

Des mousses aqueuses « sèches » pour la décontamination biologique des infrastructures

Résumé L'efficacité de décontamination de nouvelles mousses biocides brevetées par le CEA a été évaluée sur différents supports (plastique, inox, verre, faïence...) volontairement contaminés par des spores dans différentes configurations (verticale, horizontale et remplissage). Ces mousses permettent notamment de tuer des spores *Bacillus anthracis* en 30 minutes. Elles sont dites « sèches » car elles ne contiennent que 3 à 5 % en poids d'eau. Elles mouillent l'ensemble des surfaces à traiter et autorisent une mise en œuvre originale, soit par talochage soit par remplissage de l'installation à traiter. Enfin, leur récupération est aisée par aspiration ou séchage naturel.

Mots-clés Décontamination, mousse, spores, eau de Javel, eau oxygénée, xanthane.

Abstract New biocides foams for biological decontamination of facilities

The efficiency of decontamination of new biocides foams innovative patented by CEA was estimated according to various configurations (vertical, horizontal and filling), on various materials (plastic, stainless steel, glass, earthenware...) that could be contaminated. These foams allow to eliminate *Bacillus anthracis* spores in 30 minutes. These new biocides foams called "dry foams" contain only 3 to 5% of water by weight. They wet all the surfaces of potentially contaminated infrastructures, and allow original application by troweling or filling of the facility. Finally, their recovery is simple by aspiration or natural drying.

Keywords Decontamination, foam, spore, sodium hypochlorite, hydrogen peroxide, xanthan.

Les micro-organismes représentent la majeure partie de la biomasse totale de la matière vivante de notre planète. Ils regroupent les levures, les algues, les champignons, les protozoaires, ainsi que l'ensemble des bactéries. Ces dernières sont une composante essentielle de notre environnement et de notre organisme. Certaines bactéries peuvent être néfastes pour l'environnement et pour l'homme et sont capables de déployer des mécanismes de résistance afin de survivre à des conditions environnementales défavorables. Les bactéries appartenant notamment aux genres *Bacillus* et *Clostridium* ont la capacité de déclencher un processus dit de sporulation. Elles vont alors passer dans un état de dormance (activité métabolique quasi inexistante) et s'entourer de couches protectrices leur permettant de survivre plusieurs années dans des milieux défavorables sous forme de spores. Elles retrouvent un état actif dit végétatif grâce au processus de germination en retournant dans un milieu plus propice à leur croissance. Ces spores peuvent contaminer de manière accidentelle ou lors d'actes malveillants (attentats) de nombreuses infrastructures : magasins, bureaux, métros, gaines de ventilation... Par exemple dans l'agroalimentaire, elles peuvent être à l'origine de toxi-infections sévères car certaines peuvent résister aux températures de stérilisation. Dans la lutte contre les menaces NRBC (nucléaire, radiologique, biologique et chimique), les spores sont classées comme potentielles armes biologiques. Elles ont déjà été utilisées lors d'attentats terroristes visant les hommes et les infrastructures, comme celui de 2001 aux États-Unis où des lettres contenant des spores de *Bacillus anthracis* (anthrax) ont causé la mort de cinq personnes et environ 300 millions de dollars de coût en décontamination des bâtiments [1]. Garantir l'efficacité d'inactivation de ces agents bactériens est donc l'objectif lors d'une opération de décontamination (réduction en log de 4 à 7 suivant le domaine) [2]. Cependant, les spores bactériennes sont capables de résister aux traitements physiques tels que la chaleur et les radiations UV, ainsi qu'aux traitements chimiques usuels, grâce à des moyens de protection qui leur

sont propres, comme une faible perméabilité et une forte protection de l'ADN [3-4].

Il est donc nécessaire de disposer de techniques de décontamination des surfaces efficaces et facilement employables sur ces micro-organismes résistants. La contamination ne se restreignant pas aux surfaces horizontales et faciles d'accès (sols), les techniques de décontamination doivent permettre de décontaminer tous les types de surfaces (verticales et obliques) d'infrastructures (wagons, bureaux, cuves, systèmes de ventilation...). L'utilisation de sprays liquides désinfectants présente l'inconvénient d'avoir un temps de contact limité (quelques minutes) sur ces formes de résistance pour décontaminer entièrement les surfaces verticales. De même, l'emploi d'outils nécessitant un contact direct avec la contamination (lingettes) est inutilisable en cas de contamination de zones difficiles d'accès.

Dans le cadre d'un projet interministériel dans le domaine NRBC, de nouvelles mousses biocides de décontamination d'infrastructures efficaces en moins d'une heure sur des spores, en cas d'accident ou d'acte malveillant, ont été développées et brevetées par le Commissariat à l'énergie atomique et aux énergies alternatives (CEA) [5].

D'une simple mousse à une mousse biocide

Les mousses aqueuses font partie de notre quotidien : en lutte anti-incendie pour recouvrir et étouffer les feux, dans l'alimentaire où elles développent les sensations en bouche (mousse au chocolat, chantilly, bière...) ou en cosmétique (shampoings, mousses à raser...). Ce sont des dispersions de bulles d'air dans une phase continue liquide. Le principe de génération d'une mousse est d'incorporer de l'air dans une solution liquide moussante contenant une faible quantité de tensioactifs (< 0,1 % en poids). Le foisonnement d'une mousse est plus ou moins important et traduit l'expansion volumique de la mousse générée à partir d'une quantité donnée de liquide. On distingue des mousses assez liquides à bulles sphériques

et à fraction liquide volumique supérieure à 5 %, et des mousses plus sèches à bulles polyédriques à fraction liquide inférieure à 5 %.

Pour le domaine de la décontamination, l'utilisation des mousses permet d'économiser l'agent décontaminant et de générer moins d'effluents à traiter. Les mousses à fraction liquide supérieure à 3 % mouillent les surfaces à décontaminer avec un film mince liquide (10 à 30 μm) appelé film de mouillage : cette propriété permet de mettre en contact un agent chimique décontaminant avec les contaminants déposés sur les surfaces. Elles peuvent être utilisées en talochage, en pulvérisation sur une surface horizontale ou en remplissage. On récupère ensuite soit la mousse par aspiration avant séchage complet, soit les résidus secs de cette mousse par aspiration ou par essuyage. Parmi les agents de décontamination biologique, les biocides représentent l'ensemble des substances et mélanges, constitués d'une ou de plusieurs molécules actives, destinés à détruire, repousser ou rendre inoffensifs les organismes nuisibles vivants, à en prévenir l'action ou à les combattre de toute autre manière par une action chimique ou biologique. Ils sont divisés en différentes catégories suivant leurs applications. Les désinfectants sont des solutions applicables pour des surfaces inertes. Un désinfectant a plusieurs critères de performances. Ainsi, son choix se fait en fonction de la vitesse d'efficacité du produit, de son efficacité de décontamination (diminution des bactéries) et de sa compatibilité avec les surfaces [6].

Génération des mousses

Pour la formulation des solutions moussantes biocides CEA [5], la solution moussante aqueuse de référence contient deux agents stabilisants de la mousse : un tensioactif qui stabilise les bulles (le Glucopon® 215 UP) et la gomme de xanthane qui stabilise la mousse pendant plusieurs heures en retardant le drainage (figure 1). Ces additifs sont biodégradables grâce à leurs groupements glucosidiques.

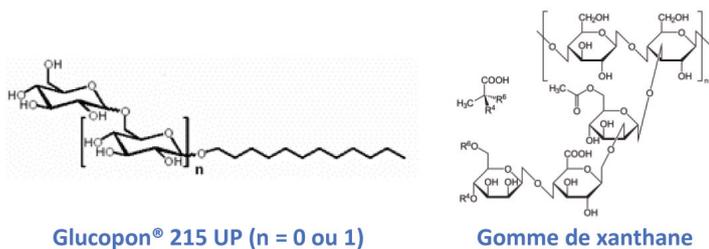


Figure 1.

Les agents de décontamination préférés sont l'eau de Javel ou l'eau oxygénée diluée. Ils ont été choisis pour leur efficacité et leur facilité d'utilisation et d'approvisionnement. La production de mousse est alors effectuée en mélangeant de l'air à la solution moussante dans un générateur spécifique de l'application, de manière à obtenir des mousses dites « sèches » ne contenant que 3 à 5 % en poids de solution moussante biocide. Le débit de mousse est le plus souvent dans une gamme de quelques litres par minute à quelques dizaines de mètres cubes par heure.

Efficacité de la décontamination

L'efficacité de la décontamination des mousses biocides est calculée en réduction de log (LR) :

$$\text{Réduction en log} = \log(\text{CFU}_{\text{neutre}}/\text{CFU}_t)$$



Figure 2 - Tests d'inactivation des mousses biocides sur des spores de *Bacillus anthracis* réalisés en laboratoire de haute sécurité biologique (confinement niveau 3).

© CEA/Laboratoire d'innovations technologiques pour la détection et le diagnostic.

La réduction du nombre de bactéries ou de spores en log correspond au rapport des colonies viables après traitement neutre ($\text{CFU}_{\text{neutre}}$) par rapport aux colonies viables après traitement biocide. CFU_t correspond au nombre moyen d'organismes viables récupérés après traitement de la contamination par des mousses ou des solutions liquides biocides. L'objectif de l'efficacité de décontamination est une réduction de log de 7 des spores en une heure de temps de contact (il reste une spore viable pour 10^7 initiales) [4].

L'efficacité biocide des mousses « sèches » a été démontrée sur différentes bactéries, et notamment sur des formes de résistance comme les spores d'anthrax. Ces pathogènes sont manipulés en laboratoire de niveau 3 à cause de leur pouvoir pathogène (figure 2), et ils sont décontaminés avec une réduction de log de 7 grâce à l'action des mousses et en seulement 30 minutes. De plus, les capacités sporicides de ces mousses ont été vérifiées sur des spores de *Geobacillus stearothermophilus* qui est l'indicateur biologique pour la décontamination efficace d'un laboratoire de niveau 3. Ces mousses ont aussi été testées avec succès sur des bactéries différentes utilisées dans la norme française de décontamination (Afnor NF



Lame d'aluminium



Carreaux de faïence



Morceau de mortier

Figure 3 - Tests d'inactivation des mousses biocides sur des spores de *Bacillus thuringiensis* déposées sur des coupons (6 cm x 2 cm) de différents matériaux d'infrastructure (aluminium, faïence, mortier). © CEA/Laboratoire d'innovations technologiques pour la détection et le diagnostic.



Figure 4 - Mise en œuvre de la mousse par talochage avec une spatule sur une plaque d'inox verticale (1 m x 1 m). © CEA/Laboratoire des procédés supercritiques et décontamination.



Figure 5 - Mise en œuvre de la mousse en remplissage d'une cuve de 20 m³ (4 m de hauteur sur 2,6 m de diamètre). © CEA/Laboratoire des procédés supercritiques et décontamination.

EN 13697 2001) : *Enterococcus hirae*, *Staphylococcus aureus*, *Salmonella typhimurium* et *Pseudomonas aeruginosa*. Les mousses biocides sont également actives lorsque les agents pathogènes sont présents sur des supports positionnés à l'horizontale ou à la verticale [7], et sur différents matériaux représentatifs des infrastructures et du matériel (aluminium, acier inoxydable, carreaux de faïence, mortier...) (figure 3). Ces mousses présentent de plus d'autres atouts récemment mis en évidence : elles neutralisent des agents chimiques utilisés dans les armes toxiques de guerre comme l'ypérite (gaz moutarde) et sur des composés neurotoxiques organophosphorés (le VX et le soman).

Mises en œuvre

Ces nouvelles mousses peuvent d'abord être rapidement utilisées en talochage (figure 4) ou pulvérisation en couche de l'ordre du centimètre d'épaisseur sur les surfaces accessibles contaminées. En effet, une couche de mousse de l'ordre du centimètre d'épaisseur adhère suffisamment sur une surface verticale pendant au moins une heure, durée recommandée pour éliminer des spores. Mais ces mousses sont aussi suffisamment stables – plusieurs heures – et pourraient être utilisées en remplissage rapide de grands volumes (bureaux, magasins, wagons...) (figure 5). Les mousses de remplissage

pourraient aussi remplir des infrastructures plus difficiles d'accès comme les canalisations et les gaines de ventilation. Ainsi, grâce à la forte stabilité de ces mousses, les deux types de mise en œuvre sont possibles pour les opérations de décontamination des infrastructures.

Leur récupération à la fin de l'opération de décontamination est aussi facile : par simple aspiration ou séchage naturel pour les mousses en couches, ou par simple pompage après drainage pour les mousses de remplissage.

Enfin, ces mousses ne sont composées que d'eau, de sucres biodégradables (Glucopon® et xanthane) et d'agents désinfectants dilués largement utilisés et connus en termes de toxicité (javel 5 % ou eau oxygénée 12 %). Ceci permet une mise en œuvre avec des moyens classiques de protection (gants et lunettes de sécurité).

[1] Schmitt K., Zacchia N.A., Total decontamination cost of the anthrax letter attacks, *Biosecur. Bioterror.*, **2012**, 10, p. 98.

[2] Rogers J.V. et al., Evaluation of spray-applied sporicidal decontamination technologies, Environmental Protection Agency (EPA), Washington, DC, US, **2006**/600/R-06/146.

[3] Young S.B., Setlow P., Mechanisms of killing of *Bacillus subtilis* spores by Decon and Oxone™, two general decontaminants for biological agents, *J. Appl. Microbiol.*, **2004**, 96, p. 289.

[4] Reineke K., Mathys A., Heinz V., Knorr D., Mechanisms of endospore inactivation under high pressure, *Trends Microbiol.*, **2013**, 21, p. 296.

[5] Faure S., Le Toquin E., Gas F., Disinfecting aqueous foam, process for preparing same and use thereof, Brevet WO2016202879A1, **2016**.

[6] Humphreys P.N., Testing standards for sporicides, *J. Hosp. Infect.*, **2011**, 77, p. 193.

[7] Le Toquin E., Faure S., Orange N., Gas F., New biocide foam containing hydrogen peroxide for the decontamination of vertical surface contaminated with *Bacillus thuringiensis* spores, *Front. Microbiol.*, **2018**, 9, p. 2295.

Fabienne GAS*, chercheuse, et **Esther LE TOQUIN**, doctorante au CEA Marcoule, Direction de la Recherche fondamentale, Laboratoire d'innovations technologiques pour la détection et le diagnostic.

Sylvain FAURE**, expert senior en décontamination au CEA Marcoule, Direction de l'Énergie nucléaire, Laboratoire des procédés supercritiques et décontamination.

* fabienne.gas@cea.fr

** sylvain.faure@cea.fr

RETROUVEZ
la  sur  YouTube

Témoignages de chimistes

vous emmène à la découverte
du monde de la chimie
dans toute sa richesse
et sa diversité.

Abonnez-vous !



Société Chimique de France

www.societechimiquedefrance.fr/temoignages-de-chimistes.html