

Etude de la pénétration des aérosols à travers une paroi en béton fissurée par des contraintes sismiques

T. Gelain*, F. Gensdarmes, J. Vendel.

Institut de Radioprotection et de Sûreté Nucléaire
Service d'Etudes et de Recherches en Aérodispersion des polluants et en Confinement
BP 68, 91192 Gif-sur-Yvette Cedex.
thomas.gelain@irsn.fr

TITLE

Experimental study on aerosol penetration through cracked concrete walls.

ABSTRACT

Within the framework of the safety assessment of the nuclear fuel facilities, we investigate the leakage of a reinforced concrete wall, cracked by shear stresses characteristic of a seism. The purpose of this study is to measure the retention of the aerosol particles in a cracks network formed by shear stresses. The measurement are carried out for upstream and downstream pressure drops ranging from 10 to 200 hPa, which are representative of the wind effect or the fire risk onto a building.

After an aeraulic characterisation of the cracks network, we inject aerosol with a vibrating orifice aerosol generator. We study retention for 0.15 to 5 μm aerosol diameters (flow velocity $v < 1 \text{ m.s}^{-1}$) to study different deposition laws.

The preliminary results show that, for low velocities, the retention of 1 μm aerosol particles into the cracks network decreases when the velocity increases because of the sedimentation of aerosol particles.

RÉSUMÉ

Dans le cadre de la sûreté des laboratoires et usines du domaine nucléaire, nous étudions l'étanchéité de voiles en béton armé fissurés par des contraintes de cisaillement caractéristiques d'un séisme. Pour cela, nous mesurons les débits de gaz et la rétention des particules dans les fissures du béton pour des différences de pressions amont - aval comprises entre 10 hPa et 200 hPa représentant d'une part, l'effet du vent, d'autre part, le risque incendie sur un bâtiment.

L'objectif général de ce travail est de valider un modèle de calcul de la rétention des aérosols par des fissures dans des parois en béton.

Après une première caractérisation aéraulique nous permettant d'accéder aux paramètres du réseau de fissures, nous injectons un aérosol dans l'installation, et nous mesurons la fraction de particules pénétrantes. La rétention est étudiée pour des diamètres d'aérosols égaux à 0,15, 1 et 5 μm , ce qui permet d'étudier le cas d'un aérosol "pénétrant" (par analogie avec la filtration) et le cas d'un aérosol dont l'évolution est dominée par l'inertie des particules.

Les résultats préliminaires pour un diamètre égal à 1 μm montrent que pour des faibles vitesses, la rétention des particules suit bien une loi de dépôt induit par la sédimentation.

INTRODUCTION

Dans le cadre de la sûreté des laboratoires et usines du domaine nucléaire, nous étudions l'étanchéité de voiles en béton armé fissurées par des contraintes de cisaillement caractéristiques d'un séisme. Pour cela, nous mesurons les débits de gaz et la rétention des particules dans les fissures de la paroi en béton pour des différences de pressions amont - aval comprises entre 10 hPa et 200 hPa représentant d'une part, l'effet du vent, d'autre part, le risque incendie sur un bâtiment.

L'objectif général de ce travail est de valider un modèle de calcul de la rétention des aérosols par des fissures dans des parois en béton. Ce sujet est complexe car de nombreux facteurs contribuent à la rétention des aérosols par les fissures. On peut citer tout d'abord le dépôt à l'intérieur de la fissure, le dépôt à l'entrée de la fissure et l'évolution des caractéristiques de la fissure due au dépôt des particules (obstruction). Ces phénomènes ont été étudiés avec des géométries idéales telles que les capillaires ou les fentes (Morewitz, 1982; Clement, 1995; Carrié et Modera, 2002), mais rarement avec des fissures réelles et bien caractérisées (Farrar et Girrens, 1992).

Notre démarche consiste à déterminer les caractéristiques aérauliques du réseau de fissures (ouverture, régime de l'écoulement,...) obtenu par cisaillement d'une paroi en béton, puis à mesurer la rétention des particules par les fissures pour différents diamètres de particules et différentes vitesses d'écoulement. Finalement, nous interprétons les mesures expérimentales de rétention d'aérosols en utilisant les caractéristiques aérauliques des fissures et les différents modèles de dépôt existant dans la littérature.

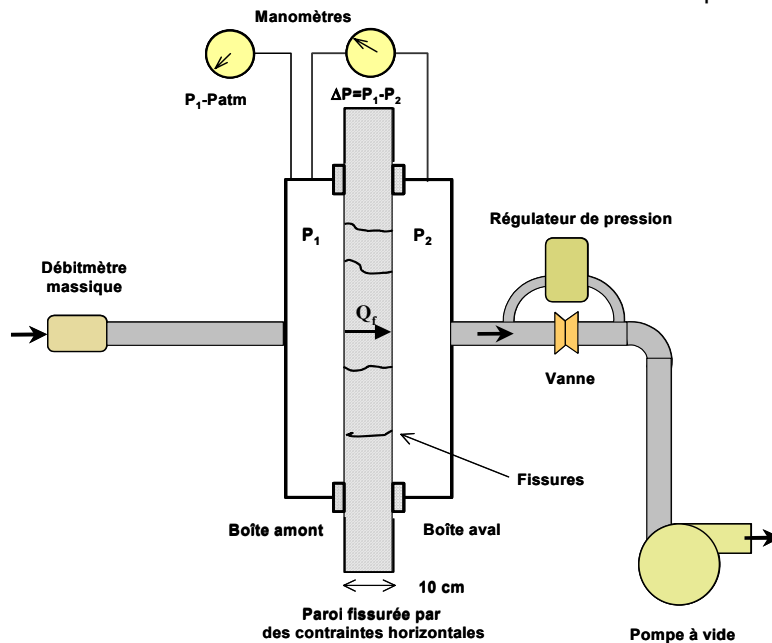
CARACTÉRISATION AÉRAULIQUE DU RÉSEAU DE FISSURES

L'étude est réalisée sur une paroi en béton armé (130 × 77 × 10 cm) présentant un réseau de fissures d'une étendue totale égale à 11,8 m. Pour déterminer une ouverture équivalente du réseau de fissures e , nous utilisons la loi d'écoulement de Poiseuille pour un écoulement laminaire compressible. Cette loi relie le débit massique dans la fissure à la différence des carrés des pressions amont et aval.

$$Q_f = \frac{l \cdot e^3 \cdot (P_1^2 - P_2^2)}{24 \cdot \mu \cdot L \cdot r \cdot T} \quad (1)$$

où Q_f représente le débit de fuite massique ($\text{kg} \cdot \text{s}^{-1}$), e l'ouverture équivalente de la fissure (m), μ la viscosité dynamique du fluide ($\text{Pa} \cdot \text{s}$), L la profondeur de la fissure (m), l l'étendue de la fissure (m), P_1 et P_2 respectivement les pressions absolues en amont et en aval de la paroi (Pa), r la constante des gaz parfait ($\text{J} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}$) et T la température (K).

La figure 1 présente la méthode expérimentale mise en œuvre pour la mesure du débit de fuite à travers le réseau de fissures en fonction des différences de pression amont - aval qui sont appliquées.



La zone fissurée est isolée par deux boîtes en acier inox accolées des deux côtés de la paroi.

Une pompe reliée à la boîte aval crée une dépression entre l'amont et l'aval et engendre ainsi une fuite à travers la paroi fissurée.

Un débitmètre massique est relié à la boîte amont et mesure le débit de fuite au travers de la paroi.

Connaissant le débit de fuite aux dépressions correspondantes (figure 5) ainsi que les paramètres géométriques et aérauliques, on détermine, à l'aide de la loi de Poiseuille (1), l'ouverture équivalente du réseau de fissures e .

Figure 1 : montage expérimental pour la caractérisation aéraulique.

RÉTENTION DES AÉROSOLS DANS LE RÉSEAU DE FISSURES

Nous représentons sur la figure 2 un schéma du dispositif expérimental que nous avons mis en œuvre pour mesurer la rétention d'un aérosol monodispersé dans un réseau de fissures caractérisé.

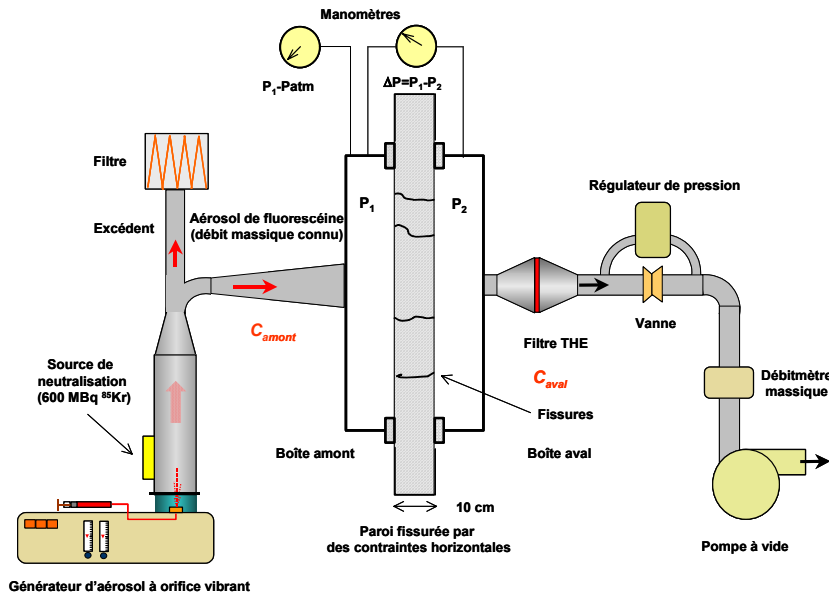


Figure 2 : montage expérimental pour la rétention d'aérosols.

Ce montage présente une partie amont et une partie aval.

La partie amont est constituée d'une boîte étanche en acier inox accolée à la paroi fissurée. Cette boîte est reliée à un générateur d'aérosol à orifice vibrant par l'intermédiaire d'un cône permettant de diminuer les vitesses d'injection et d'éviter l'impaction sur la paroi. Le générateur permet de produire des aérosols de diamètres allant, dans notre cas, de 0,15 à 5 μm .

La partie aval est constituée également d'une boîte étanche en inox accolée à la paroi fissurée. Celle-ci est reliée à un porte-filtre muni d'un filtre THE permettant de collecter les aérosols pénétrants. A l'extrémité du circuit se trouve une pompe à vide, précédée d'un débitmètre massique, permettant de créer la dépression entre la boîte amont et la boîte aval.

Les premiers essais ont été réalisés avec un aérosol monodispersé de diamètre aérodynamique proche de 1 μm . Sur la figure 3, nous représentons la granulométrie de cet aérosol mesurée avec un APS (Aerodynamic Particle Sizer).

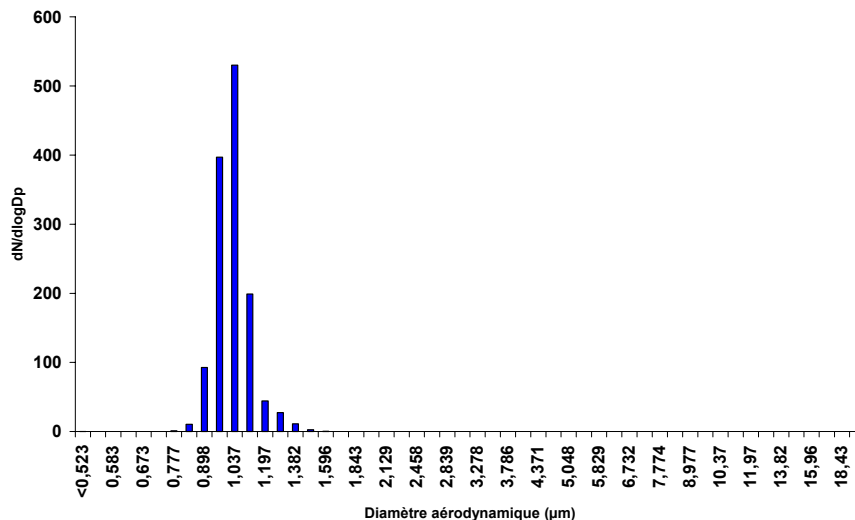


Figure 3 : granulométrie de l'aérosol généré ($d_{ae} = 1 \mu\text{m}$; $\sigma = 1,1$).

Le calcul de la rétention se fait en utilisant le rapport des débits massiques d'aérosols en aval et en amont de la paroi.

$$F_r = 1 - \frac{Q_{\text{aval}}}{Q_{\text{amont}}} \quad (2)$$

Afin d'éviter la mise en oeuvre de prélèvements isocinétiques de l'aérosol à l'entrée de la boîte amont, nous avons réalisé plusieurs essais de production en mesurant la concentration d'aérosols par fluorimétrie afin de vérifier la répétabilité. Nous avons ensuite considéré une valeur moyenne de la concentration en sortie du générateur en maintenant les paramètres du générateur fixés. Les résultats de ces mesures sont présentés dans le tableau 1.

Tableau 1 : détermination de la concentration amont.

Essai	Dae (μm)	σ	Concentration ($\text{g.l}_{\text{air}}^{-1}$)
1	1,1	1,2	$1,5 \cdot 10^{-8}$
2	1,0	1,1	$1,6 \cdot 10^{-8}$
3	1,0	1,1	$1,9 \cdot 10^{-8}$
4	1,0	1,1	$1,8 \cdot 10^{-8}$
5	1,0	1,1	$1,7 \cdot 10^{-8}$
6	1,0	1,1	$1,6 \cdot 10^{-8}$
Concentration moyenne			$1,7 \cdot 10^{-8}$
Ecart-type			$1,4 \cdot 10^{-9}$
Coefficient de variation			8,2 %

Le tableau 1 montre que la production de l'aérosol est bien répétable, le coefficient de variation de la concentration étant égal à 8%.

Concernant le débit massique aval, nous avons utilisé une méthode par fluorimétrie. Celle-ci consiste à dissoudre la fluorescéine recueillie sur le filtre aval dans une solution ammoniaquée de pH > 9, puis à mesurer sa fluorescence à l'aide d'un fluorimètre. Cette fluorescence est reliée à la concentration de fluorescéine dans la solution ce qui permet alors de déterminer le débit massique en aval de la paroi.

Les débits massiques amont et aval sont connus avant et après les boîtes accolées à la paroi. Nous avons donc pris en compte le dépôt d'aérosols à l'intérieur des boîtes et des cônes d'injection et du porte-filtre en réalisant des frottis.

Afin de s'assurer que l'aérosol est homogène dans la boîte amont, nous avons réalisé des mesures de concentrations à l'aide d'un compteur GRIMM en différents points de la face amont du réseau de fissures

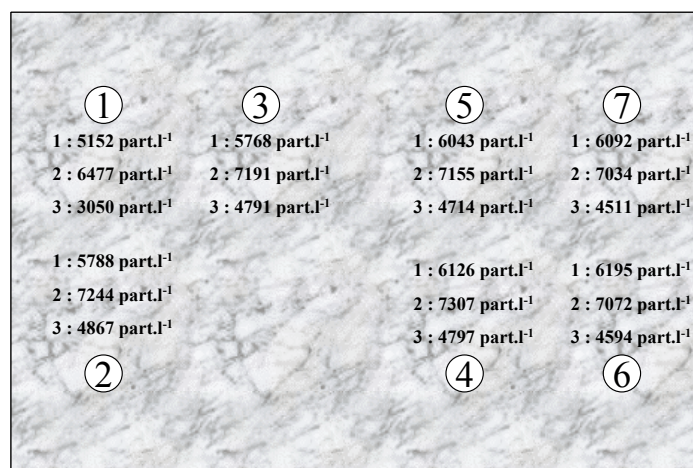


Figure 4 : concentrations mesurées dans la boîte amont.

Sur la figure 4 nous présentons 7 points de mesure pour lesquels nous avons 3 valeurs correspondant à 3 gammes de granulométrie ; la première correspond à la gamme 0,65 – 0,8 μm , la deuxième correspond à la gamme 0,8 – 1 μm et la troisième correspond à la gamme 1 – 1,6 μm .

On constate que les concentrations sont suffisamment proches les unes des autres pour confirmer que les aérosols sont bien répartis de façon homogène dans la boîte amont.

RÉSULTATS

La caractérisation aéraulique permet de tracer l'évolution du débit de fuite en fonction de la différence des carrés des pressions amont et aval.

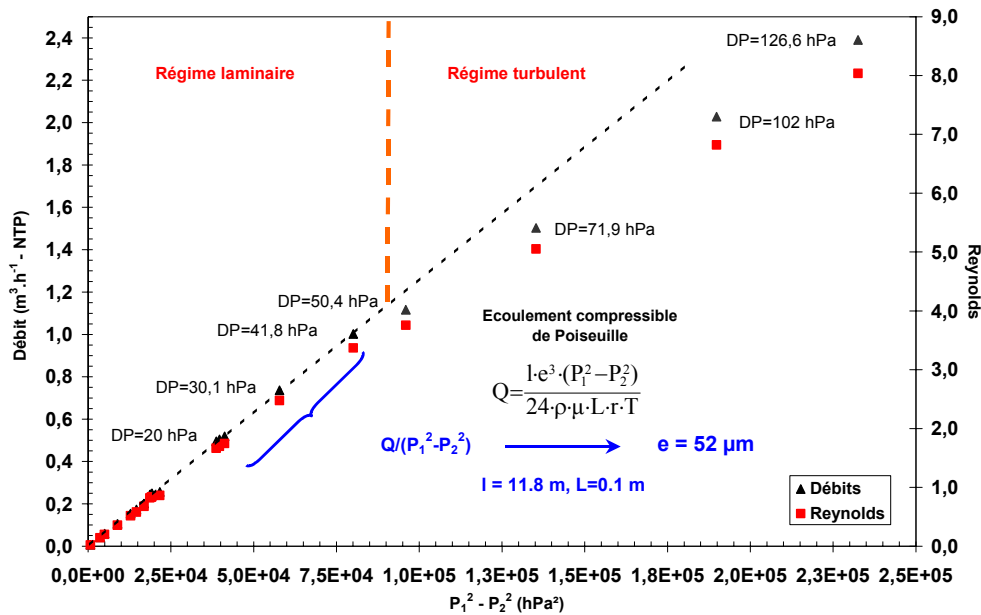


Figure 5 : caractérisation aéraulique de la paroi fissurée.

Nous remarquons sur la figure 5 que le débit est linéaire en fonction de $\Delta(P^2)$ pour des différences de pression inférieures à 50 hPa. Dans ce cas, nous pouvons utiliser la relation (1) pour calculer une ouverture équivalente e du réseau de fissures. Au-delà de cette zone, la relation (1) n'est plus valable du fait d'un régime d'écoulement turbulent. Dans la zone de régime laminaire nos résultats expérimentaux permettent de calculer une ouverture équivalente égale à 52 μm .

Concernant la rétention des aérosols de diamètre égal à 1 μm , nous avons obtenu les résultats préliminaires présentés sur la figure 6.

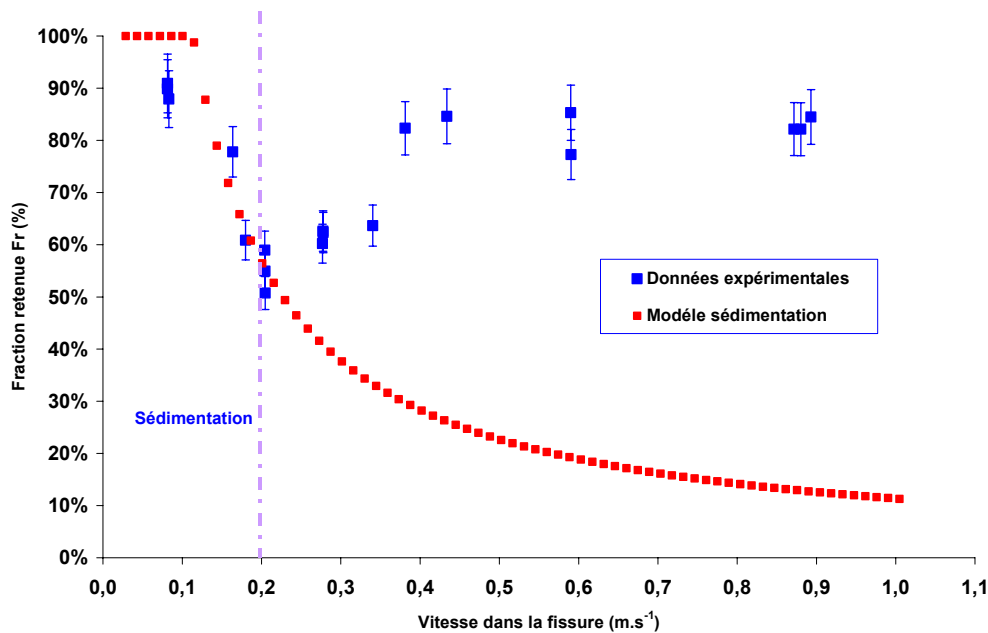


Figure 6 : rétention des aérosols de diamètre égal à 1 μm par la paroi fissurée.

En comparaison avec un modèle de dépôt lié à la sédimentation, on constate que la rétention suit bien cette loi pour des vitesses faibles ($< 0,2 \text{ m.s}^{-1}$). A des vitesses plus élevées la rétention augmente assez vite pour tendre vers des valeurs proches de 90%.

CONCLUSION

Cette première étude nous a permis d'observer le comportement d'un aérosol de diamètre égal à $1\mu\text{m}$ dans un réseau de fissures. Nous avons pu constater que le dépôt par sédimentation se fait pour des vitesses assez faibles et que par la suite on atteint rapidement une rétention importante qui peut s'expliquer soit par une impaction à l'entrée de la fissure ou sur la paroi, soit par un changement de régime d'écoulement et la contribution de la diffusion turbulente.

Dans ce dernier cas, nous pouvons alors comparer les Reynolds de transition dans le cas de la caractérisation aéraulique et dans le cas de la rétention d'aérosols. Ces Reynolds sont similaires et proches de 4.

Concernant la validation de modèles de dépôt, nos résultats sont encore peu nombreux et nous envisageons de réaliser d'autres essais pour des diamètres de particules de $0,15\mu\text{m}$ et de $5\mu\text{m}$. Néanmoins l'évolution de la rétention pour le cas des particules de $1\mu\text{m}$ est semblable à celle qui avait été obtenue par Najean dans le cadre de l'expérience SIMIBE pour un diamètre aéraulique de $1,5\mu\text{m}$ et une ouverture de $500\mu\text{m}$ (Najean, 2000).

REFERENCES

- Carrié, F.R. and Modera, M.P. (2002) Experimental investigation of aerosol deposition on slot- and joint-type leaks. *Journal of Aerosol Science*, **33**, 1447 – 1462.
- Clement, C.F. (1995) Aerosol penetration through capillaries and leaks: theory. *Journal of Aerosol Science*. **26**, 369 – 385.
- Farrar, C.R. and Girrens, S.P. (1992) Aerosol penetration through a seismically loaded shear wall. *Advanced Engineering Technology*. MEE – 13/MS J576.
- Morewitz, H.A. (1982) Leakage of aerosols from containment buildings. *Health Phys.* **42**(2), 195 – 207.
- Najean, P. (2000) Essais de rétention d'aérosols dans la fissure idéalisée du banc SIMIBE. *Rapport IPSN/DPEA/SERAC/LPMAC/00-13*.