

REVUE SCIENTIFIQUE

REVUE ROSE

DIRECTEUR
PAUL GAULTIER

DIRECTEUR DE LA RÉDACTION
CHARLES MOUREU
MEMBRE DE L'INSTITUT ET DE L'ACADÉMIE DE MÉDECINE
PROFESSEUR AU COLLÈGE DE FRANCE

N° 19

61^e ANNÉE

13 OCTOBRE 1923

LA PRÉDICTION DES HOULES AU MAROC

I

Dans la plupart des ports du Maroc, le trafic commercial est étroitement lié à l'état de la mer et en particulier de la houle. Peu fréquentes en été, les houles se font souvent sentir pendant la mauvaise saison, et les cas sont nombreux où elles surviennent à l'improviste, sans que rien dans les conditions météorologiques puisse prévenir de leur arrivée.

Elles mettent alors en danger les bâtiments mouillés dans les rades foraines, coulent de nombreuses barcasses, souvent chargées de marchandises de prix, ou causent de multiples avaries au matériel coûteux destiné à la construction des ports.

Parfois même, elles sont la cause de véritables catastrophes, tel le raz de marée du 8 janvier 1913, à Casablanca, qui provoquait la perte de 4 voiliers, 3 remorqueurs, 9 barcasses, tandis que 13 autres barcasses étaient avariées.

C'est à partir de 1907 que la Marine militaire, chargée à cette époque des opérations de débarquement et d'approvisionnement du corps expéditionnaire, s'est préoccupée d'étudier les moyens de prévoir les houles.

Jusqu'en 1912, les Officiers des croiseurs de la division navale du Maroc firent de nombreuses observations qui permirent par la suite de localiser les recherches.

* *

Le 19 mai 1913, M. le Capitaine de vaisseau Simon, chef de la division navale au Maroc, signa-

lait dans un rapport adressé au Ministre de la Marine, la gêne, pour les opérations dans les ports, produite par les fortes houles venant du S.-W. au N.-W.

Il demandait qu'une étude fût faite pour essayer de prévoir ces houles. Y a-t-il relation entre le passage dans l'Atlantique de dépressions que nous pourrions ignorer et l'arrivée sur les côtes du Maroc des houles qu'elles produisent ? En établissant la carte météorologique de la région (La Corogne, Açores, Madère, Canaries) et en la comparant à l'état de la mer fourni par les ports, il devait être possible d'arriver à un résultat.

* *

Le 30 mai 1913, M. le Capitaine de frégate Roullin, Chef de la Section de Météorologie nautique, répond dans une note très documentée aux demandes du Commandant Simon.

Il estime que, si la prévision des houles « est possible dans quelques cas particuliers, elle ne peut être réalisée avec probabilité d'une façon générale ».

D'après le Commandant Roullin, la houle peut se produire soit par un fort vent (notamment N. W.) régnant sur la côte même du Maroc, soit par suite d'une profonde dépression ayant passé auparavant sur l'Atlantique Nord, les houles produites par cette dépression se propageant plus ou moins rapidement jusqu'aux côtes du Maroc.

Mais si ces fortes houles « sont la conséquence d'une dépression de l'Atlantique Nord », la réciproque n'est pas toujours vraie, des dépressions

La « Revue Scientifique » étant un organe de libre discussion scientifique, les opinions développées dans les divers articles et notes n'engagent que la responsabilité de leurs auteurs.

pouvant passer dans le Nord de l'Atlantique sans qu'il en résulte une aggravation sensible de la houle sur les côtes du Maroc.

Il semble donc que tout essai de prévision de ces houles devrait être précédé d'une étude très approfondie sur la corrélation qui peut exister entre l'état de la mer au Maroc et les caractères particuliers des dépressions qui en sont la cause.

En octobre 1913, M. le Lieutenant de vaisseau Lacroix reprend la question de la prévision des houles. Il vérifie en partie les conclusions édictées par le Commandant Roullin.

Étudiant les cartes isobariques du « Bureau Central Météorologique » du 1^{er} octobre 1912 au 1^{er} octobre 1913, il déduit de ses observations les conclusions suivantes :

Toute dépression passant entre les Açores et l'Islande amènera sur les côtes du Maroc une houle d'autant plus forte que la dépression sera plus profonde et plus étendue, plus rapprochée ou plus ou moins favorisée par l'état de la mer ou les vents régnants dans la région interposée entre elle et les côtes du Maroc.

Une dépression dont la houle rencontre un vent de N. W. ou du calme au large des côtes du Portugal, peut donner un raz de marée; une dépression identique rencontrant un vent de S. E. ne se fera pas sentir.

Il est quelques dépressions qui peuvent être éliminées *a priori*, dépressions à trajectoire très Nord comme celles qui passent au Nord de l'Islande, de même celles qui passent au Sud des Açores. De même une dépression qui n'atteint pas dans l'Ouest le 40° de longitude W. ne produit aucune houle.

Sans les avoir étudiées, le Lieutenant de vaisseau Lacroix signale (avec raison) que les dépressions situées entre les Açores et le continent peuvent aussi donner de la houle au Maroc.

En examinant la possibilité de la prévision, il estime que la connaissance de la dépression à son atterrissage en Europe (alors que la houle est déjà en route) suffit, le délai que laisse l'arrivée de la houle sur la côte Marocaine étant de 1 à 3 jours.

Dans un rapport en date du 18 septembre 1915, M. l'Enseigne de vaisseau Rolland propose que les stations qui avoisinent le Maroc (La Corogne, Ponta-Delgada, Funchal, Las Palmas) avertissent du passage des houles qui les rencontrent avant d'atteindre les côtes du Maroc.

Nous verrons que cette méthode, basée sur la connaissance des éléments de la houle en certains points éloignés de la côte marocaine, méthode qui ne pouvait être mise en pratique pendant la guerre, a rendu de grands services depuis 1921.

La question de la prévision des houles ne fit pas de nouveaux progrès durant la guerre.

Au début de 1919, nous l'avons reprise (1). M. le Capitaine de corvette Rouch, alors Chef du service météorologique de la Marine, voulut bien mettre à notre disposition les quatre années d'observations météorologiques (1915 à 1918) recueillies à Casablanca à bord des bâtiments de servitude.

Nous les avons étudiées en comparaison avec les bulletins du « Bureau Central Météorologique » et du « Meteorological Office ».

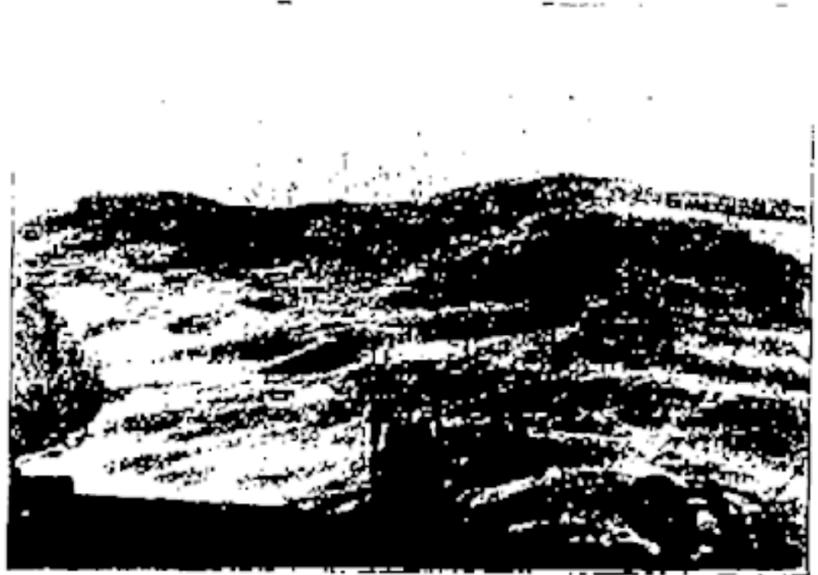


FIG. 369. — Grande houle au large de la côte du Portugal

La houle est produite exclusivement par le vent. A la différence des études strictement météorologiques, nous saisissons, dans ce domaine de l'océanographie dynamique, des rapports de cause à effet. Il suffit de connaître à temps les causes pour annoncer les effets.

En ce qui concerne les causes, nous n'avons pu, faute d'autres moyens, que considérer la *trajectoire des dépressions*, vieille méthode si décriée de certains météorologistes, mais qui permet néanmoins de donner des résultats satisfaisants; méthode qui, d'ailleurs, restera probablement, pendant de longues années, la base de toute prévision des houles.

Nous ne pouvions donc poursuivre, avec les

(1) *La Prédiction des Houles au Maroc*, par L. Gain, docteur ès-sciences, Adjoint au chef du service de la météorologie maritime. Annales hydrographiques 1919. — Paris. Imprimerie nationale.

matériaux dont nous disposions, qu'une étude très superficielle et nous en tenir, en ce qui concerne les résultats à obtenir, à un seul point de la côte marocaine, la région de Casablanca.

L'étude détaillée des 210 dépressions qui se sont succédées de 1915 à 1918, nous a permis de constater que la théorie de propagation des houles indiquée d'abord par le Commandant Roullin, puis reprise par le Lieutenant de vaisseau Lacroix, s'est trouvée confirmée.

La houle produite sur la côte du Maroc est donc la conséquence, dans la plupart des cas, des dépressions passant sur l'Atlantique Nord, dépressions qui ne nous étaient connues à cette époque que par leur arrivée vers le continent, l'Irlande ou l'Islande : ces dépressions donnent sur la côte marocaine, une houle de direction générale N. W.

Il y a lieu de tenir compte aussi des dépressions situées dans la zone sud Açores-Nord Canaries-Côtes d'Afrique qui peuvent donner de la houle venant des régions S. W. à W.

C'est pendant la période d'hiver que les dépressions sont à la fois les plus nombreuses et les plus profondes.

La vitesse de propagation de la houle est très variable. Une dépression arrivant au large de l'Islande se trouve à 1.600 milles environ de la côte marocaine. La houle se formera dans une région indéterminée entre l'Islande et le Sud du Groënland. En admettant que sa vitesse de propagation soit voisine de 15 à 20 nœuds à l'heure, elle mettra 3 à 6 jours à parvenir à la côte du Maroc. Or, bien avant ce délai, la dépression ayant dans beaucoup de cas une trajectoire W. E., sera signalée soit vers l'Islande, soit au Nord de l'Irlande. La présence de cette dépression sera donc connue deux à quatre jours avant l'arrivée de la houle au Maroc, temps

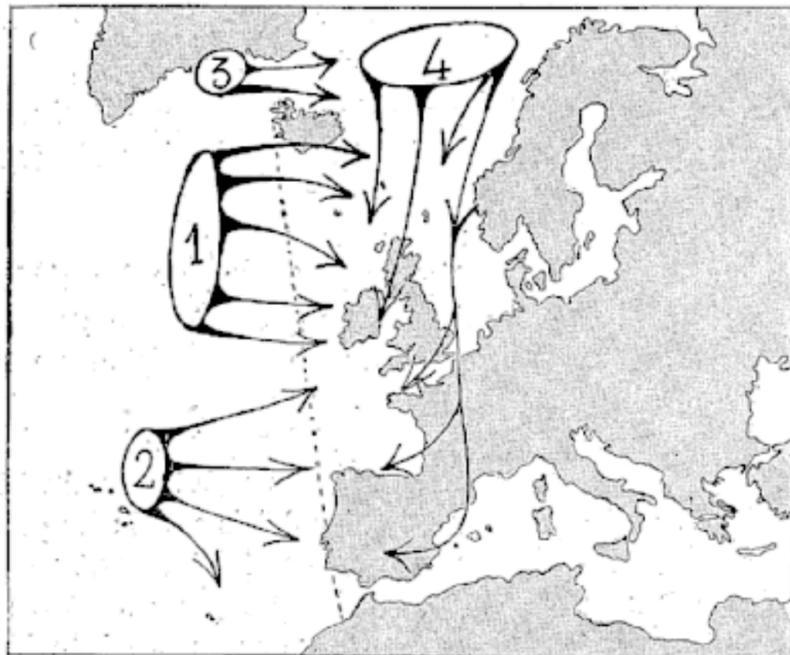


FIG. 370. — Principales trajectoires suivies par les dépressions (1915 à 1918)

largement suffisant pour la prédire et prendre les précautions nécessaires.

Il est évident que, plus la dépression sera Sud, moins la houle mettra de temps à gagner la côte marocaine. Mais, d'après de nombreuses observations, une dépression signalée au large de l'Irlande donne encore un délai de 24 à 48 heures avant l'arrivée de la houle à Casablanca.

Lorsqu'une dépression se dirige des Açores vers le continent, par la marche de cette dépression, par sa vitesse présumée, on est le plus souvent prévenu 24 heures à l'avance.

Nous avons été amenés à répartir les 210 dépressions étudiées en 4 groupes, dont les trajectoires sont représentées schématiquement à la figure 370.

Sur ces 210 dépressions :

- 130 (62 %) se rapportent au type 1,
- 31 (15 %) se rapportent au type 2,
- 36 (17 %) se rapportent au type 3,
- 13 (6 %) se rapportent au type 4.

Sur les 130 dépressions du type 1, 92 ont donné de la houle à Casablanca.

Sur les 38 dépressions restées sans effet, 15 se sont produites tandis qu'il existait un anticyclone sur la région Açores-Péninsule Ibérique, ou région Irlande-France-Açores ; — 4 se sont creusées sur place, trop dans l'Est pour que la houle produite puisse se faire sentir à Casablanca. 9 étaient des dépressions faibles, à vent modéré, qui n'ont pas soulevé une houle suffisante.

Sur les 31 dépressions du type 2, 24 ont produit des effets, en général faibles, à Casablanca.

Les 36 dépressions du type 3 n'ont donné aucune houle à Casablanca.

Sur les 13 dépressions du type 4, 4 ont donné de la houle. Ce sont des dépressions secondaires vers la Corogne et le Golfe de Gascogne, ou des dépressions dans la région Nord Maroc-Péninsule Ibérique.

Ce sont donc les houles produites par les dépressions des types 1 et 2 qui sont de beaucoup les plus fréquentes et les plus violentes à Casablanca.

Sur 161 dépressions appartenant aux types 1 et 2, 116 ont produit des houles plus ou moins fortes à Casablanca.

Sur 49 dépressions appartenant aux types 3 et 4, 4 seulement ont donné de la houle (en général faible) à Casablanca.

Nous avons en outre relevé 6 cas de mer houleuse à Casablanca qui n'ont pu s'expliquer par les dépressions passant dans le Nord. Elles devaient être la conséquence de centres cycloniques situés au large de la côte marocaine.

De nos observations, nous avons déduit les lois suivantes :

I. — La houle produite à Casablanca est la conséquence :

1^o Dans la plupart des cas, de dépressions passant sur l'Océan entre les Açores et l'Islande, dépressions qui dans l'état actuel de nos connaissances nous sont signalées à leur arrivée vers l'Islande ou l'Irlande. La houle sera d'autant plus forte que la dépression sera plus profonde et plus étendue, que les conditions de la zone interposée entre elle et le Maroc favoriseront son développement et sa propagation (vents de N. W. ou calmes). La houle, suivant l'emplacement de la dépression, mettra de deux à quatre jours à parvenir au Maroc ;

2^o Moins fréquemment, de dépressions se dirigeant des Açores vers le Portugal, le Golfe de Gascogne ou le Sud de l'Irlande. La mer, pour ces dépressions, sera rarement grosse à Casablanca. La houle mettra de 24 à 48 heures à parvenir au Maroc ;

3^o Exceptionnellement, de centres les plus souvent secondaires provenant de dépressions venant du Nord (entre Islande et Norvège), centres qui arrivent soit vers le Golfe de Gascogne, soit vers le Sud de l'Espagne et le Nord du Maroc.

II. — La houle est plus ou moins atténuée ou fait défaut à Casablanca :

1^o Quand un anticyclone s'interpose entre le Maroc et la dépression, notamment lorsque l'anticyclone s'étale sur la région Açores-Portugal ;

2^o Lorsque les dépressions passent au Nord de l'Islande ;

3^o Dans la plupart des cas, lorsque les dépressions descendent sur l'Europe en passant entre Islande-Norvège ;

4^o Lorsque les dépressions, même profondes et à vents forts, se déplacent rapidement vers l'Est.

Nous signalions l'intérêt de créer un centre



FIG. 371. — Houle modérée déferlant sur la côte

de prévision des houles dans un port du Maroc comme Casablanca.

De plus, nous faisons remarquer que la prévision de la houle eût été encore améliorée si, comme il en était déjà question avant 1919, on arrivait à faire transmettre par T.S.F., aux navires parcourant l'Atlantique, des observations régulières.

Cette étude, quoique très incomplète, aura cependant permis de démontrer que la prédiction des houles n'était pas chose négligeable, — qu'elle pouvait déjà se faire (même par les procédés barbares que nous avons dû employer) avec un pourcentage intéressant de réussites. Appelée à rendre des services, il y avait donc lieu de s'en préoccuper et de mettre sur pied une organisation technique de prévision pour les différents ports de la côte marocaine.

Un tel service avait un intérêt économique absolu et les faibles dépenses nécessaires à son entretien paraissent presque négligeables, comparées aux sommes énormes qu'il pouvait faire économiser.

Le Ministre de la Marine avait prescrit au chef de la division navale du Maroc, de désigner une formation maritime pour mettre à l'épreuve les règles établies *a posteriori* par nous et pour formuler une appréciation sur leur valeur pratique.

En juillet 1919, M. le Capitaine de vaisseau Chauvin tenta d'organiser un service de prédiction, mais l'insuffisance des moyens mis à sa disposition ne lui permirent pas de mener à bien son projet qui fut abandonné en 1921.

Entre temps, M. le Lieutenant de vaisseau Montagne, commandant le centre d'aviation de Kénitra, s'était intéressé à la question des houles. Il condensa dans une *Note sur les prédictions de la houle faites à Médéja et Rabat en 1920-1921* le résultat de 18 mois d'observations.

Il concluait ainsi :

« 1^o Nos observations montrent que les règles de M. Gain permettent de connaître une grande partie des causes générales de l'apparition de la houle sur la côte du Maroc.

« 2^o Ces règles permettent seulement de faire pour les ports du Nord du Maroc des prévisions d'arrivée de houle qui sont vérifiées 3 fois sur 4 ; les prédictions manquent un peu de précision tant pour l'heure d'arrivée de la houle que pour sa force ;

« 3^o En examinant le nombre assez considérable de cas où la houle est arrivée à l'improviste (25 fois sur 100 au moins) il semble que d'autres influences

générales s'exercent encore dans des conditions qui n'ont pas été précisées jusqu'ici. »

De plus, le Lieutenant de vaisseau Montagne remarquait qu'il était indispensable pour la prévision d'avoir, non seulement la distribution des pressions sur les côtes occidentales d'Europe, mais encore de connaître la situation isobarique de l'Atlantique central et même occidental (Ouest Açores-Nord Bermudes).

Les résultats imparfaits obtenus pendant ces 18 mois d'études demandaient de nouvelles observations pour arriver à des connaissances plus approfondies sur la propagation des houles et leur prévision.

II

LE SERVICE DE LA PRÉDICTION DE LA HOULE AU MAROC

La seconde partie de cette étude est le résumé d'un travail du plus haut intérêt paru récemment dans les *Annales Hydrographiques* 1922 (1). Nous avons puisé largement dans les remarquables observations de M. le Lieutenant de vaisseau Montagne, chef du « Service de la Prédiction de la houle au Maroc », et nous le remercions vivement d'avoir bien voulu mettre à notre disposition les figures 372 à 377 qui illustrent cet article.

M. Delpit, le Directeur général des Travaux publics du Protectorat, avait fort bien compris l'intérêt que présentait pour le Maroc, la création d'un *Service de prédiction des houles*. A la date du 1^{er} juillet 1921, le Lieutenant de vaisseau Montagne était chargé de la direction et de l'organisation du Service à Rabat. Il chercha et trouva de précieux con-

(1) *Le Service de la Prédiction de la Houle au Maroc*, par le Lieutenant de vaisseau Montagne. *Annales hydrographiques* 1922. — Paris, Imprimerie Nationale 1922.

cours à l'étranger en la personne de M. le Vice-Amiral Neuparth, Ministre de la Marine de la République portugaise, puis Directeur du Service Hydrographique — et de M. le Colonel Chavès, le savant Directeur du Service Météorologique des Açores. Le Portugal créa des postes d'observations de la houle et transmit des avertissements par T.S.F. De même, aux Açores, le Colonel Chavès créa des stations dans les points les plus intéressants de l'archipel.

Aidé de ces précieux concours à l'étranger, M. Montagne étudia les diverses catégories de houles au Maroc, au Portugal et aux Açores; l'origine des houles observées au Maroc; il chercha à étendre les méthodes de prévision en se basant sur l'observation directe de la houle (hauteur des rouleaux et périodes de la houle). Il créa peu à peu un service d'avertissements qui a déjà rendu de grands services.

Diverses catégories de houles observées au Maroc. — Le Lieutenant de vaisseau Montagne s'est d'abord préoccupé de placer des observateurs expérimentés dans les principaux ports de la côte marocaine. A des heures déterminées, il leur a fait noter d'un point peu élevé situé à terre, la hauteur des rouleaux de houle, d'après le code suivant, code très simple, mais suffisamment précis pour donner les résultats cherchés :

0 — houle nulle	5	} houle assez forte
1 { houle très faible	6	
2 { houle très faible	7 — houle forte	
3 { houle modérée	8 — houle très forte	
4 { houle modérée	9 — houle exceptionnellement forte	

L'expérience a montré que les observations fournies par le personnel des postes (marins ayant une grande pratique de la mer) étaient parfaitement comparables entre elles et d'une précision très suffisante. Par une représentation graphique de l'état

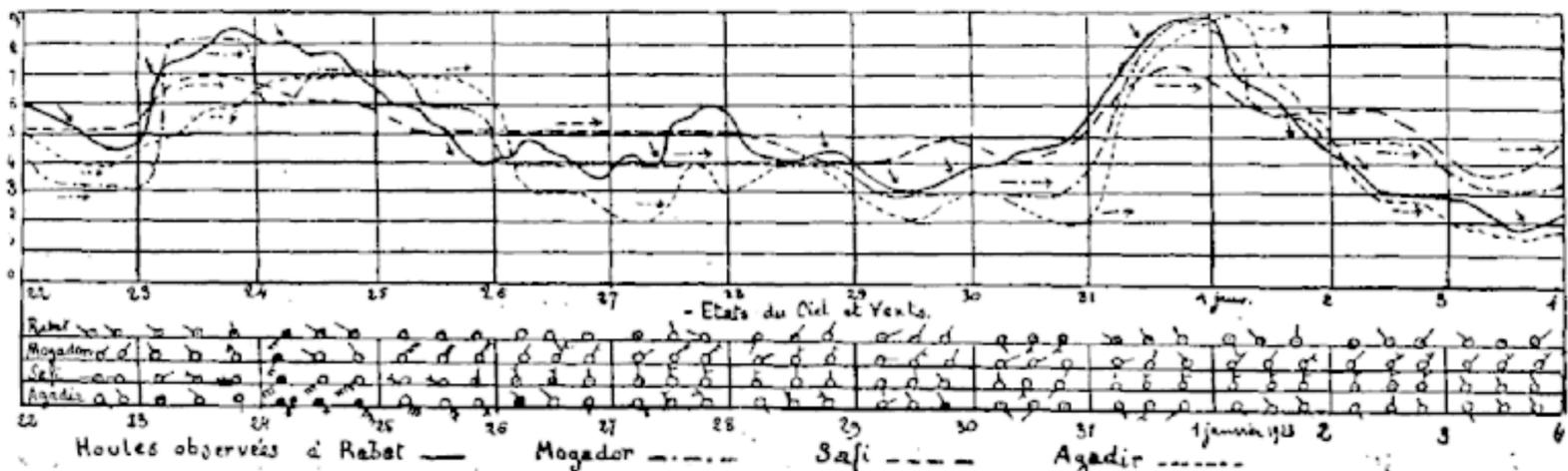


FIG. 372. — Graphique emprunté aux archives de la station centrale du service de la prédiction de la Houle à Rabat, donnant à la partie supérieure les courbes de hauteur des rouleaux à Rabat, Mogador, Safi, et Agadir. Les flèches accompagnant les courbes indiquent la direction observée de la Houle dans les différentes stations. A la partie inférieure du graphique sont indiqués (en signes conventionnels) les vents et états du ciel dans les mêmes stations.

de la mer observé dans les différents ports, on constate que les courbes sont le plus souvent superposables et d'une similitude très grande; elles donnent une idée très nette des améliorations ou des aggravations de la houle (figure 372).

Parfois l'accord entre les différents ports n'existe pas; ces discordances sont surtout marquées lorsque la grande houle ne vient pas de l'W. N. W. au N. W.

Les conclusions suivantes ont été tirées des observations comparées de la houle faites en 1921-22-23.

1° Entre Méhédya et le cap Cantin (Méhédya, Rabat, Casablanca, Mazagan) les houles sont observées dans des conditions identiques, les plus fortes et les plus fréquentes étant du N.-W. à l'W.-N.-W. — Houles d'W. atténuées, de W. S. W. peu sensibles, de S. W. presque amorties.

2° Entre le cap Cantin et l'Oued Sous, le régime de la côte est plus variable, dépendant surtout de la forme des abris et des ports. Les houles de N. W. qui sont les plus fréquentes, arrivent en général un peu atténuées. Les houles de S. W. sont surtout à craindre l'hiver.

3° Les houles d'W. frappent toute la côte à la fois. Elles sont un peu atténuées entre Méhédya et Mazagan.

Houles observées au Portugal. — Les observations sont faites depuis 1922 sous la direction de M. le Capitaine de frégate A. Carvalho Brandao, Directeur du « Service de Météorologie Nautique », créé par M. le Vice-Amiral de Neuparth. Ce service est en relations directes avec le « Service de prédiction de la houle au Maroc ». Des observations identiques à celles du Maroc sont faites à Oporto, Ericeira, cap Razo, cap Saint-Vincent.

Les phénomènes sont à peu près les mêmes que sur la côte du Maroc, avec un décalage de 6 à 12 heures.

Sous l'action de forts vents du Nord, soufflant

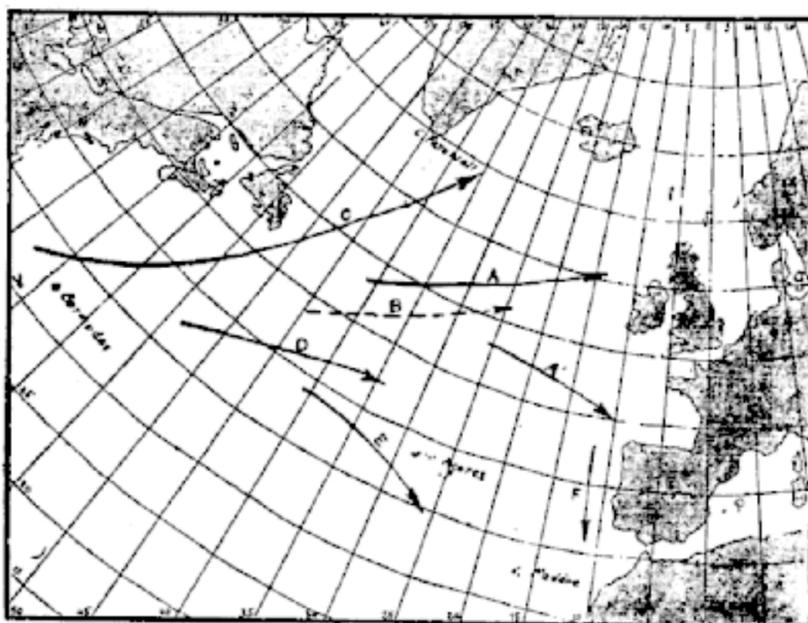


FIG. 373. — Principales trajectoires suivies par les dépressions (1^{er} Juillet 1921 à 1^{er} Juillet 1923)

sur la côte portugaise, il se forme de Méhédya à Casablanca, une houle courte de N. qui arrive avec 24 heures de retard.

Lorsque les houles de S.-W. sont fortes au Maroc, elles arrivent atténuées sur la côte du Portugal, avec un retard de 24 heures.

Houles observées aux Açores. — D'après les observations des 4 postes créés par M. le Colonel Chavès, il a été possible de déduire les indications suivantes :

1° Les houles venant du N. W. sur la côte marocaine et ayant une origine très lointaine, passent aux Açores avec la direction N. W. à N. en avance de 1 jour 1/2 à 1 jour sur le Maroc.

2° Les houles de W. N. W. à l'W. au Maroc sont observées aux Açores avec une direction N. W. à W. N. W. et une avance de 2 jours 1/2 à 1 jour.

3° Les houles de l'W. à l'W. S. W. au Maroc passent aux Açores avec la même direction et une avance de 2 jours 1/2 à 1 jour 1/2.

4° Les houles de S. W. au Maroc ne sont pas ressenties aux Açores.

Origine des diverses houles observées au Maroc. —

En comparant les phénomènes observés aux Açores et sur les côtes du Portugal, M. Montagne a pu préciser les directions d'arrivée au large et caractériser la sensibilité particulière des ports du Maroc aux différentes sortes de houles.

Pour connaître la direction de la houle au large de la côte marocaine, il a utilisé les observations des paquebots de la Compagnie Générale Transatlantique « *Volubilis* », « *Figuig* », « *Martinique* ».

Du 1^{er} juillet 1921 au 1^{er} janvier 1923 :

(5 pour 100 des houles observées n'ont pu être identifiées). Le pourcentage des houles identifiées a été le suivant (voir fig. 373) : 44 pour 100 correspondent aux dépressions de trajectoires A et A' qui donnent une houle de N. N. W. à W. N. W. Les dépressions du type A' sont des dépressions souvent secondaires dont la houle met 1 jour 1/2 à 2 jours à arriver au Maroc.

14 pour 100 correspondent au type B, dépressions à trajectoire à peu près analogue à A, mais stationnant dans l'Atlantique central, ou abordant tardivement les côtes occidentales d'Europe. Elles donnent une houle 2 ou 3 jours après qu'elles ont commencé de stationner au large du méridien 20°.

Les houles dérivant des types A, A', B sont les plus fortes et les plus dangereuses.

8 pour 100 correspondent au type C, dépressions qui n'abordent pas les côtes occidentales d'Europe, à trajectoire souvent S. W. N. E. ou stationnant à l'W. ou au N. W. des Açores : elles donnent une houle de W. N. W. à W.

7 pour 100 correspondent au type D, dont la houle, de direction W. S. W. est particulièrement sensible au Sud du cap Cantin.

7 pour 100 correspondent au type E, donnant de fortes houles de S. W. à Safi et à Agadir.

15 pour 100 se rapportent au type F et produisent des houles de N. à N. N. W.

Les houles soulevées par les vents des centres cycloniques des types C, D, E paraissent plus faciles à prévoir en utilisant les avertissements donnés par les Açores et le Portugal.

* * *

Fonctionnement actuel du service de la prédiction de la houle. — La station centrale du service de prédiction de la houle centralise chaque jour les observations maritimes spéciales effectuées sur la côte du Portugal et du Maroc, et les radiogrammes internationaux nécessaires à l'établissement des cartes isobariques.

A 8 h. 30 les ports reçoivent par télégrammes, et les bâtiments à la mer par T.S.F., un message donnant l'état de la mer sur la côte (houle) et les conditions de travail qui en résultent dans les ports.

a) *Pour les ports dont le trafic ne dépend pas de l'heure de la pleine mer* (Tanger, Casablanca, Mazagan, Safi, Mogador), le message donne :

1° État des communications avec la terre à 7 h. du matin,

Communications très faciles,
Communications faciles,
Communications normales,
Communications possibles,
Communications difficiles,
Communications douteuses,
Communications interdites.
Mouillage dangereux,
Mouillage très dangereux,
Mouillage intenable.

2° Amélioration ou aggravation constatée depuis la veille au soir :

Stationnaire,
Amélioration légère,
Amélioration sensible,
Amélioration grande.
Aggravation légère,
Aggravation sensible,
Aggravation grande.

b) *Pour les ports dont le trafic dépend de l'heure de la marée.* Pour l'heure de la pleine mer de jour qui a précédé 7 heures du matin, le tableau 1 et la hauteur d'eau trouvée sur la barre.

Pour 7 heures du matin, le tableau 2 (depuis la pleine mer précédente); et la force de la houle ou la brume, au moment de l'observation.

Ce bulletin quotidien peut être suivi d'avertissements pour le lendemain, — ou bien si les pré-

tions ne peuvent être faites le matin, elles sont envoyées vers 13 heures aux ports, ou à 16 heures par T.S.F. aux navires en mer.

L'avertissement comprend :

a) L'appréciation sur les changements à venir (tableau 2).

b) La force de la houle (voir tableau 3 au paragraphe « Diverses catégories de houles au Maroc ».)

Lorsque la situation le permet, les probabilités pour le surlendemain sont ajoutées.

Des avertissements supplémentaires sont adressés aux ports et aux bâtiments à la mer dans le cas de grosses houles observées par Agadir (houles de S. W.), ou par Oporto ou Lisbonne (houles de N. W.)

Exemple de bulletin de la situation des ports et de prédictions.

	Etat de la côte le 15, à 7 heures.		
	Communications avec terre	Amélioration ou aggravation constatée	Observations
Tanger	Faciles	Stationnaire	Pas de houle
Casablanca	Faciles	Stationnaire	Faible houle de l'W.
Safi	Normales	Légère aggravation	Faible houle de S.W.
Mogador	Faciles	Légère amélioration	Brume
Agadir	Faciles	Stationnaire	Houle moyenne de S. W.

Ports à barre

	Le 14, à 13 heures.		Le 15, à 7 heures.	
	Communications avec terre	Hauteur d'eau	Amélioration ou aggravation constatée	Observations
Rabat	Très faciles	2 m. 50	Aggravation sensible.	Houle moyenne de N.W.
Méhédyia	Faciles	3 m. 60	Légère aggravation.	Faible houle, brume.

Prédictions pour le 16. — Aggravation légère, houle assez forte de l'W.

Probabilités pour le 17. — Houle forte.

Actuellement, les services d'exploitation des ports de Méhédyia-Kénitra, Rabat et Safi, se basent, pour leurs travaux, sur le service des avertissements de la houle.

* * *

Parallèlement à la méthode que nous venons de passer en revue, le Lieutenant de vaisseau Montagne s'est attaché à rechercher une *méthode de prédiction basée directement sur l'observation de la houle.*

Partant de ce fait que les graphiques des diffé-

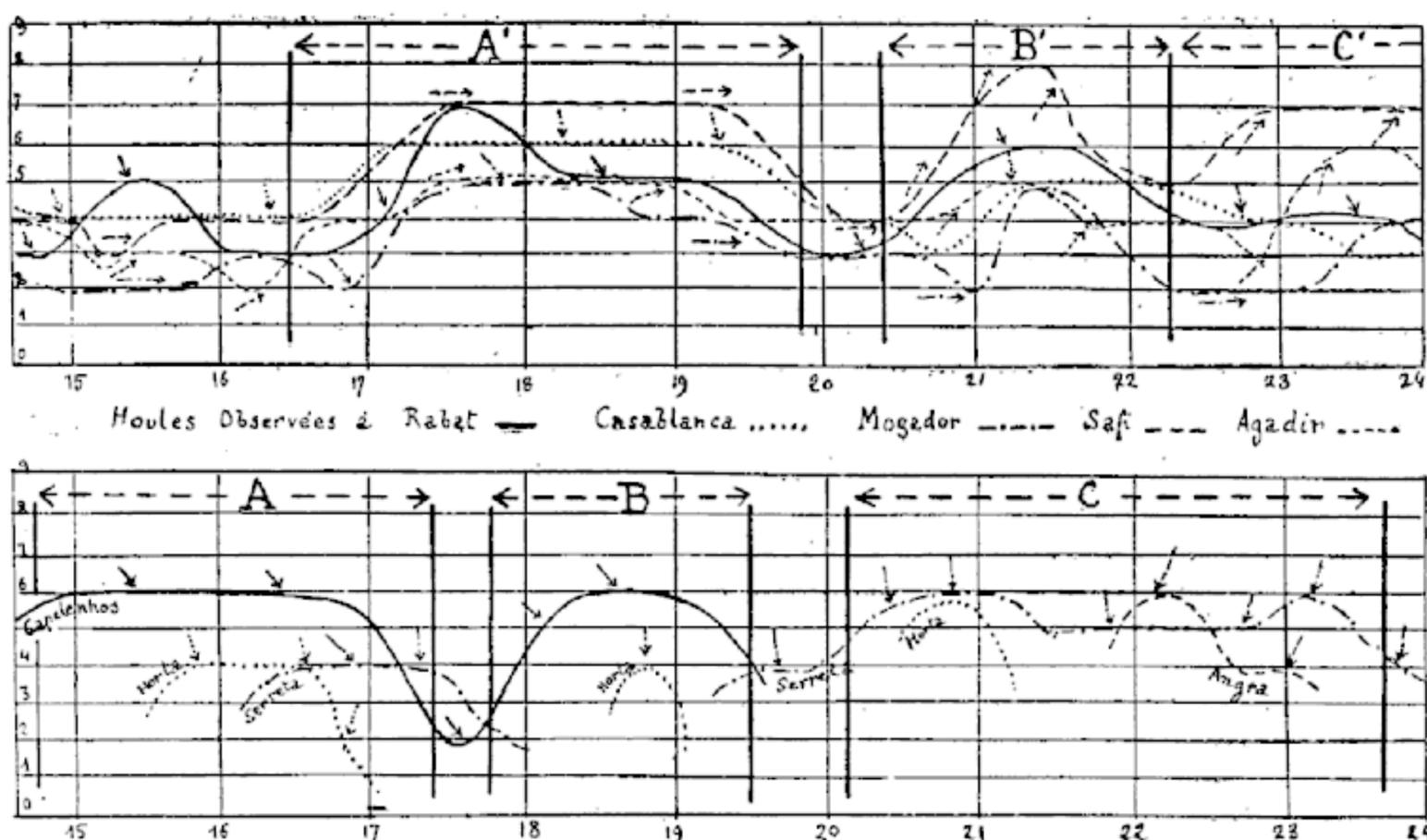


FIG. 374. — Exemple des Houles passant aux Açores qui sont arrivées au Maroc avec un retard de deux jours et demi. En haut : Houles observées du 15 au 24 novembre 1921, au Maroc. En bas : Houles observées du 15 au 24 novembre 1921, aux Açores. La similitude des deux graphiques est complète. La courbe A des Açores correspond à la courbe A' du Maroc, B à B', C à C'.

rents postes représentant la hauteur des rouleaux (1) étaient le plus souvent superposables, il en a déduit qu'il pouvait en être de même des observations des stations lointaines. Il lui a donc paru possible de donner à ces observations une valeur d'avertissements.

C'est ce que l'expérience a vérifié, grâce aux excellentes observations faites aux Açores par le Colonel Chavès.

Du 1^{er} juillet 1921 au 1^{er} janvier 1922, il y a eu 32 cas de houle de N. N. W., N. W. ou W. sur la côte marocaine : 30 fois ces houles ont été observées aux Açores. L'avance moyenne de l'observation a été de 1 jour 8/10 avec une erreur moyenne de 0 jour 7/10 ; 8 fois sur 30 la houle provenait de dépressions lointaines, dont il eût été difficile de prévoir l'effet au Maroc. La figure 374 permet de constater la similitude des graphiques des Açores et du Maroc avec retard de 48 à 60 heures pour le Maroc, du 15 au 24 novembre 1921.

La figure 375 montre la similitude des graphiques du Maroc et du Portugal (Cap Razo), avec un décalage moyen de 12 heures avant que se fassent sentir les très fortes houles du 31 décembre 1922. L'avertissement avait devancé de quelques heures l'arrivée des premiers rouleaux.

Observations de la période de la houle. — Afin de

(1) Au Maroc, la hauteur des rouleaux de houle varie de 0 m. 50 à 5 mètres.

noter quantitativement les phénomènes observés sur la côte marocaine, le Lieutenant de vaisseau Montagne s'est attaché à mesurer la *période de la houle*, c'est-à-dire le temps qui s'écoule entre le passage successif de deux rouleaux au-dessus d'un même point. Lorsque la grosse houle est bien établie, la période reste constante pendant de longues heures, les rouleaux conservant la même hauteur. Quand l'amélioration se produit, il subsiste des séries de rouleaux qui deviennent de plus en plus rares. Des variations de la période sont souvent lentes et progressives au cours de la journée (quelques dixièmes de seconde à l'heure (fig. 376), ou bien brusques (2 à 3 secondes à l'heure (fig. 377). Ces varia-

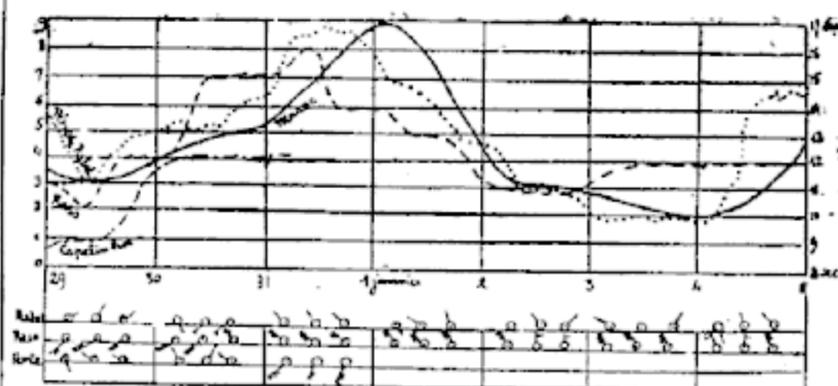


FIG. 375. — Houles observées au Maroc, au Portugal, et aux Açores. La courbe portant l'indication « Maroc » représente la moyenne des ordonnées de tous les ports du Maroc. La période de la Houle à Rabat est indiquée par le pointillé. (La valeur de la Houle est indiquée par l'échelle de 0 à 9 qui limite à gauche le graphique ; la valeur des périodes est indiquée en secondes par l'échelle qui limite à droite le graphique).

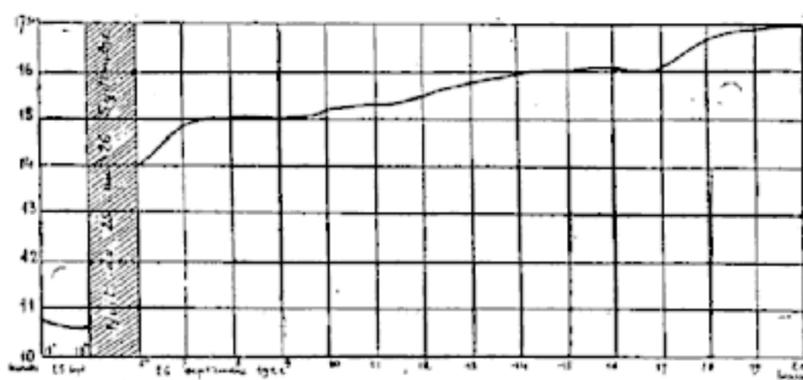


Fig. 376. — Périodes de la houle à Rabat du 25 septembre 1922, 17 heures au 26 septembre 1922, 20 heures. (Augmentation lente.)

tions coïncident généralement avec le passage de dépressions profondes sur l'Atlantique. Les périodes observées à Rabat d'octobre 1921 à avril 1923 ont été comprises entre 7,5 secondes et 20 secondes, les houles les plus courtes étant la conséquence soit d'une dépression rapprochée, soit de brises de Nord soufflant sur la côte du Portugal. Les périodes supérieures à 18 secondes paraissent provenir de dépressions dans les régions Nord Bermudes-Terre-Neuve, ou Groënland.

Une dépression très éloignée ne fait sentir son action au Maroc que si elle fait naître une houle de forte période et de grande longueur.

Aux chapelets de dépressions correspondent des séries d'augmentation et de diminution des périodes. A une diminution de la période, correspond une diminution de la hauteur des rouleaux ; l'augmentation de la période précède en général de quelques heures l'aggravation de la houle.

La connaissance de la période de la houle et de ses variations est donc d'une grande utilité pour des avertissements supplémentaires à courte échéance. La figure 377 montre à la date du 18 décembre 1922 l'apparition soudaine d'une houle très longue, dont la période a décliné rapidement, et qui était due à la réunion de deux dépressions voisines du Maroc.

**

Perfectionnements à apporter à la méthode de prédiction. — A la suite des importants résultats obtenus, il a paru indispensable à M. Montagne de posséder un appareil mouillé par 10 à 15 mètres de fond à une certaine distance du rivage, relié à la terre par une canalisation pneumatique ou électrique, enregistrant automatiquement la hauteur et la période des rouleaux.

Il serait en outre désirable d'augmenter le nombre des observations à la mer et de créer un code approprié basé sur l'expérience acquise au Maroc, qui permette d'utiliser les observations de la houle au large (hauteur des rouleaux, direction de la houle

et « tendance » de l'état de la mer, observations indispensables, facilement comparables entre elles, à condition d'être faites par des marins).

**

Nous avons tenu à examiner avec quelques détails les remarquables observations obtenues au « Service de la prédiction de la houle » à Rabat. Grâce aux travaux de son chef, la question de la prédiction de la houle sur la côte marocaine est un fait accompli ; il reste bien encore un pourcentage de houles non prédites, mais la méthode, qui a déjà fait de très grands progrès, est appelée à se perfectionner encore.

« La méthode actuelle de prédiction (écrit M. Montagne) basée sur l'étude des cartes isobariques de l'Atlantique, ne permet pas encore d'arriver à donner aux ports et aux navires une complète sécurité : il subsiste une proportion de 20 à 25 % de houles non prédites. Grâce aux perfectionnements apportés dans la transmission radiotélégraphique à la mer, il sera possible, dans un avenir très rapproché, de connaître de mieux en mieux la situation météorologique de l'Atlantique central et occiden-

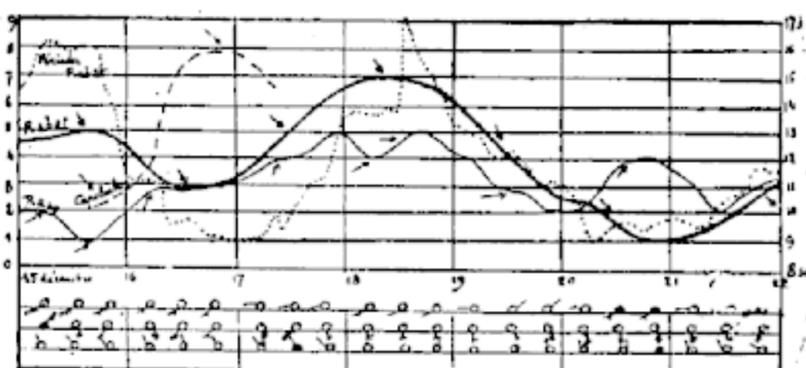
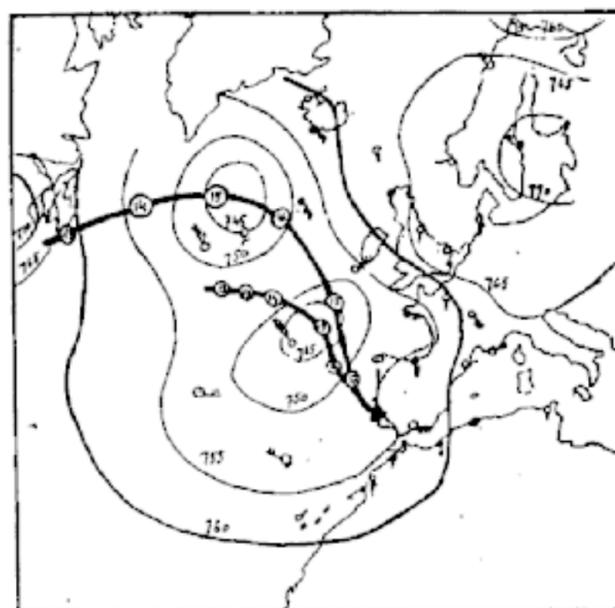


Fig. 377. — Houles observées au Portugal, au Maroc et aux Açores et périodes à Rabat du 15 au 22 décembre 1922. On aperçoit nettement à partir du 17 une augmentation régulière de la période sous l'action du vent, puis le 18 une très brusque variation de période qui paraît être un effet de la réunion des deux dépressions.

tal, et par suite, les imperfections de la méthode actuelle disparaîtront en partie.

« Cependant une assez forte imprécision subsiste dans la valeur des prédictions (instant d'arrivée de la houle, importance des effets). Il importe donc de serrer de plus près l'étude de la houle et d'adjoindre aux indications générales que donne la méthode actuelle, un système d'avertissements précis que l'observation de la houle dans des stations éloignées et au Maroc même, peut aisément donner. »

Les premières études entreprises avec des procédés grossiers montrent qu'il est possible d'arriver à des résultats très satisfaisants. Il y a lieu d'augmenter la valeur des prévisions en utilisant des appareils enregistreurs mesurant les caractéristiques de la houle. De plus, une étude objective des caractéristiques de la houle est nécessaire; il faudrait entreprendre une série d'études comparées de la houle à la mer et sur les côtes du Maroc, du Portugal, des Açores, de la France (Golfe de Gascogne et Finistère); l'on voit que ces travaux s'orientent de plus en plus dans la voie de l'océanographie dynamique. Enfin, dans le code employé pour les observations des navires, il serait indispensable d'incorporer un groupe approprié à la prédiction de la houle.

Dans l'avenir, deux études viendront se greffer sur celle de la houle :

A) *L'étude des courants*. — Le sens des courants sur la côte du Maroc paraît en relation assez étroite avec la circulation des dépressions dans l'Atlantique. Les fortes houles de N. W. qui battent la partie du virage entre Tanger et le cap Cantin, chargent de sable les eaux côtières. Les courants entraînent ainsi les sables vers le Nord ou vers le Sud, et il peut en résulter d'importantes modifications sur la valeur des fonds au voisinage des ouvrages des ports.

De même, il semble que l'apparition du courant de S. W. dans le sud du Maroc, précède, dans certaines conditions, les houles de S. W.

Ainsi, l'étude des courants peut apporter des indications utiles dans la construction des ports et la prédiction de la houle.

B) *L'étude des brumes marines*. — Les brumes sont fréquentes sur les côtes du Maroc de mai à août. Elles gênent la navigation aérienne et maritime. Leur formation paraît liée à la présence de courants froids ou chauds au large de la côte.

Ainsi, les marins et le service hydrographique de la Marine poursuivent patiemment, et sans publicité bruyante, des études d'océanographie voisines de celles qui peuvent être du ressort de la météorologie pure. Elles diffèrent sensiblement de ces dernières par la méthode et les résultats.

* *

Nous avons vu que les effets produits par la houle sur la côte marocaine peuvent être désastreux pour les ports, leur matériel et les navires qui y font escale, s'ils ne sont prédits.

Les exemples suivants nous montrent l'intérêt qu'il faut apporter aux prédictions du Service central de Rabat.

Les deux forts raz de marée du 31 décembre 1922, 1^{er} janvier 1923 et 7 février 1923 ont pu être prédits une journée à l'avance. Les marins ont pris leurs précautions dans les ports. Les dégâts, très réduits, auraient été nuls, si l'on avait tenu compte davantage des avis du service des prédictions.

Les prédictions sont utiles, non seulement pour éviter les destructions de la grosse houle, mais encore pour faciliter les travaux de sauvetage sur les navires échoués, remorquer en sécurité les navires en avarie. Un exemple est donné par l'opération de remorquage exécutée en avril 1923 entre Casablanca et Marseille. Le vapeur *Marocain* immobilisé par de graves avaries aux machines, devait être remorqué par le *Vanneau* pour entrer en réparations à Marseille. En raison du tonnage relativement élevé du *Marocain* et du matériel de remorquage utilisé, il était nécessaire de pouvoir prédire à temps 48 heures de *mer belle sans houle*, entre Casablanca et Tanger.

L'appareillage fixé vers le 10 avril, fut retardé en raison du mauvais temps. Le 14 avril, malgré le beau temps à Casablanca, le Service de Prédiction donnait un avis défavorable, en raison de l'arrivée d'une houle assez forte attendue pour le 15 et qui survint en effet dans la soirée du 15. L'appareillage, fixé à nouveau le 17 au matin, fut avancé de 12 heures sur les indications du « Service de la Prédiction », car l'amélioration constatée devait, en raison de la situation, ne pas se prolonger au delà du 18 avril dans la nuit. En effet, dans la nuit du 18 au 19, une houle modérée, puis assez forte, s'établissait sur toute la côte.

Cette opération de remorquage, dont la réussite assurait un bénéfice appréciable à l'entreprise, put être ainsi effectuée dans d'excellentes conditions, et en évitant des risques considérables pour le matériel.

* *

Avec un service d'avertissements bien outillé, parfaitement documenté, la sécurité peut être établie sur la côte marocaine. Chacun travaillera avec confiance, sachant que tout mouvement de houle qui pourrait apporter le trouble dans la vie d'un port, sera décelé suffisamment à temps pour per-

mettre de prendre les précautions nécessaires et éviter ainsi des pertes de matériel.

Les résultats, déjà obtenus, sont positifs, tangibles — puisqu'il est préservé chaque année de la destruction, plusieurs millions de matériel, et que l'exploitation des ports n'en est rendue que plus aisée.

Nous nous faisons un devoir et un plaisir de rendre tout particulièrement hommage à M. le Lieutenant de vaisseau Montagne pour l'œuvre utile qu'il a entreprise et menée à bien au Maroc.

L. GAIN,
Docteur ès-sciences.

LA QUESTION DES NITRATES SOUS LA RESTAURATION

Il nous a paru intéressant de rappeler à l'occasion du centenaire de Berthollet, le rôle prépondérant que cet illustre savant a joué, il y a un siècle, lorsque la question de la production du nitrate de potasse se posa devant le Parlement français.

L'exposé que nous en donnons se rapporte à la législation salpêtrière du XIV^e au XVIII^e siècle, aux importateurs de nitrate, aux vitrières artificielles, à la liberté et la protection des industries essentielles pour la défense nationale.

* * *

Au mois de novembre de l'année dernière fut célébré, dans l'intimité de la petite patrie savoyarde, le centenaire de la mort du comte Claude-Louis Berthollet, né en Savoie, à Talloire, le 9 décembre 1748, et mort à Arcueil, près Paris, le 6 novembre 1822. Berthollet fut à la fois un des premiers théoriciens de la Chimie et un chimiste industriel avisé heureusement réalisateur ; à ce double titre sa mémoire doit être honorée par la reconnaissance publique.

Lors de la seconde Restauration, ce grand savant fut nommé membre de la Chambre des Pairs et dans cette assemblée il eut à intervenir plusieurs fois à propos de questions techniques, celle des salpêtres, par exemple, la question des nitrates de l'époque.

Le discours qu'il prononça à cette occasion, le 6 mars 1819, est plein d'enseignements pour qui veut le relire au lendemain du congrès de chimie

industrielle (1) où les relations de la chimie et de l'agriculture ont été particulièrement bien exposées et au moment où notre Parlement examine un projet de loi concernant la fabrication de l'ammoniaque synthétique. On sait que, de nos jours, la question des nitrates est devenue par extension celle des produits azotés (nitrates de soude et de potasse, ammoniacque, cyanamide, nitrures, etc...), la chimie de synthèse ayant fait dans cette voie d'immenses progrès et la réaction d'oxydation de l'ammoniaque pour obtenir l'acide nitrique et par conséquent les nitrates étant réalisable sur le plan industriel d'une façon courante.

C'est une histoire pleine d'attrait que celle des nitrates, substances de vie et de mort, employées aujourd'hui dans les arts techniques, l'agriculture, la fabrication des poudres et des explosifs, et devenues ainsi essentielles pour l'existence et la défense des nations modernes.

Lorsque furent découvertes les propriétés propulsives des mélanges salpêtrés, connus depuis longtemps et utilisés comme feu de guerre, le problème des nitrates s'est posé. Les quantités de salpêtre cristallisant à la surface des murailles étaient insuffisantes pour assurer la fabrication de la poudre à canon réclamée par les artilleurs. Il fallut extraire la précieuse substance de la profondeur des matériaux qui en étaient imprégnés et c'est ainsi, sous la pression de cette obligation, que naquit une servitude nouvelle pour la propriété immobilière. Un monopole d'Etat fut instauré avec le droit pour les représentants de l'administration royale de disposer des *matériaux de démolition* et des *terres de fouilles*, c'est-à-dire des terres provenant du sol des écuries et des dépendances des habitations.

Ce droit régalien nécessita, comme bien on pense, une législation sévère qui motiva de nombreuses ordonnances, dont les principales furent celles de François I^{er}, en 1540, et Charles IX, en 1572. Sous Louis XIV, en 1665, le privilège d'Etat fut conféré à des fermiers qui devaient fournir gratuitement la poudre aux armées, mais prélevaient de sérieux bénéfices sur la vente aux particuliers de la poudre, du salpêtre et des grains de plomb à giboyer. Ces bénéfices devinrent rapidement si considérables qu'en 1770, les fermiers furent obligés de verser une redevance au trésor royal. Cette mesure fut en partie inopérante et les abus, les réclamations qu'ils entraînèrent, dont la plupart d'ailleurs étaient parfaitement fondées, nécessitèrent le rétablissement de la régie.

A cette époque troublée du XVIII^e siècle, les

(1) Troisième Congrès de Chimie industrielle, Paris, 21 octobre 1923.