Étude des écoulements diphasiques en vue du freinage des bateaux dans les écluses

*A study of two-phase flow
with a view to a braking system for boats in locks*

F. Danel

A.I.D.

Introduction

Un bateau avalant qui ne s'arrête pas à temps dans une écluse percute les œuvres vives, portes ou ouvrages de retenue. Le bateau peut alors être fortement endommagé et l'écluse mise hors de service pour un temps très long.

On peut même alors avoir de sérieux problèmes pour effectuer les travaux de réparation, la porte amont étant restée ouverte.

On doit s'assurer qu'en cas d'avarie, ou de défaillance personnelle, un dispositif d'arrêt soit en mesure de bloquer le bateau avant qu'il n'entre en collision avec l'extrémité de l'écluse.

Une solution souvent retenue consiste à disposer un bouclier muni de dispositifs d'amortissage, mais vue la masse des convois, ce dispositif doit absorber une énergie énorme pour une course faible, et il est presque impossible de dimensionner suffisamment l'ensemble pour qu'il couvre la totalité des cas rencontrés. Des essais sur modèle réduit ont montré qu'il existait un effet hydrodynamique de freinage important causé par la remontée du plan d'eau de l'écluse, elle-même due à l'effet piston du bateau passant sur le seuil amont.

Cet effet est d'autant plus grand que la perte de charge entre le bateau et le seuil est importante.

On doit dire que pour les bateaux de taille limitée, on constate aussi une remise en vitesse lorsque l'arrière du bateau libère le seuil.

Pour augmenter les effets rencontrés, il est intéressant de réduire le passage de l'eau entre le bateau et le seuil. On a pensé à divers dispositifs mécaniques qui posent des problèmes de sécurité et des problèmes de manœuvre en fonction des gabarits transitant par l'écluse. Dans le cadre d'une étude de faisabilité, on a cherché à estimer s'il était possible par injection d'air sur le seuil d'augmenter la perte de charge de l'écoulement

sortant entre la carène du bateau et le seuil. Il est important de savoir qu'une perte de charge modeste induit un freinage appréciable. En première approximation, une remontée du plan d'eau de l'écluse correspond à une remontée identique du bateau, l'énergie cinétique disponible se trouvant alors transformée en énergie potentielle.

Estimation de la perte de charge provoquée par un rideau de bulles dans un écoulement à surface libre

Il existe peu de données permettant d'estimer la perte de charge d'un écoulement diphasique eau/air en charge et nous n'avons rien pu trouver concernant un écoulement en surface libre. Nous avons essayé de construire plusieurs modèles pour évaluer les ordres de grandeurs, mais comme nous le verrons, ils ne donnent pas vraiment satisfaction.

Dans tous les cas, on a considéré :

- un canal rectangulaire uniforme de largeur 1 à fond horizontal ;
- à l'amont de l'injection d'air, la hauteur est H et la vitesse U ;
- l'air est injecté d'une manière uniforme avec une vitesse U_a .

Hypothèse A

1) Milieu continu, on suppose que dans la zone d'écoulement à bulles, le mélange eau-air peut être assimilé à un fluide homogène de masse volumique φ' . On imagine qu'on injecte un volume V d'air pendant Δt , donc :

$$\frac{\varphi'}{\varphi} = 1 - \frac{q}{V_a dl} \quad (q \text{ étant le débit})$$

$$\tau = \frac{V}{LIH} = \frac{q}{V_a dl} \quad (V_a \text{ vitesse ascensionnelle des bulles})$$

2) On fait l'hypothèse de la répartition hydrostatique de pression, en examinant la variation de pression sur une verticale telle que OC . On trouve

$$h = H - \left(1 - \frac{\varphi'}{\varphi}\right) \frac{dV_a}{V}$$

En posant $\frac{\Delta H}{H} \ll 1$ on trouve :

$$\Delta H_m = \left(1 - \frac{V^2}{gH}\right) \frac{q}{\varphi U} = \left(1 - \frac{V^2}{gH}\right) \frac{V_a d\tau}{U}$$

Conclusion

En prenant un taux de vide de 1 % et une vitesse ascensionnelle des bulles de 10 cm/s pour

$$d = 1 \text{ m}$$

$$U = 3 \text{ m/s}$$

$$H = 5,5 \text{ m}$$

on trouve : $\Delta H_m \simeq 0,27 \text{ mm}$, ce qui est visiblement négligeable.

Hypothèse B

On considère l'obstruction provoquée par les bulles. Il existe une deuxième façon de considérer le problème, qui consiste à supposer le rideau de bulles comme une grille fixe devant l'écoulement d'eau. Avec les mêmes hypothèses que les autres cas (milieu continu, variation de pression hydrostatique, ...) on trouve :

$$\Delta H = \frac{U^2}{2g} \left[\frac{1}{(1 - \tau)^2} - 1 \right]$$

Remarque : On a supposé que le fluide arrive sur le rideau de bulles à une vitesse U il traverse le rideau à une vitesse $U' > U$ telle qu'après le passage elle retrouve sa vitesse initiale U .

$$\text{On constate que } \Delta H \simeq \frac{U^2 \tau}{g}$$

ce qu'on aurait voulu observer à priori.

L'expérience ne le confirme pas. Ce qui explique les hypothèses irréalistes de cette méthode.

Hypothèse C du blocage diphasique

Un liquide comportant quelques bulles en suspension se comporte macroscopiquement comme un milieu continu de masse proche du liquide mais de compressibilité proche du gaz, la vitesse des ondes se trouve alors considérablement réduite, si la vitesse d'écoulement

approche cette vitesse d'onde on constate un blocage analogue à un choc sonique.

Dans notre cas où les vitesses sont de l'ordre de 3 m/s on n'a pas de valeur théorique concernant l'effet de blocage. Il est aussi intéressant de considérer le changement de régime d'écoulement (influence sur le nombre de Froude) en fonction de l'injection d'air.

$$\text{diphasique } \# \frac{v_{\text{gaz}}}{\sqrt{\alpha(1 - \alpha) \frac{\rho_{\text{eau}}}{\rho_{\text{gaz}}}}}$$

On voit que ces différentes approches ne permettent pas de conclure et des essais sommaires ont été jugés nécessaires.

Moyen d'essai

On a mis en place un petit tunnel à surface libre utilisant un éjecteur afin d'optimiser le point de fonctionnement de la pompe disponible. Le schéma joint montre la disposition de l'ensemble.

Maquette d'essai

Résultats des essais

Les essais ont été faits pour plusieurs immersions et vitesses d'écoulement et pour des débits de gaz variables. On constate qu'à l'échelle du modèle il est presque impossible de mettre en évidence un effet mesurable, pour certains points de mesure il semble même que le rideau de bulles fasse plutôt un effet de pompage. La taille du moyen d'essai n'a pas permis d'atteindre une vitesse suffisante pour mettre en évidence un effet de blocage diphasique.

Conclusion

Les modèles proposés ne permettent pas de conclure et il semble que l'on manque d'un concept physique suffisamment réaliste pour modéliser le phénomène et que d'autre part il faille faire des essais sur un canal

de taille minimum qualifié de modèle. On peut donc conclure que pour freiner efficacement un bateau il suffit d'une perte de charge très faible mais que l'on n'a pas à ce jour un moyen d'approche suffisamment sûr pour valider la méthode, on doit pour cela résoudre préalablement certains problèmes théoriques et effectuer des essais à plus grande échelle.