

AVERTISSEMENT AU LECTEUR

L'évolution des dispositions réglementaires a conduit à la révision de certaines valeurs limites d'exposition professionnelle qui étaient admises au moment de l'étude : il conviendra d'en tenir compte lors de la lecture du document et en particulier dans l'interprétation des données.

PROFILS D'EXPOSITION AUX SOLVANTS ET COMPARAISON AUX VALEURS LIMITES DE COURTE DURÉE

Cet article décrit l'exposition aux solvants de salariés d'entreprises industrielles et la situe par rapport aux valeurs limites de courte durée. L'utilisation d'appareils portables à lecture directe (PID) a permis de déterminer le profil d'exposition et de mettre en évidence les pics d'exposition. En parallèle, l'évaluation des expositions de longue durée a été réalisée de façon classique par prélèvement d'atmosphère. L'exploitation conjointe des deux types de données a permis de quantifier les pics d'exposition. Si dans l'ensemble les valeurs limites de référence de longue durée (VME) sont respectées, sauf dans le cas d'opérations particulières, l'apport des PID montre que les salariés peuvent être soumis à des pics d'exposition plus ou moins intenses et de durée variable en fonction du travail effectué. Globalement, plus de 2/3 des profils d'exposition déterminés sur 109 salariés travaillant dans neuf entreprises présentent au moins un dépassement de valeurs limites d'exposition (VLE).

Les solvants organiques sont des agents chimiques largement utilisés dans de nombreux procédés industriels. En raison de la volatilité de la plupart d'entre eux, l'inhalation des vapeurs constitue le principal risque chimique lié à leur utilisation. 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 définis par le Ministère du Travail : des valeurs limites de moyenne d'exposition (VME) destinées à protéger les salariés des effets à terme et des valeurs limites d'exposition à court terme (VLE) dont le respect permet d'éviter les risques toxiques immédiats ou à court

terme [1]. Cette valeur est une valeur plafond mesurée sur une durée n'excédant pas quinze minutes. L'ACGIH (American Conference of Government Industrial Hygienists), dont les valeurs servent de référence dans de nombreux pays y compris en France, propose deux types de VLE : la TLV-STEL (Threshold Limit Value - Short Term Exposure Limit) qui est une valeur moyenne pondérée sur quinze minutes et la TLV-C (Threshold Limit Value - Ceiling) qui est une valeur plafond instantanée ne devant pas être dépassée [2].

Si, pour de nombreuses activités industrielles, les expositions relatives aux VME sont bien décrites dans la littérature internationale, les données concernant les comparaisons aux VLE

- Solvant
- Appareil à lecture directe
- Exposition professionnelle
- Mesure
- Valeur limite

► Pascal POIROT, Geneviève HUBERT-PELLE
INRS, Département Ingénierie des procédés

SOLVENT EXPOSURE PROFILES AND COMPARISON WITH SHORT-TERM LIMIT VALUES

This article describes employee exposure to solvents in industrial companies and compares it with short-term limit values. Use of Direct reading Portable Instruments (DPIs) allows exposure profiles to be determined and exposure peaks to be displayed. Long-term exposure is assessed in parallel by conventional air sampling. Exposure peaks can be quantified using two forms of data. Whilst long-term reference limit values are only exceeded during special operations, the contribution of DPIs shows that employees may be exposed to peak concentrations of varying intensity and duration, depending on the work performed. Overall, more than 2/3 of exposure profiles determined for 109 employees in 9 companies exceed short-term reference limit values (ELVs) at least once.

- Solvent
- Direct reading instrument
- Occupational exposure
- Measurement
- Limit value

effectuées sur les polluants gazeux organiques sont rares, voire pratiquement inexistantes. La rareté des contrôles d'atmosphère des lieux de travail relatifs aux VLE résulte des problèmes de méthodes adaptées de prélèvement et d'analyse [3, 4, 5, 6, 7]. En effet, l'échantillonnage classique sur support adsorbant des polluants doit se faire lors du pic de pollution sur une durée maximale de quinze minutes ce qui, compte tenu des limites de détection des méthodes analytiques conventionnelles, rend difficile la comparaison à une VLE. De plus, un prélèvement d'une durée supérieure à celle du pic de pollution entraîne une sous-estimation de la concentration maximale.

Dans la plupart des cas, l'exposition aux solvants n'est pas constante dans le temps et varie en fonction du travail à effectuer et du procédé utilisé. Dès lors, l'étude de l'exposition au poste de travail nécessite de connaître non seulement l'exposition moyenne par rapport à la VME au moyen de mesures conventionnelles, mais aussi de repérer les phases polluantes à l'aide d'appareils à lecture directe du type à photo-ionisation (PID) pour déterminer l'exposition de courte durée par rapport à la VLE.

Au cours d'une étude précédente [8], l'utilisation de PID, pour la mesure en continu des concentrations des solvants dans les atmosphères de travail, a mis en évidence les variations d'exposition de peintres en bâtiment et déterminé les pics d'exposition [8-II]. Ces travaux ont notamment montré que, si dans l'ensemble les VME étaient respectées, des dépassements de VLE étaient enregistrés sur des périodes plus ou moins longues.

L'utilisation de ces appareils dans d'autres secteurs industriels où les salariés sont exposés à des solvants organiques a permis d'établir les profils d'exposition, de mieux détecter les opérations polluantes et de renseigner sur les expositions de courte durée concernant :

- l'intensité des pics d'exposition,
- la fréquence des pics,
- la durée des pics.

L'ensemble des données recueillies aide à mieux cibler les actions préventives par rapport aux différentes phases de travail.

Cet article propose de décrire les profils d'exposition aux solvants de 109 salariés travaillant dans neuf entreprises appartenant à différents secteurs d'activité.

MÉTHODOLOGIE

Une campagne de mesures a été menée dans neuf entreprises, avec le concours des Services Prévention des Caisses Régionales d'Assurance Maladie concernées et des médecins du travail.

Des visites préliminaires ont permis d'étudier la faisabilité d'une intervention. Les entreprises sélectionnées devaient en effet satisfaire aux contraintes imposées par l'étude : salariés équipés simultanément des appareils de prélèvement destinés aux deux types de mesurage (PID pour mesure en continu, tube adsorbant et pompe pour prélèvement "classique").

Les paramètres ayant guidé ces choix prenaient en compte :

- l'activité des salariés aux postes de travail (les mesurages n'ont pas concerné le personnel trop mobile, polyvalent et/ou ayant été exposé successivement à différents mélanges de solvants) ;
- la nature des solvants utilisés, qu'ils soient purs ou en mélange (compatibilité de détection par rapport aux deux techniques utilisées, limite de sensibilité) ;
- la durée et la fréquence des phases de travail avec ou sans solvant ;

■ le niveau moyen d'exposition supposé des salariés ou déjà connu (mesures antérieures).

Les entreprises sont présentées *Tableau I*. Les effectifs exposés aux solvants varient en fonction de l'activité de l'entreprise : de un salarié dans une entreprise de construction métallique à plusieurs dizaines dans les secteurs de l'imprimerie sur papier. Le nombre de mesurages par entreprise est également variable ; il a été optimisé en fonction des moyens mobilisés (durée de l'intervention et PID disponibles) et des contraintes apportées par l'entreprise. Les mesurages ont concerné les salariés a priori les plus exposés dans les limites fixées par les impératifs techniques cités ci-dessus.

La quantité et la nature des solvants dépendent de la taille des entreprises, des procédés utilisés et du type de production. L'héliogravure sur feuille d'aluminium, par exemple, nécessite, en fonction du type de production, des encres de différentes natures pouvant contenir des solvants divers.

Les entreprises ont été réparties en deux catégories : celles utilisant un seul solvant dans le secteur d'activité concerné (entreprises A à D) et les autres (E à I) utilisant un mélange de solvants.

TABLEAU I

Secteurs d'activité étudiés Activity sectors studied

Entreprise	Activité	Poste	Principaux polluants gazeux	Nombre de mesures PID
A	fabrication de peinture en bâtiment	atelier de fabrication et de conditionnement	white-spirit	14
B	imprimerie procédé héliogravure	Nettoyage de rotatives (B1)	toluène	6
B	imprimerie procédé héliogravure	rotatives, impression (B2)	toluène	29
C	imprimerie procédé héliogravure	rotatives	toluène	40
D	laboratoire pharmaceutique : fabrication de médicaments	opérateur granulation	éthanol	6
E	fabrication d'éléments métalliques de construction	mise en peinture d'éléments métalliques	hydrocarbures aromatiques, toluène, MIBK	6
F	enduction de tissus	conducteurs de machines	MEK, toluène, acétate d'éthyle	28
G	fabrication d'emballages souples : impression, et collage de feuilles d'aluminium	conducteurs de machines	MEK, acétate d'éthyle	22
G bis	fabrication d'emballages souples : impression	conducteurs de machines	MEK, acétate d'éthyle	13
H	enduction et contre-collage de textiles techniques	conducteurs de machines (chargeurs)	MEK, toluène, white-spirit	34
I	impression de films plastiques procédé héliogravure	imprimeurs	MEK, acétate d'éthyle	34

STRATÉGIE DE PRÉLÈVEMENT ET DE MESURAGE

Dans tous les cas, un prélèvement "classique" a été réalisé conjointement à la mesure du PID. L'utilisation conjointe systématique des deux techniques indépendantes permet, en cas de mono pollution, un contrôle des résultats et de situer l'exposition moyenne par rapport aux expositions de courte durée (pics d'exposition). Dans le cas d'une pollution due à un mélange de solvants, l'adjonction d'un prélèvement sur support adsorbant est indispensable pour calculer l'intensité des pics d'exposition (cf. Mesure des variations d'exposition au poste de travail par PID).

Les sondes de prélèvement étaient fixées sur les salariés concernés à proximité des voies respiratoires. Pour chaque mesurage, les deux systèmes ont fonctionné en parallèle pendant la même durée. Dans certains cas, les tubes de prélèvement ont été changés pendant le poste en fonction du travail effectué (opération particulière, nettoyage avec un solvant autre que celui utilisé habituellement).

Une observation attentive des tâches ainsi que l'utilisation de fiches de poste remises aux ouvriers dans certaines entreprises ont permis de corréliser les niveaux d'exposition et les activités.

En raison du poids de l'appareillage (environ 1 kg), seuls les salariés volontaires ont été équipés de ce double dispositif, les mesurages étant effectués sur des demi-postes de travail.

MESURE DE L'EXPOSITION MOYENNE SUR SUPPORT ADSORBANT

Les vapeurs de solvants présentes dans les atmosphères de travail sont piégées sur un support adsorbant relié à une pompe de prélèvement assurant un débit constant compris entre 20 et 200 ml/min. Les tubes utilisés, dépendant de la nature des polluants, sont de deux types :

- d'une part, un tube comportant deux plages (100 et 50 mg) de charbon actif adapté à l'échantillonnage de la plupart des vapeurs de solvants (SKC® 226-06) ;

- d'autre part, un tube comportant deux plages (160 et 90 mg) de tamis moléculaire graphitisé (160 et 90 mg) servant à piéger la méthyléthylcétone ou MEK (réf. 2-0358 Supelco®).

Dans les deux cas, la première plage sert au piégeage des vapeurs alors que la

seconde sert de témoin de saturation de la précédente.

Ces prélèvements ont été effectués en référence aux VME des solvants.

Après désorption du support adsorbant dans 1 ml de sulfure de carbone, le désorbat est 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 ;

- colonne Supelcowax® ; L = 60 m, diamètre interne = 0,75 mm.

MESURE DES VARIATIONS D'EXPOSITION AU POSTE DE TRAVAIL PAR PID

Pour mettre en évidence la variation d'exposition pendant le poste de travail, un appareil de mesure à lecture directe équipé d'un détecteur par photo-ionisation (PID) (PHOTOVAC® 2020) et d'une lampe standard à 10,6 eV a été utilisé.

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 composés organiques volatils photo-ionisables présents dans l'atmosphère mais délivre une valeur moyenne par intervalle de temps programmé. Les mesurages au cours de cette campagne ont été réalisés avec un intervalle d'une minute. 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.

Le fonctionnement du PID repose sur le principe de détection des substances ayant un potentiel de ionisation inférieur à celui de la lampe utilisée. 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 permis notamment de vérifier que la réponse du PID était linéaire en fonction des concentrations et, qu'en cas de mélange gazeux, la réponse de l'appareil était la somme des réponses liées à chacun des produits du mélange [11].

Dans le cas d'une mono pollution, les concentrations en solvant peuvent être calculées à l'aide du coefficient de réponse de la substance exprimé par rapport à la réponse de l'isobutylène. L'ajustement à la concentration moyenne issue du prélèvement classique sur tube (cf. ci-dessous) qui fait référence permet d'améliorer la précision des mesures [12].

Cet appareil n'étant pas sélectif, il ne permet donc pas, dans le cas d'un mélange de polluants, d'analyser qualitativement et quantitativement chaque composé présent. Pour cette raison et compte tenu des limites de ce type d'appareillage, il est nécessaire d'effectuer en parallèle un prélèvement ambulatoire sur tube permettant de connaître l'exposition globale en référence à la VME pour calculer l'exposition en référence à la VLE (cf. ci-dessous).

VALEURS LIMITES ET RÉGLEMENTATION

Les concentrations mesurées sur les tubes de prélèvement échantillonnés sur un demi-poste de travail ont été comparées aux VME et aux valeurs américaines de l'ACGIH (TLV-TWA) quand il n'y avait pas de valeurs françaises.

Les concentrations maximales déterminées par les PID ont été comparées aux VLE ou aux valeurs américaines de l'ACGIH (TLV-STEL et TLV-C) en l'absence de VLE française.

Lorsque plusieurs polluants gazeux sont présents simultanément dans l'atmosphère de travail, l'exposition moyenne du salarié est exprimée sous la forme d'un indice d'exposition moyenne (I.exp) :

$$I.exp = C_1/VME_1 + C_2/VME_2 + \dots + C_n/VME_n$$

où C_n désigne la concentration et VME_n la valeur limite moyenne du polluant n.

Si I.exp est supérieur à 1, la valeur limite moyenne du mélange est dépassée.

Un indice d'exposition de courte durée (I.exp.cd) a été calculé pour exprimer l'exposition de courte durée des salariés par rapport aux différentes valeurs limites de courte durée (VLE). Une valeur de cet indice supérieure à 1 est également synonyme de dépassement de la VLE du mélange gazeux.

À noter que la valeur de cet indice dépend du temps d'échantillonnage puisque la VLE est une valeur plafond sur une durée maximale de quinze minutes alors que les techniques de mesurage utilisées dans cette étude permettent de le calculer sur une minute.

Remarque : dans cet article, les abréviations "VME" et "VLE" désignent, en fonction du contexte, aussi bien la valeur limite d'un solvant (unité en mg/m³) que la valeur limite d'un mélange de solvant (indice sans unité).

CALCUL DE L'EXPOSITION DE COURTE DURÉE

Cas d'une mono pollution

Les concentrations de courte durée (C_t) ont été recalculées à partir des concentrations issues du PID et des concentrations moyennes (C_{moy}) obtenues pour chaque prélèvement correspondant sur tube :

$$C_t = (V_t / V_{moy}) C_{moy}$$

où V_t et V_{moy} sont les concentrations respectivement au temps t et moyennes fournies par le PID.

Cas d'une multi pollution

La valeur de l'exposition instantanée I.exp.cd est donnée par :

$$I.exp.cd = (V_t / V_{moy}) I$$

où I est un indice intermédiaire calculé à partir des concentrations moyennes des solvants obtenues par prélèvement sur tube et de leurs VLE respectives.

VALEURS LIMITES DES SOLVANTS DOSÉS

Le *Tableau II* indique, pour l'ensemble des prélèvements, tous les solvants identifiés et dosés ainsi que leurs valeurs limites respectives.

Les valeurs retenues pour le calcul des concentrations sont indiquées en gras.

TABLEAU II

Valeurs limites des solvants dosés Dosed solvent limit values

	France (VME mg/m ³)	France (VLE mg/m ³)	États-Unis (TLV-TWA mg/m ³)	États-Unis (STEL mg/m ³)
acétone	1800		1780	2380
éthanol	1900	9500	1880	
isopropanol		980	983	
méthyléthylcétone (MEK)	600		590	885
acétate d'éthyle	1400	-	1440	-
tétrahydrofurane (THF)	590		590	737
acétate d'isopropyle	950	1140	1040	1290
acétate de n-propyle	840		835	1040
acétate de n-butyle	710	940	713	950
méthylisobutylcétone (MIBK)	205			307
toluène	375	550	188	-
cyclohexanone	100		100	
éthylbenzène	435		434	543
xylènes	435	650	434	651
white-spirit	500 (valeur d'objectif)	1500	525	

Certaines valeurs admises au moment de l'étude ont pu évoluer depuis [1, 2].
Some values allowed at the time of the study may have since changed [1, 2].

TABLEAU III

Concentrations et expositions moyennes Concentrations and mean exposures

Entreprise	Solvant (VME mg/m ³)	Prélèvements sur tubes (VME)				
		Concentration moy (mg/m ³)	Amplitude	n : C > VME	Durée moyenne (min)	Nombre
A	white-spirit (500)	87	180 - 268	0	206	14
B (1)	toluène (375)	2549	1 017 - 3 351	6	180	6
B (2)	toluène (375)	201	92 - 382	2	184	29
C	toluène (375)	129	15 - 438	2	227	40
D	éthanol (1900)	1 331	1 163 - 1 597	0	302	6
	Solvants	Moyenne : I.exp	Amplitude	n : I.exp > 1	Durée moyenne (min)	Nombre
E	HC aromatiques, toluène, MIBK	0,37	0,28 - 0,54	0	142	6
F	MEK, toluène, acétate d'éthyle	0,24	0,05 - 1,06	1	213	28
G	MEK, acétate d'éthyle	0,32	0,10 - 1,27	1	212	25
G bis	MEK, acétate d'éthyle	0,29	0,11 - 0,60	0	209	13
H	MEK, toluène, white spirit	0,46	0,07 - 1,70	2	200	34
I	MEK, acétate d'éthyle	0,72	0,24 - 1,71	6	218	34
				tot = 20		tot = 235

TABLEAU IV

Fréquence et intensité des pics d'exposition
Frequency and intensity of exposure peaks

Entreprises	Solvant (VLE mg/m ³)	Mesures par PID (VLE)							
		durée moy (min)	nombre	n : profil(s) positif(s)	C max (1 min)	par profil positif ; n pic : C > VLE	par profil positif ; t (min) : C > VLE	t tot (min) C > VLE	durée (pics) / temps travail (moy en %)
A	white spirit (1500)	206	14	0	675	0	0	0	0%
B (1)	toluène (550)	129	6	6	> 4000	dépassement presque continu	101	604	78%
B (2)	toluène (550)	184	29	15	3482	3	10	143	3%
C	toluène (550)	227	40	34	3573	7	17	563	6%
D	éthanol (9500)	302	6	3	12500	1,3	6	17	1%
	Solvants	durée moy (min)	nombre	n : profil(s) positif(s)	l.cd max (1 min)	par profil positif ; n pic : C > VLE	par profil positif ; t (min) : C > VLE	t tot (min) C > VLE	durée (pics) / temps travail (moy en %)
E	HC aromatiques, toluène, MIBK	142	6	4	4,16	1	6	23	3%
F	MEK, toluène, acétate d'éthyle	213	28	18	7,17	4	9	157	3%
G	MEK, acétate d'éthyle	212	22	19	5,45	4	8	144	3%
G bis	MEK, acétate d'éthyle	209	13	12	8,7	6	11	134	5%
H	MEK, toluène, white spirit	200	34	26	7,95	5	9	247	4%
I	MEK, acétate d'éthyle	218	34	32	7,22	10	24	761	10%
			tot = 232	tot = 169					

Profil positif : profil présentant au moins un pic d'exposition avec dépassement de VLE pendant une minute ou plus.
 Positive profile: features at least one exposure peak exceeding the ELV for one minute or more.

Remarque :

par analogie avec les autres solvants dosés, il a été attribué à l'acétate d'éthyle et à la cyclohexanone dépourvus de VLE une valeur de 1,5 fois leur VME, soit respectivement 2 100 et 150 mg/m³. Cette convention a permis de déterminer un indice situant l'exposition de courte durée des salariés par rapport à un référentiel cohérent (à défaut d'être officiel).

RÉSULTATS ET COMMENTAIRES

Au total, 232 profils d'exposition (PID) ainsi que 235 mesures d'exposition moyenne (prélèvements sur tubes) ont été réalisés. Ces mesurages ont concerné 108 salariés.

Les résultats des prélèvements individuels sur tubes sont présentés

Tableau III. Ils comportent, principalement par secteur d'activité, le nombre de mesures, les concentrations moyennes avec les valeurs minimales et maximales ainsi que le nombre de dépassements de la VME.

Le *Tableau IV* présente une synthèse des résultats obtenus par les PID au cours de cette étude. Il porte sur l'exposition de courte durée dans les ateliers de travail par rapport aux dépassements de VLE en termes d'intensité, de durée et de fréquence des pics d'exposition aux solvants.

Les résultats sont présentés globalement par entreprise sans distinction de poste de travail.

FABRICATION DE PEINTURE EN BÂTIMENT (A)

La société A fabrique des peintures hydrodiluable et des peintures glycérophtaliques (à base de white-spirit) pour le bâtiment. La fabrication est effectuée dans des réacteurs semi-ouverts où

les différents adjuvants et le white-spirit sont ajoutés à la résine, constituant principal. Après homogénéisation, la peinture est conditionnée via une chaîne semi-automatique en pots et seaux dont la contenance varie de un à 20 litres.

Les mesures ont concerné le personnel de fabrication et de conditionnement des peintures glycérophtaliques exposé aux vapeurs de white-spirit. En fin de chaque fabrication, les cuves sont nettoyées par brossage manuel en utilisant du white-spirit.

IMPRIMERIES PAR HÉLIOGRAVURE (B ET C)

Ces sociétés assurent le tirage de divers magazines, journaux périodiques et catalogues de vente ou publicitaires par procédés d'héliogravure. Chaque usine dispose de plusieurs rotatives qui impriment en quadrichromie recto-verso des bandes de papiers d'une largeur de trois mètres. Les encres utilisées contiennent environ 50 % de

TABLEAU V

Comparaison des expositions par rapport aux VME et VLE
Comparison of exposures with ELVs and EMVs

Entreprises	Solvant	Prélèvements sur tubes (VME)		Mesures tubes* et PID		Mesures par PID (VLE)
		C moy (mg/m ³)	n : C > VME	durée moy (min)	n	n profil(s) «positif (s)»
A	white spirit	87	0	206	14	0
B (1)	toluène	2549	6	180* et 129	6	6
B (2)	toluène	201	2	184	29	15
C	toluène	129	2	227	40	34
D	éthanol	1331	0	302	6	3
	Solvants	moy : l.exp	n : l.exp > 1	durée moy (min)	n	n profil(s) «positif (s)»
E	HC aromatiques, toluène, MIBK	0,37	0	142	6	4
F	MEK, toluène, acétate d'éthyle	0,24	1	213	28	18
G	MEK, acétate d'éthyle	0,32	1	212	25* et 22	19
G bis	MEK, acétate d'éthyle	0,29	0	209	13	11
H	MEK, toluène, white spirit	0,46	2	200	34	26
I	MEK, acétate d'éthyle	0,72	6	218	34	32

toluène qui, après condensation, est recyclé pour une nouvelle utilisation. Le toluène, sous forme de solvant technique, sert à l'ajustage de la viscosité et aux nettoyages de pièces de rotatives en contact avec les encres. Toutes les rotatives sont entièrement capotées dans le double but de réduire la pollution chimique et les nuisances sonores dans les ateliers. Les mesurages ont concerné les conducteurs et leurs seconds.

Nettoyage de rotative (B1)

Des mesures d'exposition ont été réalisées dans l'imprimerie B au cours de la révision annuelle de l'une des rotatives. À cette occasion, la machine en révision est entièrement nettoyée. Ce nettoyage manuel de grande ampleur s'effectue avec chiffon et seau de toluène à proximité. En certains endroits, les encres séchées doivent être détremées par le solvant avant de pouvoir être éliminées. La pénibilité du travail se trouve renforcée par les concentrations très élevées en solvant. Cette opération de nettoyage spécifique est peu fréquente et en fait un travail classé "à part".

INDUSTRIE PHARMACEUTIQUE (D)

Dans ce laboratoire pharmaceutique, la fabrication discontinue de deux médicaments à base d'extraits de plantes nécessite de l'éthanol. La répartition manuelle du produit fini, encore imbibé d'alcool, sur des plateaux dans une salle ventilée et exigüe, génère des concentrations élevées en éthanol obligeant les laborantins à s'équiper d'une cagoule à adduction d'air pour cette opération. Trois opérateurs ont été concernés par ces mesures d'exposition durant trois jours.

APPLICATION DE PEINTURE INDUSTRIELLE (E)

La société E réalise la construction de pièces métalliques de grandes dimensions pour le bâtiment. Une fois terminées, ces pièces sont peintes avec une peinture primaire empêchant ainsi la corrosion durant le stockage et avant expédition. La peinture est appliquée par pistolet pneumatique dans un grand hall largement ouvert sur l'extérieur par l'un de ses côtés. Au cours de la campagne de mesures, le peintre a utilisé une

peinture époxydique à deux composants assurant une protection améliorée du métal (par rapport à une peinture glycérophthalique). Le matériel est nettoyé avec du toluène en fin de poste.

ENDUCTION DE TEXTILES TECHNIQUES, COLLAGE DE MOUSSE (F ET H)

Ces deux entreprises réalisent l'enduction de supports aussi variés que des toiles cirées, toiles de parapente, toiles polyester renforcées pour voiliers, tissus divers pour vêtements et textiles techniques. Les produits d'enduction sont tout aussi diversifiés avec des résines vinyliques, PVC, polyuréthanes, silicones... Les principaux solvants entrant dans la composition de ces résines sont la méthyléthylcétone (MEK), l'acétate d'éthyle, le toluène, le white-spirit et la méthylisobutylcétone (MIBK). Les salariés sont également exposés aux solvants de nettoyage lors des opérations s'intercalant entre les cycles de fabrication. Ces sociétés possèdent chacune une unité de contre-collage, technique s'apparentant à l'enduction.

IMPRESSION, LAQUAGE DE FEUILLE D'ALUMINIUM (G)

L'activité principale de cette entreprise est la fabrication d'emballages souples pour les marchés de l'alimentaire et de la pharmacie. Dans un atelier, deux laqueuses de grandes dimensions entièrement capotées servent à vernir en recto-verso des feuilles d'aluminium destinées à emballer des fromages à pâte molle. Dans un autre atelier, deux imprimeuses non capotées assurent l'impression sur des feuilles d'aluminium pour l'emballage de comprimés pharmaceutiques (blisters). Les deux types de machines fonctionnent suivant un procédé d'héliogravure ; les vernis et encres utilisés sont à base de résines vinyliques et nitrocellulosiques. Les salariés de ces ateliers sont principalement exposés à la MEK et à l'acétate d'éthyle.

Une seconde série de mesurages (G bis) a été réalisée postérieurement uniquement sur une laqueuse ayant subi des modifications en vue de réduire l'exposition des opérateurs aux vapeurs de solvants. Ces résultats sont présentés *Tableau V*.

IMPRESSION DE FILMS PLASTIQUES (I)

L'entreprise I réalise l'impression de films plastiques par procédé d'héliogravure. Les supports imprimés, souvent de grande largeur, peuvent être de nature différente : films PVC destinés à la couverture de piscines, films acryliques, polystyrènes... La diversité des matières de ces supports nécessite l'emploi d'encres de types variés et de différents solvants.

Les entreprises B, C, F, G, H et I ont la particularité commune d'utiliser des machines ayant un principe de fonctionnement similaire puisqu'il s'agit, par procédé d'héliogravure, d'imprimer, d'enduire, de laquer et coller différents supports de grande largeur et de faible épaisseur (papier, film plastique, tissus, mousse, feuille d'aluminium...). Dans l'ensemble, on retrouve cette similitude dans le travail des opérateurs. Leur fonction les amène, en-dehors des activités de production, à effectuer des réglages, des essais, des approvisionnements en produit, des ajustements de viscosité... et des opérations automatiques et/ou manuelles de nettoyage avec solvants. Globalement, les mesurages se sont portés sur les conducteurs de machines et leurs seconds.

Chaque campagne de mesures d'une durée variable (trois à six jours) a concerné quatre opérateurs au maximum par demi-poste de travail. Les résultats des mesurages réalisés au cours de cette étude sont représentatifs de l'exposition aux solvants des salariés lors d'une activité dite "normale".

DISCUSSION

EXPOSITIONS DE LONGUE DURÉE

À l'exception des résultats concernant le nettoyage exclusif de rotatives (entreprise B1), soit six mesures, les expositions moyennes des salariés sont dans l'ensemble nettement inférieures à la VME. Quatorze valeurs sur 229, soit 6 %, sont supérieures à la VME, les valeurs maximales ne dépassant jamais deux fois cette dernière. En ce qui concerne l'entreprise B1, les fortes concentrations en toluène reflètent le caractère extrêmement polluant de cette opération de nettoyage : C moy = 2 550 mg/m³, amplitude de

1 000 à 3 350 mg/m³. Trois opérateurs sur six portaient occasionnellement un masque anti-gaz pour effectuer ces travaux.

EXPOSITIONS DE COURTE DURÉE

Profils d'exposition

Les *Figures 1 à 6* illustrent quelques profils d'exposition représentatifs des situations étudiées.

Les *Figures 1, 3 et 4* illustrent des cas d'exposition relativement faible pendant le travail de production ; les pics sont surtout dus à des opérations manuelles de nettoyage polluantes.

La *Figure 2* renseigne sur l'exposition à l'éthanol des opérateurs du laboratoire pharmaceutique. Elle est caractéristique de l'exposition correspondant à deux fabrications successives par poste. A noter que lors de la mise en plateau du produit, les salariés revêtent une cagoule à adduction d'air.

La *Figure 5* présente l'exposition d'un imprimeur sur film plastique surveillant attentivement un début de production "délicate" ; de nombreux pics supérieurs à la VLE sont observés. La moyenne de cet ensemble de pics d'exposition aboutit à un dépassement de VME.

La *Figure 6* est caractéristique d'une situation assez rare où il n'y a pas de dépassement de VLE, bien que l'indice moyen ne soit pas négligeable (I.exp = 0,6).

Dans la plupart des secteurs étudiés, l'étude des profils montre des variations d'exposition très importantes. La principale source d'exposition, concernant les entreprises B, C, F, G, H et I, est due aux opérations manuelles et ponctuelles de nettoyage avec des solvants. La forte variabilité de l'exposition au cours du poste de travail s'explique également par le fait que, pendant les phases de production (sans incident technique) en atelier, les opérateurs peuvent travailler à distance de la source polluante. Mais, en cas d'intervention sur la machine, l'exposition peut être intense malgré la présence de dispositifs de captage des vapeurs placés aux endroits stratégiques.

Intensité et fréquence des pics d'exposition

72 % des 232 tracés d'exposition établis, soit 168 profils, sont qualifiés de "positifs" car ils présentent au moins un

pic d'exposition dont l'indice est égal ou supérieur à la VLE pendant une minute ou plus. Les dépassements de VLE se rencontrent dans tous les secteurs étudiés sauf dans l'entreprise A (fabrication de peinture à base de white-spirit). Selon les entreprises, un à dix pics dont la valeur est supérieure à la VLE sont comptabilisés par profil "positif". Par ailleurs, le temps cumulé de ces dépassements varie de 6 à 24 minutes pendant un demi-poste à l'exception de B1 où la VLE est pratiquement dépassée en permanence (80 % du temps).

Bien qu'en moyenne la durée de l'exposition supérieure à la VLE soit comprise entre 0 et 10 % du temps de travail suivant les secteurs étudiés (cf. *Tableau IV*), les pics d'exposition peuvent être à l'origine de plus de 50 % de l'exposition globale du salarié sur la durée du travail en raison de leur intensité. L'exemple de la *Figure 3* indique que le nettoyage avec du toluène (5 % du temps) représente 50 % de l'exposition globale. La *Figure 4* illustre un autre exemple où 64 % de l'exposition est due au nettoyage durant 22 minutes, soit 8 % du temps de travail.

EXPOSITIONS DE COURTE ET DE LONGUE DURÉE

Le *Tableau V* regroupant les résultats des deux méthodes de mesures montre que les dépassements de VLE sont nettement plus nombreux que les dépassements de VME. Les deux types d'expositions sont évidemment liés et, si une succession de pics de pollution entraîne presque inévitablement un dépassement de VME (cf. *Figure 6*), les résultats de cette étude ne permettent pas d'établir de corrélation entre une valeur d'exposition moyenne et des dépassements de VLE pour un poste de travail relativement identique. Des résultats "opposés" peuvent même être observés tels que ceux obtenus dans les deux imprimeries. En effet, par rapport à la VME, les rotativistes de l'imprimerie B2 sont en moyenne deux fois plus exposés au toluène que ceux de l'imprimerie C (respectivement 201 et 129 mg/m³). Mais à l'inverse, ils sont soumis deux fois moins longtemps aux pics d'exposition dépassant la VLE (respectivement 3 % et 6 % du temps de travail).

Les résultats concernant l'entreprise G présentent également une similitude avec le cas précédent. Ainsi, les mesurages effectués après modification d'une

TABEAU VI

Exposition des conducteurs d'une laqueuse avant et après modification
Exposure of lacquering machine operators before and after modification

entreprise G	Exposition moyenne			Exposition aiguë (VLE)				
	n prels	l.exp moy (max)	durée moy (min)	n profils	n : profil(s) positifs	l.cd max (1 min)	par profil positif ; n pic : C > VLE	par profil positif ; t (min) : C > VLE
avant	10	0,46 (1,27)	222	8	8	5,4	6	12
après	13	0,29 (0,60)	209	13	12	8,7	6	11

laqueuse et de son capotage montrent que l'exposition moyenne des salariés a diminué de 37 % par rapport à l'intervention précédente (l.exp passant de 0,46 à 0,29) alors que l'exposition aiguë est équivalente, voire légèrement supérieure (cf. *Tableau VI*).

AVANTAGES DU PID

L'appareillage utilisé met en évidence des pics d'exposition et en détermine l'intensité sur une durée d'une minute (en accord avec la définition de la VLE française). Dans certains cas, des prélèvements d'une durée maximale de quinze minutes auraient également permis de montrer des dépassements de VLE.

Dans l'entreprise E (cf. *Figure 3*), un prélèvement sur tube, spécifique à la phase de nettoyage, indique que la concentration en toluène était équivalente à 1 130 mg/m³ sur neuf minutes alors que le PID indique 2 290 mg/m³ en valeur maximale.

De même, dans l'entreprise F (cf. *Figure 4*), un prélèvement également réalisé pendant un nettoyage montre que la concentration en MEK est égale à 2 085 mg/m³ pendant 22 minutes. L'étude du pic d'exposition enregistré par le PID révèle une concentration maximale supérieure à 6 000 mg/m³.

Cependant, la plupart du temps, des prélèvements spécifiques réalisés durant des opérations polluantes ne permettent pas de montrer à eux seuls un dépassement de VLE. Ainsi, dans le laboratoire D (cf. *Figure 2*), malgré les concentrations en éthanol non négligeables, aucun des six prélèvements ambulatoires réalisés par poste de travail n'indique un dépassement de VLE.

CORRÉLATION ENTRE LES DEUX SYSTÈMES DE MESURES

La courbe (cf. *Figure 7*), établie à partir des concentrations moyennes en

FIGURE 1

Exposition au toluène d'un rotativiste - Entreprise B2
Toluene exposure of a rotary printing press operator - Company B2

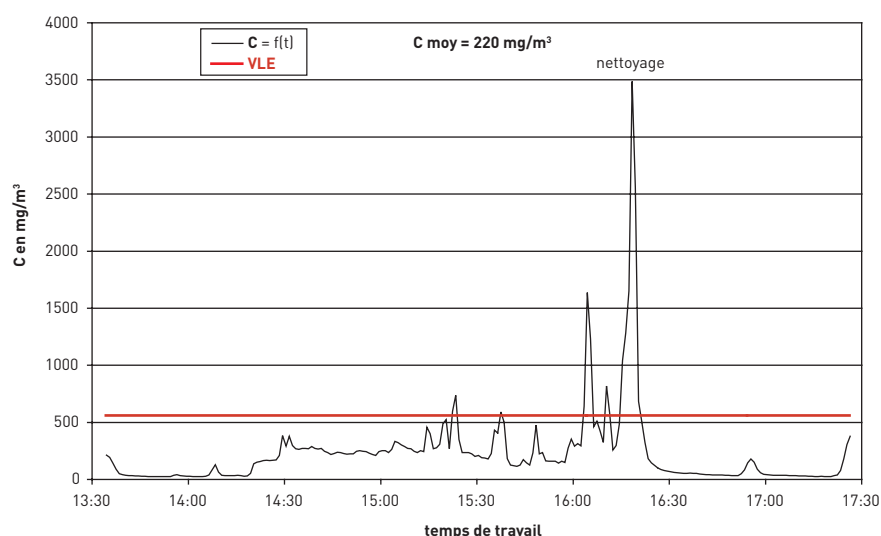
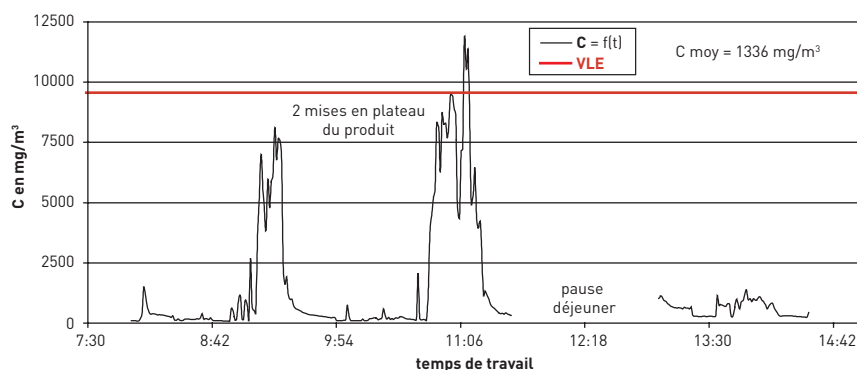


FIGURE 2

Exposition à l'éthanol d'un opérateur d'un laboratoire pharmaceutique - Entreprise D
Ethanol exposure of a pharmaceutical laboratory operator - Company D



toluène (tubes) et des concentrations moyennes des PID déterminées dans l'entreprise C, montre qu'il existe une bonne corrélation entre les deux systèmes de mesures lorsqu'il n'y a qu'un

seul polluant. En cas de multipollution, il n'est pas possible (sauf cas particulier) de corréler les deux systèmes de mesure.

FIGURE 3

Exposition au toluène d'un peintre en industrie - Entreprise E

Toluene exposure of an industrial painter - Company E

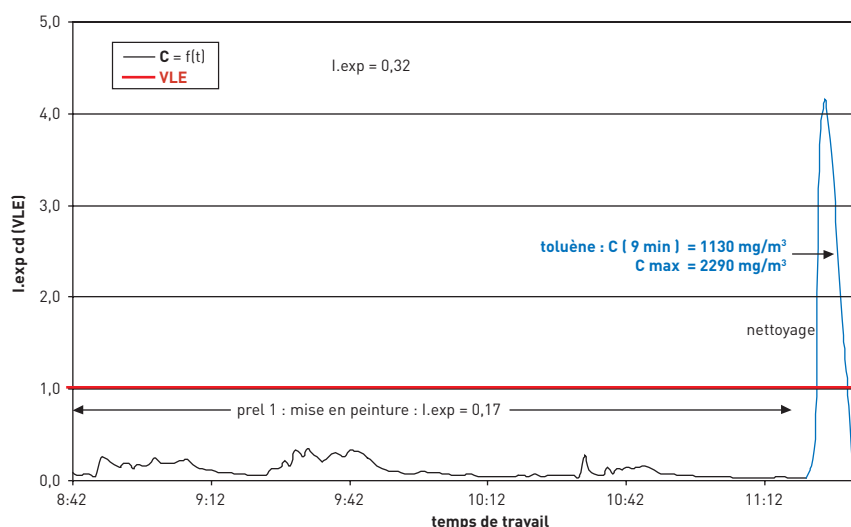


FIGURE 4

Exposition aux solvants d'un salarié : enduction de tissus - Entreprise F

Solvent exposure of an employee: textile coating - Company F

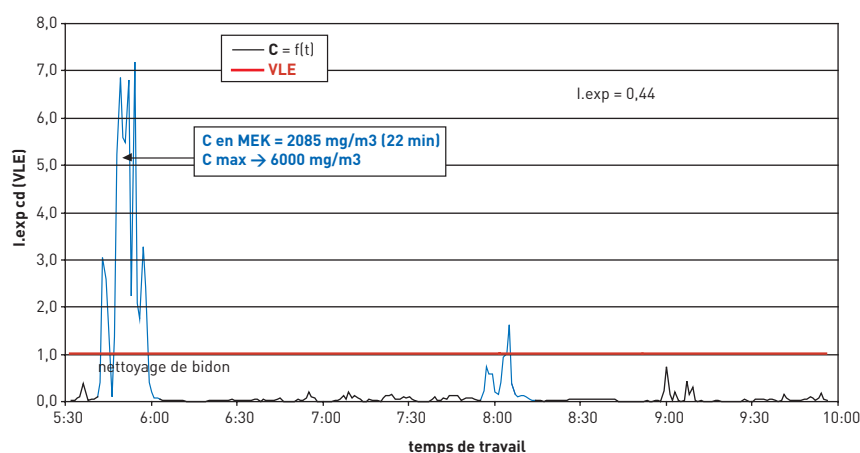
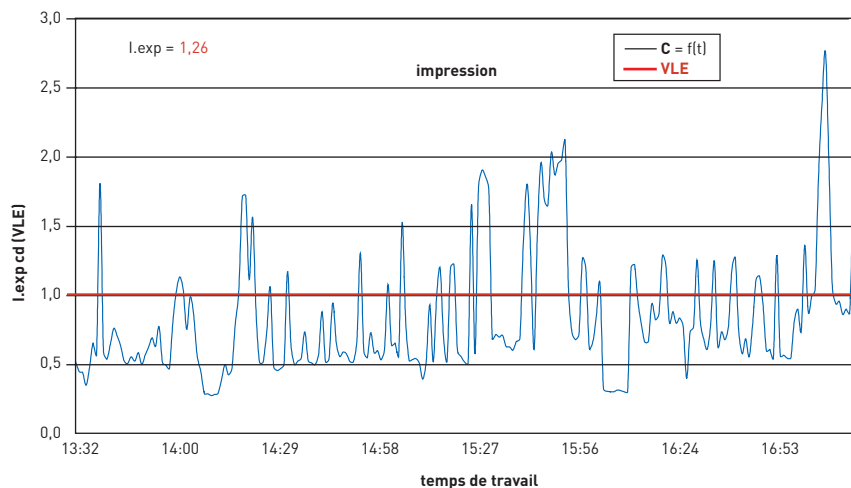


FIGURE 5

Exposition aux solvants d'un imprimeur sur plastique - Entreprise I

Solvent exposure of a plastics printer - Company I



CONCLUSION

Cette étude dresse un bilan de l'exposition des salariés aux solvants dans des situations de travail très différentes. Les mesures « classiques » montrent que, globalement, on observe peu de dépassement de la VME.

Par contre, l'utilisation de PID montre, à travers les 232 profils examinés, de forts dépassements de VLE sont enregistrés sur des périodes allant de quelques minutes à quelques dizaines de minutes. Le *Tableau V* résume les expositions moyennes et maximales et montre que les dépassements de VLE sont plus fréquents que ne le sont ceux des VME. Ils apparaissent lors d'opérations pour lesquelles l'étude seule des tubes échantillonnés sur le poste de travail conduirait à un respect des valeurs limites moyennes d'exposition.

Cette étude apporte des informations sur les expositions de courte durée et permet d'établir un premier constat sur les profils d'exposition aux solvants dans diverses entreprises industrielles. Elle démontre l'intérêt de l'utilisation des appareils à mesure directe par photo-ionisation dans la description des expositions et, en particulier, dans leur comparaison aux valeurs limites de courte durée (VLE, TLV-STEL ou TLV-C) dont l'étude des effets constitue actuellement un axe de recherche important en neurotoxicologie. L'utilisation du PID, et/ou de toute autre technique permettant de déterminer les expositions de courte durée, devrait se développer plus systématiquement en complément des connaissances sur les expositions de longue durée. Par ailleurs, l'étude soulève le problème de prévention des salariés face aux pics d'exposition. Cette prévention passe par des solutions techniques comme la mise en place de dispositifs efficaces (capots, aspiration), la recherche de produits de substitution en phase aqueuse et l'utilisation de solvants de nettoyage moins nocifs. En l'absence de solutions technologiques de protection des salariés, le préventeur pourra s'appuyer sur ces résultats pour justifier le port d'une protection respiratoire (actuellement utilisé occasionnellement) lors des tâches les plus polluantes.

Reçu le : 02/03/2005

Accepté le : 27/06/2005

FIGURE 6

Exposition aux solvants d'un imprimeur sur plastique - Entreprise I
Solvent exposure of a plastics printer - Company I

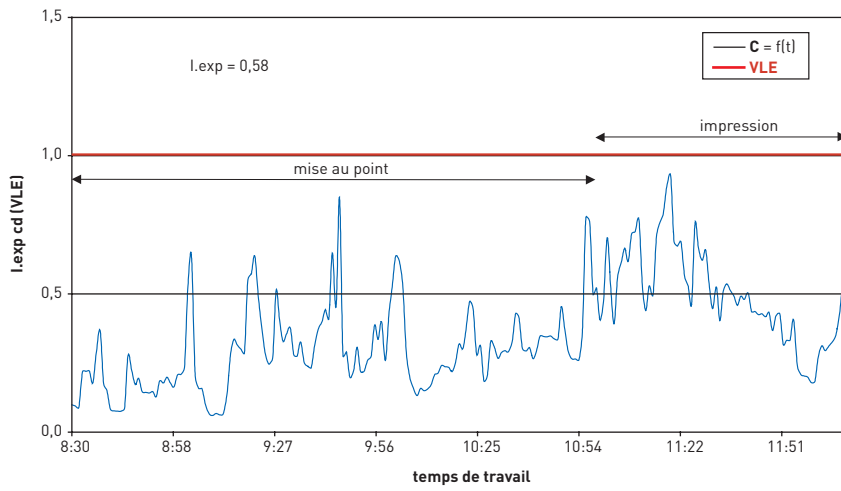
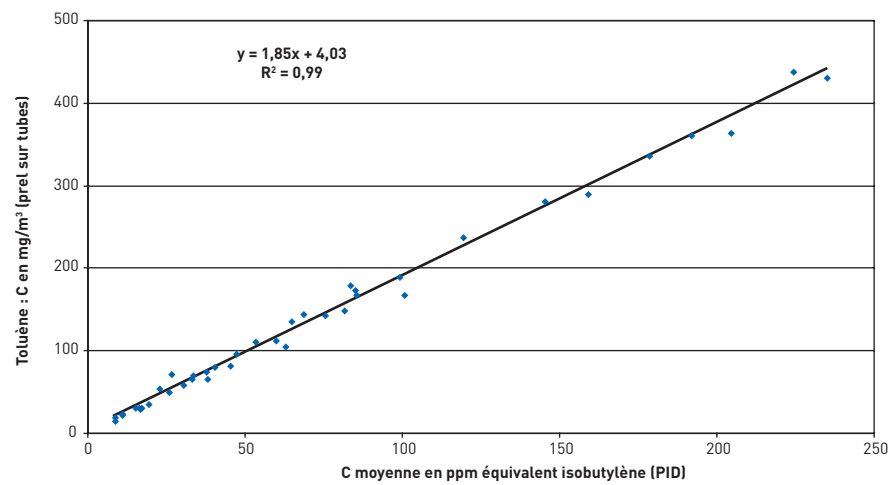


FIGURE 7

Corrélation tube/PID - Entreprise C
Tube/DPI correlation - Company C



BIBLIOGRAPHIE

- [1] Valeurs limites d'exposition professionnelles aux agents chimiques en France. *Cahiers de Notes Documentaires* 1993, **174**, pp 59-77, (ND 2098-174-99 mise à jour 1999).
- [2] Valeurs limites d'exposition professionnelles aux substances dangereuses de l'ACGIH aux Etats-Unis et de la Commission MAK en Allemagne. *Cahiers de Notes Documentaires*, 1996, **163**, pp 197-227, (ND 2022-163-96).
- [3] KUMAGAI S. and MATSUNUGA I. – Within-shift variability of short-term exposure to organic solvent in indoor workplaces. *American Industrial Hygiene Association Journal*, 1999, **60**, pp 16-21.
- [4] KUMAGAI S. and MATSUNUGA I. – Changes in the distribution of short-term exposure concentration with different averaging times. *American Industrial Hygiene Association Journal*, 1995, **56**, pp 24-31.
- [5] KUMAGAI S. and MATSUNUGA I. – Autocorrelation of short-term and daily average exposure levels in workplaces. *American Industrial Hygiene Association Journal*, 1993, **54**, pp 341-350.
- [6] COY, J.D., BIGELOW P.L., BUCHAN R.M., TESSARI, J.D. and PARNELL J.O. - Field Evaluation of a Portable Photoionization Detector for Assessing Exposure to Solvent Mixtures. *American Industrial Hygiene Association Journal*, 2000 **61**, pp 268-274.
- [7] DRUMMOND, I. - On-the-Fly Calibration of Direct reading Photoionization Detectors. . *American Industrial Hygiene Association Journal*, 1997, **58**, pp 820-822.
- [8] POIROT P., SUBRA I., BAUDIN V., HERY M., CHOUANIERE D., VINCENT R. - Détermination du profil d'exposition à moyen terme de peintres en bâtiment. *Cahiers de Notes Documentaires* 2000, **179**, pp 3-13, (ND 2125-179-00).
- [9] CHOUANIERE D., WILD P., FONTANA JM., FOURNIER M., BAUDIN V., TOAMIN JP., ROUSSELE D., POIROT P., SUBRA I., et HERY M. – Follow up of apprentice painters : neurotoxic effects of solvent exposure. Présentation au 7th International Symposium on Neurobehavioral Methods and Effects in Occupational and Environmental Health, Stockholm, june 20-23 1999.
- [10] POIROT P., SUBRA I., CHOUANIERE D., BAUDIN V et HERY M. – Solvent exposure of house painters. Poster présenté au 7th International Symposium on Neurobehavioral Methods and Effects in Occupational and Environmental Health, Stockholm, june 20-23 1999.
- [11] POIROT P., SUBRA I., GERARDIN F., BAUDIN V et HERY M. – Determination of short time exposure with a direct reading photoionization air monitor. *Annals of Occupational Hygiene*, 2004, **48**, pp 75-84
- [12] BRAND F, CASTEL B, LEFEVRE C, DELCOURT J. – Test de deux détecteurs à photoionisation DL-101 (HNU) et MICROTIP (PHOTOVAC). *Chimie Info* 1996, **56**, pp 31-48