

ETUDE ROUTIERE

Maitre d'ouvrage :
TERREAL
4 route du Toarn
14860 BAVENT



Gestionnaire du réseau routier :
DEPARTEMENT DE L'EURE AGENCEVERNON
Rue Romain Rolland
27950 Saint Marcel



Commune du projet
VEXIN SUR EPTE
25 Grande rue
27630 Vexin sur Epte



DEPARTEMENT de L'EURE

AMENAGEMENT D'UNE VOIE NOUVELLE
POUR LA FUTURE CARRIERE D'ARGILE TERREAL VEXIN SUR EPTE

Notice descriptive



SIEGE SOCIAL

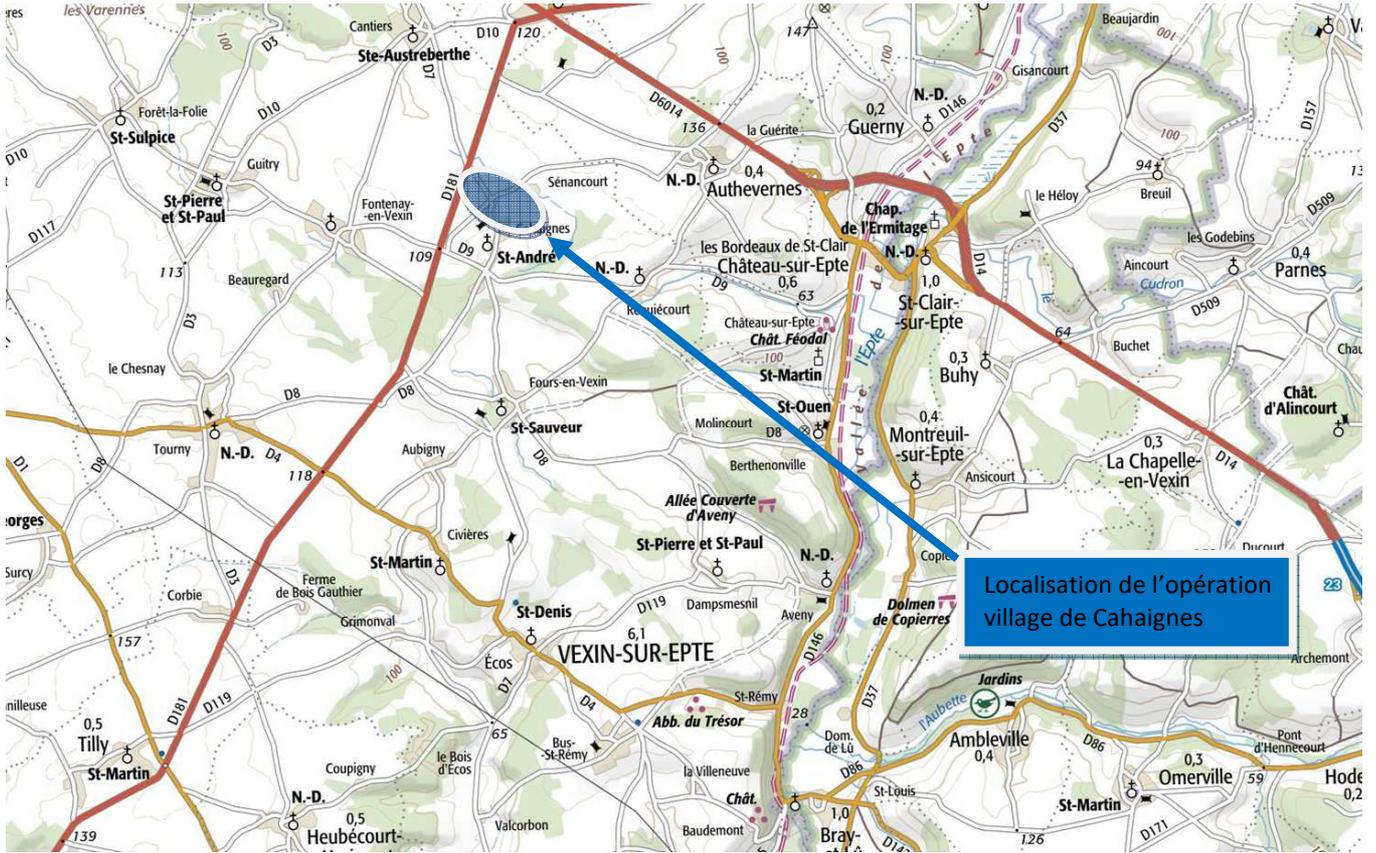
620 rue Nungesser et Coli
B.P.992
27009 EVREUX CEDEX

Tél. : 02.77.63.10.00
Fax.: 02.77.63.10.10

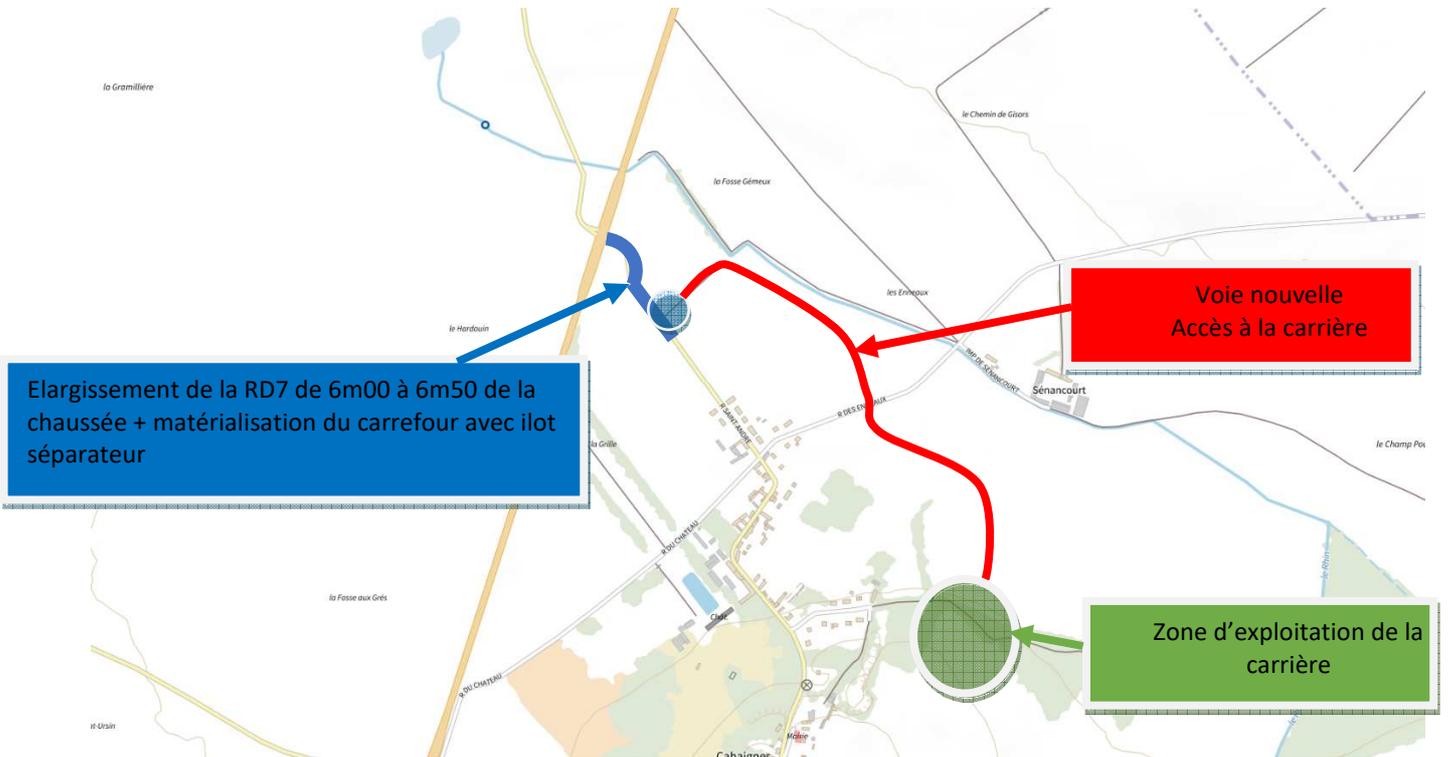
Sommaire

1.	SITUATION ET LOCALISATION	3
2.	CONTEXTE DE L'EXISTANT	4
3.	CARACTERISTIQUE DU PROJET	7
4.	STRUCTURE DE CHAUSSEE	12
5.	GESTION HYDRAULIQUE	13

1. SITUATION ET LOCALISATION



Localisation de la zone d'étude – Source géoportail



Localisation de la zone d'étude – Source géoportail

L'opération consiste à la création d'une voie nouvelle privée se situant sur des terres agricoles dans le cadre de l'accessibilité à la carrière d'argile TERREAL sur la commune de Vexin sur Epte (village de Cahaignes). L'aménagement proposera la requalification de la RD7 permettant l'accès à cette voie nouvelle et la création d'une voie nouvelle de 1700ml de long.

L'entreprise TERREAL développe le projet d'ouverture d'une carrière d'argile afin de pérenniser les approvisionnements en argile des usines de fabrication de tuiles et accessoires de toiture en terre cuite aux Mureaux (78) et à Bavent (14). Pour alimenter les usines depuis ce site, un accès et une plateforme de stockage des argiles seront créés en interne du site. Un stock d'argile sera créé par campagne d'extraction puis chargé et transporté tout au long de l'année en horaire de journée du lundi au vendredi. Le chargement des poids lourds se fera sur cette plateforme qui rejoindront ensuite la départementale 7 jusqu'à rejoindre la départementale 181. L'objet de l'étude est de définir, en coordination avec la mairie, la direction de la mobilité du département de l'Eure et Terreal, les aménagements routiers nécessaires à la desserte de la future carrière.

2. CONTEXTE DE L'EXISTANT

2.1. CARACTERISTIQUES DE L'EXISTANT

L'accès de la future voie nouvelle desservant la future carrière se fera via la RD n°7 (liaison avec la RD181). Actuellement la RD7 a une largeur d'environ 4m00. Afin de permettre la desserte de la future voie nouvelle, elle sera redimensionnée du carrefour de la voie nouvelle au carrefour de la RD181 de largeur variable allant de 6m00 en alignement droit à 6m50 en courbe afin de permettre le croisement des véhicules.

Le tracé de la future voie d'accès traverse également la VC44(rue des Enneaux). Un carrefour sera aménagé donnant la priorité à la VC44.

La future voie d'accès à la carrière est prévue sur 1,70 km traversant des plaines agricoles.



Photo de la zone du futur carrefour RD7/Voie TERREAL



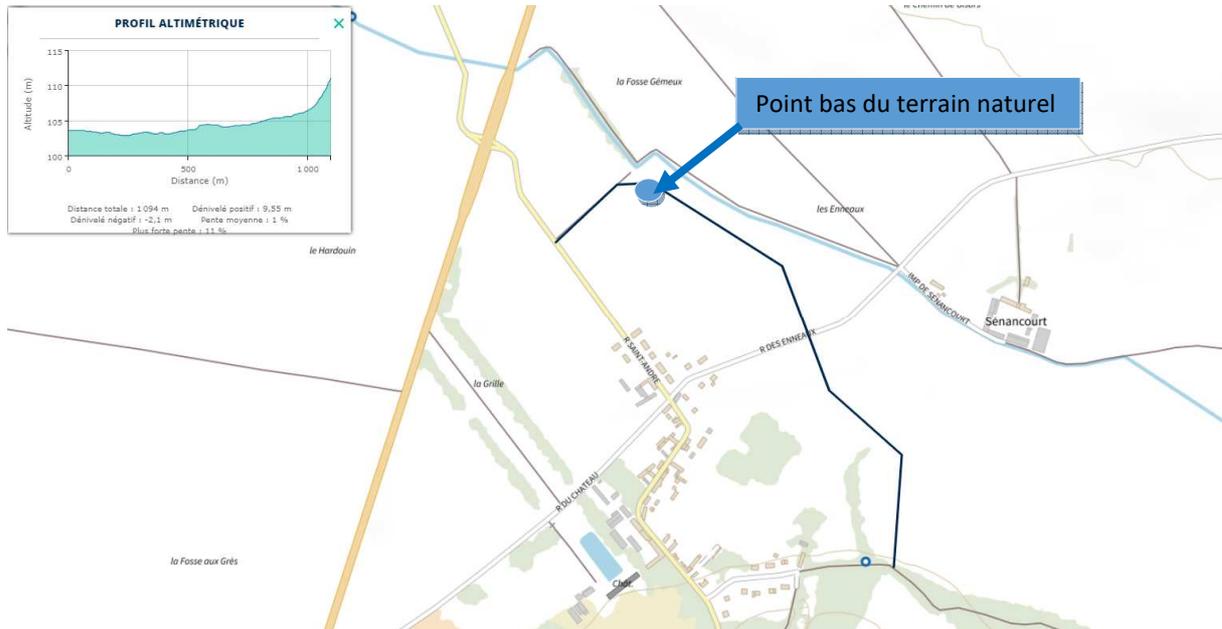
Photo de la zone du futur carrefour RD7/Voie TERREAL

Sur la zone d'étude, nous notons la présence d'un rû « le Rhin » ceinturant l'opération.



2.2. TOPOGRAPHIE DU SITE

Le profil altimétrique du site présente une dénivellation de 7m00. Les cotes altimétriques oscillent entre 102.00 NGF et 109.00 NGF. La pente moyenne du terrain naturel est d'environ 1%. Il existe actuellement un point bas du terrain naturel sur le tracé de la future voie.



Topographie du site – Source géoportail

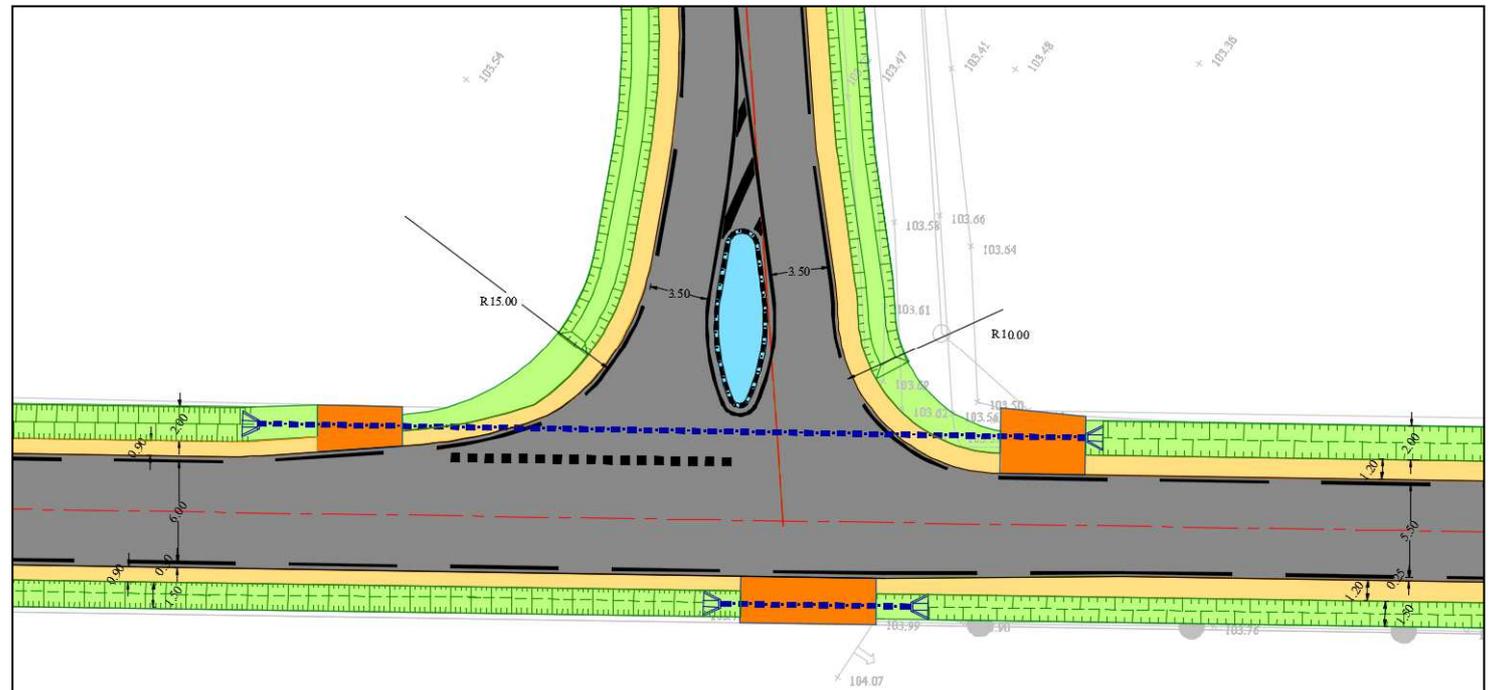
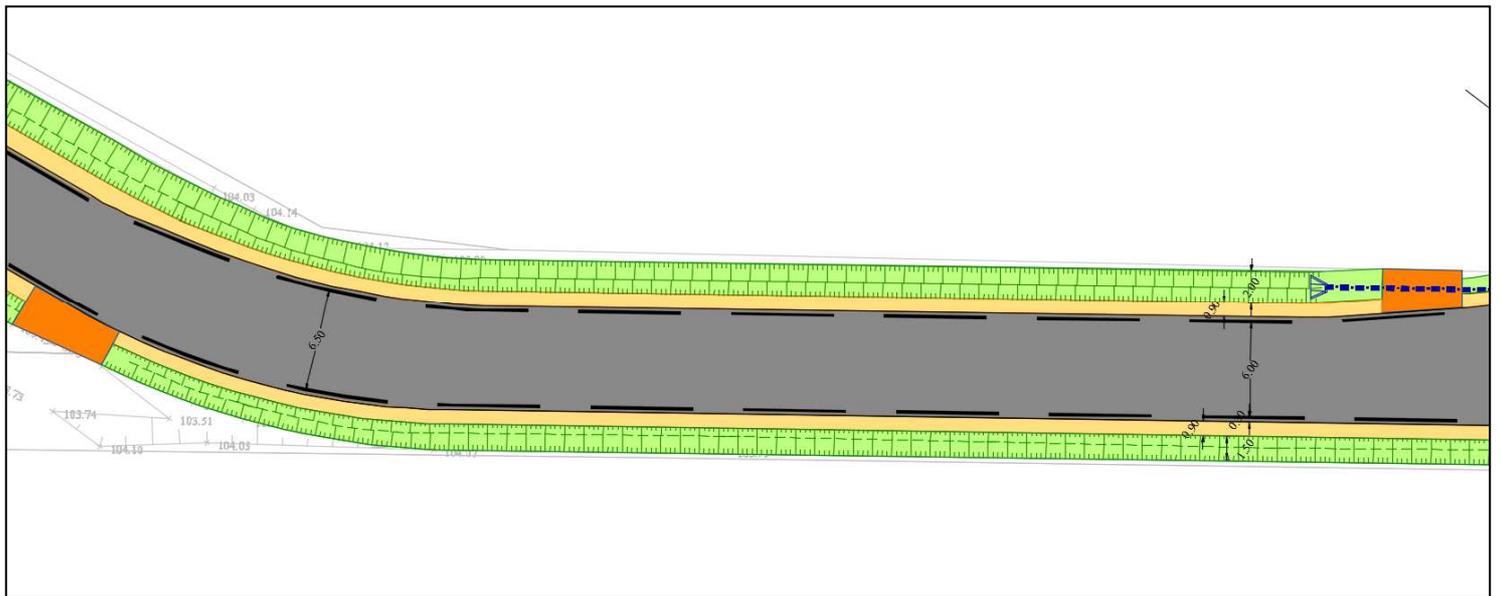
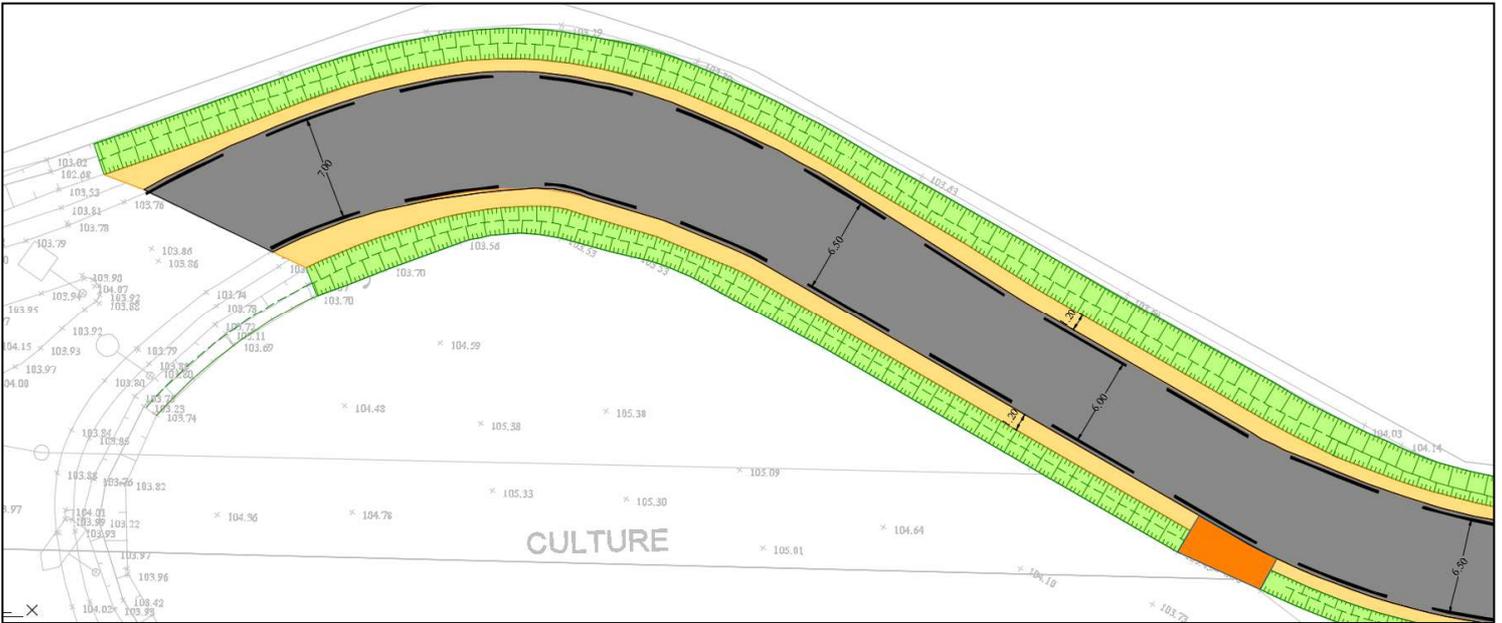
2.3. EAUX PLUVIALES

Tronçon RD181/RD7

Actuellement les eaux pluviales issues de la voirie sont gérées par des fossés en périphéries de la RD7. Les eaux pluviales collectées par les fossés de la RD7 transitent entre la RD181 et le village de Cahaignes. La continuité hydraulique des fossés de la RD7 sera maintenue. Les futurs fossés de la voie nouvelle ne seront pas connectés aux fossés de la RD7.

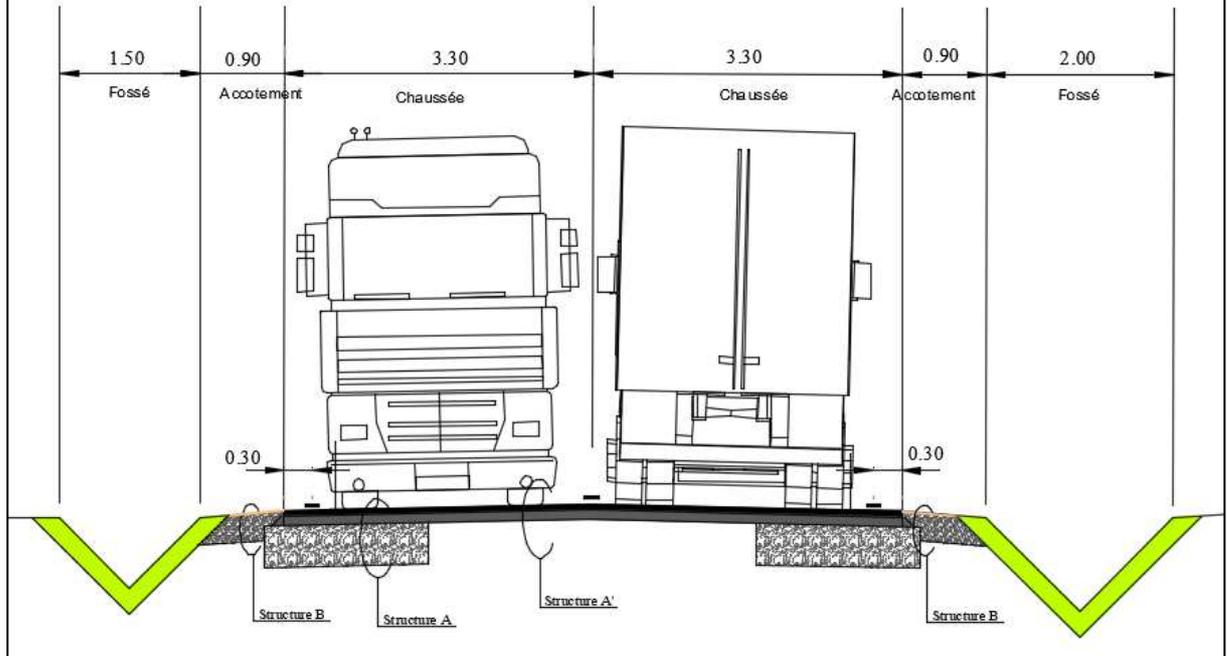


Parcelle agricole de la future voie



Extrait du plan d'aménagement (Faisabilité)

Profil en travers type de la RD7



Profil en travers type de la RD7 recalibrée

3.2. Voie nouvelle

La voie nouvelle sera calibrée de deux façons.

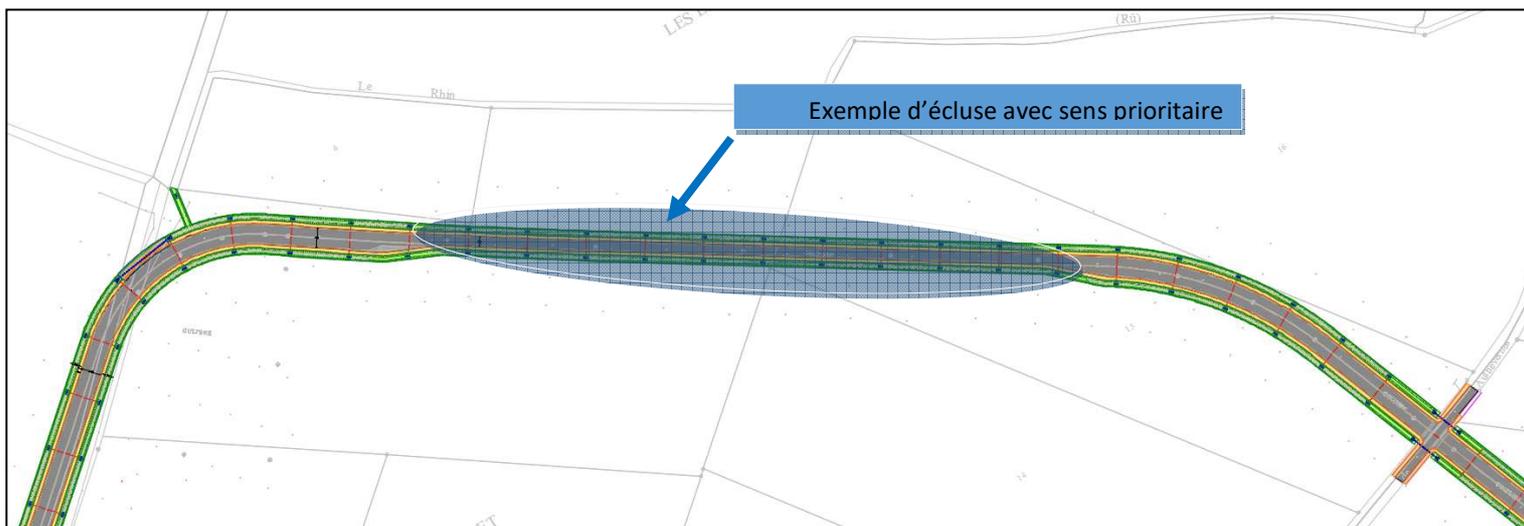
Certaines sections auront une largeur de 6m00 permettant le croisement de Poids Lourds et d'autres sections auront une largeur de 2m75 (de marquage au sol à marquage au sol, l'emprise totale de la chaussée étant de 6m50 en section courante et de 3m25 en section chicane) permettant le passage en sens unique d'un Poids Lourds. Pour ces dernières sections un sens prioritaire sera défini. Les sections en sens unique ont été positionnées afin que les transporteurs aient une bonne visibilité et lisibilité de l'aménagement.

Les accotements seront stabilisés et auront une largeur d'1m20.

Les eaux pluviales de ruissellement de la voirie seront gérées par des fossés trapézoïdaux de largeur totale de 2m20.

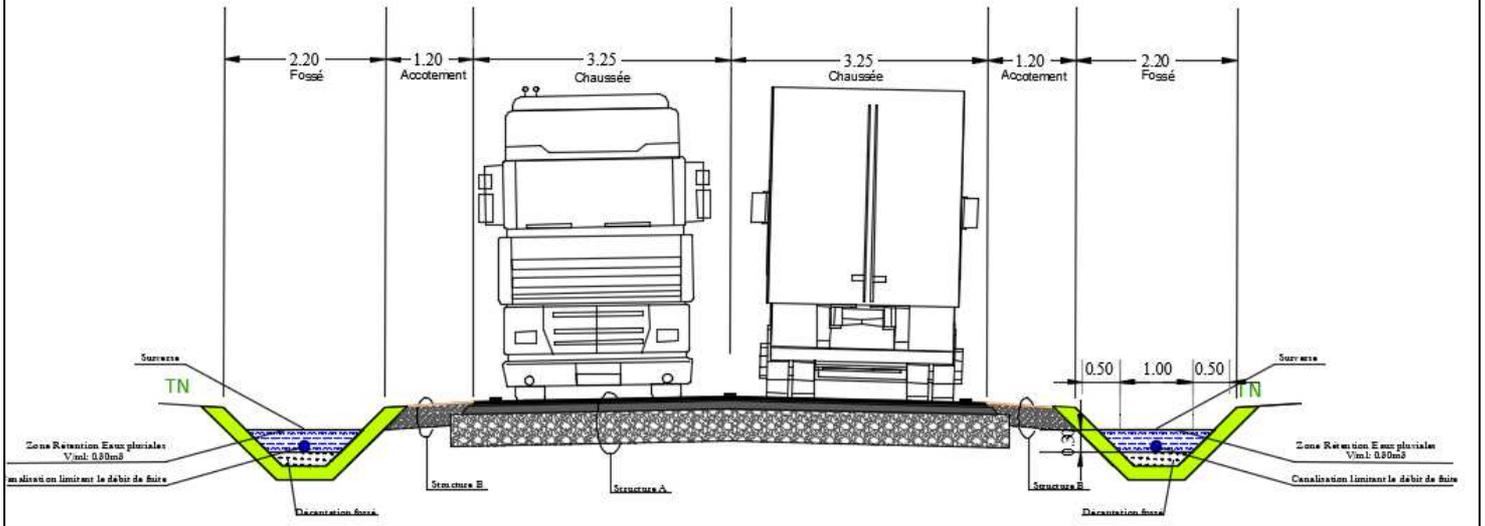


Extrait du plan global d'aménagement (Faisabilité)

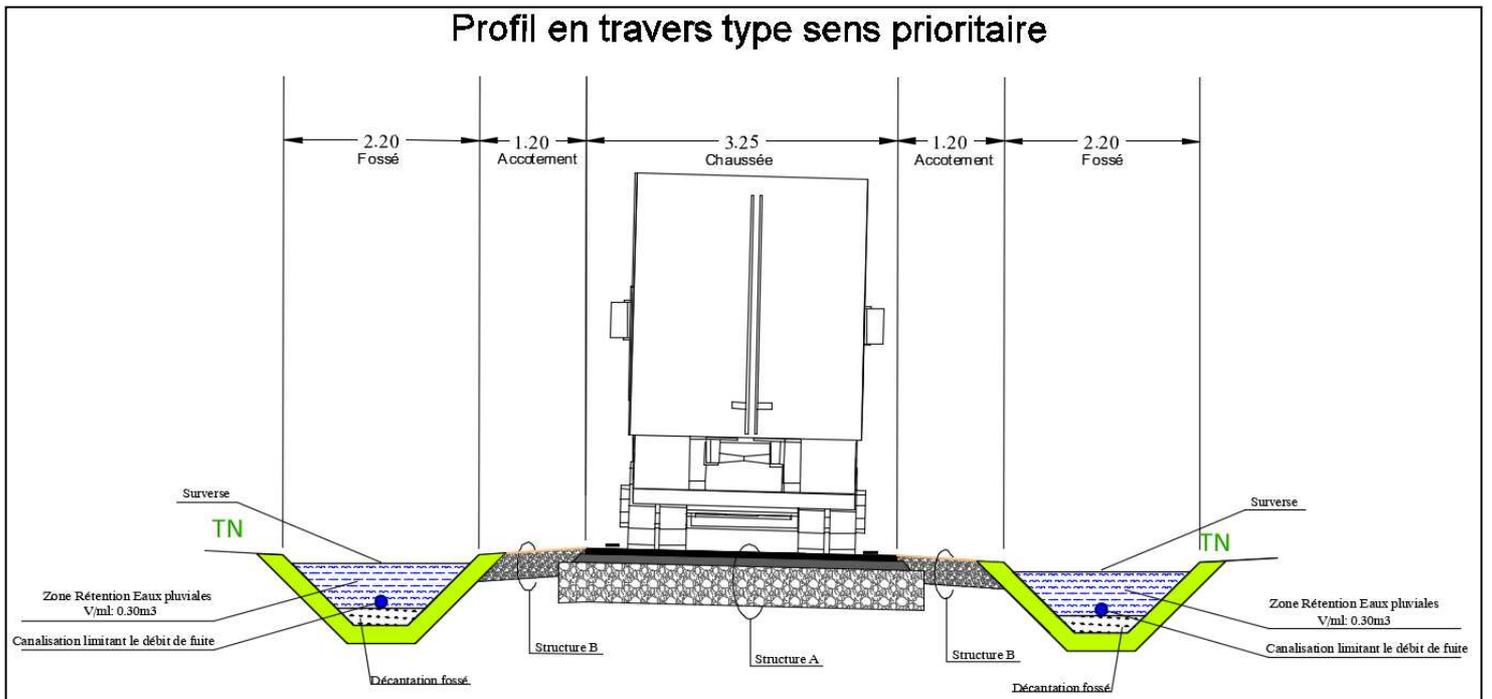


Extrait d'un exemple de chicane (Faisabilité)

Profil en travers type section courante



Profil en travers type sens prioritaire



4. STRUCTURE DE CHAUSSEE

4.1. Prévision de trafic généré par la carrière

Le tableau ci-dessous illustre le trafic attendu selon les différentes phases d'exploitation. Terreal a choisi de limiter le trafic moyen journalier à 12 camions par jour (24 passages) en phase « extraction et remblaiement » et « remblaiement ». Pour ce faire, les apports de remblais pendant la période d'activité commune se limiteront à la capacité de transport laissée par l'activité argile qui restera prioritaire. L'ensemble des activités seront limités du lundi au vendredi en horaires de journée : 7h à 18h. L'activité transport d'argile est répartie sur 167 jours par an. L'activité remblaiement est répartie sur 208 jours par an. Le trafic de pointe de 16 camions par jours (32 passages) restera très exceptionnel car régulé essentiellement par l'activité de l'usine qui fonctionne à feu continu et donc avec un débit très régulier qui est principalement soumis à l'aléa d'ouverture/fermeture de l'usine traduit par un plus petit nombre de jours d'ouverture. Le besoin de ce trafic de pointe est justifié par les besoins ponctuels en stockage à l'usine et l'activité de remblaiement. Le trafic moyen pour les livraisons d'argile sera de 8 camions par jour soit 16 passages.

Les camions auront les caractéristiques suivantes :

Poids à vide de l'ensemble : 13,5 T

Poids en charge : 44 T

Longueur : 14,90 m

Largeur : 2,55 m

	Extraction										extraction & remblaiement					Remblaiement				
	années																			
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
tonnage extraction 40kT/an	40	40	40	40	40	40	40	40	40	40	40	40	40	40	40					
total argile transporté (kT/an)	40	40	40	40	40	40	40	40	40	40	40	40	40	40	40					
remblais naturel (kT/an)												19	19	19	19	19	75	75	75	75
Nb de camions argile /jours	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8					
Nb de jours roulage argile /an	167	167	167	167	167	167	167	167	167	167	167	167	167	167	167					
Nb de camions remblais naturel /jours												4	4	4	4	4	12	12	12	12
Nb de jours roulage externe /an												158	158	158	158	158	208	208	208	208
Nb moyen camions /jours	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	12	12	12	12	12	12	12	12	12

La structure de chaussée envisagée pour le renforcement de la RD7 sera :

Section reprofilée (existant) :

Reprofilage en grave bitume 0/14 de classe 3 sur 8cm minimum

Béton bitumineux semi grenu 0/10 sur 6cm

Section neuve (poutre de rive) :

Géotextile

Grave non traitée ou recyclée 0/63 sur 45cm

Grave bitume 0/14 de classe 3 sur 10cm

Béton bitumineux semi grenu 0/10 sur 6cm

La structure de chaussée sur la voie nouvelle sera :

Géotextile

Grave non traitée ou recyclée 0/63 sur 45cm

Grave bitume 0/14 de classe 3 sur 10cm

Béton bitumineux semi grenu 0/10 sur 6cm

Une variante en traitement (chaux/ciment) en place des terres pourra être envisagée pour la création de la voie nouvelle si les matériaux du site sont traitables.

5. GESTION HYDRAULIQUE

Afin de gérer les eaux pluviales de ruissellement de la voirie, un dimensionnement hydraulique a été réalisé.

Les hypothèses prises sont :

- Période de retour centennale
- Débit de fuite 2l/s/Ha, pas d'infiltration

5427

Dimensionnement hydraulique voie nouvelle TERREAL

Détermination de la surface active:

	Surface (ha)	C	Surface active (ha)
Enrobé	0,910	1,000	0,910
Accotement stabilisé	0,420	0,700	0,294
Fossé	0,740	0,300	0,222
Bilan	Surface totale (ha)	C moyen	Surface active (ha)
	2,070	0,6889	1,426

Pluviométrie:

Période de retour	100 ans
Station météorologique	Evreux
Coefficients de Montana retenus	
Pas de temps	a b
6-120min	10,866 -0,679
120-720 min	19,046 -0,813
360-1440 min	21,121 -0,836

Modèle de calcul

Débit de fuite:

Débit spécifique (l/s/ha)	2,00
Surface (ha)	2,07
SUP erficiel arrondi à l'unité (l/s)	4,14
INF iltration (l/s)	K (m ³ /m ² /s) = ▼
	0,00E+00
	Sinf (m ²) = ▼
	1400,00
Fuite totale (l/s)	4,14

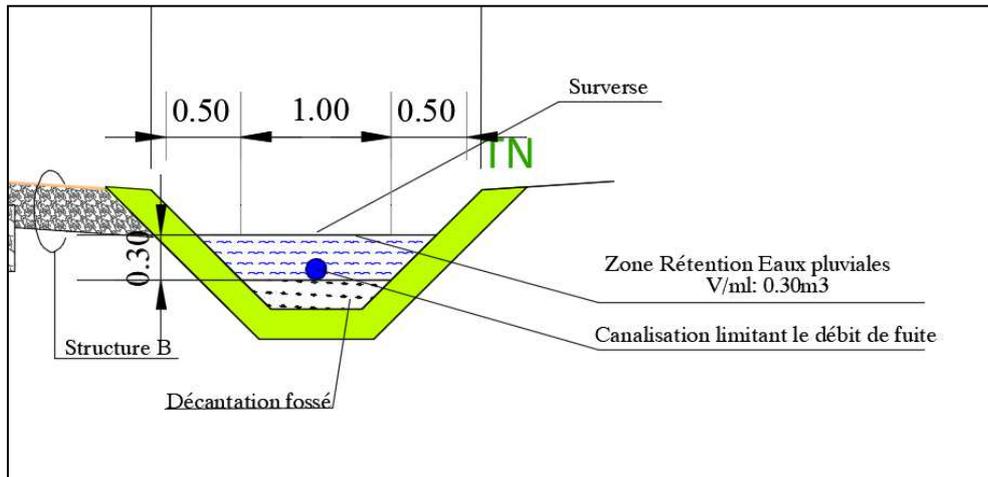
Détermination du volume de stockage et temps de vidange:

temps (h)	1	2	3	6	12	24	48
i (mm/h)	40,4442	25,2614	16,7656	9,5429	5,1777	2,9005	1,6249
H pluie (mm)	40,4442	50,5227	50,2967	57,2575	62,1322	69,6123	77,9929
Hfuite (mm)	1,0452	2,0903	3,1355	6,2710	12,5419	25,0839	50,1677
Volume à stocker (m3)	561,8303	690,6462	672,5193	727,0679	707,1577	634,9753	396,7862

Volume utile de la rétention (m3)	728,00
Temps de vidange en jour	2,04

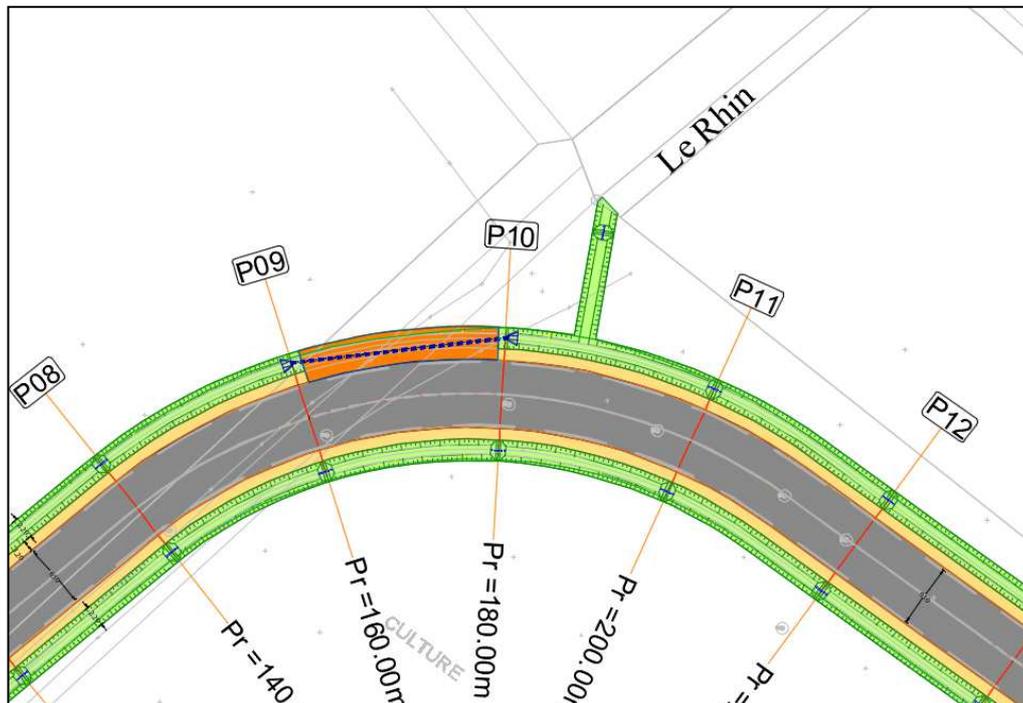
Le volume utile de rétention est de 728m3.

Afin de gérer les eaux pluviales, nous réaliserons des fossés en périphérie de la voie nouvelle. L'ouvrage sera composé de deux fossés trapézoïdaux se situant de part et d'autre de la chaussée. Ces fossés seront équipés de redans avec limiteur de débit sur chaque redan et d'un fond de décantation. Les redans seront interdistant de 20m En intégrant la pente longitudinale des fossés (entre 0.70% et 0.30%). Ce principe permet de tamponner 0.30 m3 par mètre linéaire par fossé soit 0.6 m3 par mètre linéaire de voirie. La voirie faisant un linéaire de 1650 ml env., nous obtenons un volume de stockage dans les fossés de 1650ml x 0.6m3 = 990 m3 pour 728m3 nécessaire.



Principe de rétention des fossés

L'exutoire envisagé sera le rû « le Rhin », le point bas étant naturellement à cet endroit



Extrait de l'exutoire envisagé

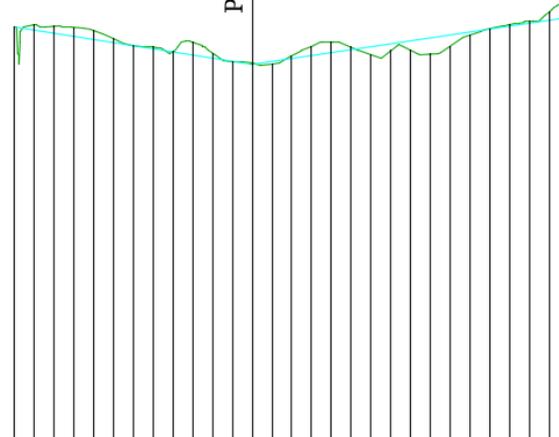
Axe : Axe1

Profil dessiné par COVADIS

Echelle en X : 1/5000

Echelle en Y : 1/100

Point bas voirie



PC : 95.00 m

Numéro de profils en travers	P01	P02	P03	P04	P05	P06	P07	P08	P09	P10	P11	P12	P13	P14	P15	P16	P17	P18	P19	P20	P21	P22	P23	P24	P25	P26	P27	P28									
Altitudes TN	103.58	103.62	103.69	103.66	103.50	103.33	103.19	103.16	103.06	103.25	103.03	102.87	102.82	102.87	102.82	102.93	102.98	103.17	103.15	103.00	103.08	103.09	103.35	103.02	103.41	103.17	103.47	103.39	103.53	103.65	103.68	103.71	103.87				
Altitudes Projet	103.68	103.62	103.69	103.56	103.32	103.33	103.19	103.16	103.06	103.25	103.03	102.87	102.81	102.87	102.82	102.93	102.98	103.17	103.05	103.26	103.17	103.00	103.23	103.08	103.29	103.09	103.35	103.02	103.41	103.17	103.47	103.39	103.53	103.65	103.68	103.71	103.87

Extrait du profil en long voirie

AVP
Tracé en plan



Échelle: 1:5000

INDICE	DESCRIPTION	DATE
A	Options	17/06/22
B	Modifications	14/09/22
C	Modifications	08/02/23
D	Modifications	08/02/23
E		
F		

FAI
 AVP
 PRO
 DCE
 E
 F

Maître d'œuvre
 TERREAL
 202 rue du Commerce
 95000 CERGY
 S. 01 77 14 21 21
 www.terreal.com

Maître
 DHALUCORNE
 11 rue du Commerce
 95000 CERGY
 S. 01 77 14 21 21
 www.terreal.com

Numéro grille: 5427
 Chef de projet: D HALUCORNE daniel.halucorne@sonier.fr

AVP
Tracé en plan
Planche 1

DATE	DESCRIPTION
01/01/2024	CONCEPTION

Numéro d'affaire : 5427
 Chef de projet : D HAUCHEURIE daniel.haucheurie@sovere.fr
 Projeteur : S BEAUDOIN simon.beaudoin@sovere.fr

LEGENDE

- Chaussée en béton bitumineux
- Accotement stabilisé
- Fossé végétalisé
- Entrée herbagère



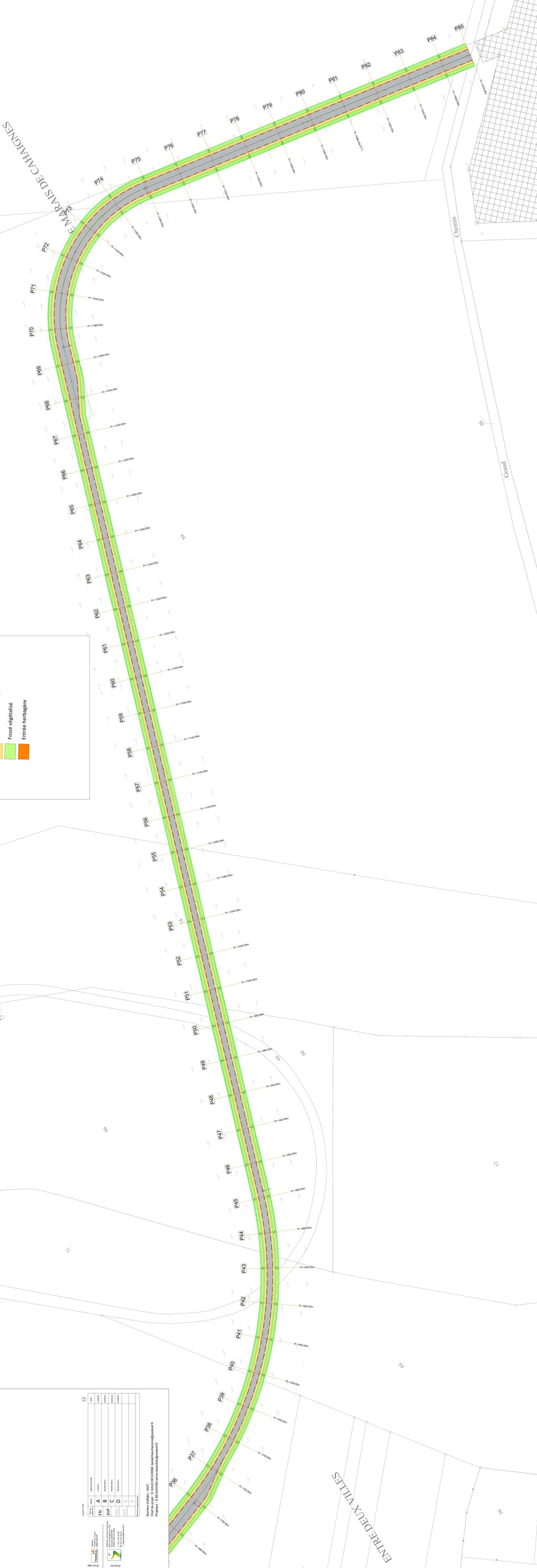
AVP
Tracé en plan
Planche 2

Projet	AVP	Phase	AVP
Client	Commune de Vexin sur Epte	Intitulé	Etude routière d'accessibilité à la zone du projet de carrière d'argile RD7-Vexin sur Epte
Projet	AVP	Phase	AVP
Client	Commune de Vexin sur Epte	Intitulé	Etude routière d'accessibilité à la zone du projet de carrière d'argile RD7-Vexin sur Epte

Numéro d'affilié : 5427
 Adresse : 10 rue de la République - 95000 Commeny
 Téléphone : 03 44 60 00 00
 Email : contact@terreal.fr

LEGENDE

- Chaussée en béton bitumineux
- Accotement stabilisé
- Fossé végétalisé
- Entrée herbagère



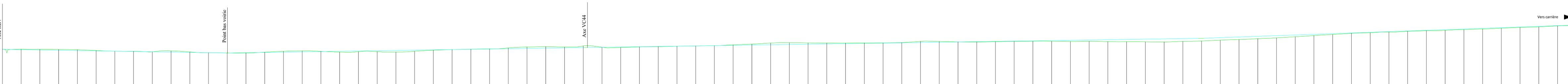


Maitre d'ouvrage	TERREAL 14000 Route du Troarn 14000 Vieux-Beuvray	Échelle: 1/2000 L/100	DATE	
		FAI		INDEXE
		PRO		MODIFICATIONS
		DCE		MODIFICATIONS
Maitre d'œuvre	SODEREF, Direction Technique 620 rue Rangosse et Coli 32000 Montéran T : 02 71 52 32 00 F : 02 71 52 32 10 www.soderref.com	14/09/21	17/09/21	
		05/03/23	02/04/23	
Numéro d'affaire : 5427 Chef de projet : D HAUCHECORNE daniel.hauchecorne@soderref.fr Projeteur : S BEAUDOIN simon.beaudoin@soderref.fr				

Profil en long de la voie d'accès à la carrière



Axe : Axe1
Profil dessiné par COVADIS
Echelle en X : 1/1000
Echelle en Y : 1/200



PC : 95.00 m		PC1	PC2	PC3	PC4	PC5	PC6	PC7	PC8	PC9	PC10	PC11	PC12	PC13	PC14	PC15	PC16	PC17	PC18	PC19	PC20	PC21	PC22	PC23	PC24	PC25	PC26	PC27	PC28	PC29	PC30	PC31	PC32	PC33	PC34	PC35	PC36	PC37	PC38	PC39	PC40	PC41	PC42	PC43	PC44	PC45	PC46	PC47	PC48	PC49	PC50	PC51	PC52	PC53	PC54	PC55	PC56	PC57	PC58	PC59	PC60	PC61	PC62	PC63	PC64	PC65																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																			
Numéro de profils en travers		PC1	PC2	PC3	PC4	PC5	PC6	PC7	PC8	PC9	PC10	PC11	PC12	PC13	PC14	PC15	PC16	PC17	PC18	PC19	PC20	PC21	PC22	PC23	PC24	PC25	PC26	PC27	PC28	PC29	PC30	PC31	PC32	PC33	PC34	PC35	PC36	PC37	PC38	PC39	PC40	PC41	PC42	PC43	PC44	PC45	PC46	PC47	PC48	PC49	PC50	PC51	PC52	PC53	PC54	PC55	PC56	PC57	PC58	PC59	PC60	PC61	PC62	PC63	PC64	PC65																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																			
Altitudes TN		103.58	103.63	103.62	103.59	103.56	103.53	103.51	103.48	103.46	103.45	103.43	103.41	103.39	103.37	103.35	103.33	103.31	103.29	103.27	103.25	103.23	103.21	103.19	103.17	103.15	103.13	103.11	103.09	103.07	103.05	103.03	103.01	102.99	102.97	102.95	102.93	102.91	102.89	102.87	102.85	102.83	102.81	102.79	102.77	102.75	102.73	102.71	102.69	102.67	102.65	102.63	102.61	102.59	102.57	102.55	102.53	102.51	102.49	102.47	102.45	102.43	102.41	102.39	102.37	102.35	102.33	102.31	102.29	102.27	102.25	102.23	102.21	102.19	102.17	102.15	102.13	102.11	102.09	102.07	102.05	102.03	102.01	101.99	101.97	101.95	101.93	101.91	101.89	101.87	101.85	101.83	101.81	101.79	101.77	101.75	101.73	101.71	101.69	101.67	101.65	101.63	101.61	101.59	101.57	101.55	101.53	101.51	101.49	101.47	101.45	101.43	101.41	101.39	101.37	101.35	101.33	101.31	101.29	101.27	101.25	101.23	101.21	101.19	101.17	101.15	101.13	101.11	101.09	101.07	101.05	101.03	101.01	100.99	100.97	100.95	100.93	100.91	100.89	100.87	100.85	100.83	100.81	100.79	100.77	100.75	100.73	100.71	100.69	100.67	100.65	100.63	100.61	100.59	100.57	100.55	100.53	100.51	100.49	100.47	100.45	100.43	100.41	100.39	100.37	100.35	100.33	100.31	100.29	100.27	100.25	100.23	100.21	100.19	100.17	100.15	100.13	100.11	100.09	100.07	100.05	100.03	100.01	99.99	99.97	99.95	99.93	99.91	99.89	99.87	99.85	99.83	99.81	99.79	99.77	99.75	99.73	99.71	99.69	99.67	99.65	99.63	99.61	99.59	99.57	99.55	99.53	99.51	99.49	99.47	99.45	99.43	99.41	99.39	99.37	99.35	99.33	99.31	99.29	99.27	99.25	99.23	99.21	99.19	99.17	99.15	99.13	99.11	99.09	99.07	99.05	99.03	99.01	98.99	98.97	98.95	98.93	98.91	98.89	98.87	98.85	98.83	98.81	98.79	98.77	98.75	98.73	98.71	98.69	98.67	98.65	98.63	98.61	98.59	98.57	98.55	98.53	98.51	98.49	98.47	98.45	98.43	98.41	98.39	98.37	98.35	98.33	98.31	98.29	98.27	98.25	98.23	98.21	98.19	98.17	98.15	98.13	98.11	98.09	98.07	98.05	98.03	98.01	97.99	97.97	97.95	97.93	97.91	97.89	97.87	97.85	97.83	97.81	97.79	97.77	97.75	97.73	97.71	97.69	97.67	97.65	97.63	97.61	97.59	97.57	97.55	97.53	97.51	97.49	97.47	97.45	97.43	97.41	97.39	97.37	97.35	97.33	97.31	97.29	97.27	97.25	97.23	97.21	97.19	97.17	97.15	97.13	97.11	97.09	97.07	97.05	97.03	97.01	96.99	96.97	96.95	96.93	96.91	96.89	96.87	96.85	96.83	96.81	96.79	96.77	96.75	96.73	96.71	96.69	96.67	96.65	96.63	96.61	96.59	96.57	96.55	96.53	96.51	96.49	96.47	96.45	96.43	96.41	96.39	96.37	96.35	96.33	96.31	96.29	96.27	96.25	96.23	96.21	96.19	96.17	96.15	96.13	96.11	96.09	96.07	96.05	96.03	96.01	95.99	95.97	95.95	95.93	95.91	95.89	95.87	95.85	95.83	95.81	95.79	95.77	95.75	95.73	95.71	95.69	95.67	95.65	95.63	95.61	95.59	95.57	95.55	95.53	95.51	95.49	95.47	95.45	95.43	95.41	95.39	95.37	95.35	95.33	95.31	95.29	95.27	95.25	95.23	95.21	95.19	95.17	95.15	95.13	95.11	95.09	95.07	95.05	95.03	95.01	94.99	94.97	94.95	94.93	94.91	94.89	94.87	94.85	94.83	94.81	94.79	94.77	94.75	94.73	94.71	94.69	94.67	94.65	94.63	94.61	94.59	94.57	94.55	94.53	94.51	94.49	94.47	94.45	94.43	94.41	94.39	94.37	94.35	94.33	94.31	94.29	94.27	94.25	94.23	94.21	94.19	94.17	94.15	94.13	94.11	94.09	94.07	94.05	94.03	94.01	93.99	93.97	93.95	93.93	93.91	93.89	93.87	93.85	93.83	93.81	93.79	93.77	93.75	93.73	93.71	93.69	93.67	93.65	93.63	93.61	93.59	93.57	93.55	93.53	93.51	93.49	93.47	93.45	93.43	93.41	93.39	93.37	93.35	93.33	93.31	93.29	93.27	93.25	93.23	93.21	93.19	93.17	93.15	93.13	93.11	93.09	93.07	93.05	93.03	93.01	92.99	92.97	92.95	92.93	92.91	92.89	92.87	92.85	92.83	92.81	92.79	92.77	92.75	92.73	92.71	92.69	92.67	92.65	92.63	92.61	92.59	92.57	92.55	92.53	92.51	92.49	92.47	92.45	92.43	92.41	92.39	92.37	92.35	92.33	92.31	92.29	92.27	92.25	92.23	92.21	92.19	92.17	92.15	92.13	92.11	92.09	92.07	92.05	92.03	92.01	91.99	91.97	91.95	91.93	91.91	91.89	91.87	91.85	91.83	91.81	91.79	91.77	91.75	91.73	91.71	91.69	91.67	91.65	91.63	91.61	91.59	91.57	91.55	91.53	91.51	91.49	91.47	91.45	91.43	91.41	91.39	91.37	91.35	91.33	91.31	91.29	91.27	91.25	91.23	91.21	91.19	91.17	91.15	91.13	91.11	91.09	91.07	91.05	91.03	91.01	90.99	90.97	90.95	90.93	90.91	90.89	90.87	90.85	90.83	90.81	90.79	90.77	90.75	90.73	90.71	90.69	90.67	90.65	90.63	90.61	90.59	90.57	90.55	90.53	90.51	90.49	90.47	90.45	90.43	90.41	90.39	90.37	90.35	90.33	90.31	90.29	90.27	90.25	90.23	90.21	90.19	90.17	90.15	90.13	90.11	90.09	90.07	90.05	90.03	90.01	89.99	89.97	89.95	89.93	89.91	89.89	89.87	89.85	89.83	89.81	89.79	89.77	89.75	89.73	89.71	89.69	89.67	89.65	89.63	89.61	89.59	89.57	89.55	89.53	89.51	89.49	89.47	89.45	89.43	89.41	89.39	89.37	89.35	89.33	89.31	89.29	89.27	89.25	89.23	89.21	89.19	89.17	89.15	89.13	89.11	89.09	89.07	89.05	89.03	89.01	88.99	88.97	88.95	88.93	88.91	88.89	88.87	88.85	88.83	88.81	88.79	88.77	88.75	88.73	88.71	88.69	88.67	88.65	88.63	88.61	88.59	88.57	88.55	88.53	88.51	88.49	88.47	88.45	88.43	88.41	88.39	88.37	88.35	88.33	88.31	88.29	88.27	88.25	88.23	88.21	88.19	88.17	88.15	88.13	88.11	88.09	88.07	88.05	88.03	88.01	87.99	87.97	87.95	87.93	87.91	87.89	87.87	87.85	87.83	87.81	87.79	87.77	87.75	87.73	87.71	87.69	87.67	87.65	87.63	87.61	87.59	87.57	87.55	87.53	87.51	87.49	87.47	87.45	87.43	87.41	87.39	87.37	87.35	87.33	87.31	87.29	87.27	87.25	87.23	87.21	87.19	87.17	87.15	87.13	87.11	87.09	87.07	87.05	87.03	87.01	86.99	86.97	86.95	86.93	86.91	86.89	86.87	86.85	86.83	86.81	86.79	86.77	86.75	86.73	86.71	86.69	86.67	86.65	86.63	86.61	86.59	86.57	86.55	86.53	86.51	86.49	86.47	86.45	86.43	86.41	86.39	86.37	86.35	86.33	86.31	86.29	86.27	86.25	86.23	86.21	86.19	86.17	86.15	86.13	86.11	86.09	86.07	86.05	86.03	86.01	85.99	85.97	85.95	85.93	85.91	85.89	85.87	85.85	85.83	85.81	85.79	85.77	85.75	85.73	85.71	85.69	85.67	85.65	85.63	85.61	85.59	85.57	85.55	85.53	85.51	85.49	85.47	85.45	85.43	85.41	85.39	85.37	85.35	85.33	85.31	85.29	85.27	85.25	85.23	85.21	85.19	85.17	85.15	85.13	85.11	85.09	85.07	85.05	85.03	85.01	84.99	84.97	84.95	84.93	84.91	84.89	84.87	84.85	84.83	84.81	84.79	84.77	84.75	84.73	84.71	84.69	84.67	84.65	84.63	84.61	84.59	84.57	84.55	84.53	84.51	84.49	84.47	84.45	84.43	84.41	84.39	84.37	84.35	84.33	84.31	84.29	84.27	84.25	84.23	84.21	84.19	84.17	84.15	84.13	84.11	84.09	84.07	84.05	84.03	84.01	83.99	83.97	83.95	83.93	83.91	83.89	83.87	83.85	83.83	83.81	83.79	83.77	83.75	83.73	83.71	83.69	83.67	83.65	83.63	83.61	83.59	83.57	83.55	83.53	83.51	83.49	83.47	83.45	83.43	83.41

AVP
PROFILS EN TRAVERS TYPE

Maître d'ouvrage



Maître d'œuvre



Echelle: 1/50

3

Plan de référence	INDEXE	MODIFICATIONS	DATE
FAI	A	Création	17/08/22
AVP	B	Modifications	14/09/22
	C	Modifications	09/03/23
PRO	D	Modifications	01/06/23
DCE	E		
	F		

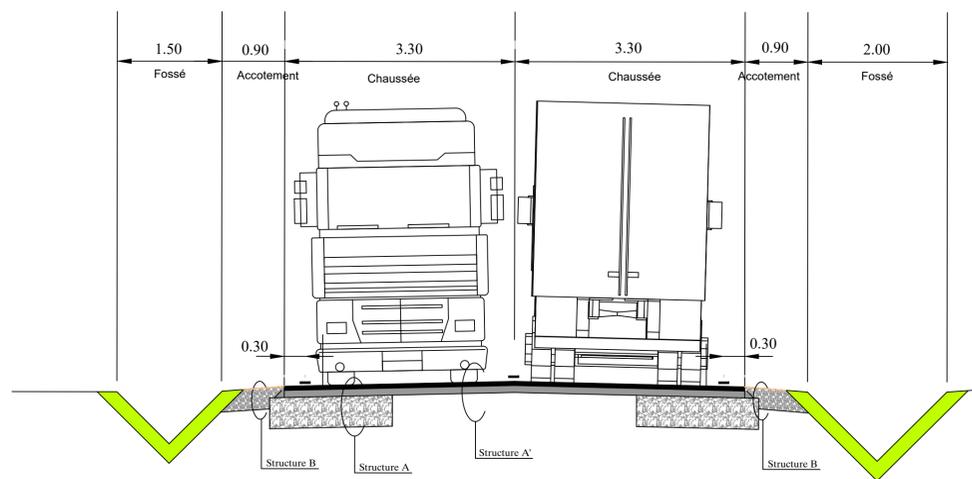
Relevés topographiques :

Numéro d'affaire : 5427

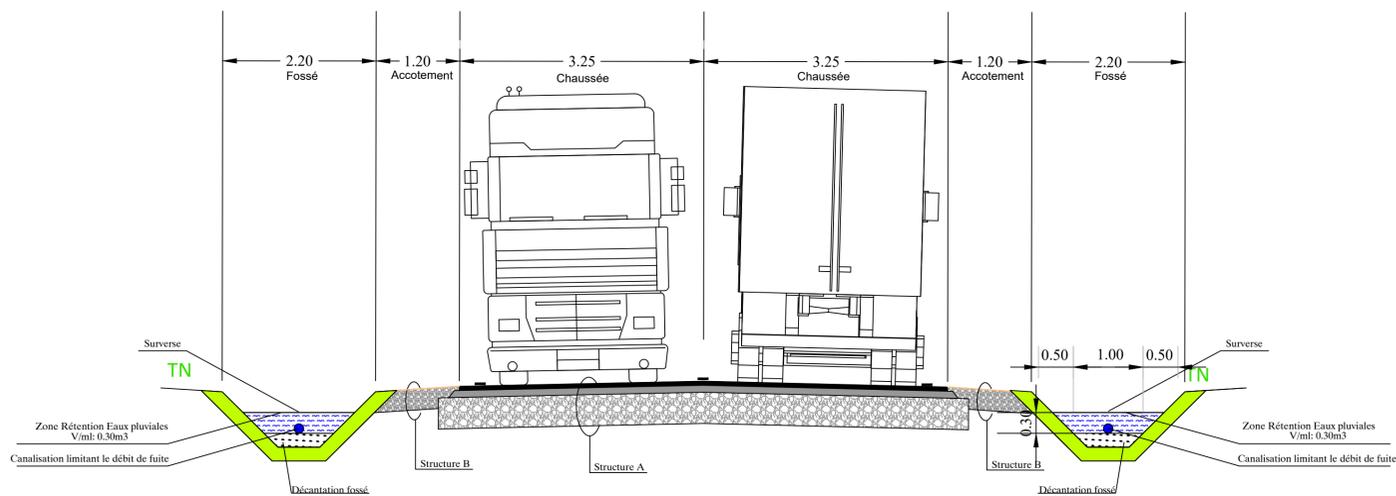
Chef de projet : D HAUCHECORNE daniel.hauchecorne@soderef.fr

Projeteur : S BEAUDOIN simon.beaudoin@soderef.fr

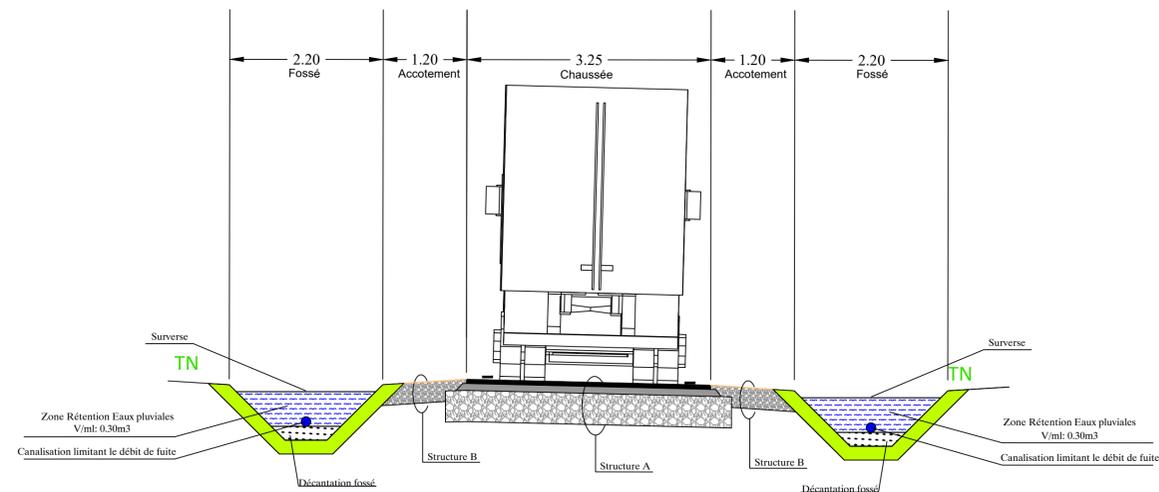
Profil en travers type de la RD7



Profil en travers type section courante



Profil en travers type sens prioritaire



Structure A

- Béton bitumineux noir 0/10 sur 6cm
- Couche d'accrochage
- Grave bitume 0/14 CL3 sur 10 cm
- Couche d'imprégnation gravillonnée
- Grave non traitée 0/63 sur 45cm
- Textile anticontaminant

Structure A V1

- Béton bitumineux noir 0/10 sur 6cm
- Couche d'accrochage
- Grave non traitée 0/31.5 sur 10 cm
- Produit de cure
- Grave du site traitée au liant hydraulique sur 35cm

Structure B

- Bicouche gravillonnée
- Grave non traitée 0/31.5 sur 30 cm
- Textile anticontaminant

Structure B V1

- Bicouche gravillonnée
- Grave non traitée 0/31.5 sur 10 cm
- Produit de cure
- Grave du site traitée au liant hydraulique sur 35cm



**RAPPORT DE MESURES DE POUSSIÈRES DANS L'ENVIRONNEMENT DE LA
CARRIÈRE DE CHAPET**

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

Agence de Senlis
5 Avenue du Général de Gaulle
60300 Senlis

Réf. : R 22-183 Rév. 0

Selon devis : G85142200157
Date d'émission : 15/06/2022

RAPPORT D'ÉVALUATION DE L'EXPOSITION PROFESSIONNELLE AUX SILICES CRISTALLINES DANS L'AIR DES LIEUX DE TRAVAIL

TERREAL
Carrière d'argile TERREAL
Allée des coquetiers
78130 CHAPET

Mesures effectuées le 23 mai 2022

Mesures demandées par : Dominique LANCE

Intervenante : Alexiane GAY

Rédacteur : Alexiane GAY	Revu et approuvé : Ludivine BAUDRY Visa
Qualité : Technicienne d'essais	Qualité : Référente Technique Laboratoire

Ce document ne peut pas être reproduit, sinon en entier, sans l'autorisation écrite de QCE
Ce document comporte 17 pages pour la partie principale
9 pages pour la partie "Annexe"



Accréditation N°1-6553
Liste des sites et portées
disponibles sur
www.cofrac.fr

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

SUIVI DE L'ÉVOLUTION DU RAPPORT

N° de version	Date de révision	Nature des modifications	Modifications réalisées par
0	/	Version initiale	/

GLOSSAIRE

ACD : Agent Chimique Dangereux, substance présentant un risque d'exposition chimique par inhalation ou contact cutané. Elle peut posséder, ou non, une Valeur Limite d'Exposition Professionnelle sur 8 heures et/ou 15 minutes.

APR : Appareil de Protection Respiratoire.

CAS (N°) : Chemical Abstract Service (numéro d'identification international d'une substance chimique).

EPC : Équipements de Protection Collective, équipements destinés à mettre hors de portée par éloignement, par obstacle ou par isolation le ou les risques contre le ou lesquels ils doivent protéger.

EPI : Équipement de Protection Individuelle, équipements destinés à être porté par une personne en vue de se protéger contre un ou plusieurs risques susceptibles de menacer sa santé ou sa sécurité.

GES : Un Groupe d'Exposition Similaire se définit par une situation d'exposition professionnelle à un risque défini en relation avec une série de tâches bien identifiées, et à priori reproductibles. Un GES peut concerner un ou plusieurs travailleurs, exposés aux mêmes agents chimiques et effectuant les mêmes tâches.

Valeurs admises ou **Valeurs limites indicatives** : Ces valeurs ont été publiées, entre 1982 et 1996, dans différentes circulaires par le ministère chargé du travail. Ces valeurs limites sont progressivement remplacées par des valeurs limites réglementaires indicatives ou contraignantes.

Valeurs limites réglementaires contraignantes : Elles sont fixées dans le décret 2012-746 du 9 mai 2012 en application de l'article R.4412-149 du Code du Travail.

Valeurs limites réglementaires indicatives : Elles sont fixées par l'arrêté du 30 juin 2004 modifié en application de l'article R.4412-150 du Code du Travail.

VLCT : Valeur Limite Court Terme, elle est destinée à protéger des effets des pics d'exposition. Elle se rapporte à une durée de référence de 15 minutes.

VLEP 8h : Valeur Limite d'Exposition Professionnelle 8h, elle est destinée à protéger les travailleurs des effets à long terme, mesurée ou estimée sur la durée d'un poste de travail de 8 heures.

SOMMAIRE

I	RÉCAPITULATIF DES RÉSULTATS	4
I.1	PRECISIONS CONCERNANT LES CALCULS ET RESULTATS.....	4
II	CONTEXTE ET OBJECTIFS.....	6
II.1	CONTEXTE	6
II.2	STRATEGIE DE PRELEVEMENT ET REALISATION.....	6
II.3	EXIGENCES REGLEMENTAIRES	7
II.3.1	<i>Évaluation du risque chimique</i>	<i>7</i>
II.3.2	<i>Actions suite à l'évaluation du risque chimique</i>	<i>8</i>
II.3.3	<i>Mesurage de l'exposition professionnelle.....</i>	<i>8</i>
II.3.4	<i>Valeurs limites d'exposition professionnelle réglementaires concernant certains agents chimiques</i>	<i>9</i>
II.3.5	<i>Règles particulières concernant les agents cancérrogènes, mutagènes et toxiques pour la reproduction.....</i>	<i>9</i>
II.3.6	<i>Règles particulières concernant les poussières réputées sans effet spécifique</i>	<i>10</i>
II.3.7	<i>Règles particulières concernant les poussières alvéolaires contenant des silices cristallines</i>	<i>10</i>
III	RÉSULTATS OBTENUS	11
III.1	GES 1 – CONDUCTEUR D'ENGINS TP	11
IV	CONCLUSION	15
IV.1	RAPPELS REGLEMENTAIRES	15
IV.2	DECLARATION DE CONFORMITE	17

I RÉCAPITULATIF DES RÉSULTATS

L'accréditation du COFRAC atteste de la compétence des laboratoires pour les seuls essais couverts par l'accréditation. Dans le récapitulatif, les résultats numériques des essais couverts par l'accréditation sont indiqués par le symbole ☑.

Les informations du client figurant dans ce rapport n'engagent pas la responsabilité de QCE.

I.1 Précisions concernant les calculs et résultats

Les concentrations mesurées peuvent être pondérées en fonction de la durée réelle d'exposition. Cette pondération est appliquée selon le type d'exposition (continue ou discontinue), selon la durée de cette exposition (sur la journée de travail ou sur des fractions de cette journée) et selon la stratégie de prélèvement retenue (prélèvement continu pour une moyenne dans le temps, fractionné pour ne tenir compte que des périodes d'exposition ou continu mais partiel sur un ou quelques cycles uniquement).

Au final, cette pondération est toujours calculée pour être rapportée à un référentiel de temps fixé à 8 heures pour comparaison aux VLEP 8h.

Les concentrations, ainsi pondérées, sont calculées selon la **formule type suivante** :

$$C_{i\text{ sur }8\text{heures}} = \frac{C_{i\text{ mesurée}} \times \Delta T}{480}$$

C_i = Concentration en polluant

ΔT = le ΔT exprime des périodes de types variables (temps d'exposition/temps de travail ou durée de prélèvement)

Les substances ayant une valeur limite réglementaire en France sont signalées en rouge.

Ces mesures ont été réalisées dans le cadre de l'arrêté du 15 décembre 2009

GES 1 – Conducteur d'engins TP :

GES	Fonction	Substance	VLEP 8h (mg/m ³)	Concentration mesurée (mg/m ³)	Concentration pondérée (mg/m ³)	ie*	Date du prélèvement
1 – Conducteur d'engins TP	Conducteur de Bulldozer	Quartz ☑	0,1	<0,001	<0,001	<0,013	23/05/2022
	Conducteur de Tombereau			<0,001	<0,001	<0,012	
	Conducteur de Pelle			0,005	0,006	0,061	
	Conducteur de Bulldozer	Cristobalite ☑	0,05	<0,002	<0,002	<0,046	
	Conducteur de Tombereau			<0,002	<0,002	<0,044	
	Conducteur de Pelle			<0,002	<0,002	<0,042	
	Conducteur de Bulldozer	Tridymite ☑	0,05	Absence	Absence	/	
	Conducteur de Tombereau			Absence	Absence	/	
	Conducteur de Pelle			Absence	Absence	/	
	Conducteur de Bulldozer	Poussières alvéolaires ☑	5	<0,079	<0,089	<0,018	
	Conducteur de Tombereau			0,124	0,140	0,028	
	Conducteur de Pelle			<0,073	<0,082	<0,016	

Selon l'art. R4412-154 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 correspondant au mélange est fixée par la formule suivante :
 $Cns/5 + Cq/0,1 + Cc/0,05 + Ct/0,05$ inférieur ou égal à 1

- 1° Cns, la concentration en poussières alvéolaires non silicogènes en mg/m³, qui correspond à la différence entre la concentration totale des poussières alvéolaires et la somme des concentrations correspondant aux silices cristallines ;
- 2° (Abrogé) ;
- 3° Cq, la concentration en quartz en mg/m³ ;
- 4° Cc, la concentration en cristobalite en mg/m³ ;
- 5° Ct, la concentration en tridymite en mg/m³.

Référence du prélèvement	Résultat du calcul d'additivité (ie*)	Commentaires
Conducteur de Bulldozer	<0,067	Les résultats sont inférieurs à la VLEP 8h du mélange des silices cristallines et des poussières alvéolaires non silicogènes : la convention d'additivité est respectée (art. R4412-154 du Code du travail fait que cette VLEP 8h est normalisée à 1mg/m ³). Une déclaration de conformité sera faite de manière analogue aux autres VLEP réglementaires avec une comparaison des résultats au dixième de cette VLEP 8h (paragraphe IV.2).
Conducteur de Tombereau	0,053	
Conducteur de Pelle	0,087	

* indice d'exposition : rapport de la concentration pondérée sur la valeur limite d'exposition professionnelle (8 heures ou 15 minutes).

Le signe « < » signifie que la concentration du composé dans l'air est inférieure à la limite de quantification de la technique d'analyse utilisée.

	Concentration inférieure au dixième de la VLEP 8h (ie < 0,1)
	Concentration comprise entre le dixième de la VLEP 8h et la VLEP 8h (0,1 < ie < 1)
	Concentration supérieure à la VLEP 8h (ie > 1)
	Aucune présence de tridymite n'a été détectée
	Concentration inférieure à la valeur limite définie par l'article 2 du Décret n°2021-1763 du 23 décembre 2021 modifié (ie < 1)

II CONTEXTE ET OBJECTIFS

II.1 Contexte

Dans le cadre de sa démarche de développement de la prévention dans les carrières en matière de santé et sécurité au travail, TERREAL a souhaité faire procéder à l'évaluation de l'exposition du personnel aux poussières alvéolaires siliceuses sur son site de CHAPET (78).

Afin de répondre à cette demande, conformément à l'arrêté du 15 décembre 2009, un audit permettant la mise en place de la stratégie d'échantillonnage a été réalisé, notamment via échanges par mail et téléphone le 07/04/2022 avec Monsieur Dominique LANCE, responsable d'exploitation du site.

Ci-dessous la synthèse des informations :

- 1 GES avec 3 conducteurs d'engins différents ;
- Tous les engins sont fermés et dispose d'une ventilation ;
- Horaires :
 - o Du lundi au jeudi : 7h00 – 17h00 avec 60 minutes de pause ;
 - o Vendredi – 07h00 – 12h00.
- Pas de port d'appareil de protection respiratoire.

Le présent rapport constitue l'évaluation initiale.

Historique des différentes interventions :

Année de réalisation de la prestation	Prestation
2014	Mesures en évaluation initiale
2017	Mesures en évaluation initiale

II.2 Stratégie de prélèvement et réalisation

GES	Effectif	Substance	Valeur de comparaison (mg/m ³) VLEP 8h	Contexte ⁽¹⁾	Tâche particulière à observer	Nombre total de prélèvements à réaliser	Nombre total de prélèvements réalisés
1 – Conducteur d'engin TP	3 salariés	Silices cristallines + Poussières alvéolaires	- Quartz : 0,1 - Cristobalite : 0,05 - Tridymite : 0,05 - Poussières alvéolaires : 5 - Art R4412-154 du Code du Travail*	EVI	Poste de travail	1 Conducteur de pelle	1
						1 Conducteur de tombereau	1
						1 Conducteur Bulldozer	1

⁽¹⁾ EVI : évaluation initiale / CP n+1 : contrôle périodique 1, 2,3 etc...

* 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 correspondant au mélange est fixée à 1mg/m³.

II.3 Exigences réglementaires

II.3.1 Évaluation du risque chimique

Article R4412-5

L'employeur évalue les risques encourus pour la santé et la sécurité des travailleurs pour toute activité susceptible de présenter un risque d'exposition à des agents chimiques dangereux.

Cette évaluation est renouvelée périodiquement, notamment à l'occasion de toute modification importante des conditions pouvant affecter la santé ou la sécurité des travailleurs.

Article R4412-6

Pour l'évaluation des risques, l'employeur prend en compte, notamment :

- 1° Les propriétés dangereuses des agents chimiques présents sur les lieux de travail ;
- 2° Les informations relatives à la santé et à la sécurité communiquées par le fournisseur de produits chimiques en application des articles R. 4411-1-1, R. 4411-73 et R. 4411-84 ;
- 3° Les renseignements complémentaires qui lui sont nécessaires obtenus auprès du fournisseur ou d'autres sources aisément accessibles ;
- 4° La nature, le degré et la durée de l'exposition ;
- 5° Les conditions dans lesquelles se déroulent les activités impliquant des agents chimiques, y compris le nombre et le volume de chacun d'eux ;
- 6° Les valeurs limites d'exposition professionnelle et les valeurs limites biologiques fixées par décret ;
- 7° L'effet des mesures de prévention prises ou à prendre sur le risque chimique ;
- 8° Les conclusions fournies par le médecin du travail concernant le suivi de l'état de santé des travailleurs ;
- 9° Les travaux conduits et propositions émises par les intervenants en prévention des risques professionnels mentionnés à l'article R. 4623-26.

Article R4412-7

L'évaluation des risques inclut toutes les activités au sein de l'entreprise ou de l'établissement, y compris l'entretien et la maintenance. Dans le cas d'activités comportant une exposition à plusieurs agents chimiques dangereux, l'évaluation prend en compte les risques combinés de l'ensemble de ces agents.

Article R4412-8

Toute activité nouvelle impliquant des agents chimiques dangereux ne peut être entreprise qu'après réalisation de l'évaluation des risques et mise en œuvre des mesures de prévention appropriées.

Article R4412-9

Les résultats de l'évaluation des risques chimiques sont communiqués, sous une forme appropriée, au comité social et économique et, en l'absence de représentation du personnel, à tout travailleur intervenant dans l'entreprise ainsi qu'au médecin du travail.

Cette communication intervient, en particulier, à la suite de la mise à jour des résultats de l'évaluation ou de toute modification importante des méthodes et des conditions de travail susceptible d'affecter la santé et la sécurité des travailleurs.

Article R4412-10

Les résultats de l'évaluation des risques sont consignés dans le document unique d'évaluation des risques prévu à l'article R. 4121-1.

II.3.2 Actions suite à l'évaluation du risque chimique

Article R4412-11

L'employeur définit et applique les mesures de prévention visant à supprimer ou à réduire au minimum le risque d'exposition à des agents chimiques dangereux :

- 1° En concevant et en organisant des méthodes de travail adaptées ;
- 2° En prévoyant un matériel adéquat ainsi que des procédures d'entretien régulières qui protègent la santé et la sécurité des travailleurs ;
- 3° En réduisant au minimum le nombre de travailleurs exposés ou susceptibles de l'être, tout en tenant compte des risques encourus par un travailleur isolé ;
- 4° En réduisant au minimum la durée et l'intensité de l'exposition ;
- 5° En imposant des mesures d'hygiène appropriées ;
- 6° En réduisant au minimum nécessaire la quantité d'agents chimiques présents sur le lieu de travail pour le type de travail concerné ;
- 7° En concevant des procédures de travail adéquates, notamment des dispositions assurant la sécurité lors de la manutention, du stockage et du transport sur le lieu de travail des agents chimiques dangereux et des déchets contenant de tels agents.

Article R4412-12

Lorsque les résultats de l'évaluation des risques révèlent un risque pour la santé et la sécurité des travailleurs, l'employeur met en œuvre les dispositions suivantes :

- 1° Mesures et moyens de prévention prévus aux articles R. 4412-15 à R. 4412-22 ;
- 2° Vérifications des installations et appareils de protection collective prévues à la sous-section 4 ;
- 3° Contrôle de l'exposition prévu à la sous-section 5 ;
- 4° Mesures en cas d'accident prévues à la sous-section 6 ;
- 5° Etablissement de la notice de poste prévue à l'article R. 4412-39 ;
- 6° Suivi de l'état de santé prévu à la sous-section 8.

Article R4412-13

Lorsque les résultats de l'évaluation des risques montrent que les quantités dans lesquelles un agent chimique dangereux est présent sur le lieu de travail ne présentent qu'un risque faible pour la santé et la sécurité des travailleurs et que les mesures de prévention prises en application des articles L. 4121-1 à L. 4121-5 et R. 4412-11 sont suffisantes pour réduire ce risque, les dispositions de l'article R. 4412-12 ne sont pas applicables.

Article R4412-14

Quels que soient les résultats de l'évaluation des risques, les dispositions de l'article R. 4412-12 s'appliquent à la production, la fabrication ou l'utilisation au travail des agents chimiques dangereux faisant l'objet d'une mesure d'interdiction en application de l'article L. 4411-1.

II.3.3 Mesurage de l'exposition professionnelle

L'arrêté du 15 décembre 2009 fixe les modalités des contrôles techniques des valeurs limites d'exposition professionnelle sur les lieux de travail et les conditions d'accréditation des organismes chargés des contrôles.

Le décret n°2009-1570 du 15 décembre 2009 relatif au contrôle du risque chimique les lieux de travail modifie certains articles du Code du Travail en vue de l'application de l'arrêté du 15 décembre 2009.

La circulaire DGT n°2010-03 du 13 avril 2010 relative au contrôle du risque chimique fixe les conditions d'application de l'arrêté du 15 décembre 2009.

Article R4412-27

Pour l'application du 3° de l'article R. 4412-12, l'employeur procède de façon régulière au mesurage de l'exposition des travailleurs aux agents chimiques dangereux présents dans l'atmosphère des lieux de travail.

Lorsque des valeurs limites d'exposition professionnelle ont été établies pour un agent chimique dangereux en application des articles R. 4412-149 ou R. 4412-150, l'employeur fait procéder à des contrôles techniques par un organisme accrédité dans les conditions prévues aux articles R. 4724-8 à R. 4724-13.

Ces contrôles techniques sont effectués au moins une fois par an et lors de tout changement susceptible d'avoir des conséquences néfastes sur l'exposition des travailleurs. Ils donnent lieu à un rapport, communiqué conformément aux dispositions de l'article R. 4412-30.

Article R4412-28

En cas de dépassement d'une valeur limite d'exposition professionnelle fixée à l'article R. 4412-149 ou de dépassement d'une concentration fixée à l'article R. 4222-10, l'employeur prend immédiatement les mesures de prévention et de protection propres à assurer la protection des travailleurs.

Article R4412-29

En cas de dépassement d'une valeur limite d'exposition professionnelle indicative prévue à l'article R. 4412-150, l'employeur procède à l'évaluation des risques afin de déterminer des mesures de prévention et de protection adaptées.

Article R4412-30

Les résultats des mesurages et les rapports de contrôle technique sont communiqués par l'employeur au médecin du travail et au comité social et économique.

Ils sont tenus à la disposition de l'inspecteur du travail, du médecin inspecteur du travail ainsi que des agents des services de prévention des organismes de sécurité sociale.

Article R4412-31

Les mesurages et les contrôles techniques opérés en application du présent paragraphe doivent respecter les modalités et les méthodes fixées en application de l'article R. 4412-151.

II.3.4 Valeurs limites d'exposition professionnelle réglementaires concernant certains agents chimiques

Le **décret 2012-746 du 9 Mai 2012** fixe les valeurs limites d'exposition professionnelle contraignantes réglementaires des agents chimiques suivants, décret retranscrit dans l'article R4412-149 du Code du Travail.

L'**arrêté du 30 Juin 2004 modifié** fixe les valeurs limites d'exposition professionnelle indicatives réglementaires des agents chimiques suivants, en application de l'article R4412-150 du Code du Travail.

II.3.5 Règles particulières concernant les agents cancérigènes, mutagènes et toxiques pour la reproduction

Les articles du code du travail R4412-60 et R4412-76 à 80 stipulent :

Article R4412-60 :

On entend par agent cancérigène, mutagène ou toxique pour la reproduction les substances ou mélanges suivants :

1° Toute substance ou mélange qui répond aux critères de classification dans la catégorie 1A ou 1B des substances ou mélanges cancérigènes, mutagènes ou toxiques pour la reproduction définis à l'annexe I du règlement (CE) n° 1272/2008 ;

2° Toute substance, tout mélange ou tout procédé défini comme tel par arrêté conjoint des ministres chargés du travail et de l'agriculture.

Article R4412-76

L'employeur procède de façon régulière au mesurage de l'exposition des travailleurs aux agents cancérigènes, mutagènes ou toxiques pour la reproduction présents dans l'atmosphère des lieux de travail.

Lorsque des valeurs limites d'exposition professionnelle ont été établies, en application des articles R. 4412-149 ou R. 4412-150, pour un agent cancérigène, mutagène ou toxique pour la reproduction, l'employeur fait procéder à des contrôles techniques par un organisme accrédité dans les conditions prévues aux articles R. 4724-8 à R. 4724-13.

Ces contrôles techniques sont effectués au moins une fois par an et lors de tout changement susceptible d'avoir des conséquences néfastes sur l'exposition des travailleurs. Ils donnent lieu à un rapport, communiqué conformément aux dispositions de l'article R. 4412-79.

Article R4412-77

En cas de dépassement d'une valeur limite d'exposition professionnelle contraignante prévue à l'article R. 4412-149, l'employeur arrête le travail aux postes de travail concernés, jusqu'à la mise en œuvre des mesures propres à assurer la protection des travailleurs.

Article R4412-78

En cas de dépassement d'une valeur limite d'exposition professionnelle indicative prévue à l'article R. 4412-150, l'employeur procède à l'évaluation des risques afin de déterminer des mesures de prévention et de protection adaptées.

Article R4412-79

Les résultats des mesurages et les rapports de contrôle technique sont communiqués par l'employeur au médecin du travail et au comité social et économique.

Ils sont tenus à la disposition de l'inspecteur du travail, du médecin inspecteur du travail ainsi que des agents des services de prévention des organismes de sécurité sociale.

Article R4412-80

Les résultats des contrôles sont communiqués par l'employeur au médecin du travail et au comité d'hygiène, de sécurité et des conditions de travail ou, à défaut, aux délégués du personnel.

II.3.6 Règles particulières concernant les poussières réputées sans effet spécifique

Article R4222-10

Dans les locaux à pollution spécifique, les concentrations moyennes en poussières totales et alvéolaires de l'atmosphère inhalée par un travailleur, évaluées sur une période de huit heures, ne doivent pas dépasser respectivement 7 et 3,5 milligrammes par mètre cube d'air.

Dénomination	Numéro CE (1)	Numéro CAS (2)	Valeur limite d'exposition professionnelle				Observations
			8 h (3)		Court terme (4)		
			ppm (5)	mg/m ³	ppm	mg/m ³	
Poussières réputées sans effet spécifique	–	–	–	7, 3,5a	–	–	Valeurs issues de l'article R4222-10 du Code du travail

(1) Inventaire européen des substances chimiques existantes (EINECS).

(2) Numéro du Chemical Abstract Service (American Chemical Society).

(3) Mesurée ou calculée par rapport à une période de référence de 8 heures, moyenne pondérée dans le temps.

(4) Valeur limite au-dessus de laquelle il ne doit pas y avoir d'exposition et qui se rapporte à une période de quinze minutes sauf indication contraire.

(5) ppm : partie par million en volume dans l'air (ml/m³).

(6) La mention " peau " accompagnant la limite d'exposition professionnelle indique la possibilité d'une pénétration cutanée importante.

a : désigne la fraction alvéolaire.

II.3.7 Règles particulières concernant les poussières alvéolaires contenant des silices cristallines

Article R4412-154

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 correspondant au mélange est fixée par la formule suivante :

$Cns/5 + Cq/0,1 + Cc/0,05 + Ct/0,05$ inférieur ou égal à 1

Article R4412-155

Dans la formule énoncée à l'article R. 4412-154, on entend par :

1° Cns, la concentration en poussières alvéolaires non silicogènes en mg / m³, qui correspond à la différence entre la concentration totale des poussières alvéolaires et la somme des concentrations correspondant aux silices cristallines ;

2° (Abrogé) ;

3° Cq, la concentration en quartz en mg / m³ ;

4° Cc, la concentration en cristobalite en mg / m³ ;

5° Ct, la concentration en tridymite en mg / m³.

Les chiffres de 0,1 et 0,05 représentent les valeurs limites correspondantes, telles que fixées à l'article R. 4412-149.

III RÉSULTATS OBTENUS

III.1 GES 1 – Conducteur d'engins TP

Date des prélèvements	23/05/2022		
Substances prélevées	Silices cristallines + Poussières alvéolaires		
Fonction	Conducteur de Bulldozer	Conducteur de Tombereau	Conducteur de Pelle
Activités observées	<ul style="list-style-type: none"> - Déblayage du chemin + remise en forme des tas d'argile en ramenant ce qui tombe vers le bas ; - Aplatissement du chemin de terre se situant devant la carrière et bouchage des trous avec des morceaux de pierres. 	<ul style="list-style-type: none"> - Réalisation d'allers-retours entre les tas d'argiles pour chargement et déchargement ; - Allers-retours entre chemin de terre et conducteur de pelle pour chargement et déchargement. 	<ul style="list-style-type: none"> - Récupération à partir d'un tas d'argile afin de le déplacer et de reformer un autre tas à un autre endroit + Remplissage des tombereaux ; - Creuse une « tranchée » qui a déjà été commencée auparavant.

Activité jugée normale par les salariés le jour des prélèvements.

La durée de prélèvement se rapproche au maximum du temps de travail des salariés afin d'obtenir un résultat représentatif de leur exposition professionnelle.

Les prélèvements sont réalisés à l'aide de systèmes de prélèvements individuels placés dans la zone respiratoire du travailleur, comme prescrit par l'arrêté du 15 décembre 2009.

Ci-dessous les EPI portés pendant les prélèvements :

- Vêtements de travail ;
- Chaussures de sécurité.

GES 1 - Conducteur d'engins TP - Conducteur de Bulldozer - Poussières totales (fraction alvéolaire) / quartz (fraction alvéolaire) / cristobalite (fraction alvéolaire) / tridymite (fraction alvéolaire) - 23/05/22

Conditions de prélèvement				
Date	23/05/22			
Localisation	Carrière d'argile			
N° GES	GES 1 - Conducteur d'engins TP			
Fonction du salarié	Conducteur de Bulldozer			
Nom du salarié	FLEURY Bertrand			
Période de prélèvement	Journée			
Type de prélèvement	Individuel			
Activité pendant le prélèvement	Normale			
Type de lieux de travail	Lieux de travail en plein air			
Ventilation globale au cours des périodes d'exposition	Absence de ventilation mécanique			
Procédé	Procédé ouvert			
Protection collective	Absence de captage localisé			
Protection respiratoire	Absence de protection respiratoire			
Paramètres physiques				
Type de support de prélèvement	LSA57 : Mousse tarée (pour CIP 10)			
Référence du blanc	5206 (702028) + 7988 (702097)			
Référence de l'échantillon	9043 (702004)			
Heure de début de prélèvement (hh:mm)	8:40			
Heure de fin de prélèvement (hh:mm)	16:00			
Durée de prélèvement effective (min)	364			
Durée journalière de travail (min)	540			
Durée d'exposition potentielle à la substance (min)	540			
Température ambiante moyenne (°C)	17,85			
Volume de prélèvement (L)	3428,26			
Débit de prélèvement (L/min)	9,42			
Conformité de la dérive de la pompe	Conforme : <5%			
Résultats obtenus				
Composé recherché	Poussières totales (fraction alvéolaire)	quartz (fraction alvéolaire)	cristobalite (fraction alvéolaire)	tridymite (fraction alvéolaire)
Limite de quantification de la mesure (mg/m3)	0,079	0,001	0,002	Absence
Concentration moyenne du blanc sur la durée de prélèvement (mg/m3)	<0,079	<0,001	<0,002	Absence
Concentration moyenne de l'échantillon sur la durée de prélèvement (mg/m3)	<0,079 +- 0,005	<0,001 +- 0,0001	<0,002 +- 0,0001	Absence
Concentration moyenne pondérée sur 8 h (mg/m³)	<0,089 +- 0,005	<0,001 +- 0,0001	<0,002 +- 0,0001	Absence
Valeur d'exposition				
Valeur Limite d'Exposition Professionnelle 8 h (mg/m³)	5	0,1	0,05	0,05
Indice d'exposition (concentration pondérée)	<0,018	<0,013	<0,046	/
Indice d'additivité	<0,067			
Respect de la convention d'additivité (art. R4412-154 et 155 du Code du Travail)	Le résultat est inférieur ou égal à 1 : la convention d'additivité est respectée (art R4412-154 et 155 du code du travail).			

GES 1 - Conducteur d'engins TP - Conducteur de Tombereau - Poussières totales (fraction alvéolaire) / quartz (fraction alvéolaire) / cristobalite (fraction alvéolaire) / tridymite (fraction alvéolaire) - 23/05/22

Conditions de prélèvement				
Date	23/05/22			
Localisation	Carrière d'argile			
N° GES	GES 1 - Conducteur d'engins TP			
Fonction du salarié	Conducteur de Tombereau			
Nom du salarié	ROTTIER Guénaël			
Période de prélèvement	Journée			
Type de prélèvement	Individuel			
Activité pendant le prélèvement	Normale			
Type de lieux de travail	Lieux de travail en plein air			
Ventilation globale au cours des périodes d'exposition	Absence de ventilation mécanique			
Procédé	Procédé ouvert			
Protection collective	Absence de captage localisé			
Protection respiratoire	Absence de protection respiratoire			
Paramètres physiques				
Type de support de prélèvement	LSA57 : Mousse tarée (pour CIP 10)			
Référence du blanc	5206 (702028) + 7988 (702097)			
Référence de l'échantillon	5035 (701984)			
Heure de début de prélèvement (hh:mm)	8:42			
Heure de fin de prélèvement (hh:mm)	16:00			
Durée de prélèvement effective (min)	360			
Durée journalière de travail (min)	540			
Durée d'exposition potentielle à la substance (min)	540			
Température ambiante moyenne (°C)	17,85			
Volume de prélèvement (L)	3617,06			
Débit de prélèvement (L/min)	10,05			
Conformité de la dérive de la pompe	Conforme : <5%			
Résultats obtenus				
Composé recherché	Poussières totales (fraction alvéolaire)	quartz (fraction alvéolaire)	cristobalite (fraction alvéolaire)	tridymite (fraction alvéolaire)
Limite de quantification de la mesure (mg/m3)	0,075	0,001	0,002	Absence
Concentration moyenne du blanc sur la durée de prélèvement (mg/m3)	<0,075	<0,001	<0,002	Absence
Concentration moyenne de l'échantillon sur la durée de prélèvement (mg/m3)	0,124 +- 0,037	<0,001 +- 0,0001	<0,002 +- 0,0001	Absence
Concentration moyenne pondérée sur 8 h (mg/m³)	0,140 +- 0,041	<0,001 +- 0,0001	<0,002 +- 0,0001	Absence
Valeur d'exposition				
Valeur Limite d'Exposition Professionnelle 8 h (mg/m³)	5	0,1	0,05	0,05
Indice d'exposition (concentration pondérée)	0,028	<0,012	<0,044	/
Indice d'additivité	0,053			
Respect de la convention d'additivité (art. R4412-154 et 155 du Code du Travail)	Le résultat est inférieur ou égal à 1 : la convention d'additivité est respectée (art R4412-154 et 155 du code du travail).			

GES 1 - Conducteur d'engins TP - Conducteur de pelle - Poussières totales (fraction alvéolaire) / quartz (fraction alvéolaire) / cristobalite (fraction alvéolaire) / tridymite (fraction alvéolaire) - 23/05/22

Conditions de prélèvement				
Date	23/05/22			
Localisation	Carrière d'argile			
N° GES	GES 1 - Conducteur d'engins TP			
Fonction du salarié	Conducteur de pelle			
Nom du salarié	LECOUTURIER Felix			
Période de prélèvement	Journée			
Type de prélèvement	Individuel			
Activité pendant le prélèvement	Normale			
Type de lieux de travail	Lieux de travail en plein air			
Ventilation globale au cours des périodes d'exposition	Absence de ventilation mécanique			
Procédé	Procédé ouvert			
Protection collective	Absence de captage localisé			
Protection respiratoire	Absence de protection respiratoire			
Paramètres physiques				
Type de support de prélèvement	LSA57 : Mousse tarée (pour CIP 10)			
Référence du blanc	5206 (702028) + 7988 (702097)			
Référence de l'échantillon	6919 (702080)			
Heure de début de prélèvement (hh:mm)	8:40			
Heure de fin de prélèvement (hh:mm)	16:04			
Durée de prélèvement effective (min)	375			
Durée journalière de travail (min)	540			
Durée d'exposition potentielle à la substance (min)	540			
Température ambiante moyenne (°C)	17,85			
Volume de prélèvement (L)	3706,82			
Débit de prélèvement (L/min)	9,88			
Conformité de la dérive de la pompe	Conforme : <5%			
Résultats obtenus				
Composé recherché	Poussières totales (fraction alvéolaire)	quartz (fraction alvéolaire)	cristobalite (fraction alvéolaire)	tridymite (fraction alvéolaire)
Limite de quantification de la mesure (mg/m ³)	0,073	0,001	0,002	Absence
Concentration moyenne du blanc sur la durée de prélèvement (mg/m ³)	<0,073	<0,001	<0,002	Absence
Concentration moyenne de l'échantillon sur la durée de prélèvement (mg/m ³)	<0,073 +- 0,004	0,005 +- 0,0014	<0,002 +- 0,0001	Absence
Concentration moyenne pondérée sur 8 h (mg/m ³)	<0,082 +- 0,005	0,006 +- 0,0016	<0,002 +- 0,0001	Absence
Valeur d'exposition				
Valeur Limite d'Exposition Professionnelle 8 h (mg/m ³)	5	0,1	0,05	0,05
Indice d'exposition (concentration pondérée)	<0,016	0,061	<0,042	/
Indice d'additivité	0,087			
Respect de la convention d'additivité (art. R4412-154 et 155 du Code du Travail)	Le résultat est inférieur ou égal à 1 : la convention d'additivité est respectée (art R4412-154 et 155 du code du travail).			

IV CONCLUSION

IV.1 Rappels réglementaires

Les exigences suivantes sont issues de l'arrêté du 15 Décembre 2009 relatif aux contrôles techniques des valeurs limites d'exposition professionnelle sur les lieux de travail et aux conditions d'accréditation des organismes chargés des contrôles.

Dans le cadre de la campagne de prélèvements, l'objectif est d'évaluer l'exposition en référence à une valeur limite d'exposition professionnelle (VLEP 8h ou VLCT) afin d'établir un diagnostic de dépassement ou non de la valeur de référence.

Pour chaque GES recensé, il est procédé au minimum à trois mesures d'exposition par composé.

Évaluation initiale :

- Lors de l'évaluation initiale, le diagnostic de respect de la VLEP peut être fait dès la première campagne (3 mesures minimum) si tous les résultats du GES sont inférieurs au dixième de la VLEP contrôlée.
- A l'inverse, si lors de la première campagne, un des résultats excède la VLEP, le diagnostic de dépassement est établi et l'entreprise doit mettre en place des mesures correctives. Suite à cela, une nouvelle évaluation initiale doit être réalisée.
- Si la série de résultats issus de la première campagne de mesures ne répond à aucun des 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 par GES.

Remarque : Le délai maximal entre la réalisation de la première et de la troisième campagne ne doit pas dépasser un an sauf contraintes spécifiques.

Contrôle périodique :

Le contrôle période doit être mis en œuvre dans un délai de un an à compter de la fin de l'évaluation initiale et renouvelé chaque année tant que la mise à jour de l'évaluation du risque chimique du client ne conclut pas à un risque faible pour l'ACD considéré.

- Lors du contrôle périodique, si au moins une des 3 mesures réalisées est supérieure au dixième de la VLEP, deux cas de figure se présentent :
 - Il s'agit du premier contrôle périodique réalisé après une évaluation initiale dont le diagnostic de non dépassement de la VLEP a été établi après une seule campagne de mesurage (tous les résultats étaient inférieurs au dixième de la VLEP).
→ Une nouvelle campagne de mesurage doit être réalisée afin de pouvoir cumuler 9 résultats pour effectuer une analyse statistique.
 - Il s'agit du deuxième contrôle périodique (ou plus) ou du premier après une évaluation initiale dont le diagnostic de non dépassement de la VLEP a été établi après trois campagnes de mesurage (tous les résultats n'étaient pas inférieurs au dixième de la VLEP sur la 1ère campagne)
→ L'ensemble des résultats obtenus sur le GES (évaluation initiale + contrôle(s) périodique(s)) sont cumulés pour effectuer une analyse statistique
- Lors du contrôle périodique, si au moins une des 3 mesures réalisées est supérieure à la VLEP, le diagnostic de dépassement est établi et l'entreprise doit mettre en place des mesures correctives. Suite à cela, une nouvelle évaluation initiale doit être réalisée.
- Lors du contrôle périodique, si tous les résultats des mesures sont inférieurs au dixième de la VLEP, le diagnostic de non dépassement est alors confirmé.

La variable U est caractéristique de la probabilité de dépassement de la VLEP. Elle est calculée après chaque contrôle périodique (cumul de toutes les valeurs existantes) de la manière suivante :

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

Avec :

VLEP : Valeur limite de référence

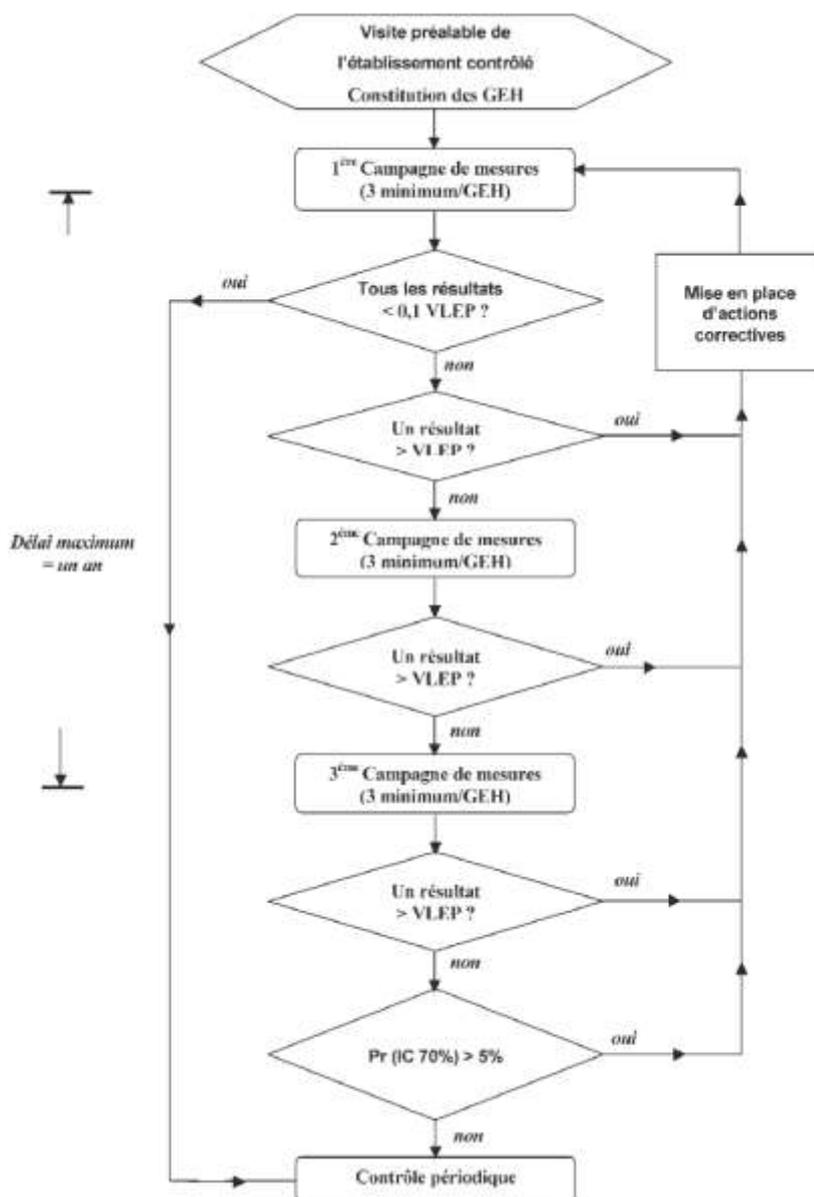
Mg : Moyenne géométrique des résultats des mesures réalisées

Eg : Ecart type géométrique des résultats des mesures réalisées

- Si la variable U calculée est supérieure à la valeur seuil U (cf. tableau annexe 2 de l'arrêté du 15 décembre 2009) → **diagnostic de non dépassement de la VLEP établi.**
- Si la variable U calculée est inférieure à la valeur seuil U (cf. tableau annexe 2 de l'arrêté du 15 décembre 2009) → **diagnostic de dépassement de la VLEP établi.**

Remarque : quand tous les résultats depuis le début de l'évaluation initiale sont inférieurs au dixième de la VLEP, le calcul de U n'est pas réalisé → **diagnostic de non dépassement de la VLEP établi.**

La démarche mise en œuvre pour la réalisation des contrôles techniques visant à estimer le respect des VLEP est représentée par le graphique ci-dessous :



IV.2 Déclaration de conformité

Pour déclarer la conformité, il n'a pas été explicitement tenu compte de l'incertitude associée au résultat.

Le présent rapport constitue l'évaluation initiale.

GES 1 – Conducteur d'engins TP :

Tous les résultats des prélèvements de **Quartz** sont **inférieurs au dixième de la VLEP 8h**. Le diagnostic de non dépassement de la VLEP 8h est établi.

Tous les résultats des prélèvements de **Cristobalite** sont **inférieurs au dixième de la VLEP 8h**. Le diagnostic de non dépassement de la VLEP 8h est établi.

Aucune présence de **Tridymite** n'a été détectée.

Tous les résultats des prélèvements d'**Additivité** sont **inférieurs au dixième de la VLEP 8h**. Le diagnostic de non dépassement de la VLEP 8h est établi.

Tous les résultats des prélèvements du mélange des silices cristallines et des poussières alvéolaires non silicogènes **sont inférieurs à la VLEP 8h du mélange des silices cristallines et des poussières alvéolaires non silicogènes : la convention d'additivité est respectée** (art. R4412-154 du Code du Travail fait que cette VLEP 8h est normalisée à 1mg/m³).

Les travaux exposant à la poussière de silice cristalline alvéolaire issue de procédés de travail sont considérés comme un procédé cancérigène au sens de l'article R.4412-60 du Code du Travail, cité à l'arrêté du 26 octobre 2020, et les différentes formes de la silice cristalline (quartz, cristobalite et tridymite) possèdent une VLEP 8h réglementaire contraignante.

Elles obéissent donc à une obligation de contrôle périodique systématique une fois par an (date limite du prochain prélèvement : 23/05/2023), **et lors de tout changement susceptible d'avoir des conséquences néfastes sur l'exposition des travailleurs.**

D'après l'article 2 du décret n°2013-797 du 30/08/2013 modifié par le décret n°2021-1763 du 23/12/2021 : « En complément de l'article R. 4222-10 du code du travail et sans préjudice des articles R. 4412-149 et R. 4412-154, la concentration moyenne en poussières alvéolaires de l'atmosphère inhalée par un travailleur, évaluée sur une période de huit heures, applicable aux lieux de travail se trouvant à l'extérieur, est égale à 5 milligrammes par mètre cube d'air. »

Les résultats des prélèvements de **Poussières alvéolaires** sont **inférieurs à la valeur limite**.

FIN DU RAPPORT R 22-183 Rév.0

ANNEXES

DESCRIPTION DES MÉTHODES DE MESURE ET DES MATÉRIELS.....	2
PRELEVEMENTS ET DOSAGES D'AEROSOLS.....	2
EXPRESSION DES RESULTATS	3
INCERTITUDE DE MESURAGE	3
RESULTATS D'ANALYSES DU LABORATOIRE SOUS-TRAITANT	4

DESCRIPTION DES MÉTHODES DE MESURE ET DES MATÉRIELS

Le matériel COFRAC utilisé pour les mesures sous accréditation est suivi du signe

Matériel de prélèvement

Identification	Matériel	Marque	Caractéristique
CIP 10 ALV 14	Capteur Individuel de Poussières	ARELCO	10 L/min
CIP 10 ALV 15	Capteur Individuel de Poussières	ARELCO	10 L/min
CIP 10 ALV 17	Capteur Individuel de Poussières	ARELCO	10 L/min
Tachy 1 <input checked="" type="checkbox"/>	Tachymètre	TESTO	10 -100 000 tr/min
Baro 11	Baromètre électronique	Hama	Plage : 919 à 1080 mbar, Résolution : 1 mbar

Prélèvements et dosages d'aérosols

Composés analysés

Composé	Méthode	Normes	Analyse sous traitée
Quartz N°CAS 14808-60-7 Cristobalite N°CAS 14464-46-1 Tridymite N°CAS 15468-32-3	Prélèvement : Mousse tarée pour CIP 10 Analyse : Diffractométrie de rayons X	NF X 43-262 NF X 43-295	Oui
Poussières alvéolaires totales	Prélèvement : Mousse tarée pour CIP 10 Analyse : Gravimétrie	NF X 43-262	Oui

Expression des résultats

Les concentrations des composés recherchés sont données en mg/m^3 .

NOTA : Dans les résultats donnés, la limite de quantification exprimée en mg/m^3 n'est pas constante pour tous les prélèvements puisqu'elle dépend du volume de gaz prélevé.

➤ Résultats exprimés par rapport à la limite de quantification ou de détection

Un résultat de mesure d'exposition à un agent chimique donné ne peut être égale à zéro ; il doit dans ce cas être exprimé par rapport à la limite de quantification de la méthode, sous la forme <LQ.

Dans le cas de résultats inférieurs à la LQ intervenants dans un calcul, ceux-ci sont remplacés :

- par la LQ si tous les résultats sont inférieurs à la LQ

Ex : $<5 + <10 = <15$

- par la LQ/2 si au moins un des résultats est inférieur à la LQ

Ex : $10 + 5 + <2 = 10 + 5 + 2/2 = 16$

L'expression de la LQ/2 doit également être appliquée dans le cas de traitement statistique.

Il est également possible de présenter le résultat sous forme d'intervalle avec :

- la borne inférieure correspondant à la somme des concentrations exprimées
- la borne supérieure correspondant à la somme des concentrations et de la valeur des LQ

Incertitude de mesurage

Les résultats sont suivis d'une valeur d'incertitude correspondant à une incertitude élargie absolue, avec un facteur d'élargissement pris égal à 2.

L'incertitude est calculée à partir d'un budget d'incertitude faisant intervenir les incertitudes de chaque matériel utilisé pour le prélèvement et celles résultant de l'analyse.

Résultats d'analyses du laboratoire sous-traitant



EUROFINS ANALYSES DE L'AIR

QUALICONSULT EXPLOITATION
Alexiane GAY
5 Avenue du Général de Gaulle
60300 SENLIS

RAPPORT D'ANALYSE

Dossier N° : 22R009764

Version du : 03/06/2022

N° de rapport d'analyse : AR-22-N8-010639-01

Date de réception technique : 25/05/2022

Première date de réception physique : 25/05/2022

Référence Dossier : N° Projet : G85142200157/BE22-142/C22-264

Nom Projet : G85142200157/BE22-142/C22-264

Nom Commande : BE22-142 // C22-264

Référence Commande : BE22-142 // C22-264

Coordinateur de Projets Clients : Alexis Hinterreiter / AlexisHinterreiter@eurofins.com / +336 4765 9176

N° Ech	Matrice		Référence échantillon
001	Air lieux de travail	(AIT)	5206 (702028)
002	Air lieux de travail	(AIT)	7988 (702097)
003	Air lieux de travail	(AIT)	5035 (701984)
004	Air lieux de travail	(AIT)	9043 (702004)
005	Air lieux de travail	(AIT)	6919 (702080)

RAPPORT D'ANALYSE

Dossier N° : 22R009764

Version du : 03/06/2022

N° de rapport d'analyse : AR-22-N8-010639-01

Date de réception technique : 25/05/2022

Première date de réception physique : 25/05/2022

Référence Dossier : N° Projet : G85142200157/BE22-142/C22-264

Nom Projet : G85142200157/BE22-142/C22-264

Nom Commande : BE22-142 // C22-264

Référence Commande : BE22-142 // C22-264

N° Echantillon

Référence client :

Matrice :

Date de prélèvement :

Date de début d'analyse :

	001	002	003	004	005
	5206	7988	5035	9043	6919
	(702028)	(702097)	(701984)	(702004)	(702080)
	AIT	AIT	AIT	AIT	AIT
Date de prélèvement :	23/05/2022	23/05/2022	23/05/2022	23/05/2022	23/05/2022
Date de début d'analyse :	25/05/2022	25/05/2022	25/05/2022	25/05/2022	25/05/2022

Mesures gravimétriques

LSA5T : **Poussières alvéolaires sur mousse**

	001	002	003	004	005
Poussières alvéolaires après correction	mg * <0.27	mg * <0.27	mg * 0.45	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

	001	002	003	004	005
LSA60 : Quartz quantitatif par DRX sur mousse	µg * <4.0	µg * <4.0	µg * <4.0	µg * <4.0	µg * 20 ±5
LSVM1 : Cristobalite par DRX sur mousse	µg * <7.0				
LSRFH : Identification Tridymite par DRX sur mousse	µg * Absence				

D : détecté / ND : non détecté

z2 ou (2) : zone de contrôle des supports



Sébastien WILLOT
Analytical Service Manager

Eurofins Analyses de l'Air - Etablissement de SAVERNE
 5, rue d'Otterswiller - 67700 SAVERNE
 Tél 03 88 911 911 - site web : www.eurofins.fr/environnement/analyses/air/
 SAS au capital de 679 083 € - APE 7120B - RCS SAVERNE 844 919 993



 ACCREDITATION
 N° 1-6925
 Portée disponible sur
www.cofrac.fr
 ESSAIS

RAPPORT D'ANALYSE

Dossier N° : 22R009764

Version du : 03/06/2022

N° de rapport d'analyse : AR-22-N8-010639-01

Date de réception technique : 25/05/2022

Première date de réception physique : 25/05/2022

Référence Dossier : N° Projet : G85142200157/BE22-142/C22-264

Nom Projet : G85142200157/BE22-142/C22-264

Nom Commande : BE22-142 // C22-264

Référence Commande : BE22-142 // C22-264

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. Les résultats et conclusions éventuelles s'appliquent à l'échantillon tel qu'il a été reçu. Les données transmises par le client pouvant affecter la validité des résultats (la date de prélèvement, la matrice, la référence échantillon et autres informations identifiées comme provenant du client), ne sauraient engager la responsabilité du laboratoire. Seules certaines prestations rapportées dans ce document sont couvertes par l'accréditation. Elles sont identifiées par le symbole *.

Lors de l'émission d'une nouvelle version de rapport, toute modification est identifiée par une mise en forme gras, italique et souligné ou notifiée en observation. 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 et incertitude (déterminée avec $k = 2$) sont disponibles sur demande.

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

Dans le cas d'analyse d'Air à l'Emission : 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.

Annexe technique

Dossier N° :22R009764

N° de rapport d'analyse : AR-22-N8-010639-01

Emetteur : Madame Alexiane Gay

Commande EOL : 006-10514-879034

Nom projet : N° Projet : G85142200157/BE22-142/C22-264
 G85142200157/BE22-142/C22-264

Référence commande : BE22-142 // C22-264

Nom Commande : BE22-142 // C22-264

Air lieux de travail

Code	Analyse	Principe et référence de la méthode	LQI	Incertitude à la LQ	Unité	Prestation réalisée sur le site de :
LSA5T	Poussières alvéolaires sur mousse Poussières alvéolaires après correction Incertitude de la mesure ±	Gravimétrie - NF X 43-282	0,27		mg mg	Eurofins Analyses de l'Air
LSA60	Quartz quantitatif par DRX sur mousse	Diffraction des rayons X (XRD) - NF X 43-295	4	28%	µg	
LSRFH	Identification Tridymite par DRX sur mousse	Diffraction des rayons X (XRD) [Identification par diffractométrie de rayons X] - NF X 43-295			µg	
LSVM1	Cristobalite par DRX sur mousse	Diffraction des rayons X (XRD) [Diffractométrie de rayons X] - NF X 43-295	7	28%	µg	

Annexe de traçabilité des échantillons

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

Dossier N° : 22R009764

N° de rapport d'analyse : AR-22-N8-010639-01

Emetteur :

Commande EOL : 006-10514-879034

Nom projet : N° Projet : G85142200157/BE22-142/C22-264
G85142200157/BE22-142/C22-264

Référence commande : BE22-142 // C22-264

Nom Commande : BE22-142 // C22-264

Air lieux de travail

N° Ech	Référence Client	Date & Heure Prélèvement	Date de Réception Physique (1)	Date de Réception Technique (2)	Code-Barre	Nom Flacon
001	5206 (702026)		25/05/2022	25/05/2022		
002	7988 (702097)		25/05/2022	25/05/2022		
003	5035 (701984)		25/05/2022	25/05/2022		
004	9043 (702004)		25/05/2022	25/05/2022		
005	8919 (702080)		25/05/2022	25/05/2022		

(1) : Date à laquelle l'échantillon a été réceptionné au laboratoire.

Lorsque l'information n'a pas pu être récupérée, cela est signalé par la mention N/A (non applicable).

(2) : Date à laquelle le laboratoire disposait de toutes les informations nécessaires pour finaliser l'enregistrement de l'échantillon.

Agence de SENLIS

5/7 avenue du Général de Gaulle
60300 Senlis

Service administratif : Catherine MAGNAN
Port. : 06.61.57.84.55

TERREAL

Carrière d'argile
Allée des coquetiers
78130 CHAPET

À l'attention de M. Dominique LANCE
Responsable exploitation carrières
d'argile

Rapport : R22-205 Rév.0
Selon convention : G85142200157 Rév.0
Date d'émission : 25/07/2022

RETOMBÉES DE POUSSIÈRES DANS L'ENVIRONNEMENT

Carrières de CHAPET (78)

Du 23 Mai au 20 Juin 2022

Lieu d'intervention :
Carrière d'argile
Allée des coquetiers
78130 CHAPET

Rédacteur : Mme Carolyne BAUTISTA

**Carolyne
BAUTISTA**

Signature
numérique de
Carolyne BAUTISTA
Date : 2022.08.02
11:43:58 +02'00'

Qualité : Technicienne HSE

Ce document comporte 15 pages dont 7 pages d'annexes.
Ce document ne peut pas être reproduit, sinon en entier, sans l'autorisation écrite de QCE.

Suivi de l'évolution du rapport

<i>N° de version</i>	<i>Date de révision</i>	<i>Nature des modifications</i>	<i>Modifications réalisées par</i>
0	/	Version initiale	/

Sommaire

1.	Conclusion générale.....	3
2.	Contexte et objectif.....	4
3.	Textes de référence	4
4.	Modalités opératoires.....	4
5.	Localisation des points de prélèvement.....	6
6.	Données météorologiques	7
	Annexes 1 – Rapports d’analyses	9
	Annexes 2 – Emplacements des points de prélèvement (Photos)	14

1. Conclusion générale

Localisation des points de prélèvement :

- Point 1 – À proximité de la clinique,
- Point 2 – Carrefour chêne ferré,
- Point 3 – Habitations de dong de l'allée des coquetiers,
- Point 4 – Bois le long de l'allée des coquetiers.

1.1 Synthèse des résultats

Point de mesure	Numéro de la plaquette	Exposition (*) (en jour)	Masse de poussières	Surface utile de la plaquette (cm ²)	Retombées atmosphériques totales		Valeur seuil (g/m ² /mois)	Résultat
			Retombées totales (en mg)		(g/m ² /jour)	(g/m ² /mois)		
Pt.1	735	28	10,6	50,18	0,075	2,29	30	Zone faiblement polluée
Pt.2	466	28	2,70	50,02	0,019	0,58	30	Zone faiblement polluée
Pt.3	619	28	6,70	50,00	0,048	1,46	30	Zone faiblement polluée
Pt.4	585	28	7,40	49,82	0,053	1,62	30	Zone faiblement polluée

(*) Du 23 Mai au 20 Juin 2022.

1.2 Conclusion

L'ensemble des résultats des retombées atmosphériques du site de CHAPET sur la campagne du 23 Mai au 20 Juin présente des concentrations extrêmement faibles.

Les résultats obtenus permettent de définir les zones des prélèvements comme zones faiblement polluées, conformément à la norme NF X 43-007.

2. Contexte et objectif

Dans le cadre de sa démarche pour la protection de l'environnement, la société **TERREAL** a confiée à **QUALICONSULT** la surveillance des retombées atmosphériques aux abords de la Carrière de CHAPET (78).

Les contrôles ont été réalisés en présence de : M. Dominique LANCE

Intervenante QUALICONSULT EXPLOITATION : Mme Alexiane GAY

3. Textes de référence

- Arrêté du 30 septembre 2016 modifiant l'arrêté du 22 septembre 1994 relatif aux exploitations de carrières et aux installations de premier traitement des matériaux de carrières (articles 19.5 à 19.9).

La réglementation concernant les **mesures de retombées de poussières** ayant évolué au 1er janvier 2018 (Cf. Arrêté du 30 septembre 2016 modifiant l'arrêté du 22 septembre 1994 relatif aux exploitations de carrières et aux installations de premier traitement des matériaux de carrières).

Toutes les carrières ou exploitations assimilées dont la production annuelle est supérieure à **150000 tonnes** (à l'exception de celles exploitées en eau), doivent à présent respecter les points suivants :

- Établir un plan de surveillance des émissions de poussières,
 - Réaliser le suivi des retombées atmosphériques totales par jauges de retombées,
 - Enregistrement des données météorologiques par une station positionnée sur le site d'exploitation pour les carrières situées sur une commune couverte par un Plan de Protection de l'Atmosphère (PPA).
 - Fournir un bilan annuel des mesures réalisées.
- NF X 43-014 (novembre 2017) - Qualité de l'air - Air ambiant - Détermination des retombées atmosphériques totales - Echantillonnage - Préparation des échantillons avant analyses.
 - NF X 43-007 - Mesure des retombées de poussières par la méthode des plaquettes de dépôts.

4. Modalités opératoires

4.1 Principe de la méthode

La mesure des retombées de poussières est effectuée par la méthode des plaquettes de dépôt selon la norme française NF X 43-007.

Cette norme indique deux niveaux de pollution selon les concentrations mesurées :

- zone faiblement polluée..... retombées de poussières ≤ 30 g / m² et par mois
- zone fortement polluée retombées de poussières ≥ 30 g / m² et par mois

Les plaquettes de dépôt d'une surface de 5 cm x 10 cm, sont exposées aux retombées de poussières sur une durée allant d'une semaine à un mois.

Les résultats du laboratoire donnés en mg sont exprimés en g/m²/mois.

Les plaquettes de dépôt sont enduites pour retenir les poussières.

Elles sont placées sur leurs supports aux lieux choisis, à une hauteur de 1,5 m au-dessus de la surface d'appui sur laquelle repose l'ensemble du dispositif.

La localisation de ces plaquettes sera déterminée selon la configuration et l'environnement du site (4 plaquettes encadrant le site).

Les modalités d'échantillonnage sont définies de façon à garantir la représentativité des échantillons prélevés. Les modalités de prélèvements et de réalisation des essais sont définies de façon à assurer la justesse et la traçabilité des résultats.

Le plan de surveillance des émissions de poussières décrit notamment les zones d'émission de poussières, leur importance respective, les conditions météorologiques et topographiques sur le site, le choix de la localisation des stations de mesure ainsi que leur nombre.



4.2 Données météorologiques

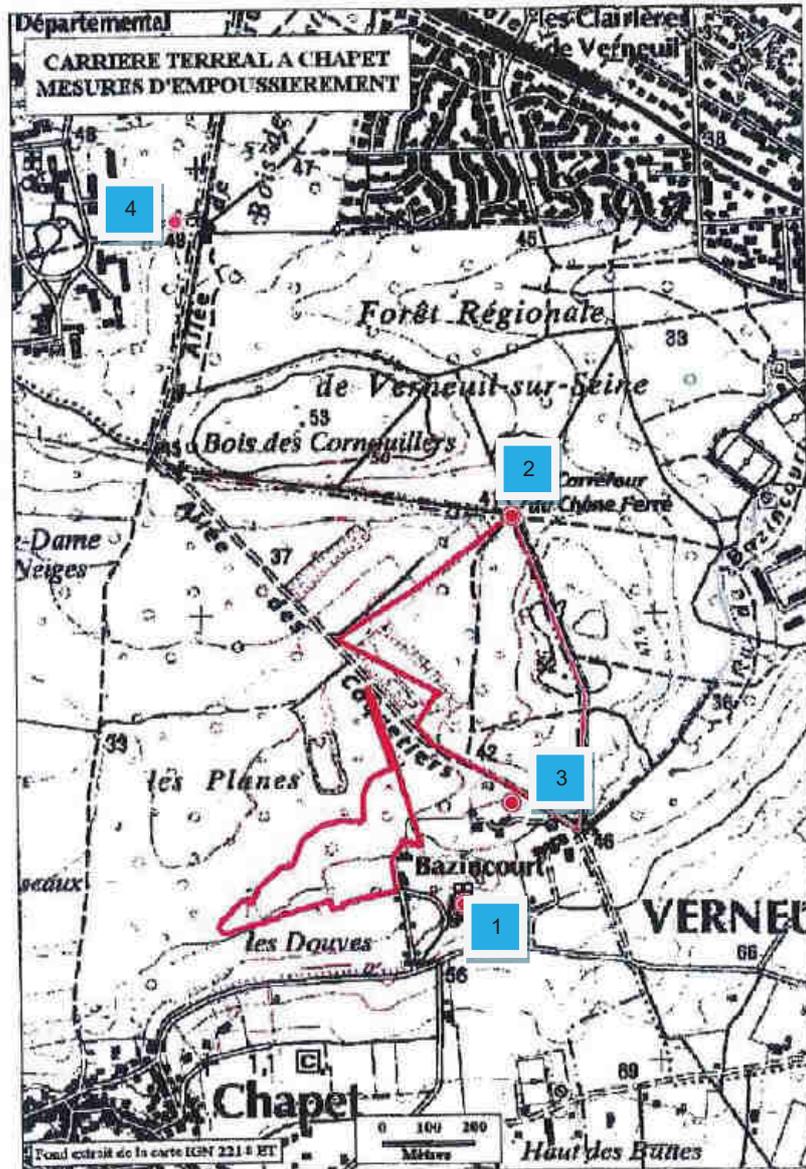
Pour les carrières dont la surface n'est pas entièrement située sur le territoire d'une commune couverte par un plan de protection de l'atmosphère, la mise en œuvre d'une station météorologique sur site peut être remplacée par l'abonnement à des données corrigées en fonction du relief, de l'environnement et de la distance issues de la station météo la plus représentative à proximité de la carrière exploitée par un fournisseur de services météorologiques.

Données météorologiques sélectionnées : vitesse du vent, direction du vent et hauteur de précipitation.

5. Localisation des points de prélèvement

Selon données TERREAL – 4 points de mesures

- Point 1 – À proximité de la clinique,
- Point 2 – Carrefour chêne ferré,
- Point 3 – Habitations de dong de l'allée des coquetiers,
- Point 4 – Bois le long de l'allée des coquetiers.

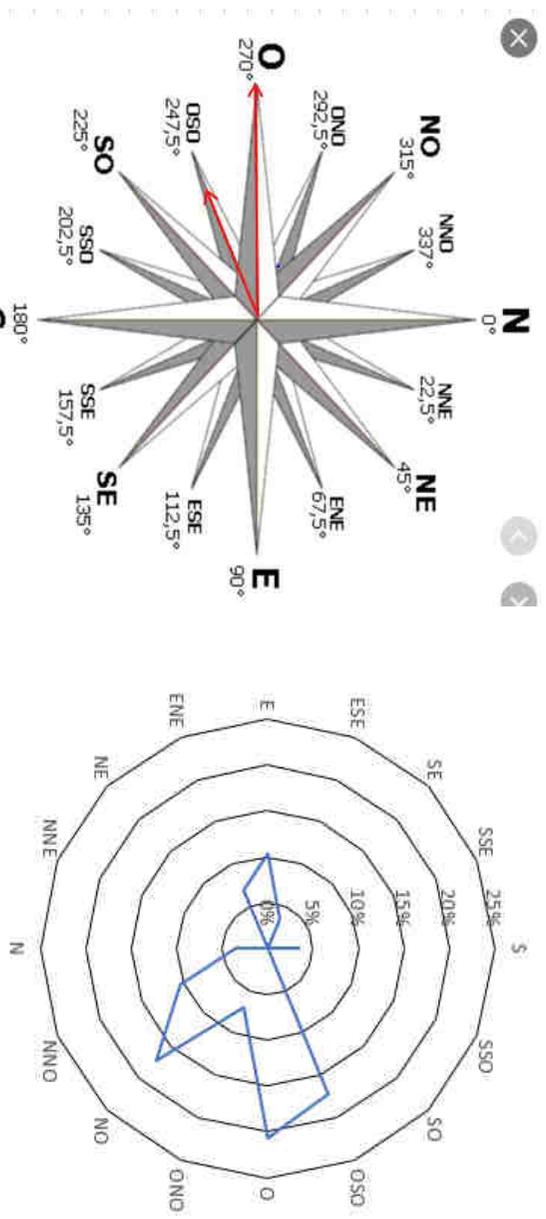


6. Données météorologiques

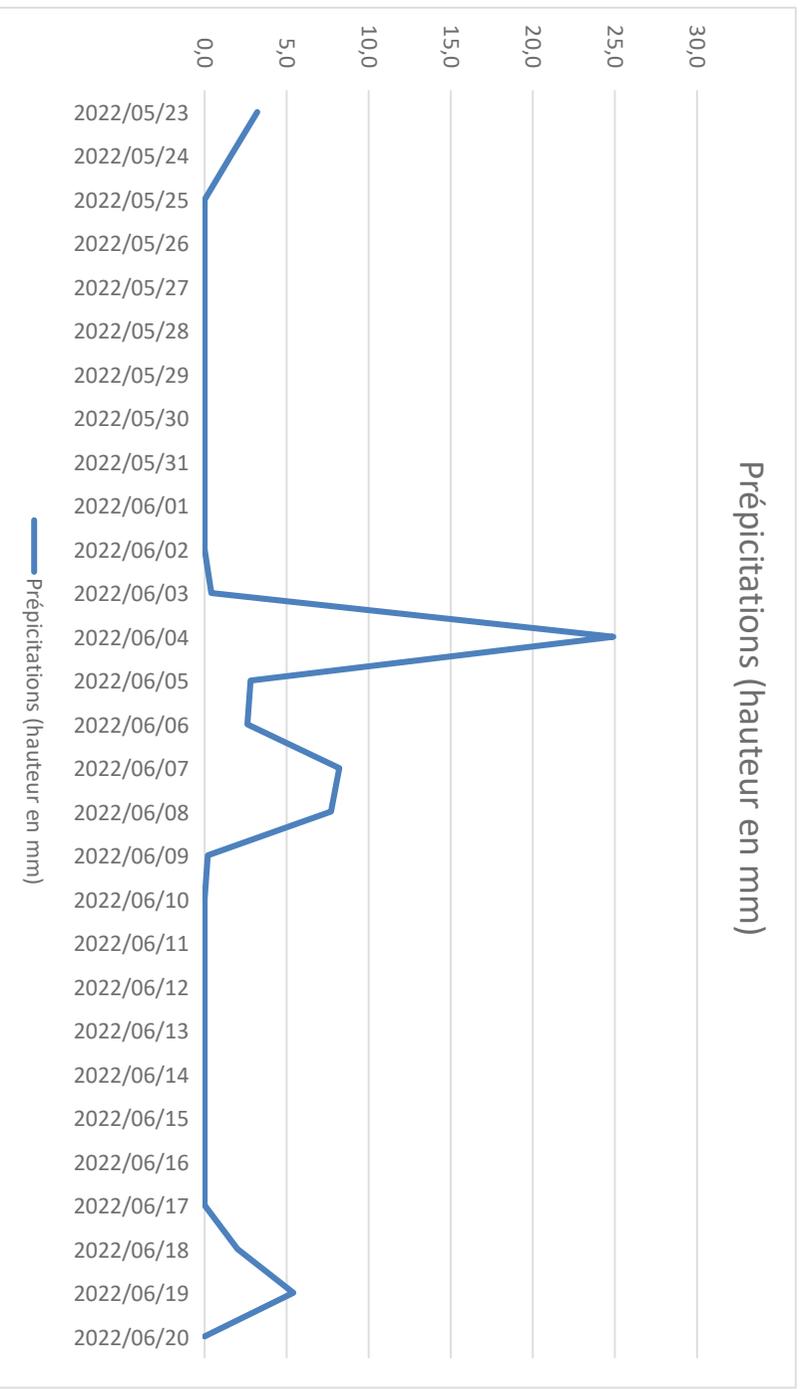
Relevé de la station Météo FRANCE de MAGNANVILLE (78), située à 18 km du site.

Date	Température (°C)	Humidité relative (%)	Hauteur de précipitations (mm)	Vitesse du vent (km/h)	Direction du vent (Rose de 360°)
2022/05/23	16,10	88	3,2	10,44	280
2022/05/24	14,55	79	1,6	12,6	280
2022/05/25	13,50	73	0,0	12,6	250
2022/05/26	16,65	79	0,0	11,88	280
2022/05/27	17,30	74	0,0	11,52	280
2022/05/28	13,35	66	0,0	7,92	330
2022/05/29	12,25	64	0,0	8,28	330
2022/05/30	13,40	63	0,0	4,32	360
2022/05/31	15,95	59	0,0	7,56	290
2022/06/01	13,80	62	0,0	6,12	310
2022/06/02	16,80	52	0,0	8,28	80
2022/06/03	17,60	73	0,4	5,76	100
2022/06/04	22,45	80	24,9	7,92	120
2022/06/05	19,25	89	2,8	8,64	270
2022/06/06	16,15	71	2,6	9,72	250
2022/06/07	18,80	75	8,2	13,68	240
2022/06/08	18,15	80	7,7	14,4	280
2022/06/09	16,20	74	0,2	11,88	240
2022/06/10	17,95	75	0,0	9	250
2022/06/11	19,40	70	0,0	7,2	340
2022/06/12	17,00	70	0,0	9	330
2022/06/13	15,85	64	0,0	7,2	330
2022/06/14	18,65	54	0,0	7,2	100
2022/06/15	21,50	53	0,0	6,48	300
2022/06/16	21,75	47	0,0	6,12	70
2022/06/17	24,05	47	0,0	6,48	170
2022/06/18	27,00	47	2,0	10,44	320
2022/06/19	19,15	79	5,4	12,24	340
2022/06/20	19,10	72	0,0	8,28	70

Rose des vents



Précipitations



Annexe 1 – Rapport d'analyses



EUROFINS ANALYSES DE L'AIR

Page 1/5

QUALICONSULT EXPLOITATION
Madame Carolynne BAUTISTA
5 Avenue du Général de Gaulle
60300 SENLIS

RAPPORT D'ANALYSE

Dossier N° : 22R011675

Version du : 24/06/2022

N° de rapport d'analyse : AR-22-N8-012112-01

Date de réception technique : 22/06/2022

Première date de réception physique : 22/06/2022

Référence Dossier: N° Projet : G85142200157 / BE174 / C322

Nom Projet : G85142200157 / BE174 / C322

Nom Commande : C22-322

Référence Commande : BE22-174

Coordinateur de Projets Clients : Alexis Hinterreiter / AlexisHinterreiter@eurofins.com / +336 4765 9176

N° Ech	Matrice		Référence échantillon
001	Air ambiant	(AIA)	1234560000735
002	Air ambiant	(AIA)	1234560000466
003	Air ambiant	(AIA)	1234560000619
004	Air ambiant	(AIA)	1234560000585

Eurofins Analyses de l'Air - Etablissement de SAVERNE
5, rue d'Oterswiller - 67700 SAVERNE
Tél 03 88 911 911 - site web : www.eurofins.fr/environnement/analyses/air/
SAS au capital de 679 083 € - APE 7120B - RCS SAVERNE 844 919 993



RAPPORT D'ANALYSE

Dossier N° : 22R011675

Version du : 24/06/2022

N° de rapport d'analyse : AR-22-N8-012112-01

Date de réception technique : 22/06/2022

Première date de réception physique : 22/06/2022

Référence Dossier : N° Projet : G85142200157 / BE174 / C322

Nom Projet : G85142200157 / BE174 / C322

Nom Commande : C22-322

Référence Commande : BE22-174

N° Echantillon	001	002	003	004
Référence client :	1234560000	1234560000	1234560000	1234560000
	735	466	619	585
Matrice :	AIA	AIA	AIA	AIA
Date de prélèvement :	21/06/2022	21/06/2022	21/06/2022	21/06/2022
Date de début d'analyse :	22/06/2022	22/06/2022	22/06/2022	22/06/2022

Préparation Physico-Chimique

LS12H : Extraction d'une plaquette de dépôt	Fait	Fait	Fait	Fait
--	------	------	------	------

Mesures gravimétriques

LS07U : Mesure gravimétrique des retombées

atmosphériques sur plaquette de dépôt

Masse de poussières	mg	*	10.6	*	2.70	*	6.70	*	7.40
Incertitude de la mesure ±	mg	*	0.04	*	0.04	*	0.04	*	0.04
Surface utile de la plaquette	cm ²		50.18		50.02		50.00		49.82
Durée de l'exposition	Heures		0.0		0.0		0.0		0.0

D : détecté / ND : non détecté

z2 ou (2) : zone de contrôle des supports



Noëline Wasmer
Customer Service Manager

Eurofins Analyses de l'Air - Etablissement de SAVERNE
5, rue d'Otterswiller - 67700 SAVERNE
Tél 03 88 911 911 - site web : www.eurofins.fr/environnement/analyses/air/
SAS au capital de 679 083 € - APE 7120B - RCS SAVERNE 844 919 993



RAPPORT D'ANALYSE

Dossier N° : 22R011675

Version du : 24/06/2022

N° de rapport d'analyse : AR-22-N8-012112-01

Date de réception technique : 22/06/2022

Première date de réception physique : 22/06/2022

Référence Dossier : N° Projet : G85142200157 / BE174 / C322

Nom Projet : G85142200157 / BE174 / C322

Nom Commande : C22-322

Référence Commande : BE22-174

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. Les résultats et conclusions éventuelles s'appliquent à l'échantillon tel qu'il a été reçu. Les données transmises par le client pouvant affecter la validité des résultats (la date de prélèvement, la matrice, la référence échantillon et autres informations identifiées comme provenant du client), ne sauraient engager la responsabilité du laboratoire. Seules certaines prestations rapportées dans ce document sont couvertes par l'accréditation. Elles sont identifiées par le symbole *.

Lors de l'émission d'une nouvelle version de rapport, toute modification est identifiée par une mise en forme gras, italique et souligné ou notifiée en observation. 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 et incertitude (déterminée avec $k = 2$) sont disponibles sur demande.

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

Dans le cas d'analyse d'Air à l'Emission : 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.

Eurofins Analyses de l'Air - Etablissement de SAVERNE
5, rue d'Otterswiller - 67700 SAVERNE
Tél 03 88 911 911 - site web : www.eurofins.fr/environnement/analyses/air/
SAS au capital de 679 083 € - APE 7120B - RCS SAVERNE 844 919 993


ACCREDITATION
N° 1-6925
Portée disponible sur
www.cofrac.fr


Annexe technique

Dossier N° :22R011675

N° de rapport d'analyse : AR-22-N8-012112-01

Emetteur : Mme Carolyne BAUTISTA

Commande EOL : 006-10514-889822

Nom projet : N° Projet : G85142200157 / BE174 / C322
G85142200157 / BE174 / C322

Référence commande : BE22-174

Nom Commande : C22-322

Air ambiant

Code	Analyse	Principe et référence de la méthode	LQI	Incertitude à la LQ	Unité	Prestation réalisée sur le site de :
LS07U	Mesure gravimétrique des retombées atmosphériques sur plaquette de dépôt Masse de poussières Incertitude de la mesure ± Surface utile de la plaquette Durée de l'exposition	Gravimétrie [Durée d'exposition transmise par le client] - NF X 43-007	0,21		mg mg cm² Heures	Eurofins Analyses de l'Air
LS12H	Extraction d'une plaquette de dépôt	Préparation - Méthode interne				

Annexe de traçabilité des échantillons

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

Dossier N° : 22R011675

N° de rapport d'analyse : AR-22-N8-012112-01

Emetteur :

Commande EOL : 006-10514-889822

Nom projet : N° Projet : G85142200157 / BE174 / C322
G85142200157 / BE174 / C322

Référence commande : BE22-174

Nom Commande : C22-322

Air ambiant

N° Ech	Référence Client	Date & Heure Prélèvement	Date de Réception Physique (1)	Date de Réception Technique (2)	Code-Barre	Nom Flacon
001	1234560000735		22/08/2022	22/08/2022		
002	1234560000466		22/08/2022	22/08/2022		
003	1234560000619		22/08/2022	22/08/2022		
004	1234560000585		22/08/2022	22/08/2022		

(1) : Date à laquelle l'échantillon a été réceptionné au laboratoire.

Lorsque l'information n'a pas pu être récupérée, cela est signalé par la mention N/A (non applicable).

(2) : Date à laquelle le laboratoire disposait de toutes les informations nécessaires pour finaliser l'enregistrement de l'échantillon.

Annexe 2 – Emplacements des points de prélèvement (Photos)

Point 1
À proximité de la clinique



Point 2
Carrefour chêne ferré



Point 3
Habitations de long de l'allée des coquetiers



Point 4
Bois le long de l'allée des coquetiers.



Fin du rapport R22-205 Ré.0

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- liaire 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 silici- que, 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 nasopharyn- gée 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, 5 j/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, d'avantage 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 cancérigènes

[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 diisononyle 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., Hartsky 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 | Hannoniaux 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 | Paireon 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.

FICHE TOXICOLOGIQUES I.N.R.S.

BENZENE

TOLUENE

XYLENES

Benzène

Fiche toxicologique n°49

Généralités

Edition _____ 2011

Formule :



Substance(s)

Formule Chimique	Détails	
C ₆ H ₆	Nom	Benzène
	Numéro CAS	71-43-2
	Numéro CE	200-753-7
	Numéro index	601-020-00-8



BENZÈNE

Danger

- H225 - Liquide et vapeurs très inflammables
- H350 - Peut provoquer le cancer
- H340 - Peut induire des anomalies génétiques
- H372 - Risque avéré d'effets graves pour les organes à la suite d'expositions répétées ou d'une exposition prolongée
- H304 - Peut être mortel en cas d'ingestion et de pénétration dans les voies respiratoires
- H319 - Provoque une sévère irritation des yeux
- H315 - Provoque une irritation cutanée

Les conseils de prudence P sont sélectionnés selon les critères de l'annexe 1 du règlement CE n° 1272/2008.
200-753-7

Selon l'annexe VI du règlement CLP

ATTENTION : pour la mention de danger H372, se reporter à la section "Réglementation".

Caractéristiques

[1]

La vente et l'emploi du benzène sont strictement réglementés.

Le benzène et les préparations en renfermant plus de 0,1 % en poids ne doivent pas être mis à la disposition du public (usage contrôlé réservé aux professionnels).

Les carburants échappent à ces limitations ; toutefois la teneur autorisée en benzène dans l'essence sans plomb a été réduite de 5 % à 1 % en volume en 2000.

En milieu professionnel, il est interdit d'employer des dissolvants ou diluants renfermant plus de 0,1 % en poids de benzène sauf lorsqu'ils sont utilisés en vase clos.

Le benzène est largement utilisé dans l'industrie comme intermédiaire de synthèse :

- principalement éthylbenzène, cumène, cyclohexane ;

- également nitrobenzènes, chlorobenzènes, alkylbenzènes, anhydride maléique, qui sont des produits de base de nombreuses fabrications (styrène, phénol, élastomères, résines, colorants, pesticides, produits pharmaceutiques, détergents...).

Il peut également être utilisé comme agent d'extraction dans l'industrie des parfums ; selon les sources de l'industrie concernée, cette utilisation tendrait à disparaître en France depuis 1995.

Le benzène est utilisé dans les laboratoires d'analyse et de recherche.

Enfin, il est naturellement présent dans les carburants (en particulier l'essence sans plomb qui peut en renfermer jusqu'à 1 % en volume) et dans de nombreux produits dérivés du pétrole et dans des substances complexes provenant de la houille.

Propriétés physiques

[1, 2, 4 à 6]

Le benzène est un liquide incolore, d'odeur aromatique, perceptible à l'odorat à des concentrations de l'ordre de 5 ppm. Il renferme moins de 0,1 % d'impuretés : toluène (0,015 %), composés non aromatiques (0,04 %) ; méthylcyclohexane + toluène représentent 0,02 %.

Il est pratiquement insoluble dans l'eau (0,180 g pour 100 g à 25 °C). Il est miscible à la plupart des solvants organiques.

Il forme des mélanges azéotropiques avec l'eau (91,17 %p de benzène, point d'ébullition 69,25 °C), des alcools et des hydrocarbures.

C'est un excellent solvant pour un grand nombre de substances naturelles ou de synthèse (huiles, graisses, résines).

Nom Substance	Détails	
Benzène	Formule	C₆ H₆
	N° CAS	71-43-2
	Etat Physique	Liquide
	Masse molaire	78,11
	Point de fusion	5,5 °C
	Point d'ébullition	80,1 °C
	Densité	0,879
	Densité gaz / vapeur	2,7
	Pression de vapeur	9,97 kPa à 20 °C 12,6 kPa à 25 °C
	Indice d'évaporation	3 (oxyde de diéthyle = 1)
	Point d'éclair	-11 °C (coupelle fermée)
	Température d'auto-inflammation	555 °C (538°C à 580°C selon les sources)
	Limites d'explosivité ou d'inflammabilité (en volume % dans l'air)	Limite inférieure : 1,2 % limite supérieure : 8,0 %
	Coefficient de partage n-octanol / eau (log Pow)	2,13

À 20 °C et 101,3 kPa, 1 ppm = 3,25 mg/m³

Propriétés chimiques

[1, 2, 4]

Le benzène est stable à température ambiante.

Toutefois, il réagit avec de nombreux composés (substitution, addition, rupture du cycle) et constitue une matière première importante en synthèse organique. Pour le benzène, ce sont les réactions de substitution qui sont le plus utilisées dans l'industrie.

Le benzène peut réagir vivement avec les oxydants puissants et les acides forts ; l'acide nitrique et les mélanges sulfonitrique conduisent à la formation de nitrobenzènes explosifs ; l'acide sulfurique concentré donne de l'acide benzènesulfonique ; ces réactions sont exothermiques.

Réipients de stockage

Le benzène peut être stocké dans des récipients en acier ou en acier inoxydable.

Le verre est également utilisé pour de petites quantités.

Valeurs Limites d'Exposition Professionnelle

Une valeur limite d'exposition professionnelle réglementaire **contraignante** dans l'air des lieux de travail a été établie en France pour le benzène (article R. 4412-149 du Code du travail).

Substance	Pays	VME (ppm)	VME (mg/m ³)	VLCT (ppm)	VLCT (mg/m ³)
-----------	------	-----------	--------------------------	------------	---------------------------

Benzène	France (VLEP réglementaire contraignante - 2006)	1	3,25	-	-
Benzène	Union européenne (VLEP contraignante - 1997)	1	3,25	-	-
Benzène	États-Unis (ACGIH)	0,5	1,6	2,5	8

Méthodes de détection et de détermination dans l'air

- Prélèvement au travers d'un tube rempli de charbon actif. Dosage par chromatographie en phase gazeuse avec détection par ionisation de flamme ou spectrométrie de masse après désorption au sulfure de carbone [29 à 32] .
- Prélèvement passif par diffusion sur un badge rempli de charbon actif ou sur un tube à désorption thermique rempli de Porapak Q ou de Tenax. Dosage par chromatographie en phase gazeuse avec détection par ionisation de flamme après désorption au sulfure de carbone [33] ou désorption thermique [34] .
- L'utilisation d'appareils à réponse instantanée équipés des tubes réactifs colorimétriques DRAEGER (Benzène 0,5/a et 0,5/c) ou GASTEC (Benzène 121L) est possible en première approche, mais n'assure toutefois ni la sélectivité ni la précision nécessaires à une comparaison aux valeurs limites d'exposition professionnelle.

Incendie - Explosion

[2, 4]

Le benzène est un liquide très inflammable (point d'éclair en coupelle fermée = -11,1 °C) dont les vapeurs peuvent former des mélanges explosifs avec l'air.

En cas d'incendie, les agents d'extinction préconisés sont le dioxyde de carbone, les poudres chimiques, les mousses.

Refroidir à l'aide d'eau pulvérisée les fûts exposés ou ayant été exposés au feu.

Les intervenants, qualifiés, seront équipés d'appareils de protection respiratoire isolants autonomes et de combinaisons de protection spéciales.

Pathologie - Toxicologie

Toxicocinétique - Métabolisme

[1]

Le benzène est absorbé par toutes les voies d'exposition. Il est rapidement distribué, préférentiellement dans les tissus riches en lipides. La métabolisation a principalement lieu dans le foie ainsi que dans la moelle osseuse et le métabolisme oxydatif est nécessaire au développement d'effets toxiques. Une partie du benzène peut être exhalée sous forme non métabolisée, mais la plus grande partie est métabolisée et les métabolites sont excrétés sous forme conjuguée, principalement dans l'urine.

Chez l'animal

Absorption chez l'animal

Le benzène est facilement absorbé au niveau du tractus gastro-intestinal puisque plus de 80 % de la dose orale est absorbée chez le lapin et plus de 97 % chez le rat et la souris. Après inhalation, on retrouve chez les rongeurs 10 à 50 % de la dose administrée dans le sang et les tissus et, chez l'homme, plusieurs études évaluent l'absorption par cette voie à 50 %. Le benzène liquide ou les vapeurs de benzène sont également absorbés par voie cutanée mais de façon moindre : chez l'homme, une étude *in vitro* estime l'absorption cutanée de benzène liquide à 0,2 % et, *in vivo*, 0,05 % des vapeurs semblent absorbées par la peau. En milieu professionnel, le benzène est absorbé essentiellement par voie pulmonaire et, à un moindre degré, par voie percutanée.

Distribution chez l'animal

Le benzène se distribue préférentiellement dans les tissus riches en lipides. Des niveaux importants sont observés dans les tissus adipeux, le cerveau, le sang, les reins et le foie par inhalation chez l'homme ainsi que dans la moelle osseuse, les glandes mammaires et les glandes de Zymbal après inhalation ou ingestion chez le rat. Le benzène peut également traverser le placenta chez l'homme et l'animal et des concentrations comparables sont observées dans le sang maternel et le sang du cordon ombilical.

Métabolisme chez l'animal

Le benzène est métabolisé essentiellement dans le foie, mais aussi dans les autres tissus où il s'est fixé, notamment la moelle osseuse.

La première réaction, catalysée par le système du cytochrome P450 (CYP2E1), conduit à la formation d'époxybenzène. L'absence d'effets néfastes chez les souris knockout CYP2E1 (souris dépourvue de l'activité enzymatique CYP2E1) montre que cette étape de métabolisation est essentielle dans la toxicité du benzène [7] . En effet, les métabolites responsables des effets toxiques sont formés à partir de l'époxybenzène très réactif par différentes voies d'oxydation (voir fig. 1 page suivante).

Les mêmes voies métaboliques semblent communes aux différentes espèces mais avec des variations quantitatives. La formation de dérivés conjugués est plus importante chez le rat que chez la souris. Des études par voie intra-péritonéale (ip) ou intra-veineuse (iv) indiquent que les primates métabolisent le benzène majoritairement en conjugués phénoliques, et l'oxydation en composés toxiques comme l'hydroquinone et l'acide trans,trans-muconique est moindre que chez la souris. Chez l'homme, les enzymes des cytochromes P450 sont présentes avec une grande variabilité inter-individuelle, et *in vitro* l'activité des différentes enzymes du métabolisme du benzène varie d'un facteur 3 selon les individus avec des valeurs comprises entre celles du rat et de la souris [8] .

Divers produits peuvent interférer avec le métabolisme du benzène. L'éthanol et, de façon moins claire, le phénobarbital stimulent le métabolisme du benzène. À l'inverse, le toluène inhibe par compétition la transformation du benzène en phénol. Par ailleurs, l'administration répétée de benzène à faible dose réduit l'activité du CYP2E1.

Élimination chez l'animal

Après inhalation, ingestion ou application cutanée, le benzène se retrouve principalement tel quel dans l'air expiré et sous forme métabolisée dans les urines. Chez la souris, après ingestion de faibles quantités, 90 % de la dose est excrétée dans les urines alors que pour des doses plus élevées, une proportion plus importante est exhalée sous forme non métabolisée, ce qui indique une saturation du métabolisme du benzène.

Lors d'une exposition chronique, l'élimination pulmonaire varie entre 10 et 50 % de la quantité absorbée ; elle se poursuit au moins 24 heures après l'arrêt de l'exposition. Les phénols urinaires correspondent au métabolisme de 30 à 40 % du benzène et sont à 90 % sous forme sulfoconjuguée. Les métabolites conjugués de l'hydroquinone, du catéchol et l'acide muconique sont également présents dans l'urine.

La quantité urinaire de benzène non métabolisé représente moins de 1 % du benzène administré.

L'élimination urinaire se poursuit pendant 24 à 36 heures.

Une faible quantité de métabolites glucuroconjugués peut également être retrouvée dans les fèces après passage dans la bile.

Surveillance biologique de l'exposition

Différents paramètres sont proposés pour évaluer l'exposition au benzène : dosage dans le sang du benzène ; dosage dans les urines du benzène, de l'acide trans,trans-muconique (t,t-MA) et de l'acide S-phénylmercapturique (S-PMA) ; dosage dans l'air expiré du benzène.

Pour confirmer une exposition au benzène du jour même, on peut utiliser :

- le dosage de l'acide trans,trans-muconique urinaire et celui de l'acide S-phénylmercapturique urinaire, prélèvements réalisés en fin de poste de travail ;
- le dosage du benzène urinaire et sanguin immédiatement en fin de poste ; pour ces deux dosages, il faut se méfier d'une contamination du prélèvement et rechercher un tabagisme.

Ces paramètres sont spécifiques et sensibles (avec une sensibilité meilleure pour le S-PMA permettant d'apprécier des expositions de l'ordre de 1 % de la VLEP-8h).

Sont retenues comme BEI (Biological Exposure Index) de l'ACGIH : l'acide trans,trans-muconique urinaire et l'acide S-phénylmercapturique urinaire.

Voir Recommandations § Au point de vue médical [22].

Schéma métabolique

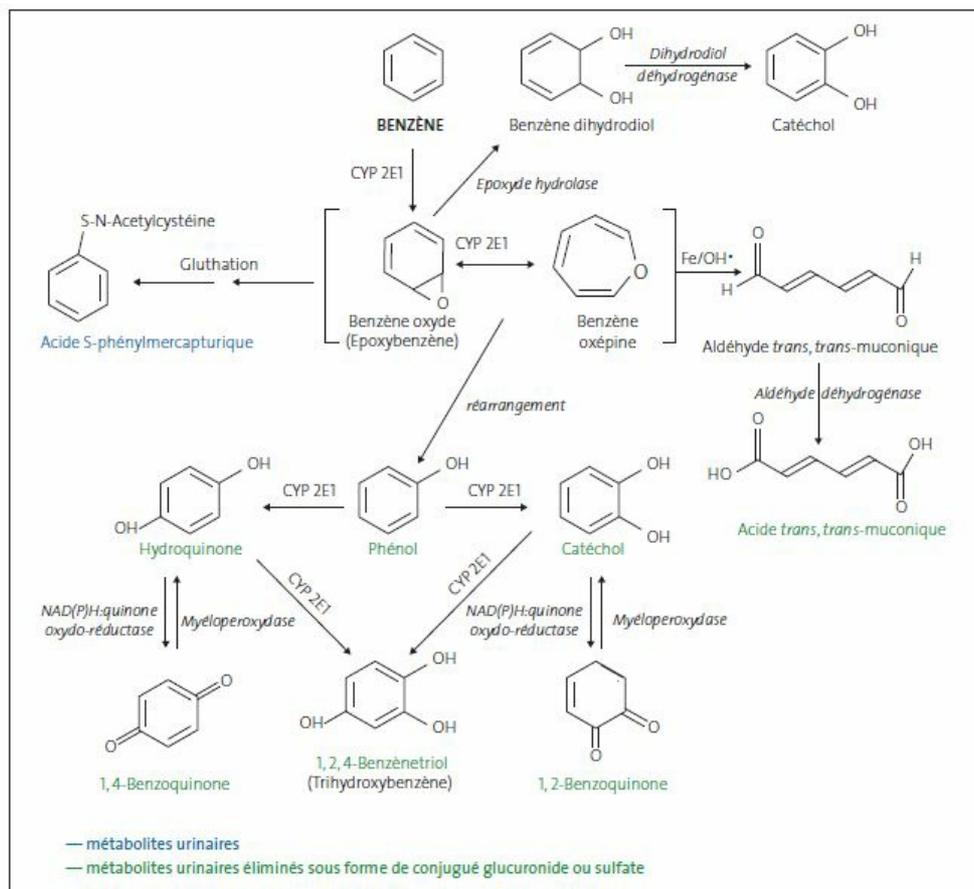


Fig. 1. Métabolisme du benzène [9]

Toxicité expérimentale

Toxicité aiguë

[1]

La toxicité aiguë du benzène est faible par voie orale, inhalatoire ou cutanée mais il provoque des irritations persistantes sur la peau et l'œil.

Les données de DL50 par voie orale chez les rongeurs varient entre 810 et 10 000 mg/kg mais la DL50 se situe vraisemblablement autour de 5 000 mg/kg, avec une sensibilité accrue des jeunes rats (DL50 de 3 400 mg/kg chez les rats âgés de 14 jours).

Par voie cutanée, la DL50 chez le lapin et le cobaye est supérieure à 8260 mg/kg.

La CL50 par inhalation est de 13 700 ppm pour une exposition de 4 heures chez le rat et de 10 400 ppm pour 7 heures chez la souris.

L'inhalation est responsable :

- d'effets neurologiques centraux : excitation, mouvements anormaux, tremblements, puis somnolence à partir de 2000 ppm chez la souris (durée non précisée) ;
- d'effets hématologiques : diminution des cellules souches chez la souris exposée à 4680 ppm pendant 8 heures ;
- d'effets cardiaques : troubles de l'excitabilité chez le chat et le lapin exposés à une atmosphère saturée en benzène.

L'application de benzène sur la peau de cobaye et de lapin entraîne une irritation cutanée qui persiste plus de 72 heures. L'instillation oculaire de 0,10 mL de benzène induit une irritation de la cornée et de la conjonctive chez la souris, une irritation et une atteinte de la cornée persistante chez le lapin. Des cataractes ont été décrites chez le rat après exposition à 50 ppm pendant plus de 600 heures. Aucune donnée n'est disponible sur la sensibilisation.

Toxicité subchronique, chronique

[1]

Le principal organe cible du benzène est le système hématopoïétique et il provoque chez l'animal une diminution des taux de globules blancs, de globules rouges et de nombreuses cellules souches.

Les effets critiques après administration répétée de benzène se manifestent sur le système hématopoïétique, quelle que soit la voie d'administration.

Par inhalation chez la souris, des effets hématologiques sont observés à partir de 10 ppm. Le benzène induit une diminution des différentes cellules sanguines (globules blancs, globules rouges, plaquettes) ainsi qu'une diminution des cellules souches de la moelle osseuse, à différents stades de leur différenciation. Des effets sur la fonction immunitaire sont notés à partir de 30 ppm (diminution de la capacité de prolifération des lymphocytes en réponse à un mitogène, diminution de la production d'anticorps et retard dans la réponse des macrophages et cellules T à une infection bactérienne). Une dépression de l'activité neurocomportementale accompagnée d'une diminution de l'activité acétylcholinestérase dans le cerveau et le sang ont également été relevées chez les souris exposées à 12,52 ppm de benzène, 2 h/j pendant 30 jours.

Par inhalation chez le rat, une diminution des globules blancs et des lymphocytes est notée à partir de 300 ppm, 6 h/j, 5 jours par semaine, pendant 90 jours.

L'inhalation de benzène pendant 4 semaines ne modifie pas les fonctions immunitaires jusqu'à 200 ppm chez le rat.

Par voie orale chez la souris, le même type d'effets hématologiques est observé (leucopénie, diminution du taux de lymphocytes dose-dépendante à partir de 25 mg/kg/j, 5 j/semaine pendant 103 semaines). Des études de 4 semaines dans l'eau de boisson montrent également des effets neuromodulateurs : le benzène induit une stimulation de l'activité hypothalamique-hypophysaire-adrénocorticale (augmentation de la norépinéphrine dans l'hypothalamus et de l'ACTH/corticostérone dans le sang) à partir de 8 mg/kg/j et produit une augmentation des concentrations en dopamine, indoléamine sérotonine et en certaines catécholamines dans différentes parties du cerveau à partir de 31 mg/L.

Par voie orale chez le rat, le benzène induit une leucopénie ainsi qu'une diminution du taux de lymphocytes à partir de 200 mg/kg et 50 mg/kg chez les mâles exposés respectivement pendant 17 et 103 semaines, et à partir de 25 mg/kg chez les femelles. Une diminution des cellules lymphatiques dans la rate est également observée.

Effets génotoxiques

[1, 9]

Le benzène est génotoxique et il induit des aberrations chromosomiques et des micronoyaux in vivo chez l'animal. Les effets sont établis sur les cellules somatiques et sur les cellules germinales.

Une des particularités du benzène est que la plupart des résultats des tests *in vitro* sont négatifs : il n'exerce pas d'action mutagène directe sur les bactéries et des résultats variables sont obtenus sur les cellules de mammifères.

Cependant, *in vivo*, de nombreuses études indiquent clairement que le benzène induit des aberrations chromosomiques et des micronoyaux sur moelle osseuse chez l'animal. Par voie orale, le test du micronoyau est positif chez la souris à partir de 25 mg/kg après exposition unique ou répétée (4 mois) [10-11]. Par voie inhalatoire, des aberrations chromosomiques sont observées à partir de 10 ppm pendant 2 semaines chez le rat [12] ainsi que des micronoyaux après une exposition unique à 10 ppm chez la souris. L'induction de mutations a également été mise en évidence chez la souris dans les tissus de poumon et de rate mais pas dans le foie (mutation du gène de bactériophage *Lacl* chez la souris transgénique) [13]. Il est également constaté que des aberrations chromosomiques se produisent dans les cellules germinales chez la souris, à des doses similaires à celles induisant des effets sur les cellules somatiques [14].

Enfin, une étude par voie intrapéritonéale indique que le benzène a le potentiel d'induire des effets mutagènes à travers le placenta chez la souris.

Effets cancérogènes

[1, 3]

Des études par voies orale et inhalatoire montrent que le benzène est cancérogène chez l'animal. Les organes cibles sont le système hématopoïétique et différents tissus d'origine épithéliale, indiquant que le benzène est un cancérogène systémique.

La cancérogénicité a été examinée dans différentes études par voie orale et inhalatoire chez le rat et la souris. Les organes cibles semblent identiques quelles que soient les voies d'exposition.

Sur le plan hématologique, l'apparition de lymphomes est observée chez des souris exposées au benzène par inhalation (à partir de 300 ppm, 6 h/j, 5 j/semaine pendant toute la vie) et par voie orale (à partir de 25 mg/kg, 5 j/semaine pendant 103 semaines). En revanche, le rôle du benzène dans la survenue de leucémies et de myélomes n'est pas démontré chez l'animal. Les tumeurs de la glande de Zymbal sont les plus fréquemment retrouvées lors de l'administration orale chez le rat et la souris. Des cancers de la cavité buccale sont également observés chez le rat par voie orale à partir de 250 mg/kg. L'irritation locale pourrait être un facteur déclenchant. On observe également des tumeurs pulmonaires, de la glande de Harder (glande lacrymale présente chez certains animaux), de la glande préputiale, des glandes mammaires et des ovaires chez la souris, des tumeurs de la cavité nasale et de la peau chez le rat et, dans les deux espèces, des tumeurs hépatiques et du préstomac.

Effets sur la reproduction

[1, 17]

Les données animales montrent des dommages testiculaires mais ne permettent pas de conclure avec certitude sur un danger pour la fertilité et le benzène ne semble pas toxique pour le développement.

L'exposition de rats, cobayes et lapins mâles à une concentration atmosphérique de 80 ppm, 7 h/j, 5 j/semaine pendant 8 à 10 mois, provoque des lésions testiculaires. Chez la souris exposée à 300 ppm, 6 h/j, 5 j/semaine pendant 90 jours, on constate une atrophie et une dégénérescence des testicules, une diminution du nombre des spermatozoïdes et une augmentation du pourcentage de formes anormales. Dans une expérience menée chez le rat femelle exposé à une concentration atmosphérique de 10 ppm pendant 4 mois (temps d'exposition quotidien non précisé), il a été noté une diminution de la durée du cycle menstruel et une augmentation de la durée de la menstruation.

On ne dispose que de peu d'informations en ce qui concerne l'action du benzène sur la fertilité : un test de dominance létale est négatif chez le rat mâle après une injection intrapéritonéale de 0,5 mL/kg ; chez le rat femelle, l'exposition à 10 ppm pendant 4 mois (durée d'exposition quotidienne non précisée) ne semble pas avoir d'effet sur la fertilité.

Les études concernant les effets du benzène sur la gestation sont plus nombreuses. Le transfert placentaire est probablement important en raison du faible poids moléculaire et de la grande liposolubilité de la molécule. Chez la souris et le lapin, aucun effet embryolétal ni tératogène n'a été relevé, quelle que soit la voie d'administration, même aux doses de toxicité maternelle. Chez le rat, une fœtotoxicité s'exprime à fortes doses par une diminution du poids fœtal, des anomalies squelettiques et un retard d'ossification. Elle semble liée à la toxicité maternelle.

Toxicité sur l'Homme

Comme pour la plupart des solvants organiques, le benzène provoque des troubles digestifs et neurologiques, avec en cas d'ingestion, une pneumopathie d'inhalation. Le benzène est irritant pour la peau et induit des lésions oculaires superficielles. Les expositions répétées peuvent provoquer des troubles neurologiques (syndrome psycho-organique) et digestifs. La toxicité est avant tout hématologique : thrombopénie, leucopénie, aplasie médullaire mais surtout des hémopathies malignes et des lymphopathies. L'union européenne a classé le benzène cancérigène pour l'homme. Des effets génotoxiques sont observés en cas d'exposition professionnelle. Des effets sur la fonction de reproduction sont rapportés ; les effets sur la grossesse mal caractérisés en dehors d'une fréquence accrue d'avortements.

Toxicité aiguë

[3, 15, 19]

Le benzène partage la toxicité aiguë de tous les solvants hydrocarbonés. L'ingestion provoque : des troubles digestifs (douleurs abdominales, nausées, vomissements), des troubles neurologiques (troubles de conscience, ivresse puis somnolence pouvant aller jusqu'au coma, convulsions à très hautes doses) et une pneumopathie d'inhalation (due à l'inondation des voies respiratoires par le produit et aggravée par les vomissements éventuels).

Lors d'intoxications par inhalation, les mêmes symptômes neurologiques apparaissent pour des concentrations variables selon les individus ; les chiffres suivants sont donnés à titre indicatif : pas d'effet à 25 ppm, céphalées et asthénie de 50 à 100 ppm, symptômes plus accentués à 500 ppm, tolérance seulement pendant 30 à 60 minutes à 3000 ppm, mort en 5 à 15 minutes à 20 000 ppm. Des convulsions sont observées aux plus hautes doses.

En application cutanée, le benzène est irritant. La projection oculaire de solutions de benzène entraîne une sensation modérée de brûlure mais seulement des lésions peu importantes et transitoires des cellules épithéliales.

Toxicité chronique

Toxicité non hématologique [7, 16, 17]

L'inhalation de benzène provoque des troubles neuropsychiques communs à ceux observés avec les autres solvants et regroupés sous le terme « syndrome psycho-organique » : irritabilité, diminution des capacités d'attention et de mémorisation, syndrome dépressif, troubles du sommeil... Des troubles digestifs, tels que nausées, vomissements, épigastralgies, peuvent être observés. Par contact cutané prolongé, le benzène entraîne des irritations locales.

Aucune étude n'a prouvé la responsabilité du benzène dans la genèse des cancers autres que ceux du système hématopoïétique et lymphopoiétique.

Troubles hématologiques non malins [16, 19, 20]

Le rôle du benzène dans la survenue d'hémopathies non malignes est prouvé par de nombreuses études individuelles et épidémiologiques. D'après les résultats de ces dernières, le seuil de toxicité semble pouvoir être fixé, pour des groupes, à 10 ppm ; toutefois cette valeur n'exclut pas la possibilité de survenue d'anomalie pour des expositions plus faibles.

La thrombopénie est le signe le plus précoce et le plus fréquent de l'intoxication. Une leucopénie ou parfois une hyperleucocytose, une anémie ou, beaucoup plus rarement, une polyglobulie peuvent également être notées. La difficulté d'interprétation des anomalies modérées (liée à la variabilité intra-individuelle, inter-individuelle et raciale des paramètres de la numération formule sanguine et à la difficulté d'en définir la normalité) justifie néanmoins une certaine prudence. Les anomalies évoluent dans la grande majorité des cas vers la régression à l'arrêt de l'exposition : elles ne seraient que très rarement le prélude à une hémopathie plus sévère.

L'aplasie médullaire benzénique est devenue exceptionnelle en France depuis l'application des mesures de prévention prévues par la réglementation. Le délai d'apparition de la maladie par rapport au début de l'exposition varie de quelques mois à plusieurs dizaines d'années. D'après certains, une première atteinte sanguine par le benzène favoriserait la survenue d'une aplasie médullaire après réexposition. Cette aplasie, précédée pendant plus ou moins longtemps d'une hypoplasie, peut débuter sur une seule lignée (plaquettaire ou blanche) avant de se généraliser. Le médullogramme est typiquement pauvre ; mais parfois il est initialement normal ou riche : hyperplasie granuleuse et mégacaryocytaire, augmentation des éléments jeunes et immatures. En cas de guérison, l'évolution peut se faire vers une leucémie dans un délai variable (de plusieurs années souvent).

Hémopathies malignes et lymphopathies [3, 16, 17, 21]

Le Centre international de recherche sur le cancer (CIRC) considère qu'il existe des indices suffisants de cancérogénicité chez l'homme (le benzène figure dans le groupe 1). L'Union européenne a également classé le benzène cancérigène chez l'homme.

De très nombreux rapports de cas et plusieurs études épidémiologiques de cohortes attestent le pouvoir leucémogène du benzène pour des expositions extrêmement variables (< 1 ppm à > 100 ppm) ; le benzène n'est pas toujours l'unique polluant des postes de travail concernés.

D'après certains, une leucémie benzénique serait toujours précédée de troubles non malins ; plusieurs cas de leucémies après guérison d'épisodes antérieurs d'anomalies sanguines induites par le benzène ont été décrits. Le type myélocytaire est le plus fréquent. On a mis en évidence une relation dose-effet entre l'importance de l'exposition en ppm/mois et l'incidence des leucémies ; par contre, aucun lien n'a été trouvé entre l'apparition de leucémies et l'importance des pics maximum d'exposition (envisagés indépendamment de l'exposition cumulée), l'âge à la première exposition au benzène, la durée d'exposition et le délai écoulé entre le début de l'exposition et la survenue de la maladie. Plusieurs problèmes demeurent cependant non résolus : en effet, différentes observations suggèrent la responsabilité du benzène dans d'autres types de leucémies : leucémies lymphoïdes chroniques, leucémies aiguës lymphoïdes, leucémies myéloïdes chroniques, leucémies aiguës myéloïdes non myélocytaires. Il persiste toutefois des incertitudes ; l'incidence des leucémies benzéniques diminue en raison de la baisse des concentrations atmosphériques en milieu professionnel et du nombre d'exposés ; aucune étude épidémiologique ne pourra donc mettre en évidence avec une puissance suffisante ces effets potentiels. Par ailleurs, la forme de la relation dose-effet et une dose seuil éventuelle ne peuvent être définies, faute d'étude avec métrologie correcte.

D'après une étude épidémiologique réalisée en Chine, des travailleurs exposés pendant 10 ans à des colles contenant du benzène avaient un risque plus élevé (4,2 ; 1,1 - 15,9) de développer un lymphome non hodgkinien [12].

Effets génotoxiques

[16 à 18]

Les études conduites chez des sujets modérément exposés sont le plus souvent négatives ; on n'a pas détecté d'augmentation des lésions chromosomiques pour des concentrations atmosphériques inférieures à 15 ppm. Cependant, les résultats de ces enquêtes sont souvent difficilement interprétables en raison de la fréquence des poly-expositions à des toxiques potentiellement mutagènes, de la faiblesse des effectifs et des insuffisances de la métrologie.

Lors d'expositions professionnelles plus importantes, des aberrations chromosomiques lymphocytaires ou des instabilités chromosomiques sont presque constantes ; ces anomalies peuvent persister plusieurs années après l'exposition, la fréquence des lésions chromosomiques n'a pas été relevée (les données métrologiques sont parfois incomplètes).

En conclusion, aucune relation ne peut être actuellement établie entre les types de lésions chromosomiques observées *in vitro* et les effets sur la santé, ni même entre l'existence de lésions chromosomiques et la survenue ultérieure éventuelle d'un état pathologique.

Effets sur la reproduction

Dans une étude de sur un nombre restreint de femmes exposées à un mélange de benzène, toluène et xylènes à des concentrations atmosphériques moyennes en benzène de 8,8 ppm (0,90 - 876,47), des modifications des taux de FSH et de métabolites estrogéniques suggèrent une possible action de ces solvants sur l'axe hypothalamo-hypophysaire [23].

Chez la femme, des troubles menstruels, surtout hémorragiques, sont rapportés par plusieurs publications mais on ne sait pas s'ils sont indépendants de la pathologie hématologique, et la méthodologie de ces études n'est pas toujours précisée. Dans une étude, l'incidence des troubles menstruels est liée à la durée d'exposition [18, 24].

Les résultats de plusieurs études suggèrent une possible altération du sperme chez des sujets exposés à des mélanges de solvants hydrocarbonés dont le benzène. La responsabilité de chaque solvant ne peut être individualisée [27, 28].

Lors de la grossesse, le transfert placentaire est prouvé : la concentration en benzène au sang du cordon chez le nouveau-né est au moins égale à celle de la mère exposée au produit. Aucun élément ne permet de conclure à une tératogénicité ou à une fœtotoxicité.

Quelques études suggèrent une fréquence accrue des avortements chez les femmes exposées au benzène ; l'exposition fréquente à des risques professionnels variés et des problèmes méthodologiques rendent l'interprétation de ces enquêtes souvent difficile [18, 25]. Dans une étude de cohorte, il n'a pas été mis en évidence de liaison entre l'exposition professionnelle du père au benzène et un risque d'avortement spontané [26].

Réglementation

Rappel : La réglementation citée est celle en vigueur à la date d'édition de cette fiche : 3^e trimestre 2011

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 cancérigènes, mutagènes, toxiques pour la reproduction dits CMR, de catégorie 1A ou 1B)

- Articles R. 4412-59 à R. 4412-93 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.

Prévention des incendies et des explosions

- Articles R. 4227-1 à R. 4227-41 du Code du travail.
- Articles R. 4227-42 à R. 4227-57 du Code du travail.
- Décret 96-1010 modifié du 19 novembre 1996 (JO du 24 novembre 1996) relatif aux appareils destinés à être utilisés en atmosphère explosible.

Valeurs limites d'exposition professionnelle (Françaises)

- Article R. 4412-149 du Code du travail : Décret n° 2006-133 du 9 février 2006.

Valeurs limites d'exposition professionnelle (Européennes)

- Directive 1999/38/CE du Conseil du 29 avril 1999 (*JOCE* du 1^{er} juin 1999).

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 ; tableaux n° 4, 4bis et 84.

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).

Surveillance médicale post-professionnelle

- Article D. 461-25 du Code de la sécurité sociale.
- Arrêté du 28 février 1995 (*JO* du 22 mars 1995) fixant le modèle-type d'attestation d'exposition et les modalités d'examen dans le cas du suivi post professionnel : annexe 1 et annexe 2 modifiée par l'arrêté du 6 décembre 2011 (*JO* du 15 décembre 2011).

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.
- Femmes enceintes ou allaitant : article D. 4152-10 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** benzène :

Le règlement CLP (règlement (CE) n° 1272/2008 modifié du Parlement européen et du Conseil du 16 décembre 2008 (L 353, *JOUE* du 31 décembre 2008)) introduit dans l'Union européenne le système général harmonisé de classification et d'étiquetage ou SGH. La classification et l'étiquetage du benzène harmonisés selon les deux systèmes (règlement et directive 67/548/CEE) figurent dans l'annexe VI du règlement CLP. La classification est :

- selon le règlement (CE) n° 1272/2008 modifié
 - Liquides inflammables, catégorie 2 ; H 225
 - Cancérogénicité, catégorie 1A ; H 350
 - Mutagénicité sur les cellules germinales, catégorie 1B ; H 340
 - Toxicité spécifique pour certains organes cibles - Exposition répétée, catégorie 1 ; H 372 (**)
 - Danger par aspiration, catégorie 1 ; H 304
 - Lésions oculaires graves/irritation oculaire, catégorie 2 ; H 319
 - Corrosion/irritation cutanée, catégorie 2 ; H 315

(**) Selon les règles de classification préexistante, la classification s'appliquait pour une voie d'exposition donnée uniquement dans les cas où il existait des données justifiant la classification en fonction de cette voie. Le règlement CLP prévoit que la voie d'exposition ne doit être indiquée dans la mention de danger que s'il est formellement prouvé qu'aucune autre voie ne peut conduire au même danger. Faute d'informations sur les voies d'exposition non classées (absence de données ou absence d'effet), la classification préexistante a été convertie en classification CLP mais sans précision de voie d'exposition".

- selon la directive 67/548/CEE
 - Facilement inflammable ; R 11
 - Cancérogène, catégorie 1 ; R 45
 - Mutagène, catégorie 2 ; R 46
 - Toxique ; R 48/23/24/25
 - Nocif ; R 65
 - Irritant ; R 36/38

b) **mélanges** (préparations) contenant du benzène :

- Règlement (CE) n° 1272/2008 modifié

Les lots de mélanges classés, étiquetés et emballés selon la directive 1999/45/CE peuvent continuer à circuler sur le marché jusqu'au 1er juin 2017 sans réétiquetage ni réemballage conforme au CLP.

Interdiction / Limitations d'emploi

- Décret n° 87-729 du 28 août 1987 : interdiction de mettre à la disposition du public des dissolutions de caoutchouc et des colles à boyaux renfermant plus de 0,2 % en poids de benzène.
- Arrêté du 7 août 1997 (*JO* du 17 août 1997) : interdiction de mise sur le marché ou d'importation à destination du public du benzène et des préparations en renfermant 0,1 % ou plus.

- Article R. 4412-162 du Code du travail : interdiction d'employer des dissolvants ou diluants renfermant plus de 0,1 % en poids de benzène (sauf lorsqu'ils sont utilisés en vase clos).
- Règlement (UE) n° 552/2009 de la Commission du 22 juin 2009 modifiant l'annexe XVII du règlement (CE) n° 1907/2006 (REACH) relative aux restrictions applicables à certaines substances dangereuses (point 5 : benzène).

Protection de la population

Article L. 1342-2, articles R. 5132-43 à R. 5132-73, articles R. 1342-1 à 1342-12 du Code de la santé publique :

- détention dans des conditions déterminées (article R. 5132-66) ;
- étiquetage (cf. Classification et étiquetage) ;
- cession réglementée (articles R. 5132-58 et R. 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.installationsclassees.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

En raison de la toxicité du benzène et, notamment, de ses propriétés cancérogènes, des mesures sévères de prévention s'imposent et des exigences particulières sont à respecter lors de son stockage et de sa manipulation.

Au préalable, l'employeur doit étudier la possibilité de remplacer le benzène par une autre substance moins dangereuse pour la santé des travailleurs. Lorsque la substitution est techniquement impossible, il prendra les mesures nécessaires pour éviter ou, à défaut, réduire le plus possible l'exposition au benzène.

Au point de vue technique

Stockage

- Stocker le benzène dans des locaux spéciaux, frais et bien ventilés, de préférence à l'extérieur, à l'abri des rayonnements solaires et de toute source de chaleur ou d'ignition (flammes, étincelles...) et à l'écart des produits oxydants. Le sol des locaux sera incombustible, imperméable et formera cuvette de rétention, afin qu'en cas de déversement accidentel le liquide ne puisse se répandre au-dehors.
- Interdire de fumer.
- Mettre le matériel notamment le matériel électrique, y compris l'éclairage, en conformité avec la réglementation en vigueur.
- Prendre toutes dispositions pour éviter l'accumulation d'électricité statique.
- Fermer hermétiquement les récipients et les étiqueter correctement.
- Les locaux seront balisés par une signalisation rappelant la nature du produit. Seul le personnel autorisé et informé pourra y pénétrer.
- Équiper les locaux de détecteurs de fuite et de systèmes d'alarme.
- Prévoir, à proximité immédiate des locaux, des équipements de protection individuelle et des appareils de protection respiratoire pour intervention d'urgence.

Manipulation

Les prescriptions relatives aux zones de stockage sont applicables aux ateliers où est utilisé le benzène. En outre :

- Instruire le personnel des dangers présentés par le produit, des précautions à observer et des mesures à prendre en cas d'accident. Les procédures spéciales feront l'objet d'exercices d'entraînement.
- Limiter, au strict besoin de l'activité, le nombre de personnes susceptibles d'être exposées au benzène.
- Limiter les quantités de benzène sur le lieu de travail.
- Le benzène, les dissolvants ou diluants en renfermant plus de 0,1 % en poids ne doivent être utilisés qu'en appareil clos conformément à l'article R. 4412-162 du Code du travail.
- Ne pas utiliser d'air ou d'oxygène comprimé pour effectuer le transvasement ou la circulation du produit.
- Contrôler régulièrement la teneur de l'atmosphère en benzène. Faire réaliser un contrôle technique annuel par un organisme accrédité afin de vérifier le respect de la valeur limite réglementaire de 1 ppm (3,25 mg/m³).
- Empêcher l'inhalation de vapeurs. Effectuer en appareil clos toute opération industrielle qui s'y prête. Prévoir une aspiration des vapeurs à leur source d'émission ainsi qu'une ventilation générale des locaux. Prévoir également des appareils de protection respiratoire pour certains travaux de courte durée, à caractère exceptionnel ou pour des interventions d'urgence.
- Empêcher le contact du produit avec la peau et les yeux. Mettre à la disposition du personnel des équipements de protection individuelle : vêtements de travail, gants (par exemple en alcool polyvinyle) ; certaines matières telles que le caoutchouc naturel, le caoutchouc butyle, le caoutchouc nitrile, le néoprène sont à éviter [35] et lunettes de sécurité. Ces effets seront maintenus en bon état et nettoyés après chaque usage.
- Prévoir l'installation de douches et de fontaines oculaires.

- Ne pas fumer, boire ou manger dans les ateliers. Observer une hygiène corporelle et vestimentaire très stricte : passage à la douche, lavage soigneux des mains après manipulation et changement de vêtements après le travail, rangement séparé des vêtements de ville et des vêtements de travail. L'employeur assurera l'entretien et le lavage fréquent des vêtements de travail qui devront rester dans l'entreprise.
- Ne jamais procéder à des travaux sur ou dans des cuves et réservoirs contenant ou ayant contenu du benzène sans prendre les précautions d'usage [36].
- En cas de fuite ou de déversement accidentel, récupérer immédiatement le produit après l'avoir recouvert de matériau absorbant inerte (sable, terre). Laver ensuite à grande eau la surface ayant été souillée. Si le déversement est important, supprimer toute source potentielle d'ignition, aérer la zone, évacuer le personnel en ne faisant intervenir que des opérateurs entraînés munis d'un équipement de protection approprié. Dans tous les cas, ne pas autoriser les travailleurs non indispensables et non protégés à rester dans la zone polluée.
- Ne pas rejeter à l'égout ou dans le milieu naturel les eaux polluées par le benzène.
- Conserver les déchets dans des récipients spécialement prévus à cet effet et les éliminer dans les conditions autorisées par la réglementation (incinération contrôlée, par exemple).

Au point de vue médical

À l'embauchage et lors des examens périodiques

- Les recommandations et les instructions techniques destinées aux médecins du travail assurant la surveillance médicale des salariés exposés au benzène, sont décrites dans l'arrêté du 6 juin 1987 (pris en application du décret du 13 février 1986 abrogé en 2001 ; depuis, les nouvelles dispositions visant à limiter l'exposition à des agents cancérogènes introduisent également une nouvelle valeur limite réglementaire pour le benzène, cinq fois plus basse : 1 ppm soit 3,5 mg/m³).
- L'arrêté précise la nature et la fréquence des examens cliniques et biologiques à l'embauchage et lors des examens périodiques. En outre, il donne des valeurs de référence et l'interprétation des résultats pour les examens hématologiques ainsi que les contre-indications et les causes d'inaptitude aux postes de travail exposant au benzène.

Surveillance biologique

Les dosages urinaires de l'acide *trans,trans*-muconique (*t,t*-MA) et de l'acide *S*-phénylmécapturique (*S*-PMA) en fin de poste de travail sont à privilégier, bien corrélés à l'exposition au benzène du jour même. Le *S*-PMA urinaire est un paramètre plus spécifique et plus sensible (permettant d'apprécier des expositions de l'ordre de 1 % de la VLEP-8h) que le *t,t*-MA urinaire (très utile pour des expositions de l'ordre de 10 % de la VLEP-8h mais soumis à de larges variations individuelles liées en partie à un facteur de confusion l'acide sorbique, conservateur de produits cosmétiques et pharmaceutiques, additif alimentaire).

L'ACGIH a établi des valeurs de référence pour la population professionnellement exposée (BEI) pour l'acide *trans,trans*-muconique urinaire à 500 µg/g. créatinine en fin de poste et pour l'acide *S*-phénylmécapturique urinaire à 25 µg/g. créatinine en fin de poste.

Il existe une valeur guide française pour l'acide *trans,trans*-muconique urinaire en fin de poste mais cette valeur n'a pas été revue depuis 1997 (alors que la VLEP-8h a été divisée par 5).

En cas d'accident

- En cas de contact cutané, retirer les vêtements souillés et laver à grande eau pendant quinze minutes. Les vêtements ne seront réutilisés qu'après décontamination. Si une irritation cutanée apparaît ou si la contamination est étendue ou prolongée, une surveillance médicale s'imposera.
- En cas de projection oculaire, laver immédiatement et abondamment à l'eau ou au sérum physiologique pendant 10 à 15 minutes. Une consultation ophtalmologique sera indispensable s'il apparaît une douleur, une rougeur oculaire ou une gêne visuelle.
- En cas d'inhalation massive, retirer le sujet de la zone polluée après avoir pris toutes les précautions nécessaires.
- En cas d'ingestion, ne pas provoquer de vomissements ; on pourra faire absorber du charbon médical activé si le sujet est parfaitement conscient.
- Dans les deux cas, placer la victime en position latérale de sécurité si elle est inconsciente ; en cas d'arrêt respiratoire, commencer la respiration assistée ; même si l'état initial est satisfaisant, transférer en milieu hospitalier, si nécessaire par ambulance médicalisée, où pourront être entrepris une aspiration gastrique éventuelle, une surveillance de l'état de conscience, des fonctions cardiovasculaires, pulmonaires et hépato-rénales, ainsi qu'un traitement symptomatique en milieu de soins intensifs si besoin est.

Bibliographie

- 1 | Benzène. European Union Risk Assessment Report. European Chemicals Bureau, draft ; 2003 (esis.jrc.ec.europa.eu).
- 2 | Kirk-Othmer - Encyclopedia of chemical technology, 4th ed., vol. 4. New York : John Wiley and sons ; 1992 : 73-99.
- 3 | IARC monographs on the evaluation of the carcinogenic risk of chemicals to human. Lyon : International agency for research on cancer ; 1982, vol. 29 : 93-127 ; 1987, suppl. 7 : 120-122.
- 4 | Benzène. In : Base de données HSDB. NLM, 2004 (toxnet.nlm.nih.gov).
- 5 | Henderson RF - Aromatic hydrocarbons - benzene and other alkylbenzene. Patty's toxicology. 5th ed., vol. 4. Eula Bingham, Barbara Cohrssen, Charles H. Powell. New York : John Wiley and sons ; 2001 : 231-260.
- 6 | Threshold limit values for chemical substances and physical agents and biological exposure indices. ACGIH ; 2001. Benzene 24 p ; également TLVs and BEIs, ACGIH ; 2003.
- 7 | Valentine J-L, Lee S-S, Seaton M-J et al. - Reduction of benzene metabolism and toxicity in mice that lack CYP2E1 expression. *Toxicology and Applied Pharmacology*, 1996 ; 141 : 205-213.
- 8 | Schlosser P-M, Kenyon E-M, Seaton M-J et al. - Determinants of benzene metabolism and disposition. *CIIT Activities* ; 1995 ; 15 (6) : 1-9.
- 9 | Agency for Toxic Substances and Disease Registry (ATSDR) ; 1997. Toxicological profile for benzene. Atlanta, GA : U.S. Department of Health and Human Services, Public Health Service (www.atsdr.cdc.gov/toxpro2.html).
- 10 | Au W-W, Cantelli-Forti G, Hrelia Pet al. - Cytogenetic assays in genotoxic studies : Somatic cell effects of benzene and germinal cell effects of dibromochloropropane. *Teratog CarcinMutag*, 1990 ; 10 : 125-134.
- 11 | Macgregor J-T, Wehr C-M, Henika P-R et al. - The in vivo erythrocyte micronucleus test : Measurement at steady state increases assay efficiency and permits integration with toxicity studies. *Fundamental Applied Toxicology*, 1990 ; 14 : 513-522.
- 12 | Fujie K, Ito Y, Maea S - Acute cytogenetic effect of benzene on rat bone marrow cells in vivo and the effect of inducers or inhibitors of drug-metabolizing enzymes. *Mutation Research*, 1992 ; 298 : 81-90.

- 13 | Mullin A-H, Rando R, Esmundo F et al. - Inhalation of benzene leads to an increase in the mutant frequencies of a lacI transgene in lung and spleen tissues of mice. *Mutation Research*, 1995; 327 : 121-129.
- 14 | Ciranni R, Barale R, Adler I-D - Dose-related clastogenic effects induced by benzene in bone marrow cells and in differentiating spermatogonia of Swiss CD1 mice. *Mutagenesis*, 1991; 6 (5) : 417-421.
- 15 | Grant M - Toxicology of the eye, 3th ed. Springfield : Charles C. Thomas; 1986 : 140-141.
- 16 | Wright A-P et al. - Une revue de littérature récente sur la toxicologie du benzène. Bruxelles : European Chemical Industry Ecotoxicology & Toxicology Centre, rapport technique n° 16, décembre 1964 (traduction française réalisée par Chimie et Ecologie, Paris, juin 1987).
- 17 | Truhaut R - Compte rendu et résolutions finales du « Workshop » international sur la toxicologie du benzène. *Arch. Mal. Prof.*, 1977; 38 : 967-968.
- 18 | Barlow S-M, Sullivan F-M - Reproductive hazards of industrial chemicals. Londres : Academic Press; 1982 : 83-103.
- 19 | Garnier R - Hydrocarbures aromatiques. In : Bismuth C et al. - Toxicologie clinique. Paris : Flammarion Médecine-sciences; 2000 : 760-764.
- 20 | Normand J-C, Bergeret A, Prost G - Benzène. Paris : Encyclopédie médico-chirurgicale, Toxicologie, Pathologie professionnelle, 16046-B-10; 1997 : 7p.
- 21 | Wong O - An industry wide mortality study of chemical workers occupationally exposed to benzene. T-General restes. II-Dose response analyses. *British Journal of industrial medicine*, 1987; 44 : 365-381 et 382-395.
- 22 | Benzène. In : BIOTOX. Guide biotoxicologique pour les médecins du travail. Inventaire des dosages biologiques disponibles pour la surveillance des sujets exposés à des produits chimiques. INRS, 2010 (www.inrs.fr/biotox).
- 23 | Chen H, Wang Xet Xu L - Effects of exposure to low-level benzene and its analogues on reproductive hormone secretion in female workers. *Chin. J. Prev. Med.*, 2001; 35, 2 : 83-86.
- 24 | Huang X-Y et al. - Influence on benzene and toluene to reproductive function of female workers in leathershoe-making industry. *Chin. J. Prev. Med.*, 1991; 25 (2) : 89-91.
- 25 | Xu Xet al. - Association of petrochemical exposure with spontaneous abortion. *Occupational and Environmental Medicine*, 1998; 55 : 31 et suivantes.
- 26 | Stucker I et al. - Occupational paternal exposure to benzene and risk of spontaneous abortion. *Occupational and Environmental Medicine*, 1994; 51 : 475-478.
- 27 | Kawas G et al. - Male reproductive effects of solvent and fuel exposure during aircraft maintenance. *Reproductive Toxicology*, 1999; 13, 3 : 155-166.
- 28 | De Celis Ret al. - Semen quality of workers occupationally exposed to hydrocarbons. *Fertility and sterility*, 2000; 73 (2) : 221-228.
- 29 | Norme NF X43-267. Air des lieux de travail. Prélèvement et analyse de gaz et vapeurs organiques. Prélèvement par pompage sur tube à adsorption et désorption au solvant. Paris, AFNOR, 2004 (en cours de révision).
- 30 | Hydrocarbures aromatiques. Fiche 012. In : MétroPol. Métrologie des polluants. INRS, 2009 (www.inrs.fr/metropol/).
- 31 | Mélange de vapeurs d'hydrocarbures en C6 à C12. Fiche 055. In : MétroPol. Métrologie des polluants. INRS, 2009 (www.inrs.fr/metropol/).
- 32 | Hydrocarbures, aromatique. Method 1501. In : NIOSH Manual of Analytical Methods (NMAM), 4th ed. NIOSH, 2003 (www.cdc.gov/niosh/nmam).
- 33 | Prélèvement passif sur badge Gabie®. Fiche C. In : MétroPol. Métrologie des polluants. INRS, 2007 (en cours de révision) (www.inrs.fr/metropol/).
- 34 | MDHS 80. Volatile organic compounds in air - Laboratory method using diffusive solid sorbent tubes, thermal desorption and gas chromatography. HSE, 1995 (www.hse.gov.uk/pubns/mdhs/).
- 35 | Forsberg K, Mansdorf SZ - Quick selection guide to chemical protective clothing. 5th ed. Hoboken : John Wiley and Sons; 2007 : 203 p.
- 36 | Cuves et réservoirs. Recommandation CNAMTS R 435. Paris : INRS ; 2008.

Auteurs

N. Bonnard, M. Falcy, D. Jarqot, E. Pasquier

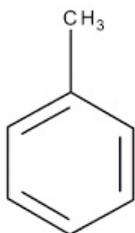
Toluène

Fiche toxicologique n°74

Généralités

Edition _____ Édition 2012

Formule :



Substance(s)

Formule Chimique	Détails	
C7H8	Nom	Toluène
	Numéro CAS	108-88-3
	Numéro CE	203-625-9
	Numéro index	601-021-00-3
	Synonymes	Méthylbenzène



TOLUÈNE

Danger

- H225 - Liquide et vapeurs très inflammables
- H361d - Susceptible de nuire au fœtus
- H304 - Peut être mortel en cas d'ingestion et de pénétration dans les voies respiratoires
- H373 - Risque présumé d'effets graves pour les organes à la suite d'expositions répétées ou d'une exposition prolongée
- H315 - Provoque une irritation cutanée
- H336 - Peut provoquer somnolence ou vertiges

Les conseils de prudence P sont sélectionnés selon les critères de l'annexe 1 du règlement CE n° 1272/2008.
203-625-9

Selon l'annexe VI du règlement CLP.

ATTENTION : pour les mentions de danger H361 et H373, se reporter à la section "Réglementation".

Caractéristiques

[1 à 3]

- Intermédiaire de synthèse pour la fabrication de nombreux produits : benzène et xylènes, phénol, nitrotoluène, diisocyanate de toluylène (TDI), chlorure de benzyle, benzaldéhyde, acide p-toluènesulfonique, vinyltoluène, etc.
 - Solvant pour peintures, vernis, encres d'imprimerie, colles, cires, etc. ; solvant d'extraction dans l'industrie cosmétique, l'industrie pharmaceutique.
- Par ailleurs, le toluène est utilisé, non isolé, en mélange avec le benzène et les xylènes, comme additif de carburants pour en améliorer l'indice d'octane. Il est présent dans certains produits pétroliers.

Propriétés physiques

[1, 2, 3, 5]

Le toluène est un liquide incolore, mobile, d'odeur aromatique.

Il est pratiquement insoluble dans l'eau (0,535 g/l à 25 °C), miscible à de nombreux solvants organiques (acétone, oxyde de diéthyle, chloroforme, éthanol...), soluble dans l'acide acétique glacial.

C'est un excellent solvant pour un grand nombre de substances naturelles ou de synthèse (huiles, graisses, résines).

Nom Substance	Détails	
Toluène	Formule	C 7 H 8
	N° CAS	108-88-3
	Etat Physique	Liquide
	Masse molaire	92,14
	Point de fusion	- 95 °C
	Point d'ébullition	110,6 °C
	Densité	0,867
	Densité gaz / vapeur	3,14
	Pression de vapeur	3 kPa à 20 °C 3,8 kPa à 25 °C
	Point d'éclair	4 °C (en coupelle fermée)
	Température d'auto-inflammation	535 °C
	Limites d'explosivité ou d'inflammabilité (en volume % dans l'air)	Limite inférieure : 1,2% limite supérieure : 7,1%
	Coefficient de partage n-octanol / eau (log Pow)	2,65

À 20 °C et 101,3 kPa, 1 ppm = 3,83 mg/m³

Propriétés chimiques

[1, 2, 3]

Le toluène est un produit stable dans les conditions normales d'utilisation.

Il réagit avec de nombreux composés organiques. Les réactions peuvent être violentes avec des produits tels que l'acide nitrique concentré, le dichlorure de soufre, le trifluorure de brome, des mélanges acide nitrique/acide sulfurique. Le toluène peut former des mélanges explosifs avec le tétranitrométhane.

Il peut réagir vivement avec les oxydants forts (risque d'incendie et d'explosion).

Il ne corrode pas les métaux usuels. Par contre, certaines matières plastiques subissent des dégradations au contact du toluène : caoutchouc naturel, caoutchouc nitrile, polychloroprène, polyéthylène, PVC notamment, mais pas les polymères fluorés.

Réipients de stockage

Le stockage du toluène s'effectue généralement dans des récipients métalliques.

Le verre est également utilisé pour de petites quantités ; les bonbonnes seront protégées par une enveloppe plus résistante, convenablement ajustée.

Les emballages en matière plastique (à l'exception des polymères fluorés) sont déconseillés.

Valeurs Limites d'Exposition Professionnelle

Des valeurs limites d'exposition professionnelle réglementaires **contraignantes** dans l'air des locaux de travail ont été établies en France pour le toluène (article R. 4412-149 du Code du travail).

Substance	Pays	VME (ppm)	VME (mg/m ³)	VLCT (ppm)	VLCT (mg/m ³)
Toluène	France (VLEP réglementaire contraignante - 2012)	20	76,8	100	384
Toluène	Union européenne	50	192	100	384

Toluène	États-Unis (ACGIH - 2007)	20	75	-	-
Toluène	Allemagne (valeur MAK)	50	190	-	-

Méthodes de détection et de détermination dans l'air

- Prélèvement au travers d'un tube rempli de charbon actif ou d'un autre adsorbant (Anasorb[®] 747). Dosage par chromatographie en phase gazeuse avec détection par ionisation de flamme après désorption au sulfure de carbone seul [26, 27, 28, 32] ou en mélange avec du N,N-diméthylformamide [31] ou du méthanol et du dichlorométhane [30].
- Prélèvement passif par diffusion sur un badge rempli de charbon actif ou d'un autre adsorbant (Anasorb[®] 747). Dosage par chromatographie en phase gazeuse avec détection par ionisation de flamme après désorption au sulfure de carbone seul [29, 33] ou en mélange avec du N,N-diméthylformamide [28].
- Prélèvement au travers d'un tube à désorption thermique rempli d'adsorbant solide Chromosorb ou Tenax TA. Dosage par chromatographie en phase gazeuse avec détection par ionisation de flamme après désorption thermique [34].
- L'utilisation d'un appareil à réponse instantanée équipé d'un tube réactif colorimétrique, par exemple DRAEGER (Toluène 5/b, 50/a) ou GASTEC (Toluène 122 et 122L), est possible en première approche, mais n'assure toutefois ni la sélectivité ni la précision nécessaire à une comparaison aux valeurs limites d'exposition professionnelle.

Incendie - Explosion

[1, 2]

Le toluène est un liquide très inflammable (point d'éclair en coupelle fermée = 4°C). Les vapeurs sont plus denses que l'air. Elles peuvent former des mélanges explosifs avec l'air.

En cas d'incendie, les agents d'extinction préconisés sont le dioxyde de carbone, les poudres chimiques et les mousses spéciales.

L'eau n'est pas recommandée ; on pourra toutefois l'utiliser sous forme pulvérisée pour éteindre un feu important.

Refroidir à l'aide d'eau pulvérisée les fûts exposés ou ayant été exposés au feu.

Les intervenants, qualifiés, seront équipés d'appareils de protection respiratoire isolants autonomes et de combinaisons de protection spéciales.

Pathologie - Toxicologie

Toxicocinétique - Métabolisme

[3, 6]

Le toluène suit un métabolisme comparable chez l'homme et l'animal : il est bien absorbé par les tractus gastro-intestinal et respiratoire et, à un degré moindre, par voie cutanée ; il se distribue dans les tissus riches en lipides, en particulier le cerveau ; il est éliminé tel quel dans l'air expiré et, après transformation, dans l'urine, majoritairement sous forme d'acide hippurique.

Chez l'animal

Absorption chez l'animal

Chez l'homme et l'animal, l'absorption respiratoire est rapide, le toluène apparaît dans le sang après 10 à 15 minutes d'exposition, avec une forte corrélation, pendant et après l'exposition, entre la concentration alvéolaire et la concentration sanguine. L'absorption (environ 50 % de la concentration) est fortement influencée par le taux de ventilation pulmonaire. Chez le rat, les pics sanguin et cérébral sont atteints après 53 et 58 minutes respectivement.

Le toluène est absorbé complètement par le tractus gastro-intestinal de l'homme et du rat avec, chez ce dernier, une vitesse inférieure à l'absorption pulmonaire : le pic sanguin est atteint après 2 heures.

Il est absorbé lentement à travers la peau humaine (14 à 23 mg/cm² /h) avec des variations individuelles importantes. Chez l'animal, le taux de pénétration cutanée est faible pour le toluène liquide et pratiquement inexistant pour la forme vapeur (4,6 µg/cm² /h pour la souris nue exposée à 1000 ppm). Sur la peau de rat, *in vitro*, la pénétration est de 0,78 µg/cm² /min.

Distribution chez l'animal

Dans le sang, le toluène est réparti entre les globules rouges, où il est fixé à l'hémoglobine, et le sérum avec une partition 1 :1 chez l'homme et 1 :2 chez le rat.

Le toluène se distribue dans les tissus riches en lipides et fortement vascularisés comme le cerveau, en particulier la matière blanche, la moelle osseuse, la moelle épinière, le foie, le tissu adipeux et les reins. La concentration dans le cerveau semble plus importante que dans le sang ; le tissu adipeux joue le rôle de réservoir. Le toluène passe aisément la barrière placentaire du rat, sa concentration dans le fœtus est environ 75 % de celle du sang maternel. Il est sécrété dans le lait maternel chez l'homme et l'animal.

Métabolisme chez l'animal

Le toluène (80 % de la dose absorbée) est oxydé dans le foie par les monoxygénases à cytochrome P450 (CYP2E1, CYP2B6, CYP2C8, CYP1A2, et CYP1A1), en alcool benzylrique, benzaldéhyde puis acide benzoïque qui est conjugué avec la glycine, pour former l'acide hippurique (83 - 94 % des métabolites urinaires), ou avec l'acide glucuronique, pour former le benzylglucuronide (3 à 9 % des métabolites urinaires). Une faible partie (environ 1 %) est oxydée en ortho-, méta-, et para-crésol qui sont conjugués avec des sulfates ou l'acide glucuronique (voir figure 1). Les acides S-benzylmercapturique et S-p-toluymercapturique sont des métabolites urinaires mineurs, identifiés chez l'homme.

Le toluène, à partir de 1000 ppm chez le rat, est inducteur des enzymes hépatiques à cytochrome P450 de son propre métabolisme.

Élimination chez l'animal

Chez l'homme, l'élimination sanguine du toluène suit une courbe triphasique avec des demi-vies d'environ 2 min, 30 min et 3,5 h. L'exposition à de fortes concentrations provoque l'apparition d'une 4^{ème} phase, de demi-vie de 20 à 90 h, qui correspondrait à l'élimination du toluène stocké dans les tissus adipeux. Chez le rat, la courbe d'élimination sanguine est biphasique avec des demi-vies de 6 et 90 min. L'élimination du toluène stocké dans les tissus adipeux est beaucoup plus rapide que chez l'homme.

Chez l'homme comme chez l'animal, le toluène est éliminé dans l'air expiré sous forme inchangée (10 - 20 %) et dans l'urine (80 %) sous forme métabolisée (acide hippurique (60 - 70 %), benzoylglucuronide (10 - 20 %), acides mercapturiques ou crésols conjugués). Une très faible quantité (0,06 %) du toluène absorbé par inhalation est éliminée sous forme inchangée dans l'urine.

Chez le rat, exposé par inhalation, une petite quantité (< 2 %) de la dose absorbée est éliminée par la bile dans les intestins où elle est réabsorbée ; de ce fait, les fèces ne contiennent que des quantités négligeables de toluène ou de ses métabolites.

L'alcool éthylique inhibe la majorité des voies métaboliques du toluène, provoquant une diminution de l'excrétion d'acide hippurique et une augmentation de l'élimination de toluène inchangé dans l'air exhalé. Une coexposition toluène/xylène provoque, par compétition métabolique, une augmentation des concentrations sanguines et cérébrales de toluène.

Surveillance biologique de l'exposition

Différents paramètres sont proposés pour évaluer l'exposition au toluène : dosage dans le sang du toluène ; dosage dans les urines du toluène, de l'ortho-crésol et de l'acide hippurique et dosage dans l'air expiré du toluène.

Pour confirmer l'exposition, on peut utiliser :

- le dosage du toluène sanguin en fin de semaine et début de poste, reflet de l'exposition de la semaine de travail, ainsi que le dosage du toluène urinaire en fin de poste, reflet de l'exposition du jour même ; ces deux paramètres sont spécifiques et sensibles ;
- le dosage de l'o-crésol urinaire, prélèvement réalisé en fin de poste et fin de semaine de travail, reflet de l'exposition de la semaine de travail.

Étant donné ses faibles sensibilité et spécificité, le dosage de l'acide hippurique est peu utile pour des expositions inférieures ou égales à 50 ppm.

Sont retenues comme BEI (Biological Exposure Index) de l'ACGIH : le toluène sanguin et urinaire et l'o-crésol urinaire (Voir Recommandations § Au point de vue médical).

Schéma métabolique

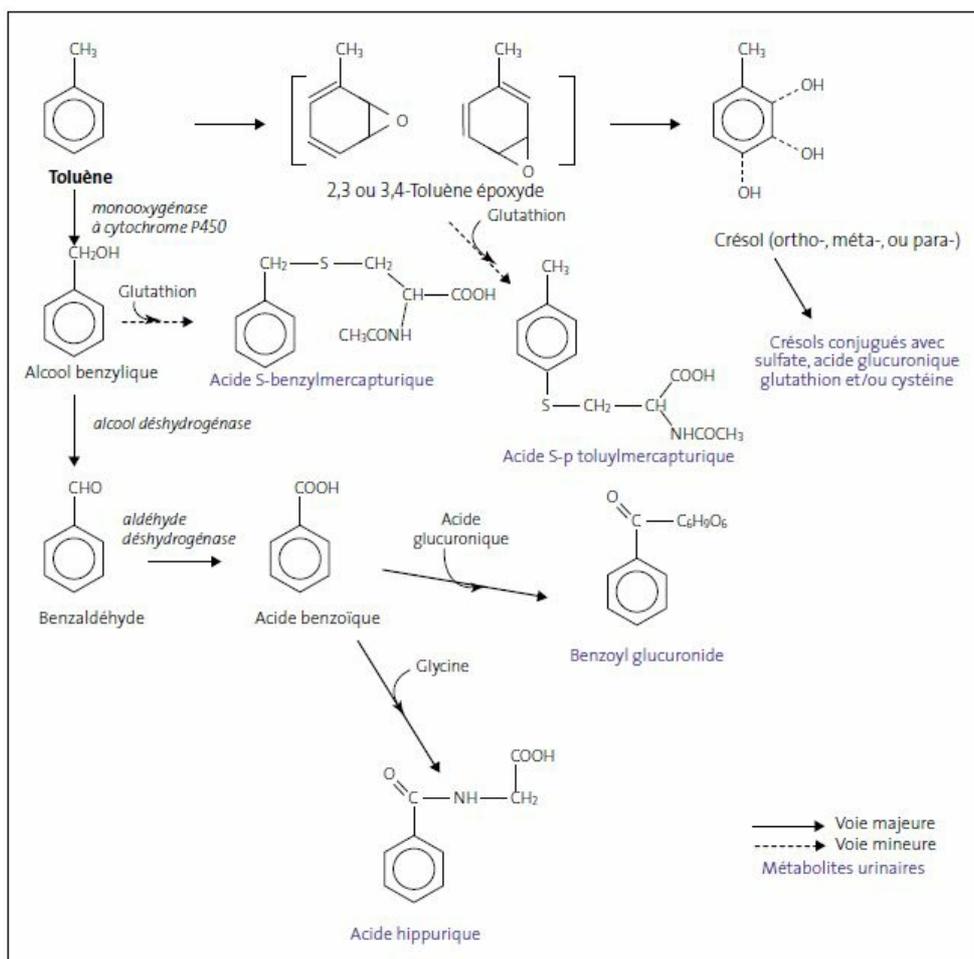


Fig. 1. Métabolisme du toluène chez l'homme et l'animal (d'après [3, 4])

Toxicité expérimentale

Toxicité aiguë

[3, 5 à 7]

Le toluène a une faible toxicité aiguë ; sa cible première est le système nerveux central. Il est irritant pour la peau, les yeux et le système respiratoire.

La CL50 chez le rat est de 28,1 mg/l/4 h (7500 ppm/4 h) ou de 4618 ppm/6 h et chez la souris de 19,9 à 27,9 mg/l/4 h (5308 - 7440 ppm/4 h) ou de 5320 ppm/7 h ; chez le rat, la DL50 orale est de 5300 à 7400 mg/kg et la DL50 cutanée, chez le lapin, est de 12 400 mg/kg.

Chez le rat et la souris, les symptômes initiaux (hyperactivité, irritation des membranes muqueuses, avec écoulement nasal et lacrymal, et des voies respiratoires supérieures, avec augmentation de la fréquence respiratoire) sont suivis de narcose, ataxie, altération de la fonction cognitive, perte d'équilibre et modifications neurochimiques ; les animaux meurent par arrêt respiratoire suite à une dépression profonde du système nerveux central. À des concentrations supérieures à 2000 ppm, une forte corrélation a été montrée entre l'intensité de cette dépression et le taux de toluène dans le cerveau.

On note aussi des modifications hématologiques (baisse du nombre de leucocytes et augmentation de l'hématocrite, du taux de glucose et de la résistance des érythrocytes à la lyse chez le rat exposé à 2500 ppm) et hépatiques (augmentation de poids du foie, augmentation des enzymes hépatiques impliqués dans le métabolisme du toluène chez le rat, la souris et le lapin exposés à 795 ppm).

Le toluène est irritant pour la peau du lapin, de la souris et du cobaye. La sévérité de l'irritation cutanée induite chez le lapin augmente avec le temps jusqu'à 72 h (érythème modéré et œdème léger) sans réversibilité à 7 jours [8a].

Il est légèrement irritant pour l'œil du lapin, rougeur de la conjonctive et chemosis apparaissent dans les 72 heures et persistent pendant 24 heures [9] ; le rinçage après 4 et 30 secondes ne modifie pas l'intensité de l'irritation [8b].

Le toluène est irritant pour le tractus respiratoire à forte concentration : chez la souris, la RD50 est de 12 650 à 19 875 mg/m³ (3373 à 5300 ppm) [10, 11].

Il n'est pas sensibilisant pour le cobaye (test de maximisation).

Toxicité subchronique, chronique

[3, 5 à 7]

En exposition prolongée ou répétée, le toluène provoque, chez le rat et la souris, une augmentation de poids de nombreux organes, une modification du taux de neurotransmetteurs, une neurotoxicité au niveau de l'hippocampe et du cervelet et une perte auditive.

Chez le rat, une exposition par inhalation de 15 semaines provoque, à partir de 1250 ppm, une augmentation du poids des reins et du foie et, à partir de 2500 ppm, une augmentation du poids corporel, cérébral, cardiaque, pulmonaire et testiculaire, ainsi qu'une dyspnée et une ataxie. Dans le foie, le toluène (1600 ppm, 8 h/j, 6 mois) induit une hypertrophie des zones centrolobulaires avec prolifération, en fonction de la dose, du réticulum endoplasmique dans les hépatocytes. Après une exposition pendant 2 ans, il se produit, à partir de 1500 ppm, une inflammation de la muqueuse nasale avec érosion de l'épithélium olfactif, métaplasie et dégénérescence de l'épithélium respiratoire. La NOAEL (concentration sans effet toxique observé) est de 625 ppm pour une exposition de 6,5 h/j, 5 j/sem pendant 15 semaines ou de 300 ppm pendant 2 ans.

Par voie orale, le toluène induit, chez le rat et la souris, à des concentrations supérieures à 2500 mg/kg/j, piloérection, larmoiements et salivation excessifs, prostration, hypoactivité, ataxie, augmentation du poids relatif et absolu du foie, des reins et du cœur. La NOAEL par voie orale, pour le rat et la souris, est de 625 mg/kg/j pendant 13 semaines.

Dans le cerveau du rat, il provoque des modifications neurologiques (nécrose neuronale dans l'hippocampe et le cervelet à des concentrations inhalatoires supérieures ou égales à 1500 ppm, ou orales supérieures ou égales à 1250 mg/kg/j) et neurochimiques (modification des taux de noradrénaline, dopamine et 5-hydroxytryptamine dans diverses régions cérébrales à des concentrations supérieures ou égales à 500 ppm).

Le toluène occasionne, chez le rat, par voie inhalatoire, orale ou sous-cutanée, une perte auditive irréversible mise en évidence par une diminution de la réponse au bruit, des modifications électrophysiologiques et des lésions morphologiques des cellules ciliées externes de la cochlée. Les effets morphologiques et fonctionnels sont effectifs après une exposition de 5 jours à 1400 ppm et s'intensifient avec le temps [12a].

Mode d'action :

Les effets neurologiques, comme la dépression du système nerveux central et la narcose, découlent, au moins en partie, d'interactions réversibles entre le toluène (lui-même et non ses métabolites) et les composants membranaires (lipides et protéines) des cellules nerveuses cérébrales ; le prétraitement des rats par le phénobarbital augmente le métabolisme du toluène et raccourcit la durée de la narcose. Cette interaction, si elle est répétée, pourrait modifier l'activité de certains enzymes impliqués dans la synthèse et/ou la dégradation des neurotransmetteurs ; le taux de ces derniers à certains endroits du cerveau est responsable des effets neurologiques produits. La perte auditive est, elle aussi, liée à l'action du toluène lui-même : un prétraitement par le phénobarbital prévient cet effet alors qu'une co-exposition avec l'éthanol, qui inhibe le métabolisme du toluène, l'augmente [12b].

Effets génotoxiques

Les tests de génotoxicité effectués avec le toluène donnent des résultats variables in vitro et négatifs in vivo.

In vitro, les résultats sont négatifs pour le test d'Ames sur *S. typhimurium*, pour les tests de réparation de l'ADN dans les bactéries, de conversion génique chez *S. cerevisiae*, ou d'effets génotoxiques chez la drosophile. Dans les cellules en culture, il induit des cassures simple brin de l'ADN (hépatocytes de rat) mais pas de lésion ou de réparation de l'ADN (fibroblastes humains), il augmente le taux de mutation (cellules de lymphome de souris) mais pas le taux de transformation morphologique (embryon de hamster Syrien) ; en absence d'activateur métabolique, il ne provoque pas d'échanges entre chromatides sœurs ou d'aberrations chromosomiques (cellules ovariennes de hamster chinois ou lymphocytes humains).

In vivo, le toluène n'induit pas de modification significative dans les tests pour lesquels l'absence de contamination par le benzène a été mesurée (dommage cytogénétique de la moelle osseuse des rongeurs ou lésion de l'ADN dans les cellules sanguines, médullaires ou hépatiques de la souris). De plus, il n'est pas mutagène pour le sperme de souris (mesure d'anomalie induite dans la tête spermatique ou test de létalité dominante).

Administré simultanément au benzène, chez le rat et la souris par voie orale, intrapéritonéale ou sous-cutanée, il réduit le nombre d'échanges entre chromatides sœurs et la fréquence des micronoyaux induits par ce dernier.

Effets cancérogènes

[3, 6, 13 à 15]

Le toluène n'est cancérigène ni chez le rat par inhalation, ni chez la souris par inhalation et par voie cutanée.

Le toluène n'est pas cancérigène chez le rat et la souris exposés par inhalation jusqu'à 1200 ppm, 6,5 h/j, 5 j/sem, pendant 2 ans. Il provoque des lésions non néoplasiques de la cavité nasale ainsi qu'une néphropathie chez le rat et une hyperplasie de l'épithélium bronchique et des adénomes de l'hypophyse chez la souris. Par voie orale, chez le rat (gavage, 500 mg/kg/j, 4 - 5 j/sem, 2 ans), il induit une augmentation de néoplasmes lymphoréticulaires. Les résultats par voie cutanée chez la souris sont en général négatifs.

Le toluène est peu ou pas promoteur chez la souris après initiation par le 7,12-diméthylbenzanthracène ; il inhibe la cancérogenèse cutanée chez la souris, après initiation par le benzo[a]pyrène ou le 7,12-diméthylbenzanthracène et promotion par le phorbol-12-myristate-13-acétate.

Effets sur la reproduction

[3, 6, 14]

Le toluène n'altère pas la fertilité du rat ou de la souris. Une étude montre qu'il est toxique pour le développement à des concentrations non toxiques pour les mères mais qu'il n'est pas tératogène in vivo ou dans les tests pratiqués in vitro .

Le toluène donne des résultats négatifs dans trois tests de tératogenèse *in vitro* (attachement cellulaire des cellules tumorales d'ovaire de souris, inhibition de la croissance cellulaire des cellules embryonnaires de mésenchyme palatal, inhibition de la synthèse de protéoglycans dans les cellules murines de bourgeon embryonnaire de membre).

Il n'affecte pas la fertilité de la souris dans un test de létalité dominante, ni celle du rat dans une étude sur 2 générations (jusqu'à 2000 ppm, 6 h/j, 7 j/sem, 80 jours avant accouplement, 15 jours d'accouplement, du 1^{er} au 20^{ème} jour de gestation et du 5^{ème} au 21^{ème} jour de lactation). Il n'a pas d'effet sur la morphologie spermatique ou la cytologie vaginale du rat (1250 ppm, 6,5 h/j, 5 j/sem, 15 semaines) ou de ses petits exposés in utero (1200 ppm, 6 h/j, du 7^{ème} jour de gestation au 18^{ème} jour après la naissance [16]). Chez le rat mâle (2000 ppm), le poids relatif et absolu de l'épididyme est diminué sans modification histologique et le comptage spermatique est réduit de 20 % sans affecter la mobilité. À plus forte concentration (6000 ppm), le comptage, la mobilité et la qualité spermatique dans l'épididyme sont réduits sans modification de poids des testicules ou de la spermatogenèse testiculaire. Il n'y a pas de modification du taux des hormones après un mois d'exposition à cette concentration [17]. La NOAEL pour la fertilité est de 600 ppm.

Le toluène traverse la barrière placentaire et a été mesuré dans divers tissus fœtaux, avec une distribution qui est fonction de l'âge gestationnel. Administré par inhalation (100 à 2000 ppm, 6 à 24 h/j), il produit des effets semblables chez le rat et la souris : toxicité pour le développement en absence de toxicité maternelle, baisse du poids fœtal et du poids à la naissance, retard de développement postnatal et neurotoxicité mise en évidence par des effets sur le comportement (augmentation de l'activité spontanée et affaiblissement des fonctions cognitives), mais pas de malformation. Le toluène n'est pas toxique lors de l'exposition par le lait maternel. La NOAEL pour le développement est de 600 ppm (2 250 mg/m³) pour le rat et de 400 ppm (1500 mg/m³) pour la souris [18].

Une toxicité maternelle (ataxie, hyperactivité, baisse de poids) est observée chez des rates gestantes exposées à 1 500 et 3 000 ppm (6 h/j, du 6^{ème} au 15^{ème} jour de gestation) ; une diminution du poids moyen des fœtus est rapportée pour ces mêmes concentrations [22]. Des diminutions des poids maternel et fœtal ont aussi été rapportées chez des rates exposées à 1 500 ppm (6 h/j, du 6^{ème} au 20^{ème} jour de gestation) [23].

Toxicité sur l'Homme

L'exposition aiguë est responsable d'une dépression du système nerveux central, de troubles digestifs et d'une pneumopathie (en cas d'ingestion). Une irritation de la peau et des yeux réversible peut être notée. L'exposition répétée peut être à l'origine de signes neurologiques centraux (psychosyndrome organique, altération de l'audition et de la vision des couleurs). Des atteintes hépatiques et rénales ont également été rapportées. Une dermatose chronique peut être observée en cas de contact répété. Les tests de génotoxicité sont généralement négatifs et il n'y a pas de donnée suffisante sur un effet cancérigène du toluène chez l'Homme. Une augmentation du nombre de fausses-couches et une foetotoxicité ont été décrites.

[13, 19, 20]

Toxicité aiguë

La toxicité aiguë du toluène est commune à celle des hydrocarbures pétroliers liquides distillant en dessous de 300°C.

L'ingestion de toluène entraîne :

- des troubles digestifs : douleurs abdominales, nausées puis vomissements suivis de diarrhées ;
- une dépression du système nerveux central : syndrome ébrieux puis troubles de conscience ;
- une pneumopathie d'inhalation dont les premiers signes sont radiologiques : dans les 8 heures suivant l'ingestion, apparaissent des opacités floconneuses avec bronchogramme aérien, le plus souvent localisées aux lobes moyen et inférieur droits ; les signes cliniques sont plus tardifs : toux, dyspnée, fièvre régressant en 2 ou 3 jours en l'absence de surinfection. Des arrêts respiratoires ont été décrits.

Les connaissances relatives à l'intoxication par voie pulmonaire résultent principalement des observations rapportées après des intoxications aiguës et des études menées chez le volontaire sain.

Les effets essentiels du toluène s'exercent sur le système neurologique central. En principe, ils sont réversibles. Une exposition accidentelle à plus de 10 000 ppm pendant quelques minutes est responsable initialement d'euphorie et d'hallucination, puis de troubles de la conscience et de coma.

Chez des sujets volontaires jeunes, l'inhalation de 100 ppm pendant une période de 8 heures entraîne des troubles modérés à type de fatigue parfois accompagnés de céphalées, de vertiges et d'un endormissement.

Il s'y ajoute à 200 ppm une faiblesse musculaire, des paresthésies et quelques altérations des fonctions cognitives ; à 300 ppm, une insomnie dans la nuit qui succède à l'exposition ; à 400 ppm, une confusion mentale et des troubles de coordination.

À 500 ppm, apparaissent des nausées ; à 600 ppm, on observe une sensation de vertige, une démarche chancelante.

D'après certains auteurs, une exposition à 40 ppm pendant 5 à 6 heures n'entraînerait aucun signe d'intoxication.

L'altération des fonctions psychomotrices dépend de la concentration et de la durée d'exposition. Lors d'une exposition à 100 ppm pendant 20 minutes, le temps de réaction simple n'est pas modifié ; il est augmenté pour une exposition à 300 ppm pendant la même durée et s'élève davantage lors d'une exposition pendant 3 à 7 heures à des concentrations supérieures ou égales à 200 ppm. Ces chiffres résultent d'études sur des groupes d'individus jeunes et en bonne santé. Les signes se majorent en cas d'exercice physique et il n'y a pas d'accoutumance à l'exposition au toluène vis-à-vis d'une intoxication aiguë en cas d'exposition chronique. Les conséquences de ces expositions aiguës au toluène sur l'activité électroencéphalographique sont diversement appréciées selon les études ; quand des altérations existent, elles sont toujours mineures. Des troubles de la mémoire et des changements de la personnalité peuvent être observés.

Une irritation oculaire et des voies aériennes supérieures apparaît pour des expositions à des concentrations de 100 à 400 ppm pendant 6 à 7 heures, accompagnée d'une hypersécrétion lacrymale.

Des modifications cardiovasculaires ont été rapportées après une exposition à 200 ppm pendant 7 heures : diminution de la fréquence cardiaque et de la pression diastolique. Dans certains cas, une augmentation de la fréquence cardiaque et une arythmie peuvent être constatées.

La toxicité hépato-rénale est décrite principalement chez les toxicomanes « sniffeurs » avec acidose métabolique et atteinte tubulaire rénale.

Le toluène est un solvant des lipides cutanés et les projections peuvent entraîner des dermatoses d'irritation. Aucune manifestation d'origine immuno-allergique n'a été signalée.

La projection oculaire de toluène liquide est responsable d'irritation conjonctivale voire d'atteinte cornéenne, réversibles en 48 heures.

Toxicité chronique

La voie respiratoire est la voie usuelle d'intoxication professionnelle. De façon générale, la toxicité à terme est modérée. La morbidité chez les personnes exposées pendant 10 à 20 ans à des concentrations de l'ordre de 20 à 200 ppm n'est pas corrélée à l'exposition. Le toluène n'entraîne en général pas d'effet spécifique qui le distingue des autres solvants.

Le syndrome psycho-organique est l'effet toxique chronique majeur du toluène ; les stades les plus avancés sont irréversibles. Il associe des troubles de la mémoire, de la concentration, de la personnalité, une insomnie, une diminution des performances intellectuelles sans troubles objectifs ni altération de l'électroencéphalogramme. Il a été décrit lors de l'exposition au toluène associé à d'autres solvants ; il l'a été également chez des typographes et des imprimeurs essentiellement exposés au toluène (300 à 450 ppm) pendant de nombreuses années : la fréquence serait alors de 20 à 40 %. Cependant, ces troubles ont été aussi rapportés pour des expositions plus faibles (100 à 200 ppm). Leur incidence augmente avec le niveau d'exposition, mais il n'existe pas d'évaluation statistique permettant d'établir une relation dose-réponse ; de même, la concentration sans effet n'a pas été déterminée.

Une toxicité neurosensorielle a également été observée. Chang et al. (2006) ont recherché le risque de perte d'audition chez 58 ouvriers exposés au bruit et au toluène (concentration d'exposition comprise entre 33 et 160 ppm) et 58 ouvriers exposés au bruit seul. Ils avaient aussi un groupe de 58 témoins de la même entreprise. Le groupe exposé au bruit et au toluène (quel que soit le niveau d'exposition) présentait des pertes auditives, dans les basses fréquences, plus importantes comparées au groupe exposé au bruit seul [24].

Paramei et al. (2004) ont réalisé une méta-analyse reprenant diverses études qui avaient évalué la discrimination des couleurs grâce à l'utilisation du test Lanthony D-15. Les auteurs ont confirmé l'augmentation de l'indice de confusion des couleurs retrouvé dans la majorité des études analysées. Toutefois, compte tenu de la grande dispersion des résultats, en partie due aux facteurs de confusion, il n'a pas été possible d'affirmer le rôle du solvant dans ces anomalies. Dans ces études, les expositions moyennes étaient généralement comprises entre 20 et 40 ppm, la durée d'exposition entre 6 et 18 ans [25].

Il n'existe pas d'étude épidémiologique établissant une neurotoxicité périphérique du toluène employé seul.

Les dépressions médullaires et leucémies rapportées lors d'expositions au toluène avant 1970 étaient dues en réalité à la présence de benzène à titre d'impureté. Depuis, de nombreuses études ont démontré que le toluène n'était pas responsable de ces effets. Les seules anomalies hématologiques observées ont été des modifications morphologiques leucocytaires de signification inconnue et des variations des concentrations d'enzymes leucocytaires et lymphocytaires pour des expositions professionnelles supérieures à 50 ppm.

La fréquence accrue d'hépatomégalies, constatée dans une étude chez des travailleurs exposés au toluène, n'a pas été confirmée par les travaux ultérieurs. Par ailleurs, certains auteurs rapportent une augmentation de fréquence des élévations des transaminases et des γ -GT parmi des groupes de sujets travaillant dans l'industrie du caoutchouc et dans l'imprimerie ; cependant, la responsabilité unique du toluène est discutable en raison de l'exposition concomitante à divers produits chimiques. Par contre, d'autres études récentes portant sur la surveillance de groupes de salariés exposés au toluène seul (parfois comparés à des sujets non exposés) n'ont pas montré d'élévation anormale des transaminases et des γ -GT, même lorsqu'il existait des troubles cliniques attribuables à l'exposition au toluène. Une autre étude prenant en compte les autres facteurs de risque hépatique ne montre pas d'action hépatotoxique du toluène, il n'augmente pas l'hépatotoxicité de l'éthanol.

Une atteinte tubulaire peut être constatée avec une acidose.

Le toluène est responsable de dermatoses d'irritation par action dégraissante et desséchante sur la peau en contact. Il n'entraîne pas de sensibilisation immuno-allergique.

Effets génotoxiques

Les tests de mutagénicité réalisés sur des travailleurs exposés sont généralement négatifs. Plusieurs études ne montrent pas de différence significative de la fréquence des échanges de chromatides sœurs ou des aberrations chromosomiques dans les lymphocytes circulant entre les travailleurs exposés et des sujets non exposés. Seules deux études révèlent une augmentation de la fréquence des échanges de chromatides sœurs et des cassures chromosomiques chez des sujets exposés au toluène depuis plusieurs années à des concentrations de l'ordre de 200 à 300 ppm. Il semblerait que les effets synergiques du tabagisme n'aient pas été pris en considération dans l'interprétation des résultats.

Effets cancérogènes

Les preuves de cancérogénicité chez l'homme sont insuffisantes. Le toluène a été classé dans le groupe 3 par le CIRC [13].

Effets sur la reproduction

Le toluène a été classé comme produit pouvant avoir un risque possible sur la fonction de reproduction. Des anomalies de taux hormonaux sont constatées mais des biais méthodologiques existent et toutes les études ne concluent pas de façon identique. Il n'y a pas d'études adéquates sur une baisse significative du taux de spermatozoïdes.

Dans une étude, le toluène entraînerait par contre un risque de fausse couche tardive pour des niveaux d'exposition inférieurs à 100 ppm en cas d'exposition précoce au cours de la grossesse. Une co-exposition à d'autres solvants n'est cependant pas exclue.

En cas d'exposition chronique maternelle, il peut être constaté un retard de croissance intra-utérine. Un syndrome ressemblant à celui décrit dans le cas de l'alcoolisme fœtal avec présence de malformations (oreilles, cœur, face, reins et membres) plus ou moins marquées, un retard de croissance et des troubles neuro-comportementaux (déficit de l'attention, hyperactivité, acquisition retardée de la parole) est également observé, chez des enfants de mères toxicomanes. Des anomalies rénales spontanément résolutive sont également notées dans le même contexte.

Dans ces cas, néanmoins, la seule responsabilité du toluène ne peut être affirmée.

Réglementation

Rappel : La réglementation citée est celle en vigueur à la date d'édition de cette fiche : 2^{ème} trimestre 2012

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.

Prévention des incendies et des explosions

- Articles R. 4227-1 à R. 4227-41 du Code du travail.
- Articles R. 4227-42 à R. 4227-57 du Code du travail.
- Décret 96-1010 modifié du 19 novembre 1996 (JO du 24 novembre 1996) relatif aux appareils destinés à être utilisés en atmosphère explosible.

Valeurs limites d'exposition professionnelle (Françaises)

- Article R. 4412-149 du Code du travail : Décret n° 2012-746 du 9 mai 2012.

Valeurs limites d'exposition professionnelle (Européennes)

- Directive 2006/15/CE de la Commission du 7 février 2006 (JOCE du 9 février 2006).

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 ; tableaux n° 4 bis et 84.

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).

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** toluène :

Le règlement (CE) n° 1272/2008 du Parlement européen et du Conseil du 16 décembre 2008 (JOUE L 353 du 31 décembre 2008), dit « Règlement CLP », introduit dans l'Union européenne le nouveau système général harmonisé de classification et d'étiquetage ou SGH. La classification et l'étiquetage du toluène, harmonisés selon les deux systèmes (règlement et directive 67/548/CEE), figurent dans l'annexe VI du règlement. La classification est :

- selon le règlement (CE) n° 1272/2008 modifié
 - Liquides inflammables, catégorie 2 ; H 225
 - Toxicité pour la reproduction, catégorie 2 ; H 361d (***)
 - Danger par aspiration, catégorie 1 ; H 304
 - Toxicité spécifique pour certains organes cibles - Exposition répétée, catégorie 2 (*) ; H 373 (**)
 - Irritation cutanée, catégorie 2 ; H 315
 - Toxicité spécifique pour certains organes cibles - Exposition unique, catégorie 3 : Effets narcotiques ; H 336.

(*) Cette classification est considérée comme une classification minimale ; La classification dans une catégorie plus sévère doit être appliquée si des données accessibles le justifient. Par ailleurs, il est possible d'affiner la classification minimum sur la base du tableau de conversion présenté en Annexe VII du règlement CLP quand l'état physique de la substance utilisée dans l'essai de toxicité aiguë par inhalation est connu. Dans ce cas, cette classification doit remplacer la classification minimale.

(***) La classification de ces substances fait état d'effets sur la fertilité ("F" ou "F") ou sur le développement ("D" ou "d"). Sauf preuves du contraire, les effets sur la fertilité ou sur le développement non mentionnés dans ces classifications ne peuvent néanmoins pas être exclus.

- selon la directive 67/548/CEE
 - Facilement inflammable ; R 11

- o Toxique pour la reproduction (développement), catégorie 3 ; R 63
- o Nocif ; R 48/20 - R 65
- o Irritant ; R 38
- o R 67.

b) **mélanges** (préparations) contenant du toluène :

- Règlement (CE) n° 1272/2008

Les lots de mélanges classés, étiquetés et emballés selon la directive 1999/45/CE peuvent continuer à circuler sur le marché jusqu'au 1er juin 2017 sans réétiquetage ni réemballage conforme au CLP.

Interdiction / Limitations d'emploi

- Règlement (UE) n° 552/2009 de la Commission du 22 juin 2009 modifiant l'annexe XVII de règlement (CE) n° 1907/2006 (REACH) relative aux restrictions applicables à certaines substances dangereuses ; Point 48 toluène : ne peut être mis sur le marché, ni utilisé en tant que substance ou dans des mélanges à une concentration égale ou supérieure à 0,1 % en poids dans les adhésifs et dans les peintures par pulvérisation destinés à la vente au public.

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 :
 - o étiquetage (cf. § Classif. & étiquetage).

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

Au point de vue technique

Stockage

- Stocker le toluène dans des locaux spéciaux, frais et bien ventilés, à l'abri des rayonnements solaires et de toute source de chaleur ou d'ignition (flammes, étincelles...) et à l'écart des produits oxydants. Le sol des locaux sera incombustible, imperméable et formera cuvette de rétention, afin qu'en cas de déversement accidentel, le liquide ne puisse se répandre au-dehors.
- Interdire de fumer.
- Prendre toutes dispositions pour éviter l'accumulation d'électricité statique.
- Mettre le matériel notamment le matériel électrique, y compris l'éclairage, en conformité avec la réglementation en vigueur.
- Fermer soigneusement les récipients et les étiqueter correctement. Reproduire l'étiquetage en cas de fractionnement des emballages.

Manipulation

Les prescriptions relatives aux zones de stockage sont applicables aux ateliers où est utilisé le toluène. En outre :

- Instruire le personnel des dangers présentés par le produit, des précautions à observer et des mesures à prendre en cas d'accident.
- Entreposer dans les ateliers des quantités de produit ne dépassant pas celles nécessaires au travail d'une journée.
- Éviter l'inhalation de vapeurs. Effectuer en appareil clos toute opération industrielle qui s'y prête. Prévoir une aspiration des vapeurs à leur source d'émission ainsi qu'une ventilation générale des locaux. Prévoir également des appareils de protection respiratoire pour certains travaux de courte durée ; leur choix dépend des conditions de travail. Si un appareil filtrant peut être utilisé, il doit être muni d'un filtre de type A. Pour des interventions d'urgence, le port d'un appareil respiratoire autonome isolant est nécessaire.
- Contrôler régulièrement la teneur de l'atmosphère en toluène.
- Éviter le contact du produit avec la peau et les yeux. Mettre à la disposition du personnel des équipements de protection individuelle : vêtements de travail, gants imperméables (par exemple en polyalcool vinylique(PVL), Viton ® , Viton ® /caoutchouc butyle, Barrier ® , Silver Shield/4H ® , Trelchem ® HPS ou VPS, Tychem ® CPF 3, F, BR/LV, Responder ou TK ; certaines matières telles que le caoutchouc naturel, les caoutchoucs butyle, néoprène ou nitrile, le polyéthylène et Tychem ® SL (Saranex) sont déconseillées [36]) et lunettes de sécurité. Ces effets seront maintenus en bon état et nettoyés après chaque usage.
- Ne jamais procéder à des travaux sur ou dans des cuves et réservoirs contenant ou ayant contenu du toluène sans prendre les précautions d'usage [37] .
- Ne pas rejeter à l'égout ou dans le milieu naturel les eaux polluées par le toluène.
- En cas de fuite ou de déversement accidentel, récupérer immédiatement le produit après l'avoir recouvert de matériau absorbant inerte (sable, terre). Laver ensuite à grande eau la surface ayant été souillée. Si le déversement est important, supprimer toute source potentielle d'ignition, aérer la zone, évacuer le personnel en ne faisant intervenir que des opérateurs entraînés munis d'un équipement de protection approprié.

- Conserver les déchets dans des récipients spécialement prévus à cet effet et les éliminer dans les conditions autorisées par la réglementation (incinération contrôlée, par exemple).

Au point de vue médical

- À l'embauchage et aux examens périodiques, l'examen clinique comportera, entre autres, un examen cutanéomuqueux et une recherche de signes évoquant un syndrome psycho-organique débutant. Pour cela, des examens adaptés peuvent être pratiqués (tests psychotechniques, potentiels évoqués). On avertira les femmes désirant procréer du risque éventuel. Les femmes enceintes doivent être protégées du risque d'exposition au toluène [35].

Surveillance biologique

Le dosage du toluène urinaire en fin de poste est le paramètre le plus sensible, bien corrélé aux concentrations atmosphériques même à de faibles expositions (< 5 ppm). Le dosage du toluène sanguin en fin de semaine et début de poste est bien corrélé à l'intensité de l'exposition de la semaine de travail. Pour ces deux paramètres, il faut se méfier d'une contamination du prélèvement.

Le dosage urinaire de l'o-crésol en fin de semaine et fin de poste de travail reflète l'exposition de la semaine de travail. Ce paramètre est le moins sensible dans la mesure où les corrélations avec les concentrations atmosphériques inférieures à 10 ppm ne sont pas très bonnes.

LACGIH a établi des valeurs de référence pour la population professionnellement exposée (BEI) pour l'o-crésol urinaire en fin de poste à 0,3 mg/g créatinine, pour le toluène sanguin avant le dernier poste de la semaine à 0,02 mg/L, et pour le toluène urinaire en fin de poste à 0,03 mg/L.

Il existe des valeurs guides françaises pour ces paramètres : o-crésol et acide hippurique urinaires et toluène sanguin et urinaire, mais ces valeurs n'ont pas été revues depuis 1997. Des propositions de valeurs limites biologiques ont été publiées par l'ANSES [21].

Conduite à tenir en cas d'exposition aiguë

- Lors d'accidents aigus, demander dans tous les cas l'avis d'un médecin ou du centre antipoison régional ou de services de secours médicalisés d'urgence.
- En cas de contact cutané, retirer les vêtements souillés et laver la peau à grande eau pendant quinze minutes. Les vêtements ne seront réutilisés qu'après décontamination. Si une irritation apparaît ou si la contamination est étendue ou prolongée, une consultation médicale s'imposera.
- En cas de projection oculaire, laver immédiatement et abondamment à l'eau, les paupières bien écartées, pendant 10 à 15 minutes. Une consultation ophtalmologique sera indispensable s'il apparaît une douleur, une rougeur oculaire ou une gêne visuelle.
- En cas d'inhalation massive, retirer le sujet de la zone polluée après avoir pris toutes les précautions nécessaires.
- En cas d'ingestion, ne pas provoquer de vomissements et ne pas faire ingérer de lait ou de matières grasses ; on pourra faire absorber du charbon médical activé si le sujet est parfaitement conscient.
- Dans les deux derniers cas, si la victime est inconsciente, la placer en position latérale de sécurité ; en cas d'arrêt respiratoire, commencer les manœuvres de respiration assistée ; même si l'état initial est satisfaisant, transférer, si nécessaire par ambulance médicalisée, en milieu hospitalier, où pourra être effectuée une radiographie du thorax. Une surveillance de l'état de conscience, des fonctions cardiovasculaires, pulmonaires et hépato-rénales, ainsi qu'un traitement symptomatique en milieu de soins intensifs, peuvent s'avérer nécessaires.

Bibliographie

- 1 | Toluene - European Union Risk Assessment Report. Vol 30. European Chemical Bureau, 2003 (esis.jrc.ec.europa.eu/orats).
 - 2 | Kirk Othmer - Encyclopedia of chemical technology. 5th edition. Vol. 25. New York : John Wiley and Sons ; 2007 : 350-389.
 - 3 | Toxicological Profile for Toluene - tp56. ATSDR, 2000 (www.atsdr.cdc.gov/toxprofiles/index.asp).
 - 4 | Chemical summary for toluene prepared by Office of Pollution Prevention and Toxics. US : Environmental Protection Agency (EPA) ; 1994. (www.epa.gov/opptintr/chemfact¹).
 - 5 | NIOSH criteria documents. Criteria for a recommended standard : occupational exposure to toluene. DHHS (NIOSH), Publication n° 73-11023 ; 1973. (www.cdc.gov/niosh/73-11023.html).
 - 6 | Toxicity summary for toluene. Toxicity profiles, Risk Assessment Information System ; 1994. (risk.lsd.ornl.gov/tox/rap_toxp.shtml²).
 - 7 | IRIS summary for toluene. EPA, 2001. (www.epa.gov/iris/subst/0118.htm).
 - 8 | Guillot J-Pet al. - a. - Evaluation of the cutaneous-irritation potential of 56 compounds. *Food and Chemical Toxicology* , 1982 ; 20 : 563-572.
b.- Evaluation of the ocular-irritation potential of 56 compounds. *Food and Chemical Toxicology* . 1982 ; 20 : 573-582.
 - 9 | Sugai S, Murata K, Kitagaki T, Tomita I - Studies on eye irritation caused by chemicals in rabbits. - 1. A quantitative structure-activity relationships approach to primary eye irritation of chemicals in rabbits. *Journal of Toxicological Sciences* . 1990 ; 15 : 245-262.
 - 10 | De Ceaurriz J-C, Micillino J-C, Bonnet P, Guenier J-P - Sensory irritation caused by various industrial airborne chemicals. *Toxicology Letters* . 1981 ; 9 : 137-143.
 - 11 | Nielsen GD, Alarie Y - Sensory irritation, pulmonary irritation, and respiratory stimulation by airborne benzene and alkylbenzenes : prediction of safe industrial exposure levels and correlation with their thermodynamic properties. *Toxicology and Applied Pharmacology* . 1982 ; 65 : 459-477.
 - 12 | Campo P et al. - a. - Toluene-induced hearing loss : A mid-frequency location of the cochlear lesions. *Neurotoxicology and Teratology* . 1997 ; 19 : 129-40.
b.- Combined effects of simultaneous exposure to toluene and ethanol on auditory function in rats. *Neurotoxicology and Teratology* . 1998 ; 20 : 321-332.
 - 13 | Toluene. In : IARC monographs on the evaluation of carcinogenic risks to humans. Lyon : IARC. 1999 ; 71 : 829-864 (monographs.iarc.fr).
 - 14 | Toluene. In : Environmental Health Criteria 52. Genève ; World Health Organization (OMS) ; 1985 : 146 p.
- ¹<http://www.epa.gov/opptintr/chemfact>
²http://risk.lsd.ornl.gov/tox/%20rap_toxp.shtml
- 15 | Toxicology and carcinogenesis studies of toluene (Cas n° 108-88-3) in F344/N Rats and B6C3F1 Mice (Inhalation Studies). Toxicity Review TR-371, NTP ; 1990. (ntp-server.niehs.nih.gov/hdocs/LT-studies/tr371.html).
 - 16 | Dalgaard M et al. - Developmental toxicity of toluene in male rats : effects on semen quality, testis morphology, and apoptotic neurodegeneration. *Archives of Toxicology* . 2001 ; 75 (2) : 103-109.

- 17 | Ono A et al. - Toluene inhalation induced epididymal sperm dysfunction in rats. *Toxicology*. 1999 ; 139 (3) : 193-205.
- 18 | Wilkins-Haug L - Teratogen update : toluene. *Teratology*. 1997 ; 55 : 145-151.
- 19 | Lauwerys RR - Toxicologie industrielle et intoxications professionnelles. 4^e éd. Paris : Masson ; 1999.
- 20 | Toluène. In : BIOTOX. Guide biotoxicologique pour les médecins du travail. Inventaire des dosages biologiques disponibles pour la surveillance des sujets exposés à des produits chimiques. INRS, 2010 (www.inrs.fr/bio-tox ³).
- 21 | Valeurs limites d'exposition en milieu professionnel. Évaluation des indicateurs biologiques d'exposition au toluène et fixation de valeurs limites biologiques ou de valeurs biologiques de référence. Avis de l'Anses - Rapport d'expertise collective, mai 2011 (www.anses.fr).
- 22 | Roberts LG et al. - Developmental and reproductive toxicity evaluation of toluene vapor in the rat II. *Developmental Toxicity. Reprod. Toxicol.* 2007 ; 23 (4) : 521-531.
- 23 | Saillenfait AM et al. - Developmental toxic effects of ethylbenzene or toluene alone and in combination with butyl acetate in rats after inhalation exposure. *Journal of Applied Toxicology*. 2007 ; 27 : 32-42.
- 24 | Chang SJ, Chen CJ, Lien CH, Sung FC - Hearing loss in workers exposed to toluene and noise. *Environ Health Perspect*. 2006, 114(8) : 1283-1286.
- 25 | Paramei GV, Meyer-Baron M, Seeber A - Impairments of colour vision induced by organic solvents : a meta-analysis study. *Neurotoxicology*. 2004 ; 25(5) : 803-816.
- 26 | Qualité de l'air. Air des lieux de travail. Prélèvement et analyse de vapeurs organiques. Prélèvement par pompage sur tube à adsorption et désorption au solvant. Norme NF X 43-267. La Plaine Saint-Denis : AFNOR ; 2011 : 49 p.
- 27 | Hydrocarbures aromatiques. Fiche 012. In : MétroPol. Métrologie des polluants. INRS, 2009 (www.inrs.fr/metropol/).
- 28 | Mélange de vapeurs d'hydrocarbures en C6 à C12. Fiche 055. In : MétroPol. Métrologie des polluants. INRS, 2009 (www.inrs.fr/metropol/).
- 29 | Prélèvement passif sur badge Gabie[®]. Fiche C. In : MétroPol. Métrologie des polluants. INRS, 2007 (www.inrs.fr/metropol/).
- 30 | BIA 7732-Kohlenwasserstoffe, aromatisch. BIA-Arbeitsmappe, Messung von Gefahrstoffen, Erich Schmidt Verlag (2005).
- 31 | Toluene. Method 111. In : Sampling and Analytical Methods. OSHA, 1988 (www.osha.gov/dts/sltc/methods/index.html).
- 32 | Hydrocarbons, aromatic. Method 1501. In : NIOSH Manual of Analytical Methods (NMAM), 4th edition. NIOSH, 2003 (www.cdc.gov/niosh/nmam).
- 33 | Toluene (diffusive sampler). Method 4000. In : NIOSH Manual of Analytical Methods (NMAM), 4th edition. NIOSH, 1994 (www.cdc.gov/niosh/nmam).
- 34 | Benzène, Toluène Xylène sur tubes à désorption thermique. Fiche 101 à paraître. In : MétroPol. Métrologie des polluants. INRS, (www.inrs.fr/metropol/).
- 35 | Toluène. DEM 60. In : DEMETER. Documents pour l'évaluation médicale des produits toxiques vis-à-vis de la reproduction. INRS, 2010.
- 36 | Forsberg K, Mansdorf SZ - Quick selection guide to chemical protective clothing. 5th edition. Hoboken : John Wiley and Sons ; 2001 : 1223 p.
- 37 | Cuves et réservoirs - Recommandations CNAMTS R 435 ; 2008.
- ³<http://www.inrs.fr/bio-tox>

Auteurs

N. Bonnard, M.-T. Brondeau, M. Falcy, D. Jargot, D. Lafon, B. La Rocca, O. Schneider

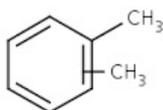
Xylènes

Fiche toxicologique n°77

Généralités

Edition _____ 2009

Formule :



Substance(s)

Nom	Détails	
o-Xylènes	Numéro CAS	95-47-6
	Numéro CE	202-422-2
	Numéro index	601-022-00-9
	Synonymes	1,2-Diméthylbenzène
m-Xylène	Numéro CAS	108-38-3
	Numéro CE	203-576-3
	Numéro index	601-022-00-9
	Synonymes	1,3-Diméthylbenzène
p-Xylène	Numéro CAS	106-42-3
	Numéro CE	203-396-5
	Numéro index	601-022-00-9
	Synonymes	1,4-Diméthylbenzène
Xylène (mélange d'isomères)	Numéro CAS	1330-20-7
	Numéro CE	215-535-7
	Numéro index	601-022-00-9
	Synonymes	Diméthylbenzène



XYLÈNES

Attention

- H226 - Liquide et vapeurs inflammables
- H332 - Nocif par inhalation
- H312 - Nocif par contact cutané
- H315 - Provoque une irritation cutanée

Les conseils de prudence P sont sélectionnés selon les critères de l'annexe 1 du règlement CE n° 1272/2008.
215-535-7

Selon l'annexe VI du règlement CLP.

ATTENTION : pour les mentions de danger H312 et H332, se reporter à la section "Réglementation".

Le xylène technique contient des pourcentages variables d'isomères et d'éthylbenzène. Le m-xylène est toujours le constituant principal.

Caractéristiques

[1 à 3]

Le xylène technique est un solvant très utilisé dans les industries suivantes :

- fabrication de peintures, vernis, colles et encres d'imprimerie ;
- préparation d'insecticides et de matières colorantes ;
- industrie du caoutchouc ;
- industrie des produits pharmaceutiques.

Les isomères interviennent en synthèse organique pour la fabrication de l'anhydride phtalique (o-xylène), de l'acide isophtalique (m-xylène), de l'acide téréphtalique (p-xylène).

Par ailleurs, les xylènes sont des constituants de certains carburants et solvants pétroliers.

Propriétés physiques

[1 à 8]

Les xylènes sont des liquides incolores, mobiles, d'odeur caractéristique agréable, perceptibles à l'odorat à des concentrations de l'ordre de 1 ppm. Ils sont pratiquement insolubles dans l'eau (0,02 % en poids à 20 °C), mais miscibles à la plupart des solvants organiques. En outre, ce sont de très bons solvants des graisses, cires, résines...

Nom Substance	Détails	
o-Xylène	N° CAS	95-47-6
	Masse molaire	106,16
	Point de fusion	- 25 °C
	Point d'ébullition	144,4 °C
	Densité	0,880
	Densité gaz / vapeur	3,7
	Pression de vapeur	0,133 kPa à - 3,8 °C 1,33 kPa à 31,2 °C 13,33 kPa à 81,3 °C
	Indice d'évaporation	13,5
	Point d'éclair	27 °C
	Température d'auto-inflammation	460 °C
	Limites d'explosivité ou d'inflammabilité (en volume % dans l'air)	Limite inférieure : 1% limite supérieure : 6%
m-Xylène	N° CAS	108-38-3
	Masse molaire	106,16
	Point de fusion	- 47,7 °C
	Point d'ébullition	139,1 °C
	Densité	0,8642
	Densité gaz / vapeur	3,7
	Pression de vapeur	0,133 kPa à - 6,9 °C 1,33 kPa à 28,3 °C 13,33 kPa à 76,8 °C
	Indice d'évaporation	13,5
	Point d'éclair	29 °C
	Température d'auto-inflammation	530 °C

	Limites d'explosivité ou d'inflammabilité (en volume % dans l'air)	Limite inférieure : 1,1% limite supérieure : 7%
p-Xylène	N° CAS	106-42-3
	Masse molaire	106,16
	Point de fusion	13,4 °C
	Point d'ébullition	138,4 °C
	Densité	0,8611
	Densité gaz / vapeur	3,7
	Pression de vapeur	0,133 kPa à - 8,1 °C 1,33 kPa à 27,3 °C 13,33 kPa à 75,9 °C
	Indice d'évaporation	13,5
	Point d'éclair	27 °C
	Température d'auto-inflammation	530 °C
	Limites d'explosivité ou d'inflammabilité (en volume % dans l'air)	Limite inférieure : 1,1% limite supérieure : 7%

Propriétés chimiques

[1, 4, 7, 9]

Dans les conditions normales d'emploi, les xylènes sont des produits stables. Ils réagissent avec de nombreux composés et constituent d'ailleurs des matières premières importantes en synthèse organique.

Les xylènes peuvent réagir vivement avec les agents fortement oxydants.

Les métaux usuels sont insensibles à l'action des xylènes. En revanche, certains caoutchoucs et matières plastiques (caoutchouc naturel, butyle, nitrite, polychloroprène, polyéthylène...) ne sont pas appropriés au contact des xylènes.

Récipients de stockage

Le stockage des xylènes peut s'effectuer dans des récipients en acier ou en aluminium. Le verre est également utilisable pour de petites quantités ; dans ce cas, les bonbonnes seront protégées par une enveloppe métallique plus résistante, convenablement ajustée.

Valeurs Limites d'Exposition Professionnelle

Des valeurs limites d'exposition professionnelle **contraignantes** dans l'air des locaux de travail ont été établies en France pour les xylènes (art. R. 4412-149 du Code du travail) (voir tableau ci-après).

Substance	Pays	VME (ppm)	VME (mg/m ³)	VLCT (ppm)	VLCT (mg/m ³)
Xylènes	France (VLEP contraignante)	50	221	100	442
Xylènes	Union européenne	50	221	100	442
Xylènes	États-Unis (ACGIH)	100	-	150	-
Xylènes	Allemagne (Valeurs MAK)	100	440	-	-

Méthodes de détection et de détermination dans l'air

- Prélèvement par pompage de l'atmosphère au travers d'un tube rempli de charbon actif. Dosage par chromatographie en phase gazeuse avec détection par ionisation de flamme après désorption au sulfure de carbone seul [35 à 42] ou en mélange avec du méthanol et du dichlorométhane [40].
- Prélèvement passif par diffusion sur un badge rempli de charbon actif ou d'Anasorb[®] 747. Dosage par chromatographie en phase gazeuse avec détection par ionisation de flamme après désorption au sulfure de carbone seul [38, 41].
- Prélèvement au travers d'un tube à désorption thermique rempli d'adsorbant solide Chromosorb ou Tenax TA. Dosage par chromatographie en phase gazeuse avec détection par ionisation de flamme après désorption thermique [42].
- Utilisation d'appareils à réponse instantanée équipés des tubes réactifs colorimétriques Draeger (Xylène 10/a), Gastec (Xylène 123 ou Toluène 122L) ou MSA (Tol-5 ou Hydrocarbures aromatiques).

Incendie - Explosion

Les xylènes sont des liquides inflammables (point d'éclair : 27 à 29 °C), dont les vapeurs peuvent former des mélanges explosifs avec l'air.

Les agents d'extinction préconisés sont les suivants : dioxyde de carbone, poudres chimiques, mousses. En général, l'eau n'est pas recommandée car elle peut favoriser la propagation de l'incendie. On pourra toutefois l'utiliser sous forme pulvérisée pour éteindre un feu peu important ou pour refroidir les récipients exposés au feu.

Pathologie - Toxicologie

Les xylènes, comme le toluène, sont des homologues supérieurs du benzène dont les propriétés physicochimiques sont proches, mais qui présentent cependant des différences essentielles de métabolisme et de toxicité.

Toxicocinétique - Métabolisme

Chez l'animal

Absorption chez l'animal

Par voie pulmonaire, passées les 10 premières minutes d'exposition, la quantité de xylènes absorbée correspond à environ 65 % de la quantité inhalée, quel que soit l'isomère considéré. Elle est d'autant plus élevée que la ventilation est importante (elle augmente de 30 % en cas d'exercice physique intermittent).

Les xylènes liquides sont absorbés par la peau ; pour le m-xylène liquide, l'absorption cutanée est de 2 µg/cm² /mn (l'immersion des deux mains pendant 15 minutes correspond à une inhalation de 100 ppm pendant la même durée).

L'absorption gastro-intestinale n'a pas été étudiée ; elle est probablement élevée.

Distribution chez l'animal

L'équilibre de distribution entre le sang et les tissus est atteint en 6 heures, à l'exception du tissu adipeux pour lequel il est de quelques jours.

L'exercice physique modifie la distribution tissulaire. La concentration sanguine est multipliée par 2 à 5 en cas d'exercice physique intermittent.

Lors d'une exposition de plusieurs jours consécutifs, il existe une accumulation des xylènes dans l'organisme, comme en témoigne l'élévation de 20 % de la concentration sanguine matinale à la fin d'une semaine d'exposition chez des volontaires.

Métabolisme chez l'animal

Chez l'homme, environ 95 % de la quantité de xylènes absorbée sont oxydés dans le foie. La majeure partie est transformée, par oxydation d'un groupe méthyle, en acides méthylbenzoïques qui sont conjugués à la glycine pour former les acides méthylhippuriques. À la différence du benzène, seule une faible quantité subit une oxydation nucléaire : les xylénols représentent moins de 2 % des xylènes métabolisés.

Le facteur limitant du métabolisme est la capacité de conjugaison des acides méthylbenzoïques à la glycine, qui serait saturée pour une exposition de 780 ppm au repos ou de 270 ppm en cas d'exercice physique important.

Élimination chez l'animal

La voie d'élimination principale est rénale. Environ 90 à 95 % des xylènes absorbés sont éliminés dans les urines, dans les 24 heures, sous forme d'acides méthylhippuriques. Plusieurs études ont été réalisées sur des volontaires et sur des groupes de travailleurs exposés aux xylènes. Lors d'une exposition unique de 8 heures, 71 % des xylènes absorbés sont excrétés pendant le temps d'exposition et 29 % les 16 heures suivantes. À l'arrêt de l'exposition, l'élimination urinaire d'acides méthylhippuriques se fait en deux phases, l'une rapide, l'autre lente ; cette dernière correspond au relargage des xylènes qui sont distribués dans les tissus graisseux (dont la demi-vie d'élimination est d'environ 60 heures).

Les xylènes libres urinaires représentent moins de 0,005 % des xylènes absorbés.

Les xylènes éliminés par voie pulmonaire (avec deux phases, l'une rapide, l'autre lente) ne représentent que 3 à 6 % des xylènes absorbés.

Surveillance biologique de l'exposition

[10]

Les acides méthylhippuriques (ou acides toluriques) dans les urines en fin de poste sont des indicateurs spécifiques bien corrélés à l'intensité de l'exposition. Des valeurs-guides existent pour ce dosage (voir § Recommandations - Au point de vue médical).

D'autres dosages sont également proposés mais ne présentent pas d'avantage par rapport au dosage des acides méthylhippuriques :

- xylènes dans le sang (dans les 2 heures qui suivent la fin de l'exposition) ;
- xylènes dans les urines de fin de poste ou dans l'air expiré.

Leurs caractéristiques sont indiquées dans la base de données Biotox.

Interférences métaboliques

[2, 3, 12, 14, 15, 28 à 31]

Le métabolisme des xylènes est augmenté par les inducteurs enzymatiques de type phénobarbital et 3-méthylcholantène.

L'aspirine et les xylènes inhibent mutuellement leur conjugaison à la glycine, ce qui a pour conséquence de diminuer l'excrétion urinaire d'acides méthylhippuriques.

Le consommation d'éthanol (0,8 g /kg) avant une exposition de 4 heures aux vapeurs de xylènes (145 et 280 ppm) entraîne une diminution de 50 % de l'excrétion d'acides méthylhippuriques tandis que la concentration sanguine de xylènes s'élève d'environ 1,5 à 2 fois. En même temps, les effets secondaires de l'éthanol sont augmentés.

D'autres produits industriels peuvent interférer avec le métabolisme des xylènes. L'éthylbenzène et les xylènes inhibent mutuellement leurs métabolismes : les métabolites sont excrétés plus lentement et en quantité moindre. En présence de xylènes, la nécrose hépatique liée au tétrachlorométhane est plus importante chez le rat. Enfin, les xylènes et le 1,1,1-trichloroéthane inhibent mutuellement leurs métabolismes.

Toxicité expérimentale

Toxicité aiguë

[2, 3, 7, 11 à 14]

Les effets observés sont une hyperexcitabilité neurologique puis une dépression du système nerveux central et chez le rat, une cytolysé hépatique. Le xylène provoque une irritation cutanée chez le lapin, et oculaire chez le lapin et le chat, et respiratoire chez la souris.

La DL50 du xylène technique par voie orale chez le rat est de 4300 mg/kg.

La CL50 du xylène technique et des mélanges d'isomères par inhalation chez le rat varie selon les auteurs de 5000 à 8500 ppm pour une exposition de 4 heures. Chez la souris, la CL50 varie de 3900 à 5300 ppm pour une exposition de 4 heures selon les isomères.

La DL50 du m-xylène par voie cutanée chez le lapin est de 14 100 mg/kg.

Les animaux présentent des signes d'hyperexcitabilité neurologique (ataxie, tremblements, spasmes) précédant une dépression du système nerveux central (prostration, coma).

Une cytolysé hépatique dose-dépendante a été rapportée dans une étude où les rats avaient été exposés à des concentrations de 1000 à 2000 ppm pendant 4 heures.

Chez la souris, on note des signes d'irritation respiratoire à partir de 1300 ppm, avec une relation dose-réponse. Une diminution de 50 % de la fréquence respiratoire est observée lors de l'exposition de souris à 1470 ppm. Aux concentrations létales, une atelectasie avec hémorragie et œdème interlobulaire est observée chez le rat.

L'application cutanée de xylènes chez le lapin entraîne une irritation modérée ou sévère (érythème et œdème, voire nécrose superficielle). En instillation oculaire chez le lapin et le chat, les xylènes sont responsables d'une irritation conjonctivale et de lésions de la cornée modérées à sévères.

Toxicité subchronique, chronique

[2, 3, 12 à 15]

Il existe des données contradictoires chez le rat. Une toxicité neurologique, hépatique et cardiaque a été observée chez le rat, et une toxicité rénale chez le lapin.

Une étude fait état de diverses atteintes chez des rats exposés à des concentrations élevées (810 ppm, 8 heures par jour, 6 jours par semaine pendant 110 à 130 jours) d'un mélange d'isomères ; une paralysie des pattes postérieures, une perte de poids, une discrète diminution du taux des leucocytes, une augmentation de l'urée sanguine, une hématurie avec albuminurie et une hyperplasie médullaire ont été observées ; à l'autopsie, il a été constaté une discrète congestion des reins, du foie, du cœur, des surrénales, des poumons et de la rate, avec, au niveau rénal, une desquamation cellulaire glomérulaire et une nécrose tubulaire. Ces atteintes n'ont pas été confirmées par la plupart des travaux ultérieurs conduits chez des rats, des cochons d'Inde, des chiens et des singes ; ces travaux n'ont pas révélé de modifications du poids corporel, d'anomalies histologiques des principaux organes ni de perturbation de la numération formule sanguine lors d'expositions aux xylènes à des concentrations variables, de 80 à 800 ppm, 6 à 8 heures par jour, 5 à 7 jours par semaine pendant 3 mois.

Une toxicité neurologique centrale se manifeste par des troubles du comportement chez le rat exposé à 300 ppm, 6 heures par jour pendant 5 à 18 semaines.

Une discrète nécrose rénale, tubulaire proximale, a été observée chez des lapins exposés à 70 ppm, 8 heures par jour, 6 jours par semaine pendant 5 mois.

Des anomalies histologiques hépatiques mal précisées ont été notées chez le rat exposé à 1100 ppm, 8 heures par jour, 7 jours par semaine pendant 1 an et chez le cochon d'Inde exposé à 300 ppm, 4 heures par jour, 6 jours par semaine pendant 11 semaines. Une autre étude met en évidence une augmentation de l'activité enzymatique hépatique dans le sérum de rats exposés à 1500 ppm de p-xylène, 4 heures par jour, ou 400 ppm de m-xylène, 6 heures par jour, 5 jours par semaine pendant 2 semaines. Une induction enzymatique hépatique a été observée dans deux autres études chez le rat.

Des fibrillations auriculaires et des troubles de la repolarisation électrocardiographiques ont été relevés chez des rats auxquels on injectait 0,5 ml/kg de xylènes, 2 fois par jour pendant 3 mois.

Effets génotoxiques

[3, 11, 14]

Les tests réalisés in vitro et in vivo sont négatifs.

Chez les procaryotes, les xylènes (qu'il s'agisse du xylène technique ou des isomères) testés avec ou sans activation métabolique n'entraînent ni mutation génique, ni aberrations chromosomiques.

Les tests effectués *in vitro* sur cultures de cellules animales ou *in vivo* sur la souris et le rat sont également négatifs.

Effets cancérigènes

[3, 14, 16]

Le CIRC (IARC) a classé les xylènes dans le groupe 3 des agents inclassables quant à leur cancérogénicité pour l'homme.

Trois études de cancérogénèse ont été effectuées par gavage gastrique. Dans deux de ces études utilisant du xylène technique, l'une chez la souris (recevant 0, 500 ou 1000 mg/kg par jour, 5 jours par semaine pendant 103 semaines), l'autre chez le rat (recevant 0, 250 ou 500 mg/kg par jour, 5 jours par semaine pendant 103 semaines), il n'a pas été observé d'augmentation de l'incidence des cancers chez les animaux traités. Une étude chez le rat recevant 500 mg/kg par jour d'un mélange d'isomères, 4 à 5 jours par semaine pendant 104 semaines a montré une augmentation de fréquence des tumeurs malignes tous types confondus chez les animaux traités par rapport aux témoins. Cependant, les résultats de cette étude sont difficiles à interpréter en raison notamment de la méthodologie utilisée.

Dans une étude ancienne, l'application sur la peau de souris d'un mélange d'isomères n'a pas mis en évidence d'effet promoteur ou initiateur des cancers cutanés.

Effets sur la reproduction

[2, 3, 11, 14, 16]

Le passage transplacentaire de l'o-xylène est prouvé chez l'animal et probable pour les autres isomères du xylène. Il n'y a pas de donnée permettant d'évaluer les effets sur la fertilité du xylène. Le xylène est embryolétal et foetotoxique chez le rat et la souris à doses élevées non toujours toxiques pour les mères.

Il n'existe pas de données sur les effets gonadiques et endocriniens de la reproduction, ni sur les effets des xylènes sur la fertilité.

Le passage transplacentaire de l'o-xylène est prouvé chez l'animal ; il est probable pour les autres isomères.

Plusieurs études effectuées chez le rat et la souris montrent que les xylènes exercent une action embryolétale et fœtotoxique à des doses élevées mais pas obligatoirement toxiques pour la mère (par exemple pour une administration orale de 2000 mg/kg par jour du 6^{ème} au 15^{ème} jour de gestation chez la souris ou lors d'une exposition à 230 ppm du 9^{ème} au 14^{ème} jour de gestation chez le rat). On observe en outre des retards de croissance fœtale et d'ossification et des malformations squelettiques (fentes palatines, côtes surnuméraires...). Ces effets ne sont pas retrouvés lors d'expositions à de plus faibles concentrations (par exemple à 35 ppm, 24 heures par jour, du 7^{ème} au 14^{ème} jour de gestation dans une étude chez le rat).

Toxicité sur l'Homme

La toxicité aiguë comprend notamment des troubles digestifs, une dépression du SNC, une pneumopathie d'inhalation (ingestion) ; des effets neurologiques (inhalation). Les xylènes peuvent provoquer une irritation (respiratoire, oculaire, cutanée). La toxicité chronique se caractérise surtout par un syndrome psycho-organique. Les tests de génotoxicité réalisés sont négatifs. Les données disponibles ne permettent pas de statuer formellement sur la cancérogénicité ou sur la reprotoxicité propre des xylènes.

Toxicité aiguë

[2, 3, 11 à 14, 17, 18, 24, 31 à 34]

La toxicité aiguë des xylènes est commune à celle de la plupart des hydrocarbures liquides distillant en dessous de 300 °C.

L'ingestion entraîne :

- des troubles digestifs : douleurs abdominales, nausées puis vomissements suivis de diarrhées ;
- une dépression du système nerveux central : syndrome ébriux puis troubles de la conscience (voire coma convulsif en cas de prise massive) ;
- une pneumopathie d'inhalation dont les premiers signes sont radiologiques : dans les 8 heures suivant l'ingestion, apparaissent des opacités floconneuses avec bronchogramme aérien (évoquant un œdème interstitiel et alvéolaire), le plus souvent localisées aux lobes moyen et inférieur droits mais parfois diffuses dans les deux champs pulmonaires ; les signes cliniques sont plus tardifs : toux, dyspnée, fièvre régressant en 2 ou 3 jours en l'absence de surinfection.

Les connaissances relatives à l'intoxication par inhalation résultent d'observations rapportées après des intoxications aiguës accidentelles et d'études menées chez des volontaires.

Les effets essentiels des xylènes s'exercent sur le système neurologique central et sont, en règle générale, réversibles. Les symptômes les plus fréquents sont d'abord des céphalées et une asthénie apparaissant pour des concentrations de l'ordre de 200 ppm, puis une sensation de vertiges et une confusion accompagnées de nausées et, enfin, lors d'exposition à de très fortes concentrations, un coma.

Des études effectuées sur des volontaires montrent que l'inhalation de xylènes entraîne une altération des fonctions psychomotrices : le temps de réaction est augmenté dès l'exposition à 200 ppm pour des durées d'exposition variables (de 20 minutes à 8 heures) ; une exposition à 90 ppm, 6 heures par jour, 5 jours consécutifs, entraîne une diminution du temps de réaction qui s'améliore au fil des jours, faisant évoquer l'apparition d'une tolérance aux xylènes. Cependant, les fonctions psychomotrices ne sont pas altérées lors de l'exposition pendant 4 heures à 75 ppm de p-xylène seul ou à 50 ppm de p-xylène associé à 25 ppm de toluène ; le 1,1,1-trichloroéthane n'exerce pas d'action synergique ou antagoniste sur ces effets neurologiques centraux.

Une irritation des voies respiratoires peut apparaître lors de l'exposition pendant 15 minutes à 100 ppm d'après certaines études. Une irritation oculaire modérée est observée à 200 ppm.

Des cas d'intoxication mortelle ont été attribués à une sensibilisation myocardique aux catécolamines et à des phénomènes anoxiques associés.

La toxicité hépato-rénale imputée aux xylènes et rapportée lors d'intoxications aiguës sévères semble être liée à l'inhalation simultanée d'autres solvants.

Les xylènes sont des solvants des lipides cutanés et les projections peuvent entraîner des dermatoses d'irritation. L'immersion des mains pendant 20 minutes dans les xylènes liquides provoque une sensation de brûlure et un érythème.

Les projections oculaires sont responsables d'irritation cornéo-conjonctivale dont la gravité dépend de la quantité et du temps de contact.

Toxicité chronique

[2, 3, 12, 14, 17, 32]

La voie respiratoire est la principale voie d'intoxication en milieu professionnel. De façon générale, la toxicité à terme est modérée. Les quelques manifestations décrites relèvent essentiellement d'observations isolées. Les xylènes n'entraînent en général pas d'effet spécifique les distinguant des autres solvants.

Le syndrome psycho-organique, à un stade réversible ou irréversible, est l'effet toxique chronique majeur des xylènes. Il associe des troubles de la mémoire et de la concentration, une insomnie, une diminution des performances intellectuelles et des troubles de la personnalité sans signe objectif. Sa relation avec l'exposition aux xylènes est cependant difficile à étudier en raison de l'utilisation concomitante d'autres solvants, de la mauvaise quantification de l'exposition et de divers problèmes méthodologiques.

Les xylènes ne sont pas hématotoxiques. Les observations anciennes rapportant des effets hématologiques et médullaires lors d'expositions au xylène étaient probablement dues à une contamination du produit technique par du benzène.

Il n'existe pas d'étude ou d'observation probante sur l'éventuelle toxicité des xylènes sur l'appareil respiratoire, le foie, les reins et le système nerveux périphérique.

Les xylènes ont une action desséchante et dégraissante sur la peau en contact et sont responsables de dermatoses d'irritation chroniques (peau sèche et squameuse) ; ils ne sont pas allergisants à l'état pur.

Effets génotoxiques

[2, 3, 14, 16]

Le traitement *in vitro* de lymphocytes humains par 1520 µg/ml de xylènes ne montre pas d'augmentation des échanges de chromatides sœurs ou des cassures chromosomiques. *In vivo*, lors d'une étude conduite chez des volontaires exposés expérimentalement et chez des personnes exposées professionnellement à des concentrations de 50 à 100 mg/m³ ou plus, les xylènes étant les solvants majoritaires, il n'a pas été observé d'augmentation des échanges de chromatides sœurs ni des aberrations chromosomiques lymphocytaires.

Effets cancérogènes

[3]

Dans deux études épidémiologiques de type cas-témoins, les auteurs ont associé une augmentation du risque de cancers hématopoïétiques avec une exposition aux xylènes. Cependant, il apparaît impossible d'interpréter ces résultats en raison du nombre limité de cas étudiés et d'une polyexposition concomitante à des composés chimiques variés. Il n'existe pas d'autres études ou observations permettant d'apprécier un éventuel pouvoir cancérogène des xylènes chez l'homme.

Effets sur la reproduction

[3, 16]

Une étude fait état de troubles menstruels chez des femmes exposées à moins de 100 ppm de xylènes associés à d'autres solvants.

Les xylènes traversent la barrière placentaire. Une augmentation du risque d'avortements spontanés et de malformations congénitales (notamment neurologiques), chez des enfants nés de mères exposées aux xylènes pendant le premier semestre de leur grossesse, a été relevée dans quatre études cas-témoins, mais ne peut être imputée de façon certaine aux xylènes en raison de l'exposition concomitante à d'autres produits chimiques et du faible nombre de cas étudiés.

Réglementation

Rappel : La réglementation citée est celle en vigueur à la date d'édition de cette fiche : 2009

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.

Prévention des incendies et des explosions

- Articles R. 4227-1 à R. 4227-41 du Code du travail.
- Articles R. 4227-42 à R. 4227-57 du Code du travail.
- Décret 96-1010 modifié du 19 novembre 1996 (*JO* du 24 novembre 1996) relatif aux appareils destinés à être utilisés en atmosphère explosible.

Valeurs limites d'exposition professionnelle (Françaises)

- Article R. 4412-149 du Code du travail : Décret n° 2007-1539 du 26 octobre 2007.

Valeurs limites d'exposition professionnelle (Européennes)

- Directive 2000/39/CE de la Commission du 8 juin 2000 (*JOCE* du 16 juin 2000).

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 ; tableaux n° 4 bis et 84.

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).

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) des xylènes ou en mélange d'isomères :

Le règlement (CE) n° 1272/2008 du Parlement européen et du Conseil du 16 décembre 2008 (*JOUE* du 31 décembre 2008), dit « Règlement CLP », introduit dans l'Union européenne le système général harmonisé de classification et d'étiquetage ou SGH. La classification et l'étiquetage des xylènes harmonisés selon les deux systèmes (règlement et directive 67/548/CEE) figurent dans l'annexe VI du règlement. La classification est :

- selon le règlement (CE) n° 1272/2008 modifié
 - Liquide et vapeurs inflammables catégorie 3 ; H 226
 - Toxicité aiguë catégorie 4 (*) ; H 332 - H 312
 - Irritation cutanée catégorie 2 ; H 315.

(*) Cette classification est considérée comme une classification minimale ; La classification dans une catégorie plus sévère doit être appliquée si des données accessibles le justifient. Par ailleurs, il est possible d'affiner la classification minimum sur la base du tableau de conversion présenté en Annexe VII du règlement CLP quand l'état physique de la substance utilisée dans l'essai de toxicité aiguë par inhalation est connu. Dans ce cas, cette classification doit remplacer la classification minimale.

- selon la directive 67/548/CEE ou l'arrêté du 20 avril 1994 modifié (JO du 8 mai 1994)
 - Inflammable ; R 10
 - Nocif ; R 20/21
 - Irritant ; R 38.

b) des **mélanges** (préparations) contenant des xylènes :

- Règlement (CE) n° 1272/2008 modifié

Des limites spécifiques de concentration ont été fixées pour les xylènes.

Les lots de mélanges classés, étiquetés et emballés selon la directive 1999/45/CE peuvent continuer à circuler sur le marché jusqu'au 1er juin 2017 sans réétiquetage ni réemballage conforme au CLP.

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 :
 - étiquetage (cf. § Classif. & étiquetage).

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

En raison de la nocivité et de l'inflammabilité des xylènes, des mesures de prévention et de protection strictes s'imposent lors du stockage et de la manipulation de ces substances.

Au point de vue technique

Stockage

- Stocker les xylènes à l'air libre ou dans des locaux spéciaux, frais, munis d'une ventilation, à l'abri de toute source d'ignition ou de chaleur (rayons solaires, flammes, étincelles...) et à l'écart des produits oxydants. Le sol de ces locaux sera incombustible, imperméable et formera cuvette de rétention afin qu'en cas de déversement accidentel, le liquide ne puisse se répandre au dehors.
- Le matériel électrique, y compris l'éclairage, sera conforme à la réglementation en vigueur.
- Il sera interdit de fumer.
- Toutes dispositions seront prises pour éviter une accumulation d'électricité statique.
- Les récipients seront soigneusement fermés et correctement étiquetés. Reproduire l'étiquetage en cas de fractionnement des emballages.

Manipulation

Les prescriptions relatives aux locaux de stockage sont applicables aux locaux où sont manipulés les xylènes. En outre :

- Instruire le personnel des risques présentés par les xylènes, des précautions à observer et des mesures à prendre en cas d'accident. Les procédures spéciales en cas d'urgence feront l'objet d'exercices d'entraînement.
- Entreposer dans les locaux de travail des quantités relativement faibles de produit et, de toute manière, ne dépassant pas celles nécessaires au travail d'une journée.
- Éviter l'inhalation de vapeurs. Effectuer en appareil clos toute opération industrielle qui s'y prête. Prévoir une aspiration des vapeurs à leur source d'émission ainsi qu'une ventilation générale des locaux. Prévoir également des appareils de protection respiratoire pour certaines opérations exceptionnelles de courte durée ; leur choix dépend des conditions de travail ; si un appareil filtrant peut être utilisé, il doit être muni d'un filtre de type A. Pour des interventions d'urgence, le port d'un appareil respiratoire autonome isolant est nécessaire.
- Contrôler fréquemment et régulièrement la teneur de l'atmosphère en xylènes.
- Éviter le contact du produit avec la peau et les yeux. Mettre à la disposition du personnel des vêtements de protection, des gants (par exemple en polyalcool vinylique ; certaines matières telles que le caoutchouc naturel, les caoutchoucs synthétiques ou le polyéthylène ne sont pas recommandées [43]), des lunettes de sécurité. Ces effets seront maintenus en bon état et nettoyés après usage.
- Interdire l'emploi d'air comprimé pour effectuer le transvasement ou la circulation du liquide.
- Ne pas procéder à des travaux sur et dans des cuves et réservoirs contenant ou ayant contenu des xylènes sans prendre les précautions d'usage [44] .
- Ne pas rejeter de xylènes à l'égout.
- En cas de fuite ou de déversement accidentel, récupérer le produit en l'épongeant avec un matériau absorbant non combustible, puis laver à grande eau la surface souillée. Si le déversement est important, évacuer le personnel en ne faisant intervenir que des opérateurs entraînés munis d'un équipement de protection.

- Conserver les déchets imprégnés de solvant dans des récipients clos, spécialement prévus à cet effet. Les xylènes peuvent être régénérés ou détruits par incinération. Dans tous les cas, traiter les déchets dans les conditions autorisées par la réglementation (traitement dans l'entreprise ou dans un centre spécialisé).

Au point de vue médical

- À l'embauchage et aux examens périodiques, l'examen clinique comportera, entre autres, un examen soigneux de la peau et la recherche de signes évoquant un syndrome psycho-organique débutant.
- Sauf si le médecin du travail l'estime nécessaire, il n'apparaît pas impératif, en cas d'exposition modérée et dans l'état actuel des connaissances, de pratiquer des examens complémentaires visant à explorer les fonctions hépatique et rénale. Il est inutile d'effectuer une surveillance de la numération formule sanguine chez les sujets exposés aux xylènes.
- Avertir les femmes enceintes ou désirant procréer du risque éventuel, bien que mal connu, pour la grossesse lors d'expositions importantes au solvant.
- Surveillance biologique : l'indicateur le plus pertinent actuellement est le dosage des acides méthylhippuriques urinaires en fin de poste de travail, témoins de l'exposition du jour même, bien corrélés à l'intensité de l'exposition, même pour des expositions de moins de 15 ppm. La valeur-guide française pour les acides méthylhippuriques urinaires est de 1,5 g/g de créatinine en fin de poste (même valeur pour le BEI de l'ACGIH).
- Lors d'accidents aigus, demander dans tous les cas l'avis d'un médecin ou du centre antipoison régional ou de services d'urgence médicalisés.
- En cas de contact cutané, retirer les vêtements souillés et laver la peau à grande eau pendant 15 minutes. Les vêtements ne seront réutilisés qu'après décontamination. Si une irritation apparaît ou si la contamination est étendue ou prolongée, une consultation médicale s'impose.
- En cas de projection oculaire, laver immédiatement et abondamment à l'eau, les paupières bien écartées, pendant 10 à 15 minutes. Une consultation ophtalmologique sera indispensable s'il apparaît une douleur, une rougeur oculaire ou une gêne visuelle.
- En cas d'inhalation massive, retirer le sujet de la zone polluée après avoir pris toutes les précautions nécessaires.
- En cas d'ingestion, ne pas provoquer de vomissements et ne pas faire ingérer de lait ou de matières grasses.
- Dans les deux derniers cas, si la victime est inconsciente, la placer en position latérale de sécurité ; en cas d'arrêt respiratoire, commencer les manœuvres de respiration assistée ; même si l'état initial est satisfaisant, transférer si nécessaire par ambulance médicalisée, en milieu hospitalier, où pourra être pratiquée au minimum une radiographie du thorax ; une surveillance de l'état de conscience, des fonctions cardio-vasculaires, pulmonaires et hépatorénales, ainsi qu'un traitement symptomatique en milieu de soins intensifs peuvent s'avérer nécessaires

Bibliographie

- 1 | Kirk-Othmer - Encyclopedia of chemical technology, vol. 24. New York, Londres : Wiley Interscience. 1984 : 709-744.
- 2 | Snyder R - Ethel Browning's toxicity and metabolism of industrial solvents, 2th ed. Amsterdam : Elsevier. 1987 : 64-79.
- 3 | Xylènes. In : IARC Monographs on the evaluation of the carcinogenic risk of chemicals to human. Lyon : IARC. Vol. 47 ; 1989 : 125-156 et Vol. 71 ; 1999 : 1189-1208 (monographs.iarc.fr/).
- 4 | Solvesso® - Xylène. Fiches de données de sécurité. Paris, Exxon chemical, 1990.
- 5 | Falcy M, Malard S - Comparaison des seuils olfactifs de substances chimiques avec des indicateurs de sécurité utilisés en milieu professionnel. Note documentaire ND 2221. Hyg Sécur Trav. Cah Notes Doc. 2003 ; 198 : 7-21.
- 6 | Marsden C - Solvents guide. Londres : Cleaver-Hume Press Ltd. 1963 : 555561.
- 7 | Sax NI, Lewis RJ - Dangerous properties of industrial materials, 6th ed. New York : Van Nostrand Reinhold Co. 1989 : 2739-2740.
- 8 | Solvant Hoechst - Manuel pour le laboratoire et l'usine. 5^e éd. Francfort : Hoechst Ag ; 1975.
- 9 | Occupational health guideline for xylène. Cincinnati : NIOSH/OSHA ; 1978.
- 10 | Xylènes. In : Biotox. Guide biotoxicologique pour les médecins du travail. Inventaire des dosages biologiques disponibles pour la surveillance des sujets exposés à des produits chimiques. INRS, 2008 (www.inrs.fr/biotox ¹).
- 11 | Berrod J, Aubrun JC - Hydrocarbures aromatiques. Paris : Encyclopédie médico-chirurgicale - Intoxications Maladies par agents physiques. 16046 A 10, 9-1985, 12 p.
- 12 | Sandmeyer EE - Xylenes. In : Clayton GD, Clayton FE - Patty's industrial hygiene and toxicology, vol. II B. New York : John Wiley and sons. 1981 : 3291-3300.
- 13 | Exposition à certains solvants organiques : limites recommandées d'exposition professionnelle à visée sanitaire. Genève : Organisation Mondiale de la Santé, 1981, Rapport technique 664.
- 14 | Xylenes - Joint assessment of commodity chemicals n° 6. Bruxelles : European Chemical Industry Ecology & Toxicology Centre ; juin 1986.
- 15 | Health effects assessment for xylène. Springfield : US Environmental Protection Agency, National Technical Information Service ; sept. 1984.
- 16 | Barlow SM, Sullivan FM - Reproductive hazards of industrial chemicals. Londres : Academic Press ; 1982 : 592-599.
- 17 | Lauwerys RR - Toxicologie industrielle et intoxications professionnelles, 2^e éd. Paris : Masson ; 1982 : 188-192.
- 18 | Rihimaki V, Savolainen K - Human exposure to m-xylene. Kinetics and acute effects on the central nervous system. *Annals of Occ. Hyg.* 1980 ; 23 : 411-422.
- 19 | Engstrom K, Husman K, Rihimaki V - Percutaneous absorption of m-xylene in man. *Int. Arch. of Occ. and Env. Health* . 1977 ; 39 : 181-189.
- 20 | SedivecV, Flek J - The absorption, metabolism, and excretion of xylenes in man. *Int. Arch. of Occ. and Env. Health* . 1976 ; 37 : 205-217.
- 21 | Rihimaki Vet al. - Kinetics of m-xylene in mangeneral features of absorption, distribution, biotransformation and excretion in repetitive inhalation exposure. *Scand. J. of Work, Env. and Health* . 1979 ; 5 : 217-231.
- 22 | RihimakiV, PfaffliP, Savolainen K - Kinetics of m-xylene in man ; Influence of intermittent physical exercise and changing environmental concentrations on kinetics. *Scand. J. of Work, Env. and Health* . 1979 ; 5 : 232-248.
- 23 | Engstrom K et al. - Evaluation of occupational exposure to xylene by blood, exhaled air and urine analysis. *Scand. J. of Work, Env. and Health* . 1978 ; 4 : 114-121.
- 24 | Savolainen K, Rihimaki V, Linnola M - Effects of short-term xylene exposure on psychophysiological functions in man. *Int. Arch. of Occ. and Env. Health* . 1979 ; 44 : 201-211.

- 25 | Lundberg I, Sollenberg J - Correlation of xylene exposure and methyl hip- puric acid excretion in urine among paint industry workers. *Scand. J. of Work, Env. and Health* . 1986 ; 12 : 149-153.
- 26 | Engstrom K et al. - Evaluation of occupational exposure to xylene by blood, exhaled air and urine analysis. *Arhiv za higijenu rada i toksikologiju* . 1979 ; 30 suppl : 483-488.
- 27 | Sedivec V, Flek J - Exposure test for xylenes. *Int. Arch. of Occ. and Env. Health* . 1976 ; 37 : 219-232.
- 28 | Campbell L et al. - Interactions of m-xylene and aspirin metabolism in man. *British J. of Ind. Med* . 1988 ; 45 : 127-132.
- 29 | Imbriani M et al. - Eliminazione urinaria di xilene nella esposizione sperimentale e professionale. *La Medicina del Lavoro* . 1987 ; 78 : 239-249.
- 30 | Engstrom K, Rihimakiv, Laine A - Urinary disposition of ethylbenzene and m-xylene in man following separate and combined exposure. *Int. Arch. of Occ. and Env. Health* . 1984 ; 54 : 355-363.
- 31 | Savoleinen Ket al. - Short-term exposure of human subjects to m-xylene and 1. 1.1-trichloroethane. *Int. Arch. of Occ. and Env. Health* . 1981 : 49 : 8998.
- 32 | Conso F, Carnier R - Homologues supérieurs du benzène. In : Toxicologie clinique, 4^e éd. Paris : Flammarion Médecine-Sciences ; 1987 : 584-585.
- 33 | Savoleinen Ket al. - Effects of short-term m-xylene exposure and physical exercise on the central nervous system. *Int. Arch. of Occ. and Env. Health* . 1980 ; 45 : 105-121.

¹ <http://www.inrs.fr/biotox>

34 | Anshelm Olson B, Gamberale F, Iregren A - Coexposure to toluene and p-xylene In man : central nervous functions. *British J. of Ind. Med* . 1985 ; 42 : 117-122.

35 | Qualité de l'air. Air des lieux de travail. Prélèvement et analyse de vapeurs organiques. Prélèvement par pompage sur tube à adsorption et désorption au solvant. Norme NF X 43-267. La Plaine Saint-Denis : AFNOR ; 2004 : 49 p.

36 | Hydrocarbures aromatiques. Fiche 012. In : Métropol. Métrologie des polluants. INRS, 2009 (www.inrs.fr/metropol/).

37 | Mélange de vapeurs d'hydrocarbures en C6 à C12. Fiche 055. In : Métropol. Métrologie des polluants. INRS, 2009 (www.inrs.fr/metropol/ ²).

38 | Xylenes (o-, m-, p-isomers) Ethylbenzene. Method 1002. In : Sampling and Analytical Methods. OSHA, 1999 (www.osha.gov/dts/sltc/methods/index.html ³).

39 | Hydrocarbons, Aromatic. Method 1501. In : NIOSH Manual of Analytical Methods (NMAM), 4th ed. NIOSH, 2003 (www.cdc.gov/niosh/nmam ⁴)

40 | BIA 7733- Kohlenwasserstoffe, aromatisch. BIA-Arbeitsmappe, Messung von Gefahrstoffen, Erich Schmidt Verlag (2005).

41 | Prélèvement passif sur badge Gabie®. Fiche C. In : Métropol. Métrologie des polluants. INRS, 2007 (www.inrs.fr/metropol/).

42 | Benzène, Toluène, Xylène sur tubes à désorption thermique. Fiche 101. À paraître. In : Métropol. Métrologie des polluants. INRS (www.inrs.fr/metropol/ ²).

43 | Forsberg K, Mansdorf SZ - Quick selection guide to chemical protective clothing. 4th ed. Hoboken : John Wiley and Sons ; 2002 : 147 p.

44 | Cuves et réservoirs. Recommandation CNAM R 435. Paris : INRS ; 2008

² <http://www.inrs.fr/metropol/>

³ <http://www.osha.gov/dts/sltc/methods/index.html>

⁴ <http://www.cdc.gov/niosh/nmam>

Auteurs

Fiche établie par les services techniques et médicaux de l'INRS

**COUT DES MESURES DESTINEES A ASSURER LA MISE EN SECURITE DU SITE
ET A REDUIRE L'IMPACT DE L'EXPLOITATION SUR L'ENVIRONNEMENT**

**COUT DES MESURES
DESTINEES A LIMITER OU A COMPENSER
LES INCIDENCES DES TRAVAUX SUR L'ENVIRONNEMENT**

N °	Désignation	Nombre	Coût unitaire	Coût total €
Dispositions de protection - sécurité du site				
1	Pose de clôtures	3100	5	15500
2	Entretien de clôtures durant la période d'exploitation	1000	5	5000
3	Pancartes danger, accès interdit au public,	60	15	900
4	Portails	2	1500	3000
<i>Coût des dispositions de protection - sécurité</i>				24400
Mesures destinées à limiter l'incidence de l'exploitation				
5	Plateforme bétonnée avec séparateur à hydrocarbures	1	10000	10000
6	Mesures d'empoussièrement (poste de travail)	20	2000	40000
7	Mesures de bruit dans l'environnement	7	1500	10500
8	Analyse annuelle des eaux en sortie de bassin de décantation	20	800	16000
9	Plantation haie	695	10	6950
10	Création de zone humide	0,2	20000	4000
11	Suivis écologiques	1	34500	34500
12	Mesures de poussières dans l'environnement	44	2500	110000
13	Aménagement voie privée			
<i>Coût des mesures destinées à limiter l'incidence</i>				231 950

N °	Désignation	Nombre	Coût unitaire	Coût total €
Reconstitution coordonnée du sol, dispositions de remise en état				
11	Reconstitution coordonnée du sol, apport du stérile, en fond de fouille, nivellement, raccordement au terrain naturel, talutage des fronts, régalage de la terre végétale ou d'argile, creusement des fossés de drainage, aménagement du plan d'eau, démontage des clôtures	10,0	20000	200000
<i>Coût de la reconstitution du sol</i>				200 000
Total général en € HT				456 350

**PLAN DE GESTION DES DECHETS D'EXTRACTION ET DES TERRES NON
POLLUEES**

PLAN DE GESTION DES DECHETS INERTES ET DES TERRES NON POLLUEES DE LA CARRIERE TERREAL DE CAHAIGNES (VEXIN-SUR-EPTE)

Application de l'article 16bis de l'arrêté ministériel
du 22 septembre 1994 modifié

SOMMAIRE

1	Introduction.....	2
1.1	<i>Cadre réglementaire général</i>	2
1.2	<i>Autorisation d'exploiter la carrière</i>	2
2	Description du fonctionnement de la carrière : contexte géologique, extraction, process, déchets.....	3
2.1	<i>Informations géologiques sur le contexte du gisement à exploiter</i>	3
2.2	<i>Fonctionnement de la carrière</i>	4
2.3	<i>Terres non polluées et déchets inertes résultant du fonctionnement de la carrière</i> ...	5
2.4	<i>Tableau de synthèse comparatif avec la liste des déchets inertes dispensés de caractérisation</i>	6
3	Gestion des déchets	7
3.1	<i>Modalités de stockage</i>	7
3.2	<i>Valorisation pour la remise en état du site</i>	7
3.3	<i>Actions de réduction des quantités de déchets (valorisation – élimination)</i>	7
4	Environnement – sécurité : contrôles et surveillance	8
4.1	<i>Effets sur l'environnement</i>	8
4.2	<i>Stabilité des stockages</i>	9

1 Introduction

1.1 Cadre réglementaire général

L'arrêté ministériel du 22 septembre 1994 relatif aux exploitations de carrières et leurs installations de premier traitement a été modifié par arrêté ministériel du 5 mai 2010 (JORF du 27 août 2010) à titre de transposition de la directive européenne n°2006/21/CE relative aux déchets de l'industrie extractive pour ce qui concerne la gestion des terres non polluées et des déchets inertes.

Cette modification :

- fixe les critères de détermination du caractère inerte des déchets d'extraction et de traitement des ressources minérales exploitées ;
- impose à l'exploitant d'établir un plan de gestion des déchets inertes et des terres non polluées ;
- établit des prescriptions d'exploitation des installations de stockage de déchets inertes en matière d'environnement de sécurité, de contrôle et de surveillance.

L'exigence relative au plan de gestion des déchets inertes et des terres non polluées résultant du fonctionnement de la carrière est établie par un nouvel article 16bis de l'arrêté ministériel du 22 septembre 1994. Ce plan de gestion doit être établi par l'exploitant avant le début d'exploitation. Les dispositions de l'article 16 bis sont applicables depuis le 27 août 2010 aux nouvelles installations et pour le 1^{er} juillet 2011 pour les installations existantes autorisées avant le 27 août 2010, date de publication de l'arrêté modificatif du 5 mai 2010.

Pour la détermination du caractère inerte des déchets, le présent plan de gestion s'appuie sur la note d'instruction du MEDDTL aux DREAL du 22 mars 2011 (réf BSSS/2011-35/TL) qui fixe les principes applicables et établit une liste nationale de déchets inertes dispensés de caractérisation.

Le présent plan de gestion des déchets inertes et des terres non polluées de la carrière de Cahaignes est établi pour répondre à ces exigences.

1.2 Autorisation d'exploiter la carrière

Bénéficiaire de l'autorisation :	Société TERREAL SAS
Autorisation :	<i>En cours d'instruction</i>
Commune(s) d'implantation :	Vexin-sur-Epte
Lieu dit :	Le Fer à Chambre, Le Vide Bouteille, Le Pré Magnard
Surface autorisée :	En cours d'instruction 19,6923 hectares
Durée d'autorisation sollicitée :	20 ans
Ressource exploitée :	argile
Traitement :	aucun
Activité exercée :	Extraction d'argile pour production de Tuiles et accessoires de couverture en terre cuite

2 Description du fonctionnement de la carrière : contexte géologique, extraction, process, déchets

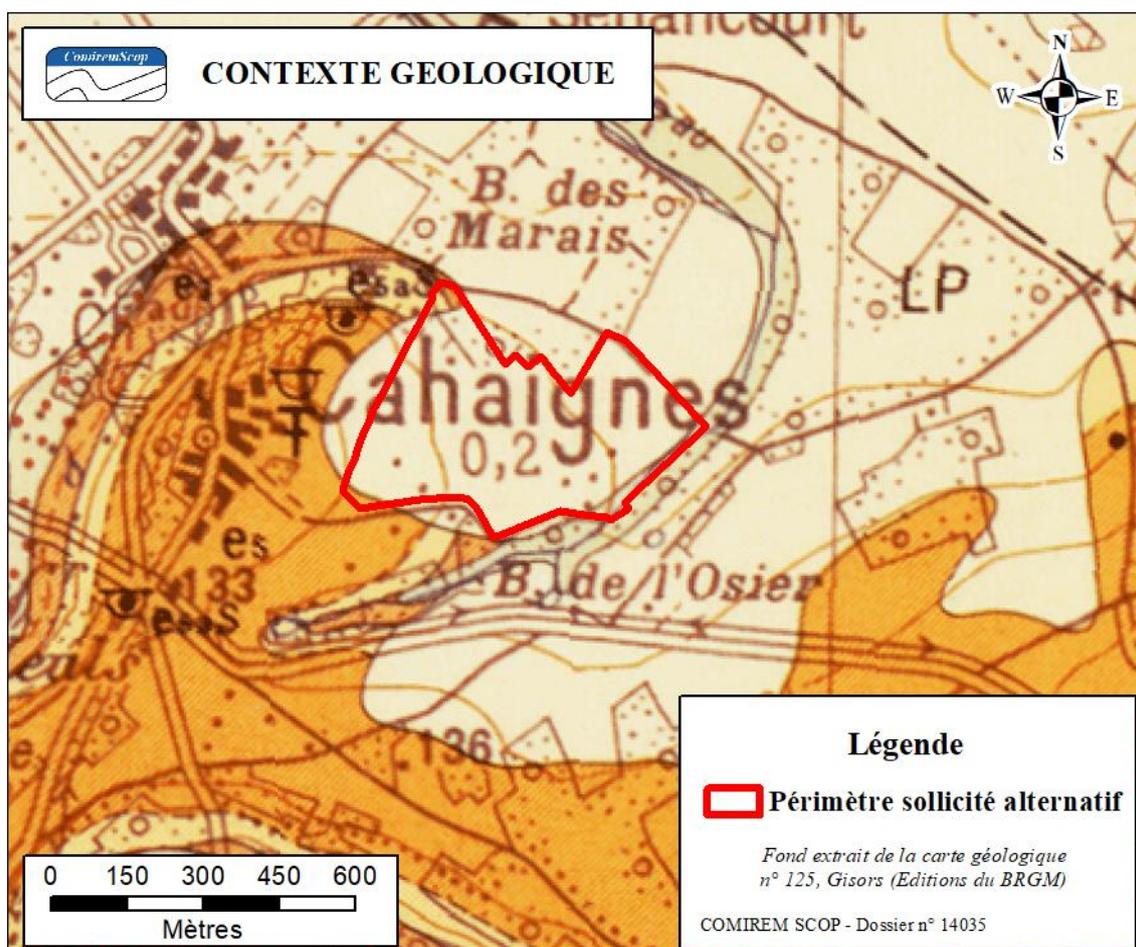
Exigence art 16bis

- la description de l'exploitation générant ces déchets et des traitements ultérieurs auxquels ils sont soumis ;
- la caractérisation des déchets et une estimation des quantités totales de déchets d'extraction qui seront stockés durant la période d'exploitation ;

2.1 Informations géologiques sur le contexte du gisement à exploiter

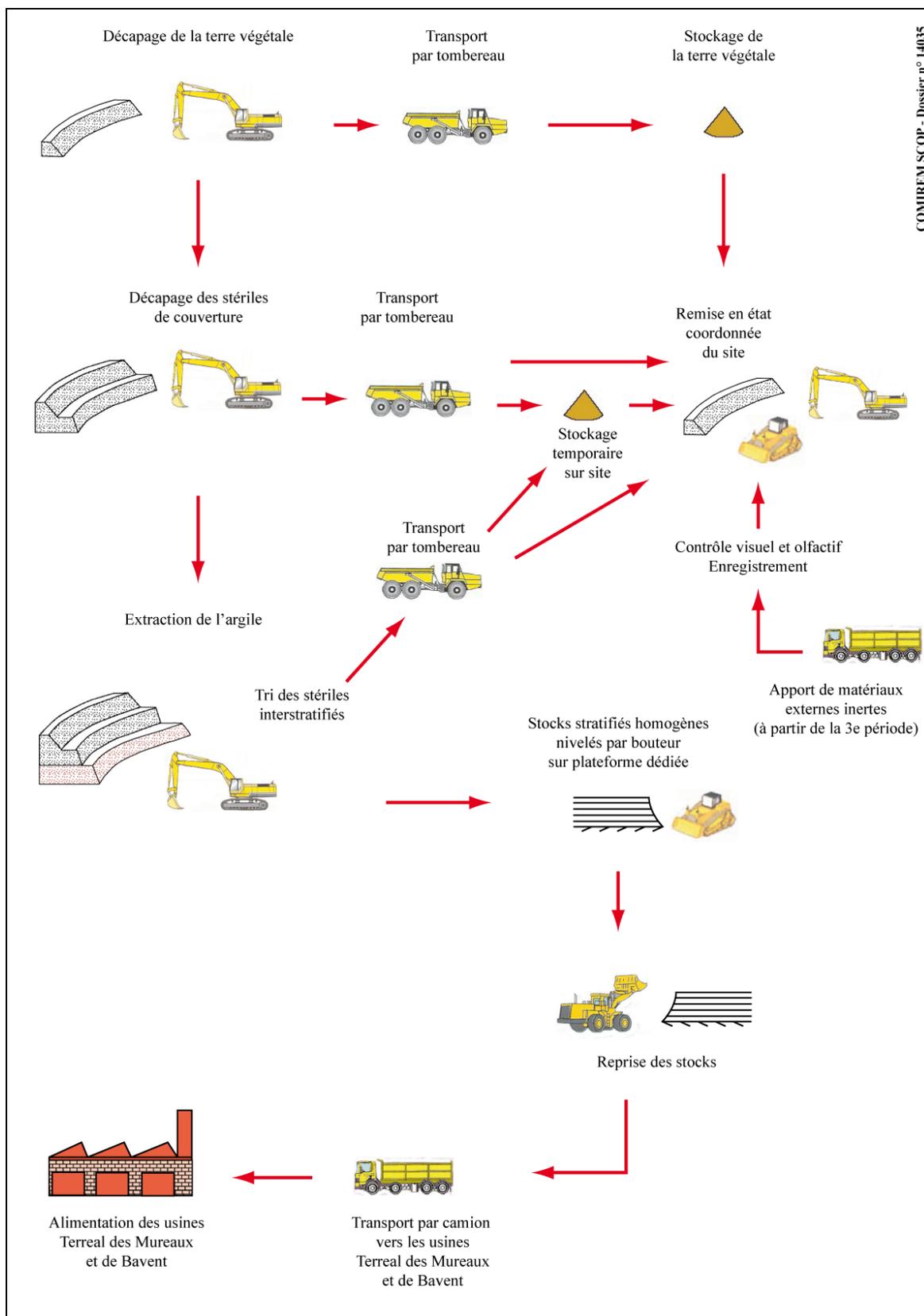
Gisement :

- Argiles de l'Yprésien inférieur (Sparnacien)
- Gisement de type stratiforme de l'ordre de 5 mètres d'épaisseur en moyenne



2.2 Fonctionnement de la carrière

Méthode d'extraction et procédé de traitement appliqué :



- Travaux de décapage et de découverte : ils sont utilisés directement en réaménagement coordonné de la carrière ou stockés temporairement sur le site hormis la terre végétale stockée sélectivement en attente d'étalement sur le réaménagement.
- Travaux d'extraction : extraction du niveau sous-jacent d'argile avec mise en stock sur la plateforme de stockage, stériles d'extraction intégrés dans le réaménagement coordonné ou stockés temporairement
- Aucun traitement sur le site
- Aucun produit chimique utilisé sur le site
- 1 bassin de rétention/décantation est aménagé en fond de carrière pour recueillir les eaux de ruissellement. Il est pompé pour rejeter dans un bassin de rétention/décantation aménagé au nord-est du site avant rejet régulé en direction du ruisseau du Rhin.

2.3 Terres non polluées et déchets inertes résultant du fonctionnement de la carrière

Terre végétale :

Nature : matériau solide issu des travaux de décapage
 Quantité : environ 43 000 tonnes sur l'ensemble de la zone d'extraction
 Stockage prévu : temporairement en cordon autour de l'exploitation et dépôt de surface en une couche de 20 cm environ
 Classification : 01 01 02
 Caractère inerte : OUI En référence à la liste des déchets dispensés de caractérisation

Stérile de découverte et d'exploitation argileux à sableux :

Nature : matériau solide issu des travaux de découverte et d'extraction
 Quantité : environ 1 357 000 tonnes sur l'ensemble du site
 Stockage prévu : remblaiement du fond de carrière en épaisseur variable et couverture des matériaux inertes externes au site importés dans le cadre de la remise en état
 Classification : 01 01 02
 Caractère inerte : OUI En référence à la liste des déchets dispensés de caractérisation

Matériau de décantation argilo-silteux à sableux :

Nature : matériau boueux à solide issu des travaux d'entretien des bassins de décantation
 Quantité : environ 4 000 tonnes sur l'ensemble du site
 Stockage prévu : remblaiement du fond de carrière en épaisseur inférieure à 1 m recouvert de stérile de découverte
 Classification : 01 01 02
 Caractère inerte : OUI En référence à la liste des déchets dispensés de caractérisation

2.4 Tableau de synthèse comparatif avec la liste des déchets inertes dispensés de caractérisation

Nom de la carrière		Cahaignes			
Activité		Production d'argile			
Roches concernées		Découverte	Argile, sable, sable argileux		
		Gisement	Argile		
Déchets et Terres non polluées					
Code déchet	Nature	Procédés	Quantité totale estimée sur la durée d'exploitation	Quantité déjà stockée	Type de stockage
01 01 02	Terre végétale	Extraction mécanique	43 000 tonnes	Sans objet	Réaménagement de surface/remblais
01 01 02	Argile silteuse/sable	Extraction mécanique	1 357 000 tonnes	Sans objet	Remblaiement en réaménagement de carrière
01 01 02	Matériau de curage des bassins de décantation argilo-silteux à sableux	Extraction mécanique	Environ 4 000 tonnes	Sans objet	Remblaiement fond de carrière avec couvert argilo sableux

3 Gestion des déchets

Exigence art 16bis
<ul style="list-style-type: none">- la description des modalités d'élimination ou de valorisation de ces déchets ;- le plan proposé en ce qui concerne la remise en état de l'installation de stockage de déchets ;

3.1 Modalités de stockage

L'ensemble des matériaux sont utilisés dans le réaménagement de la carrière par remblaiement des excavations avec les matériaux stériles de découverte et de d'exploitation.

3.2 Valorisation pour la remise en état du site

Les 3 types de matériaux issus de l'exploitation de la carrière sont intégrés dans les remblais de réaménagement du site :

La terre végétale est régalée en couche superficielle pour favoriser la reprise de la végétation,

Les stériles de découverte et d'extraction sont utilisés en complément de matériaux inertes externes pour reprofiler le terrain avant régalage de la terre végétale

3.3 Actions de réduction des quantités de déchets (valorisation – élimination)

100% des matériaux jugés stériles issus de la découverte et de l'extraction sont réutilisés dans le cadre du réaménagement du site.

4 Environnement – sécurité : contrôles et surveillance

Exigence art 16bis
<i>- en tant que de besoin, la description de la manière dont le dépôt des déchets peut affecter l'environnement et la santé humaine, ainsi que les mesures préventives qu'il convient de prendre pour réduire au minimum les incidences sur l'environnement ;</i>
<i>- les procédures de contrôle et de surveillance proposées ;</i>
<i>- en tant que de besoin, les mesures de prévention de la détérioration de la qualité de l'eau et en vue de prévenir ou de réduire au minimum la pollution de l'air et du sol ;</i>
<i>- une étude de l'état du terrain de la zone de stockage susceptible de subir des dommages dus à l'installation de stockage de déchets ;</i>
<i>- les éléments issus de l'étude de danger propres à prévenir les risques d'accident majeur en conformité avec les dispositions prévues par l'arrêté du 19 avril 2010 relatif à la gestion des déchets des industries extractives et applicable aux installations classées pour la protection de l'environnement soumises à autorisation et aux installations de gestion de déchets provenant des mines ou carrières.</i>

4.1 Effets sur l'environnement

Le seul risque environnemental est la remise en suspension dans les eaux de ruissellement des matériaux remblayés et l'étouffement en conséquence du milieu récepteur. En effet, les stériles d'exploitation correspondent à des argiles, argiles silteuses, silts argileux, sables argileux et sables contenant parfois une teneur en carbonates ou en sulfate incompatible avec le process de l'usine des Mureaux. Ces matériaux sont inertes et ne présentent aucun risque pour l'environnement et les populations proches.

Ce risque est annulé par le mode de stockage décrit ci-dessous qui empêche les glissements des remblais en grande masse associé à la séquence de remblaiement qui prévoit le régalage de terre végétale sur la partie supérieure et une reprise de la végétation qui empêche l'érosion de surface.

Par ailleurs, pendant la durée de vie de la carrière et avant réaménagement complet du site, les eaux de ruissellement des surfaces collectées sont dirigées vers des bassins de rétention et de décantation. Un premier bassin est aménagé en fond de carrière. Il permet ainsi une première décantation des eaux. Il est ensuite pompé et les eaux sont dirigées vers un second bassin de rétention / décantation dont le rejet est dirigé vers le ruisseau du Rhin après régulation.

Les bassins feront l'objet de curages dès que nécessaire.

Au regard du caractère inerte des matériaux concernés par le présent plan, il n'est pas prévu de mesures de contrôle et de surveillance des dépôts.

4.2 Stabilité des stockages

Les stockages sont réalisés de façon à n'entraîner aucun glissement. Les stockages sont confinés dans les anciennes excavations. De part ce fait, ils sont confinés par du matériau en place et ne présentent aucun risque de glissement. La cote initial des terrains ne sera pas dépassée.