

POINT DE REPÈRE

► *Pascal POIROT,*
INRS, département Ingénierie des procédés,
► *Frédéric CLERC,*
INRS, département Métrologie des polluants

APPROCHE DES RISQUES CHIMIQUES DANS LE SECTEUR DU TRAITEMENT DES DÉCHETS DE BOIS DANGEREUX

Cet article dresse un panorama des risques chimiques encourus par les salariés sur les plates-formes de traitements de déchets de bois dangereux. Les résultats montrent la présence de trois polluants principaux: les poussières de bois et/ou les matières particulaires totales (MPT), le chrome VI et les hydrocarbures polycycliques aromatiques (HAP). L'exposition des salariés aux poussières de bois est en moyenne supérieure à la valeur limite d'exposition professionnelle (VLEP) et peut atteindre des valeurs très élevées en fonction du travail réalisé et de la configuration des lieux. Les concentrations en chrome VI et en benzo[a]pyrène (BaP) sont également préoccupantes (50% des valeurs sont supérieures à la VLEP ou à la valeur recommandée) sur certaines plates-formes urbaines traitant des bois de réseau (poteaux et traverses). Cependant, une forte réduction de l'empoussièrement au niveau du broyage et des transferts de matière permettrait de réduire l'exposition des opérateurs à ces polluants chimiques. L'étude, présentée dans cet article, montre que le broyage de panneaux de particules ne libère du formaldéhyde qu'en faible concentration. De même, les concentrations en composés organiques volatils (COV) sont très faibles lors du broyage quel que soit le type de déchets de bois. En revanche l'utilisation de sciures pour la valorisation de déchets organiques peut conduire à des concentrations significatives en COV. L'étude a également mis en évidence que les caissons filtrants sur les engins mobiles étaient inefficaces dans certains cas.

Les déchets dangereux (DD) représentent 11 000 kt produites chaque année en France et peuvent être répartis en 20 catégories provenant de divers secteurs d'activité. Parmi ceux-ci, les déchets de bois occupent une place prépondérante avec presque 30 % de l'ensemble des déchets dangereux [1 - 6]. Depuis 2002, la réglementation classe en effet les déchets de bois traités en tant que déchets dangereux et en interdit la réutilisation et la mise en décharge. Or, si l'origine des déchets de bois dangereux est assez bien

connue, la filière de traitement de ces déchets l'est beaucoup moins. Il existe cependant des solutions de recyclage appliquées à certains de ces déchets.

Les déchets de bois ou bois de rebut correspondent à des produits « en fin de vie » ou usagés. Ils associent plusieurs sous-produits générés tout au long de différentes étapes telles que l'industrie, l'exploitation et la transformation du bois.

Comme la majorité des déchets, les déchets de bois peuvent se caractériser par leur nature, les secteurs produc-

teurs, les gisements des déchets ou les filières de traitement associées [7].

L'INRS propose ici de dresser un inventaire des risques chimiques dans le secteur du traitement des déchets de bois dangereux. Les principaux agents chimiques CMR présents dans l'air sont identifiés et quantifiés. L'ensemble des données recueillies sur diverses plateformes a pour objectif d'orienter et de définir au mieux les actions de prévention.

Remarque: cette étude s'est appuyée sur les travaux préliminaires confiés au cabinet ERDYN CONSULTANT qui a, d'une part, caractérisé les flux de déchets de bois dangereux, les substances concernées et l'évaluation des gisements par voie documentaire et, d'autre part, réalisé une enquête chez les professionnels du secteur (producteurs, experts et traiteurs).

DU DÉCHET À LA MATIÈRE PREMIÈRE SECONDAIRE

TYOLOGIE DES DÉCHETS DE BOIS DANGEREUX

La majorité des déchets de bois sont des déchets non dangereux. La réglementation spécifie qu'un déchet de bois est dangereux lorsqu'il a été souillé par une matière dangereuse (exemples: ajout d'un produit de préservation en profondeur du bois ou de la sciure souillée par des produits dangereux comme les huiles, les peintures). Par contre, un élément bois recouvert d'une peinture ou d'un vernis (armoires, charpentes...) n'est pas considéré comme un déchet dangereux. Il entre dans la catégorie des déchets industriels non dangereux.

La classification des déchets établie par le décret n°2002-540 du 18 avril 2002 [8] définit quatre types de déchets de bois dangereux qui rentrent dans le cadre de l'étude mais pour mieux identifier les problématiques à chaque niveau de la filière, six catégories principales de déchets de bois dangereux ont été définies comme présentées dans le [Tableau I](#).

Les déchets de bois dangereux présentent des caractéristiques diverses et peuvent se différencier selon :

- la granulométrie: allant de la poussière de ponçage aux panneaux de particules ;

TABLEAU I

Catégorie de déchets de bois dangereux et producteurs

Catégorie	Classification 6 chiffres	Producteur
Déchets de bois dangereux de production	03 01 04*	Industrie de la première et seconde transformation du bois
Déchets de bois dangereux de chantier	17 02 04*	Entreprises du BTP
Bois de réseaux en fin de vie	17 02 04*	SNCF/RFF, ERDF, France Telecom
Aménagements agricoles en fin de vie	20 01 37*	Agriculteurs et viticulteurs
Aménagements extérieurs en fin de vie (GC)	17 02 04*	Collectivités locales, gestionnaires d'infrastructures
Aménagements extérieurs en fin de vie (jardins)	20 01 37*	Particuliers, professionnels, collectivités locales

IMAGE 1

Broyage de traverses de chemin de fer



© Serge Morillon/INRS

IMAGE 2

Poteaux France Télécom en attente de broyage



© Serge Morillon/INRS

■ la composition chimique: le bois est traité ou imprégné par des substances dangereuses soit pour sa préservation soit pour apporter d'autres fonctionnalités (colles, additifs divers...).

LES DÉCHETS DE BOIS DANGEREUX

Les bois créosotés

Il s'agit des bois de réseaux en fin de vie essentiellement des traverses de chemin de fer, des poteaux de ligne EDF et des produits destinés aux aménagements extérieurs (GC) (cf. *Image 1*). La créosote agit comme xyloprotecteur et imperméabilisant assurant aux bois traités une durée de vie de l'ordre de 30 à 40 ans. C'est un liquide huileux obtenu par distillation fractionnée des goudrons de houilles qui contient des hydrocarbures polycycliques aromatiques (HAP). Il est à noter que, parmi les nombreux HAP, les plus légers, formés de 2 à 4 cycles aromatiques et présents en grande quantité dans la créosote, ne sont pas cancérigènes alors que les plus lourds, formés de 5 cycles aromatiques ou plus et présents en plus faible quantité, sont classés cancérigènes catégorie 2A ou 2B par le Centre international de recherche sur le cancer (CIRC). Les bois traités contiennent en moyenne 6 à 18% de créosote en masse.

Les bois imprégnés par des métaux

Ces bois constituent un marché diversifié. Sont principalement concernés par ces types de traitements à base de sels ou d'oxydes de chrome, cuivre et arsenic (traitement CCA): les poteaux (France Télécom et EDF – cf. *Image 2*), mais aussi le bois utilisé dans le bâtiment, dans le génie civil et les aménagements extérieurs. D'autres traitements existent à base de chrome cuivre bore (CCB) et uniquement chrome cuivre (CC). Le chrome est un agent de complexation; au moment de l'imprégnation du bois, par du bichromate de sodium ou de potassium, il se trouve sous sa forme hexavalente (chrome VI) qui est la plus toxique. Le caractère réducteur de la cellulose le transforme ensuite en chrome III. L'arsenic, également présent dans ces bois, agit comme insecticide. Il est sous forme pentavalente (acide arsénique ou arséniate de sodium).

Les bois contenant d'autres adjuvants

Il s'agit principalement des bois reconstitués (panneaux de particules, contreplaqués, lamellé-collé, panneaux de fibres...). Ces matériaux contiennent en effet des colles diverses (urée-formol, phénol-formol, mélamine-formol...) en quantité variable entre 1 et 13%. Le formol, agent classé cancérigène, mutagène, reprotoxique (CMR), qui est un intermédiaire de synthèse de ces résines, est susceptible de se dégager des matériaux lors de l'usinage ou du broyage. D'autres composés CMR peuvent également être présents dans des peintures contenant des métaux, des vernis, des produits de traitement (de charpente), des produits ignifuges qui imprègnent ou recouvrent le bois ainsi que dans les revêtements de surface type panneaux mélaminés ou stratifiés [9, 10].

Les sciures et copeaux imprégnés

Les sciures et copeaux (de « vrai bois » ou issus de panneaux de particules) peuvent servir pour absorber des produits dangereux tels que des huiles, des peintures, des hydrocarbures, etc. lors de déversements accidentels; ce sont alors des déchets dangereux (DD). Mais la principale utilisation des sciures à base de bois propres ou traités est liée à la fabrication de combustible solide de substitution (CSS) à destination des cimenteries. Dans ce cas le but recherché par l'entreprise n'est pas seulement la valorisation du déchet de bois sous sa forme initiale mais bien le traitement et la valorisation des déchets industriels organiques par ailleurs prépondérants en masse dans les CSS. Les principaux risques chimiques sont dus aux poussières de bois et aux COV issus des déchets.

Les poussières de bois

Les poussières de bois générées par les opérations de broyage des déchets de bois ou de manipulations des sciures rentrent dans la catégorie des DD en raison de leurs propriétés cancérigènes [11].

Cette liste, non exhaustive, cite des composés CMR présents dans les bois traités et neufs qui ne se retrouvent pas obligatoirement sous cette forme et dans des teneurs identiques dans les bois en fin de vie au moment du recyclage.

FILIÈRES ET TECHNIQUES DE TRAITEMENT

Les techniques de traitement des déchets de bois dangereux varient selon le type de valorisation envisagée. Le *Tableau II* présente une synthèse de la filière déchets de bois dangereux selon les catégories définies.

Le broyage

Le broyage est une étape intermédiaire largement répandue, préalable aux traitements présentés ci-après et à la « revalorisation matière » notamment des panneaux de particules pour une nouvelle fabrication.

L'incinération

Cette filière constitue un moyen efficace d'élimination d'une grande partie des déchets toxiques comme les déchets organiques et concerne tout type de déchets de bois dangereux. Le fort pouvoir calorifique de ces déchets en fait une solution couramment utilisée. Un broyage ainsi qu'un déferrailage sont souvent nécessaires.

La co-incinération

La co-incinération consiste à utiliser l'incinération de déchets dangereux comme combustible d'appoint dans des installations dont la vocation première n'est pas l'incinération (exemple: les cimenteries). La co-incinération en cimenterie est surtout utilisée pour les broyats de bois créosotés et pour les CSS, produits à fort pouvoir calorifique.

D'autres techniques de traitement plus ou moins spécifiques présentées ci-dessous existent et pourraient se développer [12].

La thermolyse

Ce procédé consiste à chauffer les déchets de bois créosotés dans un four entre 450 et 750°C en l'absence d'air. Actuellement, une société applique ce procédé et traite ainsi 20 kt/an de bois créosotés (vieilles traverses de chemins de fer) pour transformation en charbon de bois. Cette technique ne s'applique pas aux bois traités CCA.

Le procédé CHARTHERM

Le procédé CHARTHERM [13] consiste en un traitement thermique à basse température (<400°C) des

TABLEAU II

Synthèse de la filière déchets de bois dangereux

Type de déchets	Producteurs	Volume collecté (2005) kt / an	Substances contenues	Principaux CMR cités par les traiteurs	Traitements	
Déchets de production	Industrie de 1 ^{ère} et seconde transformation du bois	nd	Diverses	Formol, phénol	Valorisation matière	
				Poussières bois	Co-incinération	
					Incinération	
Déchets de chantier	Entreprises du BTP	2 500 ⁽¹⁾	Diverses	Métaux lourds	Valorisation matière	
					Centre de stockage	
					Broyage	
Bois de réseaux en fin de vie	Traverses SNCF	RFF ⁽²⁾	~ 20	Créosote	HAP	Thermolyse
	Poteaux EDF	ERDF ⁽³⁾	3 < 4	Créosote et CCA	HAP, CCA	Broyage
	Poteaux FT	France TELECOM	20 < 30	CCA	CCA	Co-incinération
Aménagement agricole en fin de vie	Agriculteurs, viticulteurs	nd	CCA, CCB, CC	Jamais cités	?	
Aménagement extérieur en fin de vie (GC)	Collectivités locales, gestionnaires d'infrastructures	nd	Créosote et CCA, CCB, CC	Huile de vidange	Broyage	
					Co-incinération	
Aménagement extérieur en fin de vie (jardin)	Particuliers, campings...	nd	CCA, CCB, CC	?	Valorisation matière	
					Co-incinération	
Sciures (imprégnées)	Divers	nd	Huiles, peintures, solvants	Divers	Co-incinération	

(1) évaluation

(2) RFF : Réseau ferré de France

(3) ERDF : Réseau électricité de France

déchets préalablement broyés en atmosphère neutre ce qui provoque une « distillation » du bois avec séparation du carbone et des éléments minéraux. Ce procédé s'appliquerait aux bois créosotés et aux bois CCA. Une unité pilote a fonctionné mais la plate-forme, qui devait fonctionner fin 2010, n'a pas été construite.

Le procédé ANCOR

Le procédé ANCOR ou procédé PGI (pyrolyse-gazéification-inertage) permet le traitement des bois imprégnés CCA ou créosotés par pyrolyse à température élevée (1 110°C à 1 500°C), en lit fluidisé ou sur grille et produit du gaz. Cette innovation est brevetée mais il n'existe pas d'unité en fonctionnement en France.

La littérature mentionne également la valorisation de copeaux de bois dangereux en les utilisant comme charge pour béton.

RISQUES CHIMIQUES POTENTIELS

Le risque chimique généré par les activités de traitements des déchets de bois dangereux est peu connu. Si le

risque dû aux poussières de bois est bien quantifié dans les menuiseries, il ne l'est pas pour le broyage de déchets de bois, activité se déroulant de surcroît la plupart du temps en extérieur. L'exposition des salariés aux agents CMR imprégnant les déchets de bois lors des opérations de recyclage n'est pas plus connue. En revanche, les concentrations en métaux CCA et en hydrocarbures aromatiques polycycliques (HAP) ont déjà été mesurées lors de l'usinage et de l'imprégnation des bois neufs. En l'absence d'autres références, les résultats de ces mesures ont servi d'indicateurs de base pour l'évaluation des concentrations lors du recyclage de ces types de bois.

Les CCA

Deux études [14, 15] ont montré que, globalement, lors de l'usinage des bois traités CCA, les expositions à ces métaux étaient nettement inférieures aux VLEP en vigueur, toutefois le niveau d'empoussièrement n'avait pas été mesuré.

Les HAP

Deux études menées par la SNCF [16], la première au cours d'imprégnation par de la créosote de traverses de chemin de fer, la seconde lors de l'usinage de traverses, indiquent que l'expo-

sition atmosphérique aux HAP cancérigènes est quasi nulle mais que l'exposition est surtout liée aux HAP légers. Il convient néanmoins de prendre en compte le fait que les créosotes utilisées il y a 30 ou 40 ans étaient bien plus concentrées en HAP qu'elles ne le sont aujourd'hui.

Les poussières de bois

La seconde étude citée ci-dessus a mis en évidence des taux d'empoussièrement supérieurs à la VLEP et une corrélation entre les concentrations de HAP et celles de poussières de bois.

ASPECT MÉTHODOLOGIQUE

L'enquête de filière réalisée auprès des traiteurs, des producteurs et des experts s'est traduite par de nombreux contacts via des guides d'entretien; les réponses positives obtenues de la part des traiteurs ont été largement représentatives du marché du déchet de bois dangereux. L'enquête a permis de lister les entreprises et de cibler les voies de traitement de déchets de bois à privilégier.

TABLEAU III

Caractéristiques des plates-formes

Entreprise	Producteurs		Traitement du déchet de bois			Finalité en sortie d'entreprise
	Type déchets	Quantité (T)	Acheminement du bois avant traitement	Traitement/dispositif	Acheminement du déchet traité	
A	Panneaux de particules, stratifiés, palettes	3 000	Chariot élévateur, bande transporteuse	1 broyeur fixe (lieu couvert)	Bande transporteuse et transport pneumatique vers silo (système fermé)	Incinération sur place du broyat dans une chaudière et récupération d'énergie
B	Panneaux de particules, stratifiés, palettes	33 000	Pelle à grappin	1 broyeur mobile (en extérieur)	Par chargeur vers aire de stockage	Fabrication de broyat, envoi chez un autre traiteur
C	Panneaux de particules, stratifiés, palettes	?	Chargeur sur pneus	1 broyeur fixe (lieu couvert)	Par chargeur vers aire de stockage	Mélange 50/50 des 2 types de broyats, incinération sur place dans une chaudière et récupération d'énergie
	Traverses créosotées	300 t/J	Pelle à grappin	2 broyeurs mobiles (en extérieur)	Par chargeur vers aire de stockage	
D 1	Poteaux CCA	35 000*	Pelle à grappin	2 broyeurs fixes en série, dispositif de captage au niveau du second (en extérieur)	Bandes transporteuses vers aire de stockage	Broyat de poteaux pour cimenterie
	Traverses créosotées		Pelle à grappin		Bandes transporteuses vers aire de stockage	Broyat de traverses pour cimenterie
D 2	Poteaux CCA	35 000*	Pelle à grappin	2 broyeurs mobiles en série + affineur fixe avec dispositif d'aspiration (en extérieur)	Par benne entre broyeur et affineur, par bande transporteuse vers stockage	Broyat de poteaux pour cimenterie
	Traverses créosotées		Pelle à grappin		Par benne entre broyeur et affineur, par bande transporteuse vers stockage	Broyat de traverses pour cimenterie
E	Traverses créosotées	20 000	Pelle à grappin	3 fours à thermolyse (en extérieur)	Retournement des enceintes dans une trémie	Fabrication de charbon de bois
F	Sciures propres	15 000	Chargeur sur pneus	Pelle à grappin, broyeur mobile, granulateur, trommel (en intérieur)	Chargeur vers aire de stockage	Fabrication de CSS pour cimenterie
	Sciures imprégnées	?	Chargeur sur pneus	Mélange via chargeur (en intérieur)	Chargeur vers aire de stockage	Fabrication de CSS pour cimenterie
G	Sciures propres	10 000	Chargeur sur pneus	Mélange via pelle à grappin, broyeur fixe, trommel (en intérieur)	Bandes transporteuses vers aire de stockage	Fabrication de CSS pour cimenterie et/ou envoi dans un autre centre de traitement
H	Sciures propres	4 000	Chargeur sur pneus	Pelle à grappin, 3 broyeurs fixes série, trommel (lieu couvert)	Camion benne vers aire de stockage	Fabrication de CSS pour cimenterie

* capacité

LES PLATES-FORMES DE TRAITEMENT

Les entreprises visitées ont été principalement sélectionnées à la suite des résultats de l'enquête. Des visites préliminaires ont permis d'étudier la faisabilité d'une intervention. Neuf campagnes de mesures ont été réalisées dans huit entreprises choisies de façon représentative par rapport aux types de déchets entrants et au traitement ou procédé de recyclage. Dans l'ensemble, les installations sont relativement importantes puisque six d'entre elles traitent plus de 15 000 tonnes de déchets de bois par an. Parmi celles-ci, cinq unités transforment un seul type de déchets de bois

et trois valorisent deux types de déchets qui peuvent être mélangés ou non. Le [Tableau III](#) résume les caractéristiques des installations visitées.

Déchets bois de production, de chantier/broyage

L'entreprise A reçoit des déchets de production, panneaux de particules et stratifiés d'une usine de fabrication située à proximité immédiate. L'usine C, dont la principale activité est la production de panneaux en tout genre, traite *in situ* ses rebuts de production. Dans les deux cas, les panneaux de particules au rebut souvent mélangés à des palettes (déchets non dangereux) sont broyés

dans un broyeur fixe et sont valorisés sous forme énergétique en étant brûlés. Les sites disposent d'une chaudière classée incinérateur, l'énergie produite étant récupérée pour la fabrication des panneaux.

La société B réceptionne essentiellement des déchets de bois dangereux de chantier (portes, fenêtres, palettes) et de production (panneaux de particules) et en effectue le broyage qui est valorisé sur une autre plate-forme.

Bois de réseaux en fin de vie/ broyage

L'entreprise C importe également des bois créosotés sur son site pour

TABLEAU IV

Type de prélèvement par plate-forme

Entreprise	Type de déchets	Prel amb , Nb de points de prel				Prel ind et Nb opérateurs/ poste		Type de prélèvements réalisés					
		Durée moy (min)	Lieu int	Lieu abrité	Lieu ext	Durée moy (min)	M; AM; J	MPT	Métaux	Cr VI et As	HAP	COV	Formal-déhyde
A	Panneaux de particules, stratifiés, palettes	455		6		290*	3; 3; 0	ind + amb				amb	ind + amb
B	Panneaux de particules, stratifiés, palettes	423			5	458	0; 0; 2	ind + amb	ind + amb			ind + amb	amb
C	Panneaux de particules, stratifiés, palettes	445	1	2		284*	2; 2; 0	ind + amb				amb	ind + amb
	Traverses créosotées			3	0; 0; 2		ind + amb						
D 1	Poteaux CCA	472		6		280*	2; 2; 1	ind + amb	amb	amb	ind + amb	ind + amb	
	Traverses créosotées												
D 2	Poteaux CCA	404		4	2	486	3; 3; 1	ind + amb	amb	amb	ind + amb	ind + amb	
	Traverses créosotées												
E	Traverses créosotées	492	3	2	1	405	0; 0; 8	ind + amb			ind + amb	amb	
F	Sciures propres	486	3			416	3; 4; 2	ind + amb	ind + amb			ind + amb	amb
	Sciures imprégnées		3							amb			
G	Sciures propres	466	5	1		356	4; 5; 0	ind + amb	ind + amb			ind + amb	
H	Sciures propres	462		6		422	5; 4; 0	ind + amb	ind + amb			ind + amb	

* durée moyenne des prélèvements (prélèvement sur personnel en poste matin, après-midi et journée)

valorisation énergétique *in situ*. Les traverses de chemin de fer sont broyées en extérieur, le broyat mélangé en proportions identiques avec celui issu des panneaux de particules alimente la chaudière de l'usine avec un pouvoir calorifique accru en raison de la nature du combustible.

La plate-forme D traite un volume très important de traverses de chemin de fer. Ces bois créosotés sont broyés pour en faire un CSS valorisé par co-incinération en cimenterie. Cet établissement broie également les poteaux traités CCA de France Telecom. En raison de la spécificité du site, deux campagnes de mesures ont été effectuées sur cette plate-forme (notées D1 et D2 dans la suite de l'article).

Généralement sur l'ensemble des sites effectuant du broyage, les déchets de bois avant traitement sont stockés à l'extérieur sauf les sciures qui le sont sous hall. Pour limiter le risque d'ex-

plosion dû aux poussières, les broyats de bois sont stockés sous hall largement ouvert ce qui facilite également l'évolution des chargeurs. Le broyage en lui-même s'effectue soit en lieu couvert soit en extérieur. Les broyeurs primaires sont alimentés en bois par des pelles hydrauliques munies de grappin ou par des chargeurs sur pneu. Ces derniers alimentent les broyeurs secondaires, effectuent tout mélange nécessaire et chargent les semi-remorques pour expédition.

Sur les plates-formes effectuant du broyage, les sources d'émission particulaire sont multiples mais principalement dues de façon continue au broyage lui-même et de façon discontinue aux reprises de produit par chargeur pour affinage ou chargement d'un camion. Certaines plates-formes sont munies de dispositifs d'aspiration au niveau des broyeurs fixes, d'autres pratiquent par intermittence l'abattage à l'humide

(cas de B, D2) dans le cas d'utilisation de broyeurs mobiles.

Bois de réseaux en fin de vie/ thermolyse

L'entreprise E retraite sous forme matière les traverses de chemin de fer usagées par procédé de thermolyse. Les traverses sont introduites dans des fours à l'aide d'une grue à grappin. Après la thermolyse qui dure 18 heures et un refroidissement complet, les fours sont retournés déversant le charbon de bois dans une trémie qui alimente via des bandes transporteuses les ensacheuses. Le produit fini est stocké dans un hall fermé. Le procédé utilisé ne nécessitant pas de broyage, les poussières de bois ne constituent pas l'exposition principale pour les salariés, en revanche chaque opération sur le charbon de bois génère des empoussièrlements conséquents

TABLEAU V

Valeurs limites d'exposition des composés dosés

Polluants	France				USA (ACGIH)				VLEP CE			
	VME		VLCT		TLV-TWA		TLV-STEL		8 heures		Courte durée	
	ppm	mg/m ³	ppm	mg/m ³	ppm	mg/m ³	ppm	mg/m ³	ppm	mg/m ³	ppm	mg/m ³
MPT	-	10, 5a	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Poussières de bois	-	1	-	-	-	1, 0,5**	-	-	-	-	-	-
Aluminium (métal)	-	10	-	-	-	1	-	-	-	-	-	-
Arsenic	-	0,2	-	-	-	0,01	-	-	-	-	-	-
Chrome (métal)	-	0,5	-	-	-	0,5	-	-	-	-	-	-
Chrome VI	-	0,001	-	0,005	-	0,05 b 0,01 c	-	-	-	-	-	-
Cadmium (métal)	-	0,05	-	-	-	0,01	-	-	-	-	-	-
Fer	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Cuivre (poussières)	-	1	-	-	-	1	-	-	-	-	-	-
Nickel (métal)	-	1	-	-	-	1,5	-	-	-	-	-	-
Plomb (métal)	-	0,1	-	-	-	0,05	-	-	-	-	-	-
Zinc (métal)	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
formaldéhyde	0,5	-	1	-	-	-	0,3	-	-	-	-	-
BaP*	-	150 ng/m ³	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Hexane	20	72	-	-	50	-	-	-	-	-	-	-
Méthyléthylcétone	200	600	300	900	200	-	300	-	-	-	-	-
Acétate d'éthyle	400	1400	-	-	400	-	-	-	-	-	-	-
Benzène	1	3,25	-	-	0,5	-	2,5	-	-	-	-	-
Acétate de n propyle	200	840	-	-	200	-	250	-	-	-	-	-
Méthylisobutylcétone	20	83	50	208	50	-	75	-	-	-	-	-
Toluène	20	76,8	100	384	20	-	-	-	50	192	80	306
Acétate de n butyle	150	710	200	940	150	-	-	-	-	-	-	-
Ethylbenzène	20	88,4	100	442	100	-	125	-	-	-	-	-
Xylènes	50	221	100	442	100	-	150	-	50	221	100	442
Cumène	20	100	50	250	50	-	-	-	-	-	-	-
Triméthylbenzènes	20	100	50	250	25	-	-	-	-	-	-	-

* Il s'agit d'une valeur atmosphérique recommandée par la CNAMTS, ** Western red cedar

a : fraction alvéolaire ; b : composés du chrome VI solubles dans l'eau ; c : composés du chrome VI insolubles dans l'eau

depuis le déchargement dans une trémie jusqu'à l'ensachage.

Sciures imprégnées

Les unités de recyclage F, G et H importent des sciures qui sont mélangées et incorporées à des broyats de déchets organiques pour en faire un CSS

destiné aux cimenteries. L'entreprise F retraite également des sciures imprégnées de matières organiques (huiles, peintures, solvants...) en provenance d'autres sites non utilisables en l'état par les cimenteries, elles sont mélangées avec des sciures propres pour en faire un CSS acceptable par la profession. Dans ces types d'usine, les déchets en vrac

mélangés à de la sciure par une pelle à grappin subissent un pré-cribleage, un déferrailage magnétique, un broyage, un ou des criblages pour séparer les différentes fractions de CSS du refus. Toutes les opérations de fabrication ainsi que le stockage et le chargement de camion sont des sources potentielles de pollution tant en poussières (de bois) qu'en COV.

Sources de pollution sur les plates-formes

Hormis les sources émissives de particules déjà citées et spécifiques à chaque procédé, des opérations classiques, comme le nettoyage à l'air comprimé des engins (notamment les filtres à air de moteur), le décolmatage et le balayage des sols, sont susceptibles de produire des empoussièrlements plus ou moins intenses de courte durée. A noter également, que la circulation des engins sur sol sec entraîne, en fonction de l'empoussièrement du sol et de l'hygro-métrie, une remise en suspension d'une partie des poussières (de bois).

Les entreprises emploient rarement plus de quatre opérateurs par poste de travail au niveau du traitement du déchet de bois. L'équipe-type sur un site est constituée d'un conducteur de pelle, d'un ou deux conducteurs de chargeuse et d'un opérateur polyvalent qui peut être le chef d'équipe. La conduite des engins (pelle à grappin, chargeuse sur pneus...) représente environ 80% du temps de travail des opérateurs. Les cabines des engins sont en principe équipées de système de filtration au moins pour les poussières. Par ailleurs, le travail des salariés est très varié - entretiens divers, interventions sur les installations en cas d'incident - ce qui rend l'exposition potentielle individuelle très variable.

Les salariés ont à leur disposition un appareil de protection respiratoire (APR) qu'ils portent la plupart du temps de façon discontinue et de façon obligatoire seulement dans une entreprise.

STRATÉGIE DE PRÉLÈVEMENTS ET MESURES

Pour chaque entreprise, les mesurages chimiques ont été réalisés respectivement durant trois jours consécutifs. Par ailleurs, le faible nombre de salariés potentiellement exposés aux substances nocives sur les sites a conduit à multiplier les prélèvements en ambiance en

TABLEAU VI

Concentrations et expositions aux MPT

Entreprises	Type de déchets	Prél en ambiance MPT, poussières de bois : C en mg/m ³						Prél individuels MPT, poussières de bois : C en mg/m ³					
		n	n ≥ VLEP	moy	médiane	max	écart type	n	n ≥ VLEP	moy	médiane	max	écart type
A	Panneaux, stratifiés, palettes	17	0	0,28	0,23	1,00	0,20	16	0	0,49	0,425	1,10	0,31
B	Panneaux, stratifiés, palettes	12	3	1,06	0,89	2,74	0,81	6	1	1,05	0,66	3,39	1,18
C	Panneaux, stratifiés, palettes + traverses créosotées	14	10	2,8	2,61	6,60	2,00	22	13	8,36	2,95	54,00	13,34
D 1	Poteaux CCA + traverses créosotées	17	10	8,15	2,30	68,00	16,24	15	8	4,65	2,70	14,40	4,93
D 2	Poteaux CCA + traverses créosotées	35	21	3,30	2,16	10,91	3,22	20	7	2,44	1,50	12,11	1,67
E	Traverses créosotées	17	0 *	1,40	1,10	5,50	1,31	24	7 *	12,24	8,10	110,00	21,61
F	Sciures « propres » et imprégnées	18	4	1,05	0,57	4,29	1,08	24	3	1,29	1,23	4,46	0,93
G	Sciures « propres »	15	9	2,87	2,16	6,48	1,83	29	12	1,69	1,22	6,50	1,53
H	Sciures « propres »	21	0	0,25	0,23	0,42	0,08	32	0	0,44	0,42	0,72	0,17

* VLEP = 10 mg/m³

TABLEAU VII

Exposition des opérateurs par fonction aux poussières de bois

Entreprises	Type de déchets	Fonction/poste de travail	Prél individuels MPT, poussières de bois : C en mg/m ³					
			n	n ≥ VLEP	moy	médiane	max	écart type
A	Panneaux de particules, stratifiés, palettes	Cond chargeur	7	0	0,68	0,86	1,10	0,37
		Autres opérateurs	9	0	0,35	0,38	0,55	0,15
B	Panneaux de particules, stratifiés, palettes	Cond chargeur	3	0	0,35	0,33	0,46	0,10
		Cond pelle	3	1	1,75	1,01	3,39	1,42
C	Panneaux, stratifiés, palettes + traverses créosotées	Cond chargeur	8	4	5,67	1,92	27,00	8,96
		Cond pelle	2	2	4,30	4,30	5,10	1,13
		Autres opérateurs	12	7	10,84	3,25	54,00	16,54
D 1	Poteaux CCA, traverses créosotées	Cond chargeur	6	4	3,28	3,00	6,60	2,22
		Cond pelle	6	1	2,14	0,55	10,00	3,85
		Autres opérateurs	3	3	12,43	12,90	14,40	2,24
D 2	Poteaux CCA, traverses créosotées	Cond chargeur	5	3	5,31	3,89	12,11	4,73
		Cond pelle	6	1	1,43	1,48	2,25	0,49
		Autres opérateurs	9	4	1,52	1,53	2,18	0,46
E	Traverses créosotées	Opérateurs charbon	12	6*	19,38	10,55	110,00	29,25
		Autres opérateurs	12	1*	5,10	4,05	10,00	3,12
F	Sciures propres, imprégnées	Cond chargeur	6	2	1,62	1,49	3,27	0,93
		Cond pelle	6	0	0,85	0,82	1,40	0,43
		Autres opérateurs	12	1	1,34	1,23	4,46	0,96
G	Sciures propres	Cond chargeur	7	5	2,28	1,87	6,50	2,00
		Cond pelle	6	6	3,40	3,15	4,92	0,94
		Autres opérateurs	16	1	0,78	0,64	2,03	0,51
H	Sciures propres	Cond chargeur	14	0	0,45	0,42	0,72	0,16
		Cond pelle	7	0	0,54	0,55	0,71	0,14
		Autres opérateurs	11	0	0,36	0,27	0,71	0,17

* VLEP = 10 mg/m³

raison des polluants multiples recherchés. Le nombre de prélèvements individuels était également limité par le fait que les salariés portent au maximum deux dispositifs de prélèvement.

Les prélèvements d'air à poste fixe à une hauteur de 1,70 m regroupant l'ensemble des dispositifs de prélèvements chimiques ont été réalisés à proximité de sources potentielles de pollution telle que le broyage, le stockage, le criblage. Les six points par entreprise ont été choisis en concertation avec les responsables de site en raison du danger permanent lié à la circulation des engins. Ce sont des lieux susceptibles de passage du personnel.

Sur l'ensemble des plates-formes, les prélèvements d'ambiance en intérieur (milieu clos) représentent 28 % des mesurages, le reste étant partagé entre des endroits abrités mais souvent largement ouverts sur l'extérieur type hall ou totalement en extérieur notamment pour les opérations de broyage. Le *Tableau IV* résume la stratégie de prélèvement adoptée en fonction de chaque plate-forme.

PRÉLÈVEMENTS CHIMIQUES

Les méthodes de prélèvements et de dosages mises en œuvre sont regroupées dans le recueil de méthodes MetroPol de l'INRS [17]. Les valeurs limites d'exposition des principaux composés CMR ainsi que des autres substances [18, 19] ayant été prélevés et dosés sont indiquées dans le *Tableau V*.

Les poussières de bois et/ou les matières particulaires totales (MPT)

Les poussières totales ont été prélevées sur capsule ACCU-CAP avec membrane en PVC (diamètre 37 mm) montée sur cassette fermée à un débit de prélèvement de 2 l/min (+ 5 %) sélectionnant la fraction inhalable de l'aérosol durant 7 à 8 heures. La concentration pondérale en MPT est mesurée par gravimétrie à hygrométrie compensée.

Remarque :

Les concentrations mesurées par le dispositif ACCU-CAP sont en moyenne plus élevées d'environ 70 % que celles mesurées par un dispositif cassette/filtre PVC [20]. En effet, le prélèvement sur filtre PVC sous-estime la fraction inhalable notamment en présence de particules > 20 µm puisqu'il ne prend pas en compte le dépôt sur les parois de la cassette (on ne pèse que le filtre). Cependant, la comparaison à la valeur limite des poussières de bois a été initialement établie en

utilisant cette technique. Par conséquent, le mesurage par dispositif ACCU-CAP s'avère défavorable pour une comparaison à la VLEP des poussières de bois mais reflète mieux les concentrations réelles correspondant à la fraction inhalable.

Quelle que soit la technique de prélèvement, la détermination de la concentration en poussières de bois se fait par gravimétrie, technique qui ne permet pas de différencier les particules de bois des autres particules éventuellement présentes.

Les éléments traces métalliques (ETM)

L'analyse et le dosage des traces de métaux ont été réalisés par spectrométrie ICP après solubilisation de la membrane de la capsule ACCU-CAP dans l'acide perchlorique.

Le chrome VI et l'arsenic III

La méthode de prélèvement et de dosage des ETM ne permet pas la spéciation des différentes formes de ces métaux et notamment des composés du chrome (hexavalent ou chrome VI) et de l'arsenic (trivalent).

Par conséquent, les composés du chrome VI ont été prélevés sur une cassette porte-filtre de diamètre 37 mm contenant un filtre en fibre de quartz traité à haute température à un débit d'environ 2 l/min. Les échantillons ont été traités selon le protocole décrit dans la fiche MetroPol 084.

Les composés de l'arsenic total, y compris sous la forme trivalente, ont été prélevés sur cassette porte-filtre contenant un filtre de quartz imprégné de carbonate de sodium pour retenir les composés particuliers volatils de l'arsenic à un débit d'environ 1 l/min. L'analyse des filtres est faite selon protocole décrit dans la fiche MetroPol 023.

Les composés organiques volatils (COV)

Les COV ont été prélevés sur tube de charbon actif SKC 226-06 à un débit de 200 ml/min (+ 5 %) pendant 7 à 8 heures, ce qui correspond à un volume maximal possible avec le matériel utilisé. Après désorption par du sulfure de carbone, l'analyse qualitative et quantitative a été effectuée par couplage chromatographie en phase gazeuse/spectrométrie de masse (GC-MS).

Le badge GABIE a également été utilisé notamment dans l'entreprise

D lors des deux campagnes D1 et D2 pour éviter la surcharge des opérateurs déjà équipés de deux autres dispositifs de prélèvement. Dans ce cas, les prélèvements ambiants ont été également réalisés par badge pour harmoniser l'ensemble des mesurages. Ce badge, développé par l'INRS et commercialisé par la société ARELCO – France, est un échantillonneur passif de vapeurs et de polluants organiques présents dans les atmosphères de travail. Le principe de prélèvement est basé sur la diffusion des vapeurs de solvants au travers d'une couche adsorbante de charbon actif. La surface de diffusion circulaire est de 7 cm². La connaissance de la quantité de solvant 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 formaldéhyde

Le formaldéhyde a été prélevé à un débit de prélèvement compris entre 0,2 et 1 l/min sur cartouche spécifique contenant du gel de silice imprégné à 1 % de 2,4-dinitrophénylhydrazine (DNPH) pour former l'hydrazone correspondante. Après désorption par de l'acétonitrile, le dérivé est analysé par chromatographie liquide haute performance (HPLC) avec détection UV. Les prélèvements et les analyses des filtres sont faits selon le protocole décrit dans la fiche MetroPol 001.

Les hydrocarbures polycycliques aromatiques (HAP)

Les HAP particuliers ont été prélevés sur cassette porte-filtre de diamètre 37 mm fermée contenant un filtre en fibre de verre ou quartz à un débit de 2 l/min. Après désorption du filtre par le dichlorométhane et rinçage des parois de la cassette par du méthanol, le dosage du BaP (benzo(a)pyrène) a été réalisé par HPLC couplée à une détection fluorimétrique.

RÉSULTATS

LES POUSSIÈRES DE BOIS ET MPT

Environ 350 prélèvements ont été réalisés sur les plates-formes. Les résultats sont présentés dans le *Tableau VI*.

FIGURE 1

Distribution des concentrations atmosphériques ambiantes en poussières (de bois)

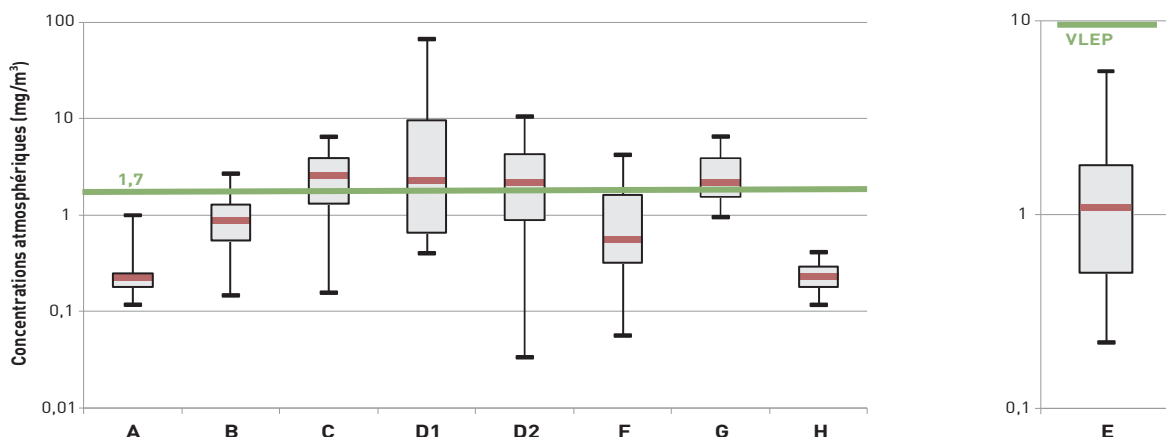


FIGURE 2

Distribution des expositions (sauf E)

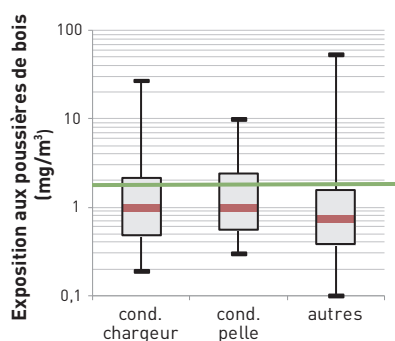
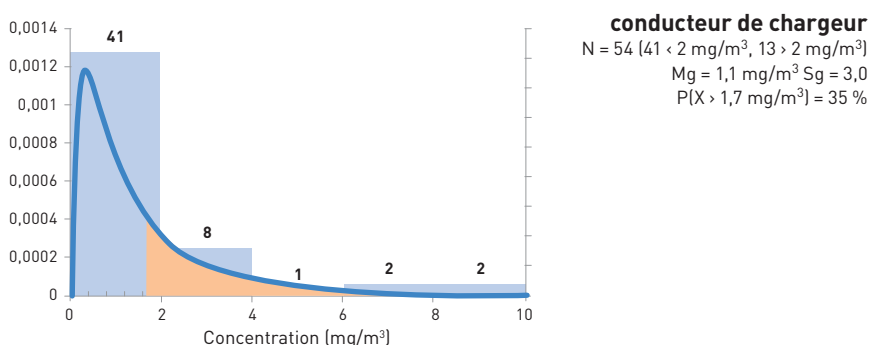


FIGURE 3

Distribution log normale des expositions aux poussières de bois



Dans cette étude, l'hypothèse a été faite que les poussières prélevées étaient essentiellement constituées de bois, ce qui est le cas pour les entreprises A, B, C et D mais l'est sans doute moins pour les entreprises F, G et H qui fabriquent des CSS à partir de sciures. Les prélèvements ayant été réalisés sur capsule ACCU-CAP, un facteur correctif de 1,7 a été attribué à cette VLEP (soit 1,7 mg/m³) pour comparer directement les concentrations obtenues à la VLEP des poussières de bois (voir remarque ci-dessus).

Broyage (entreprises A, B, C, D1 et D2)

Dans les entreprises effectuant du broyage, le niveau d'empoussièrément est globalement élevé puisque 47 % des mesures en ambiance et 38 % des mesures individuelles sont supérieures à la VLEP des poussières de bois (cf. Tableaux VI, VII et Figure 1).

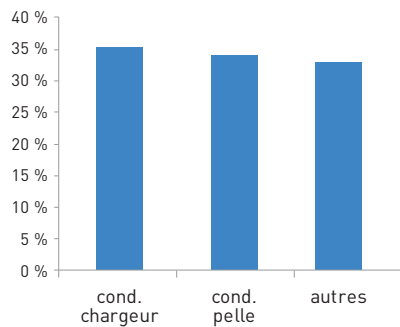
L'empoussièrément est généré par l'ensemble des opérations s'effectuant en extérieur allant du broyage au transfert de matière et au chargement de silo ou de camion. De surcroît, le déplacement des chargeurs sur sol, sec et empoussiéré occasionne la remise en suspension dans l'air d'une partie des particules. Sur les sites C et D2, l'abatage à l'humide, pratiqué de façon épisodique au niveau du broyage, n'a pas permis d'apprécier la réduction du taux d'empoussièrément.

À l'exception de la plate-forme A peu empoussiérée en raison des faibles quantités broyées (10 fois moins que sur le site C) et d'installations relativement étanches dès la sortie du broyeur jusqu'au silo de stockage, les concentrations mesurées sur les plates-formes de broyages peuvent être très élevées mais aussi très variables. Par exemple, la valeur maximale de 68 mg/m³ relevée en extérieur sur le site D1 corres-

pond à des chargements de sciures dans des camions via un chargeur avec vent défavorable alors que les concentrations mesurées à ce point étaient d'environ 10 mg/m³ les deux autres jours pour une activité sensiblement équivalente. Ces écarts de concentration montrent la variabilité temporelle des concentrations en extérieur due aux conditions climatiques (direction et vitesse des vents). À l'instar des concentrations mesurées en ambiance, l'exposition des opérateurs est également très variable selon le travail effectué. Ainsi, l'exposition maximale d'un des opérateurs sur le site C est de 54 mg/m³ en raison du nettoyage du broyeur en fin de poste alors que l'exposition moyenne pour cette fonction dans l'entreprise est de 11 mg/m³. De même, les résultats obtenus sur le site D au cours de la seconde campagne de mesure D2 montre que le taux d'empoussièrément et l'exposition des opérateurs (C moy = 2,48 mg/m³)

FIGURE 4

Probabilité de dépassement de la VLEP des poussières de bois (sauf E)



sont deux fois plus faibles que lors de la première campagne D1 (C moy = 4,65 mg/m³) alors que l'activité de l'entreprise était plus intense au cours de la seconde campagne de mesure.

Thermolyse (entreprise E)

Dans cette entreprise valorisant des traverses créosotées, les MPT sont constituées de poussières de charbon de bois. Si le taux d'empoussièrément mesuré en ambiance est inférieur à la VLEP des MPT (sans effets spécifiques), avec une concentration moyenne de 1,4 mg/m³ et maximale de 5,5 mg/m³, les opérateurs affectés à l'ensachage du produit sont en revanche particulièrement exposés aux poussières de charbon de bois avec 50% des concentrations supérieures à 10 mg/m³ et une valeur maximale à 110 mg/m³. L'exposition des autres opérateurs est significative sans toutefois dépasser la VLEP.

Sciures imprégnées (entreprises F, G et H)

Sur ces installations, produisant des CSS à partir de déchets industriels solvants et de sciures (imprégnées), l'empoussièrément est deux fois moindre que sur les sites effectuant du broyage avec 24% des mesures en ambiance et 18% des mesures individuelles supérieures à la VLEP des poussières de bois. Sur le site G, l'empoussièrément important est dû au déversement de sciures dans les fosses de déchets, au mélange avec une pelle à grappin, le tout s'effectuant en intérieur. Dans l'usine F, qui produit du CSS, les concentrations plus faibles résultent en partie d'une faible activité, due à des problèmes techniques sur la ligne de traitement, alors que

FIGURE 5

Probabilité de dépassement de la VLEP des poussières de bois pour les conducteurs de chargeur

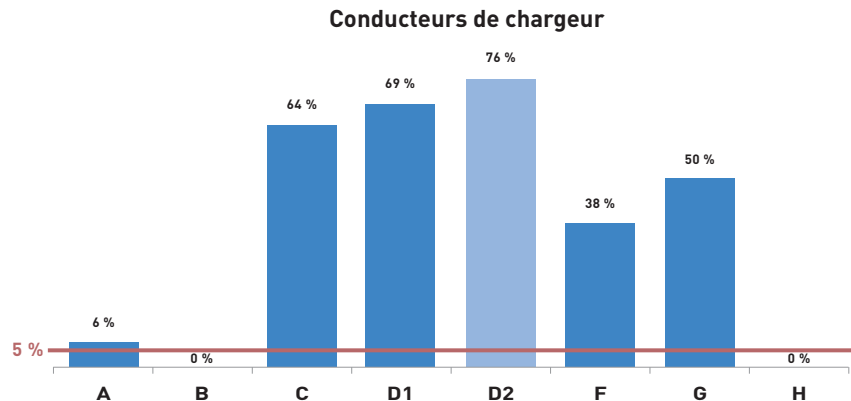


FIGURE 6

Probabilité de dépassement de la VLEP des poussières de bois pour les conducteurs de pelle

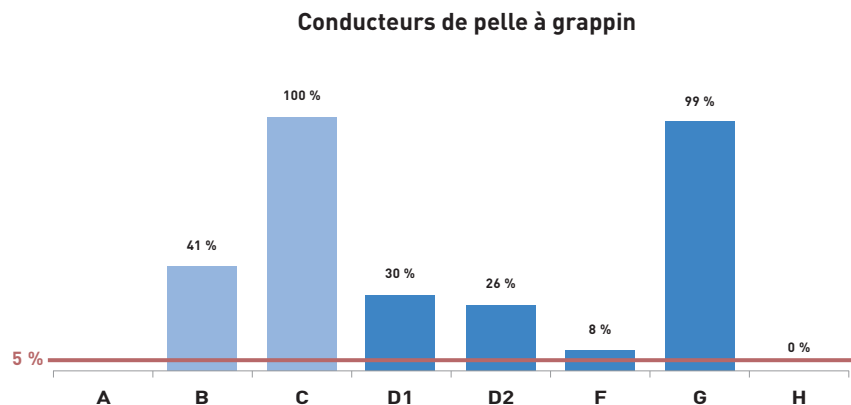


FIGURE 7

Probabilité de dépassement de la VLEP des poussières de bois pour les autres opérateurs

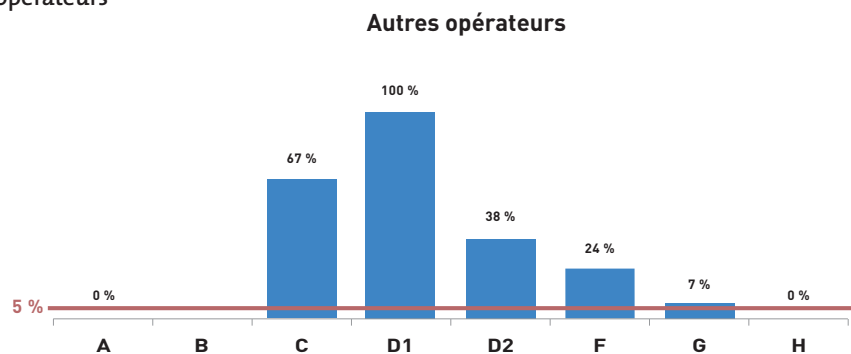


TABLEAU VIII

Concentrations en chrome VI et arsenic

Entreprises	Type de déchets		Prél en ambiance : C en $\mu\text{g}/\text{m}^3$					
			n	n \geq VLEP	moy	médiane	max	écart type
D 1	Poteaux CCA + traverses créosotées	Cr VI	18	9	2,8	1,0	10,2	3,3
		As	17	0	5,5	4,1	23,5	5,6
D 2	Poteaux CCA + traverses créosotées	Cr VI	36	5	0,7	0,3	7,5	1,3
		As	36	0	1,7	1,4	5,5	1,5

l'empoussièrement relativement faible du site H par rapport à G est probablement dû à la configuration des lieux (fermé pour G et semi ouvert pour H) mais aussi peut-être au fait que le ratio sciures/déchets était environ deux fois plus faible sur le site H que dans l'usine G.

Analyse statistique des expositions individuelles aux poussières de bois

Trois fonctions de travail ont été définies pour les entreprises, sauf E, à savoir les conducteurs de chargeurs, les conducteurs de pelle et les autres opérateurs. La Figure 2 montre la distribution de l'exposition des trois catégories d'opérateurs aux poussières de bois. Les probabilités de dépassement de la VLEP ont été calculées pour chacune des fonctions suivant l'hypothèse de loi log normale. A titre d'exemple, la distribution des concentrations individuelles pour la

fonction de conducteur de chargeur et la probabilité (norme EN 689, annexe D) de dépasser la VLEP est indiquée sur la Figure 3. Il ressort de cette analyse que, pour toutes entreprises confondues, les probabilités de dépasser la VLEP sont très voisines, de 33 à 35% quelle que soit la fonction occupée (cf. Figure 4). Cependant, une analyse plus détaillée par entreprise, illustrée par les Figures 5, 6, 7, montre une grande disparité sur la probabilité de dépassement de la VLEP quel que soit, là aussi, le poste occupé dans l'entreprise. Cette analyse indique clairement, qu'à l'exception de l'entreprise H, les opérateurs sont probablement exposés à une concentration au-delà des seuils tolérables. En effet, selon la norme EN-689, le seuil de 5% de la VLEP ne doit pas être dépassé.

Remarque :

Les barres en clair sur les Figures 5 et 6 réalisées avec moins de 6 valeurs (minimum) sont présentes à titre indicatif.

LES ETM

L'analyse et le dosage des métaux ont été réalisés essentiellement dans les entreprises F, G et H qui fabriquent des CSS. Les métaux (principalement fer, aluminium et zinc) présents en (très) faibles concentrations sont probablement issus des produits imprégnant les sciures mais ils peuvent également provenir du broyage des déchets. Les concentrations maximales sont de 256 et 66 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ pour le fer et l'aluminium pour une concentration (maximale dans l'entreprise G) de 6,5 mg/m^3 en poussières de bois.

LE CHROME VI ET L'ARSENIC III

Ces prélèvements spécifiques n'ont été réalisés qu'en ambiance lors de deux campagnes de mesures D1 et D2 sur la plate-forme D en raison de sa spécificité à valoriser des bois traités CCA. Tous les résultats (cf. Tableau VIII) concernant ces deux polluants majeurs du traitement CCA des bois montrent que les concentrations mesurées en arsenic sur les poussières sont inférieures à la VLEP. Par contre, pour la campagne D1, 50% des concentrations en chrome VI sont supérieures à la VLEP actuelle de 1 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, la valeur moyenne étant de 2,8 $\mu\text{g}/\text{m}^3$. Il convient cependant de préciser que cette valeur correspondait à une concentration de 11 mg/m^3 en poussières de bois. Lors de la cam-

TABLEAU IX

Concentrations en COV

Entreprises	Type de déchets	Prél en ambiance COV : l.pol						Prél individuels COV : l.exp					
		n	n \geq 1	moy	médiane	max	écart type	n	n \geq 1	moy	médiane	max	écart type
A	Panneaux, stratifiés, palettes	18		0,01 < C en alpha pinène < 0,12 mg/m^3									
B	Panneaux, stratifiés, palettes	16		Concentrations < 0,05 mg/m^3									
C	Panneaux, stratifiés, palettes + traverses créosotées	18		Concentrations < 0,05 mg/m^3									
D 1	Poteaux CCA + traverses créosotées	18		l.pol < 0,06				15		l.exp < 0,06			
D 2	Poteaux CCA + traverses créosotées	38		Concentrations < 0,1 mg/m^3 (0,1 < C en α pinène < 2,7 mg/m^3)				21		Concentrations < 0,1 mg/m^3 (0,1 < C en α pinène < 1,1 mg/m^3)			
E	Traverses créosotées	18		Concentrations < 0,05 mg/m^3									
F	Sciures « propres » et imprégnées	18	0	0,15	0,10	0,42	0,12	24	0	0,10	0,09	0,28	0,06
G	Sciures « propres »	18	4	0,66	0,75	1,26	0,40	29	1	0,26	0,08	1,17	0,31
H	Sciures « propres »	12	0	0,34	0,36	0,62	0,17	18	0	0,30	0,23	0,88	0,24

pagne D2, la concentration moyenne en chrome VI est de 0,6 µg/m³ et 15 % des valeurs sont au-delà de la VLEP. Il convient cependant de préciser que les concentrations plus faibles mesurées lors de la seconde campagne D2 peuvent correspondre à un empoussièrément général plus faible sans toutefois qu'il soit possible d'établir une corrélation entre les poussières de bois et les métaux en raison de broyage de traverses créosotées effectué en alternance.

LES COV

Les COV ont été prélevés et dosés dans l'ensemble des entreprises. Pour les sites A à E, les analyses quantitatives ont surtout mis en évidence des hydrocarbures aromatiques et des terpènes en très faibles concentrations. Les indices d'exposition ou de pollution calculés sont pour la plupart d'entre eux inférieurs à 0,05. L'exposition aux COV sur les plates-formes assurant du broyage de bois est donc négligeable. En revanche, elle est significative sur les sites F, G et H qui fabriquent du CSS. Dans l'entreprise G, les opérateurs notamment les conducteurs d'engins évoluant essentiellement en lieu clos sont potentiellement exposés (port de protection respiratoire équipé de cartouches filtrantes de type A2BKP3 y compris dans leur cabine) puisque la moyenne des indices d'exposition est d'environ 0,5 mais que les valeurs maximales sont supérieures à la VLEP ($I_{exp\ max} = 1,2$). Les résultats sont présentés dans les [Tableaux IX et X](#).

Analyse statistique des expositions individuelles aux COV

L'analyse statistique a été réalisée avec les mêmes fonctions de travail dans les entreprises F, G et H présentant un niveau de pollution significatif aux COV. La [Figure 8](#) montre la distribution de l'exposition des trois catégories d'opérateurs aux COV. Les probabilités de dépassement de 1 pour l'indice d'exposition ont été calculées pour chacune des fonctions suivant l'hypothèse de loi log normale (cf. [Figure 9](#)). Les résultats indiquent, pour ces 3 entreprises, que les fonctions de conducteur de chargeur et de pelle ont respectivement une probabilité de 6 et 4 % de dépasser la VLEP d'un mélange de solvant; les autres opérateurs étant plus faiblement exposés.

FIGURE 8

Distribution des expositions aux COV

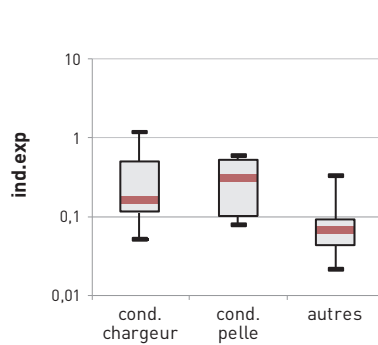


FIGURE 9

Probabilité de dépassement de la VLEP des COV

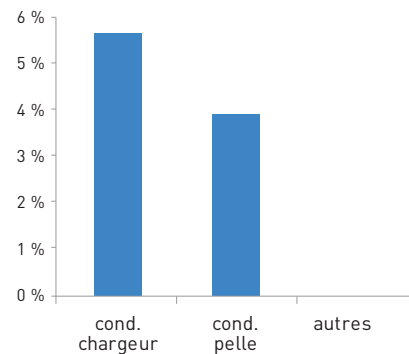


TABLEAU X

Exposition par fonction des opérateurs aux COV

Entreprises	Type de déchets	Fonction/poste de travail	Prél individuels COV : I.exp					
			n	n ≥ 1	moy	médiane	max	écart type
F	Sciures propres, imprégnées	Cond chargeur	6	0	0,13	0,13	0,18	0,05
		Cond pelle	6	0	0,10	0,10	0,17	0,03
		Autres opérateurs	12	0	0,09	0,08	0,28	0,07
G	Sciures propres	Cond chargeur	7	1	0,54	0,39	1,17	0,42
		Cond pelle	6	0	0,50	0,52	0,59	0,09
		Autres opérateurs	16	0	0,06	0,05	0,09	0,02
H	Sciures propres	Cond chargeur	9	0	0,33	0,15	0,88	0,30
		Cond pelle	4	0	0,38	0,37	0,55	0,15
		Autres opérateurs	5	0	0,17	0,14	0,33	0,10

TABLEAU XI

Concentrations et exposition au formaldéhyde

Entreprises	Type de déchets	Prél amb formaldéhyde: C en µg/m ³					Prél ind formaldéhyde: C en µg/m ³				
		n	moy	médiane	max	écart type	n	moy	médiane	max	écart type
A	Panneaux, stratifiés, palettes	17	9,9	10,0	12,7	2,2	19	8,4	8,2	14,7	3,3
B	Panneaux, stratifiés, palettes	9	1,1	1,3	2,2	0,6					
C	Panneaux, stratifiés, palettes + traverses créosotées	13	14,3	10,2	29,7	7,5	16	24,5	21,5	61,0	12,2
F	Sciures "propres" et imprégnées	18	7,7	7,4	11,6	1,7					

TABLEAU XII

Concentrations et exposition au BaP

Entreprises	Type de déchets	Prél en ambiance BAP: C en ng/m ³						Prél individuels BAP: C en ng/m ³						
		n	n ≥ VLEP	moy	médiane	max	écart type	n	n ≥ VLEP	moy	médiane	max	écart type	
C	Panneaux, stratifiés, palettes + traverses créosotées	4	0	31	29	48	14	5	0	48	65	75	28	
D 1	Poteaux CCA + traverses créosotées	18	10	634	168	5138	1298	14	5	246	88	1115	326	
D 2	Poteaux CCA + traverses créosotées	35	21	493	183	6006	1040	20	9	257	113	1293	358	
E	Traverses créosotées	14	1	30	4	216	58	14	0	25	14	104	30	
F	Sciures « propres » et imprégnées	9	Concentrations < 2 ng/m ³											

LE FORMALDÉHYDE

Le formaldéhyde a été prélevé et dosé dans les entreprises A, B et C effectuant du broyage de panneaux de particules. Sur l'ensemble des plates-formes concernées, les concentrations en formaldéhyde sont en moyenne (très) faibles. Les plus fortes concentrations en ambiance et individuelles ont été mesurées à un poste de broyage semi-ouvert sur le site C avec respectivement 30 et 60 µg/m³ soit le dixième de la VLEP. Les résultats sont détaillés dans le [Tableau XI](#).

LES HYDROCARBURES POLYCYCLIQUES AROMATIQUES (HAP)

Les HAP ont été prélevés dans les entreprises C, D et E traitant des bois créosotés. Les concentrations sont présentées dans le [Tableau XII](#).

En ce qui concerne les entreprises C et D, les concentrations atmosphériques en HAP sont très variables et dépendent du niveau d'empoussièrement, du taux de créosote imprégnant les bois (de 6 à 18%), de la teneur en BaP dans la créosote et, probablement, de la granulométrie des broyats et des poussières. Ainsi, dans l'entreprise C, les résultats montrent que toutes les concentrations en BaP sont inférieures à 150 ng/m³, la valeur maximale pour un opérateur étant de 75 ng/m³ alors que l'exposition correspondante en poussières de bois est de 5,5 mg/m³. A l'inverse, les concentrations moyennes en BaP sont très élevées sur le site D

(campagne D1), 30% des concentrations individuelles et 50% en ambiance sont supérieures à la valeur recommandée; les valeurs maximales étant respectivement de 1100 et 5100 ng/m³ et les concentrations correspondantes en poussières de bois étant également très élevées (10 et 68 mg/m³). Ces résultats sont confirmés par les concentrations en BaP lors de la seconde intervention D2.

Les mesures de BaP dans l'usine E fabriquant du charbon de bois par thermolyse de bois créosotés montrent que l'exposition des opérateurs à ce composé CMR est, dans l'ensemble, inférieure à la limite recommandée. Toutefois, l'exposition des opérateurs affectés aux fours n'est pas négligeable, la valeur maximale étant de 103 ng/m³ alors les concentrations les plus fortes en ambiance se trouvent logiquement à proximité des fours avec une valeur maximale à 216 ng/m³. En revanche, l'exposition des opérateurs à l'ensachage du charbon de bois ainsi que les concentrations mesurées dans cet environnement sont très faibles: 3,3 ng/m³.

DISCUSSION

Cette étude a mis en évidence la présence d'un polluant majeur présent sur la plupart des plates-formes: les poussières de bois et deux autres polluants principaux dont les concentrations dépendent directement du niveau d'empoussièrement: les HAP et le chrome VI sur

les plates-formes spécifiques traitant des bois de réseaux.

Le degré d'empoussièrement globalement élevé est néanmoins très variable selon les plates-formes. Il dépend de plusieurs paramètres dont l'activité des engins mécanisés et le degré de confinement du lieu de travail. Les reprises de broyats par chargeurs semblent être les opérations les plus polluantes en extérieur sur les plates-formes de broyage. Dans les entreprises utilisant des sciures, les concentrations en poussières de bois dépendent du niveau de confinement et des systèmes d'aspiration mis en place. Globalement, les opérateurs sont exposés aux poussières de bois avec la probabilité d'une exposition supérieure à la VLEP d'environ 35% quelle que soit la fonction occupée. Cependant, si l'exposition des opérateurs est acceptable sur le site H avec une probabilité nulle de dépassement de la VLEP. A contrario, les concentrations élevées sur les plates-formes traitant des bois de réseaux entraînent de fait une très forte probabilité de dépassement de la VLEP pour tous les postes. Les résultats font également apparaître des écarts relativement importants des concentrations individuelles ou d'ambiance sur un même site. La variabilité de l'exposition pour une fonction peut s'expliquer par la durée et le nombre d'opérations ponctuelles polluantes réalisées au cours d'un poste de travail, le fait de fermer ou non la vitre d'une cabine d'engin et par les conditions atmosphériques alors que les variations de concentrations atmosphériques d'un jour à l'autre en un point donné pour une activité identique ne semblent dépendre que des conditions

atmosphériques. Le taux d'empoussièrement peut également varier de façon plus générale entre les deux campagnes de métrologie sur la même plate-forme. Ainsi, les concentrations mesurées sur le site D, tant en ambiance qu'individuelles sont environ deux fois plus faibles lors de la seconde campagne pour une activité pourtant accrue.

Les salariés travaillant sur ces plates-formes sont de surcroît exposés à deux autres CMR, le chrome VI et les HAP qui imprègnent ces bois. Les concentrations de ces substances qui peuvent atteindre des seuils très élevés (respectivement 10 fois la VLEP et 7 fois la valeur recommandée) dépendent avant tout des concentrations atmosphériques en poussières de bois. Les risques induits par les poussières de bois traités ne sont pas connus à l'heure actuelle. Il est probable que les poussières de bois traitées présentent autant de risques sinon plus que les poussières non traitées. Les HAP se rencontrent également en plus faible concentration à proximité des fours de thermolyse du site E qui comporte, par ailleurs, un secteur très empoussière (10 fois la VLEP) exposant particulièrement les opérateurs.

Les mesures de COV réalisées dans les usines fabriquant des CSS montrent que les concentrations ne sont pas négligeables et que l'exposition des opérateurs aux vapeurs de solvant est significative et pourrait être supérieure à la VLEP en cas de conditions défavorables (notamment en cas de forte chaleur).

Bien que des mesurages n'aient pas été réalisés dans les cabines d'engins, les résultats concernant l'exposition aux poussières de bois des conducteurs qui passent en moyenne 70 à 80% du temps en cabine suscitent des interrogations sur la ou les causes de ces niveaux de concentration. On peut supposer que les systèmes de filtration sont peu efficaces, que l'étanchéité au niveau de la cabine fait défaut et/ou que les conducteurs ont été exposés hors de leurs cabines. Il convient donc de s'assurer du bon fonctionnement des caissons de filtration (poussières et COV) pour assurer une meilleure protection des conducteurs d'engin.

CONCLUSION

L'étude présentée dans cet article a tout d'abord permis de caractériser les gisements de déchets de bois dangereux

à un niveau de connaissance variable en fonction du type de déchet. Des lacunes subsistent notamment sur les quantités de bois des déchets d'aménagements agricoles, de génie civil et des particuliers et leur élimination, l'enquête n'ayant pas apporté de réponses pour ces types de déchets. La typologie de la production, la nature du déchet en quantité dispersée sont autant de paramètres qui rendent difficile le suivi de la filière. Pour les déchets de chantiers émanant du BTP, la filière est mieux connue mais elle reste néanmoins « noyée » dans l'ensemble des déchets dangereux produits par le secteur. Les déchets de production de l'industrie du bois sont quant à eux étroitement liés à l'industrie de panneaux de particules. Les quantités de déchets produits en interne ou traités en entreprise pour valorisation énergétique ou matière sont basées sur des estimations. En revanche, la filière des déchets de bois de réseaux est bien connue tant des producteurs que des traiteurs. Les acquis imparfaits des flux de certains types de déchets de bois n'impactent pas à ce jour la connaissance des modes de traitement existants et de leurs risques chimiques associés.

La présence d'agent chimiques CMR, notamment les poussières de bois, est avérée. Les concentrations en poussières sont élevées et très variables selon les sites, y compris sur la plate-forme spécifique fabriquant du charbon de bois. A l'instar des mesures en ambiance, les opérateurs sont exposés à des concentrations également très variables mais néanmoins supérieures à la VLEP dans la plupart des cas. Cependant, l'exposition réelle est réduite en cas de port d'EPI. Une estimation a priori des expositions en fonction de différents paramètres (saison, quantité de produit traités...) est incertaine et seules des campagnes de mesures permettent d'évaluer avec précision les niveaux d'exposition sur un site donné.

La présence d'autres CMR (BaP, Cr VI) pouvant imprégner les poussières n'appelle pas à des mesures complémentaires de prévention. Leurs concentrations atmosphériques dépendent avant tout du taux d'empoussièrement.

Il convient de limiter par tous les moyens les émissions de matières particulaires en optimisant, par exemple, la reprise des broyats par chargeurs, en pratiquant un abattage humide des poussières au niveau du broyage (bien que l'étude n'ait pu en démontrer les effets bénéfiques) et en maintenant les sols propres par temps sec. D'autres

mesures de prévention adaptées à mettre en œuvre s'appuieront sur des dispositifs:

- limitant la pollution générale en atténuant l'émission notamment à la source au niveau des broyeurs fixes, des zones avec transfert de matière;

- permettant de réduire la pollution particulaire au niveau des engins mobiles par la mise en place de cabine surpressée (> 40Pa) à air épuré, si possible climatisée;

- ayant recours à des systèmes de filtration dont les performances sont adaptées à la pollution particulaire présente (notamment au niveau des cabines des engins mobiles), et dont la maintenance est assurée. Un filtre H13 sera recommandé pour les polluants à risque spécifique tel que les poussières de bois;

- limitant le niveau de pollution générale en renforçant la ventilation des zones particulièrement polluantes sur la base de résultats de simulation numérique.

Remerciements

Les auteurs remercient: Jérôme Grosjean, Nathalie Monta, Juliette Kunz-Iffli, Thérèse Nicot de l'INRS pour leur participation à l'étude.

POINTS À RETENIR

■ Le niveau d'empoussièrément sur les plates-formes, globalement élevé, est néanmoins très variable d'une entreprise à l'autre mais aussi sur un même site et dépend de nombreux paramètres (configuration des lieux, niveaux d'activité, conditions météorologiques...).

■ Les concentrations en HAP lors du broyage des bois créosotés

sont également très élevées (C max = 6 000 ng/m³) mais dépendent essentiellement des concentrations en poussières de bois.

■ Les concentrations en chrome VI lors du broyage de poteaux traités CCA peuvent dépasser la VLEP (C max = 10 µg/m³) mais dépendent également des concentrations en poussières de bois.

■ Les concentrations en formaldéhyde lors du broyage de panneaux de particules sont faibles.

■ Les cabines des engins mobiles sont empoussiérées.

BIBLIOGRAPHIE

[1] <http://www.pollutionsindustrielles.ecologie.gouv.fr/IREP/index.php>

[2] <http://www.ifen.fr/>

[3] [http://www.ademe.fr/Domaines d'intervention/Déchets/A chaque déchet des solutions/Déchets de bois.](http://www.ademe.fr/Domaines_d'intervention/Déchets/A_chaque_déchet_des_solutions/Déchets_de_bois)

[4] <http://www.fcba.fr>

[5] <http://www.ffbatiment.fr>

[6] <http://www.cstb.fr>

[7] SAVARY.B., VINCENT.R., RODRIGUEZ.C., CHOLLOT.A. - *Caractérisation des risques chimiques professionnels de la filière de gestion des déchets: analyse a priori des risques potentiels*. INRS, Note Scientifique et Technique, 240, 2005, pp. 1 - 120

[8] http://www.mines.inpl-nancy.fr/wwwenv/legislation/texte/classification_dechets.pdf. Atoo déchets: Classification des déchets. Etat de la réglementation au 30 mars 2003.

[9] <http://www.ifen.fr/uploads/media/de116.pdf>. *Le recyclage des déchets du bâtiments et des travaux publics peut*

progresser - Le 4 pages IFEN (Institut Français de l'Environnement), 116, 2007.

[10] <http://www.itebe.org>: Institut des Bioénergies. *Les combustibles issus des déchets de bois: Valorisation énergétique des bois de rebut*. Etat des lieux en France.

[11] *Poussières de bois. Prévenir les risques*. INRS, 2006, ED 974.

[12] <http://www.environnement.ccip.fr/déchets/fiches/déchets-bois.htm>

[13] *Le recyclage de bois par le procédé CHAROTHERMTM*. http://www.thermya.com/index_thermya.php?id=6

[14] SUBRA I., HUBERT G., AUBERT S., HERY M., ELCABACHE J.M. - *Exposition professionnelle aux métaux lors de l'usinage des bois traités au cuivre, chrome, arsenic*. INRS, Hygiène et sécurité du Travail, 175, 1999, pp. 61 - 68.

[15] TODD A.S., TIMBIE C.Y. - *Preliminary survey of wood preservative production facility at koppers company, inc*. NIOSH, Cincinnati. Ohio. NIOSH Contract N° 210-78-0060. 1980. 4 p.

[16] HABERT C., FERNANDEZ G., GUINOT C., GARNIER R. - *Evaluation de l'exposition aux hydrocarbures aromatiques polycycliques lors de l'usinage de traverses créosotées*. Archives des Maladies Professionnelles et de l'Environnement. Vol 63, n°3-4, 2002, pp. 219 - 220.

[17] <http://www.inrs.fr/metropol>

[18] *Valeurs limites d'exposition professionnelles aux agents chimiques en France*. INRS, Hygiène et sécurité du travail, 174, 1999, ND 2098, pp. 59 - 77.

[19] ACGIH - Documentation of the TLVs® and BEIs® with other Worldside Occupational Exposure Values 2004 CD-ROM.

[20] KAUFFER E., WROBEL R., GÖRNER P., ROTT C., GRZEBYK M., SIMON X., WITSCHGER O. - *Comparaison sur site dans l'industrie du bois de quelques échantillonneurs d'aérosols*. Hygiène et sécurité du travail, 219, ND 2326, 2010, pp. 3 - 17