

*Março de 1938*

# A TERRA

*Revista Portuguesa de Geofísica*

Publicação subsidiada pelo  
INSTITUTO  
PARA A ALTA CULTURA



**33**

*Coimbra*

# A T E R R A

REVISTA PORTUGUESA DE GEOFÍSICA

Director e Administrador

**RAÚL DE MIRANDA**

Assistente de Geografia Física e Física do Globo na Universidade  
de Coimbra

EDITOR

**João Ilídio Mexia de Brito**

Professor auxiliar dos Liceus

REDACTOR PRINCIPAL

**António Duarte Guimarães**

Assistente da Faculdade de Ciências  
da Universidade de Coimbra

SECRETÁRIO DA REDACÇÃO

**Dâmaso José S. Gomes**

Licenciado em Ciências Físico-químicas  
pela Universidade de Coimbra

Redactor - Representante em Lisboa :

**Adriano Gonçalves da Cunha**

Assistente da Faculdade de Ciências  
da Universidade de Lisboa  
e Investigador do Instituto Rocha Cabral

Redactor - Representante no Porto :

**Alberto Pais de Figueiredo**

Engenheiro e Observador Chefe  
do Observatório  
da Serra do Pilar

Redacção e Administração : Praça da República, 35  
**COIMBRA (Portugal)**

**Assinatura anual: 18\$00 (Pagamento adiantado)**

Publica-se nos meses

de Novembro, Janeiro, Março, Maio e Julho de cada ano

PROPRIEDADE DO DIRECTOR

ANO VII

**S U M A R I O**

N.º 33

- La propagation de la houle. . . *George Roux*  
Os três tipos fundamentais  
da Paisagem . . . . . *Raúl de Miranda*  
A electricidade atmosférica na  
Meteorologia . . . . . *Augusto Ramos da Costa*  
Bibliografia

# A T E R R A

REVISTA PORTUGUESA DE GEOFÍSICA

Director — RAÚL DE MIRANDA

Assistente de Geografia Física e Física do Globo  
na Universidade de Coimbra

---

## La propagation de la houle

PAR LE

Lieutenant de vaisseau GEORGE ROUX

Chef du Service de Physique du Globe et de Météorologie  
à l'Institut Scientifique Chérifien

---

### 1.°) — Methodes et instruments de mesure

#### A) Mesures directes à bord d'un navire

**Mesure de la période.** — Sur un navire stoppé, la période se mesure directement avec un compte secondes, par l'observation des crêtes successives. Lorsque le navire est en marche, la mesure comporte une correction, qui varie avec la vitesse du navire et avec l'angle que fait son cap avec la direction de la houle. La principale cause d'erreurs provient de la difficulté bien connue de prendre le top au passage exact du sommet arrondi d'une lame, car sous l'effet de la surprise, l'observateur a tendance à le pointer trop tôt. On évite cette difficulté avec l'aide d'un deuxième observateur, qui se place à l'autre extrémité du navire, ou encore, comme le faisait Cornish <sup>(1)</sup>, en observant le mouvement ascendant et descendant d'une tache d'écume.

Les vagues de vent, de forme dissymétrique et escarpée, qui recouvrent souvent la houle, rendent délicate l'observation de ses périodes propres. L'interférence de plusieurs houles complique aussi ces observations.

---

(1) Vaughan Cornish — « *Observations of Wind, Wawe and Swell on the north atlantic Ocean* » — *Quartely journal of the Royal Meteorological Society*. Vol. 51, N.° 218, Avril 1926, pp. 145-160 — Londres

Il suffit, pour se rendre compte des difficultés que peuvent atteindre ces mesures, de parcourir les notes dans lesquelles M. l'Amiral Arago (1) a étudié l'influence de l'angle du cap du navire et de la direction de la houle et fourni des règles pour séparer deux houles combinées.

L'inscription des périodes peut s'effectuer à l'aide d'un pendule de période considérable suspendu de manière à osciller dans l'axe transversal ou longitudinal du navire (pendule de Bertin; pendule de Pétravic installé sur le « Meteor »).

**Mesure de la vitesse.** — Le navire faisant route dans la direction de la houle, ou en direction opposée, on observe les temps du passage d'une lame à l'avant et à l'arrière du navire; on en déduit la vitesse relative des vagues et leur vitesse vraie.

Les conditions d'observations sont d'autant plus favorables que la vitesse relative du navire par rapport à la houle est plus faible. Si le cap du navire fait un angle avec la direction de la houle, il faut ajouter un terme correctif.

**Mesure de la longueur.** — Quand deux navires naviguent de conserve debout à la houle, ou en direction opposée, on peut mesurer avec un télémètre la distance qui les sépare et compter le nombre de crêtes comprises entre eux; on en déduit aisément la longueur des lames.

Sur un navire isolé faisant route dans les mêmes conditions, on peut utiliser un loch et noter la longueur de la ligne lorsque le navire et le loch se trouvent simultanément sur une crête; mais cette méthode est peu précise, car la longueur de la ligne et la position exacte du loch ne sont connues qu'approximativement.

Plus communément, on mesure directement à bord la distance de deux lames successives. Si la longueur des lames est supérieure à celle du bateau, on déduit la longueur d'onde de la mesure de la période et de la vitesse ( $\lambda = VT$ ).

Pour ces mesures, il est très important que l'observateur se trouve au-dessus du niveau des crêtes, sinon il fait de grandes erreurs, car il ne voit pas le sommet des crêtes et observe à leur place un point plus rapproché. C'est ainsi que Cornish, placé trop bas sur le pont d'un navire, estimait à 512 pieds la longueur de vagues qui dépassaient 650 pieds. D'une manière générale, et les travaux du « Meteor » en apportent une confirmation, les observateurs ont tendance à estimer trop faiblement la longueur des lames.

**Mesure de la hauteur.** — La méthode classique consiste à s'élever le plus haut possible, sans jamais apercevoir d'autre crête que la plus voisine, lorsque le navire se trouve dans un creux.

(1) Vice-Amiral Arago — « Contribution à l'étude expérimentale de la houle » (Annales hydrographiques 1916) et « Deuxième contribution à l'étude expérimentale de la houle » (Annales hydrographiques 1919). — Paris.

Pour plus de précision, par temps maniable, on peut, à l'aide d'un sextant muni d'un miroir supplémentaire, viser simultanément l'horizon et les crêtes situées de part et d'autre du navire, au moment où il se trouve dans un creux.

Enfin, à l'aide d'un statoscope dont la plume indique des variations de pressions d'un millimètre de mercure, on peut mesurer les variations de hauteur d'un point situé le plus près possible du centre de gravité du navire. Ce procédé, employé par Rouch à bord du « Pourquoi Pas » exige que ne se manifeste aucune cause perturbatrice des variations de pression, tels que les chocs produits par les paquets de mer ou les rafales de vent (1).

### B) — Procédés stéréophotogrammétriques

La stéréophotogrammétrie a été appliquée à la mesure des vagues. La prise de vues stéréophotogrammétriques s'effectue au moyen d'un ensemble de deux objectifs parallèles, mais dont le parallélisme n'a pas besoin d'être rigoureux, placés sur une même base. La base de l'appareil et sa hauteur au-dessus de l'eau doivent être les plus grandes possibles. La longueur de la ligne de base détermine la profondeur du champ de mesure (on peut effectuer des mesures à des distances atteignant 40 fois la ligne de base); de la hauteur au-dessus du niveau de l'eau dépend le degré de précision.

La restitution et le tracé des lignes de niveau se font ensuite au laboratoire. Des coupes verticales, suivant des plans convenablement choisis, donnent le profil des vagues.

Des prises de vue particulièrement intéressantes ont été effectuées à bord du navire océanographe « Meteor » dans l'Atlantique Sud en 1926 (2). Plus récemment, le « San Francisco » a pris un grand nombre de vues dans l'Atlantique Nord (3). Les embruns qui par gros temps recouvrent la mer et certains éclairages défavorables peuvent nuire au succès de ces mesures.

Des mesures photogrammétriques de houle ont été aussi faites de terre, notamment dans le port d'Alger, en Janvier 1935 (4). Deux postes d'observations conjugués, écartés d'une centaine de mètres, étaient associés à une caméra enregistrant 0 à 30 images par seconde.

(1) Rouch — « Mesure de la hauteur des vagues de la mer à l'aide du statoscope » — *Bulletin de l'Institut océanographique de Monaco* — N.° 333.

(2) Les renseignements sur l'installation du « Meteor » et les résultats des mesures ont été publiés par A. Schumacher dans le *Zeitschrift der Gesellschaft für Erdkunde zu Berlin* — Heft III, pp. 105-120 (Berlin 1928).

(3) G. Weinblum et W. Block — « Stereophotogrammetrische Wellenaufnahmen » (*Schiffbautechnische Gesellschaft*) — Berlin 1935.

(4) Ph. Jarre — « Etude photogrammétrique de la houle aux abords de la jetée de Mustapha, dans la rade d'Alger » — *Bulletin de photogrammétrie*, n.° 5, Septembre-Octobre 1935, pp. 153-162 — Paris.

### C) — Appareils de mesure flottants

**Trace-vagues.** — Les trace-vagues permettent de suivre à chaque instant le niveau de la houle au large. Ils consistent en une perche verticale flottante et lestée, dont le lest se trouve plongé dans une eau assez profonde pour être quasi-immobile. La perche elle-même est construite de façon à garder dans l'eau une immobilité suffisante. Elle porte une graduation, sur laquelle les variations de niveau de l'eau se lisent directement et à distance.

Le trace-vague Paris est un appareil enregistreur, dont l'organe sensible est constitué par un flotteur annulaire qui glisse librement sur la perche.

L'enregistreur D. V. L. étudié par la Deutsche Versuchsanstalt für Luftfahrt, est un appareil pneumatique, immergé à une profondeur suffisante pour être en eau calme et relié à une bouée flottante; il enregistre les variations de pression atmosphérique correspondant aux déplacements verticaux de la bouée, la pression hydrostatique sur l'organe sensible étant constante. Le cylindre enregistreur est en verre, ce qui permet d'obtenir un long enregistrement sous un faible volume. Cet instrument, a été utilisé pour enregistrer des vagues d'une longueur inférieure à 50 mètres.

### D) — Appareils enregistreurs fixes

**Enregistrement de la houle près du rivage.** — La maison Ott (Kempten) construit un marégraphe enregistreur de houle, dans lequel deux flotteurs suivent, le premier le niveau moyen de la mer (marées) et le second le mouvement de la houle. Un système différentiel permet d'enregistrer les mouvements du deuxième flotteur par rapport au premier. Un style spécial pour la mesure de la période donne une inscription totale toutes les 50 ou 100 remontées du flotteur.

Ces instruments, assez coûteux, semblent d'une installation difficile, surtout sur les côtes exposées. Ils donnent des valeurs moyennes, mais ne permettent pas de suivre dans ses détails l'aspect de la houle. Des enregistreurs de ce modèle ont été installés à Lomé (Togo) et à la Martinique.

La maison Richard (Paris) a construit un marégraphe enregistreur de houle, dans lequel l'organe sensible est une poche d'air immergée au fond de l'eau; un tube pneumatique la relie à l'appareil enregistreur installé à terre. Les essais de cet appareil, que j'ai effectués à Fédala au cours de l'été 1935 <sup>(1)</sup>, ont montré entre autres choses, l'insuffisance de

(1) Le compte-rendu de ces essais a été publié dans les *Annales de la Commission pour l'Etude des raz-de-marées* N.° 5 — 1935 — pp. 13 et 17-20 — Paris.

la résistance du tube employé. Une transmission électrique serait préférable à la transmission pneumatique.

On pourrait également utiliser un manomètre, à quartz piézo-électrique, semblable à ceux employés par la Compagnie générale de Géophysique pour étudier l'action de la houle sur un ouvrage vertical du port d'Alger (1); mais cet appareil nécessite un amplificateur et un oscillographe, ce qui limite ses conditions d'emploi.

On a aussi préconisé, pour la mesure de l'énergie totale de la houle, l'emploi d'un séismographe sensible, qui serait installé à proximité d'une plage sablonneuse. Mais cet appareil ne fournirait qu'une représentation indirecte de la houle et serait peut-être sensible aux vibrations des roches voisines.

**Conclusion.** — De ce qui précède, il résulte que la mesure directe de la houle à bord des navires exige beaucoup de soin est assez délicate et qu'aucun appareil enregistreur de la houle près du rivage ne répond encore vraiment aux besoins. La stéréophotogrammètrie fournit des documents intéressants. L'adjonction de la caméra et la prise de vues aériennes ouvrent des possibilités nouvelles; mais la complication de sa mise en service limite l'emploi de ce procédé.

## 2.°) La théorie classique de la houle

Basée sur des hypothèses en partie inexacts, la théorie hydrodynamique classique fournit cependant pour la houle des résultats exacts, mais dont les hypothèses limitent l'application.

La théorie classique néglige les frottements internes et externes de l'eau. Elle ne tient compte, ni de la dissipation d'énergie mécanique dans les vagues, ni de l'action du vent sous ses différentes formes. Elle admet donc que les vagues, créées par une impulsion reçue par l'eau, peuvent se propager indéfiniment, alors que dans la réalité les frottements internes et externes diminuent leur amplitude et leur énergie.

Des restrictions imposées par les hypothèses de départ, l'effet le plus grave est de faire abstraction de l'action du vent. Aussi, la théorie classique, qui permet de décrire et d'analyser le mouvement de l'eau dans une houle libre, ne suffit plus à expliquer la formation et la propagation de la houle, phénomènes qui sont le premier créé, le second modifié, par l'action du vent.

La théorie classique ne s'applique également qu'aux vagues à deux dimensions, c'est-à-dire aux vagues cylindriques à longue crête, symétriques par rapport à un plan perpendiculaire à la ligne de crête. La houle

---

(1) Voir l'article de Renaud dans les *Annales des Ponts et Chaussées* (Avril-Mai 1925) — Paris.

pure est bien constituée par des vagues semblables, mais la forme de celles-ci se complique dès que le vent modifie l'aspect de la mer.

**La houle de Gerstner.** — Gerstner puis Rankine ont étudié une houle progressive, dans laquelle le mouvement des particules n'admet pas de potentiel des vitesses. Ils supposent que le liquide est sans viscosité et de grande profondeur.

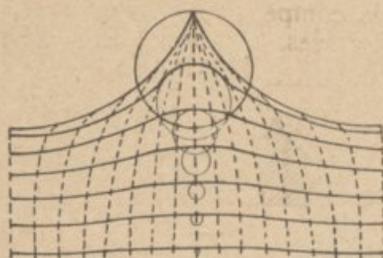


FIG. 1 — Profil de la houle de Gerstner (Amplitude maximum)

La courbe supérieure est la cycloïde à point de rebroussement : les courbes inférieures sont des trochoïdes. Les cercles représentent les orbites parcourues par les particules d'eau. (D'après Defant : «Dynamische Ozeanographie»)

longueur d'onde. Si  $V$ ,  $\lambda$  et  $T$  sont la vitesse des vagues, leur longueur et leur période, les relations suivantes déterminent cette houle (unités : mètre, seconde) :

$$V = \sqrt{\frac{g\lambda}{2\pi}} = \sqrt{\frac{g\lambda}{2\pi}}$$

soit  $V = 1,25 \sqrt{\lambda}$  et  $T = 0,800 \sqrt{\lambda}$ .

Enfin, la hauteur maximum  $H$  que peuvent atteindre les vagues sans déferler est :

$$H = \frac{\lambda}{\pi} = 0,32 \lambda$$

**La houle de Stokes.** — Stokes puis Rayleigh ont étudié une houle dans laquelle le mouvement des particules admet un potentiel des vitesses. Cette hypothèse n'est en toute rigueur valable que pour un liquide non visqueux.

La houle de Stokes est irrotationnelle ; les orbites des particules liquides sont des ellipses, dont les deux demi-axes diminuent avec la profondeur. Les vagues se déplacent avec une vitesse.

La houle de Gerstner est trochoïdale ; les crêtes sont plus abruptes et les creux plus aplanis, que si elle avait la forme d'une simple sinusoïde, qui enest un cas extrême ; à la limite supérieure (amplitude maximum), cette courbe devient une cycloïde avec des points de rebroussement (voir figure 1).

La houle de Gerstner est rotationnelle, c'est-à-dire que les particules liquides décrivent des orbites formées circulaires dans des plans verticaux. La vitesse angulaire des particules est constante ; le rayon des orbites décroît en progression géométrique avec la profondeur.

Les vagues de cette houle se déplacent avec une vitesse indépendante de la profondeur, qui ne dépend que de la

$$V = \left(1 + \frac{2\pi^2 a^2}{\lambda}\right) \sqrt{\frac{g\lambda}{2\pi}}$$

$a$  étant le rayon de l'orbite. Pour les grandes profondeurs d'eau le second terme est négligeable et on retrouve la formule de la houle trochoïdale de Gerstner.

Dans la houle de Stokes, le mouvement en avant des particules dans le sens de la propagation, n'est pas compensé par le mouvement en arrière et les trajectoires ne sont pas fermées. Outre son mouvement

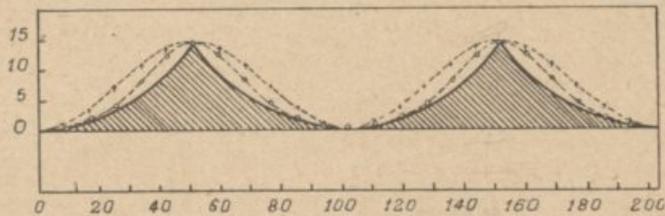


FIG. 2 — Profils théoriques de la houle

La profil en traits pleins est celui de la houle de Stokes d'amplitude maximum (d'après Michell); l'angle au sommet est de  $120^\circ$ . Les profils en pointillés sont ceux de la houle harmonique et de la houle de Gerstner (trochoïde) de même amplitude. (D'après Defant: «*Dynamische Ozeanographie*»).

oscillatoire, le liquide possède alors un déplacement d'ensemble dans le sens de la propagation, déplacement qui décroît rapidement à mesure que l'on s'enfonce en profondeur. D'où une dérive sensible pour un navire qui subit une houle de grande hauteur.

A la limite, lorsque la houle atteint la hauteur maximum possible sans déferler, la houle de Stokes possède, comme l'a montré Michell, des points simplement anguleux qui se rencontrent sous un angle de  $120^\circ$ . La hauteur maximum que peuvent atteindre les vagues est approximativement  $H = 14\lambda$ , la vitesse étant alors 1,2 fois plus grande que pour les houles de hauteur moindre. La figure 2 montre, pour une même amplitude, les profils différents des houles de Gerstner et de Stokes.

**Confrontation avec les observations — Vitesse de déplacement.** — Le tableau suivant, établi par Thorade <sup>(1)</sup> à l'aide d'observations groupées par leurs auteurs ( $\lambda$ ,  $T$  et  $V$  sont les longueurs d'onde, périodes et vitesses observées,  $V_\lambda$  et  $V_T$  les vitesses déduites des longueurs d'onde et des périodes

observées d'après les formules:  $V_\lambda = \sqrt{\frac{g\lambda}{2\pi}}$  et  $V_T = \frac{gT}{2\pi}$ ) permet de

juger la valeur des formules de Gerstner.

(1) H. Thorade — «*Problème der Wasserwellen*» — Hambourg, 1931.

Observations	Années	Mer	$\frac{V}{V_\lambda}$ ‰	$\frac{V}{V_T}$ ‰
PARIS . . . . .	1871	Tous océans. . . . .	96 ± 2	96 ± 3
de BÉNAZE . . . . .	1874	Atlantique. . . . .	96 ± 2	—
			109 ± 3	—
« GAZELLE » . . . . .	1874-76	Tous océans. . . . .	100 ± 2	101 ± 5
ABERCOMBRY . . . . .	1888	Pacifique . . . . .	106 ± 3	114 ± 7
SCHOTT . . . . .	1893	Atlantique. . . . .	99 ± 2	99 ± 3
		Océan Indien . . . . .	104 ± 1	109 ± 3
GASSENMAYR . . . . .	1896	Atlantique. . . . .	90 ± 2	83 ± 4
			99 ± 7	96 ± 3
		Moyenne . . . . .	100 ± 1	100 ± 2

Les observations particulièrement intéressantes de Paris sont résumées dans le tableau suivant :

Mer	Vitesse			Longueur d'onde			Période		
	Obs.	Calculée d'après		Obs.	Calculée d'après		Obs.	Calculée d'après	
		$\sqrt{\frac{g\lambda}{2\pi}}$	$\frac{gT}{2\pi}$		$\frac{2\pi V^2}{g}$	$\frac{gT^2}{2\pi}$		$\sqrt{\frac{2\pi\lambda}{g}}$	$\frac{2\pi V}{g}$
Atlantique (région des alizés) . . . . .	11.2	10.8	10.5	65	70	61	5.8	6.0	6.2
Océan Indien (région des alizés) . . . . .	12.6	13.1	13.7	96	88	104	7.6	7.3	6.9
Sud-Atlantique (région des vents d'Ouest) . . . . .	14.0	15.5	17.1	133	109	163	9.5	8.6	7.8
Océan Indien (région des vents d'Ouest) . . . . .	15.0	15.2	13.7	114	125	104	7.6	8.0	8.3
Mers à l'Est de la Chine . . . . .	11.4	11.9	12.4	79	72	86	6.9	6.6	6.3
Pacifique occidental . . . . .	12.4	13.6	14.7	102	85	121	8.2	7.5	6.9

Ces mesures, et d'autres, vérifient grossièrement les formules de Gerstner.

Finalement, la houle théorique idéale, qui est grossièrement confirmée par les observations et utilisée dans les applications, répond aux caractéristiques du tableau suivant :

Longueur $\lambda$ mètres	Vitesse $V$ m. sec	Période $T$ sec.
50	8.84	5.66
60	9.68	6.20
70	10.46	6.69
80	11.18	7.16
90	11.86	7.59
100	12.50	8.00
125	13.98	8.94
150	15.30	9.80
175	16.54	10.58
200	17.68	11.31
225	18.75	12.00
250	19.76	12.65
275	20.73	13.27
300	21.65	13.86
350	23.39	14.97
400	25.00	16.00
450	26.52	16.97
500	27.95	17.88

**Profil des vagues.** — Le meilleur matériel d'observations est fourni par les épreuves stéréophotogrammétriques prises sur la «Planet» en 1909 et le «Meteor» en 1926, sur lesquelles je reviendrai plus loin. Elles montrent que les profils des vagues observées concordent en partie avec les trochoïdes de même hauteur, mais que leurs crêtes sont plus abruptes et leurs creux plus larges, surtout pour les grandes houles. C'est vraisemblablement à l'influence du vent qui, par suite des remous, peut se faire sentir sur les deux pentes des vagues, qu'il faut attribuer les écarts entre les profils observés et les profils théoriques.

Par contre aucune vérification valable n'a encore pu être effectuée du tracé des orbites et de la trajectoire des molécules d'eau.

A la valeur limite, pour les vagues de hauteur maximum, le profil de Gersfner (cycloïde avec point de rebroussement) est infirmé par toutes les observations. On ne rencontre jamais ces vagues à sommets

«en lame de rasoir». D'autre part, le rapport  $\frac{H \text{ max.}}{\lambda} = 0,32$  n'a jamais été observé.

La forme de Stokes (angle de  $120^\circ$  à la crête) avec le rapport  $\frac{H \text{ max.}}{\lambda} = 0,14$  se rapproche davantage des observations; il semble encore beaucoup trop élevé.

Au cours de ses 4.000 observations, Paris a mesuré une valeur moyenne de 0,03 pour le rapport de la hauteur à la longueur des vagues observées. Cornish a trouvé une valeur de 0,04 pour une houle très creuse dans l'Atlantique Nord. C'est très loin des valeurs critiques ci-dessus.

### 3.°) Introduction de l'action du vent

#### La formation et la croissance des vagues

**La théorie classique et les observations de Scott Russel.** — L'hydrodynamique enseigne que les plus petites vagues, qui prennent naissance sous l'influence conjuguée de la pesanteur et de la tension de surface, ont une vitesse minimum de 23,2 cm. par seconde et une longueur d'onde minimum de 1,73 cm.; on peut en déduire que les petites rides formées accidentellement, lorsque la vitesse du vent n'atteint pas 23,2 cm. par seconde, ne résistent pas à l'action du frottement.

Ces chiffres ont été confirmés par les observations de Scott Russel, auxquelles on a reproché de reposer davantage sur des évaluations que sur des mesures directes. Ces résultats ont été contestés par la suite, notamment par Jeffreys (1), à qui l'on doit les théories récentes sur l'action du vent.

**La théorie de la zone abritée de Jeffreys.** — Abandonnant les théories classiques, qui ne tenaient compte ni des frottements internes, ni des frottements externes, Jeffreys est amené, après avoir trouvé que la capillarité avait une influence peu importante, à considérer surtout l'action de la turbulence et de la pression du vent sur les faces des vagues. Connue sous le nom de la «zone abritée» sa théorie, qui doit beaucoup à Lamb, peut se résumer ainsi :

Le courant d'air principal ne se moule pas constamment sur les crêtes et les creux des vagues, mais glisse sur chaque crête et vient frap-

(1) Voir les articles de Jeffreys dans «Proceedings of the Royal Society» — Vol. 107 — N.° 724 — 1925 — pp. 189 à 206 et Vol. 110 — N.° 754 — Février 1926 — pp. 241-247.

per la pente de la vague suivante en quelque point intermédiaire entre le creux et la crête (voir figure 3). Dans la zone abritée du creux se forme un remou à axe horizontal, pendant que d'autres remous moindres se forment entre celui-ci et le courant principal. Par suite, le vent exerce une action plus forte sur la pente exposée que sur la pente abritée. Il se produit une réaction qui, à peu près uniforme dans la zone



FIG. 3 — Action du vent sur les vagues

abritée, est, sur la pente exposée, grossièrement normale à la surface et proportionnelle au carré de la vitesse du vent au-dessus des crêtes. Les vagues commencent à se former lorsque leur tendance à se développer, qui résulte de cette différence, est juste capable de vaincre la viscosité. Cette théorie conduit à la conclusion que les vagues minimum produites par un vent très faible sont à deux dimensions, c'est-à-dire que la longueur de leur crête est théoriquement infinie. Elle donne les résultats numériques suivants :

Vitesse critique du vent (en cm./sec.)	104	110	116
S (Coefficient d'exposition).....	0.318	0.269	0.229
Longueur des vagues (en cm.) .....	8	8.8	9.8

Le coefficient d'exposition exprime la proportion de la vague exposée à l'action du vent. La vitesse des vagues est grossièrement égale au tiers de la vitesse du vent.

**Formation des premières vagues sur un étang.** — Les observations effectuées par Jeffreys viennent à l'appui de sa théorie. Il a constaté que pour des vents de 102 cm. par seconde, la surface de l'eau n'offrait aucun changement sensible. Pour une vitesse de 108 cm/sec., il se forme des rides sur un étang. Pour des vitesses de 115 et 120 cm./sec., des vagues régulières se forment; leur longueur d'onde est très difficile à mesurer; Jeffreys l'évaluait à 6 ou 8 centimètres.

Lorsque la vitesse du vent est plus grande, la théorie de Jeffreys montre que des vagues de longueurs variables, comprises entre des limites déterminées, peuvent se former. En général, toutes ces longueurs apparaissent dans les vagues formées, mais les plus courtes vagues se déplaçant plus lentement, resteront à l'arrière du train de vagues produites par un soufflé donné du vent. Ceci est aussi confirmé par les observations.

**Formation des vagues à courte crête.** — Des vents de vitesse supérieure à 180 cm/sec. soulèvent des vagues irrégulières, dont la longueur frontale est faible, que l'on appelle vagues à courte crête, en opposition avec

les vagues à crête longue, dont la longueur frontale est plusieurs fois plus grande que la longueur d'onde.

Ces vagues à courte crête proviendraient de vagues à longue crête, qui, avec des longueurs et des vitesses légèrement différentes, étaient d'abord groupées autour de la direction du vent, puis, par suite de la turbulence de l'air, se sont propagées dans deux directions différentes et se sont par cela même transformées, donnant à la mer agitée l'aspect de mer croisée, avec un mélange confus de creux et de bosses.

**Les grosses vagues de la mer.** — Lorsqu'une vague de longueur donnée est bien formée, si le vent persiste, son amplitude tend à croître exponentiellement avec le temps; sa forme cesse d'être sinusoïdale, les crêtes deviennent plus raidées et les creux plus plats. Cet escarpement des crêtes limite la hauteur des vagues. Pour la houle de Stokes, l'angle au sommet correspondant à la hauteur maximum est de 120°. Selon Jeffreys, lorsque cette forme critique est atteinte, le vent oblige l'eau à s'échapper des crêtes sous forme d'écume ou de paquets d'eau, projetés sur la région protégée de la vague. Defant (1), attribue cette formation d'écume à une sorte de succion de l'eau par l'air, qui se produit lorsque la pression de l'eau dépasse la tension à la surface de la crête.

Par fort vent, Jeffreys a calculé que les vagues les plus grandes, les plus résistantes, se déplacent avec une vitesse égale à peu près aux  $3/4$  de la vitesse du vent. Les observations de Cornish indiquent que la vitesse des vagues, lorsqu'elles sont bien développées, atteint environ 80 % à 90 % de celle du vent.

Les observations de Cornish et les conclusions qu'il en a tirées ont été discutées à une assemblée de la Royal Meteorological Society de Londres, où elles ont soulevé quelques critiques.

La hauteur des vagues serait, d'après Cornish, proportionnelle à la vitesse du vent et dans le rapport 0,47. Ainsi, à un vent de 13 m/sec., correspondrait une hauteur de 6 mètres. Les vagues, dans ces conditions, pourraient atteindre des hauteurs très élevées. Et on expliquerait alors que, dans une violente tempête du Pacifique, le Commodore Sir Bertrain Hayes ait observé des vagues hautes de 18 à 27 mètres (2).

**Influence de la houle sur les vagues.** — Souvent, la zone de tempête est parcourue par une ou plusieurs houles. Celles-ci contrarient la formation de la mer. Cornish (3) aboutit à ce sujet, à la suite de ses observations en mer, aux conclusions suivantes :

La houle diminue notablement la hauteur des vagues, et beaucoup moins leur longueur.

(1) Defant — « *Dynamische Ozeanographie* » — Berlin — 1929.

(2) Publié par le Lloyd's, list du 20 février 1923.

(3) Vaughan Cornish — « *Observations of wind, wave and swell on the North Atlantic Ocean* » — *Quarterly Journal of the Royal Meteorological Society* — Vol. 51 — N. 218 — Avril 1926 — pp. 145-160 — Londres.



les vagues à crête long plus grande que la long

Ces vagues à cour qui, avec des longueu d'abord groupées auto turbulence de l'air, se se sont par cela même mer croisée, avec un m

Les grosses vagues de est bien formée, si le nentiellement avec le te deviennent plus raides crêtes limite la hauteu au sommet correspond Jeffreys, lorsque cette f s'échapper des crêtes s sur la région protégée d'écume à une sorte de la pression de l'eau dép

Par fort vent, Jeffr plus résistantes, se dép de la vitesse du vent. vitesse des vagues, lor 80 % à 90 % de celle c

Les observations d été discutées à une as Londres, où elles ont s

La hauteur des va vitesse du vent et dans correspondrait une haut pourraient atteindre de que, dans une violente l Hayes ait observé des v

Influence de la houle parcourue par une ou tion de la mer. Cornis tions en mer, aux concl

La houle diminue moins leur longueur.

(1) Defant — « *Dynami*

(2) Publié par le Lloyd

(3) Vaughan Cornish

Lorsque la houle et les vagues ont des directions voisines, la houle réduit dans une faible mesure la vitesse des vagues. Mais cette réduction de vitesse devient plus marquée lorsque les directions de la houle et des vagues diffèrent davantage. Elle devient très grande lorsque la houle et les vagues ont des directions opposées.

Lorsque deux houles de directions différentes croisent des vagues de vent, leurs effets de réduction de la vitesse des vagues s'ajoutent exactement. Lorsqu'une houle se creuse, son effet sur la vitesse des vagues augmente faiblement.

#### 4.°) — La formation de la houle

**Transformation des vagues sous l'action d'un vent persistant.** — La mer agitée de la zone de tempête présente, comme nous l'avons vu, un aspect complexe, dans lequel on distingue tour à tour des vagues à courte crête et des vagues à longue crête, des vagues de courte longueur d'onde et des vagues de grande longueur d'onde, celles-ci étant souvent masquées par celles-là.

Si le vent persiste, les vagues courtes s'effacent progressivement par suite de leur moindre résistance à la turbulence et au frottement. En outre leur marche est contrariée par les vagues plus longues qui se superposent à elles, ce qui s'explique de plusieurs manières: Lorsque toutes les vagues ont atteint leur plein développement, les vagues courtes, qui sont les moins élevées, se trouvent abritées du vent à tous moments, sauf lorsqu'elles se trouvent près de la crête d'une vague longue et du côté exposé; leurs chances de croissance sont donc bien moindres que si elles étaient seules. De plus, lorsqu'une vague courte se trouve par fort vent du côté abritée d'une longue vague, l'écume et les paquets d'eau, échappés de la crête de celle-ci, tendent à remplir le creux de la vague courte.

Pour toutes ces raisons, les vagues courtes finissent par disparaître et les vagues produites par un vent prolongé consistent en grosses vagues à crêtes courtes, combinées à une houle rapide et longue.

**La houle forcée.** — La houle, qui déjà se forme sous l'action d'un vent persistant de vitesse supérieure à celle des vagues, est, à proprement parler, la houle forcée. L'action superficielle du vent s'ajoute alors à celle de la pesanteur. La turbulence, dont l'effet est surtout sensible sur les vagues courtes, joue un rôle de moins en moins important; par suite, la longueur des crêtes tend à augmenter et les vagues se rapprochent de la forme trochoïdale, sans atteindre dans cette forme la pureté de la houle libre.

La campagne du « Meteor » offre un exemple frappant de houle forcée. Le 23 janvier 1926, à 7 h. du matin, au Sud du Cap Horn, soufflait un vent d'Ouest de force 4 et, à 11 h., un vent de Sud-Ouest de force 6 avec mer de 4 à 5; les vagues dues au vent avaient de 30 à 60 mètres de longueur et une hauteur de 2 m. 50; elles étaient fortement

dissymétriques, la pente de leurs deux faces variant dans le rapport 2/3. L'après-midi, entre 3 et 4 h., le vent atteignait la force 9 et la mer la force 7. Les oscillations du pendule indiquaient une période de 7 sec. 50 et une longueur d'onde de 90 à 110 mètres. Les prises de vues stéréophotogrammétriques ont permis de tracer les lignes de niveau de la mer (voir figure 4). Sur les profils des vagues (voir figure 5) tirés des coupes

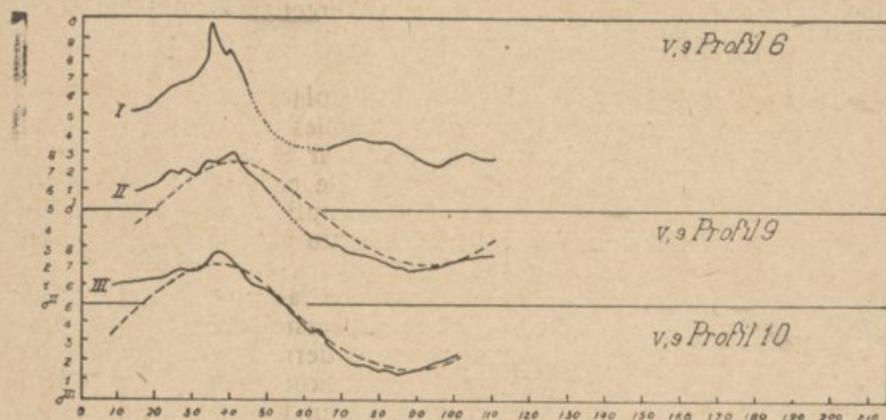


FIG. 5 — Profil des vagues figurées sur la fig. 4

(D'après Schumacher. Loc. cit.). Le profil supérieur (coupe 6 du plan de la fig. 4) comprend le plus haut sommet; les deux autres profils correspondent aux coupes 9 et 10. Les trochoïdes sont tracées en pointillé

verticales du plan topographique, on a mesuré des longueurs d'onde variant de 96 à 104 mètres et, en admetant que la dissymétrie mesurée le matin se soit conservée, des hauteurs de 6 m. 70 à 7 m. 60. Ainsi, durant 4 à 5 heures, la longueur avait augmenté du double au triple et la hauteur du triple au quadruple. Cette augmentation de la longueur, sous l'action d'un vent intense et persistant, plus forte que celle de la hauteur, avait été déjà mise en lumière par l'Amiral Paris. On voit sur la figure 5 que les profils de ces vagues s'écartent notablement encore des trochoïdes, dont on peut les rapprocher.

**La houle pure.** — La houle forcée se transforme en houle pure, lorsque le vent tombe. La turbulence de l'air n'atténue alors rapidement. L'allongement des crêtes, qui se manifestait déjà dans la houle forcée s'accroît rapidement dans la houle pure. Enfin, chaque vague se déplaçant avec sa vitesse propre, fonction de sa longueur d'onde, une sélection s'opère au profit des vagues les plus longues, qui sont plus rapides. Il ne subsiste finalement que des vagues à longue crête et à grande longueur d'onde, dont la forme tend à s'adoucir en se rapprochant de la trochoïde.

Toutefois cette explication de la formation de la houle par sélection des vagues de grande longueur d'onde et transformation des vagues à

courte crête, manque de solidité et demanderait à être confirmée par une analyse serrée. Elle est d'ailleurs controversée et certains auteurs ont émis l'opinion que les longues vagues de la houle existent déjà dans la tempête avec leur longue crête, mais que les vagues plus courtes les masquent aux yeux de l'observateur.

Quoiqu'il en soit la houle pure présente deux caractéristiques principales : La surface est unie et régulière et sa direction est indépendante de celle du vent régnant.

**Les régions isobariques privilégiées.** — Les tempêtes qui produisent les fortes houles se situent dans des régions définies du relief isobarique. Dans les régions tempérées, c'est dans le secteur S.W. des dépressions de l'hémisphère nord, dans le secteur N.W. de celles de l'hémisphère sud, que se trouvent réunies les conditions optima de formation de grosses houles, car dans ces secteurs, les effets du vent et ceux du déplacement des dépressions s'ajoutent.

Lorsque plusieurs dépressions d'une même famille se succèdent en chapelet le long du front polaire, chaque dépression crée sa houle propre ; les houles successives restent distinctes ; la dernière dépression de la famille crée la houle la plus forte. Ce fait expérimental, constamment vérifié à Casablanca, s'explique aisément, car pour toutes les dépressions de la famille, sauf pour la dernière, la houle de S.W. est affaiblie par les vents de N.W. du secteur avant de la dépression suivante ; en outre, la dernière dépression décrivant la trajectoire la plus méridionale, la houle qu'elle engendre affecte des régions océaniques plus méridionales.

La formation de la houle au voisinage d'un cyclone tropical présente des caractères différents. Dans ce cas, la direction du vent varie assez vite dans l'espace et, comme l'a exposé Tannehill (1) malgré la violence du vent la houle est généralement moins forte que dans les dépressions des régions extra-tropicales ; en outre la houle a une direction différente de celle du vent et les valeurs de cette déviation varient selon les secteurs du cyclone. Les houles les plus fortes s'observent en avant et à droite du centre de la tempête, à l'endroit où elles s'éloignent approximativement dans la direction du déplacement du centre de la tempête.

**Espace nécessaire à la formation de la houle.** — Le temps et l'espace nécessaires à la formation de la houle sont variables et dépendent de la force du vent. Mais un parcours de 200 milles semble nécessaire aux vagues de vent de hauteur moyenne, relativement courtes et escarpées, pour former de la houle. Cornish en Méditerranée a observé une houle bien formée de 6 mètres de creux après un parcours peu supérieur à 200 milles.

Pour les houles plus fortes, il faut compter sur de plus longs parcours. Thomas Stevenson a établi une relation empirique entre la

---

(1) I. R. Tannehill — « *Sea swells in relation to movement and intensity of tropical storms* ». *Monthly Weather Review*. Juillet 1936.

hauteur des vagues (exprimée en pieds) et la distance de la surface marine  $D$  (exprimée en milles marins) sur laquelle soufflé le vent propice:  $H = 1,5 \sqrt{D}$ , qui semble vérifiée par l'expérience, au moins dans l'Atlantique nord et pour des distances inférieures à 900 milles. Le Dr. William Scoresby évalue à 600 milles anglais, soit 521 milles marins, le "sea room" nécessaire au plein développement de la houle dans l'Atlantique nord. Cornish estime qu'il est de l'ordre de 600 à 900 milles anglais.

Observant chaque jour à Casablanca les houles qui atteignent la côte marocaine, nous n'avons jamais constaté qu'une houle se soit creusée après un parcours de 600 milles. D'ailleurs, après avoir parcouru cette distance, les vagues quittent ordinairement la zone des dépressions et ne rencontrent plus de vent favorable suffisamment fort pour accroître leur énergie. Ce qui revient à dire que les circonstances météorologiques transforment habituellement la houle forcée en houle libre, avant que les vagues n'aient pu parcourir 600 milles.

Au delà de ces distances, la houle se propage sans se creuser. Dans l'Atlantique nord en particulier, il semble que les houles d'Ouest aient atteint leur amplitude maximum au méridien  $40^{\circ}$  W.

## 5.°) — La propagation de la houle

**Trains de vagues — Superposition de houles.** — Une houle libre, bien formée n'est pas constituée par une succession régulière de vagues, mais par des groupes, des "trains de vagues" dont le mécanisme a été souvent décrit. Chaque vague se déplace de l'arrière à l'avant du train; au cours de cette progression, sa hauteur augmente d'abord, puis diminue au profit de la suivante; arrivée en tête du train, la vague s'éteint; d'où, pour l'observateur, l'impression que le nombre des vagues diminue constamment à l'avant du train, et qu'il augmente à l'arrière. La naissance des vagues de queue est sensiblement plus rapide que l'extinction des vagues de tête et le nombre des vagues du train augmente au cours de son déplacement. Les trains sont eux-mêmes séparés par des espaces d'eau peu troubles. Cette morphologie des vagues a été vérifiée expérimentalement, notamment par les frères Weber, dans un bassin où ils créaient de petites vagues, en y laissant tomber un objet pesant.

Sur les océans, la vague la plus haute serait souvent, selon Defant (1), la troisième ou la quatrième; cependant, sur la côte de Guinée, le maximum paraît être atteint par la septième ou la huitième, et, sur la côte occidentale de l'Amérique centrale, la plus haute doit être la quatrième ou la cinquième. On se trouve vraisemblablement en présence d'interférences de vagues, qui se sont formées dans la zone de tempête avec des périodes et des longueurs très peu différentes. Le calcul montre

(1) Defant — *Loc. cit.*

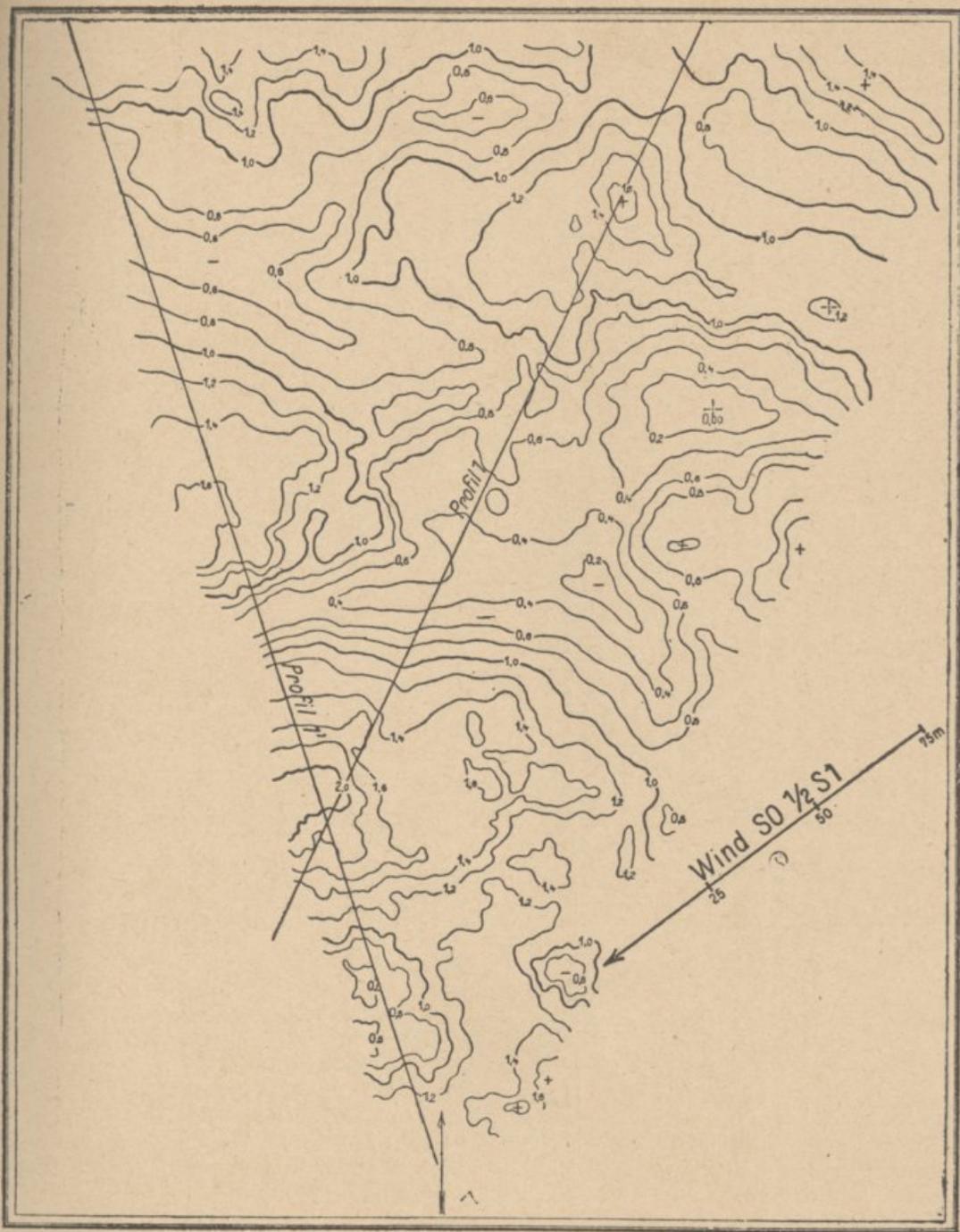


FIG. 6 — Topographie de la houle du 24 Fevrier 1926

(D'après Schumacher. *Loc. cit.*)

hauteur marine I  
pice: H  
l'Atlantic  
Dr. Will  
le " sea  
l'Atlantic  
anglais.

Obs  
côte mar  
après un  
distance,  
rencontr  
énergie.  
transform  
vagues r

Au  
l'Atlantic  
atteint le

Trai  
formée  
par des  
vent déc  
cours d  
au profi  
pour l'o  
tammen  
des vag  
vagues  
son dép  
d'eau p  
rimental  
créaient

Sur  
la trois  
maximu  
côte oc  
trième  
d'intei  
avec de

(1)

que la superposition de deux systèmes d'onde, de même amplitude  $a$ , produit une onde dont la longueur, et la période correspondent à la moyenne de celles de deux ondes, mais dont l'amplitude varie de 0 à  $2a$ .

L'essentiel de ceci, c'est que l'unité organique de la houle est le train qui persiste et non la vague éphémère. Le vitesse de déplacement du train et celle des vagues sont donc différentes. Le calcul montre, et l'expérience semble confirmer, qu'en eau profonde la vitesse des vagues est le double de celle des trains. Les vagues et les trains se déplacent avec la même vitesse, lorsque l'eau est peu profonde.

Par vitesse de la houle, on entend donc la vitesse des trains de vagues, et non la vitesse propre des vagues.

En dehors de ces trains réguliers, on a observé parfois des trains irréguliers, dont l'origine semble obscure et l'explication difficile. Cornish en décrit un exemple frappant (1). Dans la matinée du 29 décembre 1898, sur la côte anglaise de la Manche, dans la baie de Bournemouth, il a observé, avec un vent de terre qui balayait les crêtes des vagues, un train de quatre grands rouleaux à 11 h., suivi de quatre autres rouleaux quelques minutes après, puis de sept rouleaux à 11 h. 25, puis de six à 11 h. 35, et pour finir de sept à 11 h. 50; enfin, au début de l'après-midi, a apparu la fameuse série de 139 grands rouleaux, sur laquelle je reviendrai. Entre ces trains de vagues à forte période et à grande vitesse, la mer était relativement calme. D'après les périodes observées, Cornish évalue à 60 milles à l'heure la vitesse au large des rouleaux du matin, et à 57 milles celle de la série des 139 rouleaux. Il estime que la série de 139 rouleaux a été formée par un vent violent de 65 milles à l'heure, tandis que les trains isolés du matin, plus rapides, auraient été formés par des grains de cette tempête, dont la vitesse moyenne atteignait 75 milles à l'heure.

Cette explication paraît un peu sommaire. Dans une dépression les vents réguliers et les grains soufflent de directions différentes et les vagues qu'ils engendrent se propagent aussi dans des directions différentes. La durée d'un grain semble également bien courte pour engendrer des trains de vagues aussi rapides. Il semble plutôt qu'il y ait eu un effet d'interférence. Au Maroc, on n'a jamais observé d'arrivées de trains aussi irréguliers.

Montagne donne un exemple très net de superposition de houles. Le 18 décembre 1922, la réunion de deux dépressions voisines du Maroc a provoqué l'apparition d'une houle longue accompagnée d'une brusque variation de la période, qui est montée de 5,7 secondes à plus de 9 secondes en moins de deux heures, pour redescendre à 5 secondes environ douze heures plus tard.

Des observations recueillies, des commentaires émis, se dégage une impression confuse. Les hypothèses sur la formation des trains et la superposition de houles ne pourront être vérifiées, les notions acquises

---

(1) V. Cornish — « *Ocean Waves and Kindred geophysical phenomena* » — Cambridge 1934.

ne pourront être précisées, que par l'analyse de diagrammes d'appareils enregistreurs de la houle.

**Combinaison de houles.** — Lorsque des houles de directions différentes se rencontrent, elles se recouvrent sans s'altérer. La mer prend l'aspect d'un ensemble de dômes et de creux qui ondulent. En voici quelques exemples :

Entre Southampton et la Barbade, Cornish <sup>(1)</sup> a observé au début

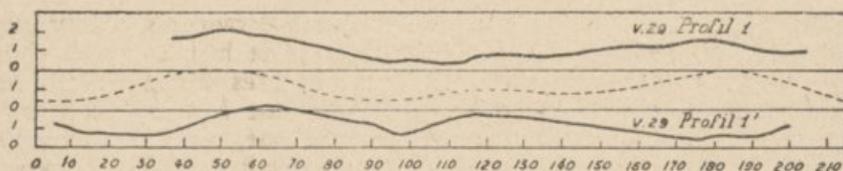


FIG. 7 — Profil des vagues figurées sur la fig. 6

(D'après Schumacher. *Loc. cit.*)

de 1914, deux houles très fortes de NW. et de SE. qui se creusaient dans un grand fracas, mais continuèrent leur chemin chacune avec sa direction et son amplitude propres.

Entre Liverpool et le Cap, à l'entrée de la zone des calmes du tropique, Cornish a observé en juillet 1929, deux houles transversales dues aux alizés du NE et du SE., donnant à la mer l'aspect de creux et de dômes signalé plus haut, sans modification des éléments des deux houles.

Deux houles creuses de faible amplitude (2 mètres) mais bien formées ont été stéréophographiées du « Meteor » le 24 février 1926 par 63°3 Sud et 4°9 Est. La houle principale provenait du WNW, la houle secondaire de l'WSW; un vent faible soufflait du SW. Sur le plan topographique (figure 6), la houle secondaire 50 mètres avec une pente moyenne guère supérieure à 5°. La coupe verticale faite en direction de la houle principale montre (figure 7) que le profil de cette dernière résulte de la superposition de deux trochoïdes, ayant respectivement 125 et 48 mètres de longueur d'onde et 1 m., 20 et 0 m., 80 de hauteur.

**Les variations de l'énergie.** — L'énergie totale de la houle (énergie potentielle et énergie cinétique), dans le cas de la houle de Gerstner, est :

$$E = \frac{1}{2} \rho g \lambda H^2 \left( 1 - \frac{2 \pi^2 H^2}{\lambda^2} \right), \rho \text{ étant la densité de l'eau.}$$

(1) Vaughan Cornish — « *Ocean Waves and Kindred geophysical phenomena* » — Cambridge — 1934.

Dans la théorie hydrodynamique classique, cette énergie se conserve et la houle, en se propageant, gagne en longueur et en vitesse ce qu'elle perd en hauteur.

Dans la réalité, il y a une dissipation d'énergie due à la viscosité, au frottement de l'air et à l'extension latérale des ondes. Par contre, l'action d'un vent favorable peut accroître cette énergie.

### 1) L'effet de la viscosité

La viscosité croît avec la salinité et diminue rapidement lorsque la température de l'eau augmente, de sorte que la houle, toutes choses égales d'ailleurs, s'amortit deux fois plus vite près des pôles que sous les tropiques. Mais la dissipation d'énergie due à la viscosité est de toutes façons très faible. Krümmel a calculé que, pour un cas moyen ( $\lambda = 100$  mètres), la perte totale d'énergie était de 0,25 % après un parcours de 100 kms. et 2,5 % après 1.000 kms. On admet généralement que l'énergie de la houle est complètement amortie au bout du temps

$$t = \frac{\lambda^2}{8 \pi^2 \varepsilon} \quad (\varepsilon = \text{coefficient de viscosité}).$$

### II) L'influence capitale du vent

Lorsque le vent se déplace dans la direction de la houle et avec une vitesse supérieure, il augmente son énergie, comme le montre la théorie de la zone abritée. Lorsque la houle se déplace plus vite que le vent, ce dernier agit comme un vent contraire et tend à l'amortir. Mais la dissipation d'énergie la plus importante est provoquée par la formation d'écume et a son siège dans « les moutons ». On ne dispose malheureusement encore d'aucun procédé théorique pour la calculer.

Cette question capitale pour la propagation a été à peine effleurée; l'influence du vent a été surtout analysée dans la formation des vagues et non dans leur propagation.

Cornish (1) a fait le 20 et le 21 décembre 1911, dans une tempête du golfe de Gascogne, une observation intéressante d'accroissement d'énergie de la houle provoqué par le vent. Une houle régulière et symétrique de direction NW avait d'abord une période de 11 sec., 4 et une longueur de 203 mètres. Le lendemain, le vent a soufflé en tempête dépassant la force 9 dans la même direction que la houle. Cette dernière est devenue dissymétrique, les vagues étant beaucoup plus escarpées du côté du vent; la période a un peu augmenté, atteignant 13 sec., 5, avec une longueur d'onde de 244 mètres; la hauteur des vagues avait aussi beaucoup augmenté. L'énergie de cette houle, en admettant que sa hauteur et sa longueur d'onde soient conformes à celles de la houle de Gerstner, serait devenue 2,7 fois plus grande.

(1) Vaughan Cornish — *Loc. cit.*

L'examen quotidien de l'état du temps et de la houle fait à Casablanca, confirme que des vents assez forts de même direction que la houle favorisent sa propagation, tandis que des vents traversiers ou de direction opposée la contrarient; ainsi des vents de SW ou de NE arrêtent complètement les houles de NW venant des Açores. Toutefois, les vents contraires semblent agir beaucoup plus sur la hauteur des lames que sur leur période ou sur leur longueur; peut-être même agissent-ils seulement sur la hauteur. Montagne a cité des observations de houles, dont la propagation a été arrêtée par des vents contraires, et dont la période, mesurée à Casablanca, a augmenté de façon très marquée (notamment le 2 Octobre 1922 et le 11 Février 1923).

Au résumé, sur l'action capitale du vent sur l'énergie et la propagation de la houle, on en est encore réduit à des évaluations qualitatives et on n'a établi aucune loi quantitative. Il serait pourtant essentiel de connaître, selon sa force et sa direction relatives, l'influence du vent sur l'amplitude de la houle qu'il rencontre, ainsi que les valeurs limites (force et direction) au-dessus desquelles il forme des paquets d'écume, et la quantité d'énergie qui s'y trouve dissipée.

### III) L'extension latérale de la houle

La houle est constituée par des trains d'onde qui, issus de la zone de perturbation, se propagent sur des eaux plus ou moins calmes selon une direction privilégiée, celle du vent d'origine. Un champ idéal de houle pure par vent nul présenterait, semble-t-il, l'aspect suivant: Le front des trains d'onde se développerait latéralement, et ses extrémités latérales tendraient à se déplacer suivant des directions qui divergent sensiblement avec celle du vent; il présenterait une courbure ordonnée symétriquement selon l'axe de propagation et qui irait en diminuant. L'énergie unitaire serait maximum au centre du front, dans l'axe de propagation, et diminuerait progressivement, lorsqu'on s'éloigne de cet axe, pour devenir nulle à l'extrémité du train d'onde. La hauteur, la longueur et la vitesse des vagues diminueraient également de l'axe vers les côtés. Mais cette description sommaire du champ de houle repose sur de rares observations et manque de base. Elle a été très peu étudiée. Elle se complique du fait de la rotation des vents dans les dépressions et de la variété des vents rencontrés ensuite par la houle aux extrémités latérales des secteurs de propagation.

Des commentaires tirés par certains auteurs allemands d'observations malheureusement rares et dispersées en Atlantique, on tend à déduire que les houles qui se propagent de l'hémisphère nord vers l'hémisphère sud, par exemple des parages de Terre-Neuve aux Açores et à l'Ascension, perdent d'abord beaucoup d'énergie par l'allongement latéral des crêtes, et qu'ensuite le resserrement du détroit de l'Equateur est favorable à la conservation de l'énergie restante, qui se dissipe ensuite plus rapidement dans l'Atlantique sud. Encore, dans ces modifications d'énergie, conviendrait-il de séparer la part certaine du vent de celle un peu hypothétique de l'extension latérale de la houle. Et surtout faudrait-il

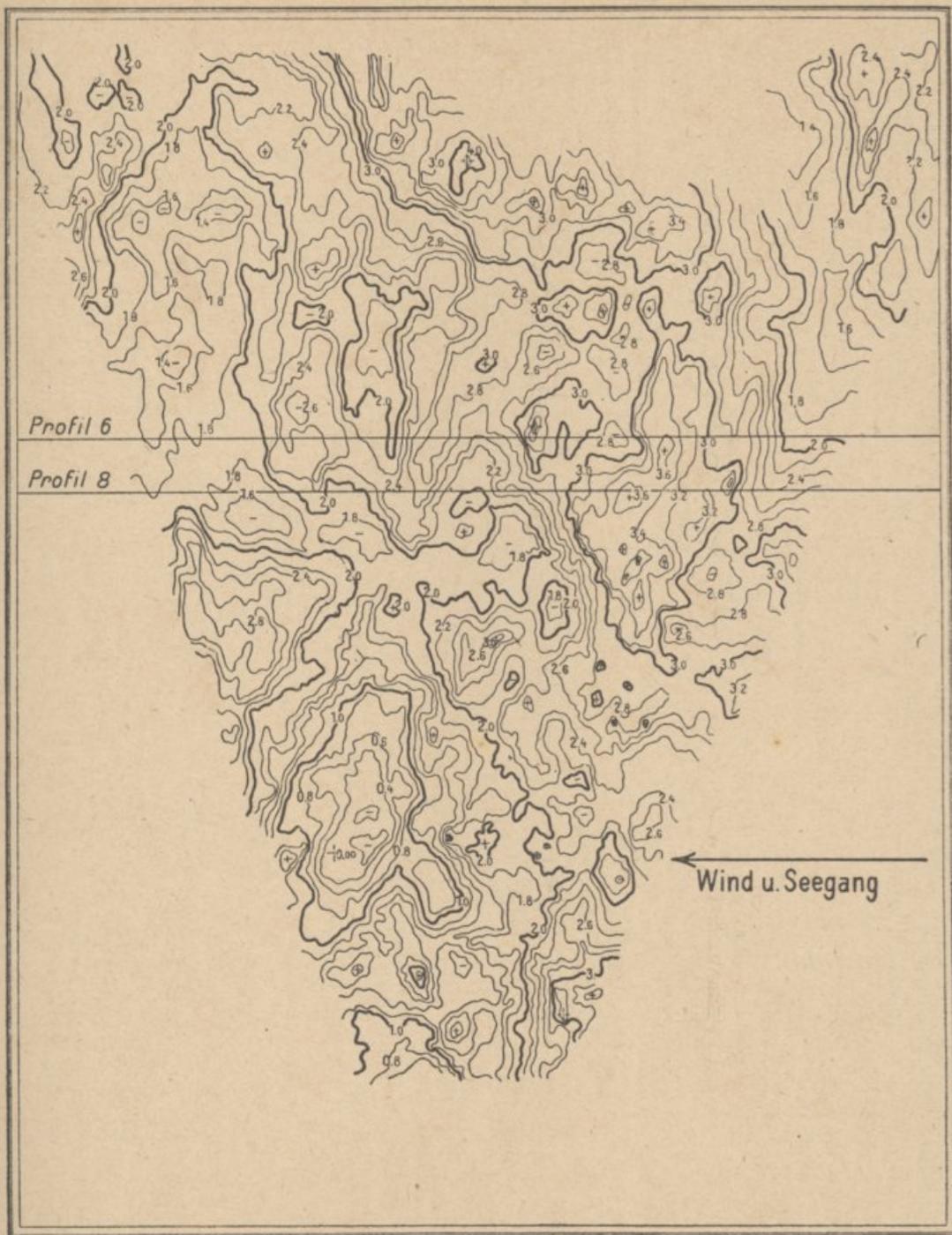


FIG. 8 — Topographie de la houle du 8 Juillet 1926

(D'après Schumacher. *Loc. cit.*)

L'examen  
blanca, confirm  
favorisent sa p  
ction opposée  
complètement  
contraires sembl  
leur période ot  
sur la hauteur  
propagation a  
mesurée à Cas  
le 2 Octobre 1

Au résum  
tion de la houl  
on n'a établi au  
tre, selon sa fo  
tude de la hor  
direction) au-c  
tité d'énergie c

## II

La houle  
de perturbatio  
une direction  
houle pure par  
des trains d'o  
les tendraient  
ment avec cel  
quement selon  
unitaire serait  
et diminuerait  
venir nulle à  
vitesse des va  
cette descript  
observations c  
complique du  
variété des ve  
des secteurs d

Des compr  
malheureusem  
que les houles  
sud, par exen  
sion, perdent  
crêtes, et qu'e  
ble à la cons  
rapidement da  
gie, conviend  
hypothétique

avoir la certitude, qui ne peut encore exister par manque d'exemples précis, que les rouleaux observés à l'Ascension proviennent bien de houles formées dans les latitudes de Terre-Neuve.

**Les houles âgées.** — Les houles âgées ont toujours une grande vitesse, une grande période, une grande longueur et elles sont très aplaties. Elles deviennent plus difficiles à observer et la moindre mer qui les recouvre

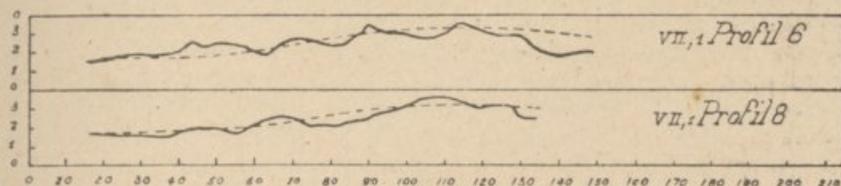


FIG. 9 — Profil des vagues figurées sur la fig. 8

(D'après Schumacher. *Loc. cit.*) Les trochoïdes correspondant à la houle sont tracées en pointillé

suffit souvent à les masquer à l'œil le plus exercé. Les enregistrements stéréophotographiques ont permis de déceler quelques houles peu apparentes. En voici deux exemples tirés de la publication de Schumacher. Le 8 juillet 1926, par 22°09'S et 29°W, on n'observe du « Meteor » qu'une mer d'alizés assez courte, qui, même sur le plan topographique, après stéréophotographie (figure 8) est seule visible; mais les profils (figure 9), font ressortir une houle trochoïdale de 175 mètres de longueur d'onde et de 1<sup>m</sup>,6 de hauteur, masquée par ces vagues courtes de 1 à 2 mètres de haut.

Le 23 janvier 1926, dans la matinée, au Sud du Cap Horn, souffle un vent de SW, force 6, sur une mer de 4 à 5. Le tangage du « Meteor » laisse supposer qu'il existe une houle de 9 secondes et de 126 mètres de longueur; les profils font apparaître une houle trochoïdale de 300 mètres de longueur et de 4<sup>m</sup>,50 de hauteur, sur laquelle sont dessinées des vagues dissymétriques dues au vent, dont la longueur varie de 30 à 60 mètres et dont la hauteur atteint 2<sup>m</sup>,50.

Ces houles âgées, longues et aplaties, n'apparaissent souvent qu'au moment où elles se brisent sur un haut fond ou contre un rivage, lorsque toute leur énergie se dissipe définitivement par formation d'écume et déferlement des crêtes.

**La houle se propage-t-elle d'un mouvement accéléré?** — Lorsque cesse l'action du vent, l'amplitude des lames diminue et l'énergie se conservant au moins en grande partie, on est conduit à se demander si cette diminution d'amplitude n'est pas compensée par une augmentation de la vitesse et de la longueur d'onde. Cette idée découle d'ailleurs de la théorie de Poisson-Cauchy, d'après laquelle la longueur d'onde augmente avec l'âge de la houle et les vagues et groupes de vagues se déplacent d'un mouvement uniformément accéléré.

Krümmel (1) ayant étudié les observations de la houle qui se propagea en Atlantique du Gulf Stream à l'Ascension entre le 28 Février et le 2 Mars 1886, en déduisit que sa vitesse à l'origine était de 24,2 nœuds et qu'elle avait une accélération uniforme de 0,244 nœuds. Mais la conclusion de Krümmel est assez fragile et a soulevé bien les critiques; l'incertitude de l'origine de la houle étudiée pèse beaucoup sur la valeur des résultats; en outre, la vitesse des vagues est la même que celle des trains, alors qu'elle ne devrait en être que la moitié.

D'après Cornish, la houle ne possède pas une accélération uniforme et sans apport nouveau d'énergie, la vitesse des vagues ne peut s'accroître; les lames longues et rapides fréquemment observées dans la houle existeraient avec les mêmes caractéristiques antérieurement aux observations et même dans la zone de tempête où s'est formée la houle, mais des vagues plus courtes les cachaient alors à la vue des observateurs.

A l'appui de cette thèse, Cornish soutient que les vagues les plus rapides, qui ont été observées, ont une vitesse toujours inférieure à celle des vents les plus forts de la tempête et que la houle ne peut jamais aller plus vite que le vent qui l'a formée. C'est là une question très controversée. Dans la zone tempétueuse où se forme la houle, puis dans la houle forcée, la thèse de Cornish ne semble pas exposée à de sérieuses objections. Par contre, elle paraît beaucoup moins valable, s'agissant de houles anciennes.

Pour le Comte Larish (2), la diminution d'énergie de la houle, beaucoup plus lente que la diminution d'amplitude des vagues, entraîne une augmentation de la vitesse et de la longueur, mais ce phénomène n'est vraiment net qu'à la sortie de la zone de tempête, lorsque le vent cesse de poursuivre la houle; ensuite, il n'ose se prononcer.

Les thèses opposées demeurent donc en présence et la controverse ne pourra aboutir que lorsque l'on disposera de matériaux d'observation plus abondants.

L'Amiral Paris estimait que la vitesse de la houle était généralement comprise entre 21 et 25 nœuds avec un maximum de 37 nœuds. Cette estimation concorde avec nos évaluations à Casablanca, basées sur la durée du trajet Açores-Maroc. Mais nos observations ne nous ont pas permis de déterminer si ces vitesses sont constantes ou croissantes.

**Les parcours maxima de la houle.** — On a observé au Maroc des houles de période de 20 secondes provenant parfois des approches du cap Farewell après avoir parcouru 2.200 milles.

Krümmel signale que le 12 février 1878 la région orientale des alizés a été atteinte par une houle qui, d'après les journaux du bord recueillis par la Deutche Seewarte, provenait d'une tempête de NW au Sud de

(1) Krümmel — « *Handbuch der Ozeanographie* » — II — Stuttgart — 1923.

(2) Franz Graf von Larish — Moennich — Sturmsee und Brandung (*Monographien zur Erdkunde* — Leipzig — 1926) — Cet ouvrage de vulgarisation contient une centaine de très belles photographies de houle.

Terre-Neuve. Cette houle a été observée sous forme de «longue et forte houle de NW» par  $7^{\circ} 1/2$  Nord et  $16^{\circ} 3/4$  W à 270 milles de la côte africaine près de Sierra Leona, c'est-à-dire après avoir effectué un trajet de plus de 2.500 milles.

D'après certains auteurs des houles formées dans le front polaire nord franchiraient le détroit de l'Equateur et, probablement favorisées par le resserrement de l'Océan, se propageraient dans l'Atlantique sud. Krümmel cite comme exemple la houle très forte de NW rencontrée le 21 mars 1881 par le vapeur «Pacific» par  $5^{\circ} 11' S$  et  $32^{\circ} 3' W$ . alors que le vent soufflait du SE. Certaines de ces houles auraient atteint les îles d'Ascension et de Ste-Hélène, après avoir franchi plus de 4.000 milles.

La région des calmes équatoriaux paraît exposée en hiver à des houles de Nord et en été à des houles de Sud qui semblent liées à l'activité respective des deux fronts polaires dans les hautes latitudes.

Enfin on peut raisonnablement se demander si, à la manière des ondes de T. S. F., qui font le tour du globe, certaines longues houles des régions antarctiques, favorisées dans leurs propagation par l'absence de continents et par des vents relativement réguliers, ne reviennent pas à leur région d'origine, après avoir parcouru tout un parallèle.

Il semble toutefois que ces hypothèses sur la propagation de la houle, basées sur des observations peu nombreuses, doivent être considérées avec beaucoup de prudence. L'origine des houles étudiées est généralement douteuse. Becker <sup>(1)</sup> par exemple situe dans des dépressions du front polaire l'origine de houles du Nord observées près de l'équateur (3 à 7 janvier 1933), houles qui d'après l'examen des cartes synoptiques du temps et des observations de navires semblent plutôt dûes à l'action des vents alizés.

**La période de la houle.** — Les 139 lames successives observées par Cornish sur la Manche près de Bournemouth avaient une période moyenne de 19,35 secondes et les rouleaux remarquables qu'il a observés le 1er février 1899 à Branksome-Chine avaient une période moyenne de 22,5 secondes.

Des périodes de cet ordre ont été souvent mesurées à Casablanca. Le 13 mars 1934, M. Ferraton observant une succession de 100 lames par fonds de 30 mètres a mesuré une période moyenne de 20,1 secondes. D'une manière générale, la période de la houle sur la côte marocaine varie de 10 à 23 secondes. Les houles de faible période (10 à 13 secondes) ont une origine rapprochée.

Les mesures, précédentes ont été faites de terre. Au large, si l'on excepte quelques valeurs très fortes, attribuables probablement à des phénomènes d'interférence, il semble qu'aucune période aussi élevée n'ait été directement mesurée. D'après l'Amiral Paris, la période a une valeur

---

(1) R. Becker — «*Dünung und Wind des Atlantischen Ozeans in Bereich des meteorologischen äquators*» — Zweites Köppen-Heft — *Annalen der Hydrographie und maritimen Meteorologie* — Hambourg — Septembre 1936.

moyenne de 6 à 8 secondes et atteint exceptionnellement 15 secondes. Les périodes mesurées à bord du San Francisco (Décembre 1934) au cours de tempêtes dans l'Atlantique nord atteignaient en moyenne 11 à 12,5 secondes et exceptionnellement 14 secondes.

Ce contraste entre la période relativement élevée près des côtes et celle plus faible au large conduirait, s'il était confirmé par des observations systématiques, à mettre en doute la loi universellement admise, suivant laquelle le nombre de vagues et par suite la valeur de la période, ne se modifient point lorsque la houle aborde le rivage. D'ailleurs rien ne permet d'affirmer que la composition des trains de vagues reste le même; il résulte au contraire d'expériences effectuées par M. l'Ingénieur général du Génie maritime Barillon au bassin d'essai des carènes, qu'un bas-fond peut faire varier le nombre des vagues.

Contre la loi conservatrice précédente, il y a encore ceci: les périodes de 20 secondes correspondent à des longueurs d'onde de plus de 600 mètres. Or les marins qui fréquentent le Maroc n'ont jamais rencontré de lames aussi longues par grands fonds au large des côtes. Toutefois les valeurs élevées de la période ne semblent pas en contradiction, avec la vitesse de propagation de la houle.

Sur les variations de la période en un lieu déterminé à l'approche d'une grande houle la documentation est très réduite. Au large, je ne crois point qu'elles aient jamais fait l'objet d'observations continues. Au Maroc, en examinant ces variations, notamment pendant les houles du 25 septembre et du 15 octobre 1922, Montagne a noté que « Si l'on mesure avec soin les périodes en procédant sur des moyennes de 5 à 6 rouleaux, en visant des points différents d'une même rade, on trouve des résultats identiques à quelques dixièmes de seconde près. On observe en outre des variations souvent lentes et progressives de la période au cours de la journée (deux ou trois dixièmes de seconde à l'heure); parfois aussi des variations brusques (deux ou trois secondes à l'heure) ».

En Amérique, d'une étude sur les houles observées de stations de la côte occidentale des Etats-Unis et dues à des cyclones tropicaux, Tannehill conclut que leur période est une indication de l'intensité de la tempête et est indépendante de la distance relativement faible, qui sépare le centre de la tempête du point d'observation.

On a cherché une explication de ces variations de la période observée à terre dans le phénomène de Doppler et on aboutit par cette voie, pour les houles mentionnées par Montagne, à des résultats acceptables. Mais, en admettant qu'il soit permis d'assimiler la zone dépressionnaire où se forme la houle à un émetteur d'ondes se propageant dans toutes les directions, ce qui serait plus légitime pour les cyclones tropicaux que pour des dépressions extra-tropicales, il reste que le phénomène de Doppler n'est valable que pour des ondes se propageant avec une longueur et une vitesse constantes, ce qui, on l'a vu, ne semble pas être le cas de la houle. Mais lorsque l'on disposera de renseignements suffisants sur les variations de la longueur et de la vitesse de la houle, il deviendra peut-être possible, au moins pour les cyclones tropicaux, d'expliquer certains phénomènes de sa propagation, en représentant la théorie de

Doppler, dans laquelle on modifierait les hypothèses sur la nature des ondes, en posant comme condition, par exemple, que ces ondes ont non plus une vitesse constante, mais une accélération constante.

## CONCLUSIONS

La théorie de la propagation de la houle, compte tenu de l'action du vent, demeure presque entièrement à faire. Il existe encore un fossé entre les théoriciens et les observateurs, qu'il appartient aux prochains chercheurs de combler.

Il y a une pénurie de matériaux pour une construction solide. Aussi, la première tâche doit-elle être d'améliorer les instruments et les méthodes de mesure et de coordonner les observations.

Les observations des navires manquent généralement de précision. En vérité, seuls les navires de guerre et des bâtiments spéciaux semblent en mesure d'effectuer systématiquement des observations offrant une valeur scientifique.

Les navires hydrographes et océanographes, dotés d'un personnel scientifique familiarisé avec les mesures délicates, semblent particulièrement désignés pour coopérer à ces travaux.

Ces mesures présenteront d'autant plus d'intérêt qu'elles seront coordonnées, car la houle se propageant à la fois dans le temps et dans l'espace son étude, comme l'a déjà signalé Krümmel, exige l'emploi des méthodes synoptiques utilisées en météorologie pour des phénomènes non moins complexes. Aussi la Sous-Commission de la houle (de l'organisation météorologique internationale), que préside avec tant d'activité et de compétence le Commandant Alvaro Morna, a décidé à sa dernière réunion à Salzbourg (Septembre 1937) d'organiser à titre d'essai en Mars 1938 une semaine internationale de Houle, pendant laquelle les observations et mesures de houle seront intensifiées sur tout l'Océan Atlantique nord, tant à bord des navires que dans les stations côtières. Si cette initiative se révèle fructueuse, d'autres semaines de Houle seront ultérieurement organisées sur des bases plus larges. Il semble que l'on puisse en attendre des progrès importants dans l'étude des problèmes qui viennent d'être brièvement examinés.

# Os três tipos fundamentais da Paisagem

POR

RAÚL DE MIRANDA

Assistente de Geografia Física e Física do Glóbo na Universidade de Coimbra.  
Sócio da Sociedade de Meteorologia e Geofísica de Portugal,  
da Sociedade de Geografia de Lisboa, do Instituto de Coimbra,  
da Sociedade Portuguesa de Ciências Naturais,  
da Sociedade Portuguesa de Estudos Eugénicos  
e da Sociedade de Estudos de Angola.

---

**A paisagem em geografia.**— De todos os assuntos geográficos, um dos que melhor traduz o dinamismo e as mutações e mais profundamente caracteriza o aspecto duma região, é sem dúvida o da paisagem. Por esta expressão deve entender-se a fisionomia dum local num momento dado, fisionomia que pode traduzir apenas a intensa união dos elementos minerais, ou ter a animá-la o recobrimento vegetal ou animal, ou ainda possuir como marca bem distinta, a acção transformadora e característica do Homem. A paisagem, mutável como todas as coisas subordinadas à acção do tempo, evoluciona, modifica-se, mascara-se, transformando-se tantas vezes e tantas vezes nos mostrando os aspectos mais diversos e as feições mais opostas. Através da evolução da Terra, quantas paisagens se modificaram, quantas atravessaram um ciclo evolutivo, hoje ostentando uma vegetação exuberante, amanhã vendo essa vegetação a definhar, rareando, devido às mudanças do clima e às variações de condições vitais; outras, galhardamente ostentando uma fauna característica disforme, que imprime à paisagem um aspecto de monstruosidade e de aberração de formas, que a pouco e pouco vai cedendo e orientando-se no sentido duma normalidade que se apròxima; ainda outras paisagens, mais nuas e ásperas, onde o mar e a terra num ambiente inorgânico, modificam, com as regressões e transgressões que se operam, o aspecto que hoje apresentam, para amanhã se mostrarem diferentes daquilo que hoje são. E' tóda uma variedade de formas de paisagem que se sucedem por vezes como as imagens dêste largo caleidoscópio que é a Terra, o maior laboratório onde as reacções nem sempre conduzem a resultados lógicos e esperados. A paisagem possui, portanto, a sua evolução, paralela com a evolução da Terra, porque aquela não é mais do que o aspecto

momentâneo que apresenta uma região do planeta, região mais extensa ou de extensão menor, que conduz ao reconhecimento duma mais ou menos larga paisagem terrestre. A entrada do homem no tablado da paisagem, trouxe a esta o elemento mais transformador que se poderia esperar. Pela sua intervenção, a paisagem agreste e inorgânica, ganha vida e adquire foros de notável; o homem transforma-a, modifica-a lenta ou rapidamente e acaba por nos oferecer uma nova paisagem, trabalhada pelo seu engenho e pelo seu intelecto, forçando-nos a reconhecer que a nova paisagem, primitivamente nua e áspera, inicialmente constituída pelos elementos minerais apenas, foi domesticada pelo génio humano e apresenta agora uma fisionomia diferente, que em tudo difere da sua feição primitiva. As necessidades da vida humana e as exigências sucessivamente crescentes da ecònomia e do comércio, eram e são hoje ainda poderosíssimos factores que determinam as variações da paisagem, que a fizeram evolucionar com lentidão umas vezes, outras com acelerado ritmo, conforme o exigiam as duras leis da vida ou as imperiosas obsecações do mercantilismo e do inveterado hábito do domínio.

A paisagem é, pois, dinâmica. Aos factores naturais da erosão, que operam continuamente uma acção modificadora, temos a juntar o factor humano que transforma mais rapidamente, precisamente porque regula por anos o que os factores externos, em geral, regulam por séculos. Mas a paisagem geográfica, dissemos, apresenta fácies diversos. Não é a mesma, varia imenso e precisamente por isso, necessita que a classifiquemos, para uma melhor ordenação dos seus aspectos.

**Os tipos fundamentais da Paisagem:**— Três tipos, que chamaremos fundamentais, nos apresenta a Paisagem: *paisagem mineral ou inorgânica, paisagem biológica e paisagem humana.*

Por *paisagem mineral ou inorgânica*, entendemos aquele tipo de paisagem onde não ha vegetação ou fauna organizadas, nem sequer vestígio do homem, nêsse lugar. O que domina, é apenas o elemento inorgânico, a rocha dura, o mar, o extenso manto de areias ou a montanha áspera e isoladora. Não ha vegetação ou fauna organizadas, isto significa que os raros vegetais e animais, não vivem em associações e são *casos biológicos esporádicos*, apenas. E' a paisagem duma zona costeira, onde o mar com languidês se espraia nas areias ou bate com rudeza a rocha que se opõe à expansão das suas forças. E' o rochedo duro e só, no mar imenso; o deserto com tôda a sua homogeneidade de tristeza ou os campos de gêlo, lívidos e pálidos como a morte.

Nesta paisagem, primitiva pelo isolamento que traduz, só o inorgânico domina; é a paisagem do reino mineral, a associação dos corpos simples, a identidade absorvente da matéria homogénea. Os animais e as plantas, afastam-se ou vivem em notável dispersão, fugindo duma convivência que o meio não permite e que a própria paisagem não tolera. Associados, só o ar, a água e a rocha; só êstes constituem o clan do mundo mineral. O homem foge e teme esta paisagem; se a procura alguma vez, é apenas a curiosidade científica que o arrasta para

ela, para a estudar e compreender, para a mostrar depois e vulgarizar os seus aspectos. O homem é, assim, elemento passageiro e visitante raro. Se atravessa o Sára, fá-lo com precipitação e com pressa; se busca os rápidos pendores do Himalaia, procura alcançar depressa os cimos, não vá uma tempestade de neve sepultá-lo para sempre ou o vento envolvê-lo, obrigando-o a retroceder; se força as paragens polares, vive em tendas ou em abrigos de gelo, vendo passar os dias com a lentidão com que os outros homens vêem passar os decênios. Sempre, neste tipo de paisagem, o homem é rara curiosidade que não ocupa espaço, nem canto como elemento preponderante. Nessas lácunas do mundo vivo e sôbretudo do mundo humano, a Natureza compraz-se em apresentar em tôda a sua nudez e em todo o seu esplendor, a feição primitiva do início, a face selvagem e agressiva com que recebeu no arrebol os primeiros seres e com que mais tarde o próprio Homem foi recebido, já quasi no seu declíneo, de crepúsculo a começar.

Mas à *paisagem mineral ou inorgânica* succede-se a *paisagem biológica*, onde o dominante é a vida organizada dos vegetais ou dos animais que preenchem a maior parte do espaço e dão a nota saliente e os traços característicos à paisagem. E' a vegetação exuberante das regiões equatoriais da África, da Ásia, América e da Oceânia, que num paroxismo de vida, lançam à terra as suas fortes raízes e desprendem para o ar os compridos ramos oriundos de fortes e robustos troncos. Tudo denota grandeza: a dimensão das formas e a densidade dos seres. Esta paisagem é uma página repetida do livro da Vida da Terra; é uma amostra dessa época vegetal, gigantesca, que o carbonífero nos legou; é uma aberração que atrái pela imensidade que revela, ao mesmo tempo que afasta pela estranha e contínua interrogação que traduz. O homem foge desta paisagem que o enovela, o amedronta e o perturba. Se o isolamento da *paisagem mineral* o deprime, a imensa profusão dos seres vegetais é igualmente motivo para o não deixar tranqüilo. Tão larga companhia dos elementos da flora é tão nociva ao espírito do Homem como o vazio da vida que a *paisagem inorgânica* apresenta. Mas a *paisagem biológica* não é só revelada pela aglomeração das plantas; as associações de animais constituem o segundo dos seus aspectos, entendendo por essas associações o conjunto dos elementos da fauna, em inteira liberdade e completa autonomia de movimentos. Se o Homem evita esta paisagem, a-pesar-do que pode representar de agressiva, não a evita tanto que não se encontre por vezes — e não são poucas — no seu próprio tablado, em contacto com ela. O receio por este tipo de paisagem, é para o Homem, menor do que o que lhe inspira os tipos anteriores.

Por vezes, procura-a e toma ascendências sôbre ela, no desejo que julga legítimo de impôr a sua força. Em qualquer dos dois aspectos, que a *paisagem biológica* apresenta, há o domínio da flora ou da fauna, em extensas associações, sem intervenção humana; as plantas e os animais são seres próprios e locais, exemplos flagrantes da vida da região, moldados pelas condições próprias do meio, adaptados às características climáticas que lhes são propícias. Mas ao lado dos dois casos que a *paisagem biológica* apresenta, outros dois paralelos e semelhantes se

podem apontar, que se possuem grandes afinidades com este tipo de paisagem, se afastam dela por intervenção do Homem, que põe nessa paisagem a marca do seu espírito e lhes dá uma fisionomia trabalhada pelo seu engenho, uma face alindada que a torna diferente e leva facilmente à distinção.

Referimo-nos às associações vegetais e animais que resultam duma intensa cultura ou criação de gado, e que obra humana, traduzem já uma realidade económica e são assim os campos que alimentam as fundamentais necessidades a que o Homem pede apoio. A essa paisagem daremos a designação de *paisagem biológica humanizada*, traduzindo com esta expressão a ideia de associações biológicas que resultam, não da pura espontaneidade dos elementos da região, mas da adaptação, renovação ou desdobramento duma anterior paisagem, a que o Homem, no seu trabalho constante, de Sísifo, deu nova estrutura, segundo o ritmo mais ou menos intenso a que o império das suas exigências vitais o obrigou, ou o capricho do seu fugitivo poder lhe deu larga expansão.

Finalmente, o terceiro tipo da paisagem, é criação inteiramente do Homem e em que este colocou as mais subtis ideias ao dispôr do seu ideal de civilização. Os pequenos ou os grandes aglomerados urbanos são índices evidentes da acção do nosso semelhante, só diferindo pela extensão e carácter externo das habitações. O Homem dá largas completas à sua imaginação, edificando segundo as regras permitidas pelas condições económicas e pelos caracteres dominantes do clima.

A face da Terra muda de aspecto e apresenta feições que indicam a clara intervenção dum sêr superior. Mas aguilhado pelo interesse, o Homem vai por vezes construir em lugares rudes, onde as condições climáticas são más e não indicavam ser aí lugar próprio para a fixação humana. A luta é então maior e o Homem criando uma paisagem própria, constrói e chega na sua pertinácia de rebuscador do oiro ou de explorador do petróleo, a dominar — tal é a sua obcecada ideia da conquista — o meio que lhe é e continua ainda a ser hostil. Cavalgando o próprio clima, vai domando este como doma os animais ferozes e embora a domesticação seja mais difícil e morosa, êle não perde as ocasiões que se lhe oferecem para transformar, alterar, modificar e corrigir, os elementos mais contrários e prejudiciais que o clima lhe apresenta, mas que êle, factor extraordinário de correcção, é capaz de em tôda a plenitude do seu génio, obrar prodígios contra a própria Natureza. Desde o pequeno e acanhado conjunto das cubatas dos negros ou das frias moradas dos êsquimos, passando pelas habitações de madeira, da taiga, até à magestada vertical dos arranha-céus americanos, o Homem pela sua presença conseguiu, neste tipo de paisagem sua, de *paisagem humana*, traduzir o esforço da sua vontade indomável, criando alguma coisa de diferente, de grandioso e por vezes até, quasi de extraordinário. As cidades, no seu aspecto concêntrico umas vezes, outras em linhas rectas cruzando-se, as povoações lineares estendendo-se ao longo dos caminhos, os portos de mar ou fluviais, as explorações industriais adossadas aos aglomerados urbanos ou dispersas e afastadas dos centros de população, são modalidades da mesma estrutura, aspectos variegados da mesma

*paisagem humana*. Em todas essas modalidades há como nervura do mesmo limbo um eixo comum, — o do interesse — quer este resulte apenas das estritas necessidades de conservar e preservar a Vida, quer seja o móbil, tantas vezes seguido, da ambição louca do domínio. O Homem, não olha contudo, para o agente que o impulsiona; sente-lhe a força de expansão e orienta todo o seu labor no sentido de corresponder à força intensa que o leva, o arrasta às vezes, sem ter tido tempo para outro raciocínio que não seja o de organizar, dar realidade e relêvo à ideia que por osmose o absorveu por completo. Da paisagem puramente mineral, resulta por transformação a *paisagem humana*; poderíamos até dizer sempre, tão escassas vezes esta última se pode considerar derivada da *paisagem biológica*. De aspecto inorgânico, o Homem com a sua presença, transforma radicalmente a paisagem, *sublimando-a* e fazendo-a passar do estado inerte e estático, ao mais completo, profundo e vibrante dinamismo. A' força da sua vontade, a face da Terra transmuda-se em espelho das suas possibilidades criadoras.

Tais são os três tipos fundamentais, que a Paisagem, em geografia, nos aponta. Neles se reflecte, a vida íntima do nosso globo e a diversidade de estruturas que a *vida organizada* ostenta no planêta.

De espaço a espaço, de instante a instante, se modifica a Paisagem; variável continuamente, ela obedece sob o ponto de vista geográfico aos agentes de desgaste e aos caprichos ou puras necessidades humanas. E comparados nos seus efeitos, não deixa a acção do Homem, de ser talvez, mais profundamente transformadora e revolucionária, mais original até, embora sempre caracterisadamente geográfica.

# A electricidade atmosférica na meteorologia

PELO

Vice-Almirante AUGUSTO RAMOS DA COSTA

Engenheiro hidrógrafo

Presidente da Sociedade de Meteorologia e Geofísica de Portugal

De ha muito que vimos insistindo na necessidade do estudo das observações da electricidade atmosférica para o progredimento da meteorologia; ao que se nos afigura, poucos observatórios meteorológicos acompanharão, porventura, as observações mais usuais, com aquellas que se referem ao estado ionístico da atmosfera.

Ora, actualmente, os elementos meteorológicos mais essenciaes, para o conhecimento do que se passa na atmosfera, são: a *temperatura* e a *ionização*.

Como por mais duma vez temos também escrito, o elemento meteorológico — pressão atmosférica — passou para plano secundário, depois de desfeita a noção errónea de que a origem do vento resultava da queda da pressão.

Desde que Helmholtz (1890) demonstrou pela análise matemática que os movimentos da atmosfera são provenientes da rotação de anéis independentes (massas de ar), separadas por superfícies de descontinuidade térmica, e de que as vagas originadas pelo atrito, nas superfícies de separação de dois anéis contiguos, se propagam paralelamente ou se deformam em fórma de ciclones, conforme essas vagas são respectivamente estáveis ou instáveis, ficaram lançadas as primeiras bases para o estudo consciencioso da circulação geral da atmosfera, bases que se coadunam precisamente com o principio dos solenóides de Bjerkness, a que modernamente se dá, na meteorologia, o nome da teoria da *Frente Polar*.

Deve-se, ainda, a Margules uma notável contribuição sôbre o recente estudo da causa da formação do vento, que é devido, segundo o parecer d'este illustre meteorologista, à energia potencial resultante da acção de duas massas de ar em contacto, mas de temperaturas diferentes.

Vemos, pois, que o vento provém antes do gradiente da temperatura do que do gradiente da pressão, constituindo portanto o vento e a pressão apenas fenómenos correlativos e não de causa a efeito, como muito bem expôs nas suas brilhantes conferências, no Estado Maior

Naval, o ilustre meteorologista, comandante Alvaro Morna, antigo director do serviço meteorológico da Marinha.

O segundo elemento predominante dos fenómenos ocorridos na atmosfera é o da *electrização* ou, melhor, da *ionização* do ar atmosférico, cujo efeito, como vamos mostrar, são duma importância extrema para o estudo das perturbações atmosféricas.

Foi, por isso, que, há cerca de 30 anos, atenta a impossibilidade de obtermos verba para a aquisição dos instrumentos necessários ao estudo da electricidade atmosférica, fizemos construir, na Oficina de Instrumentos de Precisão, que então dirigíamos, e na folga de trabalho de menor monta na construção e reparação de instrumentos náuticos, alguns daqueles aparelhos, que, infelizmente, foram devorados no grande incêndio, ocorrido, em Abril de 1916, na Escola Naval.

Com os elementos meteorológicos acima mencionados, tornou-se então possível o estudo das perturbações atmosféricas que, à medida que progride a meteorologia, são cada vez mais difíceis, pela sua complexidade, estudá-las a fundo.

Ultimamente, os meteorologistas têm a distinguir duas espécies de perturbações atmosféricas: *Perturbações ordenadas*, que se podem considerar como a parte estática da mecânica atmosférica, isto é, aquelas perturbações que, pelo seu aspecto perfeitamente harmónico, se podem reproduzir no laboratório; e *Perturbações desordenadas* correspondendo, por assim dizer, à mecânica dinâmica da atmosfera, cuja resolução só pode ser levada a efeito por intermédio do cálculo das probabilidades.

Nas perturbações ordenadas há a considerar os turbilhões celulares de Bénard, distinto professor da Sarbonne, que são os turbilhões convectivos da atmosfera: êles aparecem no tempo bonançoso e são concernentes às núvens imóveis, que, através dos seus instrumentos, deixam transparecer o azul puro do firmamento.

Mas, quando êsses turbilhões convectivos tomam o carácter de cirrus — sinais percursoros de graves perturbações — situadas em altitudes de 5 a 6 quilómetros, elas então já não são resultantes apenas do gradiente térmico, mas do conjunto da intervenção dum novo gradiente, que é o da ionização atmosférica, devido à radiação solar ultravioleta que, como é notório, tem por objectivo electrizar as moléculas gazosas do ar. Este gradiente da ionização ou da electrização foi reconhecido nas experiências feitas em laboratório pelos meteorologistas Avsec e Luntz, antigos discípulos do professor Bénard. E neste caso, temos por perspectiva a tempestade com todas as suas manifestações térmicas e eléctricas atribuídas ao ciclone, que não é mais do que a formação dos turbilhões termo-eléctricos convectivos aliados à rotação terrestre.

Ora, tudo isto que acabamos de expender parece estar definitivamente comprovado pelas experiências laboratoriais realizadas por êstes distintos meteorologistas, e que, segundo julgamos, se depreende facilmente da visita feita à secção meteorológica do «Palácio da Descoberta» na Exposição Internacional de Paris (1937).

Vemos, pois, que a meteorologia, à custa das exigências da aviação, por isso que o futuro desta depende do conhecimento da mecânica

atmosférica, tem sofrido um avanço extraordinaríssimo, há cerca de 50 anos para cá. Assim, ao passo que, naquela época, as observações se limitavam a medir à superfície do solo — pressão, temperatura, umidade e vento — hoje, observa-se o estado do céu por via da observação das núvens, medem-se alguns daqueles dados meteorológicos, na alta atmosfera, por intermédio dos baldes-sondas e, mais modernamente, pelos rádio-sondas, em que êsses dados são instantaneamente trazidos ao solo pelas ondas de T. S. F. e, por último, avalia-se o estado ionístico da atmosfera, com o auxílio das observações da electricidade atmosférica, o qual interpreta, com verdadeira precisão, a formação das perturbações atmosféricas, não falando, é óbvio, o estudo das observações heliofísicas, que, num futuro mais ou menos breve, devem vir a ter uma enorme preponderância no estudo da previsão do tempo e, sobretudo, a longo praso.

# BIBLIOGRAFIA

Nesta secção, dar-se-há notícia crítica de todas as obras de que nos seja enviado um exemplar

## Publicações periódicas recebidas por "A Terra"

*Alemania* (Berlim) — Ano V — N.ºs 1, 2 e 3.

*Anais do Club Militar Naval* (Lisboa) — Tõmo LXVII — N.ºs 9, 10, 11 e 12.

*Antena* (Vila Nova de Gaia) — N.ºs 14, 15 e 16.

*Arquitectura* (Lisboa) — Ano X; N.º 39.

*Arquivo Transtagano* (Elvas) — Ano 4.º — N.º 6.

*Boletim da Sociedade de Geografia de Lisboa* — Série 55; N.ºs 11 e 12 e número comemorativo do dia da Metrópole e da Semana da Sociedade de Geografia em Lourenço Marques.

*Boletim dos Serviços de Indústria, Minas e Geologia da Colónia de Moçambique* (Lourenço Marques) — N.º 1.

*Boletins mensais e resumo anual* (Observatório da Serra do Pilar — Vila Nova de Gaia) — 1935.

*Brotéria* (Lisboa) — Vol. XXV; Fasc. 6 — Vol. XXVI; Fasc. 1, 2 e 3.

*Brotéria* (Série trimestral de Ciências Naturais - Lisboa) — Vol. VII; Fasc. 1.

*Clínica, Higiene e Hidrologia* (Lisboa) — Ano III — N.ºs 11 e 12. Ano IV — N.º 1.

*Contribuições para o Estudo da Antropologia Portuguesa* (Instituto de Antropologia - Coimbra) — Vol. II; Fasc. 12.

*Costa de Oiro* (Lagos) — N.º 36. *Defesa Nacional* (Lisboa) — N.º 45, 46 e 47.

*Geografia* (Associação dos Geógrafos Brasileiros - São Paulo) — Ano II; N.º 4.

*Ibero-Amerikanisches Archiv* (Berlim) — Vol. XI; N.º 4.

*Labor* (Aveiro) — Ano XIII; N.ºs 87, 88 e 89.

*La Géographie* (Paris) — Tõmo LXVIII; N.º 5 — Tõmo LXIX; N.ºs 1 e 2.

*Le Mois* (Paris) — N.ºs 84, 35 e 86.

*Matériaux pour l'étude des calamités* (Genève) — N.º 40.

*Mitteilungen der Geographischen Gesellschaft in Hamburg* — Vol. XLV.

*Moçambique* (Lourenço Marques) — N.ºs 344 a 354.

*Natur und Volk* (Frankfurt) — Vol. 67; N.º 12 — Vol. 68; N.ºs 1 e 2.

*Notícias Farmacêuticas* (Coimbra) — Ano IV; N.ºs 1, 2, 3 e 4.

*O Instituto* (Coimbra) — Vol. 91; N.º 4.

*O Mundo Português* (Lisboa) — N.ºs 48, 49 e 50.

*Pensamento* (Porto) — N.ºs 94, 95 e 96.

*Portucale* (Porto) — Vol. X; N.ºs 59, 60 e 61.

*Portugal* (Secretariado de Propaganda Nacional - Lisboa) — N.ºs 30 e 31.

*Portugal Corticeiro* (Lisboa) — Ano IV; N.ºs 93, 94, 95 e 96. Número especial dedicado à Exposição de Paris.

*Publicações do Instituto de Climatologia e Hidrologia da Universidade de Coimbra* — IV (1937).

*Revista de Guimarães* — Vol. XLVII; N.ºs 3 e 4.

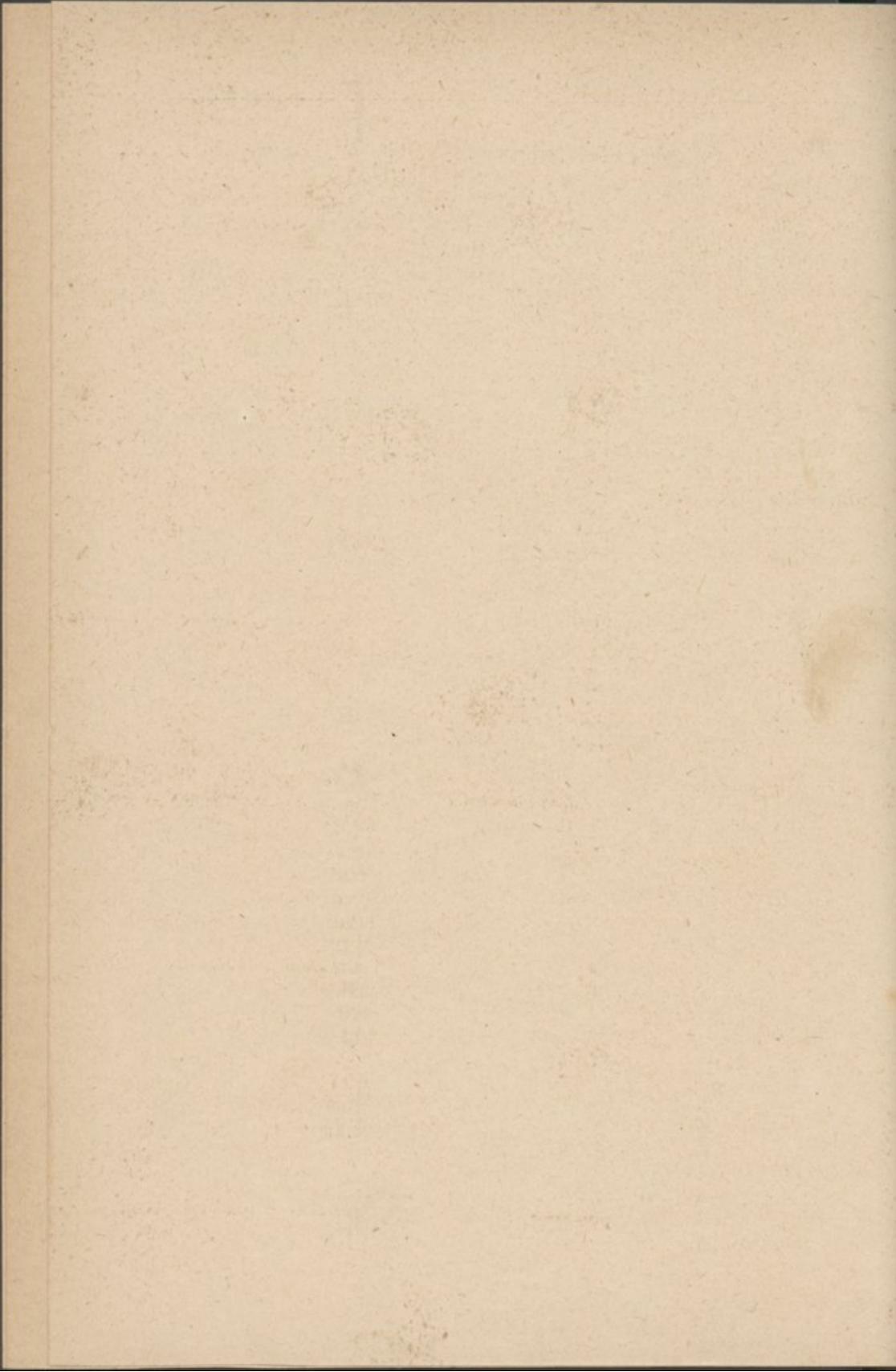
*Revista do Instituto Geographico e Historico da Bahia* — N.º 63 (1937).

*Revue Géographique des Pyrénées et du Sud-Ouest* (Toulouse; — Tomo VIII; Fasc. 3 e 4.

*Sol Nascente* (Porto) — Ano I; N.ºs 22, 23, 24, 25 e 26.

*The Geographical Magazine* (Londres) — Vol. VI; N.ºs 4, 5 e 6.

*Trabalhos da Associação de Filosofia Natural* (Porto) — Vol. I; Fasc. 3.



## Representantes de A TERRA

### Portugal continental :

AVEIRO — Dr. Alvaro Sampaio, Professor do Liceu.

BRAGANÇA — Dr. Euclides Simões de Araujo, Professor do Liceu.

CASTELO BRANCO — Dr. Vitor dos Santos Pinto, Director do Instituto de Santo António.

LEIRIA — Dr. António G. Matoso, Professor e Advogado.

LISBOA — Dr. Adriano Gonçalves da Cunha, Assistente da Faculdade de Ciências e Investigador do Instituto Rocha Cabral.

PORTO — Alberto Pais de Figueiredo, Engenheiro e Observador-Chefe do Observatório da Serra do Pilar.

SANTAREM — Dr. José de Vera Cruz Pestana, Professor do Liceu.

SETUBAL — Dr. António Bandeira, Professor do Liceu.

### Portugal insular :

AÇORES — Representante Geral — Tenente-Coronel José Agostinho, Director do Serviço Meteorológico dos Açores.

### Portugal ultramarino :

MOÇAMBIQUE — Representante Geral — Dr. Platão Amaral Guerra, Licenciado em Farmácia pela Universidade de Coimbra.

### Estrangeiro :

#### Espanha :

Representante Geral — D. Alfonso Rey Pastor, Director da « Estacion Central Sismologica de Toledo ».

#### México :

Representante Geral — D. Leopoldo Salazar Salinas, Chefe do Serviço Geológico do Departamento Central do Distrito Federal.

---

*Os artigos publicados são de inteira responsabilidade dos seus autores.*

*Os originais, quer sejam ou não publicados, não se restituem.*

*As separatas dos artigos publicados e as gravuras inseridas nos mesmos, são da responsabilidade monetária dos seus autores.*

*E' permitida a reprodução de qualquer artigo com indicação da origem.*

# A T E R R A

Premiada na Primeira Exposição Colonial Portuguesa do Porto,  
em 1934

- E' a única Revista portuguesa de Geofísica.
- Tem a colaboração dos primeiros nomes científicos do país e estrangeiro.
- Faz uma obra de cultura séria e elevada.
- Divulga com critério as ciencias de que trata.
- E realiza um trabalho nacional no campo da investigação pura.



Composta e impressa na TIP. BIZARRO  
Rua da Moeda, 12-14 — Coimbra