene in Dry-cleaning Shops. *International Archives Occupational & Environmental Health*, 1983, 52, pp. 69-77.
- [24] EARNEST G.S. – Evaluation and Control of Perchloroethylene Exposures During Dry Cleaning. *Applied Occupational and Environmental Hygiene*, 1996, 11, pp. 125-132.
- [25] VON GROTE J., HURLIMANN C., SCHERINGER M., HUNGERBUHLER K. – Assessing Occupational Exposure to Perchloroethylene in Dry Cleaning. *Journal of Occupational Environmental hygiene*, 2006, 3, pp. 606-619.
- [26] VINCENT R., JEANDEL B. – COLCHIC, Occupational Exposure to Chemical Agents Database: Current Content and Development Perspectives. *Applied Occupational and Environmental Hygiene* (2001); 16(2), 115-121.
- [27] WALSH P.T., CLARK R.D.R., FLAHERTY S., GENTRY S.J. – Computer-Aided Video Exposure Monitoring. *Applied Occupational and Environmental Hygiene*, 2000, 15, pp. 48-56.
- [28] DANIEL W.J., SALISBURY S. – Video Exposure Monitoring at NIOSH: An Update. *Applied Occupational and Environmental Hygiene*, 1997, 12, pp. 638-641.
- [29] DELCOURT J., SANDINO J.P. – Évaluation des performances du badge GABIE dans des atmosphères industrielles. *Cahiers de notes documentaires*, 2000, ND 2141, 181, pp. 79-88.
- [30] ALLEMAND N., BOUSCAREN R., et al. – Impact économique de la directive européenne sur la limitation des émissions de COV en provenance de l'utilisation des solvants en France. Citepa / Ifare, 2000.
- [31] Logiciel ALTREX CHIMIE. Version 1.0.3. du 24 février 2006 disponible sur le site Web INRS.
- [32] DELERY L. – Rapport d'étude ; Note sur les produits de substitution du perchloroéthylène dans les installations de nettoyage à sec. Analyse de la réglementation et des pratiques à l'étranger. Ref. : INERIS-DRC-05-45955 ERSA/Lde N°9.