

Les mystères des tsunamis sous-marins

OCÉANOGRAPHIE | Pour la première fois, des chercheurs ont modélisé des ondes de plus de cent mètres d'amplitude observées dans certaines mers. De quoi mieux comprendre le rôle de ces marées internes dans le climat ou les écosystèmes locaux

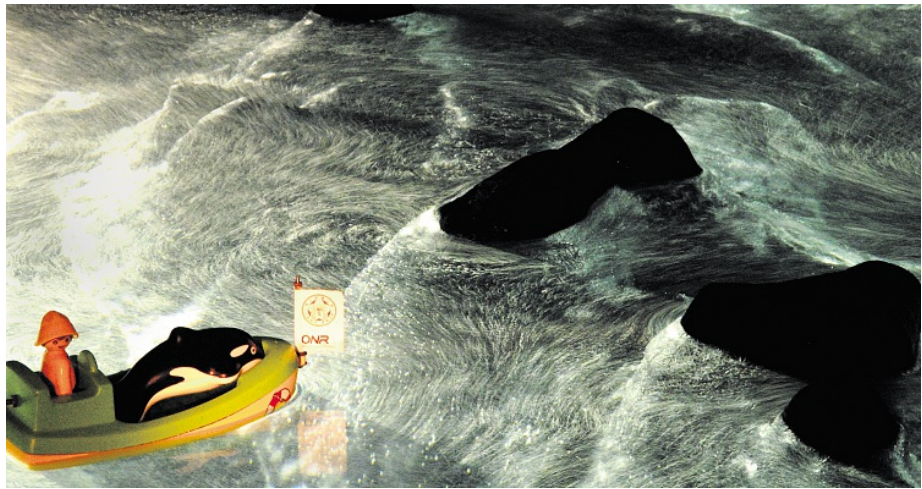
DAVID LAROUSSERIE

Les marins et les habitants des côtes connaissent déjà bien, pour leur malheur, les effets des vagues scélérates de plusieurs dizaines de mètres de haut ou les raz-de-marée dévastateurs. Il va maintenant falloir compter avec un autre phénomène encore plus violent, les « tsunamis internes », des déferlements impressionnants de plus de... 100 mètres d'amplitude, voire 170 mètres, comme dans le détroit de Luçon, à l'est de la Chine, entre Taiwan et les Philippines.

Une équipe internationale du MIT (Massachusetts Institute of Technology), de l'ENS Lyon et du Laboratoire des écoulements géophysiques et industriels (université de Grenoble) vient, pour la première fois, de modéliser et de reproduire en laboratoire ce qui se passe dans ce détroit, carrefour commercial et militaire très fréquent. « L'endroit est également connu pour abriter beaucoup de tsunamis internes de grande amplitude. Du coup, l'activité de recherche y est également intense », indique Thierry Dauxois, directeur de recherche CNRS et responsable du laboratoire de physique de l'ENS Lyon et coauteur de cette étude parue en novembre dans *Geophysical Research Letters*.

Heureusement, ces événements géants ne causent aucun dégât, car ils se propagent à plus de 200 mètres de profondeur. Paradoxalement, en surface, cette agitation interne ne crée que des clapotis de quelques centimètres, voire même a tendance à lisser l'océan.

La découverte des agitations sous-marines remonte à 1975 grâce à des images satellitaires. Depuis, elles ont été identifiées aussi bien dans le nord du golfe de Gascogne que dans le golfe de Guinée. Elles intéressent en fait bien du monde. Les sous-marins d'abord, car elles perturbent la propagation des ondes des sonars ; se glissent dans ces régions aide à rester discret. Les plateformes pétrolières également, car ces bosses d'eau modifient la flottabilité des installations. Les biologistes encore, car ces mouvements participent au mélange des eaux profondes et de



Le bassin expérimental qui a servi à reproduire ce qui se passe au fond du détroit de Luçon. Les points blancs correspondent à l'illumination de particules par un laser et servent à mesurer les vitesses du fluide. Les « rochers » représentent les îles Batanes.

H. BIDELEL, T. PEACOCK & M. MERCIER

surface, permettant ainsi au plancton à faible profondeur de se nourrir. Cela en fait aussi des zones de pêche intéressantes.

Enfin, les océanographes et les climatologues les étudient car ces effets locaux joueraient un rôle dans la circulation océanique globale et donc sur le climat. « Les modèles numériques actuels ne prennent pas bien en compte les effets induits par ces ondes de marées sur la dynamique de l'océan. En outre, il y a derrière ces questions une des clés pour comprendre la nature des mécanismes qui pilotent la circulation générale océanique », rappelle Alexandre Paci, responsable du Laboratoire de mécanique des fluides géophysiques au Centre national de recherches

météorologiques (Météo France et CNRS). « Modéliser ces phénomènes est un enjeu mondial », insiste Annick Pichon, du service hydrographique et océanographique de la marine.

L'étude menée par Thomas Peacock du MIT et Thierry Dauxois s'inscrit dans ce contexte. Dans les grandes lignes, l'origine de ces ondes internes est bien comprise. Plusieurs conditions sont nécessaires à leur apparition. D'abord, une source qui met en branle le fluide – les marées naturelles. Puis une perturbation créant une situation anormale. Ce sont les reliefs ou les remontées de fond, comme dans les détroits. Ils transforment le mouvement des marées en un mouvement oblique. Ensuite, il faut entretenir l'effet de cette perturbation. C'est le rôle des variations de densité dans l'océan. Car ce dernier n'est pas homogène mais stratifié, avec des couches « légères » en haut et « lourdes » en bas. Ces différences agissent comme un ressort pour les particules en déplacement : un fluide montant dans une région moins dense que lui a tendance à redescendre. Et ainsi de suite, jusqu'à créer ces oscillations appelées marées ou ondes internes.

Enfin, pour engendrer le tsunami, il faut tenir compte des propriétés non linéaires du milieu, c'est-à-dire des situations où l'effet est plus que proportionnel à la cause. Si l'amplitude des marées est suffisante, les ondes internes changent de nature et se transforment en ondes solitaires ou solitons, qui ont la propriété d'être très intenses et se dissipent peu. Analogues au phénomène du mascaret, elles se déplacent lentement, environ 3 mètres par seconde.

C'est ce qu'ont vu les chercheurs franco-américains dans leur expérience réalisée à Grenoble dans un bassin circulaire de 13 mètres de diamètre, unique au monde. Ils ont fabriqué une maquette à taille réduite du relief de la zone avec du polystyrène et de la résine. Les marées

sont générées par deux pistons. La stratification est obtenue en salant plus ou moins l'eau. L'ensemble tourne pour représenter la force de Coriolis, liée à la rotation de la Terre. En illuminant par un laser de fines particules immergées qui réfléchissent la lumière, les chercheurs mesurent la vitesse du fluide en tous les points. Et le tsunami est apparu, filant dans une direction ouest-nord-ouest vers la Chine. « C'est la première fois que toutes les étapes du phéno-

Heureusement, ces événements géants ne causent aucun dégât, car ils se propagent à plus de 200 mètres de profondeur

mène sont ainsi simulées depuis la marée jusqu'à l'apparition des solitons », explique Thierry Dauxois. « Nous avons pu exclure des hypothèses faites précédemment. Nous montrons aussi que l'ensemble du relief sous-marin de la zone joue un rôle important, et pas seulement les petites îles Batanes au milieu du détroit », ajoute Matthieu Mercier, chercheur postdoctoral en charge de l'expérience.

L'histoire n'est cependant pas finie, les chercheurs ayant eux-mêmes qu'ils n'ont pas tenu compte d'un courant local, le Kuroshio, qui pourrait influencer les solitons créés. Il manque surtout le Graal de cette thématique : trouver des modèles simples pour représenter ces événements, sans avoir à décrire chaque situation maritime particulière. On voit mal tous les chercheurs du monde venir à Grenoble pour tester leur maquette... ■

Méfiez-vous de l'eau qui dort

Les marées ne sont pas les seules à générer des solitons géants. Dans d'autres situations, ces ondes solitaires peuvent même compliquer la navigation, voire causer des noyades. C'est le phénomène des eaux mortes, une situation dans laquelle, en l'absence de vents, de courants ou de toute autre perturbation, un bateau se met soudainement à ralentir. Plinè l'ancien en fait même une des causes de la défaite de Cléopâtre à la bataille d'Actium, en 31 avant J.-C.

Comme l'a démontré l'océanographe suédois Vagn Walfrid Ekman en 1893, c'est bien la stratification de l'eau en couches de densités différentes qui explique ces eaux mortes. Cela peut venir d'une surface plus chaude à cause du soleil, ou d'un apport d'eau douce près d'une embouchure. Au début des années 2000, Leo Maas, de l'Institut royal néerlandais de recherche marine, relance le sujet en se demandant si des noyades mystérieuses ne pourraient être liées aux eaux

mortes, comme il le rappelle dans un article, paru en novembre dans un compte rendu de congrès, *Physics of Sport* (Editions de l'École polytechnique). Ses premières expériences semblent confirmer qu'un nageur évoluant dans des eaux stratifiées ralentit. Ce qui expliquerait des épuisements puis des noyades.

Le mécanisme est le même que celui qui freine un bateau. Au lieu de créer des vagues en surface, c'est la couche profonde qui se met à osciller. Si l'amplitude est grande, l'énergie passant dans l'onde est suffisante pour freiner le navire. Thierry Dauxois et Matthieu Mercier, sous l'impulsion de Leo Maas, ont contribué, en 2011, à une meilleure compréhension du phénomène. De son côté, Leo Maas cherche des fonds pour réaliser les expériences prouvant définitivement qu'il peut s'avérer dangereux de nager dans certaines eaux calmes. ■

D. L.

L'ébouriffant ADN d'un ancêtre de 400 000 ans

Un os d'humain archaïque, retrouvé dans le nord de l'Espagne, sème la pagaille dans notre arbre généalogique

LUCCIA SILLIG (« LE TEMPS »)

Des chercheurs sont parvenus à extraire de l'ADN d'un os d'humain archaïque datant de 400 000 ans, retrouvé dans le nord de l'Espagne. L'ancien record était détenu depuis 2006 par une séquence d'ADN tirée d'un Néandertalien vieux de 100 000 ans. Au-delà de la prouesse technique, les résultats publiés le 5 décembre dans *Nature* par une équipe internationale sèment la pagaille dans notre arbre généalogique. Le spécimen est proche de Neandertal par son arcade sourcilienne. Mais par sa mère, il est génétiquement plus apparenté à une fillette d'un autre groupe humain aujourd'hui éteint, les Dénisoviens, dont une molaire a été exhumée dans le sud de la Sibérie.

Le spécimen analysé a été retrouvé avec au moins 27 congénères dans un gisement appelé Sima de los Huesos – littéralement « grotte des os ». Dans la cavité, il fait 10 °C et l'humidité approche la saturation. Pour parvenir au gisement, situé à 500 mètres de l'entrée, il faut ramper dans un tunnel laissant à peine passer les épaules d'un homme. Puis descendre un puits vertical de 13 mètres et enfin atteindre les ossements. « Il y a très peu d'air qui circule », relève Matthias Meyer (Institut Max-Planck, Leipzig), un des auteurs de l'étude. La grotte est un très bon régulateur de température.

L'équipe de Leipzig a amélioré sa technique d'extraction et de purification des échantillons, et optimisé sa méthode d'analyse pour les séquences courtes. En effet, alors que les molécules d'ADN font parfois des centaines de millions de paires de « lettres » de longueur, les fragments retrouvés n'en faisaient jamais plus de 50. Autre écueil : au fil du temps, une réaction chimique spontanée, la désamination, réécrit l'histoire, remplaçant certaines lettres par d'autres. Les chercheurs se sont d'ailleurs appuyés sur ces modifications pour distinguer l'ADN ancien des contaminations.

Toutes sortes d'hypothèses

Pour l'instant, ils ont toutefois dû se contenter de lire l'ADN des mitochondries, les petites usines à énergie de nos cellules. Ce matériel génétique se transmet uniquement de mère à enfant, sans se

mélanger avec le reste du patrimoine. Mais, contrairement à l'ADN classique, ou « nucléaire », on en trouve des centaines de milliers d'exemplaires par cellule.

« Techniquement, ces travaux sont très intéressants », commente Christoph Zollikofer, paléontologue à l'université de Zurich. Un avis que partage Luca Fumagalli (université de Lausanne) : « Ils repoussent l'étude de l'évolution humaine jusqu'à 400 000 ans, c'est un progrès considérable. » Le génome le plus ancien obtenu à ce jour reste celui d'un cheval de 700 000 ans, exhumé du permafrost. Les deux spécialistes sont plus prudentes avec l'interprétation des résultats.

Tout comme Matthias Meyer, d'ailleurs : « Ce n'est qu'un premier aperçu, mais ce que nous trouvons

est surprenant. » En effet, morphologiquement, le fossile appartenait à une catégorie un peu vague appelée *Homo heidelbergensis*. Il partage aussi plusieurs traits, surtout faciaux et crâniens, avec Neandertal. Mais son ADN mitochondrial est plus proche de celui de la fillette de Denisova.

Toutes sortes d'hypothèses sont possibles. Il pourrait s'agir d'un ancêtre commun aux groupes des Néandertaliens et des Dénisoviens, mais pas aux hommes modernes, qui ont divergé de ces lignées antérieurement. « Il est aussi possible qu'un aïeul des Dénisoviens et du spécimen de la Sima de los Huesos se soit à un certain point mélangé avec des humains bien plus archaïques, comme *Homo erectus*, par exemple », avance Svante Pääbo, coauteur de l'étude.

Il y aurait eu un transfert « horizontal » d'ADN mitochondrial.

« L'ADN mitochondrial et l'ADN nucléaire ne disent pas toujours la même chose », prévient Christoph Zollikofer. « Lorsque l'on ne disposait que de l'ADN mitochondrial de la fillette de Denisova, on pensait qu'elle était plus proche des hommes modernes que de Neandertal, illustre Luca Fumagalli. Mais une fois qu'on a eu tout le génome, on s'est rendu compte que c'était le contraire. »

Parvenir à déchiffrer l'ADN nucléaire du spécimen de la Sima de los Huesos ou de l'un de ses congénères est le prochain défi auquel s'attelle l'Institut Max-Planck. Il est de taille. Mais vu les progrès spectaculaires réalisés ces dernières années dans le domaine, les espoirs sont permis. ■