

Annuaire pour l'an ... publié par le Bureau des longitudes

Bureau des longitudes (France). Annuaire pour l'an ... publié par le Bureau des longitudes. 1920.

1/ Les contenus accessibles sur le site Gallica sont pour la plupart des reproductions numériques d'oeuvres tombées dans le domaine public provenant des collections de la BnF. Leur réutilisation s'inscrit dans le cadre de la loi n°78-753 du 17 juillet 1978 :

- La réutilisation non commerciale de ces contenus est libre et gratuite dans le respect de la législation en vigueur et notamment du maintien de la mention de source.

- La réutilisation commerciale de ces contenus est payante et fait l'objet d'une licence. Est entendue par réutilisation commerciale la revente de contenus sous forme de produits élaborés ou de fourniture de service.

[CLIQUER ICI POUR ACCÉDER AUX TARIFS ET À LA LICENCE](#)

2/ Les contenus de Gallica sont la propriété de la BnF au sens de l'article L.2112-1 du code général de la propriété des personnes publiques.

3/ Quelques contenus sont soumis à un régime de réutilisation particulier. Il s'agit :

- des reproductions de documents protégés par un droit d'auteur appartenant à un tiers. Ces documents ne peuvent être réutilisés, sauf dans le cadre de la copie privée, sans l'autorisation préalable du titulaire des droits.

- des reproductions de documents conservés dans les bibliothèques ou autres institutions partenaires. Ceux-ci sont signalés par la mention Source gallica.BnF.fr / Bibliothèque municipale de ... (ou autre partenaire). L'utilisateur est invité à s'informer auprès de ces bibliothèques de leurs conditions de réutilisation.

4/ Gallica constitue une base de données, dont la BnF est le producteur, protégée au sens des articles L341-1 et suivants du code de la propriété intellectuelle.

5/ Les présentes conditions d'utilisation des contenus de Gallica sont régies par la loi française. En cas de réutilisation prévue dans un autre pays, il appartient à chaque utilisateur de vérifier la conformité de son projet avec le droit de ce pays.

6/ L'utilisateur s'engage à respecter les présentes conditions d'utilisation ainsi que la législation en vigueur, notamment en matière de propriété intellectuelle. En cas de non respect de ces dispositions, il est notamment passible d'une amende prévue par la loi du 17 juillet 1978.

7/ Pour obtenir un document de Gallica en haute définition, contacter utilisationcommerciale@bnf.fr.

LA
PRÉVISION DE LA HOULE

PAR
M. J. RENAUD.

Sur certaines parties du littoral des grands océans il arrive parfois que la mer grossisse subitement, l'atmosphère restant calme et aucun indice observé dans le temps local ne permettant de prévoir un changement dans l'état de la mer. On voit alors les lames déferler fortement sur le rivage; l'agitation peut atteindre une extrême violence et causer de grands dégâts sur terre et sur mer. Le phénomène est connu sous le nom de *raz de marée*, terme impropre puisque le mot *raz* indique un aspect de la mer dû au courant et au relief du sol sous-marin, et que la marée n'a qu'un rapport très indirect avec les brisants de la côte.

Autrefois on pensait que les *raz de marée* étaient produits par des tremblements de terre ou par des éruptions volcaniques sous-marines ⁽¹⁾.

(1) Dans son traité de *Géographie Physique*, paru en 1854, Babinet, membre de l'Académie des

Sans doute on constate, dans des parages en général limités et bien connus, des raz de marée résultant de secousses sismiques. En ce cas l'onde qui se forme n'est pas à proprement parler la houle; elle a pour caractéristique une très grande longueur par rapport à sa hauteur; elle peut produire aussi des effets destructifs d'une grande puissance. Mais, en dehors des régions qui sont le siège habituel de tremblements de terre, on observe fréquemment des raz de marée qui sont dûs uniquement à des causes météorologiques; ce sont les seuls dont il sera question dans cette notice.

Depuis quelques années, nos connaissances sur l'état de l'atmosphère sont devenues plus précises et plus étendues qu'autrefois, grâce surtout aux renseignements transmis télégraphiquement. Les progrès réalisés sont tels qu'on peut maintenant prévoir l'arrivée de ces phénomènes d'autant plus redoutables qu'ils surviennent subitement. Il nous a paru intéressant de montrer les efforts tentés dans cette voie et d'indiquer les résultats déjà obtenus.

Sciences, s'exprime ainsi : « Les raz de marée ont paru tellement étonnants qu'on les a souvent attribués aux mouvements que les tremblements de terre impriment au fond de la mer. J'ai moi-même partagé longtemps cette opinion qui, peut-être dans quelques circonstances, expliquerait certaines particularités, si du moins les indications du vent et du baromètre en indiquaient une cause plus naturelle. »

I.

Il convient tout d'abord de rappeler quelques notions succinctes sur la houle.

La houle est le mouvement ondulatoire que la mer conserve après qu'elle a été agitée par le vent, ou bien aussi celui qui se propage à la surface de la mer en dehors de la région où le vent a soufflé. On réserve en général le nom de *vague* à l'onde poussée directement par le vent.

La houle se compose d'une série de lames qui sont caractérisées par les éléments suivants : hauteur, puis longueur, durée d'oscillation et vitesse de propagation, ces trois dernières caractéristiques étant reliées entre elles par des relations simples. Elle résulte d'un mouvement oscillatoire des molécules de l'eau. Elle est périodique et régulière. Ses ondulations successives ont la forme de surfaces cylindriques à génératrices horizontales. Sa propagation se fait suivant une direction perpendiculaire à celle de la génératrice de sa surface. Le mouvement de propagation dont elle semble se déplacer n'est qu'apparent ; la masse entière du liquide n'est animée d'aucun mouvement de translation ; seule se déplace horizontalement la forme de la courbe de son profil.

Plusieurs houles se propageant dans des directions différentes peuvent exister simultanément ; en ce cas elles interfèrent. A une houle

se superpose souvent une agitation formée directement par le vent qui souffle à sa surface.

La houle a fait l'objet de très importantes études théoriques et expérimentales, ainsi que de nombreuses observations à la mer.

Au point de vue théorique, on a examiné le cas d'une ondulation se propageant dans une eau d'une profondeur et d'une étendue indéfinies. Dans ce cas les molécules de l'eau décrivent des orbites circulaires autour de leur position d'équilibre. Le profil de la houle dans le sens de sa propagation est une trochoïde, courbe décrite par le point d'une circonférence roulant sur une droite. La vitesse orbitaire des molécules à la surface s'exprime en fonction des éléments qui caractérisent la lame. Le rayon de la circonférence décrite par la molécule de la surface est égal à la demi-hauteur de houle; les rayons des circonférences décrites par les molécules placées sur une même verticale décroissent en progression géométrique quand la profondeur croît en progression arithmétique.

Dans l'étude théorique du cas où la houle se propage dans des eaux peu profondes, mais de profondeur constante, on démontre que les orbites décrites par les molécules du liquide autour de leur position d'équilibre sont des ellipses dont la forme est déterminée par la profondeur à laquelle elles se trouvent; le grand axe des ellipses est horizontal; leur distance focale est constante pour toutes les molécules

situées sur une même verticale. Diverses formules établissent le rapport des deux axes de l'ellipse en fonction de la profondeur, puis la durée d'oscillation en fonction de la longueur de la lame, de la vitesse de propagation de la houle et des éléments de l'ellipse. Sur le fond même, la courbe est infiniment aplatie.

Si la houle rencontre un plan vertical perpendiculaire à la direction de sa propagation, l'onde se réfléchit normalement; il en résulte un mouvement spécial appelé *clapotis*. Les lames sont alors dépourvues du mouvement apparent de propagation propre à la houle; elles s'élèvent et elles s'abaissent sur place; chaque molécule oscille suivant une droite, qui est verticale pour les sommets et horizontale pour les nœuds, les trajectoires étant toutes de même longueur.

Les études expérimentales et les nombreuses observations faites en plein océan ont permis de constater que les formes de la houle en mer, ainsi que les rapports qui existent entre ses divers éléments, sont tout à fait analogues à ceux qui sont obtenus par l'analyse. Cette concordance est d'autant plus intéressante que le plus souvent les observateurs ne connaissaient pas les lois théoriques.

Les dimensions d'une houle dépendent, d'une part de la violence et de la durée du vent qui l'a produite, et d'autre part de l'étendue et de la profondeur de la mer dans laquelle elle se propage. Les vastes étendues des grands océans

sont nécessaires pour permettre la propagation des longues houles. Bien souvent l'observateur a une tendance naturelle à exagérer la hauteur de la lame. On considère comme très grosse une houle dont la hauteur atteint 7 à 8^m; les lames ayant une hauteur de 9 à 10^m sont tout à fait exceptionnelles. Une longueur de lame dépassant 400^m est rare. La vitesse moyenne de propagation est d'environ 10^m par seconde; elle peut être beaucoup plus grande à la suite d'un vent violent. Dans les mers intérieures, la lame a de bien moindres dimensions; dans la mer Méditerranée, la hauteur de la houle ne dépasse guère 5^m et dans la mer Baltique, 3^m.

En plein océan, l'agitation due à la houle s'étend à de grandes profondeurs; on le constate par ce fait que des lames qui se sont propagées dans les eaux profondes de plusieurs milliers de mètres changent d'aspect lorsqu'elles arrivent sur des fonds recouverts encore de 150^m à 200^m d'eau; au seul aspect de la lame devenue plus courte, il est facile de reconnaître que les fonds ont diminué; la transition s'opère d'une façon plus ou moins tumultueuse sur les accores des bancs qui relient les grands fonds aux plateaux.

L'effet de transformation des lames de la houle est encore plus accentué lorsque l'ondulation, après s'être propagée librement à travers l'océan, arrive dans des parages où les profondeurs vont en décroissant.

Dans le cas où la hauteur de l'eau diminue

graduellement et lentement, l'ondulation peut s'atténuer petit à petit et même disparaître sans mouvements tumultueux. La nature offre des exemples caractéristiques d'un amortissement progressif et complet des grands mouvements de la houle océanique.

Un autre cas extrême est celui où la houle vient frapper une falaise rocheuse très accore, ou, dans le même ordre d'idées, celui d'une ondulation venant rencontrer les blocs d'une jetée ou un mur de quai; il se produit alors une réflexion partielle qui donne lieu au phénomène du *ressac* rappelant plus ou moins le clapotis.

En dehors de ces cas particuliers, la houle, en arrivant sur le talus sous-marin qui se trouve en avant du rivage, change de forme; sa longueur diminue, sa hauteur augmente, son profil trochoïdal s'altère; par suite de l'exhaussement progressif du fond sous-marin, le mouvement ondulatoire ne peut plus s'exercer librement; il s'amortit sur le fond; la vitesse orbitaire des molécules à la surface est notablement accrue; il en résulte une violente poussée qui peut jeter à la côte les navires surpris par ce phénomène. En approchant davantage du rivage et en arrivant par des profondeurs à peu près égales à sa hauteur, la lame s'écrète. Le profil de son sommet, qui au large était arrondi, devient aigü, puis une première volute se forme; d'autres, plus ou moins nombreuses, se succèdent jusqu'au rivage, la dernière s'étalant sur

l'estran. La profondeur par laquelle la lame commence à s'écréter, la forme des volutes, leur nombre, leur espacement dépendent d'une part des éléments de la houle dans les grands fonds du large et d'autre part de la forme du talus sous-marin qui précède la plage. En un point donné du littoral la profondeur à laquelle se forme le premier brisant caractérise le plus souvent la force de la houle.

Sur certaines côtes, telles que celles de l'Afrique occidentale où les abris sont rares, on est obligé, pour atteindre le rivage, de débarquer sur des embarcations spéciales qui traversent la zone des volutes, zone appelée la *barre* pour indiquer l'obstacle que crée au débarquement la houle de l'océan. Cette expression désigne un état de la mer qu'il ne faut pas confondre avec la barre d'un fleuve, atterrissement qui se forme en général à l'embouchure des cours d'eau. Sur la barre fluviale la lame déferle aussi souvent en créant un obstacle analogue à la barre côtière.

II.

Il résulte de ces faits que l'agitation de la mer en un point donné peut être la conséquence de troubles atmosphériques qui se sont produits à une très grande distance et qui ont donné naissance à une houle qui s'est propagée dans des eaux profondes. On trouve là un exemple frappant de la solidarité de deux phé-

nomènes géographiques se manifestant très loin l'un de l'autre : par exemple une tempête qui sévit dans les parages de Terre-Neuve et un raz de marée qui vient dévaster l'embouchure du Sénégal. La transmission s'opère au moyen d'ondes qui se propagent sur plusieurs milliers de kilomètres à travers l'océan.

Le régime d'un littoral peut ainsi être influencé, non seulement par le temps local, mais aussi par l'état de l'atmosphère dans des parages très éloignés ; il arrive assez souvent que l'influence de la cause lointaine est nettement prépondérante. Dans ces conditions les marins attachent beaucoup moins d'importance au temps local qu'à l'état de la mer d'où dépendent la sécurité de leur navire et la possibilité de leurs opérations en rade.

Grâce aux progrès réalisés dans les communications télégraphiques, il est devenu possible de suivre la marche des dépressions cycloniques et de prévoir la formation de la houle dangereuse, conséquence du passage de ces météores.

Depuis longtemps déjà, on a établi, dans tous les pays civilisés un service de la prévision du temps et on signale, spécialement pour les marins, l'arrivée des tempêtes. Dans les parages où sévissent les cyclones ou les typhons, les observations météorologiques permettent d'assurer un service d'avertissement de plus en plus perfectionné, grâce auquel chaque année sont sauvées un grand nombre de vies humaines et de précieuses cargaisons.

La prévision de l'arrivée d'un raz de marée peut se faire par les mêmes moyens. Il suffit, pour un point donné, d'abord de rechercher quels sont les parages où se forme la houle dangereuse qui vient déferler sur le rivage, puis de connaître les conditions météorologiques de ces parages, enfin de pouvoir être averti de l'état de l'atmosphère dans ces régions lointaines assez à l'avance pour que la houle n'ait pas encore eu le temps de se propager. Or bien souvent la prévision est possible, d'abord parce que dans les grands océans, la houle est formée à une très grande distance des plages sur lesquelles elle vient se briser, puis parce que sa vitesse de propagation est assez faible pour qu'elle mette plusieurs jours à les atteindre.

III.

Une des applications les plus intéressantes de la méthode qui vient d'être exposée est celle qui a été faite récemment en vue de la prévision des raz de marée sur les côtes de notre protectorat marocain. Sur ce rivage, qu'un talus sous-marin relativement rapide relie aux grands fonds de l'océan, viennent déferler les lames de la houle formée dans l'Océan Atlantique Nord, siège de dépressions cycloniques dont la fréquence et la grandeur sont très variables suivant les saisons. La propagation de la houle est favorisée par les grandes

profondeurs de l'océan où l'ondulation se développe librement.

Sur toute la côte ouest du Maroc, l'état de la mer dépend presque toujours, non pas du temps local, mais de la houle venant du large; les termes de beau temps et de mauvais temps qu'emploient les marins indiquent uniquement la force plus ou moins grande des brisants de la plage, et nullement l'état de l'atmosphère. Sur les rades ouvertes qui s'étendent devant les villes du littoral, on ne peut débarquer que lorsque la houle est faible; avec une forte houle, les communications sont interrompues, l'accès n'est possible nulle part.

Le beau temps est plus fréquent en été qu'en hiver, les dépressions étant plus rares dans l'Océan Atlantique Nord pendant la belle saison. Il en résulte que, surtout pendant l'hiver, les navires éprouvent de grandes difficultés pour leurs opérations en rade. Des statistiques établies depuis un certain nombre d'années permettent de connaître, en chaque port et pour chaque mois, la probabilité du débarquement des passagers et des marchandises. Tous les soirs les navires qui sont en rade quittent leur mouillage et prennent le large pour ne pas être surpris pendant la nuit par une recrudescence de la houle qui les jetterai à la côte; ils reviennent le lendemain matin, si le temps est beau, reprendre la suite de leurs opérations. L'arrivée du mauvais temps est si brusque que le navire est en perdition s'il n'a

pas pris les précautions nécessaires; en certains cas, pendant l'hiver, les bâtiments de mer restent des semaines entières sans pouvoir communiquer directement avec la terre.

Ces conditions fâcheuses seront sans doute améliorées par les travaux de construction des ports actuellement en cours; toutefois on peut affirmer que, quels que soient les ouvrages très coûteux qu'on établira dans l'avenir, l'entrée de tous les ports du Maroc sera condamnée au moment d'un raz de marée; car, en ce cas, les lames commencent à déferler par des profondeurs de 20^m à 25^m. Aussi sera-t-il toujours très utile, même lorsque les ports seront construits, d'établir une prévision de la houle.

Il en résulte que la question des ports du Maroc doit être résolue en se plaçant à un point de vue bien différent de celui que l'on envisage en général pour aménager les ports d'autres pays. En présence de conditions de débarquement aussi difficiles provenant, non pas du vent local, mais de la houle, il eût été nécessaire, au lieu de porter l'effort sur un seul port, de créer tout d'abord devant chacune des villes littorales des abris pour leur matériel de chalands et de remorqueurs, afin de permettre des opérations rapides et économiques sur rade. C'est seulement après l'établissement de ce premier outillage qu'on aurait dû entreprendre la construction d'un grand port. Il aurait fallu éviter aussi la construction de jetées par des fonds trop grands puisque ces ouvrages sont

A. 13

exposés au choc de la première lame brisante. La force vive de ce premier brisant dépend notamment de la profondeur à laquelle il se forme; elle croît sensiblement en proportion géométrique lorsque la profondeur augmente en proportion arithmétique. Dans un raz de marée la jetée de protection d'un port quelconque du Maroc recevra le choc d'une lame avec son maximum de violence puisqu'à un certain moment le premier brisant se formera sur elle. Au port de Casablanca, les ouvrages extérieurs seront construits par des fonds de 16^m à mer basse. Le choc de la lame qui viendra les frapper au moment même où elle déferlera par cette profondeur sera d'une violence extrême.

Ces considérations mettent en évidence toute l'importance qu'il convient d'accorder à l'étude de la houle lorsqu'il s'agit de préparer un programme pour la construction des ports du Maroc.

En ce moment, où l'outillage des rades est encore bien imparfait, la prévision de la houle va rendre de grands services à la navigation. Les accidents de mer occasionnés par les raz de marée sont des plus fréquents; il nous suffira de citer celui du 6 janvier 1913. Ce jour-là, à 8^h du matin, la mer était plate en rade de Casablanca; la matinée semblait devoir être fort belle. A 9^h, la mer grossissait presque subitement; les embarcations du port, chalands et remorqueurs, qui étaient occupés au déchar-

gement des navires au mouillage, ne pouvaient plus rallier la terre, le rivage étant couvert de forts brisants. En cette seule journée, 4 voiliers, 3 remorqueurs et 9 gros chalands ont été perdus complètement; 13 autres chalands ont été plus ou moins avariés. De ce fait, le trafic du port fut presque suspendu pendant quelque temps et son outillage a été pendant de longs mois insuffisant.

Les pertes causées au commerce du fait de la houle sont difficiles à calculer; elles atteignent une fraction importante de la valeur des marchandises débarquées ou embarquées. Quant à l'incommodité qui en résulte pour les voyageurs, elle est connue de tous ceux qui se sont rendus au Maroc et qui ont le plus souvent gardé du premier contact avec la terre africaine un souvenir désagréable.

Bien que l'attention des marins soit constamment portée sur la question de la houle, les études publiées sur ce sujet ne sont pas très nombreuses. Nous allons les rappeler ici.

Au cours des fréquentes escales que j'ai faites dans les ports du Maroc au commencement de l'année 1905, où les difficultés d'accostage avaient été particulièrement difficiles, j'avais été frappé, et sans doute beaucoup d'autres marins avant moi avaient fait la même remarque, de la coïncidence des grosses houles avec les tempêtes qui avaient sévi quelques jours après sur les côtes occidentales de l'Europe et qui étaient annoncées dans les bulletins météo-

rologiques paraissant dans les journaux reçus au Maroc 8 ou 10 jours après. J'avais conclu de ce fait qu'on pouvait prédire la houle comme on annonce à l'avance l'arrivée des mauvais temps sur nos côtes de la Manche et de l'Océan, en signalant l'arrivée des dépressions. A cette époque, j'avais demandé que l'administration des douanes marocaines fût chargée de faire des observations régulières sur l'état de la mer. Mais les moyens dont disposait alors la France au Maroc étaient trop faibles pour permettre d'entreprendre des études suivies.

La question fut reprise dès que fut établi notre protectorat. Dans une lettre du 19 mai 1913, M. le capitaine de vaisseau Simon, chef de la Division navale du Maroc, montrait les dangers qui résultent de l'arrivée subite des raz de marée, sans que rien dans les conditions météorologiques locales puisse avertir les marins. Il se demande si l'on ne pourrait pas être prévenu assez à temps pour prendre les précautions nécessaires. D'après lui, la situation du Maroc est favorable à la prévision, parce que ses côtes sont protégées par un groupe de stations météorologiques assez rapprochées les unes des autres et aussi assez éloignées du Maroc lui-même pour que l'avertissement précède l'arrivée de la houle. Ces stations sont : la Corogne, les Açores, Madère et les Canaries. Il conclut en deman-

dant que la question soit étudiée et il propose de fournir à ce sujet tous les renseignements utiles qu'il pourra se procurer par les services qu'il dirige.

La lettre de M. le commandant Simon fut transmise au Service Hydrographique de la Marine et, à la question ainsi posée, M. le capitaine de frégate Roullin, chef de la Section de la Météorologie nautique, répondit par une note du 30 juin 1913. A son avis, si la prévision est possible dans quelques cas particuliers, elle ne peut pas être réalisée d'une façon générale avec de grandes chances de probabilité. Il est surtout intéressant de connaître à l'avance l'arrivée des fortes houles qui rendent impraticables les barres des fleuves et qui font que le mouillage des navires et la circulation des embarcations dans les rades deviennent dangereux. Mais, s'il est admis que ces ondulations sont dûes au passages des dépressions dans l'Océan Atlantique Nord, on peut dire que d'autres dépressions en grand nombre passent dans les mêmes parages sans produire les mêmes effets. De l'étude forcément sommaire, parce qu'elle porte sur des documents peu nombreux, qu'il a faite à ce sujet, il semble résulter que, pour produire une grosse houle, la dépression doit être profonde, étendue, et se faire sentir aux Açores par une baisse barométrique accentuée; elle doit aussi rester à peu près stationnaire pendant quelque temps lorsque son centre est au Nord des Açores, entre 50° et 55° de lati-

tude Nord. Dans ces conditions, il souffle un vent très violent de Nord-Ouest qui, par sa persistance, donne naissance à une grosse houle se propageant vers la côte Nord-Ouest de l'Afrique. L'essai de prévision doit donc être précédé de l'étude des relations qui doivent exister entre l'état de la mer au Maroc et le caractère particulier des dépressions. En supposant même qu'on arrive ainsi à des conclusions assez précises, la houle serait assez difficile à prédire, parce que les prévisions météorologiques des bureaux européens sont basées sur l'observation des dépressions ayant déjà franchement atteint l'Europe occidentale. Il n'est pas possible de compter actuellement sur les radiotélégrammes des navires transatlantiques pour être renseigné sur l'état du temps en plein océan; car, par suite de la trop faible portée des appareils installés à bord, les messages ne parviennent en Europe qu'après plusieurs transmissions de navire à navire; il en résulte des retards qui rendent le plus souvent les renseignements inutilisables pour la prévision du temps. Quand aux observations météorologiques faites à Madère et aux Canaries, elles ne sont d'aucune utilité pour la prévision des houles, celles-ci étant formées par l'effet de dépressions qui passent beaucoup plus au Nord. M. le commandant Roullin termine sa note en recommandant de commencer des essais de prévision de la houle à l'aide des télégrammes météorologiques qui sont envoyés de la Tour

Eiffel par le télégraphie sans fil et qui permettent de déceler par la comparaison des observations quotidiennes les dépressions formées au large de l'Europe. Une lettre ministérielle du 9 juillet 1913 a donné des instructions dans ce sens au Chef de la Division navale du Maroc.

Le 30 octobre de la même année, M. le capitaine de vaisseau Simon transmet au Ministre un mémoire de M. le lieutenant de vaisseau Lacroix, intitulé *Essai de prévision des houles sur la côte Atlantique du Maroc*. Dans cette étude, M. Lacroix compare l'état de la mer au Maroc avec l'état du temps dans l'Océan Atlantique pendant la période qui s'étend du 11 octobre 1912 au 11 octobre 1913. Il fait aussi des comparaisons analogues pour un certain nombre d'observations prises au cours des années 1908 à 1912. Il constate qu'une dépression qui ne se manifeste, ni aux Açores, ni en Irlande, ni en Islande, ne produit pas de houle au Maroc; il en conclut que les avis du Bureau Central Météorologique, où se trouvent consignées les observations de ces trois pays, signalent bien toutes les dépressions intéressantes. A partir du moment où la dépression, par les vents violents qu'elle produit, a formé la houle, elle met beaucoup moins de temps à atteindre l'Europe que l'ondulation à se propager jusqu'au Maroc; l'avance est toujours au moins de 24 heures et souvent de 48 heures. La prévision est donc possible, et il appartiendrait

au Bureau Central Météorologique d'assurer un service d'avertissement par un signal de télégraphie sans fil émis par la Tour Eiffel.

Conscité à ce sujet, M. le Directeur du Bureau Central Météorologique a répondu qu'à son avis on peut envisager deux solutions : organiser au Maroc la prévision de la houle, ou bien demander au Bureau Central de faire cette prévision. M. Angot ajoute qu'en l'état actuel de nos connaissances, le succès serait incertain. Pour réussir, il serait nécessaire de recevoir chaque jour des radiotélégrammes provenant de navires qui se trouvent au moins à 400 milles des côtes occidentales de la France. Le service de prévision, même conçu comme le propose M. Lacroix, ne pourrait pas être organisé avant le 1^{er} octobre 1914; car il faut entreprendre une série d'études préliminaires. Par une lettre du 20 avril 1914, M. le Chef de la Division navale du Maroc, auquel la note du Bureau Central Météorologique avait été communiquée, regrette le retard apporté à la solution du problème. Il demande qu'il lui soit adressé chaque jour par télégramme des avis météorologiques complets, grâce auxquels il espère arriver à assurer lui-même le service d'avertissement de la houle.

Les événements survenus en août 1914 ont supprimé momentanément toute possibilité de prévision par suite de l'interruption de l'envoi des radiotélégrammes météorologiques.

En août 1916, M. l'enseigne de vaisseau Rol-

land a rédigé un mémoire sur le même sujet. Après avoir rappelé les travaux de ses prédécesseurs, M. Rolland fait remarquer qu'on n'a pas trouvé d'une façon bien exacte la relation qui existe entre les dépressions qui sont signalées dans le nord de l'Océan Atlantique et les houles qu'on observe sur la côte du Maroc. La loi est sans doute complexe et on manque de documents assez nombreux pour l'établir. La méthode de prévision qu'on voulait adopter a donc été mise en défaut. Aussi propose-t-il de recourir provisoirement à un autre procédé qui consiste à installer un système d'avertissement de l'arrivée de la houle en des points où l'on peut l'observer avant qu'elle atteigne le Maroc. Les points choisis seraient : La Corogne, Punta Delgada (Açores), Funchal (Madère) et Las Palmas (Canaries); ces quatre stations couvrent le Maroc à des distances variant de 450 à 600 milles marins; elles enverraient des télégrammes en cas de changement dans l'état de la mer; on serait prévenu par Funchal environ 16 heures à l'avance, par Las Palmas 17 heures, par La Corogne 20 heures, et par Punta-Delgada 30 heures.

La note de M. Rolland, transmise au Service Hydrographique, a été l'objet de l'appréciation suivante de la part de M. le capitaine de frégate Roullin. La question de la prévision de la houle ne peut être utilement reprise que lorsque le service normal des télégrammes météorologiques internationaux, interrompu par la guerre,

sera remis en vigueur. Les renseignements qui pourraient être envoyés par les Canaries, Madère, les Açores et la Corogne sont tout à fait insuffisants et ne permettent pas d'établir une carte synoptique du temps dans les parages où il est utile de le connaître. M. Rolland propose, il est vrai, d'envoyer des observations relatives à l'état de la mer. Mais les stations météorologiques sont installées à terre et il ne leur est pas possible de donner les éléments de la houle, tels que : longueur, hauteur, direction, vitesse de propagation, qui sont indispensables pour caractériser le phénomène. Ces données ne peuvent être recueillies que par des navires passant au large, et, même en mer, il n'est pas facile de les obtenir avec quelque exactitude. L'installation d'un service de renseignements de ce genre se heurterait à de grandes difficultés. Le procédé préconisé n'est donc pas pratiquement utilisable. Les conclusions de M. le commandant Roullin ayant été adoptées, il n'a pas été donné suite aux propositions de M. Rolland.

Sur l'initiative de M. le lieutenant de vaisseau Rouch, chef de la Section de la Météorologie maritime au Service Hydrographique, la question fut reprise en janvier 1919 par M. le capitaine Gain, alors attaché à ce service. M. Gain a dépouillé les observations faites sur l'état de la mer pendant quatre années, de 1915 à 1918, à bord des bâtiments stationnés dans les

rades du Maroc, et il les a comparées avec les données fournies sur l'état de l'atmosphère dans l'Océan Atlantique Nord par les bulletins du Bureau Central Météorologique de France et par ceux du Meteorological Office de Londres.

Les 210 dépressions qu'il a étudiées ont été réparties en quatre groupes. Le premier, de beaucoup le plus important, comprend les dépressions qui viennent de la partie de l'océan située au nord des Açores et qui atteignent les terres d'Europe entre l'Islande et l'Irlande; dans l'état actuel des observations, leur approche est signalée par les indications du baromètre dans les stations météorologiques de ces deux derniers pays. Dans le second groupe sont classées les dépressions qui se forment dans la région des Açores et qui se dirigent à l'Est vers les côtes du Portugal. Le troisième groupe renferme les dépressions passant au nord de l'Islande, cas qui se présente lorsqu'un anticyclone couvre une grande partie de la surface de l'Europe. Enfin, dans le quatrième groupe figurent ceux de ces météores qui, ayant une trajectoire dirigée à peu près du Nord au Sud, passent entre l'Islande et la Norvège pour venir sur les Iles Britanniques et l'Europe centrale, puis de là jusque sur la mer Méditerranée, en donnant parfois naissance à des dépressions secondaires s'étendant assez loin vers l'Ouest.

La comparaison de la présence de ces dépressions avec l'état de la mer au Maroc montre que la grosse houle qui vient se briser sur le lit-

toral marocain est la conséquence des dépressions du premier groupe, c'est-à-dire de celles qui passent entre les Açores et la partie sud-ouest de l'Islande. Sur les 210 dépressions étudiées, le premier groupe en comprenait 130, soit 62 pour 100 du nombre total. Sur ces 130 dépressions, on a constaté que 92 ont donné naissance à de fortes houles sur la côte du Maroc ; les 39 autres n'ont eu que peu d'effet à ce point de vue. Sur ce dernier nombre, 25 ont été formées alors qu'il existait un anticyclone dans la région des Açores. Quatre autres ont pris naissance au nord des Açores ; elle sont donc été formées dans une région située trop à l'Est pour que la houle puisse se faire sentir au Maroc. Enfin, les neuf dernières dépressions étaient faibles ; elles étaient caractérisées par un gradient réduit et par des vents modérés qui n'ont pas soulevé une ondulation suffisamment puissante.

Les dépressions du deuxième groupe forment une proportion de 15 pour 100 du nombre total des 210 dépressions étudiées ; celles du troisième groupe, 17 pour 100, et celles du quatrième groupe, 6 pour 100. Le dépouillement des observations a permis de reconnaître de la façon la plus nette qu'à la suite des dépressions des trois derniers groupes la houle n'est jamais forte au Maroc.

La houle qui se propage vers la côte africaine semble se former au nord des Açores dans un espace compris entre deux lignes : l'une, joi-

gnant la pointe Sud du Grœnland aux Açores, et l'autre la pointe Sud-Ouest de l'Islande à Casablanca. Toute dépression ayant séjourné un temps assez long sur cette partie de l'Océan donne naissance à des vents violents du Nord-Ouest et produit une forte houle qui, se propageant avec une vitesse qu'on peut évaluer à environ 20 milles à l'heure, met de 3 à 5 jours pour atteindre le rivage du Maroc.

Or, bien avant que ce délai soit expiré, la dépression sera signalée par une baisse barométrique très sensible, soit en Islande, soit en Irlande, et l'on peut être averti de sa présence environ 48 heures avant que la houle qu'elle a produit arrive au littoral africain. On peut donc affirmer que la prévision est possible et qu'elle permet de prendre toutes les précautions nécessaires.

Il a été dit plus haut que certaines dépressions profondes et à marche normale ne donnent que peu de houle au Maroc; on constate alors la présence d'un anticyclone, soit sur la région comprise entre les Açores et le continent européen, soit sur celle des Iles Britanniques et au large de ces îles. L'anticyclone semble agir comme un écran s'interposant pour arrêter la propagation de la houle entre la dépression et région méridionale. M. le capitaine Gain suppose que cet effet est dû à la haute pression atmosphérique qui tend à diminuer la hauteur de la houle. Cette hypothèse ne nous paraît pas plausible; nous pensons que la violence des

vents du Nord-Ouest doit être très atténuée du fait de la présence de l'anticyclone.

D'autre part, on constate que les observations météorologiques faites à Madère, aux Canaries, sur les côtes occidentales de l'Espagne ou sur celles du Portugal ne sont en général d'aucune utilité pour la prévision des houles sur la côte d'Afrique.

Enfin, il a été reconnu que les dépressions qui sont animées d'une vitesse de propagation rapide ne donnent pas de fortes houles au Maroc, même lorsqu'elles sont profondes et étendues, et bien que leur trajectoire passe entre les Açores et l'Islande.

M. le capitaine Gain conclut en disant que, dès maintenant, les éléments météorologiques quotidiens envoyés par les radiotélégrammes de la Tour Eiffel permettront aux stations du Maroc qui les reçoivent de dresser la carte synoptique du temps, et par suite de faire la prévision avec une probabilité dépassant 90 pour 100. Il ajoute que les conditions actuelles seront beaucoup améliorées lorsque les navires qui traversent l'océan pourront transmettre les observations régulières et signaler l'état de l'atmosphère et de la mer qu'ils peuvent observer en plein océan.

Tel est le résumé de l'important mémoire qu'a rédigé M. le capitaine Gain et qui présente un très grand intérêt, à la fois théorique et pratique. Les règles de prévision qu'il propose ont été de suite mises à l'essai, et le centre maritime

de Casablanca est chargé désormais de prédire la houle. Le service fonctionnera normalement dès que sera reprise la transmission complète des radiotélégrammes météorologiques. Une instruction détaillée, qui a paru dans l'*Avis aux Navigateurs* n° 681 (1919), donne des renseignements sur la façon dont les marins doivent utiliser ces documents.

IV.

Le procédé dont nous venons de montrer l'application sur le littoral marocain est général et il peut être employé dans beaucoup d'autres parages. La condition nécessaire pour que la prévision soit possible est que la dépression puisse être signalée avant que la houle qu'elle a produite se soit propagée jusqu'au rivage.

Le résultat semble pouvoir être obtenu pour la partie des côtes occidentales de l'Europe et de l'Afrique dont le régime est soumis à l'influence des mêmes dépressions que celles qui agissent sur le rivage du Maroc.

Sur la côte française de l'Océan Atlantique, le phénomène de la houle arrivant avant le mauvais temps, ou même se manifestant sans apparence de mauvais temps et sans précéder un coup de vent, est d'autant plus marqué qu'on est plus près de la côte nord de l'Espagne, où la limite des abîmes de l'Océan se rapproche davantage du rivage. Il paraît donc possible de prévoir la houle avant qu'elle se fasse sentir

sur la côte sud-ouest de la France, notamment aux deux points où il est plus spécialement intéressant de l'annoncer et qui sont : l'embouchure de la Gironde et la barre de l'Adour.

Des prévisions analogues peuvent être établies pour les ports de la côte ouest de l'Espagne, puis pour ceux du Portugal, enfin pour les ports de la côte de l'Afrique au sud du Maroc, notamment pour l'embouchure du Sénégal où les raz de marée sont pour la navigation une cause de très grande gêne et même de désastres fréquents en raison de la mobilité des sables qui forment la barre du fleuve. En ce dernier point, les conditions sont encore plus favorables à la prévision que partout ailleurs, puisque la houle, se formant dans les mêmes parages, doit franchir une distance encore plus grande et qu'elle arrive par suite beaucoup plus tard sur la côte du Sénégal.

La méthode sera sans doute perfectionnée. Dès maintenant, telle qu'elle est appliquée, elle donne la possibilité de prévoir les raz de marée dûs à des causes météorologiques avec un degré de probabilité équivalent à celui de la prédiction du temps local. Le résultat obtenu est fort important pour les marins.

