

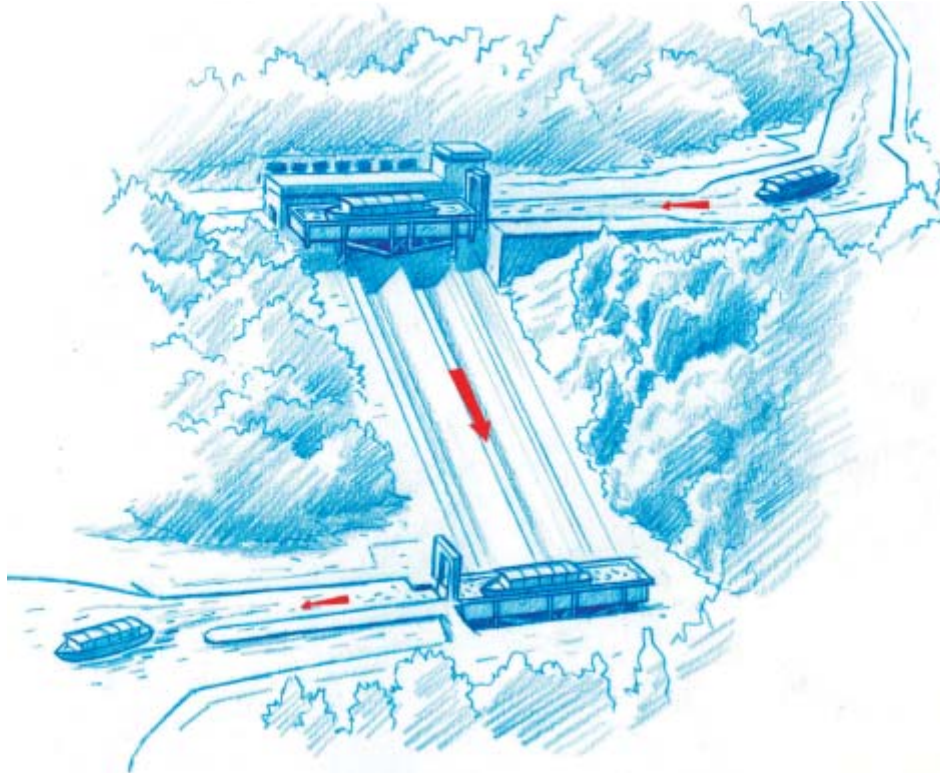
à l'entraînement dans une piscine contiennent donc à distinguer le haut du bas. Dans l'espace, au contraire, il n'y a plus ni haut ni bas.

La possibilité de modifier le poids apparent dans l'eau est essentielle dans un sous-marin. Pour le faire remonter à la surface ou le faire plonger, les sous-mariniers contrôlent l'intensité du poids apparent de leur bâtiment en vidant ou remplissant les réservoirs de plongée (les ballasts), qui se trouvent entre la coque intérieure et la coque extérieure du bâtiment. Le sous-marin français *Le Triomphant*, par exemple (138 mètres de longueur), déplace 14 300 tonnes d'eau en plongée. Pour le faire remonter à la surface, il faut évacuer plus de 1 700 tonnes de l'eau contenue dans les ballasts et les remplacer par de l'air. Quand la masse du *Le Triomphant* diminue de cette quantité, la poussée d'Archimède qu'il subit excède son poids. Le sous-marin devient alors... un bateau.

UN ASCENSEUR À BATEAUX

Bien que les navires modernes aient une structure en métal, bien plus dense que l'eau, leur densité moyenne est faible, car ils contiennent de l'air dans leurs cales. Le niveau de flottaison de ces bateaux d'acier varie en fonction de leurs charges. Ceci pose des difficultés de stabilité aux cargos, souvent instables à vide. Trop hauts sur l'eau, ils offrent une grande prise au vent et aux vagues ; sur certains navires, il arrive même que l'hélice sorte de l'eau ! Les marins rétablissent la stabilité de leur bâtiment en lestant les cales avec de l'eau. Ils en introduisent parfois jusqu'à 80 000 tonnes ! Nommée «ballastage», cette opération est nécessaire quasiment à chaque voyage. Il arrive ainsi qu'un cargo plein doive transporter 40 pour cent de sa charge non marchande sous la forme d'eau de ballast. Une proportion qui augmente si le mauvais temps impose une meilleure stabilité. Le ballastage a de nombreux inconvénients pour l'environnement : au cours de la vidange des cales, les déchets et les restes de produits chimiques qu'elles contenaient, voire des hydrocarbures, sont rejetés à la mer de façon incontrôlée. De surcroît, l'eau de ballast transporte des espèces marines. Lors d'une vidange, une espèce étrangère, provenant d'un autre océan, risque d'être rejetée à la mer. Des algues tropicales, par exemple, risquent de proliférer au détriment d'espèces locales.

La ligne de flottaison d'un navire dépend aussi de la densité et de la température de l'eau. Ainsi, même si la mer



Le «plan incliné» est un ascenseur à bateaux situé à Saint-Louis-Arzviller en Lorraine. Unique en son genre en Europe, il remplace à lui seul 17 écluses. Un bassin a été conçu pour contenir 900 tonnes d'eau. Des moteurs et des contrepoids le font descendre ou monter sur le plan incliné. Quand un bateau pénètre dans le bassin mobile, il chasse une masse d'eau équivalente au poids du volume immergé, de sorte que la masse du bassin mobile reste constante. Une péniche descend ou monte ainsi 44 mètres en quatre minutes.

Noire et la mer Méditerranée sont connectées, leurs salinités sont différentes. Tandis qu'un litre d'eau de la Méditerranée contient 38 grammes de sel, le même volume d'eau de la mer Noire n'en contient que 18 grammes. À température égale (à 20 °C, par exemple), cette différence de salinité fait varier la poussée d'Archimède de 1,5 pour cent. Quand un navire quitte la Méditerranée et pénètre en mer Noire, il s'enfonce jusqu'à ce que son volume immergé ait augmenté de 1,5 pour cent. Si, poursuivant sa route, il remonte le Danube, son volume immergé augmente encore de 1,5 pour cent. En fonction de la charge du navire et de son tirant d'eau, une telle variation risque d'être problématique. C'est pourquoi des règles internationales imposent que les niveaux de flottaison en eau douce ou en mer figurent clairement sur les flancs des navires.

Si elle fait flotter les bateaux, la poussée d'Archimède sert aussi à les soulever. Cette application est mise en œuvre dans le «plan incliné», l'ascenseur à bateaux de Saint-Louis-Arzviller en Lorraine. Dans cette installation, les péniches sont non seulement soulevées, mais les écluses qui les contiennent également ! Quand le «bassin» est en position haute, l'une de ses extrémités s'ouvre pour permettre au bateau d'entrer. La péniche pénètre dans l'écluse transportable, et une quantité d'eau correspondant au volume qu'elle

déplace quitte le bassin vers le canal. Or, d'après la loi d'Archimède, le poids de cette eau sortante équivaut au poids du volume immergé. Ainsi, l'écluse mobile pèse 900 tonnes, qu'elle contienne ou non un bateau ! Grâce à cette régulation automatique du poids de l'écluse, les moteurs et les contrepoids ont été dimensionnés une fois pour toutes, c'est-à-dire pour tous les bateaux. Couchées sur le plan incliné à 22 degrés de l'ascenseur, deux masses de 450 tonnes contrebalancent le poids de l'écluse mobile. Comme dans un ascenseur classique, elles glissent vers le haut ou vers le bas au bout de leurs câbles en fonction du mouvement nécessaire. À la montée, les moteurs n'ont qu'à vaincre les forces de frottement. À la descente, ils ne servent qu'à contrôler un mouvement naturel dû à un léger excès d'eau que l'on a introduit dans le bassin. En quatre minutes, le plan incliné transporte ainsi une péniche sur un dénivelé de 44 mètres.

Roland LEHOUCQ est astrophysicien au Service d'astrophysique du CEA. **Jean-Michel COURTY**, chargé de recherche au CNRS, travaille au Laboratoire Kastler-Brossel (CNRS, ENS).

La mécanique, exposé historique et critique de son développement, Ernst Mach, A. Hermann, 1904, réédition J. Gabay 1987.