

intensité et opposées en direction. S'il n'y a pas de frottement, on ne peut pas provoquer de rotation : essayez de dévisser un bouchon lisse avec une main grasse !

Que se passe-t-il pour un fluide ? La viscosité caractérise justement l'intensité des forces de frottement au sein du fluide ou à son contact avec un solide. En l'absence de viscosité, on a beau essayer de « cisailer » les couches de fluide, comme le bouchon entre nos doigts, on n'agit pas sur leur état de rotation. C'est pourquoi, dans un fluide peu visqueux, l'état de rotation d'une « particule » de fluide ne change que très lentement.

On comprend mieux alors la structure d'un vortex : une fois le cœur en rotation apparu, il ne peut changer l'état de rotation du fluide qui l'environne. Cet état perdure et, au cours de son déplacement, le cœur reste constitué des mêmes particules. Il conserve son intégrité, comme l'illustrent les ronds de fumée, où les particules de suie demeurent confinées dans l'anneau.

Dépression au cœur du vortex

Nous avons indiqué que la vitesse augmente à mesure que l'on s'approche du cœur du tourbillon ; la pression, elle, décroît. Dans une tornade, cette chute de pression peut atteindre plusieurs pour cent de la pression atmosphérique : assez pour attirer vers le cœur vaches ou véhicules... Plus modeste-ment, lorsqu'on vide un évier et qu'un tourbillon s'est formé, les petits débris présents dans l'eau sont attirés vers la bonde et la bouchent avant même que toute l'eau ne se soit écoulée ! Les dauphins utilisent aussi cette dépression pour alimenter en air le vortex annulaire qu'ils ont créé avec leur queue : juste en soufflant, ils obtiennent une jolie bulle en anneau avec laquelle ils jouent (voir la figure 3).

On peut démontrer qu'une autre conséquence de la conservation de l'état de rotation dans un vortex est que son cœur en forme de filament ne peut pas s'interrompre au milieu du fluide. Il s'ensuit soit que son extrémité est attachée à la surface d'un solide (comme pour une tornade), soit que le



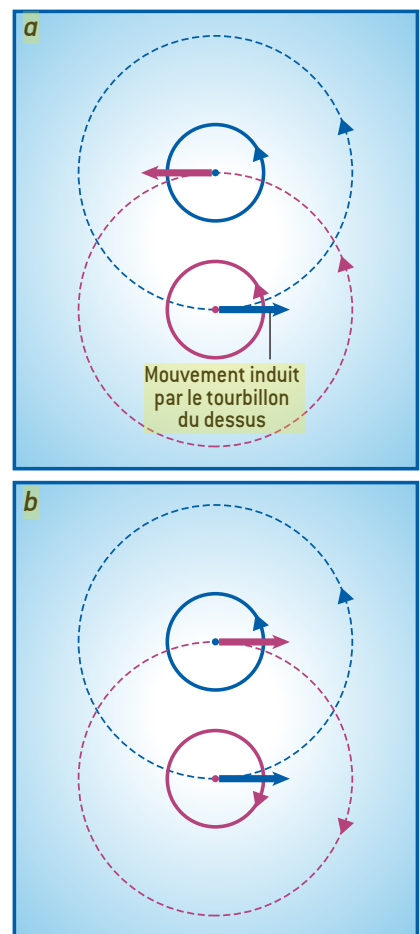
3. LES DAUPHINS CRÉENT POUR S'AMUSER des bulles annulaires. Pour ce faire, l'animal forme d'abord, en agitant convenablement sa queue, un vortex annulaire d'eau (à gauche). Puis il souffle de l'air à proximité de ce tourbillon (au milieu). La dépression régnant dans le vortex attire cet air, qui finit par former une bulle annulaire (à droite) avec laquelle le dauphin joue.

cœur dessine une courbe fermée. Le rond de fumée, ou vortex annulaire, satisfait ces conditions, puisque le cœur du tourbillon est de forme circulaire.

On peut observer qu'un rond de fumée se déplace à vitesse constante dans la direction de son axe. Quelle est l'origine de ce déplacement ? Pour le comprendre, imaginons deux tourbillons droits identiques parallèles l'un près de l'autre (voir la figure 4). Le premier tourbillon entraîne le fluide autour de lui dans un mouvement circulaire ; il entraîne donc le second tourbillon. De façon symétrique, le second tourbillon entraîne le premier. Si les deux tourbillons tournent dans le même sens, les vitesses que chacun induit sur son voisin sont opposées : les deux tourbillons tournent alors autour du milieu du segment qui les joint sans s'éloigner l'un de l'autre, en décrivant des cercles.

En revanche, si les deux tourbillons ont des sens de rotation opposés, chacun induit sur l'autre une même vitesse, perpendiculaire à la droite qui les joint. La paire est alors animée d'un mouvement de translation d'ensemble. Il en est de même pour un vortex annulaire : chaque partie de l'anneau est entraînée par l'écoulement associé au reste du tourbillon, notamment la partie diamétralement opposée qui tourne en sens inverse.

Par symétrie, ce mouvement d'entraînement a lieu perpendiculairement au plan de l'anneau, et dans le même sens que l'écoulement de fluide à travers le disque qui s'appuie sur l'anneau. En dehors de l'anneau, le fluide n'est pas cisailé, ou très peu ; les frottements qui seraient engendrés par l'avancée d'un objet indéformable



4. INFLUENCE MUTUELLE de deux tourbillons parallèles (a) ou antiparallèles (b) vus du dessus.

Retrouvez les articles de J.-M. Courty et E. Kierlik sur www.pourlascience.fr

0 1 0 1 0

J.-P. Hulin, É. Guyon et L. Petit,
Hydrodynamique physique,
CNRS Éditions/EDP Sciences,
3^e édition, 2012.

Une autre façon de créer un tourbillon annulaire consiste à immerger, dans de l'eau, un tube à ouverture circulaire et contenant un fluide coloré, puis à pousser ce dernier avec un piston hors de son tube. Dès que le fluide coloré commence à jaillir, il se forme sur le bord de l'ouverture un tourbillon, où le fluide coloré s'enroule autour du fluide ambiant (*comme sur le schéma de la figure 2*). À mesure que le fluide coloré sort du récipient, le tourbillon grandit, le fluide s'enroule de plus en plus sur lui-même et l'anneau ainsi formé s'écarte lentement de l'orifice. Puis, lorsque la longueur de fluide envoyé est de l'ordre de quatre fois le diamètre de l'orifice, l'anneau cesse de grossir et se détache. Il s'avance alors dans le fluide ambiant et s'éloigne de l'orifice. Eh oui, vous venez de réaliser un magnifique rond de fumée liquide ! ■

© 2006 Blackwell Publishing Ltd, *Journal of Internal Medicine* 260: 122–130