



HAL
open science

Capture de particules micrometriques par mousse aqueuse seche -approche experimentale

M Mazia, Francois Gensdarmes, D Counilh, A Chinnayya

► To cite this version:

M Mazia, Francois Gensdarmes, D Counilh, A Chinnayya. Capture de particules micrometriques par mousse aqueuse seche -approche experimentale. Congrès Français sur les Aérosols, ASFERA, Jan 2019, PARIS, France. 10.25576/ASFERA-CFA2019-16723 . irsn-04099199

HAL Id: irsn-04099199

<https://irsn.hal.science/irsn-04099199>

Submitted on 16 May 2023

HAL is a multi-disciplinary open access archive for the deposit and dissemination of scientific research documents, whether they are published or not. The documents may come from teaching and research institutions in France or abroad, or from public or private research centers.

L'archive ouverte pluridisciplinaire **HAL**, est destinée au dépôt et à la diffusion de documents scientifiques de niveau recherche, publiés ou non, émanant des établissements d'enseignement et de recherche français ou étrangers, des laboratoires publics ou privés.

Public Domain

CAPTURE DE PARTICULES MICROMETRIQUES PAR MOUSSE AQUEUSE SECHE – APPROCHE EXPERIMENTALE

M. Mazia^{*1,2}, D. Counilh¹, F. Gensdarmes³ et A. Chinnayya²

¹CEA, DAM, Ile-de-France, 91297 Arpajon, France

²Institut PPrime, UPR CNRS 3346, ISAE-ENSMA, 86962 Futuroscope-Chasseneuil, France

³Institut de Radioprotection et de Sûreté Nucléaire (IRSN), 91192 Gif-sur-Yvette, France

* maeva.mikart@cea.fr

TITLE

Capture of micrometric particles by dry aqueous foam – experimental approach

RESUME

Dans le cadre d'études conduites par le CEA sur la capacité d'un confinement aqueux à atténuer les effets liés à la détonation d'une charge explosive, une campagne expérimentale portant sur le confinement, par mousse aqueuse, de particules métalliques micrométriques, dispersées par explosif, a été menée. Les résultats obtenus à partir des différentes configurations ont été comparés afin de déterminer le taux de capture en fonction de la taille des confinements, de la taille des particules et de la masse de la charge explosive. Ils confirment l'efficacité de la mousse pour capturer les particules, et, spécifiquement, les plus grosses.

ABSTRACT

Within the framework of studies conducted by the CEA on the capacity of aqueous confinement to mitigate detonation effects, an experimental campaign has been done on the confinement, by aqueous foam, of micrometric metal particles, dispersed by explosive. The results obtained from the different configurations have been compared in order to quantify the capture rate as a function of confinement size, particle size and explosive charge mass. They confirm the foam's efficiency in capturing particles, and specifically the larger ones.

MOTS-CLES : Capture, confinement, détonation, mousse, particules / **KEYWORDS:** Capture, confinement, detonation, foam, particles

1. INTRODUCTION

Les mousses aqueuses sont connues, depuis les années 1970, pour leur efficacité à atténuer les effets d'explosions. Leur capacité à atténuer les ondes de souffle a été étudiée en détail ces dernières années (Ballanger, 2015 ; Del Prete, 2012). Un autre aspect des mousses aqueuses est leur aptitude à ralentir et capturer des fragments solides générés par l'engin explosif ou des particules toxiques dispersées par l'explosion.

Peu d'études sur le ralentissement de solides par mousse aqueuse ont été conduites. L'étude de Le Goff (2009) a montré qu'une sphère millimétrique, propulsée à 50 m/s dans une mousse aqueuse sèche est arrêtée en 20 ms. Breda (2015) a caractérisé la décélération de sphères millimétriques en acier dans des mousses sèches, pour une vitesse initiale de 1500 m/s. Nous avons également mené, au CEA, des études similaires (Mikart, 2015), démontrant que la décélération des particules est proportionnelle au carré de la hauteur de mousse traversée.

Dans cet article, nous étudions expérimentalement la capacité d'une mousse aqueuse à capturer des particules métalliques micrométriques, dispersées par la détonation d'un engin explosif. Contrairement aux études citées précédemment, la taille des particules considérées est plus petite que la dimension des bulles constituant la mousse. Hormis ceux entamés par le CEA (Ballanger, 2015), aucuns travaux n'ont été trouvés sur ce sujet dans la littérature ouverte.

Après une brève description de la mousse aqueuse utilisée, les moyens expérimentaux pour la dispersion et la mesure des aérosols sont présentés, ainsi que les différentes configurations testées. En conclusion, la capacité de la mousse à atténuer la formation d'un aérosol est finalement déterminée.

2. CONFIGURATION EXPERIMENTALE

2.1. Définition de la mousse aqueuse

Une mousse aqueuse est formée d'un assemblage de cellules de gaz séparées par des films liquides. Sa structure géométrique a été étudiée par Plateau (1873). Elle est caractérisée par son foisonnement F , défini par le rapport entre le volume de mousse et celui de liquide. Le gaz utilisé dans notre étude est de l'air, et le liquide, une solution moussante constituée de réactifs chimiques auxquels on ajoute un tensio-actif et des agents stabilisants. Le foisonnement F permet de classer les mousses en deux familles distinctes. Les mousses dites humides, pour lesquelles $3 < F < 20$ et les mousses dites sèches pour lesquelles $F > 20$.

Dans notre cas, nous nous intéressons uniquement à des mousses aqueuses sèches, qui ont un foisonnement de 60.

2.2. Dispositif expérimental

La campagne expérimentale, dont le principe est schématisé Fig. 1, est menée dans une enceinte d'environ 180 m³ dimensionnée pour résister aux explosions. Une charge explosive cylindrique de V401 est placée au centre d'une table métallique instrumentée. La charge est couverte par un cylindre de poudre de trioxyde de tungstène WO₃, dont le diamètre médian des particules est de 1 µm ou 4 µm (mesure diffractomètre laser), avec un écart-type géométrique de 1,7. Le tout est recouvert par un confinement de mousse aqueuse dont la hauteur peut être variable.

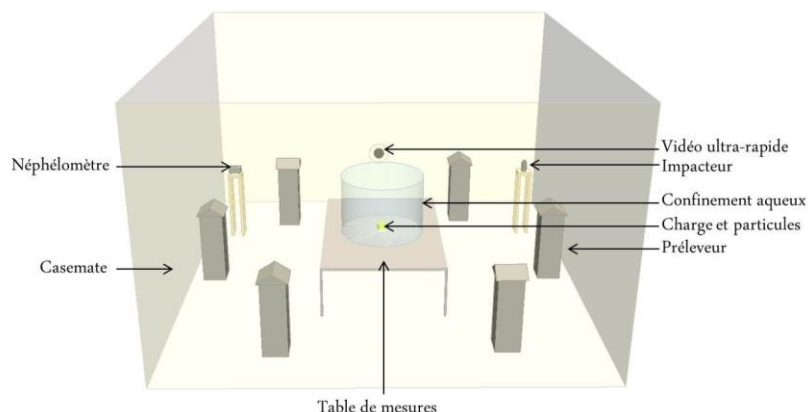


Figure 1. Schéma du dispositif expérimental

Six préleveurs d'aérosol à haut débit (HVS, Tish), dont 4 étaient asservis en débit, ont été placés en cercle tous les 60 degrés autour de la table d'expérience. Les préleveurs, fonctionnant chacun à un débit de 100 m³/h, permettent de filtrer l'air dans la casemate et ainsi de collecter les aérosols formés après la détonation. La durée de prélèvement a été fixée à 90 min afin d'assurer un temps épuración de l'air suffisant compte tenu du débit total de prélèvement et du volume de l'enceinte. Un néphélomètre (DataRam4, R&P), permettant la mesure en temps réel de la concentration d'aérosol, ainsi qu'un impacteur en cascade (Andersen Mark II) pour la mesure de la granulométrie, ont également été utilisés.

Trois tailles de confinement de mousse ont été testées avec deux masses d'explosif. Une caméra à grande vitesse (HSC) enregistre la détonation de la charge ainsi que la dispersion des particules.

Les différents types d'expérience sont référencés en fonction de la masse d'explosif (44 g ou 150 g), de la charge en poudre de WO₃ (S sans poudre, P₁ poudre de 1 µm, P₂ poudre de 4 µm) et de la hauteur du confinement (S sans confinement, 100 cm ou 150 cm). La masse de poudre de WO₃ est égale au double de la masse d'explosif.

3. RESULTATS DE MESURES

3.1. Descriptions des images

La Fig. 2 montre deux images issues des enregistrements de chacun des essais 44-S-S, 44-P₁-S, 44-P₁-100 et 44-P₁-150. Les particules sont dispersées majoritairement selon un axe vertical, en couronne de dendrites. Leur présence modifie l'expansion des produits de détonation et de l'onde de choc. Elles devancent la boule de feu. L'analyse détaillée des vidéos montre que l'ajout d'un confinement aqueux (essai 44-P₁-100) ralentit considérablement les particules qui émergent de la mousse. Un confinement plus haut (essai 44-P₁-150) réduit drastiquement la quantité de particules dispersée ainsi que leur vitesse, à la sortie de celui-ci.

3.2. Détermination de la masse collectée

Les filtres des prélèvements effectués par les préleveurs et l'impacteur ont été analysés par ICP-MS, afin de quantifier la masse de W et ainsi de WO₃. La Fig. 3 présente l'histogramme de la masse de WO₃ collectée par les HVS, m_c , pour différents essais. Signalons que les filtres utilisés lors des essais sans mousse de confinement ont été colmatés par l'aérosol issu des produits de détonation, ce qui a engendré un arrêt prématuré du débit de prélèvement. Une fraction de l'aérosol n'a donc pas été collectée dans ces essais. Sans confinement, avec une configuration identique, la masse de poudre P₂ dispersée est plus grande que celle de la poudre P₁ ; ce constat, qualitatif, peut être fait en regard du caractère répétable du colmatage des filtres dans ces essais. En revanche, pour un même confinement et une même masse de poudre, les essais 44-P₁-150 et 44-P₂-150 montrent clairement que la poudre P₂ est dispersée en plus petite quantité que la poudre P₁.

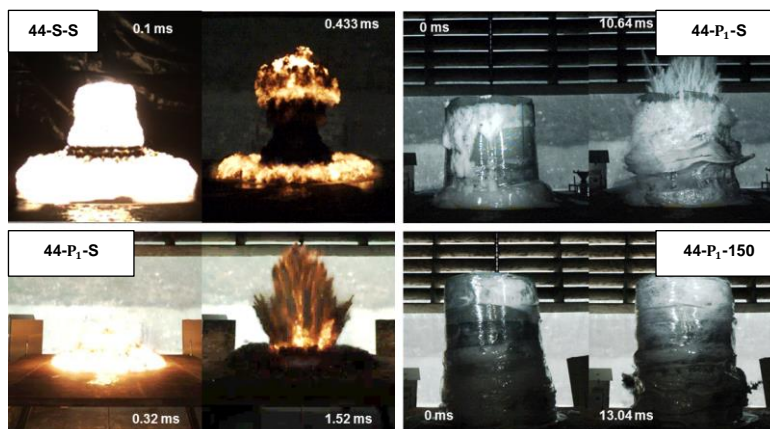


Figure 2. Images extraites d'enregistrements des essais 44-S-S, 44-P₁-S, 44-P₁-100 et 44-P₁-150

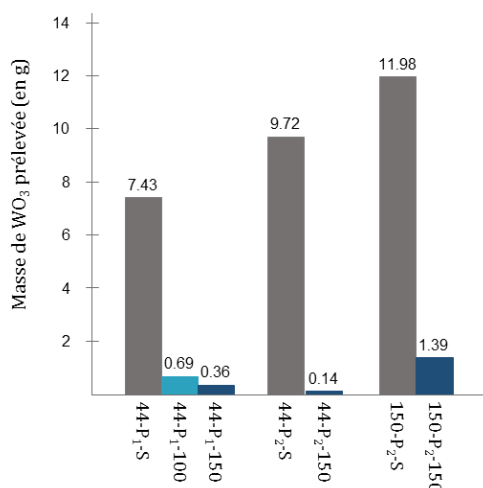


Figure 3. Histogramme de la masse d'aérosol de WO₃ collectée par les préleveurs

La figure 4 représente les distributions granulométriques du WO₃ mesurées par l'impacteur pour 3 essais réalisés avec la poudre P₁. Sans confinement, on observe que le mode de la distribution est dans la classe de diamètre aérodynamique 5 à 6 μm. Les granulométries obtenues avec confinement mettent en lumière l'aptitude qu'a la mousse à capturer les plus grosses particules de la distribution granulométrique. En effet, avec confinement, le mode de la distribution diminue pour se situer dans la classe 1 à 2 μm.

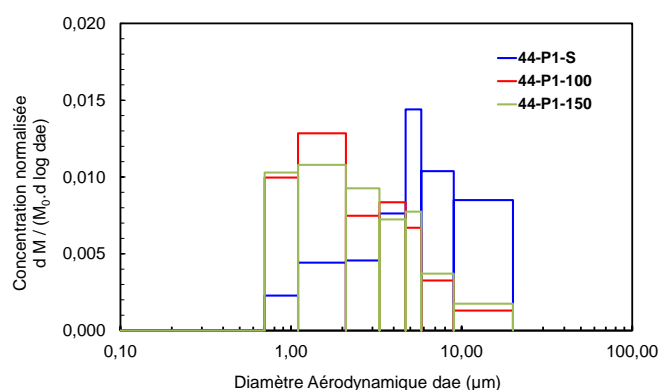


Figure 4. Distribution granulométrique de l'aérosol de WO₃

3.3. Prise en compte de la sédimentation pour l'évaluation de la fraction d'aérosol dispersée

Pour interpréter les résultats en prenant en compte, d'une part, la sédimentation des particules de WO₃ pendant le prélèvement dans la casemate, d'autre part, l'arrêt prématuré du prélèvement dans les essais sans mousse de confinement, nous utilisons un modèle analytique d'évolution de la concentration d'aérosol (Gensdarmes, 2003). Ce modèle suppose la concentration de l'aérosol homogène à chaque instant dans la casemate et fait intervenir le temps caractéristique d'épuration, le temps de prélèvement et la granulométrie de l'aérosol, le volume et la surface de dépôt par sédimentation de la casemate. Signalons que l'évolution de

la concentration décrite par ce modèle a pu être validée sur certains essais grâce aux mesures en temps réel réalisées par le néphélomètre. Ce modèle permet d'établir des coefficients de correction I afin de relier la masse d'aérosol initialement dispersée, m_d , dans un essai avec la masse d'aérosol effectivement collectée par les HVS, m_c , ($m_c = I \cdot m_d$).

Pour les essais réalisés avec un confinement, les coefficients de correction I_c sont compris entre 0,78 et 0,89. Dans ces cas, $1 - I_c$ représente la fraction de particules de WO_3 sédimentée pendant le prélèvement. Pour les essais réalisés sans confinement, les coefficients de correction I_{nc} sont compris entre 0,17 et 0,58. Ces coefficients sont plus faibles ; ils dépendent fortement du temps de prélèvement et rendent compte du fait que les débits des HVS ont diminué à cause du colmatage des filtres.

3.4. Détermination du taux de capture de la mousse aqueuse

On exprime le taux de capture η des particules de WO_3 par le confinement comme suit :

$$\eta = 1 - \frac{m_{dc}}{m_{dnc}} = 1 - \frac{m_{cc}/I_c}{m_{cnc}/I_{nc}} \quad (1)$$

avec les indices suivants : dc pour dispersée avec confinement, dnc dispersée sans confinement, cc collectée avec confinement et cnc collectée sans confinement.

L'histogramme du taux de capture de la mousse est présenté Fig. 5. Quelle que soit la configuration testée, le taux de capture a une valeur minimum de 94,5 %. Il atteint 99,7 % pour la poudre P_2 , dont le diamètre médian est plus élevé que la poudre P_1 . La mousse aqueuse s'avère être un excellent et puissant dispositif dans la capture de particules micrométriques.

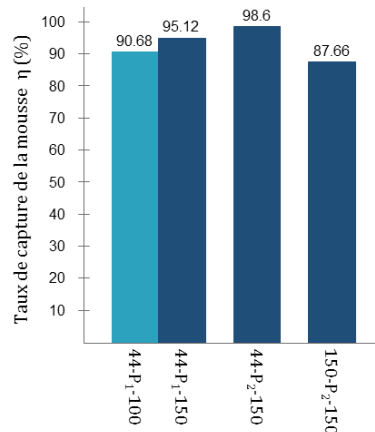


Figure 5. Histogramme du taux de capture de la mousse

4. CONCLUSION

Comme attendu, la mousse aqueuse est un puissant outil de capture de particules micrométriques et de mitigation de la dispersion d'aérosol. Elle permet de capturer, pour des hauteurs de confinement de 1 m à 1,5 m, de 94,5 % à 99,7 % de la masse d'aérosol de WO_3 initialement dispersée sans présence de confinement. On observe, par ailleurs, une meilleure efficacité sur les essais réalisés avec la poudre de diamètre médian le plus élevé. Une nouvelle campagne, réalisée en 2018, est en cours de dépouillement avec des moyens et résultats plus ciblés et précis, permettant une meilleure compréhension des mécanismes physiques du confinement.

5. RÉFÉRENCES

- Ballanger, F. (2015) Confinement de la détonation d'un objet explosif par mousse aqueuse sèche. Etude expérimentale et numérique. Thèse, Université de Poitiers.
- Breda, C. (2015) Confinement à l'aide de mousse aqueuse des effets combinés de souffle et de projection de fragments générés par la détonation d'un engin explosif. Thèse, Université de Bretagne occidentale.
- Del Prete, E. (2012) Choc et onde de souffle dans les mousses aqueuses. Etude expérimentale et modélisation numérique. Thèse, Université de Rouen.
- Gensdarmes, F. (2003) Effet de la sédimentation sur l'épuration d'un aérosol polydispersé dans une enceinte, application à l'étude de la mise en suspension par chute de poudre. Rapport technique IPSN/DPEA/SERAC/LPMA/03-14.
- Le Goff, A. (2009) Figures d'impact : Tunnels, vase, spirales et bambous. Thèse, Université Pierre et Marie Curie.
- Mikart, M. (2015) Analyse de la projection de particules en milieu diphasique. Rapport de master, ISAE-ENSMA.
- Plateau J.A.F. (1873) Statique expérimentale et théorique des liquides soumis aux seules forces moléculaires ; Gauthiers-Villars (Eds.)