

> la plaque) ne peut plus remonter vers l'amont car l'onde «rencontre» un écoulement trop rapide pour se propager.

Peut-on alors dire que la question du ressaut a été résolue il y a cinq siècles par Léonard de Vinci? Pas tout à fait. À ce jour, il n'existe toujours pas de modèle qui fasse consensus et qui permette de prédire une caractéristique aussi essentielle que le rayon du ressaut en fonction des paramètres du système (le débit, les propriétés du liquide, le diamètre du jet, etc.). Néanmoins, d'importants progrès ont été réalisés depuis les observations du génie italien. On a une meilleure idée des mécanismes en jeu et de leurs importances respectives, et le ressaut hydraulique est même devenu un outil pour modéliser d'autres phénomènes.

LE MASCARET, GRAND FRÈRE DU RESSAUT CIRCULAIRE

Après Léonard de Vinci, les savants ne semblent pas s'être intéressés à l'énigme du ressaut hydraulique circulaire pendant plus de trois cents ans. On n'en retrouve la trace qu'au XIX^e siècle, dans les études du médecin et physicien français Félix Savart qui a observé et dessiné le phénomène sans particulièrement chercher à l'étudier. Un regain d'intérêt est dû à de nombreux travaux qui ont porté, dès le XVIII^e siècle, sur le «grand frère» du ressaut circulaire, le mascaret.

Ce type de ressaut hydraulique, que l'on observe sur les rivières et les fleuves, par exemple la Dordogne ou la Sélune, se caractérise par une vague plus ou moins haute qui

COMME LE MUR DU SON !

Le ressaut hydraulique est un analogue du célèbre mur du son. Dans l'évier, les ondes gravitaires jouent le rôle des ondes acoustiques et l'écoulement, se déplaçant à quelques dizaines de centimètres par seconde, remplace l'avion volant à 1 224 kilomètres par heure.

remonte le courant. Cette vague sépare une zone torrentielle, située en amont, où la vitesse du liquide est supérieure à la célérité des ondes gravitaires et une zone fluviale, en aval, où les ondes gravitaires se déplacent plus rapidement que le liquide et sont donc susceptibles de se diriger vers l'amont.

Le changement rapide de hauteur d'eau à l'embouchure du fleuve lors d'une marée montante est à l'origine du mascaret. Plus la marée est rapide et puissante, plus la vague est importante. L'onde gravitaire induite par la marée se propage vers l'amont et crée une onde de choc avec le courant torrentiel.

Si les mascarets font aujourd'hui le bonheur des surfeurs en Gironde (voir l'illustration page 62), ils n'en sont pas moins meurtriers, dans la Seine par le passé, et encore aujourd'hui dans le fleuve Qiantang, qui débouche sur la baie de Hangzhou (au sud de Shanghai, en Chine) où une vague pouvant atteindre trois mètres de hauteur remonte la baie à 40 kilomètres par heure. On peut toutefois moduler la puissance du mascaret, voire empêcher sa formation, en aménageant la topographie et en contrôlant le débit du fleuve. Si le mascaret est un ressaut mobile, on peut aussi observer des ressauts hydrauliques stationnaires lors d'un lâcher d'eau au cours de l'activité d'un barrage, à la sortie d'une chute d'eau ou encore dans un déversoir.

À partir de la fin du XVIII^e siècle, des ingénieurs et des physiciens se sont intéressés au mascaret. Par exemple, l'Italien Giorgio Bidone voyait dans ce ressaut hydraulique un moyen de surélever le liquide afin de faciliter l'irrigation. Il a ainsi été le premier à décrire le ressaut dans un cas à deux dimensions.

Dans la continuité de Bidone, l'hydraulicien français Jean-Baptiste Bélanger a été le premier à étudier le choc d'un point de vue théorique. En 1828, il proposa une équation qui permettait de lier l'écoulement (défini par la hauteur et la vitesse du liquide) en amont et celui en aval. Malheureusement, si ce premier modèle était en accord avec les données de Bidone, il est incorrect, car il suppose la conservation de l'énergie mécanique sans prendre en compte sa dissipation sous forme de tourbillon et de chaleur au voisinage immédiat du choc.

Bélanger corrigea lui-même son erreur quelques années plus tard en publiant, en 1846, une équation correcte fondée sur la conservation de la quantité de mouvement du fluide (c'est-à-dire le produit de sa masse volumique par sa vitesse) et du débit de part et d'autre du ressaut. Il posa ainsi la première condition de «choc» qui permet de raccorder mathématiquement les zones amont et aval. À la même époque, grâce à des expériences menées dans des canaux, les hydrauliciens français Henry Darcy et Henry Bazin ont confirmé cette théorie du choc, qui reste encore aujourd'hui à la base



Ressaut hydraulique circulaire dans un évier. On observe une zone de faible épaisseur et de vitesse élevée près de l'impact, puis une zone de forte épaisseur et de faible vitesse après un «mur» liquide.