

Août 2000, mer de Barents, Norvège : le sous-marin russe *Koursk* K-141 sombre après que deux explosions ont éventré la coque du navire ; le bruit court que l'accident est dû à des essais menés sur un nouveau type de torpilles ultrarapides. Quelques mois auparavant, un homme d'affaires américain, Edmond Pope, avait été arrêté et accusé d'espionnage ; il aurait tenté d'acquiescer les plans de nouvelles armes sous-marines. On ignore les détails tant de l'accident que de l'affaire d'espionnage, mais l'un et l'autre seraient liés au développement d'une technique d'avant-garde, qui permettrait aux armes et aux sous-marins de se déplacer en immersion à plusieurs centaines de kilomètres par heure, voire d'aller plus vite que le son dans l'eau. Aujourd'hui, la vitesse maximale ne dépasse pas 130 kilomètres par heure.

Les principales puissances navales semblent toutes développer ce type d'armes et de sous-marins ultrarapides, fondés sur le phénomène de la supercavitation, qui se produit lorsqu'on immerge un objet dans un écoulement liquide rapide. Des bulles de gaz se forment tout autour, ce qui diminue les frottements puisque le liquide ne mouille presque plus l'objet. Les systèmes à supercavitation constituent un bond en avant en matière de combat naval, comparable à ce qui s'est passé dans les airs, quand les avions à réaction ont remplacé les avions à hélices.

Bien que les fonds alloués à la recherche sur la supercavitation soient officiellement modestes, la liste des

armes et des vaisseaux de guerre potentiels fondés sur la supercavitation est longue. Elle comprend des balles sous-marines destinées à faire exploser des mines, des bateaux, voire des avions ou des hélicoptères volant à faible altitude ; des torpilles antivaissseau et antitorpille ; des armes de grande taille qui visent à mettre fin à un combat entre deux sous-marins ; des petits vaisseaux de surface ultrarapides et, enfin, des missiles sous-marins nucléaires destinés à neutraliser une flotille aéronavale complète.

L'utilisation de la supercavitation pourrait modifier notablement la stratégie militaire. Certains experts de la marine américaine y voient la fin des combats sous-marins classiques, où deux navires jouaient au chat et à la souris : les futurs affrontements ressembleraient plus aux combats aériens, avec des petites unités rapides et bruyantes, lancées à la manière des avions de chasse sur les porte-avions par des « porteurs sous-marins » géants. De telles armes seraient efficaces contre le système de défense antimissile du programme américain de « guerre des étoiles ». Une torpille ou un missile à supercavitation à plusieurs étages et à longue portée équipé d'ogives nucléaires serait tiré sous l'eau, effectuerait un long parcours sous-marin, puis surgirait des eaux côtières à proximité de leur cible sans que les systèmes de défense aériens ou spatiaux aient le temps de réagir.

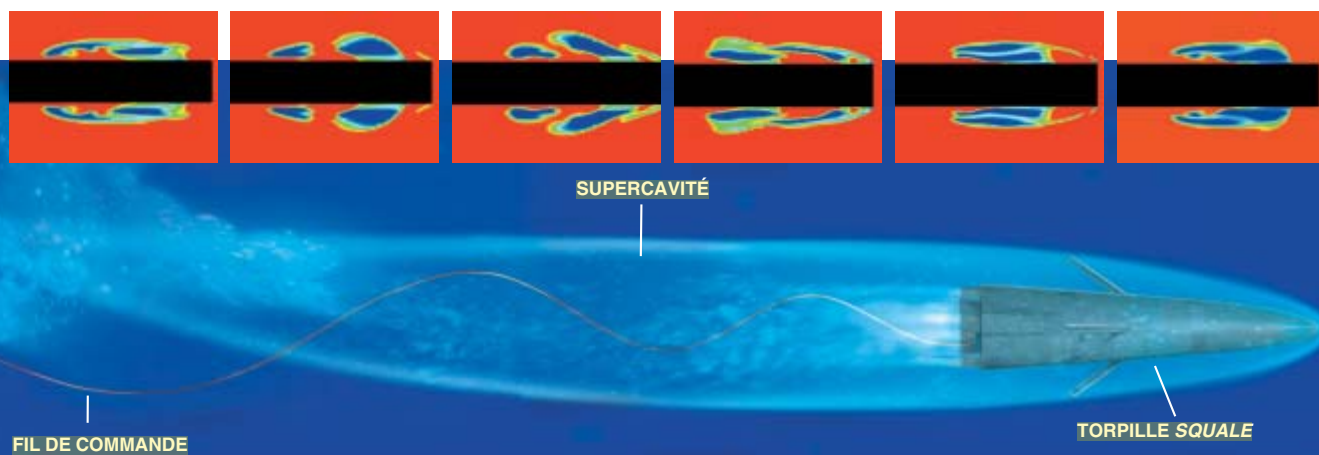
Nous savons qu'une arme à supercavitation – au moins – existe depuis de nombreuses années. En 1977, après plus d'une décennie de recherches et

de développements, la marine soviétique a ajouté à son arsenal une torpille propulsée par un moteur de fusée, nommée *Squale*, qui se déplace dans l'eau à plus de 360 kilomètres par heure à l'intérieur d'une cavité de gaz produite par le missile lui-même. Bien que ce missile sous-marin à tête nucléaire soit rudimentaire et d'une efficacité limitée, la découverte de son existence au début des années 1990 a contraint les puissances militaires occidentales à s'intéresser à la supercavitation.

Les instances civiles s'y intéressent aussi et savent que l'on ne mènera à bien les projets d'engins à supercavitation qu'en résolvant toutes les difficultés techniques, écologiques... et financières, sans compter les problèmes que cela poserait à la navigation. Aujourd'hui, la technique n'en est qu'à ses débuts, au stade où en était l'aviation, il y a une centaine d'années, après les premiers vols sur un avion à deux hélices des frères Wright, à ceci près que l'on connaît mieux la physique de la supercavitation que l'on ne connaissait alors l'aérodynamique.

Un voyage dans une bulle

La propulsion d'un objet dans l'eau – comme tout nageur a pu le constater – demande un effort considérable. Le frottement y est 1 000 fois plus important que dans l'air et la force de frottement augmente avec la vitesse. Pour que les bateaux fendent efficacement les lames, architectes et ingénieurs du génie maritime dotent les bâtiments de



1. MODÉLISATION DU FLUX DE L'EAU lors d'un phénomène de supercavitation. Lorsqu'un objet avance très vite dans l'eau, la pression diminue tout autour de lui. À des vitesses de l'ordre de 180 kilomètres par heure, la pression diminue suffisamment pour que l'eau se dissocie en vapeur, formant une bulle géante de gaz derrière l'objet : c'est le phénomène de cavitation. La supercavitation se produit quand l'engin est totalement emprisonné dans

cette bulle de gaz. Certaines torpilles, tel le *Squale*, créent une supercavité ellipsoïdale (en bas). Sur la modélisation (en haut), l'eau est rouge et la vapeur bleue ; l'écoulement va de la droite vers la gauche. Sur ce modèle, on observe une cavitation partielle et un décollement de la cavité provoqué par la remontée à contre-courant le long de la surface de l'objet d'un film de liquide ; il y a un décollement quand ce film atteint l'avant de l'objet.

coques hydrodynamiques et de puissants moteurs. La supercavitation est un moyen de réduire les frottements de l'eau en enveloppant l'objet immergé d'une bulle de gaz de faible densité.

Quand un fluide se déplace rapidement autour d'un objet, sa pression diminue en certains endroits, notamment sur les coins et les arêtes de l'objet. Quand la vitesse augmente, la pression de l'écoulement atteint la pression de vapeur saturante de l'eau et le fluide subit un changement de phase : l'eau se transforme en vapeur d'eau. En d'autres termes, quand la pression est trop faible pour assurer leur cohésion, les molécules d'eau liquide se dispersent pour passer à l'état de gaz. C'est le phénomène de cavitation. Pour les navires, la cavitation est un fléau. Elle crée autour du navire des tourbillons qui perturbent l'écoulement de l'eau et le fonctionnement des pompes, des turbines, des hélices et des hydrofoils (les bateaux à flotteurs immergés qui se soulèvent avec la vitesse). La cavitation engendre également, lorsque les bulles de gaz disparaissent (dans un liquide les bulles de gaz n'éclatent pas comme des bulles de savon dans l'air, mais s'effondrent sur elles-mêmes), de violentes ondes de choc qui déforment et érodent les coques.

La supercavitation est une cavitation extrême, où une seule bulle entoure l'objet en mouvement tout entier. À des vitesses supérieures à 180 kilomètres par heure, les cavitateurs à pointe arrondie et les systèmes d'injection de gaz placés à l'avant de l'objet produisent de telles poches de gaz à basse densité, les supercavités. Quand l'objet est allongé et a un axe de symétrie, la supercavité a une forme d'ellipsoïde à l'avant et est plus effilée vers l'arrière ; sa longueur dépend de la vitesse. La cavité ellipsoïdale se referme sous l'effet de la pression ambiante dans une zone caractérisée par un écoulement complexe et instable. On modélise difficilement le flux dans cette région turbulente et même dans l'ensemble de la cavité, car la pression n'y est pas constante. Quoi qu'il en soit, tant que l'eau ne touche que le cavitateur, les engins à supercavitation filent à l'intérieur d'une bulle de gaz en subissant un frottement minime de la part du liquide.

La marine américaine s'est intéressée à la supercavitation au

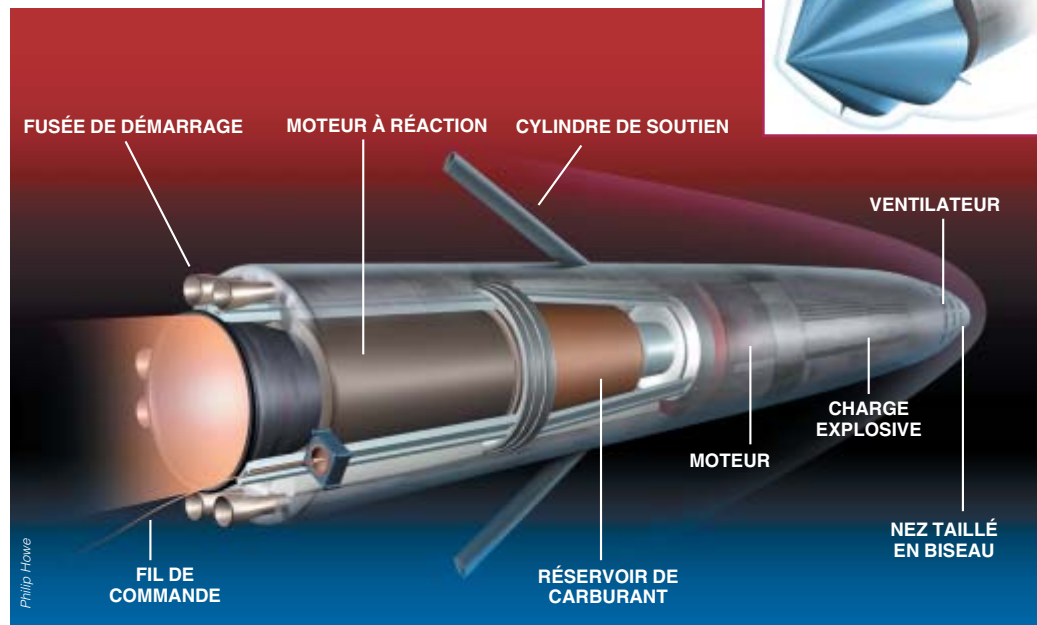
début des années 1950 pour le développement d'hélices à grande vitesse et d'hydrofoils, puis s'est tournée vers d'autres techniques plus silencieuses, préférant les navires furtifs aux navires ultrarapides. Aujourd'hui, elle ne disposerait d'aucune arme à supercavitation, et tente de rattraper l'avance prise par la marine russe en matière de projectiles et de torpilles.

Le système RAMICS, un système de déminage aéroporté, est une arme hélicoptée capable de détruire les mines de surface ou proches de la surface avec des balles à supercavitation. Les projectiles expérimentaux, d'un diamètre de 20 millimètres, sont conçus pour avoir une trajectoire stable à la fois dans l'air et dans l'eau ; ils sont tirés par un canon à tir rapide équipé d'un système de visée perfectionné. La marine américaine envisage de placer sur le pont des navires des armes adaptées de type RAMICS pour détruire les torpilles qui se camouflent dans le sillage des bâtiments.

La prochaine arme tirant des projectiles à supercavitation sera un système entièrement sous-marin, l'AHSUM, des munitions sous-marines se propageant à grande vitesse et adaptables. Les balles seront tirées par des tourelles profilées, placées sur la coque

immergée de sous-marins, de navires de surface ou de radeaux antimines remorqués. La version du système AHSUM commandé par sonar devrait être l'équivalent sous-marin du système d'armes *Phalanx*, un canon à tir rapide et à pilotage radar qui assure la protection des vaisseaux de surface contre les missiles de croisière.

Une torpille pouvant atteindre 370 kilomètres par heure est également à l'étude. Ce type de torpille pose des difficultés techniques quant à son lancement, son comportement hydrodynamique et acoustique, son guidage et sa commande, et finalement sa propulsion. Pour simuler les écoulements de l'eau autour d'une torpille, on doit considérer un régime d'écoulement à deux phases, où coexistent l'eau et le gaz. On cherche à comprendre comment l'eau s'écoule, à quoi ressemble la cavité de gaz, et à s'assurer que la torpille reste bien tout le temps à l'intérieur de la cavité. Si jamais la cavité est perturbée, la surface au contact de l'eau augmente et la vitesse diminue d'un seul coup.



2. LA TORPILLE RUSSE SQUALA présente, à la proue, un avant taillé en biseau qui crée une cavité partielle de gaz. Des ventilateurs montés à l'avant injectent des gaz dans cette cavité, de sorte qu'elle s'agrandit et finit par envelopper entièrement la torpille. De petites fusées de démarrage accélèrent la torpille jusqu'à la formation de la cavité partielle ; le moteur de fusée central prend ensuite le relais. D'autres formes de cavitateurs (la partie avant) sont à l'étude : des disques plats, des cônes plans ou crénelés (en haut et au milieu). D'autres cavitateurs pourraient ressembler à des cônes qui ressortiraient plus ou moins du fuselage, telle la pointe rétractable d'un stylo à bille (à gauche).

