

Antimousses et agents démoussants

Mise en œuvre industrielle

par **Vance BERGERON**

Docteur

École normale supérieure de Lyon

1. Problèmes de mousse rencontrés dans l'industrie	J 2 206 - 2
2. Solutions technologiques pratiques aux problèmes de mousse	— 2
2.1 Modification de la taille des équipements.....	— 2
2.2 Méthodes mécaniques.....	— 2
2.3 Méthodes chimiques.....	— 3
3. Questions pratiques concernant les antimousses et les agents de démoussage	— 3
3.1 Pourquoi ajouter des particules solides à des formulations ?.....	— 3
3.2 Quels sont les paramètres fixant la durée des performances d'un antimousse ?	— 3
3.3 Comment choisir une formulation d'antimousse ?	— 3
3.4 Quels types de tests de moussage utiliser au laboratoire ?	— 4
3.5 Quelle stratégie utiliser pour contrôler les mousses ?	— 4
3.6 Quelle démarche mettre en œuvre pour résoudre un problème de mousse ?	— 5
4. Conclusion	— 5
Pour en savoir plus.....	Doc. J 2 207

Dans cet article, nous donnons quelques exemples de pratiques industrielles de démoussage. Le recours à des antimousses ou à des agents de démoussage ne doit être utilisé qu'en dernier ressort, lorsque des solutions plus pratiques, sur les conditions d'exploitation, auront été épuisées. Des techniques de caractérisation des conditions de formation de mousse ainsi que des recommandations générales sont présentées afin de permettre à l'industriel de sélectionner la meilleure stratégie de contrôle des mousses.

Pour une étude plus théorique de la formation des mousses et de leur déstabilisation, le lecteur se reportera à l'article précédent [J 2 205] du même auteur.

1. Problèmes de mousse rencontrés dans l'industrie

Ces problèmes se rencontrent dans un grand nombre d'industries.

Citons, parmi celles-ci, l'**industrie agroalimentaire**, du **textile** et de la **teinture**, des **encres** et des **revêtements**, du **traitement des eaux usées**, des **lubrifiants** et même des **semi-conducteurs**.

Mais c'est certainement l'**industrie papetière** qui est la plus grande utilisatrice de produits pour le contrôle des mousses. Les problèmes de mousses y sont omniprésents, à toutes les étapes de la fabrication, depuis la pâte à bois et la feuille, le traitement des eaux usées et leur recyclage, jusqu'au désencrage des vieux papiers, en passant par le couchage et lors de l'impression.

En outre, ce n'est pas seulement la manipulation de solutions aqueuses qui pose problème.

L'**exploration pétrolière** et l'**industrie pétrochimique** sont aussi confrontées à des phénomènes de moussage. À l'état naturel, le pétrole brut contient des gaz dissous sous pression. Lors de l'extraction, ces gaz dissous s'échappent à la pression atmosphérique et posent alors de difficiles problèmes de moussage qui se traduisent par des débordements ou des dommages causés aux équipements en aval.

Dans l'**industrie des biotechnologies**, les conditions opératoires sont particulièrement favorables à la génération de mousses, ce qui pose des problèmes de plus en plus cruciaux. En effet, la plupart des micro-organismes produisent des protéines qui se dispersent dans le milieu où ils agissent alors comme stabilisants des mousses. Les milieux de fermentation sont particulièrement sensibles à ce phénomène car ils contiennent directement des agents de stabilisation des mousses (protéines, polymères) et l'aération du milieu, qui apporte de l'oxygène, conduit tout naturellement à la formation de mousses.

Les mousses s'avèrent particulièrement désastreuses dans les **fermenteurs** car elles y entraînent régulièrement des pertes de productivité. En effet, comme la densité des mousses est très faible, comparée à celle du milieu de fermentation, celui-ci s'échappe par les sorties de gaz, et les filtres destinés à limiter les pertes de micro-organismes se bouchent à cause de l'humidité des mousses. Cela entraîne une montée en pression du réacteur et l'ouverture des valves de sécurité, ce qui compromet la stérilité de l'unité de production.

Parfois, les mousses débordent des réacteurs et s'étalent autour des installations avec, pour conséquence, des problèmes de sécurité ou de nettoyage, toujours fastidieux. Parfois la formation de la mousse est si rapide qu'en quelques secondes le milieu de fermentation se transforme en mousse et la totalité peut ainsi être perdue avant même que l'on puisse intervenir !

2. Solutions technologiques pratiques aux problèmes de mousse

Un certain nombre de solutions technologiques générales ont été proposées pour contrôler la formation de mousses.

La réduction du nombre des opérations « en cascades » dans les procédés de fabrication en continu, le colmatage des fuites sur les garnitures des presse-étoupes, des pompes ou sur les raccords et joints sont des exemples typiques et faciles pour réduire le risque

de formation de mousses. La réduction de la vitesse des gaz et l'incorporation de vases d'expansion peuvent également avoir leur effet avant de recourir à l'utilisation éventuelle d'antimousses.

Ces interventions peuvent s'avérer utiles dans des cas faciles, dont l'origine est à attribuer à des dérives ou des incidents opératoires.

Pour des cas plus compliqués, trois méthodes sont proposées.

2.1 Modification de la taille des équipements

Disposant souvent d'installations de taille réduite, les petites entreprises limitent leurs problèmes en adaptant leurs installations. Chaque fois que le procédé le permet, elles font appel à des réservoirs ou des bassins de décantation, adaptés au volume journalier de mousses générées, qui leur permettent de stocker leurs solutions de rinçage par exemple. À la fin de la journée, le réservoir est plein de solution de rinçage et de mousses. La solution aqueuse est alors pompée à partir du fond et les mousses ne posent plus de problème dans les tuyaux à la réutilisation. En anticipant leurs besoins inévitables de stockage de solutions moussantes, les petits producteurs peuvent ainsi régler leurs problèmes de mousses sans modifier la formulation de leurs solutions de rinçage.

La forme des réacteurs doit également être prise en compte.

Exemple : des ouvertures de réservoirs larges et à l'air libre ou des fosses facilitent la remontée et la casse des mousses.

Signalons d'autres « astuces » qui permettent de travailler avec des mousses : mise en place de bassins de débordement ou de rétention voire de chambres d'expansion dans les installations afin de stocker provisoirement les mousses pour leur laisser le temps de se casser.

2.2 Méthodes mécaniques

Dans des procédés plus élaborés, les mousses posent des problèmes plus importants car leur présence dans les conduites ou les installations peut perturber voire interrompre le procédé de fabrication. Le recours à des moyens mécaniques relativement simples permet de réduire sinon d'éliminer les risques.

Exemple : installation de dispositifs de pulvérisation à l'interface, de battage pour rabattre les mousses, de désaération sous vide, de centrifugation ou utilisation de vibrations ultrasoniques.

Le dispositif mécanique classique est constitué d'une hélice, analogue à un agitateur à lames, qui tourne dans la partie haute du fermenteur et soumet les mousses à une force centrifuge. L'agitation projette la mousse contre les parois du fermenteur (par exemple) avec une très forte vitesse pour détruire la structure de la mousse. Il est aussi possible de limiter le développement de mousses en faisant appel à des méthodes électriques. Ainsi des mousses peuvent être détruites par passage dans des dispositifs tels ceux utilisés pour le dépoussiérage électrostatique.

L'action favorable de la température ne doit pas être négligée non plus. L'effet bénéfique d'un chauffage a déjà été évoqué en [J 2 205]. Signalons cependant qu'une pulvérisation d'air sec sur les mousses peut s'avérer efficace, d'autant plus qu'elle évite le chauffage de l'ensemble de la solution. Mais ne négligeons pas aussi l'effet possible d'une baisse de température car la formation de cristaux de glace, en changeant les propriétés viscoélastiques de l'interface, peut entraîner parfois le collapse de la mousse (voir mécanisme d'action des antimousses, article [J 2 205]).

2.3 Méthodes chimiques

Lorsque la formation de mousse est absolument redhibitoire, les industriels doivent faire appel à des agents de démoussage ou à des antimousses chimiques.

Les différentes formulations et leur mode d'action ont été étudiées dans l'article précédent [J 2 205] § 3.

Le tableau 1 présente les cas dans lesquels il est nécessaire d'employer des antimousses chargés et ceux dans lesquels on peut utiliser des antimousses non chargés.

Antimousses chargés		Antimousses non chargés	
Huiles	Utilisation (1)	Huiles	Utilisation (1)
Huile de silicone	A, B, C	Silicone-polyglycol (SG)	C
Huile organique	B, C	Polyglycol (PPG)	C
Mélange d'huile organique et de silicone	B, C	Mélange Silicone/SG/PPG	B, C

(1) A : solutions d'agents tensioactifs ioniques de concentration élevée ; basse tension superficielle.
 B : solutions d'agents tensioactifs ioniques de faible concentration ; solutions d'agents tensioactifs non ioniques.
 C : solutions des polymères (par exemple, protéines, polysaccharides).

Les principales formulations d'antimousses et d'agents de démoussage sont présentées en [Doc. J 2 207, tableau A].

3. Questions pratiques concernant les antimousses et les agents de démoussage

3.1 Pourquoi ajouter des particules solides à des formulations ?

Des huiles seules sont capables de détruire des mousses mais, si l'on disperse des particules microscopiques dans l'huile, l'efficacité de l'antimousse s'améliore significativement. L'amélioration provient de l'effet que les particules ont sur la première étape du processus d'action de l'antimousse, l'entrée de la gouttelette à l'interface air/solution. L'effet est similaire à celui d'une aiguille pour rompre une membrane, tel qu'il est représenté figure 1. Les forces sont concentrées en bout d'aiguille plutôt que d'être réparties sur l'ensemble de l'interface du film. Ainsi, les particules présentes « piquent » le film aqueux qui empêche l'huile de pénétrer dans l'interface air/solution. L'huile pénètre donc plus rapidement, mais cette addition de particules augmente aussi la viscosité des globules d'antimousse, ce qui peut avoir, selon les cas, un effet double. En diminuant l'étalement (cf. § 4.1 de l'article [J 2 205]), il réduit l'efficacité de l'antimousse ; il en résulte que la concentration des charges ne dépasse jamais 5 %. Par contre, cette augmentation de viscosité limite l'émulsification de l'antimousse et augmente par là la durée de vie de son efficacité (cf. § 3.2).

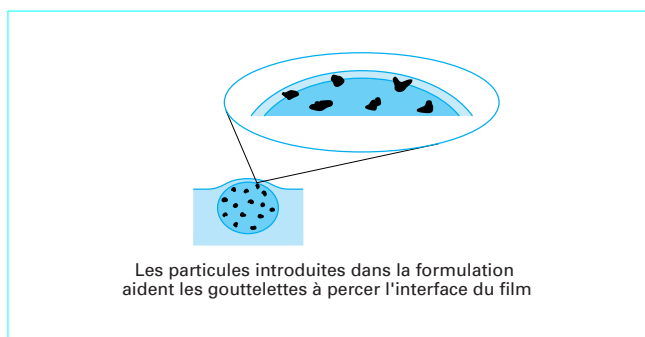


Figure 1 – Amélioration de l'antimousse par les particules solides

3.2 Quels sont les paramètres fixant la durée des performances d'un antimousse ?

Les utilisateurs observent souvent une diminution de l'efficacité des antimousses. L'adsorption de l'antimousse sur les parois des installations peut expliquer sa perte d'activité dans le temps par diminution de la concentration de l'antimousse. Deux autres raisons cependant doivent être invoquées.

■ D'abord, les tensions superficielles et interfaciales du système peuvent évoluer dans le temps et, par conséquent, les conditions d'étalement et de pontage peuvent varier. Il n'est pas exclu de constater qu'une huile qui s'avère, en début d'opération, être un bon antimousse, peut très bien finir par stabiliser la mousse qu'elle est censée détruire. Un des avantages des antimousses à base de silicones est d'être moins directement sensibles à ces problèmes de tension dynamique.

■ Le deuxième problème concernant le vieillissement des antimousses, plus général, tient à la taille des particules d'antimousse. Dans les conditions normales de moussage, les globules sont soumis à des cisaillements qui réduisent leur taille. L'antimousse est émulsifié à l'état de gouttelette très petites au cours du temps. Dès que leur diamètre descend au-dessous de 5 micromètres, leur activité disparaît. La moindre efficacité tient au fait que les gouttelettes microscopiques sont trop mobiles et restent dans la solution au lieu de se précipiter aux interfaces et y jouer leur rôle d'antimousse. L'effet de cette réduction de taille des antimousses peut être minimisé en augmentant la viscosité de l'huile ou la tension interfaciale. Cependant, il faut toujours rechercher le bon équilibre pour optimiser la performance de l'antimousse en jouant sur ces paramètres.

C'est pourquoi les formulations d'antimousses contiennent souvent des huiles de viscosité différentes pour viser la meilleures performances.

3.3 Comment choisir une formulation d'antimousse ?

Qu'elles soient chargées ou non, différentes formulations d'antimousses, à base de silicones, d'huiles organiques, ou de combinaison de celles-ci, sont disponibles. Le choix de l'antimousse à utiliser dépend bien sûr de la nature du système moussant et du niveau de contrôle des mousses recherché. En complément du contrôle des mousses et des conditions qui y sont attachées, telles

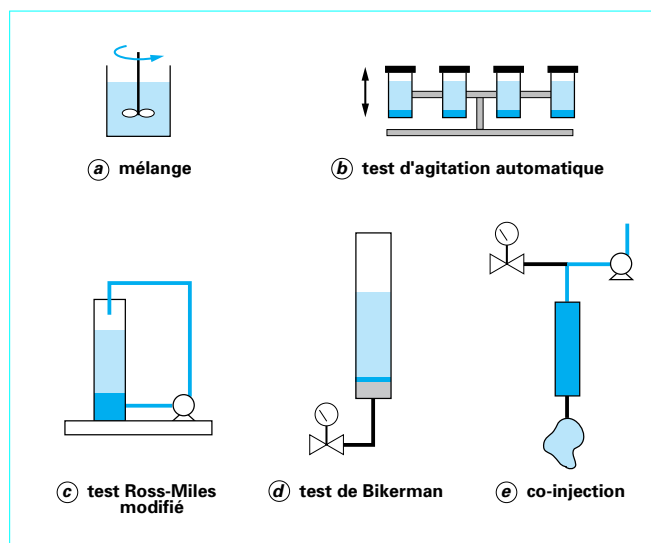


Figure 2 – Méthodes-tests utilisés pour déterminer les performances des formulations antimousses

que l'abattage des mousses ou leur persistance, d'autres facteurs doivent être pris en compte pour les applications pratiques : durée de vie, effets inattendus, facilité de manipulation, absence de toxicité, effets sur l'environnement et, finalement, rapport efficacité/coût. Nous insistons sur le caractère très général de ces recommandations, car chaque type d'antimousse contient une grande variété de produits. Il est essentiel de retenir que les antimousses à base de silicones sont très efficaces et donc très utilisés pour les milieux concentrés en tensioactifs à cause de la non-compatibilité de ces deux familles de produits, tandis que les autres familles d'antimousses sont moins performantes pour ces types de milieux. De plus, tous les types d'antimousses sont actifs sur les mousses stabilisées par des protéines, mais il faut bien avoir à l'esprit que chaque formulation a une activité ou une efficacité différente.

Le tableau A en [Doc J 2207] donne le sommaire des principales formulations d'antimousses disponibles dans le commerce.

3.4 Quels types de tests de moussage utiliser au laboratoire ?

Lorsque l'on doit sélectionner un antimousse dans une gamme de produits commerciaux, il faut, pour établir le choix définitif, tester la performance des produits retenus, pour identifier celui qui donnera les meilleurs résultats. Comme il n'est pas toujours facile de se placer dans les conditions pratiques, il est nécessaire de disposer de tests de laboratoire qui permettent d'évaluer les produits les plus intéressants. Il est alors utile de planifier le test pour reproduire ou se rapprocher, le plus possible, des conditions pratiques de moussage. La figure 2 schématise cinq cas différents de tests qui peuvent être effectués et couvrent une grande variété de conditions de moussage. Les conditions de formation de l'interface air/solution diffèrent dans chaque technique. Il est donc possible soit d'utiliser un de ces tests, soit de développer un test qui reproduise au mieux les conditions dans lesquelles les mousses sont formées ou stockées.

Nous ajoutons ci-dessous quelques commentaires sur les techniques présentées figure 2.

■ Mélange

Il suffit d'agiter la solution moussante à l'aide d'un mixer. Les critères à surveiller sont la vitesse d'agitation, le type de mixer, le volume de solution et la taille du bol (figure 2a).

■ Test d'agitation

C'est un test simple qui exige uniquement d'agiter la solution ; il est préférable d'utiliser un dispositif mécanique pour opérer dans des conditions les plus reproductibles possible. En complément de l'amplitude et de la vitesse d'agitation, il est possible d'utiliser différents récipients et niveaux de solution pour faire varier les conditions de moussage (figure 2b).

■ Test Ross-Miles modifié

Il consiste à recycler la solution et à la recueillir dans un récipient horizontal. Le débit de pompage, le diamètre des tuyaux, la hauteur de retombée de la solution et la taille du récipient constituent les paramètres principaux qui déterminent les conditions de formation des mousses (figure 2c).

■ Test de Bikerman

Ce test utilise un disque poreux ou un tube d'injection pour faire buller l'air à travers la solution. À nouveau, les caractéristiques du récipient (forme, taille...) et le volume de solution sont certes importants, mais c'est le débit du gaz et le diamètre des pores du fritté (ou le diamètre du tube d'injection) qui sont les critères prioritaires (figure 2d).

■ Co-injection

Le gaz et la solution moussante sont co-injectés à travers un milieu poreux. Les débits absolus et relatifs de gaz et de solution sont importants à contrôler. Le type et l'empilement ou la taille des pores jouent un rôle essentiel et conditionnent le type de mousse formée (figure 2e).

Dans tous ces tests, il est nécessaire d'éliminer les artefacts que peuvent entraîner l'adsorption de l'antimousse sur les parois de l'équipement, ce qui peut modifier les conditions du test en l'éloignant des conditions pratiques. Il faut aussi veiller à se rapprocher des conditions environnementales du test pratique.

La sélection finale d'une formulation d'antimousse tiendra compte de paramètres différents des seules performances des produits. Le coût et la toxicité jouent évidemment un rôle. Comme la plupart des formulations d'antimousses sont à base de silicones ou d'huiles minérales, ces fluides ne posent pas problème. Ce sont plutôt les autres composants de la formulation qu'il faut surveiller, en particulier les particules de solides, les tensioactifs ou les solvants qui sont utilisés pour prédispenser les formulations. La meilleure source pour obtenir ce type d'information est de s'adresser directement au producteur.

Enfin il est nécessaire de se méfier des effets secondaires de tout procédé ou produit qui peut résulter des divers additifs. C'est le cas lorsque l'on utilise des antimousses siliconés car, même utilisés à très faible concentration, les silicones ont un effet sur les propriétés de mouillage ou d'adhésion des composants de la formulation.

3.5 Quelle stratégie utiliser pour contrôler les mousses ?

La plupart des solutions pratiques retenues proposent des mesures qui sont intégrées dans un système de contrôle automatique des mousses. Ce type d'installation nécessite trois composants de base : un capteur, un dispositif de contrôle et un régulateur pour détecter la présence de mousse et prendre les mesures correctives nécessaires.

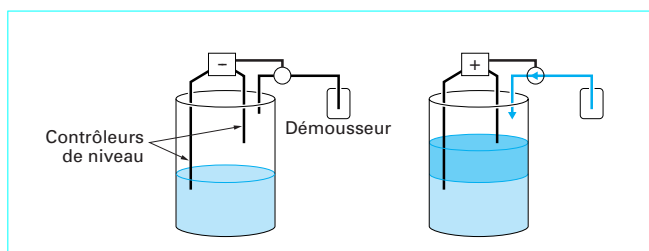


Figure 3 – Schéma d'une unité typique de contrôle automatique de formation de mousse dans un réacteur de type « batch »

Divers dispositifs peuvent être utilisés pour détecter des mousses. Pour des mousses aqueuses, des **mesures conductimétriques**, fort utiles car simples, sont recommandées.

Cependant des **dispositifs de détection classique de niveaux** peuvent aussi être utilisés. Les méthodes les plus récentes font même appel à des caméras numériques couplées à des systèmes d'analyse d'image. Une réflexion poussée est nécessaire pour bien positionner le capteur dans l'installation. En effet, il y a des cas où la mousse est générée dans des conditions délicates, comme à l'intérieur d'une machine ou d'un corps de pompe, où il est difficile d'introduire physiquement un capteur. Dans d'autres cas, il est nécessaire de déplacer le capteur avec le niveau du liquide ou de collecter les mousses qui sont soufflées avec l'air. On peut aussi échantillonner automatiquement le milieu et passer la solution à travers une cellule qui mesure directement la moussabilité de la solution (voir la co-injection § 3.4). Dans ce cas, la cellule est ajustée de manière que la mousse apparaisse dans la cellule avant d'apparaître dans la ligne de fabrication.

Chaque situation appelle un ajustement spécifique de manière à trouver le meilleur emplacement possible pour le capteur.

Pour la destruction des mousses, il est fait appel à une des méthodes exposées au paragraphe 2 (mécanique, thermique, chimique...) ou bien à une combinaison de ces trois méthodes. Notons que l'addition d'une composition antimousse nécessite l'utilisation d'un dispositif de dosage et d'injection. Mais ces dispositifs restent peu encombrants et ne pénalisent pas trop le coût du traitement car la plupart des produits sont utilisés à des concentrations très faibles (100 ppm). Une installation typique de contrôle de mousses faisant appel à des antimousses chimiques pour un procédé discontinu est schématisé sur la figure 3.

3.6 Quelle démarche mettre en œuvre pour résoudre un problème de mousse ?

Pour résoudre un problème de mousse, il est recommandé de procéder comme suit :

- **identifier la substance chimique responsable de la formation de la mousse.** Cela se fait souvent par simple analyse chimique du liquide mère ;

- **éliminer, si possible, la substance chimique responsable de la formation de la mousse.** Cela n'est pas possible si la substance joue un rôle déterminant dans le procédé ou si la mousse n'apparaît que rarement et de manière tout à fait imprévisible ;

- **évaluer les conditions du procédé qui peuvent expliquer la formation de mousses.** Ce point est important si l'on ne peut éliminer la substance responsable. Toute la série des variables « procédé » peut être testée au laboratoire en construisant une installation qui simule les conditions de formation de mousses dans le procédé en cause (cf. figure 2) ;

- **changer les paramètres du procédé** de manière à contrôler les conditions d'apparition des mousses. C'est la voie la plus simple ; cependant, dans la majorité des cas, on n'a pas la possibilité de changer de conditions opératoires ;

- **faire appel à un dispositif mécanique ou à un antimousse.** Ce type de composés est présenté en [Doc. J 2 207, tableau A] ; l'utilisation des antimousses nécessite de prendre en considération les nombreux paramètres « procédé » impliqués. Souvent, c'est la combinaison de deux méthodes (l'une mécanique, l'autre chimique) qui permet d'aboutir à la solution la meilleure.

4. Conclusion

Comme pour tout système complexe, il est pratiquement impossible de prédire quelle formulation ou quelle stratégie doit être utilisée pour résoudre un problème de mousse. En effet, la question se complique par le fait que, dans une application donnée, les conditions opératoires contribuent à la formation et à la persistance de mousses.

Cependant, à partir de la connaissance des facteurs responsables de la formation et de la stabilité de la mousse, combinée aux diverses stratégies disponibles pour la détruire, il est souvent possible de développer des formulations qui permettent un bon contrôle des mousses ou de leurs effets néfastes. Bien sûr, les antimousses siliconés du marché ont une efficacité remarquable à des concentrations très faibles.

Nous avons conscience que cet article ne fait pas un point définitif de la situation. En particulier nous n'avons abordé que succinctement les performances des produits et leurs effets sur l'environnement, ce qui continue à poser un défi permanent.

La traduction de cet article de M. Vance Bergeron a été assurée par Gilbert Schorsch, conseiller Innovation - Recherche de l'UIC, Ile-de-France.