



COÉLYS
Études et Mesures Hygiène et Environnement

36-38 Avenue Salvador Allende - Parc Mykonos - Bâtiment F - 60 000 BEAUVAIS

☎ : 03 448 448 60 - 📠 : 03 448 448 90

E-mail : coelys@coelys.fr - www.coelys.fr

EVALUATION DE L'EXPOSITION AUX COMPOSES CHIMIQUES DANS L'AIR DES LIEUX DE TRAVAIL



Géosciences pour une Terre durable

brgm

Référence du rapport : [REDACTED]

Annule et remplace le rapport [REDACTED]

Prélèvements effectués par : S. Le Gallic (COÉLYS)

Prélèvements demandés par : S. Favereaux (BRGM)

Ce rapport comporte 21 pages hors annexes



ESSAIS

ACCREDITATION

N° 1-5563

PORTEE

DISPONIBLE SUR

WWW.COFRAC.FR



Jean-Daniel Poultier

2018.11.26 11:51:47 +01

La reproduction de ce rapport n'est autorisée que sous sa forme intégrale.

	Rédigé par	Vérifié par	Approuvé par
Date	Novembre 2018		
COÉLYS	S. Le Gallic Technicien Hygiène Environnement	JD. Poultier Technicien Hygiène Environnement	A. Péan Directeur
BRGM	-	S. Favereaux Chef de projet sites et sols pollués	S. Favereaux Chef de projet sites et sols pollués

SOMMAIRE

I. CONCLUSIONS ET SYNTHÈSE	3
I.1. OBJET DE LA DEMANDE – CONCLUSIONS	3
I.2. SYNTHÈSE DES MESURES – RESULTATS – REMARQUES.....	3
I.2.1. Prélèvements et remarques	3
I.2.2. Analyses.....	3
I.2.3. Exploitation des résultats - Incertitudes	3
I.2.4. Concentrations mesurées	4
II. CONTEXTE ET OBJECTIFS	5
III. CADRE REGLEMENTAIRE ET NORMATIF	6
III.1. INTRODUCTION AUX VALEURS LIMITES D’EXPOSITION PROFESSIONNELLE	6
III.2. TEXTES REGLEMENTAIRES ET NORMATIFS	7
IV. METHODE DE PRELEVEMENTS ET D’ANALYSE	8
IV.1. MATERIELS DE PRELEVEMENT ET SUPPORTS UTILISES	8
IV.1.1. Matériels de prélèvements utilisés.....	8
IV.1.2. Supports de prélèvements utilisés et références correspondantes.....	8
IV.1.3. Complément de mesure au PID.....	9
IV.2. METHODES ET PRINCIPES DE PRELEVEMENTS	10
Méthanol	10
Screening COV	10
V. DESCRIPTION DES MESURES REALISEES	11
V.1. AGENTS CHIMIQUES EXPOSES ET VALEURS LIMITES D’EXPOSITIONS ASSOCIEES	11
V.2. DESCRIPTION DES MESURES REALISEES.....	11
VI. METHODE D’EXPLOITATION ET D’INTERPRETATION DES RESULTATS	12
VI.1. CALCUL DES CONCENTRATIONS D’EXPOSITION.....	12
VI.1.1. Cas n°1 : Période de mesurage = 8 heures.....	12
VI.1.2. Cas n°2 : Période de mesurage ≤ Période d’exposition.....	12
VI.1.3. Cas n°3 : Période d’exposition ≤ Période de mesurage.....	13
VI.2. CAS PARTICULIERS D’UNE COMPARAISON A UNE VLEP COURT TERME »	13
VI.3. INDICE D’EXPOSITION	13
VI.4. REGLE D’ADDITIVITE POUR LES MELANGES DE POUSSIERES.....	14
VI.5. INDICE D’EXPOSITION CUMULE POUR LES AUTRES AGENTS CHIMIQUES	14
VI.6. CONFORMITE PAR RAPPORT AUX VLEP	14
VI.6.1. Généralités	14
VI.6.2. Prise en compte des Équipements de Protections Collectives (EPC).....	15
VI.6.3. Prise en compte des Équipements de Protections Individuelles (EPI)	15
VI.7. CALCUL DE L’INCERTITUDE SUR LE VOLUME PRELEVE	16
VI.7.1. Calcul de l’incertitude sur les débits mesurés $u(D)$	16
VI.7.2. Calcul de l’incertitude sur le temps de prélèvement $UTps$	17
VI.7.3. Calcul de l’incertitude sur le volume prélevé $u(V)$	17
VII. CONFORMITE ET FICHES DE SYNTHÈSE JOURNALIERE	18
VII.1. CONFORMITES ET NON-CONFORMITES	18
VII.2. ECARTS AUX NORMES, A LA REGLEMENTATION ET AUX DUREES DE PRELEVEMENT	18
VII.2.1. Ecart normatifs et réglementaires	18
VII.2.2. Durée de prélèvement	18
VII.3. FICHES DE SYNTHÈSE DU 17/10/2018	19
VII.4. RESULTATS DETAILLES DES MESURES	20
VII.4.1. Mesures VLEP 8h.....	20
VII.4.2. Mesures VLEP CT.....	20
LISTES DES TABLEAUX ET PHOTOS	21
LISTE DES ANNEXES	21

I. CONCLUSIONS ET SYNTHÈSE

I.1. Objet de la demande – Conclusions

Cette campagne de mesures effectuée sur [REDACTED] a été réalisée le 17 Octobre 2018 et a pour but le contrôle non réglementaire de l'exposition des travailleurs aux agents chimiques, lors des opérations d'échantillonnage des sols.

Conformément à la demande de la société BRGM, une estimation du niveau d'exposition est réalisée.

Ce suivi est réalisé dans le cadre d'un essai collaboratif d'échantillonnage piloté par le BRGM pour le compte du Ministère de la Transition Écologique et Solidaire (MTES).

La mesure de méthanol sur la durée du poste de travail nous montre une concentration inférieure à 10% de la VLEP.

La mesure de méthanol en court terme nous montre une concentration inférieure à 10% de la VLEP.

Le screening COV nous montre quelques composés présents mais tous restent inférieurs aux 10% de leurs VLEP respectives.

La mesure au PID nous montre un pic à 10h49 à 3,2 ppm de COV en équivalent isobutylène.

I.2. Synthèse des mesures – Résultats – Remarques

I.2.1. Prélèvements et remarques

Les différents prélèvements de substances chimiques ont été réalisés au cours des opérations (fabrications, préparation, manipulations, conditionnement, ...) émettrices et donc exposant le personnel.

I.2.2. Analyses

Les analyses sont sous-traitées au laboratoire accrédité Toxilabo.

Les méthodes sont décrites au chapitre IV.2.

Les normes analytiques sont décrites au chapitre IV.1.2.

Les rapports d'analyses du laboratoire sont présentés en  **Annexe I**.

I.2.3. Exploitation des résultats - Incertitudes

Seuls les prélèvements de type individuels (sur opérateurs) peuvent être comparés aux VLEP. Les prélèvements à poste fixe ne sont pas comparés aux VLEP.

Les incertitudes associées aux résultats ne sont pas prises en compte pour l'interprétation / les conclusions des résultats.

Les incertitudes sont données pour K=2 (incertitudes élargies).

1.2.4. Concentrations mesurées

Les agents chimiques dans les tableaux à suivre précédés du logo © sont couverts par l'accréditation pour le prélèvement et pour l'analyse.

Les agents chimiques dans les tableaux à suivre précédés du logo ☒ sont couverts par l'accréditation pour le prélèvement.

Les agents chimiques dans les tableaux à suivre précédés du logo ☑ sont couverts par l'accréditation pour l'analyse.

Groupe d'Exposition Homogène	Substance recherchée	Concentration avec pondération sur 8h (mg/m ³)	VLEP 8h (mg/m ³)	Indice d'exposition en pourcentage par rapport à la VLEP 8h sans prise en compte des EPI
Ingénieur - Échantillonneur	© Méthanol	< 1,87 ± 0,41	260	< 0,7
	Isopropanol	< 0,0823 ± 0,0249	/	
	Acétone	< 0,0617 ± 0,0167	1 210	< 0,1
	n-Pentane	< 0,0515 ± 0,0125	3 000	< 0,1
	☑ Tétrachloroéthylène	0,222 ± 0,050	138	0,2
	☑ Trichloroéthylène	< 0,0515 ± 0,0115	405	< 0,1

Tableau 1 : Synthèse des résultats et du respect des VLEP 8h

Groupe d'Exposition Homogène	Substance recherchée	Concentration avec pondération sur 8h (mg/m ³)	VLEP CT (mg/m ³)	Indice d'exposition en pourcentage par rapport à la VLEP CT sans prise en compte des EPI
Ingénieur - Échantillonneur	© Méthanol	< 19,8 ± 4,3	1 300	< 1,5

Tableau 2 : Synthèse des résultats et du respect des VLEP CT

XXX	Indice d'exposition < à 10%
XXX	10% < Indice d'exposition < 100%
XXX	Indice d'exposition > à 100%

Tableau 3 : Légende de respect des VLEP réglementaires

II. CONTEXTE ET OBJECTIFS

La société BRGM a missionné le bureau d'étude COÉLYS pour la réalisation de mesures d'exposition professionnelle dans l'air des lieux de travail sur un site d'étude situé à [REDACTED]

Cette campagne de prélèvement est réalisée dans le cadre d'un contrôle non réglementaire. Conformément à la demande de la société BRGM, une estimation du niveau d'exposition est réalisée.

III. CADRE REGLEMENTAIRE ET NORMATIF

III.1. Introduction aux Valeurs Limites d'Exposition Professionnelle

Une Valeur Limite d'Exposition Professionnelle (VLEP) se définit par l'article R.4412-4 du Code du Travail comme étant :

« La limite de la moyenne pondérée en fonction du temps de la concentration d'un agent chimique dangereux dans l'air de la zone de respiration d'un travailleur au cours d'une période de référence déterminée. »

Il existe deux types de VLEP :

- La VLEP court terme (VLEP-CT) : Elle représente le risque toxique immédiat ou à court terme. C'est une valeur mesurée sur une durée invariable de 15 minutes,
- La VLEP-8h : Elle est mesurée ou estimée sur la durée d'un poste de travail de 8 heures. Cette valeur vise à protéger les travailleurs des effets à moyen et long terme. La VLEP-8h peut être dépassée sur de courtes périodes, à condition de ne pas dépasser la VLEP-CT (si elle existe). En revanche elle ne tient pas compte des risques d'allergies propres à chaque individu, ainsi que des risques liés aux mélanges de produits (synergies). Le respect de cette valeur limite ne garantit donc pas l'absence totale de risques pour la santé.


Ces valeurs limites **sont révisées périodiquement** en fonction de l'état des connaissances.

Ces VLEP peuvent être réglementaires ou non réglementaires :

- Les VLEP réglementaires sont fixées par la réglementation en vigueur. Elles imposent un suivi annuel du respect de la VLEP selon la méthodologie définie dans le décret du 15 décembre 2009,
- Les VLEP non réglementaires n'imposent pas de mesurages particuliers.

Ces VLEP constituent des objectifs de prévention et d'aide à l'évaluation des risques prescrits par les textes en matière d'exposition aux agents chimiques.

La circulaire de la DGT (Direction Générale du Travail) 2010/03 du 13 avril 2010 reprend la méthodologie relative au contrôle du risque chimique sur les lieux de travail (prélèvements et analyses).

La procédure fixée dans le décret du 15 décembre 2009 est synthétisée dans le synoptique présenté en  **Annexe II**. Elle prévoit une visite préalable, la constitution de Groupe d'Exposition Homogène (GEH) et un minimum de 3 mesures par GEH (campagne renouvelable deux fois en cas de dépassement de 10% de la VLEP) pour :

- Les composés avec VLEP réglementaires et risque non faible (selon analyse des risques du site),
- Les composés CMR (Cancérogènes, Mutagènes et toxiques pour la Reproduction) 1a et 1b avec VLEP réglementaire dans tous les cas et quel que soit les résultats de l'analyse de risque du site.

Remarque :

- *Le point 2.2.3 de la directive de la DGT spécifie qu'en cas de dépassement d'une VLEP contraignante d'un CMR de catégorie 1a et 1b, 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,*
- *Le point 4.3.1 de la directive de la DGT précise que si l'un des résultats d'une des mesures (sur 3 prélèvements au même poste) est supérieur à 10% de la VLEP-8h, deux campagnes de mesures supplémentaires doivent être réalisées dans l'année.*

III.2. Textes réglementaires et normatifs

La définition et la détermination des Valeurs Limites d'Exposition sont contenues dans les textes réglementaires.

Les principes et références analytiques ont été réalisés conformément aux normes en vigueur.

Les principaux textes réglementaires et normes applicables sont présentés en [📁 Annexe II](#).

IV. METHODE DE PRELEVEMENTS ET D'ANALYSE

IV.1. Matériels de prélèvement et supports utilisés

IV.1.1. Matériels de prélèvements utilisés

Les matériels suivants ont été utilisés :

- Des pompes autonomes portables à régulation électronique,
- Des supports adaptés aux paramètres à analyser,
- Un débitmètre Defender utilisé pour le réglage et l'ajustement des débits d'échantillonnage des pompes. Le débit des pompes a été réglé avant chaque prélèvement et contrôlé à l'issue de chacun d'eux, de manière à mesurer la dérive du débit d'aspiration,
- Des sondes de température, pression et humidité.

Les photos ci-après illustrent les matériels utilisés :



Pompe Gilair +



Débitmètre

Photos 1 et 2 : Pompes de prélèvements et débitmètre utilisés

Les différents supports utilisés sont détaillés au chapitre à suivre.

Les références des matériels mis en œuvre sont présentées dans les fiches de synthèse au chapitre VII.

IV.1.2. Supports de prélèvements utilisés et références correspondantes

Les types de support utilisés selon les paramètres à analyser sont présentés dans le tableau ci-après :

Paramètre à analyser	Support adapté	Norme de prélèvement	Norme analytique
Méthanol	Tube Gel de Silice Standard 520/260	NF X43-267 M-26	NF X43-267 M-26
Screening COV	Tube Charbon Actif 400/200	NF X43-267	NF X43-267

Tableau 4 : Supports utilisés lors des prélèvements

IV.1.3. Complément de mesure au PID

En complément des prélèvements actifs sur supports, une mesure au PID sur la durée du poste a été réalisée. Une illustration de ce matériel est insérée ci-après :

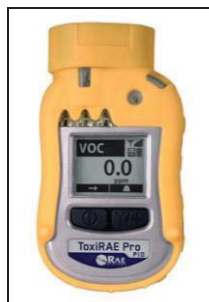


Photo 3 : ToxiRAE Pro PID

Les principales caractéristiques de cet appareil sont les suivantes :

Appareil	ToxiRAE Pro PID
Marque	RAE
Type de lampe	10,6 eV
Gaz d'étalonnage	Isobutylène

IV.2. Méthodes et principes de prélèvements

Type de prélèvement	Méthode de prélèvement	Principe de prélèvement	Débit	Conservation et envoi en analyse	Principe analytique	Norme analytique	Limite de quantification
Méthanol	Aspirés à travers un support contenant un ou plusieurs lits d'adsorbant. Selon les composés recherchés, l'adsorbant peut-être imprégné d'un agent dérivatisant.	Le Méthanol est piégé sur tube gel de silice 520/260 La pompe de prélèvement est reliée à un flexible inerte de façon à ce qu'il n'y ait pas de fuite. L'autre extrémité du flexible est reliée au support de prélèvement (cartouche adsorbante) ouvert dans le bon sens de circulation du gaz. Le support est placé à l'entrée des voies respiratoires du sujet. Afin d'éviter toute migration du méthanol dans le support de prélèvement, la durée maximale d'échantillonnage est fixée à 2 heures par tube.	Réglage à 0,05 l/min à 20% près	Selon les conditions préconisées par le laboratoire et normes en vigueur. Au frais, à l'abri de l'humidité et de la lumière. Envoyé pour analyses dans ces mêmes conditions.	L'analyse du méthanol est réalisée par chromatographie gazeuse couplée à un détecteur à ionisation de flamme – Headspace ou Headspace-GC/FID (Headspace Gas Chromatography Flame Ionization Detector)	NF X43-267 / M-26	15 µg
Screening COV	Aspirés à travers un support contenant un ou plusieurs lits d'adsorbant. Selon les composés recherchés, l'adsorbant peut-être imprégné d'un agent dérivatisant.	Le Screening COV est réalisé sur tube charbon actif 400/200 La pompe de prélèvement est reliée à un flexible inerte de façon à ce qu'il n'y ait pas de fuite. L'autre extrémité du flexible est reliée au support de prélèvement (cartouche adsorbante) ouvert dans le bon sens de circulation du gaz. Le support est placé à l'entrée des voies respiratoires du sujet.	Réglage à 0,2 l/min à 20% près	Selon les conditions préconisées par le laboratoire et normes en vigueur. Au frais, à l'abri de l'humidité et de la lumière. Envoyé pour analyses dans ces mêmes conditions.	Le Screening COV est réalisé par chromatographie gazeuse couplée à un spectromètre de masse ou GC/MS (Gas Chromatography Mass Spectrometry)	NF X43-267 et méthode associée : Isopropanol : M-24 Acétone : M-37 n-Pentane : Méthode interne TM/MET/4014 Perchloroéthylène : M-406 Trichloroéthylène : M-412	Isopropanol : 8 µg Acétone : 6 µg n-Pentane : 5 µg Perchloroéthylène : 6 µg Trichloroéthylène : 5 µg

Tableau 5 : Méthodes et principes de prélèvement utilisés mis en œuvre lors des prélèvements

V. DESCRIPTION DES MESURES REALISEES

V.1. Agents chimiques exposés et Valeurs Limites d'Expositions associées

Les agents chimiques recherchés et leurs Valeurs Limites d'Expositions Professionnelles sont présentés dans le tableau suivant :

Paramètre	Numéro CAS	VLEP-8h (mg/m ³)	VLEP-CT (mg/m ³)	VLEP réglementaire
Méthanol	67-56-1	260	1 300	Oui (VLEP-8h)
Isopropanol	67-63-0	/	980	Non
Acétone	67-64-1	1 210	2 420	Oui
n-Pentane	109-66-0	3 000	/	Oui
Tétrachloroéthylène	127-18-4	138	275	Oui
Trichloroéthylène	79-01-6	405	1 080	Non

Tableau 6 : Synthèse des VLEP-8h et VLEP-CT des paramètres contrôlés

V.2. Description des mesures réalisées

Les mesures d'exposition des travailleurs de la société BRGM à [REDACTED] ne répondent pas aux exigences réglementaires.

Les programmes de mesures ainsi que les opérateurs et postes concernés sont rassemblés dans les tableaux ci-dessous. Les suivis de tâches sont insérés en [Annexe III](#).

Date	Groupe d'Exposition Homogène	Opérateur	Lieu	Tâche / Opération	Substance recherchée
18/10/2017	Ingénieur échantillonneur	Maxime Antier (RAMBOLL)	Chantier de forage au niveau de la foreuse	Échantillonnage solide comprenant remplissage flacon et sacs, sniffing PID et utilisation de kit méthanol	Méthanol 8h Screening COV
				2 séries d'échantillonnages effectuées	Méthanol CT

Tableau 7 : Programme de mesures

Les prélèvements ont été réalisés sur la durée d'une ou plusieurs opérations. Les résultats obtenus ont été comparés à la VLEP-8h et à la VLEP-CT lorsque ces valeurs existent.

VI. METHODE D'EXPLOITATION ET D'INTERPRETATION DES RESULTATS

Pour être comparables aux VLEP françaises, les concentrations calculées pour les prélèvements sont extrapolées à 8 heures. Le temps de travail effectif ou d'exposition est pris en compte.

VI.1. Calcul des concentrations d'exposition

Les résultats fournis par le laboratoire correspondent à la masse de polluants piégée sur le support. Il s'agit donc d'une unité de masse par support.

La concentration d'un produit chimique sur la durée d'échantillonnage (notée Ct), à laquelle la personne est exposée, se calcule à partir de la masse de produit chimique captée sur le support (masse/filtre) et du volume d'air prélevé suivant la formule ci-dessous :

$$Ct = \frac{Mp}{V} \text{ (équation 1)}$$

Où :

- Ct : Concentration calculée sur le temps de prélèvement (mg/m³),
- Mp : Masse du produit chimique mesurée (µg),
- V : Volume prélevé (litre).

La VLEP-8h étant établie sur une base d'une durée d'exposition de 8 heures, la concentration mesurée sur le temps d'exposition effectif (ou sur une période de temps limitée représentative de l'exposition d'une journée) doit être ramenée sur une base de temps de 8h pour pouvoir être comparable à la VLEP-8h.

Plusieurs pondérations sont possibles :

VI.1.1. Cas n°1 : Période de mesurage = 8 heures

Dans le cas d'un prélèvement réalisé sur la totalité de la période d'exposition lorsque celle-ci dure 8 heures, la concentration d'exposition professionnelle ramenée à la période de référence de 8 heures est :

$$CEP_{8h} = Ct \text{ (équation 2)}$$

Où :

- CEP_{8h} : Concentration d'Exposition Professionnelle sur 8h (mg/m³),
- Ct : Concentration calculée (mg/m³).

VI.1.2. Cas n°2 : Période de mesurage ≤ Période d'exposition

Dans le cas d'un prélèvement réalisé au cours ou sur la totalité de la période d'exposition potentielle (exposition constante et de durée connue), la concentration d'exposition professionnelle ramenée à la période de référence de 8 heures est :

$$CEP_{8h} = \frac{Ct \times T_{\text{exp}}}{8} \text{ (équation 3)}$$

Où :

- CEP_{8h} : Concentration d'Exposition Professionnelle sur 8h (mg/m^3),
- C_t : Concentration calculée (mg/m^3),
- T_{exp} : Temps d'exposition effectif.

VI.1.3. Cas n°3 : Période d'exposition \leq Période de mesurage

Dans le cas d'un prélèvement réalisé sur une durée supérieure à la durée d'exposition à l'agent chimique, la concentration d'exposition professionnelle ramenée à la période de référence de 8 heures est :

$$CEP_{8h} = \frac{C_t \times T_{mes}}{8} \text{ (équation 4)}$$

Où :

- CEP_{8h} : Concentration d'Exposition Professionnelle sur 8h (mg/m^3),
- C_t : Concentration calculée (mg/m^3),
- T_{mes} : Temps de mesurage.

Remarque : Les mesures ne doivent en aucun cas être réalisées à cheval sur une phase d'exposition et sur une phase de non exposition.

VI.2. Cas particuliers d'une comparaison à une VLEP court terme »

Conformément aux réglementations en vigueur, pour le contrôle des VLEP court terme (VLEP-CT), les prélèvements ont une durée invariable de quinze minutes et doivent encadrer le pic d'exposition si celui-ci a une durée inférieure ou couvrir le maximum du pic si ce dernier a une durée supérieure.

L'équation 1 s'applique et la concentration d'exposition professionnelle ramenée à la période de référence de 15 minutes est :

$$CEP_{15min} = C_t \text{ (équation 5)}$$

Où :

- CEP_{15min} : Concentration d'Exposition Professionnelle 15 minutes (mg/m^3),
- C_t : Concentration calculée (mg/m^3) à partir de la mesure réalisée sur 15 minutes.

VI.3. Indice d'exposition

Pour comparer la concentration d'exposition professionnelle à la VLEP associée, l'indice d'exposition est calculé selon l'équation suivante :

$$I = \frac{CEP}{VLEP} \times 100 \text{ (équation 6)}$$

Où :

- CEP : Concentration d'exposition professionnelle (mg/m^3),
- $VLEP$: Valeur limite d'exposition professionnelle (mg/m^3),
- I : Indice d'exposition (%).

VI.4. Règle d'additivité pour les mélanges de poussières

D'après l'article R.4412-154 du code du travail, « lorsque l'évaluation des risques met en évidence la présence simultanée de poussières alvéolaires contenant de la silice cristalline et d'autres poussières alvéolaires non silicogènes, la valeur limite d'exposition professionnelle est fixée par la formule suivante » :

$$\left(\frac{C_{ns}}{VLEP8h_{ns}} \right) + \left(\frac{C_q}{VLEP8h_q} \right) + \left(\frac{C_c}{VLEP8h_c} \right) + \left(\frac{C_t}{VLEP8h_t} \right) \leq 1 \quad (\text{équation 7})$$

Dans cette formule :

- C_{ns} représente la concentration en poussières alvéolaires non silicogènes (en mg/m^3), soit : la différence entre la concentration totale des poussières alvéolaires et la somme des concentrations correspondant aux silices cristallines,
- $VLEP8h_{ns}$ (correspondant à V_{ns} à l'article R.4412-154) est la valeur limite d'exposition professionnelle en poussières alvéolaires non silicogènes ($5 \text{ mg}/\text{m}^3$), admise sur 8 heures et telle que définie par l'article R.4222-10 du code du travail,
- C_q est la concentration en quartz en mg/m^3 ,
- $VLEP8h_q$ est la valeur limite d'exposition professionnelle en quartz ($0,1 \text{ mg}/\text{m}^3$), admise sur 8 heures et telle que définie par l'article R.4412-149 du code du travail,
- C_c est la concentration en cristobalite en mg/m^3 ,
- $VLEP8h_c$ est la valeur limite d'exposition professionnelle en cristobalite ($0,05 \text{ mg}/\text{m}^3$), admise sur 8 heures et telle que définie par l'article R.4412-149 du code du travail,
- C_t est la concentration en tridymite en mg/m^3 ,
- $VLEP8h_t$ est la valeur limite d'exposition professionnelle en tridymite ($0,05 \text{ mg}/\text{m}^3$), admise sur 8 heures et telle que définie par l'article R.4412-149 du code du travail.

VI.5. Indice d'exposition cumulé pour les autres agents chimiques

Lorsque la mesure, effectuée simultanément, permet de déterminer l'exposition à plusieurs agents chimiques disposant d'une VLEP, dont les effets sur la santé sont similaires sur les mêmes organes du corps humain, les résultats peuvent être exprimés sous forme d'indice d'exposition cumulé (règle d'additivité).

L'indice d'exposition cumulé (I_{ExpC}), de $i=1$ à n substances, correspond à la somme des concentrations individuelles (C_i) rapportées aux VLEP correspondantes ($VLEP_i$).

$$I_{ExpC} = \sum_{i=1}^n \frac{C_i}{VLEP_i} \quad (\text{équation 8})$$

VI.6. Conformité par rapport aux VLEP

VI.6.1. Généralités

Les résultats sont traités dans le cadre de l'arrêté du 15 décembre 2009 afin d'établir le diagnostic de dépassement ou non de la VLEP ainsi que la marche à suivre pour le suivi de l'exposition des salariés.

Après calcul de l'indice d'exposition (pour chaque ACD associé à chaque GEH) trois cas peuvent se présenter :

- L'indice d'exposition est inférieur à 10% pour toutes les mesures. Dans ce cas le diagnostic de non dépassement de la VLEP est établi,
- L'indice d'exposition est supérieur à 100% pour au moins une mesure. Dans ce cas le diagnostic de dépassement de la VLEP est établi,
- L'indice d'exposition est compris entre 10 et 100% pour au moins une mesure. Dans ce cas le diagnostic de non dépassement de la VLEP ne peut pas être établi, de nouvelles mesures devront être réalisées afin de procéder dans un second temps à l'analyse statistique permettant de statuer sur le dépassement ou non de la VLEP.

VI.6.2. Prise en compte des Équipements de Protections Collectives (EPC)

L'efficacité des systèmes de protections collectives (ventilation notamment) est prise en compte indirectement, puisqu'ils influent sur la concentration en polluants régnant dans les ateliers.

Aucune correction des résultats de mesures n'est réalisée du fait de la présence d'EPC au niveau de zones de mesures.

VI.6.3. Prise en compte des Équipements de Protections Individuelles (EPI)

Conformément aux prescriptions de l'arrêté du 15 décembre 2009 relatif aux contrôles techniques des Valeurs Limites d'Exposition Professionnelles sur les lieux de travail entre autre, les Équipements de Protections Individuelles (EPI) sont pris en compte pour l'évaluation de la conformité par comparaison avec les valeurs limites d'exposition professionnelle.

Remarque : La prise en compte des EPI pour l'interprétation / conclusion sur la conformité et le respect des VLEP ne peut être réalisé que si :

- *L'industriel dispose d'un plan de gestion des EPI mis à notre disposition,*
- *Les utilisateurs ont reçu une formation concernant le port des EPI et les utilisent correctement,*
- *Le port correct des EPI par les opérateurs est vérifié lors de l'intervention de mesurage.*

Lorsque des EPI respiratoires sont utilisés, l'exposition contrôlée est alors celle théoriquement mesurable à l'intérieur de l'EPI. Dans ce cas, la concentration de l'agent chimique est mesurée à l'extérieur de l'EPI par prélèvement individuel (ne prenant en compte que les équipements de protections collectifs) et pondérée du facteur de protection correspondant à l'EPI employé. Dans les tableaux des résultats présentés au chapitre I, figurent les résultats obtenus à l'extérieur de l'EPI respiratoire et le cas échéant les résultats calculés après application du facteur de protection. Ces résultats calculés, prenant en compte les facteurs de protection des EPI, sont ceux utilisés pour établir les diagnostics de respect des VLEP.

Le calcul de l'exposition après correction dû au port d'un EPI est le suivant :

$$m_{\text{exp}} = \frac{\left[(m_{\text{horsEPI}} \times Tps_{\text{sansEPI}}) + \frac{(m_{\text{horsEPI}} \times Tps_{\text{EPI}})}{F_{\text{prot}}} \right]}{Tps_{\text{mesure}}} \quad (\text{équation 9})$$

Où :

- m_{exp} = Masse de l'agent chimique calculé présent dans l'EPI,
- m_{horsEPI} = Masse de l'agent chimique mesuré à l'extérieur de l'EPI dans l'atelier,
- T_{pSansEPI} = Temps d'exposition de l'opérateur sans EPI à l'agent chimique,
- T_{pSEPI} = Temps d'exposition de l'opérateur avec EPI à l'agent chimique,
- F_{prot} = Facteur de protection de l'EPI (FPN).

VI.7. Calcul de l'incertitude sur le volume prélevé

Le calcul de l'incertitude sur le volume prélevé est un critère de conformité important concernant l'essai réalisé.

L'incertitude associée à ce paramètre dépend de deux variables et de ce fait des incertitudes combinées de ces variables.

Elle dépend des incertitudes sur :

- Les débits initiaux et finaux,
- Le temps de prélèvement.

VI.7.1. Calcul de l'incertitude sur les débits mesurés $u(D)$

$$U^2(D) = 2 \times \left[\left(\frac{I_{\text{étD}} \times D}{2} \right)^2 + \left(\frac{D_{\text{érD}} \times D}{\sqrt{3}} \right)^2 + \left(\frac{X_{\text{résD}}}{2 \times \sqrt{3}} \right)^2 + \left(\frac{EMT}{\sqrt{3}} \right)^2 + \sigma D_i^2 + \sigma D_f^2 + u^2_{\text{Pompe}} \right]$$

(équation 10)

Où :

- σD_i : Écart type initial,
- σD_f : Écart type final,
- EMT (ml/min) = 1,0,
- $X_{\text{rés,m}} = 0,1$: Résolution débitmètre (ml/min),
- $I_{\text{étD}}$: Incertitude étalonnage débitmètre (%),
- $D_{\text{ér.D}}$: Dérive débitmètre (%),
- $u^2_{\text{Pompe}} = 2,5\%$ (K=1) : Donnée constructeur.

VI.7.1.a. Calcul des écarts type σD_i et σD_f

$$\sigma D_i = dn \times \frac{D_{i,\text{max}} - D_{i,\text{min}}}{\sqrt{n}} \quad (\text{équation 11})$$

$$\sigma D_f = dn \times \frac{D_{f,\text{max}} - D_{f,\text{min}}}{\sqrt{n}} \quad (\text{équation 12})$$

Où :

- $n = 3$ (car trois prises de débit) et $dn = 0,591$,
- $D_{i,\text{max}}$: Valeur du débit initial maximal,
- $D_{i,\text{min}}$: Valeur du débit initial minimal,

- $D_{f,max}$: Valeur du débit final maximal,
- $D_{f,min}$: Valeur du débit final minimal.

VI.7.2. Calcul de l'incertitude sur le temps de prélèvement UTps

$$U^2(Tps) = \left(\frac{X_{syn,dp}}{2 \times \sqrt{3}} \right)^2 + \left(\frac{X_{rés,D}}{2 \times \sqrt{3}} \right)^2 + \left(\frac{EMT}{\sqrt{3}} \right)^2 + (S_{r,dp})^2 \quad (\text{équation 13})$$

Où :

- $X_{syn,dp} = 2$: Synchronisation départ /arrêt compteur (sec),
- $X_{rés,D} = 1$: Résolution (sec),
- $EMT = 5$: Ecart maximum toléré (sec),
- $S_{r,dp} = 0,5$: Ecart type de répétabilité (sec).

VI.7.3. Calcul de l'incertitude sur le volume prélevé u(V)

$$\frac{U^2(V)}{V^2} = 2 \times \left(\frac{UTps}{Tps} \right)^2 + \frac{U^2(D)}{D^2} \quad (\text{équation 14})$$

Avec :

- $U(D)$: Incertitude sur le débit,
- $UTps$: Incertitude sur le temps de prélèvement.

VII. CONFORMITE ET FICHES DE SYNTHESE JOURNALIERE

Les détails des mesures, les résultats analytiques, les expositions équivalentes sur 8h et / ou à court terme sur 15 minutes et les indices d'exposition sont détaillés dans le chapitre I.

Les résultats analytiques du laboratoire sont présentés en [Annexe I](#).

VII.1. Conformités et non-conformités

Le prélèvement est considéré comme valide uniquement si l'ensemble des critères ci-dessous sont respectés :

- Ecart de débit entre la valeur la plus élevée et la plus basse est $\leq 5\%$ (que ce soit pour les mesures de débit de départ et de fin),
- Incertitude sur le volume mesuré $\leq 10\%$,
- Supports utilisés conformes aux normes en vigueur,
- La quantité de substance présente dans la zone de contrôle (cas des tubes) est inférieure à 5% de celle déterminée dans la première zone ou est inférieure à la LQ,
- Les résultats de dosage pour les blancs de terrain restent inférieurs à la LQ,
- Conditions et délais de stockage et de conservation des supports (avant le prélèvement et avant l'analyse) respectés et conformes,
- Utilisation de matériels conformes (métrologie à jour, flexibles adaptés aux agents chimiques recherchés, etc.),
- Aucune anomalie liée à l'échantillonnage détecté (arrêt d'une pompe, etc.).

Aucune non-conformité n'a été relevée pour cette campagne de mesures.

VII.2. Ecart aux normes, à la réglementation et aux durées de prélèvement

VII.2.1. Ecart normatifs et réglementaires

Aucun écart n'a été relevé pour cette campagne de mesures.

VII.2.2. Durée de prélèvement

Les durées de prélèvement peuvent être différentes de la durée du poste de travail, ces écarts sont répertoriés et justifiés dans le tableau suivant :

GEH / opérateur	Durée du poste	Durée de la mesure	Justification
Ingénieur échantillonneur / Maxime Antier Mesures de méthanol	480 minutes	Tube A : 111 minutes Tube B : 59 minutes Tube C : 110 minutes Totalité : 280	Pour répondre aux normes concernant les mesures de méthanol les prélèvements ne peuvent excéder 120 minutes. L'exposition sur la totalité du poste est ensuite calculée à partir des différents résultats obtenus. L'opérateur n'était pas exposé aux composés recherchés sur la période non prélevée, les résultats obtenus sont donc exploitables
Ingénieur échantillonneur / Maxime Antier Screening COV	480 minutes	305 minutes	L'opérateur n'était pas exposé aux composés recherchés sur la période non prélevée, les résultats obtenus sont donc exploitables

Tableau 8 : Justifications des durées de mesurage

VII.3. Fiches de synthèse du 17/10/2018

Projet : BRGM I.1		Date : mercredi 17 octobre 2018										Préleveur : SLG							
GEH	Lieu / poste	Opérateur ou flux	Type support	Pompe n°	N° support	N° blanc terrain	Pannet(s) mesurés(s)			Q1	Moy	Qf	Moy	Hi	HF	Durée (min)	V(L)	Problème? IC sur le V (%)	Fiche associée (FOR.059)
											ml/min	ml/min	ml/min	ml/min	ml/min				
A	Ingénieur - Échantillonneur	Maxime Antier (RAM BOLL)	Tube Gel de Silice 520/260	PA-GP34	Méthanol MT A 7224400471	Méthanol Bic 7224400448	Méthanol			50,446	50,114	50,114	9,00/00	10:51:00		111	5,57	8,39%	BRGM I.1 - 181017 - SIT Matin 1
					Température (°C) 21,5	Hygrométrie (%rel) 56									2 lignes si pause ou changement de jour				
A	Ingénieur - Échantillonneur	Maxime Antier (RAM BOLL)	Tube Gel de Silice 520/260	PA-GP34	Méthanol MT B 7224400450	Méthanol Bic 7224400448	Méthanol			50,446	50,114	50,114	10:51:00	11:50:00		59	2,96	8,40%	BRGM I.1 - 181017 - SIT Matin 2
					Température (°C) 21,5	Hygrométrie (%rel) 56									2 lignes si pause ou changement de jour				
A	Ingénieur - Échantillonneur	Maxime Antier (RAM BOLL)	Tube Gel de Silice 520/260	PA-GP34	Méthanol MT C 7224400449	Méthanol Bic 7224400448	Méthanol			50,446	50,114	50,114	13:50:00	15:40:00		110	5,52	8,39%	BRGM I.1 - 181017 - SIT Après Midi
					Température (°C) 21,5	Hygrométrie (%rel) 56									2 lignes si pause ou changement de jour				
A	Ingénieur - Échantillonneur	Maxime Antier (RAM BOLL)	Tube Gel de Silice 520/260	PA-GP33	Méthanol CT 7224400642	Méthanol Bic 7224400448	Méthanol			50,361	50,547	50,547	10:30:00	10:45:00		15	0,756	8,39%	BRGM I.1 - 181017 - SIT Court Terme
					Température (°C) 21,5	Hygrométrie (%rel) 56													
A	Ingénieur - Échantillonneur	Maxime Antier (RAM BOLL)	Tube Charbon Actif 400/200	PA-GP30	Screening 7118506573	/	Tétrachloré thylène			200,11	204,6	204,6	8:45:00	11:50:00		305	61,7	5,49%	BRGM I.1 - 181017 - SIT Screening
					Température (°C) 21,5	Hygrométrie (%rel) 56													
A	Ingénieur - Échantillonneur	Maxime Antier (RAM BOLL)	Tube Gel de Silice 520/260	PA-GP34	Méthanol MT A-B-C	Méthanol Bic 7224400448	Méthanol			50,446	50,114	50,114	9:00:00	11:50:00		280	14,1	8,39%	BRGM I.1 - 181017 - SIT Journée
					Température (°C) 21,5	Hygrométrie (%rel) 56													

Norme		Méthode		Gamme de débit (ml/min)		Valide	
NF X43-267 / M-26		GC-FID / HS		40	60	OUI	
NF X43-267 / M-26		GC-FID / HS		40	60	OUI	
NF X43-267 / M-26		GC-FID / HS		40	60	OUI	
NF X43-267 / M-26		GC-FID / HS		40	60	OUI	
NF X43-267		GC-MS		160	1 200	OUI	
NF X43-267 / M-26		GC-FID / HS		40	60	OUI	

MATÉRIEL		Type		Matériau		Type		Matériau	
Débitmètre	BIOS 3	Drycal	Débitmètre BIOS	09/2018	09/2018	08/2019	08/2019	08/2019	08/2019
Pompe	PA-GP34	Giljan	Giljan Plus	08/2019	08/2019	08/2019	08/2019	08/2019	08/2019
	PA-GP34	Giljan	Giljan Plus	08/2019	08/2019	08/2019	08/2019	08/2019	08/2019
	PA-GP33	Giljan	Giljan Plus	08/2019	08/2019	08/2019	08/2019	08/2019	08/2019
	PA-GP34	Giljan	Giljan Plus	08/2019	08/2019	08/2019	08/2019	08/2019	08/2019

Pression (hPa) :		Température (°C) :		Hygrométrie (%) :	
1 019		21,5		55,6	

Tableau 9 : Fiche de synthèse terrain du 17/10/2018

VII.4. Résultats détaillés des mesures

VII.4.1. Mesures VLEP 8h

Date	Groupe d'Exposition Homogène	Opérateur	Lieu	Heure de départ	Heure de fin	Durée de mesure (min)	Substance recherchée	Quantité brute (µg)	Quantité non pondérée (mg/m ³)	Port des EPI, spécificité et Facteur de Protection considéré	Durée d'exposition au produit de l'opérateur (min)	Concentration avec pondération sur 8h (mg/m ³)	VLEP 8h (mg/m ³)
17-oct	A	Maxime Antier (RAMBOLL)	Ingénieur - Échantillonneur	09:00	10:51	111	Méthanol	< 15,0 ± 3,2	< 2,69 ± 0,59	/	111	< 0,623 ± 0,135	260
				10:51	11:50	59	Méthanol	< 15,0 ± 3,2	< 5,06 ± 1,10	/	59	< 0,623 ± 0,135	260
				13:50	15:40	110	Méthanol	< 15,0 ± 3,2	< 2,72 ± 0,59	/	110	< 0,623 ± 0,135	260
				08:45	15:50	305	Isopropanol	< 8,0 ± 2,4	< 0,130 ± 0,039	/	305	< 0,0823 ± 0,0249	/
							Acétone	< 6,0 ± 1,6	< 0,0972 ± 0,0262	/	305	< 0,0617 ± 0,0167	1 210
							n-Pentane	< 5,0 ± 1,2	< 0,0810 ± 0,0197	/	305	< 0,0515 ± 0,0125	3 000
							Tétrahydrocannabinol	< 21,6 ± 4,8	< 0,350 ± 0,079	/	305	< 0,222 ± 0,050	138
							Trichloroéthylène	< 5,0 ± 1,1	< 0,0810 ± 0,0181	/	305	< 0,0515 ± 0,0115	405
							Méthanol	< 45,0 ± 9,6	< 3,20 ± 0,70	/	280	< 1,87 ± 0,41	260

Tableau 10 : Résultats détaillés des mesures VLEP 8h

VII.4.2. Mesures VLEP CT

Date	Groupe d'Exposition Homogène	Opérateur	Lieu	Heure de départ	Heure de fin	Durée de mesure (min)	Substance recherchée	Quantité brute (µg)	Quantité non pondérée (mg/m ³)	Port des EPI, spécificité et Facteur de Protection considéré	Durée d'exposition au produit de l'opérateur (min)	Concentration avec pondération sur CT (mg/m ³)	VLEP CT (mg/m ³)
17-oct	A	Maxime Antier (RAMBOLL)	Ingénieur - Échantillonneur	10:30	10:45	15	Méthanol	< 15,0 ± 3,2	< 19,8 ± 4,3	O	15	< 19,8 ± 4,3	1 300

Tableau 11 : Résultats détaillés des mesures VLEP CT

LISTES DES TABLEAUX ET PHOTOS

Liste des photos :

PHOTOS 1 ET 2 : POMPES DE PRELEVEMENTS ET DEBITMETRE UTILISES.....	8
PHOTO 3 : TOXIRAE PRO PID.....	9

Liste des tableaux :

TABLEAU 1 : SYNTHESE DES RESULTATS ET DU RESPECT DES VLEP 8H.....	4
TABLEAU 2 : SYNTHESE DES RESULTATS ET DU RESPECT DES VLEP CT.....	4
TABLEAU 3 : LEGENDE DE RESPECT DES VLEP REGLEMENTAIRES.....	4
TABLEAU 4 : SUPPORTS UTILISES LORS DES PRELEVEMENTS.....	8
TABLEAU 5 : METHODES ET PRINCIPES DE PRELEVEMENT UTILISES MIS EN ŒUVRE LORS DES PRELEVEMENTS.....	10
TABLEAU 6 : SYNTHESE DES VLEP-8H ET VLEP-CT DES PARAMETRES CONTROLES.....	11
TABLEAU 7 : PROGRAMME DE MESURES.....	11
TABLEAU 8 : JUSTIFICATIONS DES DUREES DE MESURAGE.....	18
TABLEAU 9 : FICHE DE SYNTHESE TERRAIN DU 17/10/2018.....	19
TABLEAU 10 : RESULTATS DETAILLES DES MESURES VLEP 8H.....	20
TABLEAU 11 : RESULTATS DETAILLES DES MESURES VLEP CT.....	20

LISTE DES ANNEXES

- ANNEXE I :** Rapport d'analyses du laboratoire Toxilabo référencé [REDACTED] comprenant 9 pages
- ANNEXE II :** Références réglementaires et normatives potentiellement applicables comprenant 2 pages
- ANNEXE III :** Feuilles de suivi de tâches référencées BRGM [REDACTED] – SdT comprenant 3 pages
- ANNEXE IV :** Mesure en continu au PID sur l'opérateur comprenant 1 page