



Mystérieuses bulles

A l'Ecole polytechnique fédérale de Lausanne, des ingénieurs percent petit à petit le phénomène de cavitation, aux conséquences parfois destructrices.

PAR OLIVIER DESSIBOURG

IMAGE EN ARRIÈRE-FOND RDB/CORBIS

Des bulles, de menues bulles, et de plus grosses bulles. Voilà des chercheurs qui passent leur temps à faire des bulles. Par oisiveté ? Par opiniâtreté plutôt. A l'aide d'imposantes machines, ces ingénieurs de l'Ecole polytechnique fédérale de Lausanne (EPFL) percent petit à petit l'un des mystères de la physique des fluides : la cavitation. Un phénomène qui entre en jeu dans les systèmes de propulsion à hélices, dans les moteurs de fusées ou dans les turbines hydrauliques, avec parfois des conséquences destructrices.

« L'on parle de cavitation lorsque, sans apport de chaleur, des bulles de gaz se forment dans un liquide soumis à une dépression », explique Mohamed Farhat, chef de groupe à l'EPFL. Dans le cas d'une turbine, l'eau s'écoule à si grande vitesse sur les pales que, selon le théorème établi en 1739 par Bernoulli, la pression y est localement très basse. L'eau peut alors passer à l'état gazeux, en formant des bulles de vapeur. Mais, à peine générées, ces vésicules sont à nouveau soumises à la pression du liquide environnant. Elles n'ont qu'une destinée : imploser, et disparaître. Non sans laisser une trace : « La cavité libère son énergie dans un temps



EPFL

infime, de l'ordre de la nanoseconde, et dans un espace micrométrique. Se crée alors une onde de choc, très violente. Cela correspond à se piquer avec une aiguille. Même sans appuyer, cela fait mal. » Dans le monde de la mécanique, ce supplice se traduit par une érosion des matériaux des hélices, des vibrations et un bruit. Qui peut rendre les sous-marins militaires peu discrets...

Influence sur le rendement des turbines

Le problème est connu de longue date. « On entend parfois, à tort, que l'hydraulique est une vieille science, poursuit le chercheur. Mais il n'existe toujours pas de modèle prédictif du phénomène ni de matériaux capables d'y résister. En outre, l'exploitation de plus en plus exigeante des turbines hydrauliques pose de nouveaux défis aux concepteurs. La cavitation qui peut altérer son rendement

en fait partie plus que jamais. Chaque turbine possède des conditions d'utilisation spécifiques ; elle requiert une conception qui lui est propre et qui doit être validée sur un modèle réduit. » Le Laboratoire des machines hydrauliques de l'EPFL fait ainsi référence car il est l'un des rares centres de tests indépendants. Mais outre cette activité appliquée, ce sont les aspects de recherche fondamentale qui passionnent le chercheur et son collègue, le professeur François Avellan, directeur du laboratoire.

« Nous étudions la dynamique des cavités de vapeur et le stade final de leur implosion afin de détailler le mécanisme de l'érosion. Nous tentons d'établir des modèles mathématiques pour prédire les surpressions dues aux ondes de choc », résume-t-il. Pour ce faire, un immense tube a été construit, où l'eau s'écoule à la vitesse de 50m/s, ce qui en fait l'un des





Lors de la cavitation, des bulles se forment sous l'effet des changements de pression, bulles qui implosent. Ce phénomène provoque, par exemple, une érosion des turbines hydrauliques et des hélices de bateau (à gauche). Les images en noir et blanc montrent la cavitation en apesanteur : des gouttes d'eau sphériques. A l'intérieur implose une bulle (tout en haut) et deux jets se développent (ci-dessus).

plus performants du monde. Y sont testés divers profils de pales.

« Nous avons aussi mis au point une technique qui, en détectant les vibrations, permet de déceler dans les machines hydrauliques les impacts des ondes de choc. » Las. La cavitation est un phénomène si microscopique que la mesurer directement reste ardu. Les scientifiques se reportent alors sur sa signature... lumineuse. « Lorsque les bulles implosent, le gaz qu'elles renferment est tellement comprimé que sa température

atteint des centaines de milliers de degrés. Cela crée un plasma, sorte de « soupe » d'ions et d'électrons libres », détaille l'ingénieur. En se recombinaut, ces particules émettent de la lumière. « La mesure de cette luminescence nous permet de localiser les lieux d'implosion des cavités de vapeur, et de caractériser leur potentiel érosif. »

L'état de surface des aubes

Autre axe de recherches : l'état de surface des aubes. Car plus elles sont irrégulières, plus elles favorisent la cavitation. Mohamed Farhat prend l'image du verre de champagne : « Si une flûte est sale, les aspérités de la surface du verre, qui retiennent d'infimes quantités d'air, sont la

source d'un nombre élevé de bulles. De même, la rugosité des faces joue un rôle majeur dans la nucléation, puis le développement des bulles de cavitation. Nous suivons plusieurs pistes pour maîtriser cet effet, notamment en tirant profit des nanotechnologies. »

Captivé et optimiste, le chercheur l'admet : la tâche est loin d'être triviale. « C'est un problème aux aspects multiples qui fait intervenir plusieurs disciplines (mécanique, physique, matériaux). Au final, éliminer la cavitation constitue presque un rêve. » Si un jour l'équipe de scientifiques de l'EPFL parvient à le caresser, nul doute qu'elle sablera le champagne pour une autre raison que simplement observer ses bulles. ■

Implosion en apesanteur

Outre les ondes de choc, les bulles de cavitation produisent des jets lorsqu'elles implosent dans un liquide à proximité de sa surface. Sur la Terre, un volume d'eau immobile n'a qu'une surface libre plane, si bien qu'un seul de ces jaillissements peut être observé.

Mais comment se déroule le processus en apesanteur ? Tout le monde sait, depuis les péripéties du capitaine Haddock sur la Lune, que les liquides, en l'absence de gravité, se mettent en boule... Quatre étudiants de l'EPFL ont eu la chance, dans le cadre d'un concours de l'Agence

spatiale européenne (ESA), d'observer l'implosion d'une cavité dans le volume fini qu'est une goutte d'eau sphérique. Sous la supervision de Mohamed Farhat, les ingénieurs Danail Obreschkow, Philippe Kobel, Aurèle De Bosset et Nicolas Dorsaz ont installé leur dispositif à bord d'un Airbus A300 loué par l'ESA. Cet avion a été modifié pour suivre des trajectoires en forme de cloche. Au sommet de ces paraboles, ses moteurs sont coupés. L'aéroplane se met en chute libre. Ses occupants chutent avec lui. Dans le référentiel qu'est l'avion, ils ne subis-

sent alors plus la force de gravité. Se trouvant en micropesanteur, ils « flottent » dans l'air. A cet instant est conçue une goutte de liquide. En son cœur : une cavité est générée. Qui implose ! Résultat : les premières images jamais filmées montrant deux jets se développer dans des directions opposées. Sur la base des images glanées, les étudiants ont mesuré le rayon de la cavité en phase d'implosion, puis établi un modèle théorique décrivant ce phénomène. Leur étude vient d'être publiée dans la revue *Physical Review Letters* (vol. 97; 094502) ■