



## L'essentiel

- ▶ Les ciments anhydres sont des matériaux granulaires en poudre très fine dont la répartition de taille des particules va de 0,2 à 100 micromètres (µm). La proportion de particules alvéolaires varie avec la composition du ciment mais reste minoritaire.
- ▶ Les constituants naturels ou artificiels des ciments sont susceptibles de contenir de la silice cristalline, nocive pour la santé lorsqu'inhalée sous forme de poussière fine.
- ▶ Les ciments purs (CEM I) ainsi que la grande majorité des ciments au calcaire (CEM II/LL) et des ciments au laitier produits en France (CEM II/A-S et CEM III) ne contiennent pas de silice cristalline.
- ▶ Seuls les ciments au Laitier et aux cendres (CEM V) ou à la pouzzolane (CEM II/A-P ou CEM II/A-M P-LL) peuvent contenir une fraction infime de silice cristalline.
- ▶ Le ponçage/perçage des bétons durcis peut émettre des poussières en quantité variable dont il faut se protéger. La fraction de poussière alvéolaire est également variable et directement fonction de la constitution du béton. Les poussières émises par ces traitements peuvent contenir une fraction de silice cristalline, très minoritaire dans le cas du perçage.
- ▶ Dans tous les cas, les poussières émises par le ponçage/perçage des bétons peuvent contenir une faible proportion de nanoparticules (d<100 nm) mais ne peuvent pas être classés comme « nanoparticulaires ».

**Fraction inhalable** : somme des fractions thoraciques et alvéolaires d'un aérosol

**Fraction thoracique** : sous-fraction des particules d'un aérosol, de diamètre médian < 10 micromètres

**Fraction alvéolaire** : sous-fraction des particules d'un aérosol, de diamètre médian < 4 micromètres

**Silice cristalline** : somme du contenu en minéraux purement siliceux, quartz-cristobalite-tridymite, d'un matériau

## INTRODUCTION

Le travail avec les matériaux en poudre (ciments) ou le traitement de matériaux durcis (bétons) peut entraîner un risque d'exposition aux particules fines issues de ces matériaux -. Il est donc important de caractériser le potentiel d'émission de poussières inhalables, en particulier la fraction alvéolaire, et leur contenu en éléments potentiellement toxiques (silice cristalline), de manière à mettre en place les dispositions adaptées de prévention et/ou de protection.

Compte-tenu des dispositions réglementaires récentes (*Directive européenne sur les matériaux cancérogènes et mutagènes*) et des questions posées par les utilisateurs, il est apparu nécessaire de réaliser des mesures pour caractériser ces émissions de poussières tant sur le plan de leur taille (fraction inhalable et présence éventuelle de nanoparticules) que de leur constitution physique (minéralogie). Nous présentons ici une caractérisation en deux parties, d'une part celle des poudres de ciments usuels et de leurs constituants principaux et d'autre part, celle des émissions de poussières lors du traitement des bétons durcis par ponçage/perçage.

Il s'agit de caractérisations que l'on ne peut pas relier directement à un contexte d'exposition professionnelle et encore moins à une valeur limite d'exposition. Pour les ciments anhydres, on a cherché à caractériser les risques potentiels en identifiant d'une part la fraction alvéolaire libérable dans le contexte de l'air intérieur ou extérieur lors de la manipulation de ces matériaux, et d'autre part, leur teneur en silice cristalline, sans que les valeurs données puissent être positionnées par rapport à un seuil quantitatif.

Les essais sur bétons se rapprochent plus des conditions réelles sans pouvoir y être strictement comparées compte-tenu des nombreux paramètres qui gouvernent les conditions d'exposition.

## LES MÉTHODES DE CARACTÉRISATION

Les méthodes de caractérisation ont été choisies pour pouvoir comparer les émissions potentielles de fraction alvéolaire des différents matériaux dans une situation donnée et non pour simuler des conditions d'exposition et donner des valeurs de référence. On s'est toutefois rapproché le plus possible de la réalité des opérations de traitement des matériaux, à savoir la génération d'aérosols pour simuler la dispersion dans l'air des ciments anhydres et le traitement des bétons par opération de ponçage/perçage. Les traitements et mesures ont été effectués dans les conditions suivantes :

### ■ Réalisation des mesures

Les mesures sont réalisées dans une enceinte confinée d'un volume de 2,5 m<sup>3</sup> (chambre d'essai « aérotest ») à l'intérieur de laquelle se trouvent placés les dispositifs de sollicitation mécanique et de métrologie. Le volume d'essai est connecté à un système de ventilation (filtration absolue permettant de confiner l'essai, d'assurer la sécurité de l'opérateur mais également d'abaisser la concentration des particules en suspension dans l'air jusqu'à leur disparition totale, sur la base des mesures par un compteur optique de particules de type Grimm 1.108).

### ■ Génération des aérosols pour les ciments

Les aérosols sont générés en plaçant une masse de 1kg de poudre brute dans un entonnoir placé à l'extérieur de la chambre d'essai et relié à un tube de 25 mm de diamètre qui descend dans le volume expérimental jusqu'à une distance de 55 cm au-dessus de la plaque d'impact.

### ■ Collecte de la fraction alvéolaire

La collecte de la fraction alvéolaire est réalisée à l'aide d'un dispositif individuel de récupération de type CIP10-R, décrit en Annexe A de la norme NF X-262, équipé d'un sélecteur de fraction alvéolaire, d'une coupelle de collecte des particules et d'une coupelle rotative. Le débit de collecte est de 10 L/min, et il est maintenu 10 minutes après la fin des sollicitations.

### ■ Analyse des échantillons collectés

- Quantification de la fraction alvéolaire : celle-ci est déterminée par pesée sur une balance Sartorius Genius de type ME254S d'étendue de mesure [0,01 g – 250 g], de tolérance +/- 0,5 mg et de résolution 0,0001 g.
- Détermination de la teneur en silice cristalline : elle consiste dans le dosage par Diffraction des Rayons X (DRX) selon la norme NF X 43-295 du quartz, de la cristobalite avec

une recherche de la tridymite. Ces dosages sont exprimés en mg dans chaque masse d'échantillon, sachant que la limite de quantification est de l'ordre de 10 microgrammes (10 µg).

## LES CIMENTS ANHYDRES ET LEURS CONSTITUANTS

### ■ Rappel sur la constitution des ciments

Les ciments sont composés de constituants principaux en proportion variant entre 6 et 100 % en masse, de constituants secondaires en proportion variant entre 0 et 5 % et de sulfate de calcium (gypse) comme régulateur de prise.

Les constituants principaux sont le « clinker » (principe actif hydraulique issu de la cuisson à 1450 °C d'un mélange de calcaire et d'argile) et d'autres constituants d'hydraulicité variable, qui peuvent être du calcaire naturel, du laitier de haut fourneau, des cendres volantes ou de la pouzzolane naturelle, en ajouts purs ou en combinaisons. Ce principe de constitution aboutit aux 27 familles de ciments décrits dans la norme NF EN 197-1.

Les résultats présentés ici concernent deux CEM I (clinker+gypse) à base de deux clinkers distincts, un ciment à maçonner MC12,5 (clinker+calcaire+cendre+gypse) couvert par la norme NF EN 413-1 et un CEM V (clinker+laitier+cendres+gypse) ainsi que les constituants purs que sont 3 laitiers et 2 cendres volantes produits en France, un calcaire, une pouzzolane et un gypse.

### ■ Résultats

**La fraction alvéolaire issue des aérosols des ciments** CEM I, CEM I PM-ES, et du ciment à maçonner MC 12,5 varie entre 2,1 et 5,5 mg/kg (soit 0,00021 à 0,00055 % respectivement). Le ciment CEM V quand à lui présente une fraction alvéolaire très supérieure (21,4 mg/kg, soit 0,00214 %).

Ce résultat est confirmé par les données de la fraction alvéolaire issue des aérosols des constituants des ciments : de l'ordre de 13 à 18 mg/kg pour les laitiers de haut-fourneau et 21 à 23 mg/kg pour les cendres, très supérieures à celle des ciments CEM I (2 à 4 mg/kg).

Calcaire, gypse et pouzzolane présentent des valeurs de fraction alvéolaire qui s'échelonnent entre 2 et 7 mg/kg, ce qui reste cohérent avec les valeurs obtenues pour les CEM I et pour le ciment à maçonner MC12,5. Ces données sont résumées dans la Figure 1 ci-dessous.

**La proportion de silice cristalline** contenue dans la fraction alvéolaire est déterminée par Diffraction des Rayons X, méthode d'analyse qui permet d'identifier et de quantifier la forme minéralogique présente. Dans tous les cas sauf pour la pouzzolane, la silice cristalline n'est présente que sous forme de *quartz*. Dans le cas de la pouzzolane, c'est la *crystalobalite* qui est présente. Enfin, la troisième forme minéralogique de silice cristallisée, la *tridymite* n'est jamais détectée (Tableau 1).

Les ciments de type CEM I ne contiennent pas de silice cristalline, ce qui s'explique par la réaction de clinkérisation qui associe une part SiO<sub>2</sub> avec trois parts de CaO pour former le silicate tricalcique (C3S), et une part de SiO<sub>2</sub> avec deux parts de CaO pour former le silicate bicalcique (C2S). Plusieurs études (1, 2) de clinkers industriels et de clinkers de laboratoires ont montré que dans tous les cas, la silice, même cristalline avec des tailles de grains pouvant être supérieures à 100 µm, est totalement « digérée » et combinée à la chaux disponible pour former au minimum du C2S qui peut être en excès par rapport au C3S (5, 6).

Les fractions alvéolaires des aérosols formés à partir du ciment CEM V et du MC12,5 contiennent respectivement 0,3 et 0,4 % de silice cristalline (Figure 1), attribuable aux cendres. Les constituants des ciments tels que le calcaire, le gypse, et le laitier utilisés dans les ciments testés ne contiennent pas de silice cristalline, alors que les cendres (issues de centrales françaises) peuvent en contenir entre 0,3 et 1,7 % et la pouzzolane en contient jusqu'à 2 %. (Figures 2). Ces valeurs ne sont représentatives que des seuls échantillons étudiés et ne constituent pas des valeurs typiques, valeurs qui nécessiteraient une étude exhaustive.

D'un point de vue géologique, le calcaire peut contenir de la silice qui est en très grande majorité sous forme d'argiles sans impact sanitaire négatif. La présence de quartz ou de silice cristalline est

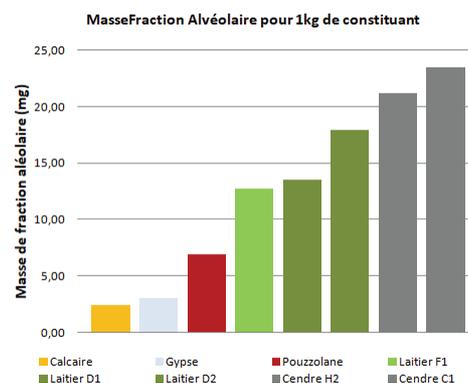
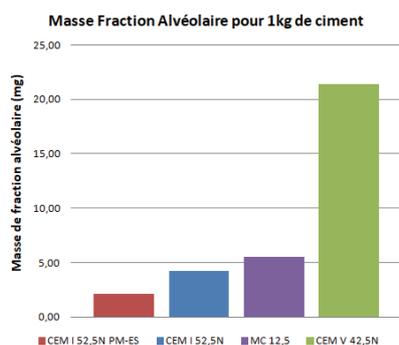


FIGURE 1 - Fraction alvéolaire issues des aérosols des ciments courants (gauche) et leurs constituants (droite)

géologiquement considérée comme un « accident siliceux », dont les plus emblématiques sont les silex de la craie, mais ils sont loin de représenter la majorité des situations.

Par ailleurs, d'une manière générale, la silice cristalline est un « poison » pour l'industrie cimentière. Un « poison mécanique » pour les installations de concassage et de broyage, du fait du caractère extrêmement abrasif du quartz en particulier, entraînant des usures excessives des matériels de concassage et de broyage. Mais également un « poison chimique », car à l'échelle de la dizaine de microns, les particules de quartz constituent une réserve locale considérable de silice qui est difficilement saturée par le calcium du fait des rapports de quantités d'une part et du peu de mobilité du calcium d'autre part (sauf pour les CEM I comme expliqué ci-dessus).

En conclusion, la proportion de fraction alvéolaire issue des aérosols est directement fonction de la constitution des ciments, de même que le contenu en silice cristalline. Ainsi, si les ciments de type CEM I ne contiennent pas de silice cristalline, les autres familles de ciments peuvent en contenir selon leur composition : la présence de cendre volante, de laitier de haut-fourneau ou de pouzzolane est un indicateur de la présence potentielle.

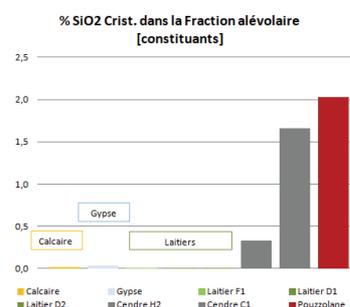
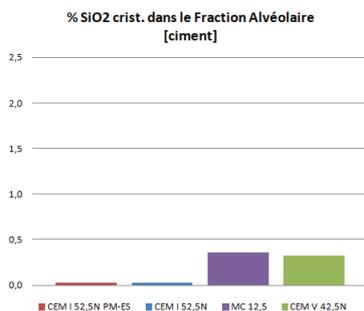
## LES BÉTONS DURCIS TRAITÉS PAR PONÇAGE/ PERÇAGE

### ■ Les compositions des bétons étudiés

De manière à envisager les variations possibles selon la région dans laquelle les bétons peuvent être fabriqués, nous avons distingué quatre grandes classes de granulats et réalisé quatre bétons distincts, un à base de granulat calcaire, un à base de granulats de silex, un à base de granulat granitique et enfin un béton à base de granulat silico-calcaire.

Ces formulations sont comparables (Tableau 2) : elles ont été réalisées à base du même ciment CEM I 52,5N SR3 Vicat de l'usine de St-Egrève et tout le squelette granulaire (sable, gravillon et gravier) est de nature pétrographique homogène pour mettre en évidence les sources de silice cristalline.

Chacun de ces bétons a été coulé sous forme d'éprouvette prismatique de dimensions 28 x 28 x 7 cm conservées jusqu'à 28 jours dans les conditions standard (cure dans l'eau à 20 °C puis conservation en atmosphère régulée à 20 °C et 65 % d'humidité relative). À 21 jours, les éprou-



**FIGURES 2 - Pourcentage de silice cristalline dans la fraction alvéolaire des ciments (gauche) et de leurs constituants (droite).**

Nature	Code	Masse initiale de la poudre analysée		Masse d'aérosol	Teneur en Quartz	Teneur en Cristobalite	Teneur en Trydymite	Teneur en Silice Cristalline	f SC1 (fAlv)
		g	mg						
CEM I 52,5N	C1	1 000,00	1 000 000,00	4,20	0,00	0,00	0,00	0,00	0,0
CEM I 52,5N PM-ES	D2	1 000,00	1 000 000,00	2,10	0,00	0,00	0,00	0,00	0,0
CEM V 42,5M	A3	1 000,00	1 000 000,00	21,40	0,07	0,00	0,00	0,07	0,3
MC 12,5	B4	1 000,00	1 000 000,00	5,50	0,02	0,00	0,00	0,02	0,4
Calcaire	B5	1 000,00	1 000 000,00	2,40	0,00	0,00	0,00	0,00	0,0
Laitier D1	A7	1 000,00	1 000 000,00	13,50	0,00	0,00	0,00	0,00	0,0
Laitier D2	A8	1 000,00	1 000 000,00	17,90	0,00	0,00	0,00	0,00	0,0
Laitier F1	C6	1 000,00	1 000 000,00	12,70	0,00	0,00	0,00	0,00	0,0
Cendre H2	C10	1 000,00	1 000 000,00	21,20	0,07	0,00	0,00	0,07	0,3
Cendre C1	A9	1 000,00	1 000 000,00	23,50	0,39	0,00	0,00	0,39	1,7
Pouzzolane	D11	1 000,00	1 000 000,00	6,90	0,00	0,14	0,00	0,14	2,0
Gypse	D12	1 000,00	1 000 000,00	3,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,0

**Tableau 1 - Quantification de la silice cristalline des ciments et de leurs constituants principaux.**

	Sable 1	Gravillon 1	Gravillon 2	CEM I 52,5N SR3	Eau	E/C	S/G
	kg/m <sup>3</sup>	kg/m <sup>3</sup>	kg/m <sup>3</sup>	kg/m <sup>3</sup>	L/m <sup>3</sup>		
Béton Silex	0/4 C	4/20 C					
	895	997		300	167	0,56	0,90
Béton Silico-Calcaire	0/4 SCL	6,13/10 CL	11,2/22,4				
	802	349	785	300	172	0,57	0,71
Béton Granite	0/4 C	6/10 CL	10/20 CL				
	802	347	779	300	168	0,56	0,71
Béton Calcaire	0/4 C	6/16 C	16/22,4				
	808	358	797	300	170	0,57	0,70

**Tableau 2 - Comparaison des formules de béton.**

vettes ont été sciées en deux moitiés égales (28 x 14 x 7 cm) et expédiées dans deux laboratoires distincts pour caractérisation des émissions de poussières : le CSTB Champs sur Marne pour la quantification de la fraction inhalable et contenu en silice après élimination de la peau du béton ; le CEA-PNS pour la caractérisation du contenu éventuel en nanoparticules à partir du ponçage de la peau puis de la masse interne sous-jacente de l'éprouvette.

### ■ Les conditions de ponçage et perçage des bétons

**Le ponçage des éprouvettes** est réalisé avec une ponceuse à béton munie d'une meule diamantée (BOSH Concrete – diamètre 125 mm). L'essai est réalisé manuellement pendant une durée cumulée de 35 secondes après avoir éliminé la peau du béton. Le système de collecte CIP est placé à une distance de 1 mètre de l'éprouvette. La collecte des particules en suspension dans le volume est maintenue pendant 10 minutes après la fin du ponçage. Pour la partie « nano-particulaire », le ponçage s'effectue directement sur la peau du béton, puis sur la partie interne après décapage d'une épaisseur de l'ordre de 2 à 3 millimètres.

**Le perçage des éprouvettes** est réalisé avec une perceuse à percussion munie d'un emmanchement SDS et un foret de diamètre de 10 mm à 3 taillants. L'essai consiste en la réalisation de 6 perçages de 5 cm de profondeur par l'opérateur. Le système de collecte CIP est placé à une distance de 50 cm de l'éprouvette. La collecte des particules en suspension dans le volume est maintenue pendant 10 minutes après la fin du perçage.

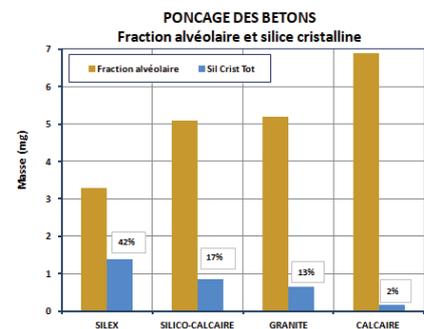
### ■ L'émission de poussières par ponçage des bétons durcis

#### • La fraction alvéolaire et son contenu en silice

Les masses de fraction alvéolaire collectées sont relativement importantes et s'échelonnent entre 3 et 7 mg, la masse minimale étant générée par le ponçage du béton à base de silex et la masse

maximale par celui à base de calcaire (Figure 3). Ce résultat s'explique par les différences de dureté et donc d'aptitude au ponçage de ces deux matériaux.

Les contenus en silice cristalline sont inversement proportionnels à l'émission de la fraction alvéolaire de l'aérosol pour le quartz, toujours détecté, la *crystalite* uniquement présente dans le granite en quantité très faible (0,08mg) ; la *tridymite* n'est jamais détectée.



**FIGURE 3 - Proportion de fraction alvéolaire émise par les bétons et leur contenu en silice cristalline**

#### • L'émission de poussières et la répartition granulométrique

Pour les quatre bétons étudiés, la quantité de poussière (en nombre de particules/cm<sup>3</sup>) émise par le ponçage des bétons est très variable d'un échantillon à l'autre et d'une configuration à l'autre.

**Ainsi, pour le ponçage de la « peau »,** le béton à base de granite (400 000 p/cm<sup>3</sup>) est 4 fois plus émissif que le béton à base de silico-calcaire (120 000 p/cm<sup>3</sup>). Les bétons à base de calcaire et de silex sont les moins émissifs (N < 50 000 np/cm<sup>3</sup>) et seul le béton à base de silex montre environ 10 % de particules de taille inférieure à 100 nm (Figure 4, gauche).

**Lors du ponçage « interne »** (partie sous-jacente à la peau du béton), seul le béton à base de granite se révèle encore plus émissif (920 000 p/cm<sup>3</sup>) comparativement aux autres

bétons dont la densité de poussière reste inférieure à 200 000 p/cm<sup>3</sup>. Les bétons à base de granite et de silico-calcaire génèrent une fraction mineure de particules de taille inférieure à 100 nm (21 et 3 % respectivement). Pour les bétons à base de granulats calcaires et silex, il n'y a aucune particule de taille inférieure à 100 nm (Figure 4, droite).

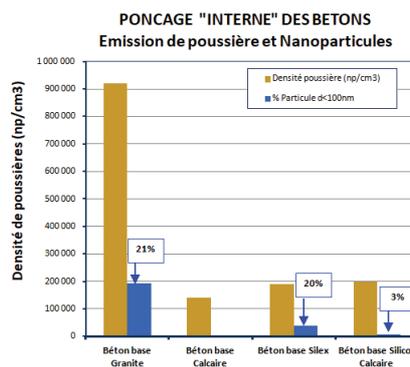
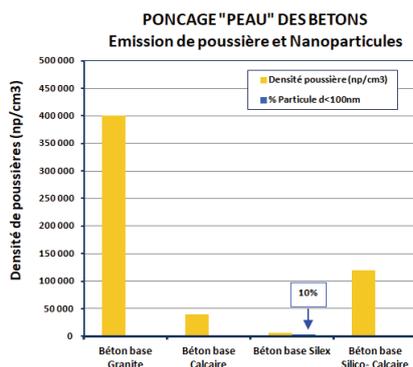
Dans leur grande majorité, les particules émises ont une distribution de tailles dans un intervalle allant de 160 à 220 nm, très similaire à celle des ciments anhydres. La proportion en nombre de particules de taille inférieure à 100 nm étant au maximum de 21 %, comme le montre les distributions granulométriques de la Figure 5, ces poussières ne peuvent être classées comme « nanoparticulaires » aux termes du décret « Nano » (n°2012-232 du 17 février 2012).

**L'émission de poussières par perçage des bétons durcis**

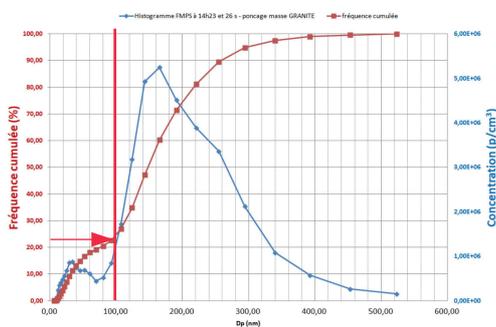
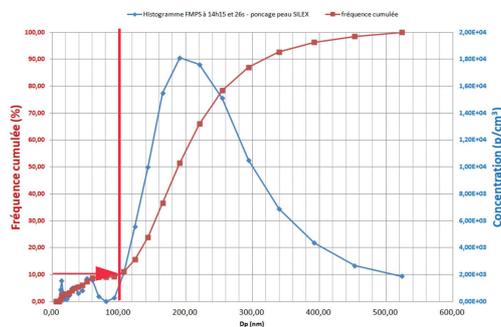
• **La fraction alvéolaire et son contenu en silice**  
Le perçage des bétons génère une quantité de fraction alvéolaire bien inférieure (moins de 1 mg) à l'opération de ponçage. Ce résultat s'explique par la surface réellement travaillée qui se trouve réduite par rapport au ponçage. Corrélativement la proportion de silice cristalline est, comme dans le cas du ponçage, inversement proportionnelle à la quantité de poussière générée et s'échelonne entre 0,60 et 0,03 % (Figure 6, gauche)

• **L'émission de poussière et la répartition granulométrique**

La quantité de poussière émise lors du perçage des bétons est du même ordre de grandeur que celui du ponçage de la peau. La répartition de taille des particules est grossièrement centrée sur l'intervalle de 170 à 220 nm. D'une manière générale, l'opération de perçage des bétons génère entre 3 et 18 % de particules de taille nanométrique, sauf dans le cas du béton à base de granulats calcaires qui n'en génère aucune (Figures 6 et 7).



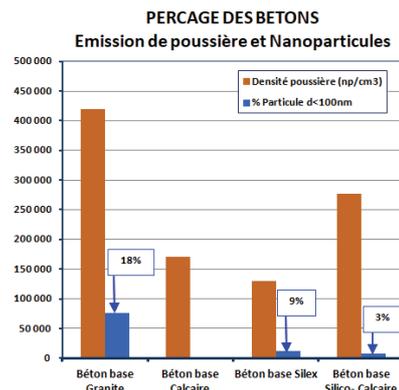
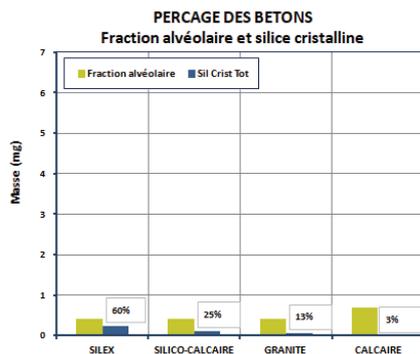
**FIGURE 4 - Ponçage des bétons : émission de poussière (np/cm<sup>3</sup>) et proportion de particules de taille inférieure à 100 nm pour le ponçage de la « peau » (gauche) et « interne » (droite). L'échelle verticale est deux fois plus importante à droite qu'à gauche.**



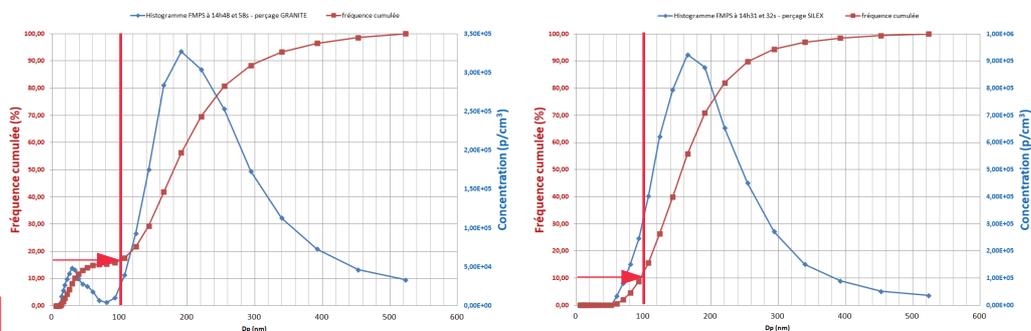
**FIGURE 5 - Ponçage des bétons : distribution de taille des particules et quantification du % de particules de taille < 100 nm. À gauche : ponçage « peau » du béton à base de silex ; à droite : ponçage « interne » du béton à base de granite.**

**COMITÉ DE LECTURE :**

- Anne DENOYELLE
- Jean-Philippe GANDY
- Xavier GUILLOT
- Dominique GUINOT
- Gilbert NOWORYTA
- Manuela TANCOCNE-DEJEAN



**FIGURE 6 - Percage des bétons : fraction alvéolaire et contenu en silice cristalline générés lors du percage des bétons (gauche) ; Émission de poussière et fraction de nanoparticules générées lors du percage des bétons (droite).**



**FIGURE 7 - Percage des bétons : répartition de taille des particules des poussières générées par le percage. À gauche, la courbe pour le béton à base de granite ; à droite, la courbe pour le béton à base de silex.**

**CONCLUSIONS**

La caractérisation des poussières émises par les ciments anhydres et leurs constituants, ainsi que celles émises lors des opérations de ponçage/percage de quatre bétons à base de quatre granulats de natures distinctes, couvrant les grandes familles pétrographiques disponibles en France a permis de montrer que :

- La fraction alvéolaire issue des aérosols de ciments est faible (au plus 0,0025 %), directement fonction de la nature et de la proportion de leurs constituants. La proportion de silice cristalline de la fraction alvéolaire est nulle pour les ciments de type CEM I et dépend essentiellement de la présence de cendre volante et/ou de pouzzolane dans les autres cas.
- La fraction alvéolaire émise lors des opérations de ponçage/percage des bétons est fonction du type d'opération effectuée et du type de granulat utilisé. Le contenu en silice cristalline est inversement proportionnel à la quantité de fraction alvéolaire émise.
- Les poussières émises peuvent contenir une faible proportion de nanoparticules, sauf pour les bétons à base de calcaire. Dans ces cas, la proportion en nombre de particules de taille inférieure à 100 nm est au maximum de 21 %. Au regard du décret « Nano » ces poussières ne sont donc pas classées comme « nanoparticulaires ».

Ces données ne constituent que la caractérisation intrinsèque des matériaux dans des conditions de laboratoire répétables. Elles ne peuvent en aucun cas être reliées à des valeurs limites d'exposition, puisque ces expositions n'ont pas été caractérisées et quantifiées.

**ATILH**

7, place de la Défense  
92974 Paris-la-Défense  
Tél. : 01 55 23 01 30

Contact : contact@atilh.fr  
Création : Studio 201  
Édition : DÉCEMBRE 2017  
Photo de couverture :  
© Laurent Izoret  
Direction de la publication :  
Anne Bernard-Gely  
Directeur de la rédaction :  
Laurent Izoret

## ■ Tableaux récapitulatifs des mesures sur bétons

- Données « silice cristalline » pour les opérations de ponçage/perçage des bétons

Réf	Ponçage	Fraction alvéolaire	Masse Qz	Masse Cb	Masse Tryd	Sil Crist Tot	% SilCr/fAlv
	Unité	mg	mg	mg	mg	mg	%
	Limite de détection	0,1	3 µg	3 µg	3 µg		
	Limite de quantification	0,5	10 µg	10 µg	10 µg		
1	Silex	3,3	1,39	< 3 µg	0	1,39	42
2	Silico-Calcaire	5,1	0,86	< 3 µg	0	0,86	17
5	Granite	5,2	0,57	0,08	0	0,65	13
3	Calcaire	6,9	0,16	< 3 µg	0	0,16	2
4	Blanc		< 3 µg	< 3 µg			0

Réf	Perçage	Fraction alvéolaire	Masse Qz	Masse Cb	Masse Tryd	Sil Crist Tot	% SilCr/fAlv
	Unité	mg	mg	mg	mg	mg	%
	Limite de détection	0,1	3 µg	3 µg	3 µg		
	Limite de quantification	0,5	10 µg	10 µg	10 µg		
6	Silex	0,4	0,24	< 3 µg	0	0,24	60
7	Silico-Calcaire	0,4	0,10	< 3 µg	0	0,10	25
10	Granite	0,4	0,05	< 3 µg	0	0,05	13
8	Calcaire	0,7	0,2	< 3 µg	0	0,02	3
9	Blanc		< 3 µg	< 3 µg			0

- Données « nanoparticules » pour les opérations de ponçage/perçage des bétons

Valeurs d'empoussièrement d'après les graphes CPC	Bruit Fd	Densité de poussière (np/cm <sup>3</sup> )			d <sub>50</sub> (nm)			% Particule d < 100nm			Visu Particule d < 100nm		
		Ponç. Peau	Ponç. Inter	Perçage	Ponç. Peau	Ponç. Inter	Perçage	Ponç. Peau	Ponç. Inter	Perçage	Ponç. Peau	Ponç. Inter	Perçage
Béton base Granite	1,5x10 <sup>4</sup>	4,0x10 <sup>5</sup>	9,2x10 <sup>5</sup>	4,2x10 <sup>5</sup>	210	160	190	0	21	18	30 - 50 nm	30 - 50 nm	+
Béton base Calcaire	1,5x10 <sup>4</sup>	4,0x10 <sup>4</sup>	1,4x10 <sup>5</sup>	1,7x10 <sup>5</sup>	220	210	230	0	0	0	-	-	ε
Béton base Silex	1,1x10 <sup>3</sup>	6,5x10 <sup>3</sup>	1,9x10 <sup>5</sup>	1,3x10 <sup>5</sup>	200	140	170	10	20	9	ε	ε	ε
Béton base Silico-Calcaire	1,4x10 <sup>4</sup>	1,2x10 <sup>5</sup>	2,0x10 <sup>5</sup>	2,7x10 <sup>5</sup>	200	180	190	0	3	3	-	ε	ε

ε: particules visualisées < 1 %

### Auteurs

Sébastien RITOUX  
CSTB Mame-la-Vallée

Cécile PHILIPPOT  
CEA/PNS Grenoble

Laurent IZORET  
ATILH

### BIBLIOGRAPHIE

(1) NF X43-262 Mars 2012 Qualité de l'air - Air des lieux de travail - Prélèvement d'aérosols solides à l'aide d'une coupelle rotative (fractions alvéolaire, thoracique et inhalable). AFNOR 2012.  
(2) NF X43-295 Juin 1995 Air des lieux de travail - Détermination par rayons X de la concentration de dépôt alvéolaire de silice cristalline - Échantillonnage par dispositif à coupelle rotative. AFNOR 1995.  
(3) NF EN 197-1 Avril 2012 Ciment - Partie 1 : composition, spécifications et critères de conformité des ciments courants ; AFNOR 2012.

(4) NF EN 413-1 Septembre 2012 Ciment à maçonner - Partie 1 : Composition, spécifications et critères de conformité. AFNOR 2012.

(5) E. Fundal (1996) "Burnability of cement raw meal with matrix correction" Word Cement Research and development, April 1996

(6) I. Maki; K. Funkuda; T. Imura; H. Yoshida and S. Ito (1995) "Formation of belite clusters from quartz grains in Portland Cement Clinkers. Cement and Concrete Research, Vol 25, n°4, pp 835-840

(7) M. R. Copper, P. Susi and D. Rempel (2012) "Evaluation and control of respirable Silica exposure during lateral drilling of concrete" Jour. Occ. Environ. Hyg., 9, pp35-41

## Conclusion

Les opérations de ponçage/perçage réalisées sur des bétons peuvent générer l'émission de silice cristalline dans les poussières alvéolaires et dans certains cas une faible proportion (20 % maximum) de particules de taille inférieure à 100 nm (soit 0,1 µm).

Pour limiter les risques d'exposition, il est impératif de se protéger en utilisant des moyens de ponçage/perçage des bétons équipés de systèmes de prélèvement des poussières à la source, capture hydraulique ainsi que le port des protections individuelles adaptées (masques, lunettes) (7).