

Les vagues « scélérates » et la recherche

Jean-Paul Guinard

Club des Argonautes, ex-directeur au CNES et à l'IFREMER

Officier de réserve de la Marine nationale

Dans la nuit du 20 au 21 mai 2006, le *Pont-Aven* de Brittany Ferries transportant plus de 1 000 passagers a été submergé par une vague exceptionnelle de plus de 17 m de haut : en effet, des sabords ont été enfoncés à cette hauteur au-dessus de la flottaison¹.



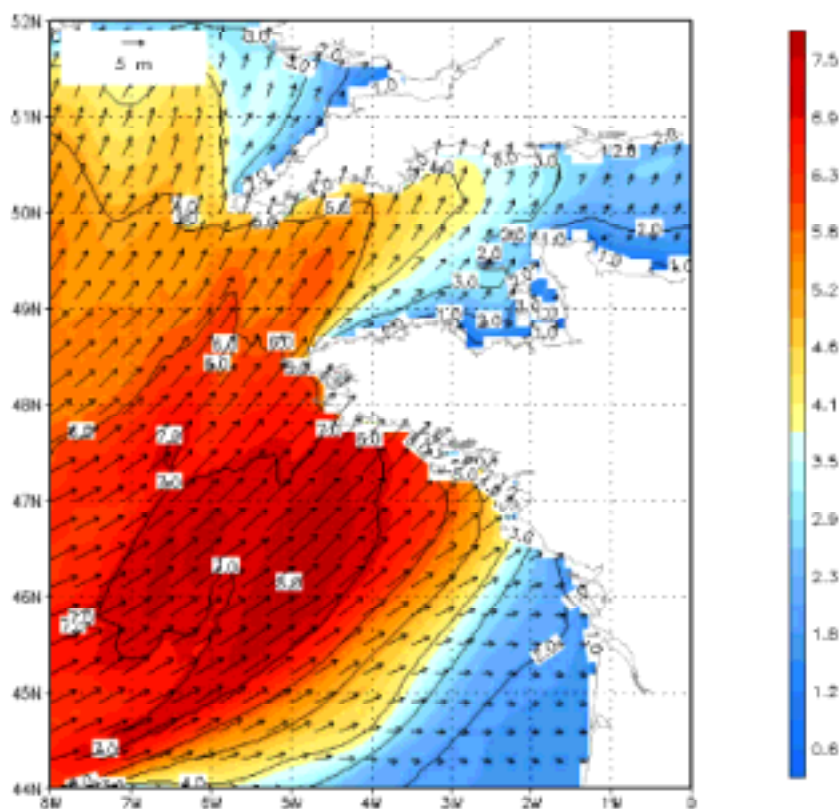
L'accident est survenu à l'entrée de la zone de séparation du trafic du rail d'Ouessant, le navire ayant réduit sa vitesse à 8 nœuds².

Cela a rappelé au public l'existence de vagues extrêmes dites « scélérates », (*rogue waves* en anglais), dont la sévérité et la hauteur sont inattendues par rapport au champ de vagues environnant, le plus souvent dans un contexte de forte tempête.

¹ Information du *Télégramme* du 22 mai 2006.

² Au cours de la même nuit de tempête, le porte-hélicoptères *Jeanne d'Arc* – de retour de la croisière annuelle autour du monde – et le croiseur *Georges Leygues* auraient rencontré dans le golfe de Gascogne une mer très forte, induisant une gîte de 40° sur ce dernier, heureusement sans conséquence autre que le souvenir des équipages...

max_shw=5.0
 min_shw=0.1
 ave_shw=4.8
 std_shw=1.9



De nombreux rapports de mer ont dans le passé relaté le fait d'avoir rencontré une de ces vagues. Alors que les intéressés ne disposaient d'aucun moyen pour en estimer la hauteur, cela a souvent été considéré comme une exagération par... nombre de terriens !

Depuis les années 1980 surtout, on dispose de moyens de mesure pour connaître la hauteur crête à creux de ces vagues et même leur forme, et on a pu lancer des études scientifiques sur cette base. Les recherches scientifiques qui ont découlé de ces observations ont non seulement permis de confirmer les rapports de mer des anciens navigateurs, mais de situer l'importance de ces phénomènes : plusieurs experts considèrent que ces *vagues scélérates* pourraient avoir été responsables de la perte de près de 200³ pétroliers et porte-conteneurs au cours de ces 20 dernières années causant la mort d'environ 540 marins ! C'est de l'histoire de cette aventure - à la fois marine et scientifique - dont il sera question ici.

Les rapports de mer

De très nombreux rapports de mer font état d'observations visuelles de vagues monstrueuses, se traduisant par de véritables « murs d'eau » atteignant le navire. Ceci est d'ailleurs confirmé par d'incroyables dégâts causés aux coques et aux œuvres vives⁴.



Souvent, chaque nation maritime garde le souvenir d'un ou plusieurs drames ayant affecté un de ses navires dans des conditions de mer extrêmes. Ce souvenir s'inscrit lui-même dans un contexte souvent national, à partir de productions artistiques, dont l'exposition « L'Océan : mythes et chimères » à la bibliothèque François Mitterrand, nous a donné un aperçu.

³ Notons que ces chiffres sont à rapprocher du trafic maritime : l'immense majorité des marins au long cours ne verront jamais de vague scélérate dans toute leur carrière !

⁴ On trouvera plus d'information sur le site http://www.ifremer.fr/metocean/vagues_sclerates.htm

Il serait, bien entendu, trop long d'aborder ici ce sujet, qui n'est d'ailleurs pas l'objet du présent article. Nous nous contenterons de citer deux événements qui ont marqué la France et... sa Marine nationale.

En 1826, l'amiral Dumont d'Urville, accompagné de plusieurs témoins dignes de foi, affirmait qu'il avait vu des vagues de 80 à 100 pieds de haut (25 à 32 mètres). Ses déclarations furent tournées en ridicule... et enfin, (déjà !) l'affaire du croiseur *Jeanne d'Arc* en 1963, connue sous le nom des « trois glorieuses ». Ceux qui les ont subies se souviennent certainement des trois vagues exceptionnelles que l'ancienne *Jeanne* privée d'une hélice par la fatigue de la ligne d'arbre, rencontra au matin du 4 février 1963 dans le Pacifique : par des creux de 7 à 8 mètres, les officiers de quart ayant décelé juste à temps trois vagues exceptionnelles très rapprochées de 15 à 20 mètres de hauteur ont commandé une manœuvre. Le navire a réussi à les franchir sans chavirer, au prix de coups de gîte de 35 degrés environ.



Photos de l'événement prises sous le vent – les angles de gîte sont respectés. © B. Dujardin

Nous disposons de deux documents sur cet événement, établis par le capitaine de frégate Frédéric-Moreau, commandant en second : un communiqué à destination de l'équipage et un rapport dont nous extrayons un passage (voir page 6). L'extrait du communiqué traduit l'esprit dans lequel les marins d'alors (surtout les *midships*) doivent

recevoir le message de la mer, celui du rapport fournit aux chercheurs une description précise du phénomène.

In memoriam André Storelli

Le capitaine de vaisseau André Storelli commandait le croiseur-école *Jeanne d'Arc* et l'école d'application des officiers de vaisseau pendant les campagnes 1961-62 et 1962-63. La *Jeanne d'Arc* avait perdu son hélice tribord en décembre 1962 en se rendant de Balboa à Callao. Cet incident l'avait obligée à rebrousser chemin et à passer en bassin à Balboa. Après diagnostic, Paris avait donné instruction au navire-école et à sa conserve l'avis-escorte *Victor Schœlcher* de poursuivre leur tour de monde par le Pacifique nord afin d'éviter la saison des cyclones du Pacifique sud et de rallier via Long Beach (Californie) et Oahu (archipel des Hawaï), le Japon puis Hongkong où la *Jeanne d'Arc* devait être réparée et récupérer sa seconde hélice. C'est à mi-chemin entre Pearl Harbor et Tokyo que les « trois glorieuses » comme André Storelli a baptisé ce train de trois vagues exceptionnelles, ont couché le navire pendant une demi-minute.

Ce 4 février 2003, le navire est à la cape (à deux rhumbs de l'axe de la houle, tribord amures) en route en avant lente, sa vitesse fond étant négative ; le navire culait. Le groupe école finissait de traverser sa seconde dépression depuis l'appareillage. Le coup de vent d'ouest durait depuis vingt-quatre heures. La veille une ancre s'était dessaisie dans son écubier. Il avait fallu faire une manœuvre de plus d'une heure consistant à abattre, prendre une route mer de l'arrière, envoyer une équipe (en harnais et gilet) sur la plage avant composée des meilleurs boscos du bord et conduite par le commandant en second, le capitaine de frégate Frédéric-Moreau, doubler les saisines et reprendre le cap de la cape.

Le commandant Storelli avait passé la nuit sur son fauteuil de passerelle « en robe de chambre ». Depuis l'aube, le temps s'améliorait sensiblement. À neuf heures, les culottes de gendarme se découpaient dans un ciel qu'on ne pouvait plus dorénavant qualifier de plombé. Au vu du météore repéré par les hommes de veille à plus d'un mille sur tribord avant, sa route de collision (gisement constant) étant confirmée, le commandant ordonne de remonter autant que faire se peut dans la limite d'une trentaine de degrés pour se mettre à la cape du train des vagues « scélérates » toujours tribord amures pour que le navire se retrouve le mieux placé possible pour les épauler. C'est tant sur la machine et l'arbre d'hélice valide à bâbord (sous le vent) que sur la barre que la manœuvre est conduite « À Dieu vat ! ».

Le pacha fit aux officiers élèves à Tokyo un cours sur cet événement. L'œil du capitaine étant à 15 m. au-dessus du niveau de la mer, il estimait la hauteur de ces vagues d'au moins 15 m. Il émettait l'hypothèse d'un jeu d'interférence entre deux trains de houle d'orientation différente qui seraient entrés en résonance. Ses conclusions furent des plus simples : « On ne sait pas qui a permis à la *Jeanne d'Arc* de s'en sortir ; on aurait su qui ne l'en aurait pas sorti ! »

L'amiral André Storelli est décédé le 19 avril 2007 à l'âge de 96 ans. De 1967 à 1968, en tant qu'Alsoumar, il commande les forces sous-marines, puis devient major général de la Marine avant de terminer sa brillante carrière comme chef d'état-major de la Marine de 1970 à 1972.

Au nom de tous ceux qui ont servi sous ses ordres sur la *Jeanne d'Arc* ce 4 février 1963, l'Institut Français de la Mer rend hommage à ce grand marin et lui dédie cet article de la Revue Maritime sur les vagues « scélérates ».

Bernard Dujardin

Vice-Président de l'IFM

Ancien officier-élève de l'école d'application des officiers de vaisseau 1962-63

Bord, en mer, le 6 Février 1963.

Croiseur "JEANNE D'ARC"

COMMUNICATION

La matinée du 4 Février a été marquée par un "événement de mer" de courte durée (moins de trente secondes au total...) mais qui mérite cependant de faire l'objet de quelques commentaires à l'intention, notamment, de tous ceux qui en constateraient les effets sans être en bonne position pour en observer la cause.

Dans ce but, je diffuse la Fiche jointe qui expose sommairement le déroulement de l'événement tel qu'il a été observé depuis la Passerelle.

Certains d'entre vous se sont peut-être demandé : est-ce que cela aurait pu mal finir ?

À cette question on peut répondre :

- la "JEANNE D'ARC" doit pouvoir étaler sans danger une gîte de 40° environ ; or elle s'est arrêtée avant 35° ;
- pour rouler de 40°, il eut fallu se mesurer avec des vagues sensiblement plus hautes ; or la hauteur des "3 glorieuses" (de 15 à 20 mètres) était tout à fait exceptionnelle, puisque même au cours des cyclones, il est très rare que des lames atteignent 20 mètres ;
- enfin, il est certain que la manière la plus sûre d'éviter les "événements de mer" consiste à ne jamais quitter la terre ferme...

Diffusion : tous présents à bord.

Le Capitaine de Frégate FREDERIC-MOREAU
Commandant en Second,

P.V.M.

3. REMARQUES

3.1 Le phénomène a été caractérisé par 5 anomalies :

- (1) la hauteur exceptionnelle des lames (creux compris entre 15 et 20 mètres), et leur verticalité remarquable ;
- (2) le faible écart séparant deux lames successives (une centaine de mètres) ;
- (3) la direction du "train" qui présentait avec la direction générale de la houle une incidence de vingt à trente degrés ;
- (4) la grande vitesse de propagation du train de lames (de l'ordre de 20 nœuds) ;
- (5) la forme de la lame, qui ne présentait qu'un front très court (600 à 800 mètres) terminé à chaque extrémité par une chute abrupte.

C'est grâce à cette forme extra-ordinaire et à leur hauteur exceptionnelle que les lames, se détachant sur une mer encore "grosse", ont pu être décelées avec le préavis juste suffisant pour faire abattre le bâtiment jusqu'à la Route convenable.

3.2 Il convient de noter que le "VICTOR SCHOELCHER", qui naviguait à la cape sur l'Arrière du travers à 2 nautiques environ et a vu la "JEANNE D'ARC" disparaître totalement à 3 reprises dans les creux, n'a pas eu ensuite à affronter lui-même le train de lames.

La recherche

Historique

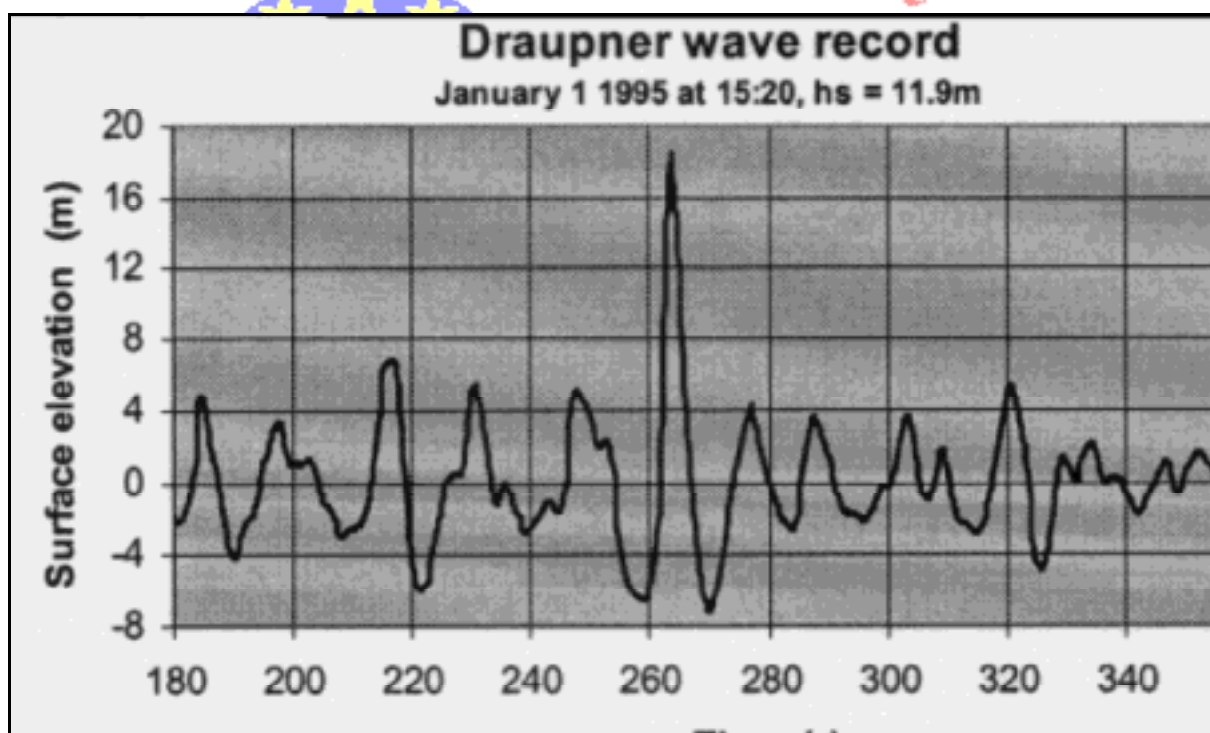
Un article paru en 1964 dans la revue *Oceanus*, vol. 10, n° 4⁵ fut « fondateur » pour cette discipline de recherche scientifique appliquée. Il est dû à Laurence Draper, du *National Institute of Oceanography* de Grande-Bretagne. En substance, ce chercheur y affirme que les

⁵ Les Actes du colloque 2004 consacré aux *Rogue Waves* reproduisent ce document accessible sur le site: <http://www.ifremer.fr/web-com/stw2004/rw/fullpapers/draper1.pdf>.

vagues de hauteur exceptionnelle sont naturelles⁶ et qu'il est possible d'en prévoir l'occurrence avec un certain degré de précision statistique. L'auteur fondait cette appréciation sur des enregistrements de mesures effectuées par les navires météo britanniques équipés de *Wave recorders*. Il affirmait également que ces vagues peuvent être de formes et de tailles très différentes : on verra plus loin ce qu'il en est.

Mais faute de mesures fiables, faute aussi... de frégates météo, peu d'études ont été réalisées avant la fin des années 1990, malgré les questionnements répétés qu'a adressés l'industrie pétrolière offshore et celle de la construction navale à la communauté scientifique. Par exemple, 20 ans se sont écoulés dans la polémique sur le naufrage du navire britannique MV *Derbyshire*, sans conclusion finale.

En publiant un article⁷ faisant état de mesures en profil des vagues arrivant sur la plate-forme Draupner en Mer du Nord, parmi lesquelles une « vague scélérate », l'ingénieur Sverre Haverde de Statoil a relancé la recherche sur le sujet. L'épisode relaté est connu sous le nom de *Vague du nouvel an 1995* : il s'est en effet produit le 1er janvier de cette année-là, vers 15 h. 20. Cette vague s'éleva inopinément à plus de 18 mètres au-dessus du niveau moyen et endommagea du matériel entreposé sur un pont provisoire. Il régnait sur la zone une tempête telle qu'on n'en rencontre que tous les cinq ou six ans ; les hauteurs crête à creux significatives étaient mesurées entre 10 et 12 mètres. L'ingénieur chargé des questions océano-météorologiques à Statoil, qui avait été consulté quelques jours auparavant sur la possibilité de stocker ce matériel à ce niveau, avait évalué à 3 000 ans la période de retour associée à un tel phénomène !



Les données objectives recueillies sur cette plateforme et sur d'autres - les relevés radar sur les champs pétroliers de *Gorm* en Mer du Nord ont enregistré 466 vagues dangereuses en 12 ans - ont définitivement converti les chercheurs scientifiques. Ceux-ci

⁶ En anglais, on utilisait alors plutôt *freak* pour désigner les vagues extrêmes, c'est-à-dire *monstrueux*. Or, pour les scientifiques, un monstre est un objet anormal dans la nature. Depuis l'article de Draper, on utilise plutôt *rogue* (scélérat).

⁷ Voir Actes du colloque 2004.

considéraient en effet jusque-là sur la base de statistiques que de telles aberrations par rapport à l'état de la mer avoisinante ne pouvaient se produire que tous les 10 000 ans...

Enfin, les recommandations de l'*International Ship and Offshore Structures Congress* de 1997 ainsi que les conclusions de l'analyse de sécurité des plateformes en Mer du Nord faites à la même époque ont contribué à relancer les recherches au plan international. C'est ainsi que l'Union européenne a lancé le projet *Maxwave*, auquel a participé Météo-France, que la BBC a réalisé un documentaire diffusé largement en vidéo et qu'Ifremer a organisé deux colloques scientifiques internationaux, en 2000 et 2004.

La vague scélérate : définition

Dans une approche simple (simpliste ?), on adjoint l'adjectif de « scélérate » (*rogue* en anglais) à toute vague dont la hauteur H (crête à creux) dépasse le double de la hauteur significative⁸ (H_s) des vagues environnantes. Plus généralement, le critère essentiel pour classer une vague comme scélérate est que sa hauteur et sa sévérité sont inattendues par rapport aux autres vagues de l'état de mer qui prévaut à ce moment et en ce lieu.

Notons que cette définition ne fait pas référence à l'état de la mer, bien que pratiquement, les vagues dangereuses se rencontrent toujours dans des états de mer extrêmes. La hauteur significative des vagues H_s est elle-même souvent donnée par les modèles météo et mesurée de place en place - dans certaines mers, au voisinage de la côte, - par des bouées ancrées.

Comment mesure-t-on la hauteur et la forme des vagues ?

On cherche à mesurer la hauteur d'une vague particulière H , de crête à creux, située dans un environnement de vagues caractérisées par leur « hauteur significative » H_s , si possible la forme de la vague en traçant l'ensemble de son profil.

Pendant longtemps, les seules plateformes d'observation étaient les navires, dont les instruments ne permettaient pas une mesure rigoureuse de la hauteur et de la forme des vagues. Or toute recherche appliquée commence par des observations. Depuis quelques années, des instruments de mesure de la hauteur et, parfois, de la forme des vagues existent sur des navires de recherche, des bouées ancrées et des plateformes en mer, sans compter les satellites équipés de radars.

Les navires océanographiques sont souvent équipés de nos jours d'instruments de mesure de la hauteur des vagues. Ceux-ci sont composés d'accéléromètres et de capteurs de pression montés de part et d'autre de la carène, les mesures étant compensées pour tenir compte des mouvements du navire. L'ensemble est piloté par ordinateur et fournit les valeurs de H et de H_s .

C'est avec un dispositif de ce genre que le *RRS Discovery* du *National Oceanography Center* de Southampton agissant pour le compte de la *Scottish Association for Marine Science*⁹ semble avoir établi un record. Ce navire, convenablement équipé, mesura le 8 février 2000, dans la zone Rockall à l'ouest de l'Écosse, 23 vagues de plus de 20 m - au cours d'une observation de 12 heures - dont une de 29,1 m du creux à la crête ! Il enregistrait de plus une hauteur « significative » du train de vagues de 18,5 m, ce qui conduisait, d'après les standards de l'Organisation météorologique mondiale (OMM), à redouter une vague d'environ 37 m dans les environs du navire.

⁸ Hauteur significative : voir la définition sur le site <http://www.ifremer.fr/web-com/molagnon/jpo2000/hs.html>.

⁹ Adresse pour courriel : nph@noc.soton.ac.uk.

Les bouées ancrées (par exemple, Gascogne ou Brittany de Météo-France), destinées à faire des relèvements fixes de données météorologiques à destination des organismes de météorologie et des navigateurs sont équipées d'accéléromètres et d'un système de compensation des mouvements de plateforme ; elles fournissent (par radio, à intervalles de l'ordre de la demi-heure) la hauteur significative moyennée sur le temps de mesure et la direction des vagues dans leur zone. Elles n'existent que dans des zones où un service opérationnel est prêt à consentir les efforts nécessaires.

Les plateformes destinées à la production pétrolière sont un point de référence utile pour l'observation des vagues. Les mesures de hauteur d'eau et de forme réalisées sur la plateforme *Draupner E* en Mer du Nord lors de la *Vague du nouvel an 1995* nous en donnent un bon exemple : elles sont faites au moyen d'un dispositif à écho laser enregistrant la hauteur d'eau sous le capteur (distancemètre regardant vers le bas¹⁰) chaque heure pendant 20 minutes.

Remarquons qu'un dispositif laser à écho mesure mal la *pente* de la vague si celle-ci est proche de la verticale: il faudrait deux dispositifs pour mesurer celle-ci.

Enfin, les satellites radar ont permis, par leur couverture, d'obtenir des données sur l'ensemble des mers de la distribution des vagues. C'est le cas des satellites ERS de l'ESA¹¹.

La recherche : les questionnements

Au cours des premières années du ^{xxi}^e siècle, des chercheurs toujours plus nombreux ont essayé par la voie de l'étude théorique de l'hydrodynamique des trains de vagues, par des études statistiques et aussi par simulations en bassin d'approfondir les sujets suivants :

- définition et description de vagues exceptionnelles par leur hauteur et par leur pente ;
- conditions de formation de ces vagues, comparaison avec les observations ;
- étude des impacts de telles vagues sur des structures de gros navires et de plateformes ;
- étude des conséquences sur la stabilité de petits navires.

En vue de répondre aux questions suivantes :

- Y a-t-il plus de vagues extrêmes que ce à quoi on est en droit de s'attendre ?
- Si oui, que se passe-t-il dans la mer au moment où elles apparaissent ?
- Les règles de construction des navires ou des plates-formes en mer doivent-elles être revues ?
- Quelles recommandations doit-on fournir aux opérationnels, services météo ou responsables de navires et de plates-formes en mer ?

Ces questions ont été abordées au cours des colloques 2000 et 2004 organisés par IFREMER (un prochain colloque est prévu à Brest en octobre 2008) et par le projet *Maxwave* de l'Union européenne au début des années 2000.

La recherche : les mécanismes de génération des vagues

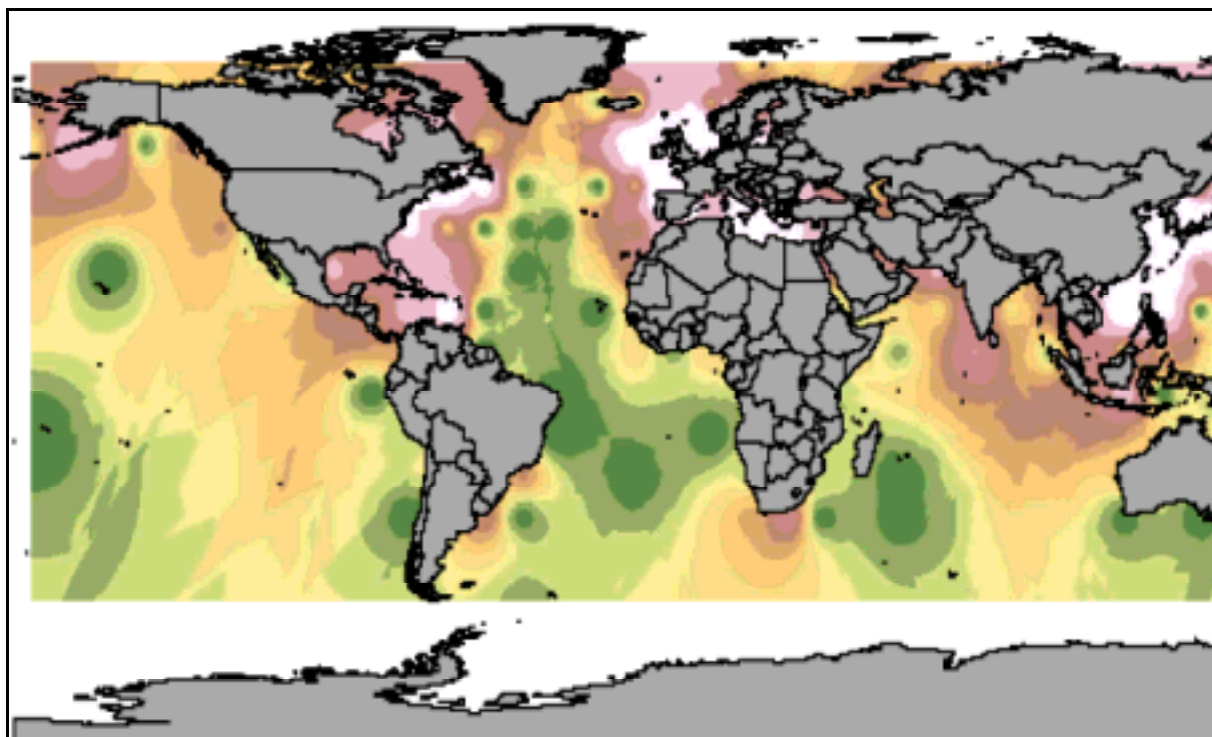
Il apparaît que des accidents dus aux vagues scélérates se répartissent comme suit :

Naufrage	36 %
Entrée d'eau	25 %
Dégâts sévères à la coque	16 %
Retournement, bateau intact	8 %
Autres	15 %

¹⁰ *Nadir altimeter* en américain. NDR.

¹¹ ERS : *European remote sensing* et ESA : *European space agency*. NDR

La carte ci-dessous donne les statistiques d'accidents par zone de navigation : on constate que les zones en question sont aussi celles sur lesquelles se fait le plus fort trafic maritime.



Analyse des conditions de formation des vagues scélérates

Statistiquement, si la hauteur des vagues était distribuée selon une loi de Gauss, cette vague devrait apparaître dans 3 cas sur 10 000 - ce qui certes n'est pas négligeable, mais a pendant longtemps été considéré comme improbable - donc exclus - par l'approche « normale ». Or sur la totalité des mers, à un instant donné, on a affaire à plus de 10 000 vagues. C'est ainsi qu'une étude menée à partir de données fournies par les satellites ERS de la Communauté européenne a identifié l'existence d'environ une vague scélérate à tout instant donné quelque part sur la Terre. Notons que la probabilité d'occurrence d'une vague donnée dépend de la durée d'observation et de la période moyenne des vagues :

Durée d'observation	Période moyenne 12 s	Période moyenne 6 s
20 minutes	1,52	1,63
1 heure	1,69	1,79
3 heures	1,84	1,94
1 jour	2,11	2,19
1 semaine	2,33	2,40
1 mois	2,48	2,55
1 an	2,72	2,78
10 ans	2,92	2,98
100 ans	3,11	3,17

Tableau 1 : Hauteur la plus probable de la vague maximale rapportée à la hauteur significative prévalant lors de l'occurrence d'un champ de vagues de $H_s = 1$, pour deux hypothèses de période moyenne sur toute la durée considérée.

Physiquement, la superposition hydrodynamique de divers trains d'ondes avançant à des vitesses différentes peut générer des vagues dont la hauteur est de l'ordre du double de la hauteur significative des vagues environnantes. La propagation de ces trains d'ondes peut d'ailleurs se faire dans des directions différentes : on a alors le cas de vagues résultant de superpositions d'ondes, mais dont la crête est courte (vagues pyramidales). Si ceci est possible dans une mer formée mais pas extrême, cela ne fera pas l'objet d'une publication spectaculaire ni même d'une mention dans un livre de bord.

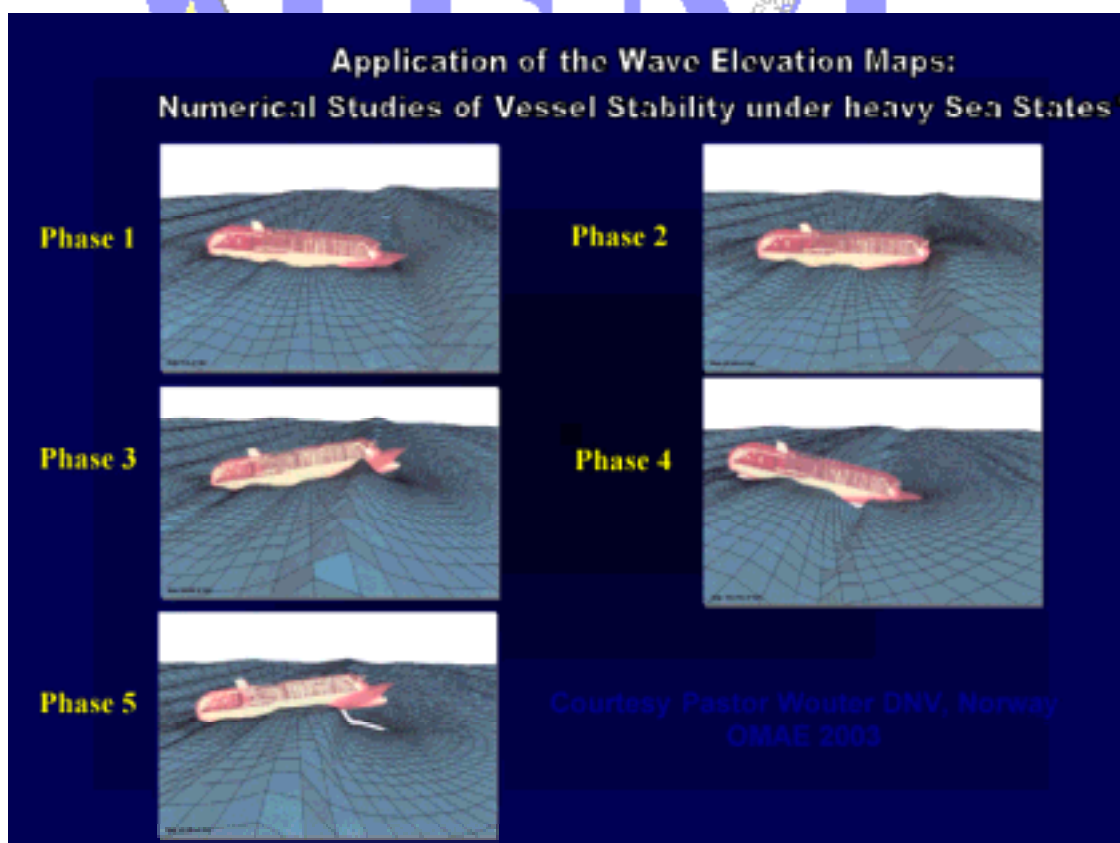
Les hauts-fonds (en particulier, la zone où le talus continental remonte vers - 200 à - 150 m), les zones où l'afflux d'eau douce en période de crues rencontre l'eau de mer - affectent les vagues, même si aucune statistique crédible ne semble exister sur ce sujet.

Enfin, les courants, surtout lorsque leur flux est opposé à la houle dominante, affectent fortement les vagues: il en est ainsi du courant des Aiguilles proche de l'Afrique du Sud, du Kuroshio, etc. Dans ces zones, les services météo envoient des avis aux navigateurs lorsque les conditions sont remplies pour rencontrer une mer hachée et des vagues de grande amplitude.

Il en est de même dans les zones de réflexion des ondes ; de même, le profil des fonds n'est pas neutre. Mais d'autres facteurs peuvent être source de dégâts au navire, comme de mauvais choix de navigation ou d'architecture.

Des mesures ont été prises qui conduisent à l'établissement de cartes de probabilité d'apparition de ces vagues, de couvertures météo plus denses dans les zones dangereuses, ce qui entraîne une diminution des accidents. Sauf dans ces zones couvertes par des avis météo, la probabilité d'occurrence en un endroit donné, à un instant donné, est très faible : on a donc du mal à les observer. Même sur une vie de marin, la probabilité de rencontrer une vague scélérate est très faible.

Conséquences de l'arrivée d'une vague scélérate sur un navire



Si un pétrolier (ou tout navire long) rencontre une telle vague de face (ou par l'arrière) cela pose deux problèmes : la masse de l'eau en mouvement représente une énergie au moins doublée par rapport aux vagues habituelles qui va percuter le bateau par sa proue (par exemple). Il n'est pas rare qu'une vague scélérate ait une hauteur au moins égale à celle du château.

L'effet cumulé de la hauteur exceptionnelle des vagues et de la longueur d'onde peut littéralement soulever le navire par les deux extrémités. Sa partie centrale se retrouve alors moins portée par l'eau et va donc être soumise à de fortes contraintes (surtout si les soutes sont pleines). Si la vague frappe le bateau par le côté, elle peut le faire chavirer.

C'est pourquoi l'officier de quart, en commandant une manœuvre appropriée à la longueur et à la charge du navire, peut jouer un très grand rôle dans le cas d'arrivée d'une vague scélérate.

Prévision des vagues scélérates et climatologie

Peut-on prévoir l'arrivée dans le temps et dans l'espace une vague scélérate dangereuse? Dans le temps, oui, dit la recherche, la probabilité est plus forte dans un fort état de mer. Mais, elle n'a pu établir de critère plus précis : cette considération peut conduire à ce que, dans certaines zones, le système d'alerte soit armé 20 % du temps, en certaines saisons.

Dans l'espace, l'apparition de vagues scélérates est aléatoire et locale, sauf dans certaines zones où la vigilance est d'ailleurs renforcée (cas des courants contre houles, cf. ci-dessus). On peut penser cependant que la présence à bord d'un spécialiste météo devrait être une aide précieuse au commandant d'un navire pour interpréter les prévisions météo.

La recherche : études réalisées

Études de terrain

À la suite d'un accident de mer survenant par mauvais temps, comment séparer les causes : mauvais temps ; erreurs humaines d'architecture ou de navigation ; zone de navigation ; vagues exceptionnelles ? Dans chaque cas, une enquête est nécessaire, qui établit en général qu'il y a plusieurs causes au sinistre.

Au cours de quatre accidents récents au moins, on a pu relever la hauteur des vagues :

- plateforme pétrolière de Draupner : vague de 31 m en mer du Nord le 1^{er} janvier 1995 ;
- *Queen Elizabeth 2*, vague de 29 m dans l'Atlantique nord en février 1995 ;
- *Bremen* et *Caledonian Star*, trois vagues de 30 m dans le Pacifique sud en février 2001 ;
- *l'Aube Norwegian*, vague de 21 m au large de la Caroline du Sud en avril 2005.

Simulations en bassin

Des essais en bassin ont eu lieu, en particulier en Allemagne, dans le cadre du projet *Maxwave*. Des comptes-rendus existent dans les actes des colloques 2000 et 2004. Les actes des colloques organisés par l'équipe océano-météo d'Ifremer regorgent de calculs. Nul doute qu'ils aideront à approcher la vérité dans ce domaine.

L'existence même de ces vagues extrêmes fait l'objet d'un consensus chez les scientifiques, les mécanismes de leur génération ont été décrits: ils ne font appel qu'à des causes « naturelles ». L'apparition de tels phénomènes - dont la probabilité dépend de la zone de navigation - est très rare : au cours d'une vie de marin, la probabilité d'en rencontrer une reste très faible.

Le fait que des vagues scélérates se produisent, a des conséquences lourdes pour la sécurité et pour l'économie puisque navires et plates-formes actuelles ne sont pas conçus pour résister à des vagues aussi exceptionnelles.

En termes opérationnels, le résultat des recherches est le suivant : faut-il modifier les normes de construction des navires ? Si les recherches avaient montré que les vagues scélérates appartiennent à une population définie par des mécanismes physiques complètement différents de ceux des « classiques » et donc pouvaient être dues à une autre cause que celles prises en compte dans les normes de construction des navires ou des plateformes en mer, cela aurait pu conduire à une refonte de l'ensemble de ces règles, qui sont définies pour un risque annuel de ruine entre 1 ‰ (un pour dix mille) et 1 %, selon que les ouvrages sont habités ou non. Par suite, les normes de construction des navires n'ont pas été modifiées.

Faut-il introduire de nouvelles recommandations aux opérateurs ? La réponse à ces questions a fait l'objet d'une décision de 2004 consistant à rendre obligatoire la diffusion d'information sur l'état de la mer dans les bulletins de sécurité météo avec la possibilité d'indiquer des risques de mers dangereuses et/ou anormales. Enfin les calculs des assureurs, confrontés à une situation de risque très élevé dans des cas très rares, ont certainement gagné en fiabilité aux conclusions de cette recherche.

Remerciements

J'ai emprunté beaucoup d'éléments de cette présentation à divers écrits et conversations avec Michel Olagnon d'Ifremer Brest, qui a bien voulu relire ce texte et l'amender et que je remercie particulièrement et à une conférence de Jean-Michel Lefèvre de Météo-France prononcée en 2006.

Pour en savoir plus:

Sites Web : http://www.ifremer.fr/metocean/vagues_scclerates.htm
http://www.math.uio.no/~karstent/waves/index_en.html
<http://w3g.gkss.de/projects/maxwave/>

Hors Web, références récentes et/ou complètes:

- Les interviews de Michel Olagnon (Ifremer), de Michel Huther (Bureau Veritas) et de Jean-Michel Lefèvre (Météo-France) dans Le Marin de juillet 2006.
- Les actes des colloques 2000 et 2004, réalisés sous la conduite de Michel Olagnon et de Marc Prévosto. Ed. Ifremer, inra-editions@versailles.inra.fr. (un autre colloque sur ce sujet est annoncé pour 2008).
- La conférence de Jean-Michel Lefèvre au Bureau des Longitudes, à Paris, le 7 juin 2006, non publiée.