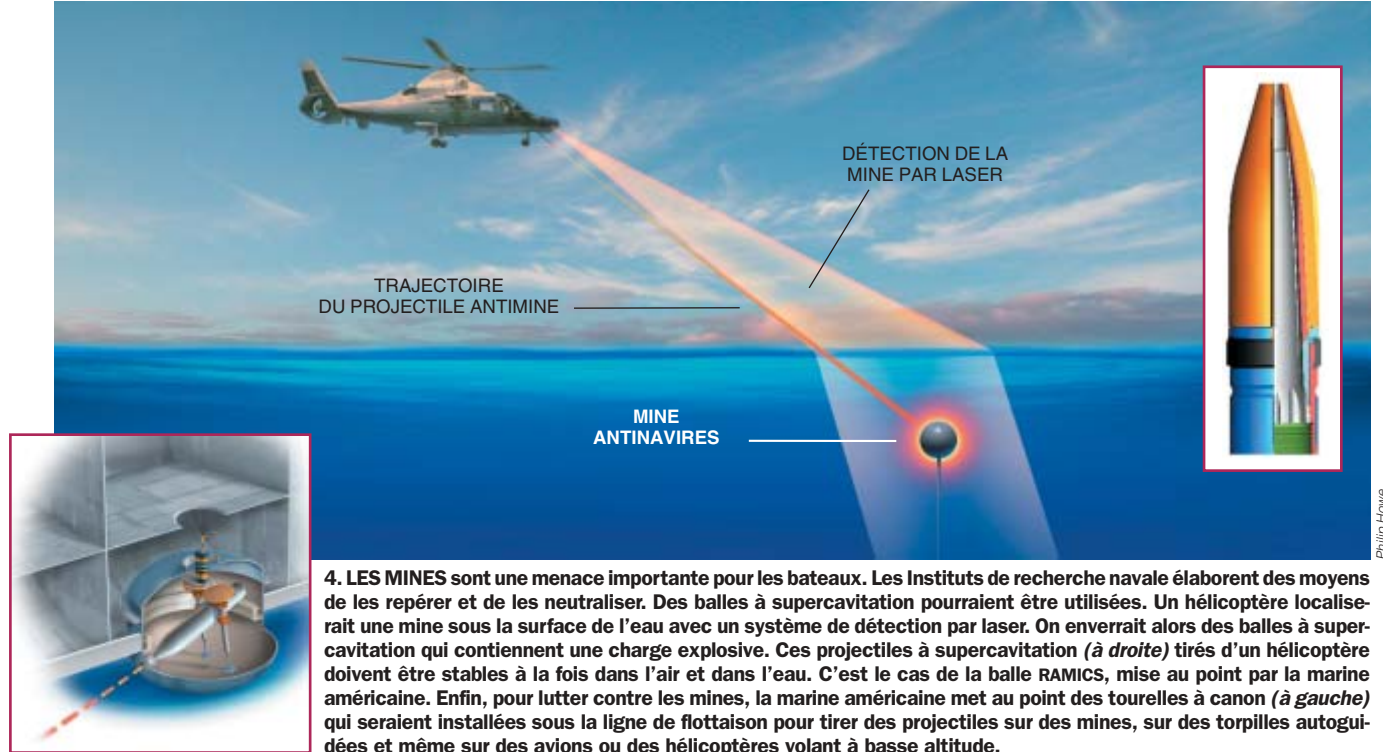




4. LES MINES sont une menace importante pour les bateaux. Les Instituts de recherche navale élaborent des moyens de les repérer et de les neutraliser. Des balles à supercavitation pourraient être utilisées. Un hélicoptère localiserait une mine sous la surface de l'eau avec un système de détection par laser. On enverrait alors des balles à supercavitation qui contiennent une charge explosive. Ces projectiles à supercavitation (à droite) tirés d'un hélicoptère doivent être stables à la fois dans l'air et dans l'eau. C'est le cas de la balle RAMICS, mise au point par la marine américaine. Enfin, pour lutter contre les mines, la marine américaine met au point des tourelles à canon (à gauche) qui seraient installées sous la ligne de flottaison pour tirer des projectiles sur des mines, sur des torpilles autoguidées et même sur des avions ou des hélicoptères volant à basse altitude.

Philip Howe

moteurs diesel, des moteurs électriques, des centrales atomiques et des turbines à gaz ont révélé que seules les turbines à gaz à haut rendement et les dispositifs de propulsion par réaction brûlant des combustibles métalliques (aluminium, magnésium ou lithium) et utilisant l'eau environnante à la fois comme oxydant du combustible et comme réfrigérant des produits de combustion ont la puissance suffisante pour propulser des engins à supercavitation à grande vitesse.

L'aluminium, assez bon marché, est le plus efficace de ces combustibles métalliques. La température de réaction atteint 10 600 °C. Dans un des projets de moteur envisagés, on utiliserait la chaleur de la chambre de combustion pour faire fondre des feuilles d'aluminium à 675 °C et pour vaporiser de l'eau de mer. Les produits de combustion feraient tourner les aubes d'une turbine.

Les Russes semblent disposer déjà d'un tel dispositif. Aux États-Unis, les physiciens du Laboratoire de recherches appliquées de Pennsylvanie testent un type de réacteur particulier, un statoréacteur à eau, qui brûle de l'aluminium et est utilisé comme générateur d'appoint sur les navires de surface. On introduit de l'aluminium en poudre dans un tourbillon d'eau de mer engendré dans une «chambre de combustion à tourbillons» ; sous l'effet de ces tourbillons, les particules d'aluminium se frottent les unes sur les autres, broyant le film d'oxyde d'aluminium inerte qui les recouvre ; une réaction exothermique intense se déclenche tandis que l'aluminium s'oxyde ; la vapeur à haute pres-

sion qui résulte de cette combustion propulse le navire soit en se détendant dans une tuyère de fusée, soit en entraînant l'aube d'une turbine.

Les tests montrent que la poussée obtenue par ce type de turbine est 20 pour cent supérieure à celle des moteurs de fusée. Un propulseur pour dispositifs à supercavitation constitué de deux hélices tournant en sens contraire et suffisamment longues pour atteindre la frontière entre le gaz et l'eau est en cours d'évaluation.

Quel que soit l'avenir réservé aux armes à supercavitation, elles ont déjà une influence telle que les militaires réévaluent les stratégies navales.

Nouvelles armes, nouvelles menaces

Après la découverte de l'existence du *Squale*, un débat sur son utilisation possible a rapidement suivi. Selon certaines sources de renseignements occidentales, il aurait été conçu pour permettre aux sous-marins diesel de l'ancienne Union soviétique, vieux et bruyants, de riposter en cas d'attaque par des sous-marins américains silencieux. Si une torpille classique était lancée contre un sous-marin diesel, le *Squale* serait lancé soit pour couper le fil de guidage de la torpille, soit pour détruire l'attaquant lui-même ; le *Squale* serait un «tueur de sous-marins» potentiel, surtout s'il était équipé d'une ogive tactique nucléaire.

Ce missile pourrait aussi être une arme destinée à faire exploser une charge nucléaire de plus forte puis-

sance au milieu d'une flottille aéronavale ennemie. Nul ne dispose de contre-mesure contre une telle arme.

Récemment, pour renflouer les caisses de l'État, la Russie a mis en vente le *Squale* lors de salons internationaux de vente d'armes à Abu Dhabi et à Athènes. Plusieurs *Squale* auraient été vendus à l'Iran.

Un rapport datant de 1998 affirmait que le Kazakhstan aurait vendu une quarantaine de torpilles *Squale* à la Chine, ce qui inquiète les Américains : en cas de conflit dans le détroit de Taïwan, leurs forces navales risqueraient d'être menacées par Beijing. Selon une information d'origine chinoise (qui aurait été confirmée de source américaine), un officier de la marine chinoise se trouvait à bord du *Koursk K-141* lors de son naufrage. Il était venu assister aux essais d'une nouvelle version du *Squale*, de portée supérieure. La fin de la Guerre froide ne semble pas avoir mis fin à la course aux armements. La tempête fait rage autour du *Squale*.

Steven ASHLEY est rédacteur à la revue *Scientific American*.

J.P. FRANC et al., *La cavitation : mécanismes physiques et aspects industriels*, Collection Grenoble Sciences, Presses Universitaires de Grenoble, 81 pages, 1995.

La cavitation : le défi, film coproduit par Électricité de France, la Délégation Générale pour l'Armement, le Service du film de recherche scientifique, distribué par le Service du film de recherche scientifique, 96 boulevard Raspail, 75272 Paris Cedex 06.

Le cervelet

CHRISTIAN DARLOT

Indispensable à la coordination des mouvements et à l'équilibre, le cervelet est aujourd'hui la partie du système nerveux dont on connaît le mieux le fonctionnement, aussi bien à l'échelle de l'organe qu'à l'échelle moléculaire.

Le système nerveux central des vertébrés est formé de plusieurs parties alignées : les hémisphères cérébraux, le bulbe rachidien, le tronc cérébral, la moelle épinière. Le cervelet est placé dorsalement à cet axe. Au cours de l'évolution, cet organe apparaît chez les poissons et se développe chez les vertébrés terrestres, tels les amphibiens, les reptiles, les oiseaux et les mammifères. Pour se déplacer, les animaux qui ne sont pas soutenus par la poussée d'Archimède doivent coordonner les mouvements de leurs membres. Volumineux chez les primates, le cervelet contrôle avec le cortex cérébral les contractions musculaires, et participe peut-être même à la pensée.

Bien qu'il n'occupe que dix pour cent du volume total du cerveau, le cervelet contient environ la moitié du total des neurones, soit une centaine de milliards. Depuis le début du XIX^e siècle, l'observation clinique et l'expérimentation ont montré que le cervelet est indispensable pour effectuer tous les gestes précis et rapides qui mettent en jeu plusieurs muscles et une ou plusieurs articulations. Pour commander un mouvement (voir la figure 3) volontaire, un signal moteur, par exemple émis par une aire motrice du cortex cérébral, excite les neurones moteurs, nommés motoneurones, de la moelle épinière qui innervent un muscle.

En revanche, un mouvement involontaire, ou réflexe, est déclenché par une stimulation, par exemple une piqûre, transmise par un nerf sensoriel à la moelle épinière, qui envoie en retour un signal moteur qui suscite le mouvement adapté. Volontaires ou réflexes, les mouvements coordonnés sont ajustés par le cervelet, qui anticipe le résultat des ordres moteurs. Il participe aussi à la préparation des mouvements complexes en les

simulant avant qu'ils ne soient lancés. On découvre aussi qu'il participe à des fonctions cognitives d'anticipation, voire d'imagination, propres à l'être humain.

Un muscle ne peut que tirer : les mouvements de chaque articulation dépendent donc de la contraction d'au moins deux muscles, dits antagonistes, qui tirent en sens opposés. Par exemple, la contraction du biceps plie le coude, alors que celle du triceps le tend. Pendant que l'un se contracte, l'autre se détend. Ces muscles doivent être coordonnés au cours du mouvement.

Pour saisir un objet, les muscles du bras, de l'avant-bras et de la main doivent être contractés puis décontractés en un temps très court et de façon coordonnée. Or, pendant de tels mouvements brefs, les messages sensoriels n'ont pas le temps d'atteindre le cerveau et d'y être traités avant la fin du mouvement.

Pendant une course, les informations sur les positions angulaires, la

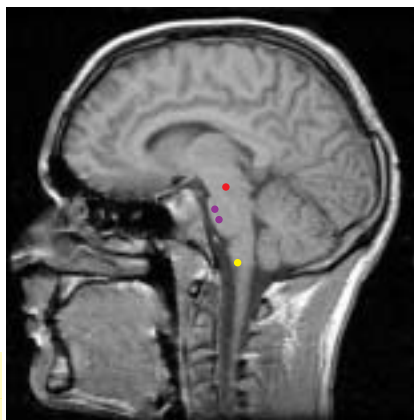
tension, la longueur et la vitesse d'allongement des muscles, notamment, sont envoyées jusqu'au cerveau. Cependant, le pied parcourt jusqu'à 10 centimètres pendant les 20 millisecondes du trajet des signaux. C'est là que le cervelet intervient.

Il ne déclenche pas lui-même de mouvement, mais reçoit à la fois des copies des signaux nerveux moteurs qui codent le mouvement voulu et des signaux sensoriels qui indiquent l'état du corps 20 à 200 millisecondes plus tôt. Le cervelet traite ces informations, déjà périmées, en continu et envoie des signaux qui ajustent les ordres moteurs, volontaires ou réflexes, de façon à les adapter, au cours même du mouvement, à l'état du corps.

Le cervelet participe aussi au maintien de l'équilibre et à l'ajustement des réflexes qui contrecarrent les perturbations des mouvements dues à une cause extérieure, tel un choc sur le bras.

Le cervelet est sans doute la partie du système nerveux la mieux connue et celle qui montre le mieux comment une organisation assure une fonction. La chaîne d'événements qui lie les réactions biochimiques, la plasticité fonctionnelle et le comportement de l'organisme est de mieux en mieux connue.

Regardons cet organe par grossissements successifs : de son aspect extérieur jusqu'à son fonctionnement moléculaire, nous examinerons son anatomie macroscopique, ses différents types de neurones et leurs connexions, et les propriétés de quelques protéines. À chaque grossissement, nous détaillerons ce que la structure et les propriétés observées révèlent du fonctionnement de l'organe et comment grâce à elles, finalement, le cervelet anticipe l'avenir.



1. CETTE IMAGE obtenue par résonance magnétique montre le système nerveux central : la moelle épinière, le bulbe rachidien, le tronc cérébral, le pont, le thalamus, les hémisphères cérébraux et le cervelet. On a marqué les noyaux du pont (en violet), le noyau rouge (en rouge) et l'olive inférieure dans le tronc cérébral (en jaune).