

Etude de la rétention des aérosols par une paroi en béton fissurée

T. Gelain*, T. Lequette, 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

Study on aerosol retention by cracked concrete wall

ABSTRACT

The objective of this study is to determine an aerosol deposition model in cracks. Many experiments of retention in cracked concrete wall were performed for different aerosol sizes (1 μm and 4 μm).

However, the studied deposition domain doesn't allow determining a deposition model in according to the experimental results and, the use of an aeraulic crack width is not really coherent with aerosol correlations.

So, experiments with 60 nm aerosols were performed to reach the diffusional domain. In this domain, we can use only the diffusional deposition correlation and we can determine "geometric" crack characteristics.

After, in using these crack parameters, we can determine an experimental correlation describing aerosol deposition in cracks for different deposition domains.

RESUME

Cette étude a pour but d'élaborer un modèle de dépôt d'aérosols dans une fissure. Plusieurs essais de rétention d'aérosols ont été réalisés sur une paroi en béton fissurée pour des tailles d'aérosols de 1 μm et 4 μm ; cependant le domaine de dépôt ciblé ne permet pas de déterminer un modèle de dépôt concordant avec les résultats expérimentaux et, par ailleurs, l'utilisation d'une ouverture équivalente aéraulique ne s'avère pas forcément cohérente avec ce type de corrélation.

Ainsi des essais avec des aérosols de 60 nm ont été réalisés dans le but de cibler le domaine diffusional auquel s'applique une loi de dépôt bien spécifique à partir de laquelle il est possible de déterminer des caractéristiques "géométriques" de la fissure.

Dès lors, à partir de ces nouveaux paramètres, nous pouvons déterminer une corrélation expérimentale permettant de décrire le dépôt des aérosols dans une fissure dans différents domaines de dépôt.

INTRODUCTION

Dans le cadre de l'évaluation de la sûreté d'une installation nucléaire, une étude est menée à l'IRSN concernant les transferts de polluants au travers des barrières de confinement statique fissurées.

Cette étude, qui a trait autant au contexte des réacteurs qu'à celui des laboratoires et usines, doit permettre, à terme, de modéliser le transfert d'un mélange air-vapeur-aérosols au travers d'une paroi fissurée, dans le cas d'un hypothétique accident mettant en jeu ces trois composants.

De ce fait, une approche en 4 phases a été mise au point pour aboutir à cet objectif :

1. modélisation des écoulements aérauliques au travers d'une paroi fissurée,
2. modélisation du transfert des aérosols, en air sec, au travers d'une paroi fissurée,
3. modélisation du transfert d'un mélange diphasique air-eau (liquide-vapeur) au travers d'une paroi fissurée,
4. modélisation du transfert d'un mélange air-vapeur (liquide-vapeur)-aérosols au travers d'une paroi fissurée.

La première phase a permis de déterminer les caractéristiques de la fissure de manière aéraulique, ce qui, moyennant l'hypothèse d'une longueur de fissure égale à l'épaisseur de la paroi et la détermination mécanique (curvimètre) de l'étendue de cette fissure, nous a conduit à une ouverture équivalente aéraulique de 49,2 μm (Gelain 2004).

RAPPELS SUR LES ESSAIS DE PENETRATION DES AEROSOLS

La deuxième phase consiste à étudier le transfert des aérosols, en air sec, au travers de cette paroi en béton fissurée, et à déterminer une corrélation relative au dépôt des aérosols dans des domaines de dépôt évoluant entre le dépôt diffusionnel (0,05 μm) et le dépôt inertiel (4 μm).

Les premiers essais ont été réalisés avec des aérosols de diamètre aérodynamique médian massique (d_{amm}) 1 μm et 4 μm . Les figures 1 et 2 tracent les évolutions des fractions retenues dans la fissure en fonction de la vitesse d'écoulement dans la fissure.

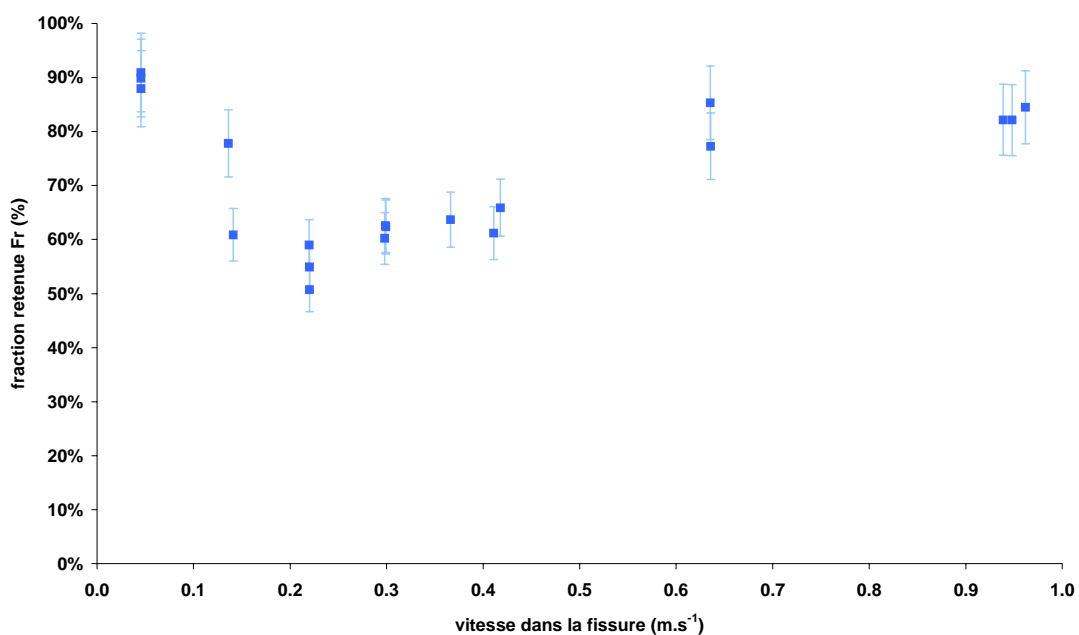


Figure 1 : rétention des aérosols de d_{amm} de 1 μm

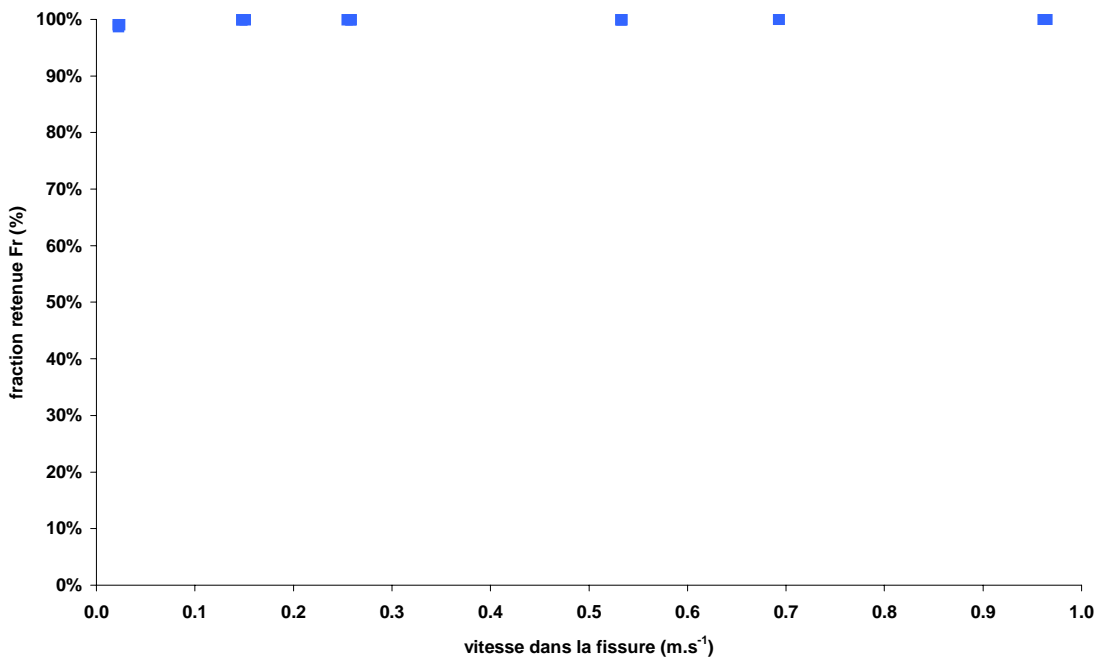


Figure 2 : rétention des aérosols de d_{amm} de 4 μm

Les résultats présentés sur les figures 1 et 2 ont ensuite été confrontés à des corrélations de la littérature. Pour cela 3 types de dépôt associés à un modèle ont été considérés :

- le dépôt diffusionnel, associé à la corrélation de Bowen et al (Bowen 1976) :

$$Fr = 1 - \left(0,9104 e^{-2,8278 \mu} + 0,0531 e^{-32,147 \mu} + 0,01528 e^{-93,475 \mu} + 0,00681 e^{-186,805 \mu} \right)$$

$$\text{avec } \mu = \frac{8DL}{3Vl^2}$$

où D représente le coefficient de diffusion ($m^2.s^{-1}$), L la longueur de la fissure (m), l l'étendue de la fissure (m) et V la vitesse d'écoulement dans la fissure ($m.s^{-1}$).

- le dépôt gravitationnel, associé à un modèle de dépôt dans une batterie de sédimentation :

$$Fr = \frac{V_s L}{V e}$$

où V_s représente la vitesse de sédimentation ($m.s^{-1}$) et e l'ouverture de la fissure (m).

- le dépôt inertiel à l'entrée de la fissure, pour lequel plusieurs corrélations existent (Baron 2001), mais ne correspondent pas d'une part au type de géométrie à laquelle nous nous intéressons, d'autre part aux domaines de nombre de Stokes et de gradient de vitesse qui interviennent dans notre étude.

Par ailleurs, l'utilisation d'une ouverture équivalente aéraulique telle que déterminée par la caractérisation aéraulique de la paroi n'apparaît pas forcément adaptée à ces phénomènes de dépôts qui nécessitent plutôt d'utiliser des caractéristiques "géométriques".

DETERMINATION DES CARACTERISTIQUES "GEOMETRIQUES"

Nous nous sommes alors intéressés à l'étude de la rétention d'aérosols ultrafins par le réseau de fissures, considérant que le dépôt n'est alors régi que par une loi de dépôt par diffusion.

Par ajustement de cette loi de dépôt sur nos résultats expérimentaux nous pouvons alors extraire des caractéristiques "géométriques" de la fissure que nous pourrions ensuite utiliser dans d'autres lois de dépôt.

Les résultats de cette étude relative aux aérosols ultrafins sont présentés sur la figure 3.

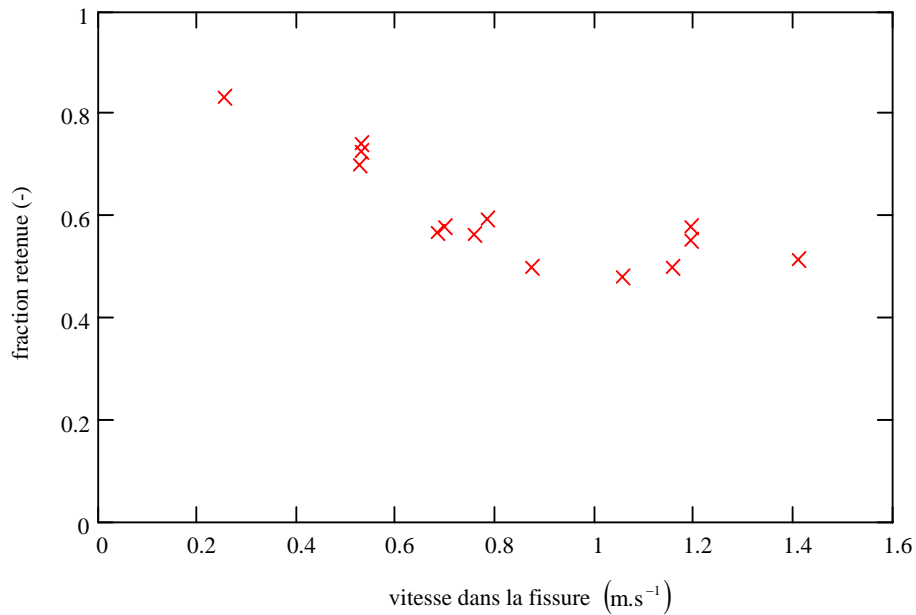


Figure 3 : rétention des aérosols de d_{amm} de 0,06 μm

Cette figure montre l'évolution de la fraction massique retenue dans la fissure en fonction de la vitesse dans la fissure.

En utilisant les paramètres de la fissure déterminés par la caractérisation aéraulique, on obtient l'évolution tracée sur la figure 4.

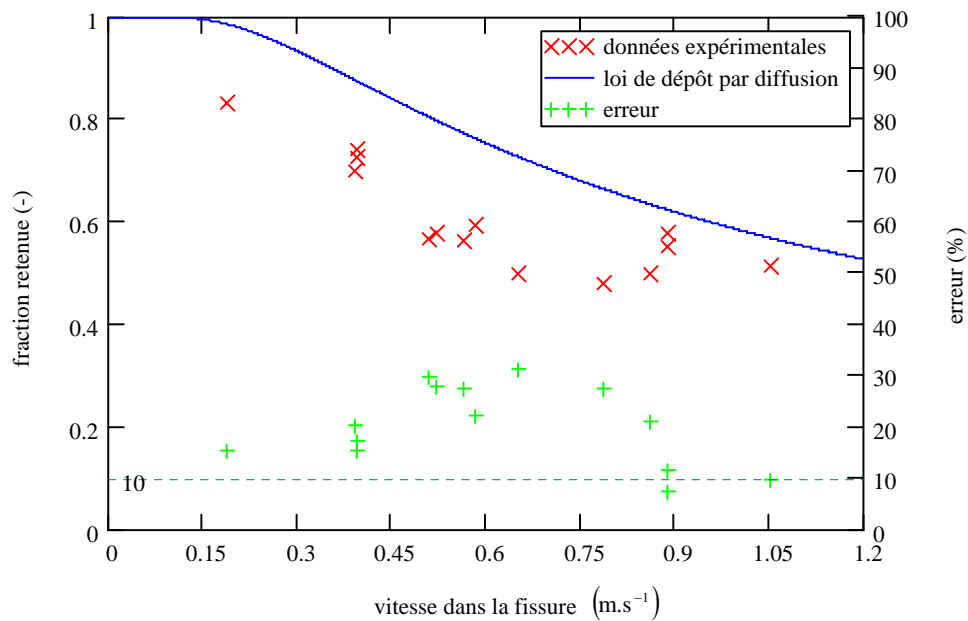


Figure 4 : application de la loi de dépôt par diffusion avec les caractéristiques aérauliques

On constate que la corrélation avec les résultats expérimentaux n'est pas satisfaisante ; en effet, on peut estimer une erreur moyenne de l'ordre de 20% entre les résultats expérimentaux et numériques.

Par conséquent, on peut confirmer l'hypothèse que les paramètres aérauliques ne sont pas les plus adaptés aux lois de dépôt des aérosols.

A partir des résultats aérauliques et de dépôts par diffusion, nous avons donc déterminé le meilleur couple de caractéristiques "géométriques" (ouverture de fissure, étendue de fissure) permettant à la loi de dépôt par diffusion de s'ajuster au mieux à nos résultats expérimentaux (figure 5), sachant que la troisième caractéristique qu'est la longueur de la fissure ou "chemin de fuite" reste imposée à 0,1 m, soit l'épaisseur du mur, puisqu'actuellement nous ne disposons pas encore des données nécessaires et suffisantes pour déterminer le triplet de caractéristiques "géométriques" (ouverture de fissure, étendue de fissure, longueur de fissure).

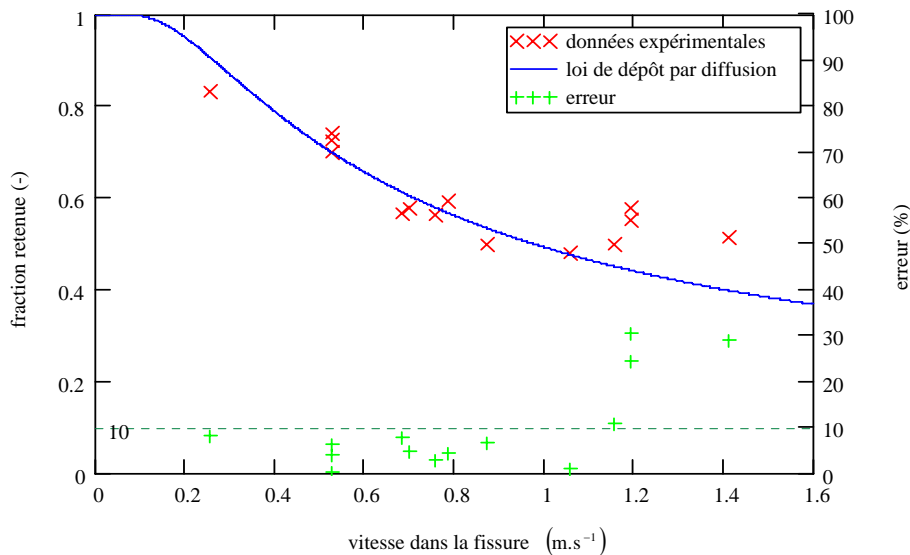


Figure 5 : application de la loi de dépôt par diffusion avec les caractéristiques géométriques

La figure 5 montre donc un bon ajustement des résultats expérimentaux à l'aide de la loi de dépôt par diffusion, avec une erreur inférieure à 10 % ; on constate une erreur plus élevée pour les vitesses supérieures à 1,1 m.s⁻¹, ce qui s'explique par un probable changement de régime d'écoulement.

Ceci permet donc de déterminer les paramètres "géométriques" de la fissure suivants : ouverture de fissure 57 µm, étendue de fissure 7,6 m et longueur de fissure 0,1 m.

DETERMINATION D'UNE LOI DE DEPOT PAR INERTIE

A partir de ce résultat, nous pouvons donc nous intéresser à la détermination d'une loi de dépôt par inertie (impaction à l'entrée de la fissure).

Pour cela, nous utilisons une loi établie par Regtuit & al (Regtuit 1990) et utilisée par Eleftheriadis & Colbeck (Colbeck 1992), lors d'une étude sur l'efficacité de collecte par impaction d'une fente rectangulaire :

$$Fr = 1 - \frac{1}{1 + a Stk^b}$$

Cette loi, utilisée également dans des applications telles que les prélèvements d'aérosols, intègre deux paramètres a et b qui diffèrent selon les applications et les domaines de nombres de Stokes (Stk) et de gradients de vitesse.

Nous avons donc essayé de déterminer les meilleures valeurs pour ces constantes, permettant de représenter au mieux les résultats obtenus pour des aérosols de 1 µm.

La figure 6 trace la meilleure évolution possible, correspondant à des valeurs pour a de 73,8 et pour b de 1,2.

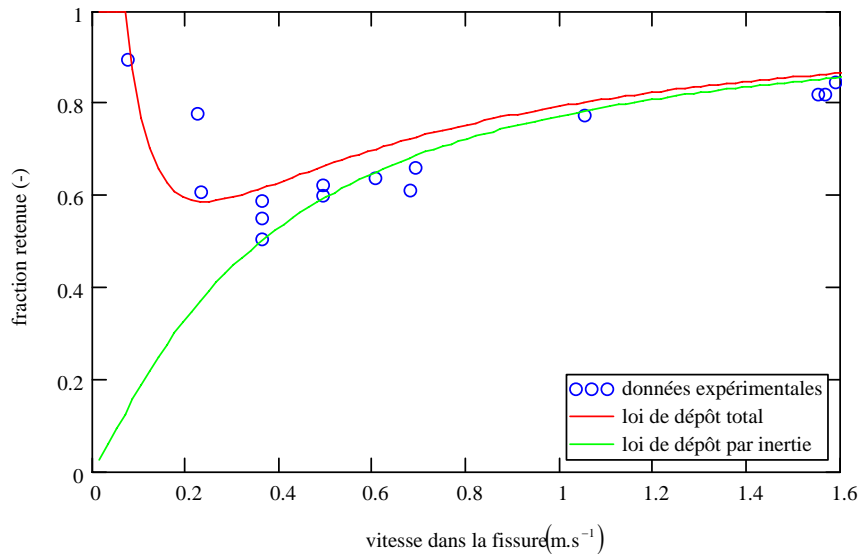


Figure 6 : loi de dépôt par inertie représentant au mieux les résultats obtenus dans une fissure

On constate donc que, pour des vitesses supérieures à $0,4 \text{ m.s}^{-1}$, vitesse seuil à partir de laquelle le dépôt par inertie devient le phénomène de dépôt majoritaire (Gelain 2004), la loi de dépôt par inertie permet de représenter correctement les résultats obtenus lors de l'étude du dépôt d'aérosols de d_{amm} de $1 \mu\text{m}$ pour les constantes a et b déterminées ci-dessus ; pour les vitesses inférieures à $0,4 \text{ m.s}^{-1}$, c'est le phénomène de dépôt par sédimentation qui est majoritaire de par les faibles vitesses (voir courbe de dépôt total sur la figure 6).

Noter que Eleftheriadis & Colbeck semblent plutôt avoir pour a et b les valeurs de 18,5 et 2, mais pour des fentes de 1 mm à 25 mm et un nombre de Stokes compris entre 0,04 et 10.

CONCLUSION

Cette étude nous a permis de déterminer un ensemble de lois de dépôt permettant de décrire le dépôt d'aérosols dans divers domaines de dépôt, du domaine diffusionnel ($d_{amm} = 0,06 \mu\text{m}$) au domaine inertiel ($d_{amm} = 4 \mu\text{m}$). Deux de ces lois sont issues de la littérature et semblent s'appliquer correctement au cas d'une fissure de par leur caractère universel. En revanche, pour le dépôt inertiel, les lois de dépôt sont nombreuses et trop spécifiques ; nous avons donc dû ajuster la corrélation qui nous semblait la plus représentative du type de dépôt à modéliser. Cependant, cette corrélation n'est pas figée et pourrait s'agrémenter d'autres paramètres éventuels (rugosité, gradient de vitesse) si leur influence venait à être démontrée par d'autres essais.

REFERENCES

- Baron P.A. Willeke K., Aerosol measurement, 2001.
- Bowen B.D., Levine S. Epstein N., Fine Particle deposition in laminar flow through parallel plate and cylindrical channels. Journal of Colloid Interface Science, Vol. 54, pp. 375-390, 1976.
- Eleftheriadis K. and Colbeck I., The particle collection efficiency of rectangular strips by inertial impaction. Journal of Aerosol Science, Vol. 23, Suppl. 1, pp. S35-S38, 1992.
- Gelain T., Motzkus C., Rétention d'aérosols dans un réseau de fissures, Rapport IRSN/DSU/SERAC/LPMA/04-01, 2004.
- Regtuit H.E., De Ruiter C.J., Vrins E.L.M., Hofschreuder P., Oeseburg, The Tunnel Impactor. Journal of Aerosol Science, Vol. 21, No. 7, pp. 919-933, 1990.