
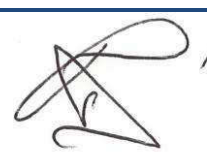


**RAPPORT DE MESURES D'EMPOUSSIEREMENT SUR LA CARRIERE DE
CHAPET**

CONTROLE TECHNIQUE REGLEMENTAIRE DES LIEUX DE TRAVAIL

Par : Section Laboratoire Mesure et diagnostic des pollutions
Mission : Contrôle de l'exposition des travailleurs au risque chimique par inhalation
Année de mesures : 2017

Site :	TERREAL 4, route de Troarn 14860 BAVENT	Contrôle technique effectué : <input checked="" type="checkbox"/> En conformité avec la réglementation du travail ; <input checked="" type="checkbox"/> selon la demande du client reportée dans notre proposition technique et financière ; <input checked="" type="checkbox"/> Conformément au référentiel ISO 17025 pour le prélèvement et l'échantillonnage. Le laboratoire de prélèvement Mesures et Diagnostics des Pollutions est accrédité par le COFRAC pour la mesure de la qualité de l'air des lieux de travail selon la norme ISO 17025. Toute analyse marquée d'un AP est sous couvert d'accréditation.
---------------	--	---

<u>Rapport adressé à :</u>	Dominique LANCE Resp. exploitation des carrières / matières premières et couleurs Usines de Bavent (14) et des Mureaux (78) M. 06 64 06 94 39 T. 02 31 78 80 10	<u>Rédacteur :</u>	F SOUYRI	
		<u>Validation</u>	M Piau	



Mises à jour :

<p>AXE Assistance et Expertise Rue S. POISSON - Campus de Rennes Ker Lann 35170 BRUZ Tél. : 02 99 52 52 12 Fax : 02 99 52 52 11 www.axe-environnement.fr</p> <p>Accréditation n° 5618. Portée disponible sur www.cofrac.fr</p>	 	<p>« Rapport non modifiable. La reproduction devra être intégrale. »</p> <p>Le : 18/4/2017 Référence : AXE/MP/CARRIERE/TERREAL/2016-510 Version : N°1</p>
---	--	---

SOMMAIRE

I.	Préambule	3
II.	La visite préalable	6
1.	Justification des substances recherchées.....	6
2.	Adresses d'intervention et contexte	7
3.	Groupes d'Exposition Homogène (GEH) retenus	7
III.	Principe d'interprétation des VLEP.....	8
1.	Calcul de l'exposition à partir des concentrations mesurées.....	8
2.	Récapitulatif - Diagnostic de respect ou de dépassement de la VLEP	8
IV.	Mesures et résultats.....	9
1.	Caractéristiques techniques des prélèvements	9
2.	Contrôle du prélèvement par CIP 10.....	10
3.	Caractéristiques des prélèvements	11
4.	Résultats d'analyses du GEH 1	11
5.	Traitement statistique	15
V.	Diagnostic de conformité et Conclusion	16
VI.	Interprétation & Avis.....	18
A.	Interprétation du témoin de transport	18
B.	Interprétation : additivité des effets toxicologiques	19
C.	Avis : Validité des GEH	20
	ANNEXES.....	21

INDEX DES TABLEAUX

Tableau 1 : Agents chimiques recensés.....	3
Tableau 2 : ACD à mesurer	6
Tableau 3 : Stratégie d'échantillonnage.....	7
Tableau 4 : Caractéristiques technique des mesures.....	9
Tableau 5 : GEH1 / Résultats des mesures Poussières alvéolaires.....	12
Tableau 6 : GEH1 / Résultats des mesures Quartz	13
Tableau 7 : GEH1 / Résultats des mesures Cristobalite	14
Tableau 8 : Résultats d'analyse - mesures complémentaires en ACD 2 au GEH 1	15
Tableau 9 : Résultats des témoins de transport et constats	18
Tableau 10 : Informations toxicologiques sur les Agents chimiques quantifiés [Source : INERIS]	19
Tableau 11 : Récapitulatif – critères d'interprétation diagnostic de respect.....	25
Tableau 12 : Caractéristiques des prélèvements	27

INDEX DES FIGURES

Figure 1 : Dispositif de prélèvement sur opérateur	10
Figure 2 : Dispositif utilisé pour la vérification de la vitesse de la coupelle rotative	10

I. PREAMBULE

▪ Contexte

Dans le cadre de ses obligations réglementaires (*articles R4412-1 à 31 et R4412-149 à 151 du code du travail*) concernant la protection des opérateurs contre le risque chimique, la section laboratoire « Mesures et Diagnostic des Pollutions » de la société AXE est sollicité par la société TERREAL afin de réaliser une campagne de mesures de la qualité de l'air dans le cadre du :

- évaluation initiale du contrôle technique réglementaire ;
- contrôle périodique de suivi annuel d'exposition de substances ACD aux postes de travail ;

Les agents chimiques à contrôler sont les suivants.

Tableau 1 : Agents chimiques recensés

Agent chimique dangereux	n° CAS	VLEP	VLEP réglementaire	CMR	VLEP 8h	Accréditation A : analyse P : prélèvement
					mg/m3	
Poussières alvéolaires	-	contraignante	oui	Non	5	PA
Cristobalite	14464-46-1	contraignante	oui	Non	0,05	PA
Quartz	14808-60-7	contraignante	oui	Non	0,1	PA
tridymite	15468-32-3	contraignante	oui	non	0,05	PA

▪ Documents utilisés :

- FDS des produits commerciaux utilisés : non ;
- Plan des ateliers : oui ;
- Description des procédés : oui ;
- Liste des fonctions de travail : oui ;

L'évaluation initiale a été réalisée en 2014 par la société AXE.

▪ **Demande**

Le laboratoire « MDP » a été sollicité afin de réaliser une mesure d'exposition des travailleurs par inhalation pour les ACD ci-dessus et vérifier ainsi l'absence de risque pour les travailleurs.

Cette mission concerne les étapes suivantes de la démarche d'évaluation des risques chimiques pour les travailleurs selon l'arrêté du 15 décembre 2009¹ et la circulaire du 13 Avril 2010² :

Evaluation préalable des risques chimiques :

- Etude réalisée par le client en interne ;
- Etude réalisée par le client en interne et validé par AXE ;
- Etude réalisée par AXE.

Contrôle technique REGLEMENTE³ de l'exposition des travailleurs pour l'ensemble/partie de la mission comprenant trois phases requises :

- A. Visite préalable : établissement de la stratégie de prélèvement ;
- B. Prélèvements et mesures (contrôle périodique) ;
- C. Traitement statistique du risque de dépassement pour le Quartz ;
- D. Interprétation & diagnostic de respect ou de dépassement de la VLEP.

Autre : Contrôle NON REGLEMENTE⁴ de l'exposition des travailleurs pour: les ACD et/ou postes suivants

▪ **Objectif de la mission :**

Les objectifs de la mission réalisée sont rappelés ci-après :

- Réalisation des contrôles de l'exposition des travailleurs dans les ateliers concernés afin :
 - D'évaluer l'exposition par inhalation des opérateurs et vérifier le respect des valeurs limites d'expositions professionnelles ;
 - D'évaluer l'impact d'une opération ou d'une machine sur les zones de travail avoisinantes et vérifier la conformité des concentrations en tout point de l'atelier. Ce prélèvement n'est toutefois pas représentatif de l'exposition professionnelle.

- Interpréter des résultats au regard de la VLEP existante selon la méthodologie officielle.

¹ Arrêté du 15 décembre 2009 relatif aux contrôles techniques des VLEP sur les lieux de travail modifié par décret du 9/05/2012

² Circulaire DGT 2010/03 du 13 avril 2010 relative au contrôle du risque chimique sur les lieux de travail.

³ Pour les ACD à valeurs limites réglementaires de type contraignante (VLEP_{RC})

⁴ Pour les ACD à valeurs limites réglementaires indicatives (VLEP_{RI}) (jusqu'au 1^{er} janvier 2014) et les valeurs limites admises (VLEP_{VA}) à caractère indicatif.

Références réglementaires :

- Articles R4412-1 à 31 et R4412-149 à 151 du code du travail concernant la protection des opérateurs contre le risque chimique ;
- Articles R 4412-27 (alinéa 1) pour les ACD et R4412-76 (alinéa 1) pour les CMR du code du travail concernant le contrôle non réglementé pour les substances à valeur limite indicative ;
- Décret 2009-1750 du 15 décembre 2009 et Arrêté du 15 décembre 2009 pour le contrôle technique réglementaire (substance à valeur limite contraignante article R4412-149 et à valeur limite indicative réglementaire article R4412-150) ;
- Circulaire DGT 2010/03 du 13 avril 2010 relative au contrôle du risque chimique sur les lieux de travail ;
- Article R4222-10 concernant les valeurs réglementaires en poussières alvéolaires et inhalables.

▪ **Rappel sur les catégories de valeurs limites d'exposition professionnelles (VLEP)**

Les valeurs limites d'expositions professionnelles existantes sont les suivantes :

- **Valeurs réglementaires (VLEP_R):**

- Valeur réglementaire dite contraignante VLEP_{RC} : elle concerne 84 agents chimiques (code du travail article R4412-149) dont 12 agents classés CMR. La fréquence de mesure d'exposition dans l'air de ces substances est annuelle pour les CMR listés quelque soit la quantité ou l'exposition, ainsi que pour tout autre substance dont l'évaluation des risques pour cette substance conclue sur un risque « non faible ». **Le respect de ces valeurs est une obligation minimale pour l'employeur.**
- Valeur réglementaire dite indicative VLEP_{RI} : elle concerne 46 agents chimiques (arrêté du 30/06/04 modifié par arrêté du 9 mai 2012 en application du code du travail article R4412-150) dont 1 agent classé CMR. La fréquence de mesure est annuelle à partir de 2014 pour toutes les substances dont l'évaluation des risques menée par l'entreprise, conclut sur un risque « non faible » à partir du 1^{er} janvier 2014. **Ces valeurs réglementaires établissent un objectif minimal de prévention à atteindre.**

- **Valeurs limites admises (à caractère facultatif)** : ces valeurs ont été publiées entre 1982 et 1996 dans les circulaires par le ministère chargé du Travail. Elles sont progressivement remplacées par des valeurs limites réglementaires (indicatives ou contraignantes).

II. LA VISITE PREALABLE

La visite préalable n'est pas nécessaire sur ce site car il est composé d'un unique GEH. Il n'a pas été constaté de changements majeurs lors de l'intervention au regard de l'évaluation initiale.

Les informations importantes relatives à la stratégie d'échantillonnage sont reprises dans ce chapitre.

1. JUSTIFICATION DES SUBSTANCES RECHERCHEES

Les agents chimiques dangereux (ACD) à mesurer sont les suivants :

Tableau 2 : ACD à mesurer

ACD	N°CAS
Poussière alvéolaire	-
Quartz	14808-60-7
Cristobalite	14464-46-1
Tridymite	15468-32-3

Le quartz, la cristobalite, la tridymite et les poussières alvéolaires disposent d'une valeur limite d'exposition réglementaire Contraignante (VLEP_{RC}). Le contrôle annuel est obligatoire pour ces substances.

Commentaire :

Lors de ce contrôle technique réglementaire initial, les substances ACD retenues pour les prélèvements ont été sélectionnées :

Par :	<input checked="" type="checkbox"/> le client	<input type="checkbox"/> le client et soumises à AXE	<input type="checkbox"/> l'administration
Comme :	<input checked="" type="checkbox"/> substances à risque non faible	<input type="checkbox"/> mesures par screening	
Périmètre :	<input type="checkbox"/> partiel	<input checked="" type="checkbox"/> exhaustif	

2. ADRESSES D'INTERVENTION ET CONTEXTE

Site d'intervention : TERREAL, site de CHAPET (78)			
Etablissement :	TERREAL, 15 RUE PAGES 92150 SURESNES		
N° SIRET :	56211034600284	Tranche d'effectif :	1600 à 1699 salariés
<i>SASU Société par actions simplifiée à associé unique</i>			
code NAF :	2332Z	Métier :	<i>Carrière d'extraction</i>
Fabrication de briques, tuiles et produits de construction, en terre cuite			
Matériau extrait / Minéral majeur /		<i>Argile</i>	

3. GROUPES D'EXPOSITION HOMOGENE (GEH) RETENUS

Les données tirées du rapport de la campagne d'évaluation initiale sont les suivantes :

Tableau 3 : Stratégie d'échantillonnage

Caractérisation des GEH					Conditions de production et exposition			Prélèvement (Opérateur / poste fixe / mesure d'ambiance)
Poste de travail	Dénomination GEH	N° GEH	Régime horaire	Effectif	Exposition	Précision sur les 3 engins	Substances recherchées	
Conducteur d'engin		1	8h/j	4	continue	Bull, tombereau pelle mécanique	Poussières siliceuses	Sur opérateur

Observations :

Déplacements sur site

- NON ;
 Occasionnel ;
 Fréquent ;
 constamment.

Situation d'exposition

- extérieur ;
 intérieur ;
 engin - journée ;

Port d'un EPI

- NON ;
 Occasionnel ;
 Fréquent ;
 Constamment.

III. PRINCIPE D'INTERPRETATION DES VLEP

Les données ci –après sont tirées de l'**arrêté du 15 décembre 2009** relatif au contrôle technique périodique des valeurs limites d'exposition professionnelle sur les lieux de travail.

1. CALCUL DE L'EXPOSITION A PARTIR DES CONCENTRATIONS MESUREES

A partir des concentrations mesurées, la mesure d'exposition est calculée en prenant en compte la période de référence de la VLEP considérée (8 heures ou 15 minutes).

Lorsqu'un prélèvement au cours de la période d'exposition potentielle est réalisé, si C est la concentration mesurée et t la durée d'exposition potentielle, la mesure d'exposition ramenée à la période de référence de 8 heures est :

$$C \times t/8 \text{ (avec C en mg/m}^3\text{)}$$

Lorsque des prélèvements successifs séquentiels couvrant toute la durée de l'exposition potentielle sont réalisés, si Ci sont les concentrations mesurées et Ti les durées d'exposition, la mesure d'exposition ramenée à la période de référence de 8 heures est :

$\sum ([Ci] \times ti)/8 \text{ (avec Ci en mg/m}^3\text{)}$
--

2. RECAPITULATIF - DIAGNOSTIC DE RESPECT OU DE DEPASSEMENT DE LA VLEP

La méthodologie d'évaluation de la qualité de l'air des lieux de travail est présentée en ANNEXE dans le cas des contrôles réglementés.

Cette annexe présente les conditions d'interprétations de respect ou de dépassement de la VLEP.

ANNEXE I : INTERPRETATION SELON LA METHODE REGLEMENTAIRE

IV. MESURES ET RESULTATS

1. CARACTERISTIQUES TECHNIQUES DES PRELEVEMENTS

Le tableau suivant présente synthétiquement⁵ les conditions respectées pour le prélèvement des substances au poste de travail. **La limite de quantification calculée (LQ calc) à partir du débit de prélèvement, du temps de prélèvement et de la limite de quantification analytique est bien inférieure à 10% de la VLEP comme prescrit dans la méthodologie de l'arrêté du 15/12/09.**

Tableau 4 : Caractéristiques technique des mesures

Agent Chimique Dangereux	N° CAS	VLEP CMR	VLEP Contrainte	VLEP Indicative	VLEP Admise	VME (mg/m ³)	VLCT (mg/m ³)	Référence de la norme prélèvement	Méthode de référence d'analyse	Principe de la méthode	Support	Caractéristiques du support	Nombre de blancs de transport	claquage	Débit (l/min) requis lors : VLCT ou Exposition modérément faible	Débit (l/min) requis lors : mesure longue ou Exposition modérément forte	Accréditation : Prélèvement (P) Analyse (A)
Cristobalite (C)	14464-46-1	x	x			0,05		NF X 43-262	XP X43-243 NF X43-295	Prélèvement par pompage sur mousse Méthode de la coupelle rotative (CIP 10)	mousse + coupelle rotative	coupelle en polypropylène contenant une mousse en polyuréthane avec un couvercle plastique	>=2	non	10	10	PA
								NF X 43-262	XP X43-243 NF X43-295	Prélèvement par pompage sur mousse Méthode de la coupelle rotative (CIP 10)	mousse + coupelle rotative	coupelle en polypropylène contenant une mousse en polyuréthane avec un couvercle plastique	>=2	non	10	10	PA
								NF X 43-262	XP X43-243 NF X43-295	Prélèvement par pompage sur mousse Méthode de la coupelle rotative (CIP 10)	mousse + coupelle rotative	coupelle en polypropylène contenant une mousse en polyuréthane avec un couvercle plastique	>=2	non	10	10	PA
Poussières non spécifiques (fraction alvéolaire) C		x	x			5		NF X 43-262	NF X 43-262	Prélèvement par pompage sur mousse Méthode de la coupelle rotative (CIP 10)	mousse + coupelle rotative prépesée	coupelle en polypropylène contenant une mousse en polyuréthane avec un couvercle plastique	>= 2	non	10	10	PA

⁵ Nota – Mesures hors conditions d'accréditation pour certaines substances ACD indiquées ci-dessus

2. CONTROLE DU PRELEVEMENT PAR CIP 10

Conformément à la méthodologie en vigueur, la vitesse nominale de rotation, conditionnant la fréquence de rotation de prélèvement des CIP10, a été mesurée dans l'atelier avant et après la phase de prélèvement afin de :

- s'assurer de l'absence d'influence des conditions ambiantes de l'atelier (température, humidité et pression) sur le débit de prélèvement ;
- vérifier l'absence de variation de la vitesse entre le début et la fin de l'essai (écart maximal toléré : 200 tours / minute) qui pourrait invalider l'essai.

Pour ce faire, le support de prélèvement « TEST » (constitué d'une coupelle avec mousse) est fixé sur un CIP10 ; ce dernier, une fois allumé, permet la rotation du support (méthode de la coupelle rotative).

Les fréquences de rotation initiale et finale sont relevées à l'aide d'un tachymètre sur la base d'une série de 3 mesures avant et après l'essai, afin de vérifier que ces fréquences sont bien comprises dans la tolérance⁶ donnée par le laboratoire.



Figure 1 : Dispositif de prélèvement sur opérateur



Figure 2 : Dispositif utilisé pour la vérification de la vitesse de la coupelle rotative

⁶ Pour respecter un débit de 10 L/min, selon le laboratoire, il faut une rotation comprise dans l'intervalle +/- 200 tours/minute, valeurs maximum d'écarts relatifs de 5% par rapport à la valeur de référence

3. CARACTERISTIQUES DES PRELEVEMENTS

Les prélèvements réalisés du 15 au 16 mars 2017 correspondent à :

- L'évaluation initiale ;
- Au contrôle périodique du GEH 1 pour les poussières siliceuses ;
- Un contrôle non réglementé ;
- A la réalisation du test statistique de risque de dépassement de la VLEP pour le quartz.

Les caractéristiques des prélèvements au poste GEH et leurs modalités sont reprises en annexe au document aux quelles sont jointes les fiches d'observations de l'opérateur AXE lors des campagnes de prélèvement.

Annexe II : Descriptif du poste GEH et Observations lors des prélèvements

Les prélèvements ont été réalisés par le laboratoire de prélèvements Mesures et Diagnostic des Pollutions du bureau de contrôle AXE conformément à la norme ISO 17025 pour les prélèvements de l'air des lieux de travail.

Les analyses ont été effectuées par le laboratoire EUROFINS, accrédité par le COFRAC comme conforme à la norme de qualité ISO 17025 pour l'analyse de l'air des lieux de travail.

Conclusion sur la représentativité des mesures réalisées :

Les mesures réalisées durant cette campagne sont jugées représentatives de l'exposition des travailleurs.

4. RESULTATS D'ANALYSES DU GEH 1

Les résultats de mesures⁷ sont présentés dans le tableau ci-après. Les bordereaux d'analyses du laboratoire figurent en annexe.

Annexe III : Bordereaux d'analyses laboratoire

Nota : il n'a pas été décelé de Tridymite dans les échantillons analysés.

⁷ Les incertitudes de mesures ne sont pas prises en compte dans les calculs.

Périmètre : mesures réglementaires

Mesures : sur opérateurs

Nombre : 3

Tableau 5 : GEH1 / Résultats des mesures Poussières alvéolaires

Agent Chimique Dangereux :		oui	GEH1		
		oui	Campagne 1 éval ^e périod		
poussières alvéolaires		oui	Répétition 1	Répétition 2	Répétition 3
Vitesse de référence, Vref		6800	GEH1/conducteur/f leury/mesure 7	GEH1/conducteur/G uesdon/mesure 8	GEH1/tracteur/Ste phane/mesure 9
Conditions ambiantes		T(°C) P (hPa)	12 1022	12 1022	11 1021
Date et heure de prélèvement			15/03/2017 8h35-17h32	15/3/2017 8h38-17h30	16/3/2017 7h30-14h40
Laboratoire			euofins	euofins	euofins
Support de prélèvement			3100077401231	3100077401292	3100077401285
pas de Kt			pas de kt	pas de kt	pas de kt
Analyse couche mesure (sur durée de mesure), qd		mg	1,54	1,86	1,47
Durée de prélèvement, Tp		min	458	456	365
Vitesse moyenne, Vi		RPM	6782	6864	6720
Vitesse de référence, Vref		RPM	6776	6762	6761
Variation Vitesse Réf. (< 200 RPM NFX43-262)		RPM	24	38	39
Débit moyen de prélèvement Qm		l/min	10	10	10
Volume prélevé V = Tp x Qm		litres	4580	4560	3650
Concentration mesurée C = 1000 q / V		mg/m ³	0,336	0,408	0,403
Durée du poste de travail Dp		min	480	480	480
Durée de la période de référence Dref		min	480	480	480
Mesure rapportée sur période référence		mg/m ³	0,34	0,41	0,40
résultat pour traitement statistique selon NFX 43-298		mg/m ³	0,34	0,41	0,40
C%		mg/m ³	0,34	0,41	0,40
VLEP		mg/m ³	5,0	5,0	5,0
10% VLEP =		mg/m ³	0,5	0,5	0,5
Δ (Vitesse nominale /variation de référence) mesure fiable < 200 RPM < douteuse			fiable	fiable	fiable
DIAGNOSTIC IMMEDIAT RESPECT VLEP : C_{mes} < 10% VLEP			OUI	OUI	OUI
Dépassement de la VLEP ?			NON	NON	NON
Indice d'exposition (C _{mes} /VLEP)		%	6,72%	8,16%	8,05%
Périmètre d'accréditation : A : analyse ; AP : prélèvement et analyse			AP	AP	AP
		Dépassement de VLEP/10 pour une des mesures ?			NON
		diagnostic conforme			
		Constat sur la validité des prélèvements			RAS

CONSTAT : Aucun des 3 résultats des prélèvements de <Poussières alvéolaires> réalisés au niveau du poste de travail « GEH1 » n'est supérieur au dixième de la VLEP.

Périmètre : mesures réglementaires

Mesures : sur opérateurs

Nombre : 3

Tableau 6 : GEH1 / Résultats des mesures Quartz

Agent Chimique Dangereux :		oui	GEH1		
quartz		cip10	Répétition 1	Répétition 2	Répétition 3
Vitesse de référence, Vref		6800	GEH1/conducteur/fleury/mesure 7	GEH1/conducteur/Guesdon/mesure 8	GEH1/tracteur/Stephane/mesure 9
Conditions ambiantes		T(°C)	12	12	11
		P (hPa)	1022	1022	1021
Date et heure de prélèvement			15/03/2017 8h35-17h32	15/3/2017 8h38-17h30	16/3/2017 7h30-14h40
Laboratoire			eurofins	eurofins	eurofins
Support de prélèvement			3100077401231	3100077401292	3100077401285
		pas de Kt	pas de kt	pas de kt	pas de kt
Analyse couche mesure (sur durée de mesure), qd		mg	0,021	< 0,004	< 0,004
Durée de prélèvement, Tp		min	458	456	365
Vitesse moyenne, Vi		RPM	6782	6864	6720
Vitesse de référence, Vref		RPM	6776	6762	6761
Variation Vitesse Réf. (< 200 RPM NFX43-262)		RPM	24	38	39
Débit moyen de prélèvement Qm		l/min	10	10	10
Volume prélevé V = Tp x Qm		litres	4580	4560	3650
Concentration mesurée C = 1000 q / V		mg/m3	0,005	< 0,001	< 0,001
Durée du poste de travail Dp		min	480	480	480
Durée de la période de référence Dref		min	480	480	480
Mesure rapportée sur période référence		mg/m3	0,005	< 0,001	< 0,001
résultat pour traitement statistique selon NFX 43-298 C%		mg/m3	0,005	< 0,000	< 0,001
VLEP		mg/m3	0,100	0,100	0,100
10% VLEP =		mg/m3	0,010	0,010	0,010
Δ (Vitesse nominale /variation de référence) mesure fiable < 200 RPM < douteuse			fiable	fiable	fiable
DIAGNOSTIC IMMEDIAT RESPECT VLEP : C_{mes} < 10% VLEP			OUI	OUI	OUI
Dépassement de la VLEP ?			NON	NON	NON
Indice d'exposition (C _{mes} /VLEP)		%	4,59%	< 0,88%	< 1,10%
Périmètre d'accréditation : A : analyse ; AP : prélèvement et analyse			AP	AP	AP
			Dépassement de VLEP/10 pour une des mesures ?		NON
			diagnostic conforme		
			Constat sur la validité des prélèvements		RAS

CONSTAT : Aucun des 3 résultats des prélèvements de <Quartz> réalisés au niveau du poste de travail « GEH1 » n'est supérieur au dixième de la VLEP.

Périmètre : mesures réglementaires

Mesures : sur opérateurs

Nombre : 3

Tableau 7 : GEH1 / Résultats des mesures Cristobalite

Agent Chimique Dangereux :		oui	GEH1		
Cristobalite		cip10	Répétition 1	Répétition 2	Répétition 3
Vitesse de référence, Vref		6800	GEH1/conducteur/ffl eury/mesure 7	GEH1/conducteur/G uesdon/mesure 8	GEH1/tracteur/Ste phane/mesure 9
Conditions ambiantes		T(°C)	12	12	11
		P (hPa)	1022	1022	1021
Date et heure de prélèvement			15/03/2017 8h35-17h32	15/3/2017 8h38-17h30	16/3/2017 7h30-14h40
Laboratoire			eurofins	eurofins	eurofins
Support de prélèvement			3100077401231	3100077401292	3100077401285
		pas de Kt	pas de kt	pas de kt	pas de kt
Analyse couche mesure (sur durée de mesure), qd		mg	< 0,007	< 0,007	< 0,007
Durée de prélèvement, Tp		min	458	456	365
Vitesse moyenne, Vi		RPM	6782	6864	6720
Vitesse de référence, Vref		RPM	6776	6762	6761
Variation Vitesse Réf. (< 200 RPM NFX43-262)		RPM	24	38	39
Débit moyen de prélèvement Qm		l/min	10	10	10
Volume prélevé V = Tp x Qm		litres	4580	4560	3650
Concentration mesurée C = 1000 q / V		mg/m3	< 0,002	< 0,002	< 0,002
Durée du poste de travail Dp		min	480	480	480
Durée de la période de référence Dref		min	480	480	480
Mesure rapportée sur période référence		mg/m3	< 0,002	< 0,002	< 0,002
résultat pour traitement statistique selon NFX 43-298 C%		mg/m3	< 0,001	< 0,001	< 0,001
VLEP		mg/m3	0,050	0,050	0,050
10% VLEP =		mg/m3	0,005	0,005	0,005
Δ (Vitesse nominale /variation de référence) mesure fiable < 200 RPM < douteuse			fiable	fiable	fiable
DIAGNOSTIC IMMEDIAT RESPECT VLEP : C_{mes} < 10% VLEP			OUI	OUI	OUI
Dépassement de la VLEP ?			NON	NON	NON
Indice d'exposition (C _{mes} /VLEP)		%	< 3,06%	< 3,07%	< 3,84%
Périmètre d'accréditation : A : analyse ; AP : prélèvement et analyse			AP	AP	AP
			Dépassement de VLEP/10 pour une des mesures ?		NON
			diagnostic conforme		
			Constat sur la validité des prélèvements		RAS

CONSTAT : Aucun des 3 résultats des prélèvements de <Cristobalite> réalisés au niveau du poste de travail « GEH1 » n'est supérieur au dixième de la VLEP.

5. TRAITEMENT STATISTIQUE

Il s'agit d'un calcul statistique de dépassement 'probable' de la VLEP dans l'année, au vu du nombre d'échantillons de mesures sur les GEH qui ont été faits⁸. Ce calcul statistique est comparé au SEUIL dit DE REFERENCE pour un nombre de répétitions des analyses précis annexé à l'arrêté du 15/12/2009.

Le GEH 1 a fait l'objet de 9 mesures de quartz au poste de travail puisqu'un dépassement du 10^{ème} de la VLEP a été constaté lors de la campagne de 2015.

Les résultats des mesures complémentaires sont présentés ci-dessous :

Tableau 8 : Résultats d'analyse - mesures complémentaires en ACD 2 au GEH 1

Agent Chimique Dangereux :	oui	GEH1			GEH1			GEH1		
	cip10	Répétition 1	Répétition 2	Répétition 3	Répétition 1	Répétition 2	Répétition 3	Répétition 1	Répétition 2	Répétition 3
quartz										
Vitesse de référence, Vref	6800	GEH1/conducteur/ffl eury/mesure 7	GEH1/conducteur/G uesdon/mesure 8	GEH1/tracteur/Ste phane/mesure 9	GEH1/mesure 1	GEH1/mesure 2	GEH1/mesure 3	CA 1055	CA 1039	CA 1044
Conditions ambiantes	T(°C) P (hPa)	12 1022	12 1022	11 1021	13 1019	13 1019	13 1019	12 1028	12 1028	12 1028
Date et heure de prélèvement		15/03/2017 8h35-17h32	15/3/2017 8h38-17h30	16/3/2017 7h30-14h40	24/09/2015 7h50h-15h20	24/09/2015 7h50h-15h20	24/09/2015 7h50h-15h20	22/10/2014 7h20 à 10h20	22/10/2014 10h20 à 16h	22/10/2014 13h à 16h
Laboratoire		eurofins	eurofins	eurofins	Eurofins	Eurofins	Eurofins	ITGA	ITGA	ITGA
Support de prélèvement		3100077401231	3100077401292	3100077401285	Eurofins coupelle	Eurofins coupelle	Eurofins coupelle	ITGA coupelle	ITGA coupelle	ITGA coupelle
pas de Kt		pas de kt	pas de kt	pas de kt						
Analyse couche mesure (sur durée de mesure), qd	mg	0,021	< 0,004	< 0,004						
Durée de prélèvement, Tp	min	458	456	365						
Vitesse moyenne, Vi	RPM	6782	6864	6720						
Vitesse de référence, Vref	RPM	6776	6762	6761						
Variation Vitesse Réf. (< 200 RPM NFX43-262)	RPM	24	38	39						
Débit moyen de prélèvement Qm	l/min	10	10	10						
Volume prélevé V = Tp x Qm	litres	4580	4560	3650						
Concentration mesurée C = 1000 q / V	mg/m ³	0,005	< 0,001	< 0,001						
Durée du poste de travail Dp	min	480	480	480						
Durée de la période de référence Dref	min	480	480	480	GEH1 mesure 1.1	Eval' ini 1 mesure 1.2	mesure 1.3	GEH1 mesure 2.1	Eval' ini 2 mesure 2.2	mesure 2.3
Mesure rapportée sur période de référence	mg/m ³	0,005	< 0,001	< 0,001	0,039	0,002	0,013	< 0,004	< 0,004	< 0,004
résultat pour traitement statistique selon NFX 43-298 C%	mg/m ³	0,005	< 0,000	< 0,001	0,039	0,002	0,013	< 0,004	< 0,004	< 0,004
VLEP	mg/m ³	0,100	0,100	0,100						

Annexe IV : Traitement statistique

Constat : Aucune des mesures complémentaires de l'année en cours ne dépasse la VLEP. Le traitement statistique peut se poursuivre et est présenté en annexe IV.

⁸ En référence à l'Annexe 2 – CAS 3 : dépassement du dixième de la VLEP

V. DIAGNOSTIC DE CONFORMITE ET CONCLUSION

Dans le cadre de ses obligations réglementaires, la société TERREAL a souhaité réaliser des mesures de l'exposition des travailleurs au niveau des postes CONDUCTEURS.

Le contexte est :

<input checked="" type="checkbox"/> Mesures réglementaires :	<input type="checkbox"/> Evaluation initiale
	<input checked="" type="checkbox"/> Contrôle périodique
<input type="checkbox"/> Mesures non réglementaires :	<input type="checkbox"/> Site complet
	<input type="checkbox"/> Partiel ; atelier :

Trois répétitions des mesures pour les substances ACD désignées et par GEH ont été réalisées par le laboratoire MDP du bureau de contrôle AXE du 15 au 16 mars 2017.

Le diagnostic de conformité est établi pour le GEH1 pour l'année en cours à l'issue du test statistique. Le contrôle périodique est à poursuivre annuellement.

Les résultats, jugés représentatifs de l'exposition, sont présentés ci-après.

Les conclusions sont les suivantes

GEH	Substance	Type de VLEP	campagne	Port d'EPI (O/N)	VLEP 8h			Diagnostic rapide		Test stat de dépass ^t VLEP	Commentaires	
					Répétitions	Mesure rapportée sur période ref. (mg/m ³)	Exposition corrigée par le port d'EPI (mg/m ³)	constat	VLEP			Conclusion
GEH 1 : « Conducteurs »	Poussières Alvéolaires	Contraignante	CP	NON	3	0,34 0,41 0,40	X	3 Mesures <VLEP/10	5 mg/m3	RESPECT de VLEP	Pas nécessaire	Prochain contrôle périodique dans un an.
	Quartz	Contraignante	CP	NON	3	0,005 <0,001 <0,001	X	3 Mesures <VLEP/10	0.10 mg/m3	RESPECT de VLEP	Nécessaire et jugé valide à l'issue des 9 mesures	Prochain contrôle périodique dans un an.
	Cristobalite	Contraignante	CP	NON	3	<0,002 <0,002 <0,002	x	3 Mesures <VLEP/10	0.05 mg/m3	RESPECT de VLEP	Pas nécessaire	Prochain contrôle périodique dans un an.

CP : Contrôle périodique. EI : Evaluation initiale

X : absence

VI. INTERPRÉTATION & AVIS

L'objet de l'interprétation qui suit est de « fournir une explication à l'origine d'une non-conformité éventuellement constatée ».

A. INTERPRÉTATION DU TEMOIN DE TRANSPORT

Les supports témoins dits de transport, gagent de la conservation de la qualité du prélèvement. Dans le cas des prélèvements de poussières, les médias de prélèvement servant aux blancs de transport ne sont pas ouverts, contrairement à ceux prévus pour les gaz. L'absence de contamination permet de restituer le résultat sous accréditation COFRAC.

En cas de contamination pour une substance donnée, l'indice d'exposition du prélèvement risque d'être vraisemblablement majorant et donc n'être donné qu'à titre indicatif d'une situation d'exposition :

Critère retenu pour mesurer l'incidence significative d'une contamination : $m_{\text{BLANC}} > 2 \times Lq$

Tableau 9 : Résultats des témoins de transport et constats

Substances contrôlés	Valeur du BLANC (mg)	Constat	Incidence
Poussières alvéolaires Lq = 0.27 mg	Inférieur à la Lq	<input checked="" type="checkbox"/> Absence de contamination → <input type="checkbox"/> Contamination significative → <input type="checkbox"/> Contamination peu significative →	<input checked="" type="checkbox"/> Conservation de l'accréditation <input type="checkbox"/> Recommandation de refaire les prélèvements <input type="checkbox"/> Résultats donnés à titre indicatif
Quartz Lq = 0.004 mg	Inférieur à la Lq	<input checked="" type="checkbox"/> Absence de contamination → <input type="checkbox"/> Contamination significative → <input type="checkbox"/> Contamination peu significative →	<input checked="" type="checkbox"/> Conservation de l'accréditation <input type="checkbox"/> Recommandation de refaire les prélèvements <input type="checkbox"/> Résultats donnés à titre indicatif
Cristobalite Lq = 0.007mg	Inférieur à la Lq	<input checked="" type="checkbox"/> Absence de contamination → <input type="checkbox"/> Contamination significative → <input type="checkbox"/> Contamination peu significative →	<input checked="" type="checkbox"/> Conservation de l'accréditation <input type="checkbox"/> Recommandation de refaire les prélèvements <input type="checkbox"/> Résultats donnés à titre indicatif
Tridymite	Non détectée	<input checked="" type="checkbox"/> Absence de contamination → <input type="checkbox"/> Contamination significative → <input type="checkbox"/> Contamination peu significative →	<input checked="" type="checkbox"/> Conservation de l'accréditation <input type="checkbox"/> Recommandation de refaire les prélèvements <input type="checkbox"/> Résultats donnés à titre indicatif

B. INTERPRETATION : ADDITIVITE DES EFFETS TOXICOLOGIQUES

L'exposition d'un travailleur à différents agents chimiques dangereux présentant une toxicité **sur les mêmes organes cibles**, peut avoir des effets additifs.

Le tableau ci-dessous présente les organes cibles des ACD étudiés.

Tableau 10 : Informations toxicologiques sur les Agents chimiques quantifiés [Source : INERIS]

Agent chimique dangereux	N°CAS	Système immunitaire	Système nerveux	Système digestif	Système respiratoire	Peau	Sang	Yeux	Effet cancérogène
Cristobalite	14464-46-1	X	-	-	X	-	-	X	Groupe 1 par le CIRC, effet cancérogène
Tridymite	15468-32-3	X	-	-	X	-	-	X	Groupe 1 par le CIRC, effet cancérogène
Quartz	14808-60-7	X	-	-	X	-	-	X	Groupe 1 par le CIRC, effet cancérogène
Poussières non spécifiques (fraction alvéolaire)	-	-	X	X	X	X	-	X	Effet cancérogène possible

La méthodologie nationale recommande dans ce cas de sommer l'indice d'exposition de chacune de ces substances visant le même organe [cf. fiche Metropol A1].

$$\text{Indice d'exposition (I)} = C \text{ (en mg/m}^3\text{)} / \text{VLEP (en mg/m}^3\text{)}$$

$$I_{\text{tot}} = \sum (c/\text{VLEP})$$

GEH	Substance	Niveau d'exposition	VLEP	indice d'exposition par substance	Somme des indices d'exposition				Commentaire
		(mg/m ³)		mg/m ³	mesure 1	mesure 2	mesure 3	moyenne	
GEH 1 : Conducteurs	ACD1 Poussières Alvéolaires	0,34	5,00	0,07	0,14	0,11	0,11	0,12	L'indice d'exposition est INFÉRIEUR à 1, valeur limite du mélange.
		0,41		0,08					
		0,40		0,08					
	ACD 2 Quartz	0,01	0,10	0,05					
		0,00		0,01					
		0,00		0,01					
	ACD 3 Cristobalite	0,00	0,05	0,02					
		0,00		0,02					
		0,00		0,02					

C. AVIS : VALIDITE DES GEH

L'objet de l'avis qui suit est : « proposer notre opinion sur le défaut de pertinence éventuel d'un GEH ».

Ce calcul statistique permet de confirmer statistiquement la définition de la pertinence du GEH comme requis dans le LabRef27 :

VALIDATION de GEH - Calcul de l'écart type géométrique [Stratégie d'évaluation de l'exposition et comparaison aux valeurs limites - Fiche metropol A1 INRS - déc 2012]

Soient X_1, X_2, \dots, X_n une série de n mesures d'exposition.

La moyenne géométrique M_G s'exprime par [1, 8] : $\ln(M_G) = \frac{\sum \ln(X_i)}{n}$

De la même façon, l'écart-type géométrique s_G est donné par : $\ln(s_G) = \sqrt{\frac{\sum [\ln(X_i) - \ln(M_G)]^2}{n-1}}$

GEH1												
poussières alvéolaires										Nombre de répétitions :		9
VALIDATION de GEH - Calcul de l'écart type géométrique [Stratégie d'évaluation de l'exposition et comparaison aux valeurs limites - Fiche metropol A1 INRS - déc 2005]												
<i>Nota : Si Qd < LQ, alors C est remplacé par LQ/2 (soit C/2). Cf. NFX43-298 8.2.1.2.</i>												
	mesure 1	mesure 2	mesure 3	mesure 4	mesure 5	mesure 6	mesure 7	mesure 8	mesure 9	mesure 10	mesure 11	mesure 12
Mesures	0,336	0,408	0,403	0,258	0,126	0,077	0,063	0,063	0,031			
Ln	-1,090	-0,897	-0,909	-1,355	-2,069	-2,565	-2,767	-2,767	-3,460			
Ln mg						-1,986						
Ln - Ln mg	0,897	1,090	1,077	0,631	-0,083	-0,578	-0,780	-0,780	-1,473			
(Ln - Ln mg) ²	0,804	1,187	1,160	0,398	0,007	0,335	0,609	0,609	2,171			
Σ(Ln - Ln mg) ²	7,279											
Σ(Ln - Ln mg) ² /n-1							0,910					
ln sg							0,954					
sg =	2,60		Sg < 3 GEH VALIDE									
	Sg > 3 DOUTE SUR GEH											
<p>Soient X_1, X_2, \dots, X_n une série de n mesures d'exposition.</p> <p>La moyenne géométrique M_G s'exprime par [1, 8] : $\ln(M_G) = \frac{\sum \ln(X_i)}{n}$</p> <p>De la même façon, l'écart-type géométrique s_G est donné par : $\ln(s_G) = \sqrt{\frac{\sum [\ln(X_i) - \ln(M_G)]^2}{n-1}}$</p>												

ANNEXES

ANNEXE I : INTERPRETATION SELON LA METHODE REGLEMENTAIRE

ANNEXE II : DESCRIPTIF DU POSTE GEH ET OBSERVATIONS LORS DES PRELEVEMENTS

ANNEXE III : BORDEREAUX D'ANALYSES LABORATOIRE

ANNEXE IV : TRAITEMENT STATISTIQUE

ANNEXE I : INTERPRETATION SELON LA METHODE REGLEMENTAIRE

1) Diagnostic de respect ou de dépassement après une évaluation initiale

Lorsqu'il s'agit d'une première évaluation de l'exposition, une évaluation initiale de l'exposition est réalisée afin d'établir un diagnostic de respect ou de dépassement de la VLEP.

→ **CAS 1 : Nombre de mesures ≤ 3 et toutes les mesures < 10% VLEP :**

Lors de l'évaluation initiale, le diagnostic rapide de respect de la VLEP peut être fait dès la première campagne de 3 répétitions de la mesure si tous les résultats du GEH sont inférieurs au dixième de la VLEP contrôlée.

→ **CAS 2 : Nombre de mesures ≤ 3 et une mesure > VLEP :**

A l'inverse, si lors de la première campagne de 3 mesures un résultat excède la VLEP, le diagnostic de dépassement de la VLEP est établi.

→ **CAS 3 : Nombre de mesures ≥ 3 - Approche statistique si (x) mesures > 10 % VLEP**

Si la série de résultats issus de la première campagne de 3 répétitions de la mesure ne répond pas de façon univoque aux critères de diagnostic de dépassement ou de respect de la VLEP, l'évaluation initiale se poursuit avec la réalisation de deux campagnes supplémentaires espacées dans le temps et comprenant au moins trois mesures répétées par GEH.

A l'issue de la troisième campagne, l'ensemble des résultats de chaque GEH est analysé comme suit selon une approche probabiliste basée sur l'intervalle de confiance (cf. arrêté du 15/12/09 et fiche Metropol A3). Cette approche, fondée sur des principes statistiques, permet à partir d'une série de mesures, de pouvoir juger si potentiellement, chaque jour, la situation d'exposition est inférieure ou supérieure à la valeur limite. L'arrêté du 15 déc. 2009 requière 9 mesures au moins. Le seuil conventionnel retenu pour le diagnostic de dépassement est de 5%. Cela signifie que sur 100 jours travaillés, on tolère que la valeur limite d'exposition soit dépassée durant 5 jours.

A partir de la série de 9 mesures disponibles, la probabilité de dépassement est calculée comme suit.

Soient X_1, X_2, \dots, X_n les résultats d'une série de n mesures d'exposition. La moyenne géométrique Mg s'exprime par :

$$\ln (Mg) = \sum \ln (X_i) / n$$

De la même façon, l'écart-type géométrique SG est donné par :

$$\ln (SG) = \sqrt{\sum [\ln (X_i) - \ln (Mg)]^2 / n - 1}$$

A partir de ces 2 paramètres et du logarithme de la valeur limite $\ln(VLEP)$ on calcule la quantité U :

$$U = \ln(VLEP) - \ln(Mg)/\ln(SG)$$

La valeur de U ainsi calculée est utilisée pour estimer la borne supérieure de la probabilité de dépassement de la VLEP avec un intervalle de confiance à 70 % retenue (cf. Arrêté du 15/12/09).

Si la valeur calculée de U (avec trois décimales) est inférieure à la valeur seuil de U pour le nombre de mesures effectuées, le diagnostic de dépassement de VLEP est établi.

2) Diagnostic de respect ou de dépassement après un contrôle technique périodique

Lorsque l'évaluation initiale a conclu à un diagnostic de respect de la VLEP, elle est complétée par un contrôle technique périodique au moins une fois par an pour chaque GEH conformément aux articles R. 4412-27 et R. 4412-76 du code du travail.

Pour établir le diagnostic, les 3 mesures d'exposition par GEH issues du contrôle technique périodique de l'année, sont cumulées avec les mesures de l'évaluation initiale⁹. Les résultats sont interprétés selon la procédure de calcul indiquée au paragraphe ci-dessus, en se basant sur le calcul de la variable U.

3) Diagnostic de respect ou de dépassement lors d'un contrôle non réglementé

Dans le cas d'un contrôle non réglementé, la méthodologie d'interprétation des résultats détaillée ci-dessus est reprise. La seule distinction porte sur le nombre de mesures qui est généralement moins élevé. Ainsi l'approche statistique est réalisée à partir de 6 mesures (au lieu de 9 requises dans le cas d'un contrôle réglementé).

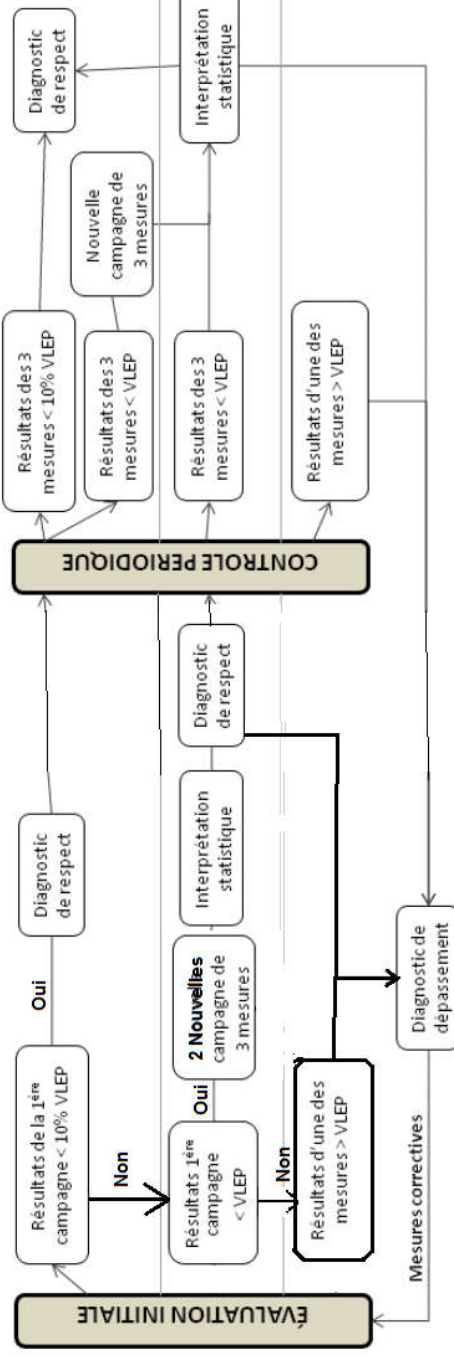
4) Récapitulatif - Diagnostic de respect ou de dépassement de la VLEP

⁹ Si la visite initiale ne comportait qu'une campagne de 3 mesures < VLEP/10, alors en cas de dépassement de VLEP/10 en contrôle périodique annuel suivant, une autre campagne serait requise pour disposer de 9 mesures

La méthodologie d'évaluation de la qualité de l'air des lieux de travail est présentée ci-après dans le cas des contrôles réglementés. Les critères d'interprétations sont repris dans le tableau ci-après dans le cas des mesures réglementées et non réglementées.

Tableau 11 : Récapitulatif – critères d'interprétation diagnostic de respect

NOMBRE DE MESURES		APPROCHE	CONCLUSION
3	règlementaire	Diagnostic rapide :	
		$C_{mes} < 10\% \text{ VLEP}$	Respect VLEP
		$10\% < C_{mes} < 100\% \text{ VLEP}$	Mesures complémentaires
		$C_{mes} > 100\% \text{ VLEP}$	Non respect VLEP
6	règlementaire	Approche probabiliste :	
		Conformité statistique / VLEP	Respect VLEP
		Dépassement statistique / VLEP	Non respect VLEP
6	NON réglementaire	Diagnostic rapide :	
		$C_{mes} < 10\% \text{ VLEP}$	Respect VLEP
		$10\% < C_{mes} < 100\% \text{ VLEP}$	Mesures complémentaires
		$C_{mes} > 100\% \text{ VLEP}$	Non respect VLEP
6	NON réglementaire	Approche probabiliste :	
		Conformité statistique / VLEP	Respect VLEP
		Dépassement statistique / VLEP	Non respect VLEP



Procédures en cas de dépassement de la VLEP selon la circulaire du 10 avril 2010 :

- En cas de dépassement d'une VLEP contraignante d'un CMR de catégorie 1 ou 2, l'employeur doit **arrêter le travail aux postes de travail concernés**, jusqu'à la mise en œuvre de mesures propres à assurer la protection des travailleurs.
- En cas de dépassement d'une VLEP contraignante d'un ACD, l'employeur doit immédiatement **prendre des mesures** propres à assurer la protection des travailleurs telles que prévues aux articles R4412-11 et R4412-12.
- En cas de dépassement d'une VLEP indicative de l'article R4412-150, l'employeur procède à **l'évaluation des risques** afin de déterminer les mesures de protection et de prévention à prendre (R4412-29 et R4412-78).

Puis, l'évaluation initiale sera à refaire pour la substance ACD en cause, au niveau du GEH concerné.

ANNEXE II :
DESCRIPTIF DU POSTE GEH ET
OBSERVATIONS LORS DES PRELEVEMENTS

Tableau 12 : Caractéristiques des prélèvements

GEH ou zone	Durée du poste	Substances	Type de VLEP	Nature du contrôle	Fonctionnement journalier	Nombre de répétition	Nombre de poste	Durée du prélèvement (min)	Type de prélèvement	Nature de l'opération
GEH n°1 : Conducteurs	8h	Poussières alvéolaires et silices	VRC	CP	8h	3	1	458	Sur opérateur	Bulldozer (journée) vitres fermées
										15 minutes de remplissage fioul
										100 tombereaux chargés
50 A/R tombereaux chargés - plateforme	15 minutes de remplissage fioul	100 tombereaux chargés	1	365	Sur opérateur	1	456	Sur opérateur	Pelle mécanique (journée) vitres fermées	
									15 minutes de remplissage fioul	
									100 tombereaux chargés	
50 A/R tombereaux chargés - plateforme	15 minutes de remplissage fioul	100 tombereaux chargés	1	365	Sur opérateur	1	365	Sur opérateur	Tombereau (journée) vitres fermées	
									15 minutes de remplissage fioul	
									50 A/R tombereaux chargés - plateforme	

Nature du contrôle : EVI = Evaluation Initiale ; CP : contrôle périodique ; NR : Non réglementaire

Type de VLEP : VRC : Valeur réglementaire Contraignante ; VRI : valeur réglementaire Indicative ; VA valeur non réglementaire admise

Laboratoire AXE Campus de Ker Lann Rue Siméon Poisson 35 170 BRUZ Tél. : 02 99 52 52 12	Fiche de prélèvement CIP10		Client : TERREAL
	Atelier/Poste : Bull		Site : Chapet
			Adresse :

1) Renseignements relatifs à l'intervention : carrière

Nom opérateur AXE : **T. SOUVRI** Date : **15/3/17**

Contexte de la mesure : qualité de l'air des lieux de travail ; Ambiance de travail ;
 qualité de l'air extérieur.

Type de prélèvement : opérateur poste fixe (hauteur : m)

Fraction de l'aérosol échantillonnée : inhalables thoraciques alvéolaires 3 silices

Vitesse nominale de référence du CIP 10 : **6800** tr/min

Référence du support test et du tachymètre : Coupelle test : **CH055** TACHYMETRE

⚠ PENSER A ALLUMER LE CIP10 AU MOINS 17 MINUTES AVANT DE MESURER LA VITESSE DE ROTATION (COUPELLE TEST)

2) Description des opérations effectuées :

MATERIEL	Référence de l'échantillon :	GE42 / Gaudin / FEBURY / mine 2
	Référence du blanc lié :	<input checked="" type="checkbox"/> blanc / Pruniers /1 Réf : <input checked="" type="checkbox"/> blanc / Pruniers /2 Réf : <input type="checkbox"/> blanc / /3 Réf :
	Référence CIP 10 / Référence tête :	21541005 / CIP10 HLU 06
	Référence du média :	31000774042621261
DEBUT ESSAI	Vitesse nominale initiale avant essai :	Mes 1 : 6781 Mes 2 : 6782 Mes 3 : 6783
	Variation de la moyenne à la vitesse de référence :	Moy : 6782 Δ = 18 (< 200 tr/min)
	Heure de la pose du dispositif :	12h30
PAUSE <small>* inscrire au dos **INSQ-ET-25</small>	si < 30 min*	Heure DEPART : 12h00
	si > 30 min**	Heure REPRISE : 13h04
FIN ESSAI	Heure de la dépose du dispositif :	17h32
	Vitesse nominale finale après essai :	Mes 1 : 6775 Mes 2 : 6776 Mes 3 : 6777
	Variation de la moyenne à la vitesse de référence :	Moy : 6776 Δ = 24 (< 200 tr/min)
ANALYSES	Saturation support :	<input type="checkbox"/> forte <input type="checkbox"/> modérée <input type="checkbox"/> faible <input checked="" type="checkbox"/> RAS
	Durée effective de prélèvement (pause déduite) :	458 min
	Laboratoire d'analyses et analyses :	Environ / <input type="checkbox"/> inh <input type="checkbox"/> tho <input checked="" type="checkbox"/> alv <input checked="" type="checkbox"/> Sil

3) Conditions ambiantes de prélèvements

Heure mesure	9h00	11h00	14h00	16h00	Tolérances indicatives
Température (°C) :	8°C	12	13	12	5,2 à 34,6°C
Humidité relative (%) :	60%	52	30	56	≤ 90 %
Pression (mbar ou Hpa) :	1021	1022	1023	1022	1000 à 1050 mbar / HPa
Ambiance (- : sain, +++ saturé)	+	+	+	+	
Orientation du vent (porteur ?)	/	/	/	/	/
Courant d'air (m/s) :	0,2	0,3	0,2	0,2	≤ 4 m/s
Climat (pluie, sec, soleil ?)	meq	meq	meq	meq	/

4) Conservation du support durant le transport (cf. dossier de confirmation à emporter sur le terrain)

Sachet plastique et glacière Glacière réfrigérée Papier aluminium

Nom opérateur : FZ EURY		Date prélèvement : 15/13/17	
Atelier :		Réf. du prélèvement : GEH / Conducteur / RZ EURY / maine 7	
Fonction :		Type de prélèvement : <input type="checkbox"/> opérateur <input type="checkbox"/> poste fixe (hauteur : m)	
Observations complémentaires :		Mesure jugée représentative : <input checked="" type="checkbox"/> Oui ; <input type="checkbox"/> Non ; <input type="checkbox"/> mitigé	
Etat CIP 10 (- : RAS, +++ sale)		Explications :	
Etat habits de travail (- : RAS, +++ sale)			
Tâches habituelles réalisées ¹ (par tranche horaire)			
Pauses < 30 minutes			
NE PAS ARRÊTER LA POMPE			
Descriptif des appareils, machines, outils utilisés :			
Tâches ponctuelles ou inhabituelles :			
Type EPI			
Heure de mise en port			
Heure de l'enlèvement			
Durée du port			
Interférences (météorologiques, aération, production...)			
Indicateurs de production (horaire total de production, rythme)			

¹ Indiquer les horaires de différentes phases de travail, les pauses avec arrêt ou non du prélèvement

Laboratoire AXE Campus de Ker Lann Rue Siméon Poisson 35 170 BRUZ Tél. : 02 99 52 52 12	Fiche de prélèvement CIP10 Atelier/Poste : <u>Pelle</u>	Client : <u>TERREAL</u> Site : <u>Chapet</u> Adresse :
--	--	---

1) Renseignements relatifs à l'intervention : carrière

Nom opérateur AXE : F. SOUYRI Date : 15/3 11

Contexte de la mesure : qualité de l'air des lieux de travail ; Ambiance de travail ;
 qualité de l'air extérieur.

Type de prélèvement : opérateur poste fixe (hauteur : m)

Fraction de l'aérosol échantillonnée : inhalables thoraciques alvéolaires 3 silices

Vitesse nominale de référence du CIP 10 : 6700 tr/min

Référence du support test et du tachymètre : Coupelle test : C4660 TACHYMETRE



PENSER A ALLUMER LE CIP10 AU MOINS 17 MINUTES AVANT DE MESURER LA VITESSE DE ROTATION (COUPELLE TEST)

2) Description des opérations effectuées :

MATERIEL	Référence de l'échantillon : <u>GEUS / Conducteur / BRUSSON / moure 8</u> Référence du blanc lié : <input checked="" type="checkbox"/> blanc/...../1 Réf : <u>3100077401223-2040</u> <input checked="" type="checkbox"/> blanc/...../2 Réf : <u>3100077401162-214016</u> <input type="checkbox"/> blanc/...../3 Réf : Référence CIP 10 / Référence tête : <u>2129 1107</u> / CIP10ALU02 Référence du média : <u>3100077401162 1202</u>
DEBUT ESSAI	Vitesse nominale initiale avant essai : Mes 1 : <u>6750</u> Mes 2 : <u>6752</u> Mes 3 : <u>6751</u> Variation de la moyenne à la vitesse de référence : Moy : <u>6751</u> $\Delta = 49$ (< 200 tr/min) Heure de la pose du dispositif : <u>17h38</u>
PAUSE * inscrire au dos **INSQ-ET-25	si < 30 min* : si > 30 min** : Heure DEPART : <u>17h02</u> Heure REPRISE : <u>17h02</u>
FIN ESSAI	Heure de la dépose du dispositif : <u>17h30</u> Vitesse nominale finale après essai : Mes 1 : <u>6762</u> Mes 2 : <u>6763</u> Mes 3 : <u>6760</u> Variation de la moyenne à la vitesse de référence : Moy : <u>6762</u> $\Delta = 38$ (< 200 tr/min) Saturation support : <input type="checkbox"/> forte <input type="checkbox"/> modérée <input type="checkbox"/> faible <input checked="" type="checkbox"/> RAS
ANALYSES	Durée effective de prélèvement (pause déduite) : <u>656</u> min Laboratoire d'analyses et analyses : <u>Frédéric</u> / <input type="checkbox"/> inh <input type="checkbox"/> tho <input checked="" type="checkbox"/> Salv <input checked="" type="checkbox"/> Sil

3) Conditions ambiantes de prélèvements

Heure mesure	<u>9h00</u>	<u>11h00</u>	<u>16h00</u>	<u>16h00</u>	Tolérances indicatives
Température (°C) :	<u>9°C</u>	<u>12</u>	<u>15</u>	<u>12</u>	5,2 à 34,6°C
Humidité relative (%) :	<u>60%</u>	<u>52</u>	<u>50</u>	<u>56</u>	≤ 90 %
Pression (mbar ou Hpa) :	<u>1021</u>	<u>1022</u>	<u>1023</u>	<u>1021</u>	1000 à 1050 mbar / HPa
Ambiance (- : sain, +++ saturé)	<u>+</u>	<u>+</u>	<u>+</u>	<u>+</u>	
Orientation du vent (porteur ?)	<u>+</u>	<u>+</u>	<u>+</u>	<u>+</u>	/
Courant d'air (m/s) :	<u>0,2</u>	<u>0,3</u>	<u>0,2</u>	<u>0,2</u>	≤ 4 m/s
Climat (pluie, sec, soleil ?)	<u>nuageux</u>	<u>nuageux</u>	<u>nuageux</u>	<u>nuageux</u>	/

4) Conservation du support durant le transport (cf. dossier de confirmation à emporter sur le terrain)

Sachet plastique et glacière Glacière réfrigérée Papier aluminium



Nom opérateur : GUESDON Atelier : Fonction :		Date prélèvement : 15/11/17 Réf. du prélèvement : 6EM / Conduite / GUESDON 1 mesure 8.	
Observations complémentaires : Etat CIP 10 (- : RAS, +++ sale) Etat habits de travail (- : RAS, +++ sale) Tâches habituelles réalisées (par tranche horaire) Pausas < 30 minutes NE PAS ARRETER LA POMPE Descriptif des appareils, machines, outils utilisés : Tâches ponctuelles ou inhabituelles:		Type EPC : Mesure de débit : Matin : - - Midi : - - Soir : - - Efficacité visuelle <input type="checkbox"/> Oui ; <input type="checkbox"/> Non Type de prélèvement : <input checked="" type="checkbox"/> opérateur <input type="checkbox"/> poste fixe (hauteur : m) Mesure jugée représentative : <input checked="" type="checkbox"/> Oui ; <input type="checkbox"/> Non ; <input type="checkbox"/> mitigé Explications : Rapport hebdomadaire de performance	
15h ↓ pelle mécanique 17h30		13h ↓ pelle mécanique 14h30	
15 min. avant pond. 2 Tombeuses à 10 min. les 10 min.		15 min. avant pond. 2 Tombeuses à 10 min. les 10 min.	
Type EPI Heure de mise en port Heure de l'enlèvement Durée du port Interférences (météorologiques, aération, production...)		sans arrêt sans arrêt sans arrêt sans arrêt	
Indicateurs de production (horaire total de production, rythme)		sans arrêt sans arrêt	

1 Indiquer les horaires de différentes phases de travail, les pauses avec arrêt ou non du prélèvement



Laboratoire AXE

Campus de Ker Lann
Rue Siméon Poisson
35 170 BRUZ
Tél. : 02 99 52 52 12

Fiche de prélèvement CIP10

Atelier/Poste : Tombouze

Client : TERREAL

Site : Chapel

Adresse :

1) Renseignements relatifs à l'intervention :

carrière

Nom opérateur AXE : F. Souffri Date : 16/3/17
 Contexte de la mesure : qualité de l'air des lieux de travail ; Ambiance de travail ;
 qualité de l'air extérieur.
 Type de prélèvement : opérateur poste fixe (hauteur : m)
 Fraction de l'aérosol échantillonnée : inhalables thoraciques alvéolaires 3 silices
 Vitesse nominale de référence du CIP 10 : 6305 tr/min
 Référence du support test et du tachymètre : Coupelle test : CU660 TACHYMETRE



PENSER A ALLUMER LE CIP10 AU MOINS 17 MINUTES AVANT DE MESURER LA VITESSE DE ROTATION (COUPELLE TEST)

2) Description des opérations effectuées :

MATERIEL	Référence de l'échantillon :	<u>GEU1 / Condenser L MARIE / menu</u>
	Référence du blanc lié :	<input checked="" type="checkbox"/> blanc / .. / 1 Réf : <input checked="" type="checkbox"/> blanc / .. / 2 Réf : <input type="checkbox"/> blanc / .. / 3 Réf :
	Référence CIP 10 / Référence tête :	<u>U121103 / 1 ALV-02</u>
	Référence du média :	<u>810002740-285-20140115</u>
DEBUT ESSAI	Vitesse nominale initiale avant essai :	Mes 1 : <u>6770</u> Mes 2 : <u>6721</u> Mes 3 : <u>6770</u>
	Variation de la moyenne à la vitesse de référence :	Moy : <u>6770</u> Δ = <u>90</u> (< 200 tr/min)
	Heure de la pose du dispositif :	<u>12h30</u>
PAUSE * inscrire au dos **INSQ-ET-25	si < 30 min*	Heure DEPART : <u>12h10</u>
	si > 30 min**	Heure REPRISE : <u>13h00</u>
FIN ESSAI	Heure de la dépose du dispositif	<u>14h40</u>
	Vitesse nominale finale après essai :	Mes 1 : <u>6760</u> Mes 2 : <u>6762</u> Mes 3 : <u>6761</u>
	Variation de la moyenne à la vitesse de référence :	Moy : <u>6761</u> Δ = <u>33</u> (< 200 tr/min)
	Saturation support :	<input type="checkbox"/> forte <input type="checkbox"/> modérée <input type="checkbox"/> faible <input checked="" type="checkbox"/> RAS
ANALYSES	Durée effective de prélèvement (pause déduite) :	<u>365</u> min
	Laboratoire d'analyses et analyses :	<u>Brus</u> / <input type="checkbox"/> inh <input type="checkbox"/> tho <input checked="" type="checkbox"/> alv <input checked="" type="checkbox"/> Sil

3) Conditions ambiantes de prélèvements

Heure mesure	9h	11h	14h	Tolérances indicatives
Température (°C) :	<u>10</u>	<u>15</u>	<u>13</u>	5,2 à 34,6°C
Humidité relative (%) :	<u>63</u>	<u>62</u>	<u>77</u>	≤ 90 %
Pression (mbar ou Hpa) :	<u>1026</u>	<u>1025</u>	<u>1028</u>	1000 à 1050 mbar / HPa
Ambiance (- : sain, +++ saturé)	<u>+</u>	<u>+</u>	<u>+</u>	
Orientation du vent (porteur ?)	<u>-</u>	<u>-</u>	<u>-</u>	/
Courant d'air (m/s) :	<u>0,15</u>	<u>0,1</u>	<u>0,1</u>	≤ 4 m/s
Climat (pluie, sec, soleil ?)	<u>sec</u>	<u>sec</u>	<u>sec</u>	/

4) Conservation du support durant le transport (cf. dossier de confirmation à emporter sur le terrain)

Sachet plastique et glacière Glacière réfrigérée Papier aluminium

Nom opérateur : MARIE		Date prélèvement : 16/3/17	
Atelier :		Ref. du prélèvement : GEH / Conduite de MARIE / manuels	
Fonction :		Type de prélèvement : <input checked="" type="checkbox"/> opérateur <input type="checkbox"/> poste fixe (hauteur : m)	
Observations complémentaires :		Mesure jugée représentative : <input checked="" type="checkbox"/> Oui ; <input type="checkbox"/> Non ; <input type="checkbox"/> mitigé	
Etat CIP 10 (- : RAS, +++ sale)		Explications : Représentatif de son GEH.	
Etat habits de travail (- : RAS, +++ sale)			
Tâches habituelles réalisées (par tranche horaire)			
Pauses < 30 minutes			
NE PAS ARRÊTER LA POMPE			
Descriptif des appareils, machines, outils utilisés :			
Tâches ponctuelles ou inhabituelles :			
Type EPI			
Heure de mise en port			
Heure de l'enlèvement			
Durée du port			
Interférences (météorologiques, aération, production...)			
Indicateurs de production (horaire total de production, rythme)			

¹ Indiquer les horaires de différentes phases de travail, les pauses avec arrêt ou non du prélèvement

Cabinet AXE BRUZ

Fiche de prélèvement d'air des lieux de travail

Ref. FORCET33-V16


Mise à jour : L.KRAEUTLER

Validation : M.PIAU

ANNEXE III : BORDEREAUX D'ANALYSES LABORATOIRE

Les analyses réalisées par le laboratoire EUROFINS dont les bordereaux figurent ci après, sont conformes à la demande du laboratoire MDP.

Les résultats ne prennent pas en compte les incertitudes

Conformité des analyses par rapport à la demande	
<p>FSOUYRI Préleveur contrôleur</p>	

CABINET AXE
Monsieur Fabien SOUYRI
 Campus de Ker Lann
 Rue Simeon Poisson
 35170 BRUZ

RAPPORT D'ANALYSE

Dossier N° : 17E022290

Version du : 04/04/2017

N° de rapport d'analyse : AR-17-LK-032865-01

Date de réception : 18/03/2017

Référence Dossier : Affaire : Terreal

Référence Commande : 294/2017

Coordinateur de projet client : Gwendoline Juge / GwendolineJuge@eurofins.com / +33 3 88 02 33 86

N° Ech	Matrice		Référence échantillon
001	Air lieux de travail	(AIT)	GEH1/Conducteur/FLEURY/mesure7 - 401261
002	Air lieux de travail	(AIT)	GEH1/Conducteur/GUESDON/mesure8 - 401292
003	Air lieux de travail	(AIT)	GEH1/Conducteur/MARIE/mesure9 - 401285
004	Air lieux de travail	(AIT)	blanc/poussières/1 - 401223
005	Air lieux de travail	(AIT)	blanc/poussières/2 - 401162

RAPPORT D'ANALYSE

Dossier N° : 17E022290

Version du : 04/04/2017

N° de rapport d'analyse : AR-17-LK-032865-01

Date de réception : 18/03/2017

Référence Dossier : Affaire : Terreal

Référence Commande : 294/2017

N° Echantillon

Référence client :

Matrice :

Date de prélèvement :

Date de début d'analyse :

001	002	003	004	005
GEH1/Conducteur/FLEURY/mesure7 - 401261	GEH1/Conducteur/GUESDON/mesure8 - 401292	GEH1/Conducteur/MARIE/mesure9 - 401285	blanc/poussières/1 - 401223	blanc/poussières/2 - 401162
AIT	AIT	AIT	AIT	AIT
15/03/2017	15/03/2017	16/03/2017	15/03/2017	16/03/2017
20/03/2017	20/03/2017	20/03/2017	20/03/2017	20/03/2017

Mesures gravimétriques

 .SA5T : **Poussières alvéolaires sur mousse**

	001	002	003	004	005
Poussières alvéolaires après correction	mg * 1.54	mg * 1.86	mg * 1.47	mg * <0.27	mg * <0.27
Incertitude de la mesure	mg * 0.13	mg * 0.13	mg * 0.13	mg * 0.13	mg * 0.13

Analyse de la silice cristalline

 .SA60 : **Quartz quantitatif par DRX sur mousse**

	001	002	003	004	005
Résultat du dosage de quartz	µg * 21	µg * <4.0	µg * <4.0	µg * <4.0	µg * <4.0
Limite de quantification du dosage de Quartz	µg 4.0	µg 4.0	µg 4.0	µg 4.0	µg 4.0

 .SVM1 : **Cristobalite par DRX sur mousse**

	001	002	003	004	005
Résultat du dosage de la cristobalite	µg * <7.0	µg * <7.0	µg * <7.0	µg * <7.0	µg * <7.0
Limite de quantification du dosage de Cristobalite	µg 7.0	µg 7.0	µg 7.0	µg 7.0	µg 7.0

 .SRFH : **Identification Tridymite**

	001	002	003	004	005
µg	* Absence	* Absence	* Absence	* Absence	* Absence

par DRX sur mousse

D : détecté / ND : non détecté

Observations	N° Ech	Réf client
La correction appliquée a été déterminée à partir des blancs de terrain.	(001) (002) (003) (004) (005)	GEH1/Conducteur/FLEURY/mesure7 - 401261 / GEH1/Conducteur/GUESDON/mesure8 - 401292 / GEH1/Conducteur/MARIE/mesure9 - 401285 / blanc/poussières/1 - 401223 / blanc/poussières/2 - 401162 /

RAPPORT D'ANALYSE

Dossier N° : 17E022290

Version du : 04/04/2017

N° de rapport d'analyse : AR-17-LK-032865-01

Date de réception : 18/03/2017

Référence Dossier : Affaire : Terreal

Référence Commande : 294/2017

La reproduction de ce document n'est autorisée que sous sa forme intégrale. Il comporte 5 page(s). Le présent rapport ne concerne que les objets soumis à l'essai.

Seules certaines prestations rapportées dans ce document sont couvertes par l'accréditation. Elles sont identifiées par le symbole *.

L'information relative au seuil de détection d'un paramètre n'est pas couverte par l'accréditation Cofrac.

Les résultats précédés du signe < correspondent aux limites de quantification, elles sont la responsabilité du laboratoire et fonction de la matrice.

Tous les éléments de traçabilité sont disponibles sur demande.

Pour les résultats issus d'une sous-traitance, les rapports émis par des laboratoires accrédités sont disponibles sur demande.

Laboratoire agréé par le ministre chargé de l'environnement - se reporter à la liste des laboratoires sur le site internet de gestion des agréments du ministère chargé de l'environnement : <http://www.labeau.ecologie.gouv.fr>

Laboratoire agréé pour la réalisation des prélèvements et des analyses terrains et/ou des analyses des paramètres du contrôle sanitaire des eaux – portée détaillée de l'agrément disponible sur demande.

Laboratoire agréé par le ministre chargé des installations classées conformément à l'arrêté du 11 Mars 2010. Mention des types d'analyses pour lesquels l'agrément a été délivré sur : www.eurofins.fr ou disponible sur demande.

Marilyn Matter
 Chef de Service Coordinateur de Projets
 Clients

Annexe technique

Dossier N° : 17E022290

N° de rapport d'analyse :AR-17-LK-032865-01

Emetteur :

Commande EOL :

Nom projet :

Référence commande :

Air lieux de travail

Code	Analyse	Principe et référence de la méthode	LQI	Unité	Prestation réalisée sur le site de :
LSA5T	Poussières alvéolaires sur mousse Poussières alvéolaires après correction Incertitude de la mesure	Gravimétrie - NF X 43-262	0.27	mg mg	Eurofins Analyse pour l'Environnement France
LSA60	Quartz quantitatif par DRX sur mousse Résultat du dosage de quartz Limite de quantification du dosage de Quartz	Diffraction de rayons X - NF X 43-295	4	µg µg	
LSRFH	Identification Tridymite par DRX sur mousse	Diffraction des rayons X (XRD) [Identification par diffraction de rayons X] - NF X 43-295		µg	
LSVM1	Cristobalite par DRX sur mousse Résultat du dosage de la cristobalite Limite de quantification du dosage de Cristobalite	Diffraction des rayons X (XRD) [Diffraction de rayons X] - NF X 43-295	7	µg µg	

Annexe de traçabilité des échantillons

Cette traçabilité recense les flacons des échantillons scannés dans EOL sur le terrain avant envoi au laboratoire

Dossier N° : 17E022290

N° de rapport d'analyse : AR-17-LK-032865-01

Emetteur :

Commande EOL :

Nom projet : Affaire : Terreal

Référence commande : 294/2017

Air lieux de travail

Référence Eurofins	Référence Client	Date&Heure Prélèvement	Code-barre	Nom flacon
17E022290-001	GEH1/Conducteur/FLEURY/mesure7			
17E022290-002	GEH1/Conducteur/GUESDON/mesur			
17E022290-003	GEH1/Conducteur/MARIE/mesure9 -			
17E022290-004	blanc/poussières/1 - 401223			
17E022290-005	blanc/poussières/2 - 401162			

ANNEXE IV : Traitement statistique

Il s'agit d'un calcul statistique de dépassement 'probable' de la VLEP dans l'année, au vu du nombre d'échantillons de mesures sur GEH qui ont été faits. Ce calcul statistique est comparé au SEUIL dit DE REFERENCE pour un nombre de répétitions des analyses précis annexé à l'arrêté du 15/12/2009.

Source : Arr. 15 déc. 2009

A l'issue des trois campagnes de mesures, le diagnostic de dépassement de la VLEP 8 heures est établi à partir de l'analyse statistique de l'ensemble des mesures d'exposition réalisées : au minimum neuf par GEH. Le diagnostic de dépassement de la VLEP 8 heures est établi lorsque, sous hypothèse d'une distribution log-normale des expositions, la borne supérieure de l'intervalle de confiance à 70 % de la probabilité de dépassement de la VLEP 8 heures est supérieure à 5 % (Pr [IC 70 %] > 5 %).

L'application par traitement statistique permet d'obtenir la variable U qui est fonction de la VME, de la moyenne géométrique (M_G) et de l'écart type géométrique (S_G). Si la valeur de U calculée est inférieure à la valeur seuil de u relative au nombre de mesures, on conclut à un dépassement de la VLEP. En revanche si elle est égale ou supérieure, on n'a pas de dépassement de la VLEP.

La formule statistique décrite par l'arrêté du 15/12/2009 est la suivante :

Soient X_1, X_2, \dots, X_n une série de n mesures d'exposition.

La moyenne géométrique M_G s'exprime par [1, 8] : $\ln(M_G) = \frac{\sum \ln(X_i)}{n}$

De la même façon, l'écart-type géométrique s_G est donné par : $\ln(s_G) = \sqrt{\frac{\sum [\ln(X_i) - \ln(M_G)]^2}{n-1}}$

À partir de ces deux paramètres et du logarithme de la valeur limite $\ln(VME)$ on calcule la quantité U :

$$U = \frac{\ln(VME) - \ln(M_G)}{\ln(s_G)}$$

Agent Chimique Dangereux :		Année en cours			Eval initiale C1			Eval initiale C2			Eval initiale C3		
		2017	2071	2017	2015	2015	2014	2014	2014	2014	2014	2014	
GEH :	GEH1	répét° 1	répét° 2	répét° 3	répét° 1.1	répét° 1.2	répét° 1.3	répét° 2.1	répét° 2.2	répét° 2.3	répét° 3.1	répét° 3.2	répét° 3.3
	C_{mes} (mg/m ³)	0,0046	0,0004	0,0005	0,0395	0,0021	0,0131	0,0039	0,0039	0,0039	0,0039	0,0039	0,0039
	Ln	-5,38	-7,73	-7,51	-3,23	-6,18	-4,34	-5,54	-5,54	-5,54	-5,54	-5,54	-5,54
	Ln mg	-5,67											
	Ln - Ln mg	0,28	-2,07	-1,84	2,43	-0,51	1,33	0,12	0,12	0,12	0,12	0,12	0,12
	(Ln - Ln mg) ²	0,08	4,27	3,40	5,92	0,26	1,77	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02
	$\sum(Ln - Ln mg)^2$	15,74											
	$\sum(Ln - Ln mg)^2/n-1$	1,97											
	Ln Sg =	1,40											
	U =	2,398											

Ce calcul est à faire pour chaque ACD / GEH > VLEP/10
Conserver les enregistrements du tableur dans le dossier 'docs de travail'

Attention, ce calcul stat n'est pas à faire pour une ACD - GEH dont la mesure est inférieure au dixième de VLEP !

Nombre de mesures	VLEP produit mg/m3
9	0,10
seuil =	2,035 Conclusion VLEP non dépassée

risque de dépassement probable de la VLEP 8h
pas de dépassement

U₂₀₁₇ (9 mesures) > U_{Réf} (9 mesures)

CONSTAT :


En l'état des mesures, le risque de dépassement de la VLEP pour le Quartz n'est pas atteint pour les conditions d'exposition échantillonnées.

FICHE INTERNATIONALE DE SECURITE – QUARTZ
FICHE TOXICOLOGIQUE I.N.R.S. – SILICE CRISTALLINE

Fiches internationales de sécurité chimique

QUARTZ

ICSC: 0808

			
<p>QUARTZ Silice, cristalline SiO_2 Masse moléculaire : 60.1</p>			
<p>N° CAS : 14808-60-7 N° RTECS : VV7330000 N° ICSC : 0808</p>			
TYPES DE RISQUES/ EXPOSITIONS	RISQUES/ SYMPTOMES AIGUS	PREVENTION	PREMIER SECOURS/ AGENTS D'EXTINCTION
INCENDIE	Non combustible.		En cas d'incendie à proximité: tous les agents d'extinction sont autorisés.
EXPLOSION			
CONTACT PHYSIQUE		EVITER LA DISPERSION DE POUSSIERE!	
• INHALATION	Toux.	Ventilation, aspiration locale ou protection respiratoire.	
• PEAU			
• YEUX		Lunettes de protection, ou protection oculaire associée à une protection respiratoire.	
• INGESTION			
DEVERSEMENTS & FUTES	STOCKAGE	CONDITIONNEMENT & ETIQUETAGE	
Humecter complètement la substance répandue et la récupérer dans des récipients. (protection individuelle spéciale: appareil de protection respiratoire à filtre P2 pour particules nocives).			
VOIR IMPORTANTES INFORMATIONS AU DOS			
ICSC: 0808		Préparé dans le cadre de la coopération entre le Programme International sur la Sécurité Chimique et la Commission Européenne (C) 1993	

Fiches internationales de sécurité chimique

QUARTZ

ICSC: 0808

D O N N E E S I M P O R T A N T E S	ASPECT PHYSIQUE; APPARENCE: CRISTAUX TRANSPARENTS OU POUDRE CRISTALLINE.	VOIES D'EXPOSITION: La substance peut être absorbée par l'organisme par inhalation.
	DANGERS PHYSIQUES:	RISQUE D'INHALATION: L'évaporation à 20°C est négligeable; une concentration dangereuse de particules en suspension dans l'air peut cependant être atteinte rapidement par dispersion.
	DANGERS CHIMIQUES:	EFFETS DES EXPOSITIONS DE COURTE DUREE:
	LIMITES D'EXPOSITION PROFESSIONNELLE (LEP): TLV: 0.1 mg/m ³ (fraction inhalable) (ACGIH 1995-1996).	EFFETS DES EXPOSITIONS PROLONGEES OU REPETEES: Risque d'atteinte pulmonaire lors d'une exposition répétée ou prolongée, entraînant une pneumoconiose (silicose). Cette substance est probablement cancérigène pour l'homme.
PROPRIETES PHYSIQUES	Point d'ébullition : 2230°C Point de fusion : 1610°C	Densité relative (eau = 1) : 2.635 Solubilité dans l'eau : nulle
DONNEES ENVIRONNEMENTALES		
NOTES		
Suivant le niveau de l'exposition, une surveillance médicale périodique est recommandée.		
AUTRES INFORMATIONS		
ICSC: 0808		QUARTZ
© PISSC, CEC, 1993		
NOTICE LEGALE IMPORTANTE:	La CE de même que le PISSC ou toute personne agissant au nom de la CE ou du PISSC ne sauraient être tenues pour responsables de l'utilisation qui pourrait être faite de ces informations. Cette fiche exprime l'avis du comité de révision du PISSC et peut ne pas toujours refléter les recommandations de la législation nationale en la matière. L'utilisateur est donc invité à vérifier la conformité des fiches avec les prescriptions en usage dans son pays. Traduction autorisée de l'International Chemical Safety Card (ICSC), publié par l'UNEP/ILO/WHO dans le cadre de la coopération entre le PISSC et la CE. Programme International sur la Sécurité des Substances Chimiques - Commission Européenne, 1993.	

Silice cristalline

Fiche toxicologique n°232

Généralités

Edition _____ 1997

Formule :SiO₂

Substance(s)

Nom	Détails	
Quartz	Numéro CAS	14808-60-7
	Numéro CE	238-878-4
Tridymite	Numéro CAS	15468-32-3
	Numéro CE	239-487-1
Cristobalite	Numéro CAS	14464-46-1
	Numéro CE	238-455-4

SILICE CRISTALLINE

-

- Cette substance doit être étiquetée conformément au règlement (CE) n° 1272/2008 dit "règlement CLP".

La silice existe à l'état libre sous différentes formes cristallines ou amorphes. On trouve également la silice à l'état combinée dans les silicates (les groupes SiO₂ sont liés à d'autres atomes Al, Fe, Mg, Ca, Na, K...). Du point de vue des effets pathogènes, il est important de faire la distinction entre ces différentes formes. Ce document ne traite que de la silice cristalline dont les trois principales variétés sont le quartz, la tridymite et la cristobalite.

Caractéristiques

Fabrication

[1 à 4, 11]

Le quartz est l'un des minéraux les plus abondants de l'écorce terrestre (12 % du poids de celle-ci). Il est un composant majeur de très nombreuses roches ignées (granit, pegmatites), métamorphiques (quartzite) ou sédimentaires (sable). Il est présent à l'état d'impureté dans de nombreuses roches siliceuses.

La quasi-totalité du quartz utilisé est extrait de roches sédimentaires. En dehors de ce quartz d'origine naturelle, l'industrie produit des cristaux de quartz synthétique de très haute qualité.

La tridymite et la cristobalite sont rares à l'état naturel. On les trouve dans certaines roches volcaniques et - surtout la tridymite - dans certaines météorites pierreuses. Contrairement au quartz, ces minéraux ne sont pas exploités comme tels.

La cristobalite se forme par chauffage du quartz lors de la production et à l'utilisation de matériaux réfractaires (en particulier la céramique). La transformation du quartz en tridymite ne se produit qu'en présence d'un minéralisateur (sels alcalins ou alcalinoterreux).

La cristobalite se forme également lorsque la silice amorphe (kieselguhr ou diatomite, tripoli...) ou la silice vitreuse est chauffée à haute température. C'est pourquoi elle est présente à un pourcentage plus ou moins élevé dans les diatomites calcinées du commerce.

[1 à 4, 11]

À côté de ses utilisations comme matière première dans certains procédés industriels, la silice cristalline peut apparaître comme contaminant de l'atmosphère lors de très nombreux travaux. Les principaux secteurs d'activité exposant à l'inhalation de poussières de silice cristalline sont les suivants :

- travaux dans les mines et les carrières de minerais ou de roches renfermant de la
- silice libre (houille, or, étain, ardoise, talc, mica, schiste, etc.) ;
- extraction et préparation de sables industriels ;
- travaux publics, particulièrement les travaux souterrains ;
- industrie de la pierre et de la construction : taillage et polissage des pierres de taille riches en silice (grès, granite), discage du béton, etc. ;

- fonderies : fabrication des moules de sable, décochage, ébarbage et dessablage ;
- fabrication du carborundum, de porcelaine, faïence, céramique et de produits réfractaires ;
- verreries, cristalleries ;
- fabrication et utilisation de produits abrasifs renfermant de la silice libre ;
- démolitions et réparations des fours industriels en briques réfractaires ;
- bijouterie (taillage et polissage de pierres et travaux de fonderie) ;
- fabrication de prothèses dentaires (sablage, ponçage, meulage) ;
- fabrication des cristaux de quartz synthétique et utilisation en optique et surtout en électronique.

Propriétés physiques

[2, 3, 11]

La silice cristalline présente une structure tridimensionnelle régulière ; le motif de base est un tétraèdre dont chacun des sommets est occupé par un atome d'oxygène et le centre par un atome de silicium. Les atomes d'oxygène sont communs aux tétraèdres voisins et l'ensemble a pour formule $(\text{SiO}_2)_n$.

Les différentes formes cristallines de la silice correspondent à des domaines de stabilité thermodynamique différents. Quand on la chauffe, des transformations polymorphiques font passer la silice d'une forme à l'autre, entraînant des modifications des propriétés cristallographiques et de densité : à pression atmosphérique, le passage du quartz à la tridymite se produit vers 870 °C ; le passage de la tridymite à la cristobalite a lieu à 1 470 °C. En outre, chacune des formes principales peut subir, à l'intérieur de son domaine de stabilité, des transformations paramorphiques moins importantes (transition α - β). Différentes formes peuvent toutefois coexister dans les conditions ordinaires de température et de pression.

La silice cristalline est insoluble dans l'eau et dans les solvants organiques.

Nom Substance	Détails	
Silice cristalline	Formule	SiO₂
	Etat Physique	Solide
	Masse molaire	60,09
	Densité	2,65 (quartz) 2,26 (tridymite) 2,33 (cristobalite)

Propriétés chimiques

[2, 3]

La silice cristalline est un produit très peu réactif. Elle n'est pas attaquée par les acides, à l'exception de l'acide fluorhydrique avec lequel elle forme de l'acide fluosilicique.

Elle peut être attaquée par les bases anhydres (et les carbonates alcalins et alcalinoterreux), plus facilement à l'état fondu qu'en solution, pour donner des silicates. L'attaque du quartz par les bases aqueuses est légère à température ambiante.

Valeurs Limites d'Exposition Professionnelle

Des valeurs limites **contraignantes** dans l'air des locaux de travail ont été établies pour la silice. Le code du travail fixe également une valeur limite d'exposition professionnelle pour les mélanges de poussières de silice et d'autres natures (articles R.4412-154 et R.4412-155). Le contrôle du respect de ces valeurs limites réglementaires est réalisé par un organisme accrédité.

Substance	Pays	VME (ppm)	VME (mg/m ³)
Quartz	France	-	0,1
Cristobalite	France	-	0,05
Tridymite	France	-	0,05

En présence de poussières alvéolaires contenant de la silice cristalline et d'autres poussières non silicogènes, la valeur limite d'exposition au mélange est fixée par la formule $Cns/Vns + Cq/0,1 + Cc/0,05 + Ct/0,05$ où Cns représente la concentration en poussières alvéolaires non silicogènes en mg/m³, Vns la valeur limite de moyenne d'exposition prescrite pour les poussières alvéolaires sans effet spécifique (5 mg/m³), Cq, Cc et Ct les concentrations respectives en quartz, cristobalite et tridymite en mg/m³.

Pour les mines et les carrières, se reporter au décret du 2 septembre 1994 qui fixe des règles particulières d'empoussiérage.

Méthodes de détection et de détermination dans l'air

Comme ce sont les particules de silice cristalline les plus fines qui sont susceptibles de se déposer dans le poumon profond (alvéoles et zones non ciliées), l'estimation du risque passe par la détermination de la concentration en silice cristalline dans la fraction alvéolaire des poussières [5], conformément à l'arrêté du 10 avril 1997.

Le prélèvement de cette fraction peut être effectué au moyen d'une pompe portable à faible débit associée à un cyclone [6] ou par l'intermédiaire d'un dispositif à coupelle rotative [7]. Dans le premier cas, les poussières sont recueillies sur une membrane filtrante, dans le second cas sur une mousse polyuréthane.

L'analyse des poussières collectées est généralement effectuée par diffraction de rayons X [8, 9] ou par spectroscopie infrarouge [10]. Ces méthodes permettent de détecter dans les situations les plus favorables (dosage sur la raie de diffraction la plus intense ou sur la bande d'absorption principale) quelques microgrammes de silice cristalline.

Pathologie - Toxicologie

Toxicocinétique - Métabolisme

La silice cristalline est essentiellement absorbée par voie inhalatoire. Les particules se déposent dans les voies respiratoires et y persistent. Une faible part est solubilisée dans les liquides biologiques et excrétée dans les urines. Par voie orale, l'absorption est faible et les particules sont excrétées sous forme inchangée.

Chez l'animal

La voie essentielle de pénétration de la silice cristalline dans l'organisme est la voie pulmonaire. Les particules se déposent dans la trachée, les bronches et les poumons et y persistent, si bien qu'une exposition unique à forte dose peut produire des effets durables.

Chez le rat, les particules fines de silice, de diamètre aérodynamique médian en masse < 3 µm, se déposent dans les conduits alvéolaires les plus proches des bronchioles terminales. La clairance alvéolaire précoce est importante (82 % des particules disparaissent en 24 h). Les particules de silice sont rapidement phagocytées par les macrophages alvéolaires qui les transportent vers l'épithélium muco-ciliaire ou à travers l'épithélium alvéolaire vers le tissu interstitiel pulmonaire et vers le tissu lymphoïde (ganglions médiastinaux, thymus) où elles sont éliminées du poumon [11]. Lorsque les macrophages sont saturés en particules, ils s'immobilisent puis meurent en libérant les particules et des médiateurs de l'inflammation dans le milieu pulmonaire extracellulaire. Les particules ainsi libérées sont à nouveau phagocytées, d'où leur persistance in situ jusqu'à 11 mois après une seule instillation intratrachéale [12]. On observe une rétention moyenne de 0,91 mg par poumon après une exposition pendant 2 ans à 1 mg/m³ de quartz DQ12 (diamètre aérodynamique médian en masse = 1,3 µm) [13]. Les particules de silice sont, pour une faible part, solubilisées dans les liquides biologiques, avec formation d'acide silicique, excrété dans les urines.

Par voie orale, la plupart des particules de silice ne sont pas absorbées et sont excrétées sous forme inchangée.

Chez l'homme, l'inhalation de particules de silice entraîne, comme chez l'animal, leur dépôt dans les voies respiratoires en fonction de la taille. Les particules dont le diamètre aérodynamique médian en masse est compris entre 5 et 30 µm se déposent principalement dans la région nasopharyngée et sont éliminées. Les particules « respirables », de diamètre aérodynamique médian en masse de 0,5 à 5 µm, atteignent la trachée, les bronches et les zones alvéolaires. La clairance trachéobronchique est rapide (24 h) et augmentée en cas de silicose. Des particules de quartz sont retrouvées dans les macrophages alvéolaires et dans les ganglions lymphatiques. Le contenu pulmonaire total en quartz ne dépasse pas 5 g, même en cas d'exposition massive. L'acide silicique est retrouvé dans le sang et l'urine des personnes exposées [14].

Mode d'action

Les mécanismes impliqués dans les effets toxiques de la silice cristalline ne sont que partiellement élucidés. Diverses hypothèses sont actuellement explorées en vue d'expliquer la toxicité pulmonaire chez le rat.

Les études *in vitro* ont mis en évidence le lien entre la cytotoxicité du quartz et sa capacité d'endommager les membranes ; la liaison se ferait entre des groupements hydrogènes membranaires et des groupements silanols ionisés présents à la surface de la silice. Ces groupements silanols seraient également à l'origine de la formation de radicaux libres oxygénés à la surface des particules et dans les cellules.

L'interaction de la surface du quartz avec des groupements phosphates de l'ADN isolé a aussi été montrée [23].

Les tumeurs induites par la silice apparaissent dans les poumons où préexistent inflammation chronique active, hyperplasie et métaplasie épithéliale et, dans la majorité des cas, fibrose. La différence de réponse entre les espèces met en évidence le rôle critique de facteurs spécifiques dans la réponse cancérogène induite. Le facteur de croissance transformante (TGF-β1) semble être le médiateur principal de la fibrogenèse ; son rôle a été établi dans les lésions pulmonaires y compris l'inflammation, les processus de réparation post-inflammatoires et la stimulation de la formation de collagène et de tissu conjonctif [12]. Les intermédiaires réactifs oxydants présents sur la surface de la silice ou libérés par les macrophages alvéolaires ont une capacité importante à endommager l'ADN et provoquer des mutations (stress oxydatif, effet génotoxique) [20]. Une mutation sur certains gènes, dont le gène ras p21 ou le gène suppresseur de tumeur p53, entraîne une prolifération incontrôlée des cellules et leur transformation. Des cytokines (facteur tumoral nécrosant α (TNF-α), Interleukines 1 et 6), libérées pendant la fibrogenèse, joueraient un rôle dans la prolifération des cellules épithéliales alvéolaires adjacentes [24].

Les résultats de l'ensemble des tests *in vitro* et *in vivo* suggèrent que la réponse tumorale pulmonaire observée chez le rat serait due à une inflammation prononcée et persistante et à une prolifération cellulaire épithéliale.

L'hypothèse d'un rôle joué par les oxydants générés sur la surface de la silice cristalline ou d'un effet génotoxique direct ne peut être éliminée bien que, dans l'état actuel des connaissances, il n'y ait pas d'argument convaincant en faveur de ces modes d'action [11].

Toxicité expérimentale

Toxicité aiguë

La toxicité aiguë de la silice cristalline varie selon les espèces, le rat étant le plus sensible. Après exposition, il se développe une inflammation avec formation de granulome silicotique suivi éventuellement d'une fibrose et d'un développement de tumeurs.

Chez le rat, l'instillation intrabronchique de silice (1,25 mg de Min-U-Sil [12]) ou l'inhalation d'α-quartz ou de cristobalite (10 mg/m³, 6 h/j, 3j [15] ; α-quartz, 20 mg/m³, 5 h/j, 5 j/sem, 2 sem [16]) induisent une réponse biphasique :

- une réaction inflammatoire aiguë révélée par la présence de granulocytes, principalement neutrophiles, et de biomarqueurs de cytotoxicité pulmonaire dans le liquide de lavage broncho-alvéolaire (lactico-déshydrogénase, protéines et N-acétylglycosaminidase). Ces paramètres augmentent dans les premières 24 h et persistent à un taux élevé jusqu'à 3 mois après la fin de l'exposition [15, 16] ;
- un processus chronique de réparation caractérisé par le développement d'un granulome silicotique, composé de macrophages ayant phagocyté des particules, de lymphocytes et de fibroblastes, puis l'installation progressive d'une fibrose. Des foyers hyperplasiques épars apparaissent dans la périphérie pulmonaire, adjacents aux granulomes silicotiques et aux bronchioles ou aux vaisseaux. Un nombre croissant d'adénomes et de carcinomes apparaissent à partir de 11 mois après instillation intrabronchique de 1,25 mg de Min-U-Sil ; ils sont plus fréquents chez les femelles que chez les mâles [12].

L'intensité des lésions fibrotiques dépend de la taille des particules (les plus fibrogènes ont un diamètre aérodynamique médian en masse de 1 - 2 µm) et du type de silice utilisé (tridymite > cristobalite > quartz > coesite > stishovite [11]). Les nodules silicotiques induits par la tridymite atteignent un degré de fibrose maximum après 60 jours alors que ceux induits par le quartz l'atteignent en 240 jours [11]. Les particules de quartz fraîchement broyées induisent une cytotoxicité et une inflammation plus importante que celles conservées plusieurs mois avant expérimentation. Cette différence serait liée à la formation, sur le plan de clivage, de radicaux oxygénés réactifs ; ils provoquent des lésions membranaires et cellulaires, un recrutement de leucocytes et la production d'oxydants par les macrophages alvéolaires [16]. La souris développe des granulomes avec une fibrose minimale ; mais, contrairement au rat, elle ne développe ni hyperplasie épithéliale, ni induction tumorale [12]. Le hamster développe une réponse macrophagique extensive avec phagocytose des particules de silice mais pas de fibrose, d'hyperplasie ou de tumeur [11, 12].

Toxicité subchronique, chronique

L'effet d'une exposition prolongée à la silice cristalline varie selon les espèces ; seul le rat présente la symptomatologie la plus marquée associant inflammation, fibrose, hyperplasie, tumeurs.

Chez le rat Fisher, l'inhalation de quartz DQ12 (diamètre aérodynamique médian en masse : 1,3 µm, 1 mg/m³, 6 h/j, 5 j/sem, 2 ans) induit :

- une réaction inflammatoire caractérisée par un doublement du poids des poumons, des modifications cytologiques du liquide de lavage broncho-alvéolaire, une lipoprotéinose multifocale associée à des zones fibrotiques et une infiltration intra-alvéolaire et interstitielle de cellules inflammatoires. Une fibrose modérée est observée dans la région subpleurale et péribronchiolaire chez 92 % des animaux exposés ; le contenu pulmonaire en collagène est doublé ;
- des hyperplasies broncho-alvéolaires, focales et multifocales, caractérisées par des pneumocytes de type II (95 % des animaux), des cellules Clara et des cellules ciliées (80 % des animaux), ou des nodules fibrotiques (13 % des animaux). Des cellules squameuses métaplasiques ont aussi été observées ;
- des tumeurs pulmonaires (détaillées dans le § « Cancérogénèse ») [13],

Chez la souris (Min-U-Sil (diamètre aérodynamique médian en masse < 2,1 µm, 1,47-1,95 mg/m³, 8 h/j, 5j/sem, 150 à 570 j), on observe une réaction inflammatoire assez sévère et le développement de plaques granulomateuses au niveau subpleural et des ganglions lymphatiques médiastinaux mais pas d'hyperplasie ni d'augmentation du taux de tumeurs pulmonaires [17].

Le hamster (Min-U-Sil, 3 ou 7 mg, instillation intratrachéale, 1 fois/sem, 10sem) ne développe que peu [18] ou pas [14] de lésions fibrotiques, pas d'hyperplasie alvéolaire ni de tumeur pulmonaire.

Chez le singe macaque, l'inhalation de quartz (100 mg/m³, 4 h/j, 5 j/sem, 18 sem) entraîne des modifications cytologiques et biochimiques du liquide de lavage bronchoalvéolaire et l'apparition de nodules silicotiques et de granulomes à cellules inflammatoires entre 21 et 64 semaines après la fin de l'exposition. Les variations individuelles sont importantes tant du point de vue du moment d'apparition des lésions que des modifications biochimiques [19].

Les infections pulmonaires, virales ou bactériennes, peuvent exacerber les effets de la silice inhalée. Par ailleurs, l'exposition à la silice est un élément favorisant le développement ultérieur de pathologies pulmonaires liées à des infections par voie aérienne, notamment la tuberculose [11].

Effets génotoxiques

Les tests *in vitro* conventionnels sont négatifs mais une action transformante et la formation de micronoyaux sont observées à fortes doses. Aucun effet n'est observé dans un test du micronoyau *in vivo*.

In vitro, les tests conventionnels sont négatifs ; toutefois, à forte dose, sur le même type de cellules, on observe une action transformante et la formation de micronoyaux mais pas d'aberrations chromosomiques.

In vivo, l'action génotoxique de la silice cristalline n'a que peu été explorée ; aucun effet n'a été observé dans un test du micronoyau,

La silice n'est pas mutagène dans les tests bactériens. Elle n'augmente pas la fréquence des échanges entre chromatides sœurs (cellules V79 de hamster ou lymphocytes humains) et n'induit ni aberration chromosomique ni aneuploidie (cellules embryonnaires de hamster syrien [20], cellules V79 de hamster ou cellules Hel 299 de poumon embryonnaire humain [21]).

En revanche, seules de fortes doses de quartz (30 mg/ml) incubées avec de l'ADN isolé induisent des cassures de brins. Des cellules inflammatoires (cellules du liquide de lavage bronchoalvéolaire ou monocytes), provenant de rats traités par de l' α -quartz, peuvent, *in vitro*, se révéler mutagènes ou induire des échanges entre chromatides sœurs ; ces effets pourraient être attribués à la formation de radicaux oxygénés réactifs, soit directement au niveau des particules, soit par les monocytes activés [20]. Le quartz induit une augmentation de la fréquence des micronoyaux dans les cellules d'embryon de hamster syrien [20], les cellules V79 et les cellules Hel 299 (l'auteur émet l'hypothèse d'une action sur le fuseau) [21] et de la transformation morphologique des cellules embryonnaires de hamster syrien [20].

L'acide silicique, produit par solubilisation du quartz dans les liquides biologiques, réagit avec les bases de l'ADN [11].

In vivo, la silice n'augmente pas le nombre de micronoyaux dans les érythrocytes de la moelle osseuse de souris (quartz, 500 mg/kg, per os) [11].

Effets cancérogènes

[11]

Diverses formes et préparations de silice cristalline ont été testées par différentes voies d'exposition. L'apparition d'adénocarcinomes pulmonaires, associés à une fibrose localisée, est observée chez le rat uniquement, davantage chez les femelles que chez les mâles.

L'instillation intratrachéale unique (Min-U-Sil ou Novaculite, 20 mg) ou répétée (Min-U-Sil, 7 mg, 1 fois/sem, 10 sem) et l'inhalation courte (6 ou 30 mg/m³, 6 h/j, 5 j/sem, 29 j) ou prolongée (quartz DQ12, 1 mg/m³ [13] ou Min-U-Sil, 12 et 50 mg/m³, 6 h/j, 5 j/sem, environ 2 ans) induisent des tumeurs pulmonaires chez le rat de diverses souches. Il est à noter que l'étude récente de Muhle [13] a été réalisée à des doses largement inférieures aux précédentes. Les premières tumeurs pulmonaires apparaissent après 11 à 22 mois ; elles sont de type épithélial : adénocarcinomes, carcinomes à cellules squameuses, carcinomes broncho-alvéolaires ou formes mixtes [18].

La présence d'adénocarcinomes pulmonaires est souvent associée à des aires de fibrose. Les relations entre la dose, la durée ou le mode d'exposition et l'incidence tumorale n'ont pu être établies [18].

L'injection intrapleurale (quartz, cristobalite, tridymite, 20 mg) ou intrapéritonéale (quartz, 20 mg), induit le développement de lymphomes malins thoraciques et abdominaux ; ils sont accompagnés de lésions fibrotiques pleurales ou péritonéales [22].

Les expériences menées avec d'autres espèces de rongeurs (hamster, souris, cobaye) par voie intratrachéale, inhalatoire, intraveineuse ou intrathoracique sont négatives même avec des souches dont la sensibilité aux cancérogènes pulmonaires est reconnue (souris « A ») [11, 18].

Comme d'autres particules, la silice peut agir indirectement sur la cancérogénèse d'autres xénobiotiques comme les hydrocarbures polycycliques aromatiques, soit en les adsorbant, soit en modifiant leur clairance pulmonaire, ce qui augmente la durée de l'exposition ou la dose effective [25].

Effets sur la reproduction

Aucune donnée n'est disponible chez l'animal.

Toxicité sur l'Homme

L'exposition aiguë à des poussières de silice peut être responsable d'une irritation des yeux et du tractus respiratoire. Une exposition chronique par inhalation peut entraîner une silicose ou pneumoconiose fibrosante ; un lien avec la survenue de certaines affections auto-immunes est également envisagé sans que le mécanisme soit élucidé. Le rôle de la silice cristalline dans l'augmentation du nombre de cancers broncho-pulmonaire est certain chez les sujets silicotiques ; les résultats sont contradictoires en l'absence de silicose. Aucune donnée n'existe sur les effets mutagènes ou sur la reproduction.

Toxicité aiguë

[26]

Les poussières de silice peuvent provoquer une irritation des yeux et du tractus respiratoire.

Toxicité chronique

Atteinte pulmonaire : la silicose [26, 27, 31]

La silicose est une pneumoconiose fibrosante secondaire à l'inhalation de particules de silice libre, Cette maladie est grave et encore fréquente. En France, 48 000 sujets bénéficiaient de rentes en 1980 ; un peu moins de 300 nouveaux cas sont recensés chaque année.

Les manifestations cliniques sont tardives et fonction de la durée d'exposition ainsi que de la concentration en silice dans l'air. Classiquement, la maladie passe par quatre stades :

- phase de latence : asymptomatique, pouvant aller jusqu'à 30 ans alors que des opacités radiologiques existent déjà ;
- phase d'état : avec apparition progressive d'une bronchopneumopathie chronique non spécifique avec toux matinale, expectoration, dyspnée d'effort discrète émaillée d'épisodes de surinfection bronchique ;
- phase d'insuffisance respiratoire : avec dyspnée d'effort de plus en plus marquée ;
- phase d'hypertension artérielle pulmonaire : stade ultime de l'évolution associant dyspnée de repos et signes de cœur pulmonaire chronique.

Deux examens sont importants pour porter le diagnostic de silicose, suivre son évolution et évaluer l'incapacité résultante :

- la radiographie, dont les anomalies font l'objet d'une classification du Bureau international du travail, les lésions caractéristiques de la silicose sont de type nodulaire. Ces opacités prédominent classiquement dans la partie supérieure des deux champs pulmonaires. Il existe très souvent des adénopathies hilaires qui lorsqu'elles sont calcifiées « en coquille d'œuf » sont quasi pathognomoniques de l'affection. Des signes d'emphysème pulmonaire peuvent être observés aux bases.

Au cours de l'évolution de l'affection, les lésions nodulaires confluent pour former des masses pseudo-tumorales.

Le scanner thoracique (sans injection de produit de contraste) permet de diagnostiquer des formes débutantes.

- les épreuves fonctionnelles respiratoires : les résultats ne sont pas forcément corrélés à ceux de la radiologie. Elles montrent un trouble ventilatoire mixte avec diminution progressive de la capacité vitale, du VEMS, de la capacité pulmonaire totale et des débits distaux. Des troubles de la diffusion de l'oxyde de carbone sont également constatés. L'aggravation du trouble ventilatoire porte principalement sur sa part obstructive. Une désaturation en oxygène apparaît lors de l'analyse des gaz du sang.

Dans les formes atypiques et/ou dont l'exposition est mal documentée, la présence de silice dans le poumon peut être recherchée et quantifiée par lavage broncho-alvéolaire avec analyse en microscopie électronique.

On peut rencontrer les formes évolutives suivantes :

- aigus, en cas d'exposition massive, évoluant en 1 à 3 ans vers la mort par insuffisance respiratoire ;
- précoces, apparaissant dans un délai d'exposition de moins de 5 ans ;
- retardées, qui ne se manifestent qu'après plusieurs années d'exposition, voire parfois après l'arrêt de celle-ci ;
- asymptomatiques, de diagnostic radiologique.

Ces deux dernières formes sont aujourd'hui les plus fréquentes.

L'affection se complique souvent de surinfections bronchopulmonaires à germes banals, à mycobactérie tuberculeuse ou non (la tuberculose est une complication très fréquente de la silicose) ou à aspergillus pouvant provoquer des hémoptysies.

Les autres complications sont des épisodes de pneumothorax spontané se développant sur des bulles d'emphysème sous-pleurales, des nécroses aseptiques de masses pseudo-tumorales entraînant des hémoptysies dramatiques parfois mortelles et des épisodes d'insuffisance respiratoire aiguë ; l'évolution peut se faire vers le cœur pulmonaire chronique dans un tableau d'insuffisance cardiaque droite (hépatomégalie, œdème des membres inférieurs, etc.)

Atteintes auto-immunes

Le lien entre l'exposition à la silice et la survenue de certaines affections auto-immunes est envisagé dans de nombreux cas ; le mécanisme de ces affections n'est actuellement pas élucidé [38]. Il s'agit :

- d'une glomérulonéphrite extracapillaire proliférative ou non [28, 37] chez des personnes dont l'exposition à la silice a été longue et importante. L'évolution est grave vers l'insuffisance rénale chronique ;
- d'une association silicose et polyarthrite rhumatoïde (syndrome de Caplan-Colinet [30]) ; on retrouve, chez des sujets exposés à la silice, une prévalence accrue de facteurs rhumatoïdes et d'anticorps antinucléaires ;
- d'une association silicose et sclérodémie généralisée (syndrome d'Erasmus [29, 35]) ;
- plus rarement, de lupus systémique, de connectivité mixte, d'anémie hémolytique auto-immune, de myélome et de gammopathie monoclonale [27],

Certaines de ces affections peuvent être observées avant le développement d'une silicose et régresser alors dans certains cas à l'arrêt de l'exposition à la silice [36].

Effets cancérogènes

[11, 32 à 34]

La silice cristalline joue un rôle certain dans l'apparition de cancers chez l'homme. Les résultats de plusieurs études épidémiologiques montrent de façon cohérente qu'il existe un risque accru de cancer broncho-pulmonaire parmi les sujets silicotiques. Le mécanisme de survenue de cette association n'est pas actuellement élucidé. Le processus de fibrose entraînant une multiplication cellulaire est certainement un élément important dans la genèse de ces tumeurs.

Par contre, en l'absence de silicose, les résultats des études épidémiologiques sont contradictoires. Une augmentation du taux de cancers broncho-pulmonaires a été signalée chez les travailleurs de mines d'or, de carrières et de fonderies, mais ceux-ci étaient aussi exposés à d'autres substances potentiellement cancérigènes.

En 1996, la silice cristalline inhalée sous forme de quartz ou de cristobalite de source professionnelle a été classée comme cancérigène pour l'homme (Groupe 1) par le CIRC [11].

Réglementation

Rappel : La réglementation citée est celle en vigueur à la date d'édition de cette fiche : **1997**

Les textes cités se rapportent essentiellement à la prévention du risque en milieu professionnel et sont issus du Code du travail et du Code de la sécurité sociale. Les rubriques "Protection de la population", "Protection de l'environnement" et "Transport" ne sont que très partiellement renseignées.

Sécurité et santé au travail

Mesures de prévention des risques chimiques (agents chimiques dangereux)

- Articles R. 4412-1 à R. 4412-57 du Code du travail.
- Circulaire DRT n° 12 du 24 mai 2006 (non parue au JO).

Aération et assainissement des locaux

- Articles R. 4222-1 à R. 4222-26 du Code du travail.
- Circulaire du ministère du Travail du 9 mai 1985 (non parue au JO).
- Arrêtés des 8 et 9 octobre 1987 (JO du 22 octobre 1987) et du 24 décembre 1993 (JO du 29 décembre 1993) relatifs aux contrôles des installations.

Valeurs limites d'exposition professionnelle (Françaises)

- Article R. 4412-149 du Code du travail.
- Articles R. 4412-154 à R. 4412-155 du Code du travail (mélanges de poussières de silice et d'autres natures).

Maladies à caractère professionnel

- Articles L. 461-6 et D. 461-1 et annexe du Code de la sécurité sociale : déclaration médicale de ces affections.

Maladies professionnelles

- Article L. 461-4 du Code de la sécurité sociale : déclaration obligatoire d'emploi à la Caisse primaire d'assurance maladie et à l'inspection du travail ; tableau n° 25.

Surveillance médicale renforcée

- Article R. 4624-18 du Code du travail (modifié par les décrets n° 2012-135 du 30 janvier 2012 et n° 2014-798 du 11 juillet 2014).

Travaux interdits

- Jeunes travailleurs de moins de 18 ans : article D. 4153-17 du Code du travail. Des dérogations sont possibles sous conditions : articles R. 4153-38 à R. 4153-49 du Code du travail.

Entreprises extérieures

- Article R. 4512-7 du Code du travail et arrêté du 19 mars 1993 (JO du 27 mars 1993) fixant la liste des travaux dangereux pour lesquels il est établi par écrit un plan de prévention.

Classification et étiquetage

a) **substance** silice cristalline

Le règlement CLP (règlement (CE) n° 1272/2008 du Parlement européen et du Conseil du 16 décembre 2008 (JOUE L 353 du 31 décembre 2008)) introduit dans l'Union européenne le système général harmonisé de classification et d'étiquetage ou SGH. Le phtalate de diisononyl n'est pas inscrit à l'annexe VI du règlement CLP et ne possède pas d'étiquetages officiels harmonisés au niveau de l'Union européenne.

Cependant, certains fournisseurs proposent l'auto-classification suivante :

- pour les formes Quartz et Cristobalite :
 - Toxicité spécifique pour certains organes cibles – Exposition répétée, catégorie 1 ; H372
- pour la forme Tridymite :
 - Toxicité spécifique pour certains organes cibles (poumons) – Exposition répétée (inhalation), catégorie 2 ; H373

Pour plus d'informations, se reporter au site de l'ECHA (<http://echa.europa.eu/web/guest/information-on-chemicals/cl-inventory-database>)

b) des **mélanges** contenant de la silice cristalline :

- arrêté du 21 février 1990 modifié du 24 mars 1990,
- arrêté du 14 janvier 1987 du 22 janvier 1987 relatif à l'information des utilisateurs d'abrasifs destinés aux opérations de décapage, de dépolissage ou de dessablage au jet, contenant plus de 5 % en poids de silice libre.

Mesures particulières de prévention

- Décret du 10 avril 1997 (J.O. du 12 avril 1997) relatif à la protection de certains travailleurs exposés aux poussières siliceuses : valeurs limites d'exposition, surveillance médicale.
- Arrêté du 10 avril 1997 (J.O. du 12 avril 1997) relatif au contrôle de l'exposition aux poussières de silice cristalline.
- Arrêté portant agrément d'organismes habilités à procéder à des contrôles d'empoussièrément.
- Décret du 6 juin 1969 (J.O. du 11 juin 1969) et circulaire T.E. du 8 mars 1972 (non parue au J.O.) concernant les mesures particulières de protection applicables aux travaux de décapage, de dépolissage ou de dessablage au jet.

Hygiène et sécurité du travail dans les mines et carrières

Se reporter notamment aux textes suivants :

- Décret du 7 mai 1980 modifié (J.O. du 10 mai 1980) instituant le Règlement général des industries extractives, complété par le décret du 2 septembre 1994 (J.O. du 8 septembre 1994) relatif à l'empoussièrément.
- Arrêtés du 11 juillet 1995 (J.O. du 1^{er} août 1995) relatifs à la valeur du coefficient K de nocivité des poussières et aux appareils de prélèvement des poussières.
- Décret du 24 décembre 1954 modifié (J.O. du 28 décembre 1954 et du 18 mars 1955), arrêté du 30 novembre 1956 (J.O. du 11 décembre 1956) et arrêtés du 18 mars 1958 (J.O. du 26 mars 1958) : prévention médicale de la silicose.

Protection de la population

- Article L. 1342-2, articles R. 5132-43 à R. 5132-73 et articles R. 1342-1 à 1342-12 du Code de la santé publique :
 - détention dans des conditions déterminées (art. R 5132-66) ;
 - étiquetage (cf. § Classif. & étiquetage) ;
 - cession réglementée (art. R 5132-58 et 5132-59).

Protection de l'environnement

Les installations ayant des activités, ou utilisant des substances, présentant un risque pour l'environnement peuvent être soumises au régime ICPE.

Pour savoir si une installation est concernée, se référer à la nomenclature ICPE en vigueur ; le ministère chargé de l'environnement édite une brochure

téléchargeable et mise à jour à chaque modification (www.installationsclassées.developpement-durable.gouv.fr/La-nomenclature-des-installations.html).

Pour plus d'information, consulter le ministère ou ses services (DREAL (Directions Régionales de l'Environnement, de l'Aménagement et du Logement) ou les CCI (Chambres de Commerce et d'Industrie)).

Transport

Se reporter entre autre à l'Accord européen relatif au transport international des marchandises dangereuses par route (dit "Accord ADR") en vigueur au 1er janvier 2011 (www.developpement-durable.gouv.fr-Transport-des-marchandises.html).

Pour plus d'information, consulter les services du ministère chargé du transport.

Recommandations

Chaque fois que l'usage et le procédé le permettent, il est souhaitable d'utiliser des produits de substitution reconnus moins dangereux après évaluation des risques encourus : par exemple, les meules en carborundum, en corindon ou en matière plastique pour remplacer les meules en grès, la grenaille d'acier ou d'autres produits sans silice pour le dessablage... Quand l'utilisation de produits générant une exposition à la silice cristalline reste inévitable, des mesures sévères de prévention et de protection adaptées aux risques s'imposent, en particulier celles prévues par les textes réglementaires.

Les dispositions réglementaires peuvent être différentes selon le régime considéré. Seules les recommandations essentielles dans les établissements relevant de l'article L. 231-1 du Code du Travail sont rappelées ci-dessous.

Au point de vue technique

Stockage

- Procéder à une évaluation des risques portant notamment sur le procédé mis en œuvre, les niveaux d'exposition collective et individuelle et les méthodes envisagées pour les réduire.
- Instruire le personnel du risque silicotique auquel il est exposé et des moyens mis en œuvre pour l'éviter.
- Effectuer en appareil clos et étanche toute opération industrielle qui s'y prête. Lorsqu'on ne pourra travailler dans ces conditions, utiliser autant que possible des méthodes de travail non génératrices de poussières (humidification des procédés). Enfin, si cela est impossible, effectuer les travaux dans des locaux séparés des autres ateliers et équiper les postes de travail d'un dispositif d'aspiration des poussières à leur source d'émission.
- Vérifier régulièrement les installations et les appareils de protection collective pour les maintenir en parfait état de fonctionnement.
- Lorsque les conditions de travail le nécessitent, mettre à la disposition du personnel des équipements de protection individuelle : vêtements, lunettes, capuches, appareils de protection respiratoire adaptés aux risques. En dehors des périodes de travail, ces équipements seront entreposés dans un local particulier sec et propre (exempt de poussières) ; ils seront maintenus en bon état de fonctionnement et désinfectés avant d'être attribués à un nouveau titulaire.
- Contrôler régulièrement l'empoussièrément de l'atmosphère : il est recommandé d'effectuer des contrôles au moins une fois par trimestre et chaque fois qu'un changement notable est apporté aux installations ou aux procédés de travail.
- Maintenir les locaux et postes de travail en parfait état de propreté ; le nettoyage sera effectué si possible en dehors des heures de travail, soit par lavage, soit par aspiration mécanique, par du personnel muni d'un équipement de protection individuelle.
- Le décret du 6 juin 1969 prescrit des mesures particulières pour les travaux de décapage, de dépolissage et de dessablage au jet :
 - sauf impossibilité technique, les travaux doivent être effectués en appareil clos étanche ou en cabine, maintenu en légère dépression pour ne pas polluer l'environnement ;

- en dehors des travaux exécutés à l'air libre par projection conjointe d'abrasif et d'eau (ravalement de façades), l'abrasif utilisé pour les travaux en cabine ou à l'air libre ne doit pas contenir plus de 5 % en poids de silice libre. Pour ces travaux, un équipement de protection individuelle complet, comprenant notamment une cagoule alimentée en air pur et tempéré à raison de 165 l au minimum par minute, est indispensable.

Au point de vue médical

- Aucun salarié ne doit être affecté aux travaux exposés, ni occupé de façon habituelle dans les locaux ou chantiers où s'effectuent ces travaux, sans une attestation du médecin du travail estimant qu'il est apte à les accomplir.
- L'examen d'aptitude doit permettre de ne pas exposer des personnes prédisposées au risque silicotique, à savoir ceux présentant des lésions pulmonaires chroniques ou des séquelles d'affections pulmonaires, en particulier tuberculeuses, des lésions organiques ou fonctionnelles susceptibles d'augmenter la ventilation pulmonaire ou d'altérer la perméabilité des voies aériennes supérieures. Ne peuvent être reconnus aptes que les travailleurs présentant l'intégrité de leurs appareils respiratoires et cardiovasculaires,
- Avant l'admission, le médecin réalisera un interrogatoire sur les antécédents du sujet, l'existence de signes fonctionnels et un examen clinique complet. Un examen radiographique des poumons doit être effectué. Afin notamment de posséder un élément de référence, il est souhaitable de réaliser une exploration fonctionnelle respiratoire.
- Ultérieurement, l'attestation d'aptitude devra être renouvelée 6 mois après la visite d'admission puis ensuite une fois par an. En plus des examens clinique et radiographique, il est recommandé de réaliser une épreuve fonctionnelle respiratoire avec étude de la boucle débit-volume. Les résultats de ces examens seront consignés dans le dossier médical et un registre spécial.
- En cas d'inhalation massive de poussière de silice, évacuer la victime de la zone polluée. En cas de gêne respiratoire, la transférer en milieu hospitalier, pour surveillance et traitement symptomatique.
- En cas de projection oculaire, laver à grande eau afin d'éliminer toutes les poussières. Si une gêne persiste, consulter un spécialiste.

Bibliographie

- 1 | Lauwerys R. - Les poussières. Toxicologie industrielle et intoxications professionnelles. Paris, Masson, 1990, pp. 446-493.
- 2 | Pascal P. - Nouveau traité de chimie minérale. « Silicium », tome VIII, 2^e fascicule. Paris, Masson, 1965, pp. 2-90 et 423-445.
- 3 | Kirk-Othmer - Encyclopedia of chemical technology, 3^e éd., vol. 20. New York, John Wiley and sons, pp. 748-766 et 818-825.
- 4 | VLE/VME - Valeurs admises pour les concentrations de certaines substances dangereuses dans l'atmosphère des lieux de travail. Paris, Ministère du travail/INRS, 1985, pp. 173-177.
- 5 | NF X 43-276 - Qualité de l'air. Air des lieux de travail. Définition des fractions de taille pour le mesurage des particules en suspension dans l'air. Paris-La Défense, AFNOR, 1993.
- 6 | NF X 43 259 - Qualité de l'air. Air des lieux de travail. Prélèvement individuel ou à poste fixe de la traction alvéolaire de la pollution particulaire. Méthode de séparation par cyclone 10 mm. Paris-La Défense, AFNOR, 1990.
- 7 | NF X 43-262 - Qualité de l'air. Air des lieux de travail. Détermination gravimétrique du dépôt particulaire de la pollution particulaire. Méthode de la coupelle rotative. Paris-La Défense, AFNOR, 1990.
- 8 | NF X 43-295 - Qualité de l'air. Air des lieux de travail. Détermination par rayons X de la concentration de dépôt alvéolaire de silice cristalline. Echantillonnage par dispositif à coupelle rotative. Paris-La Défense, AFNOR, 1995.
- 9 | NF X 43-296 - Qualité de l'air. Air des lieux de travail. Détermination par rayons X de la fraction conventionnelle alvéolaire de silice cristalline. Echantillonnage sur membrane filtrante. Paris-La Défense, AFNOR, 1995.
- 10 | Pickard K.J., Walker R.F., West N.G. - A comparison of X-ray diffraction and infra-red spectrophotometric methods for the analysis of alpha-quartz in airborne dusts. *Annals of Occupational Hygiene*, 1985, 29, 2, pp. 149-167.
- 11 | Iarc - Monographs on the evaluation of the carcinogenic risk of chemicals to humans. Silica, some silicates, coal dust and para-aramid fibrils. Lyon, Centre international de recherche sur le cancer, 1997, vol. 68, pp. 149-242.
- 12 | WILLIAMS A.O., KNAPTON A.D., SAFFIOTTI U. - Growth factors and gene expression in silica-induced fibrogenesis and carcinogenesis. *Applied Occupational and Environmental Hygiene*, 1995, 10, 12, pp. 1089-1098.
- 13 | Muhle H. et coll. - Neoplastic lung lesions in rats after chronic exposure to crystalline silica. *Scandinavian Journal of Work, Environment and Health*, 1995, 21, suppl. 2, pp. 27-29.
- 14 | Schultz C.O. - Crystalline silica. *Patly's industrial hygiene and toxicology*, 4^e éd., vol. IIA, New-York, Wiley Interscience, pp. 843-847.
- 15 | warheit D.B., McHugh T.A., Hartsy M.A. - Differential pulmonary responses in rats inhaling crystalline, colloidal or amorphous silica dusts. *Scandinavian Journal of Work, Environment and Health*, 1995, 21, suppl. 2, pp. 19-21.
- 16 | Shoemaker D.A. et coll. - Particle activity and in vivo pulmonary response to freshly milled and aged alpha-quartz. *Scandinavian Journal of Work, Environment and Health*, 1995, 21, suppl. 2, pp. 15-18.
- 17 | WILSON T. et coll. - Comparative pathological aspects of chronic olivine and silica inhalation in mice. *Environmental Research*, 1986, 39, pp. 331-344.
- 18 | Holland L.M. - Animal studies of crystalline silica : results and uncertainties. *Applied Occupational and Environmental Hygiene*, 1995, 10, 12, pp. 1099-1103.
- 19 | Hanothiaux M.H. et coll. - An attempt to evaluate lung aggression in monkey silicosis : hydrolases, peroxydase and anti proteases activities in serial bronchoalveolar lavages. *European Respiratory Journal*, 1991, 4, pp. 191-204.
- 20 | Driscoll K.E. - The toxicology of crystalline silica studied in vitro. *Applied Occupational and Environmental Hygiene*, 1995, 10, 12, pp. 1118-1125.
- 21 | Nagalakshmi R. et coll. - Silica-induced micronuclei and chromosomal aberrations in Chinese hamster lung (V79) and human lung (HeL 299) cells. *Mutation Research*, 1995, 335, 1, pp. 27-33.
- 22 | PAIRON J.C. et coll. - Silica and lung cancer : a controversial issue. *European Respiratory Journal*, 1991, 4, pp. 730-744.
- 23 | Mao Y. et coll. - Protective effects of silanol group binding agents on quartz toxicity to rat lung alveolar cells. *Applied Occupational and Environmental Hygiene*, 1995, 10, 12, pp. 1132-1137.

- 24 | WILLIAMS A.O., SAFFIOTTI U. - Transforming growth factor 131, ras and p53 in silica-induced fibrogenesis and carcinogenesis. *Scandinavian Journal of Work, Environment and Health*, 1995, 21 suppl. 2, pp. 30-34.
- 25 | LAKOWICZ J.R., BEVAN D.R. - Benzo(a)pyrene uptake into rat liver microsomes : effects of adsorption of benzo(a)pyrene to asbestos and non-fibrous mineral particulates. *Chemico-Biological Interactions*, 1980, 29, 2, pp. 129-138.
- 26 | Balmes J. - Silica exposure and tuberculosis. *Journal of Occupational Medicine*, 1990, 32, 2, pp. 114-115.
- 27 | Choudat D., Brochard P. - Maladies respiratoires professionnelles dues aux particules minérales. Encyclopédie médico- chirurgicale, Intoxications- pathologie du travail. Paris, Editions Techniques, 1989, 16519 A 10, pp. 1-11.
- 28 | DraCON M. et coll. - Glomérulonéphrites rapidement progressives chez les mineurs de charbon pneumoconiotiques. *Néphrologie*, 1990, 11,2, pp. 61-65.
- 29 | Hausteil U.F. et coll. - Silica-induced scleroderma. *American Academy of Dermatology. Journal* 1990, 22, pp. 444-448.
- 30 | Klockars M. et coll. - Silica exposure and rheumatoid arthritis : a follow-up study of granite workers 1940-81. *British Medical Journal*, 1987, 294, pp. 997-1000.
- 31 | Landrigan P.J. et coll. - Silicosis in a grey iron foundry. *Scandinavian Journal of Work, Environment and Health*, 1986, 12, pp. 32-39.
- 32 | Merlo F. et coll. - Mortality from specific causes among silicotic subjects : a historical prospective study. Occupational Exposure to silica and cancer risk. Lyon, CIRC, Scientific Publication n° 97, 1990.
- 33 | Mur J.M. - Epidemiology of respiratory hazards : recent advances. *Revue Epidémiologique et de Santé Publique*, 1992, 40, pp. 27-541
- 34 | Pairon J.C. et coll. - Exposition professionnelle à la silice cristalline e1 cancer bronchopulmonaire. *Archives des Maladies Professionnelles*, 1992, 53, pp 257-274.
- 35 | Amoudru C. - Sclérodémie généralisée et Inhalation de poussières mixtes contenant de la silice libre. Documents pour le Médecin du Travail, 1991, 46, pp. 101-106.
- 36 | Kdeger A.C. - Responsabilité de l'exposition à la silice dans les connectivités. *La Presse Médicale*, 1994, 23, 1, pp. 11-14.
- 37 | Goldsmith J.R., Goldsmith D.F. - Fiberglass or silica exposure and increased nephritis or ERSD (end-stage renal disease). *American Journal of Industrial Medicine*, 1993, 23, pp. 873-881.
- 38 | Steeland K., Goldsmith D.F. - Silica exposure and autoimmune diseases. *American Journal of Industrial Medicine*, 1995, 28, pp. 603-608.

Auteurs

M. T. Brondeau, T. Clavel, M. Falcy, A. Hesbert, D. Jargot, M. Reynier, O. Schneider.