



PONTIFICIA
ACADEMIA
SCIENTIARVM

COMMENTARII

Vol. I

N. 17

ERNESTO GHERZI

ETAT ACTUEL DE NOS CONNAISSANCES DES CYCLONES TROPICAUX

EX AEDIBVS ACADEMICIS IN CIVITATE VATICANA

ETAT ACTUEL DE NOS CONNAISSANCES DES CYCLONES TROPICAUX

ERNESTO GHERZI

Académicien Pontifical

SVMMARIVM — Breviter exponit Auctor praecipua quae nunc cognoscuntur vel investigantur de tropicalium turbinum thermodynamica; nunc enim eorum geometria et natura molto melius perspecta est, quam ante alterum totius orbis bellum, cum auxilia maxima venerint ex velivolis speculatoriis Americanis et ex imaginibus photographis per satellites Tيروس effectis.

L'étude des cyclones tropicaux s'est énormément développée après la fin de la deuxième guerre mondiale. De nouveaux instruments pour l'analyse des situations météorologiques se trouvèrent à la disposition des météorologistes de tous les pays. Les avions du type U2 des Etats-Unis volant à de très grandes altitudes et l'usage du radar contribuèrent énormément à donner à la météorologie la composante verticale qui lui manquait. Les fusées, dérivées des V2 allemands et les sondes flottantes lâchées dans le cyclone vinrent aussi apporter leur contribution scientifique pour des buts de paix.

Vu l'immense abondance de publications dans toutes les langues sur le sujet des cyclones tropicaux, nous nous bornerons à relater les résultats principaux obtenus. Nous ajouterons quelques commentaires.

Note présentée le 4 Octobre 1962 au cours de la Session Plénière de l'Académie Pontificale des Sciences.

ORIGINE ET DEVELOPPEMENT D'UN CYCLONE TROPICAL

Les météorologistes sont actuellement d'accord pour admettre que ce trouble atmosphérique se forme sur le bord méridional de l'anticyclone maritime, dans la région appelée « les calmes tropicaux » (doldrums). Il a fallu de longues années pour que cette idée, formulée par nous en Extrême-Orient, dès 1925, fût acceptée.

Dès avant 1930, l'Observatoire de Zikawei et ceux du Japon avaient fourni les données qui prouvaient que dans ces cyclones tropicaux il n'y avait pas les fronts que Bjerkness avait signalés dans les tempêtes extratropicales. Il s'agissait donc d'un type spécial de trouble cyclonique atmosphérique, qui exigeait une source de perturbation et d'entretien thermodynamiquement différente de celle des tempêtes analysées par l'Ecole Norvégienne. L'apparition sur la surface de l'océan de cette zone atmosphérique très labile, de dimensions restreintes et qui se développera en tempête, est encore expliquée de deux manières qui, à tort, semblent différentes et distinctes. Cela est dû à ce fait que, encore de nos jours, nombre de météorologistes négligent de considérer les conditions géographiques très diverses des régions où naissent ces ouragans ou typhons. Dans l'hémisphère Nord, tout le long de cette bordure méridionale de l'Anticyclone maritime du Pacifique où se forment ces centres cycloniques on trouve de nombreuses petites îles avec leurs lagunes. Ailleurs, par exemple, dans l'Océan Atlantique Nord, elles sont moins nombreuses et dans l'Atlantique Sud, elles manquent complètement.

Or, il y a une corrélation parfaite entre le nombre annuel des cyclones tropicaux dans une région du globe et le nombre de petites ou grandes îles près de ces « doldrums ». Cela donne une explication immédiate de la formation de petits troubles convectionnels décelés par les satellites Tiros et issus des petites îles tropicales qui, entraînés sur l'Océan par les alizés, pourront,

suivant leur extension en latitude, subir l'influence du facteur Coriolis et développer ainsi une circulation cyclonique. Celle-ci pourra, suivant les conditions océaniques de température et d'humidité, augmenter en violence ou, au contraire, dépérir graduellement sur son chemin le long du bord occidental de l'anticyclone maritime (hémisphère septentrionale). Un ouragan aura été formé ou, au contraire, seulement une perturbation d'un jour avec rafales et averses limitées à une petite région de la surface de l'océan. Les rapports officiels des navires sont pleins d'observations de ces petits troubles, assez violents mais d'une durée éphémère.

De nos jours, on a trouvé que parfois des ondulations atmosphériques dans la haute troposphère faisant route de l'Est à l'Ouest peuvent, en passant au-dessus d'une de ces petites convections issues des îles tropicales et en mouvement sur l'océan, l'intensifier fortement. Celle-ci, devenue ouragan, continuera d'être entraînée par les alizés, ou mieux par la circulation de l'anticyclone maritime; d'abord, vers le W ou le NW et ensuite, si le centre est resté sur mer, vers le Nord et le NE (virage de l'ouragan).

L'opinion que le trouble atmosphérique originel se forme directement, comme une convection locale modérée, sur la surface de l'océan, là où sa température est supérieure seulement de quelques trois ou cinq degrés centigrade à des eaux ambiantes, ne peut être admise comme suffisamment prouvée. Le trouble initial qui pourra devenir un ouragan est de petites dimensions alors que les zones plus chaudes de l'océan sont beaucoup plus étendues. On ne voit pas comment un petit centre s'y formerait comme une entité distincte. L'onde atmosphérique d'Est (Eastern wave) qui pourrait affecter ce trouble local, elle aussi est très étendue. Comment pourrait-elle réduire les dimensions d'une convection locale très large? En outre, il n'y a pas de corrélation entre le nombre de ces zones maritimes plus chaudes et l'apparition de cyclones dans ces mêmes zones. L'énergie dérivée de la condensation de l'humidité d'une région

de l'océan légèrement plus chaude est bien inférieure à celle fournie par une convection formée sur une île de corail. Ici, la température est de 10 à 20 degrés Centigrade supérieure à celle de la mer qui l'entoure. En outre, la formation des troubles atmosphérique sur l'océan, germe possible d'un ouragan, n'explique nullement pourquoi en Extrême-Orient il y a beaucoup plus de cyclones qu'à l'Est de la Floride, dans l'Océan et à l'Est de l'Australie.

CONSTITUTION DE L'OURAGAN OU TYPHON

Tous les météorologiste admettent actuellement que ce trouble atmosphérique est avant tout un trouble convectif. C'est une colonne gigantesque d'air chaud et humide qui, en ascendant, se condense et libère une grande quantité de chaleur latente. L'air ainsi réchauffé continue son ascension jusqu'au niveau où la température à l'intérieur et celle à l'extérieur sont égales. On a avancé que, dans le centre de la colonne cyclonique, il y avait une descente d'air stratosphérique. Cet air se réchaufferait par subsidence et cela expliquerait les hautes températures observées dans la partie supérieure de la tempête: Ce point est encore discuté, car ces valeurs extraordinaires de la température de l'air dans la cheminée de l'ouragan, à des niveaux supérieurs de l'atmosphère, peuvent s'expliquer autrement.

Ces hautes températures pourraient être dûes à la turbulence de la convection ou, parfois, tout simplement à la concentration de la radiation solaire par les nuages ambiants à l'intérieur du vortex cyclonique. L'ascension de l'air chaud et humide dans la cheminée de l'ouragan n'est pas également distribuée. Il y a dans le corps du cyclone ce qu'on a appelé « des colonnes chaudes » (hot towers), c'est-à-dire des colonnes nuageuses séparées et parallèles. C'est à ces condensations multiples et distinctes qu'il faut attribuer la turbulence dont les vaillants pilotes des « reconnaissance flights » ont décrit la vio-

lence intermittente. Parfois, la cheminée cyclonique est percée latéralement par des pénétrations d'air extérieur et cela complique l'allure des vents à l'intérieur du cyclone. La région qu'on a appelée « l'oeil de la tempête » est rarement complètement dégagée de tous nuages, bas ou haut.

La plupart du temps, il y a comme un dôme de nuages à quelques 2000 ou 3000 mètres, juste au-dessus du centre du cyclone. La turbulence décroît de bas en haut et vers 3000 mètres, il y a souvent comme une couche assez tranquille, avec vents horizontaux. C'est à ce niveau que s'échapperait une bonne partie de l'air de convection qui monte en spirales multiples. Un autre niveau d'échappée de l'air cyclonique se trouverait à la hauteur des cirri, c'est-à-dire vers les 10 ou même 12 km. Les rapports des aviateurs sont parfois contradictoires et les photographies obtenues dans la stratosphère par les satellites type Tiros ne donnent pas la hauteur des couches nuageuses. Le centre de la tempête est parfois double. Les radars ont même montré que parfois les deux centres sont concentriques. On ne voit pas comment expliquer ce phénomène exceptionnel. Il ne s'est pas avéré que, toujours lorsque deux cyclones évoluent l'un près de l'autre, les deux centres finissent par fusionner pour en former un seul, doué d'une violence accrue. Toutefois, on a l'impression que deux centres voisins, tout en restant séparés, tournent l'un autour de l'autre, suivant les aiguilles d'une montre, du moins dans l'hémisphère Nord.

Les météorologistes négligent encore de définir les limites du trouble cyclonique. Quoique sa violence se fasse sentir à des centaines de milles marins, la tempête elle-même n'a pas de telles dimensions. Le centre, appelé « l'oeil de la tempête », peut atteindre rarement 100 milles de diamètre, mais il y a tout autour une région qui fait réellement partie du cyclone. Nous avons proposé plusieurs fois, apparemment sans succès, que les limites horizontales de celui-ci soient définies par l'aspect de la baisse barométrique aux stations météorologiques. Toute localité, où la pression montrerait au même moment une chute

subite en verticale, petite ou grande, serait considérée comme étant dans la région qui appartient à la tempête. Il est même remarquable, et cela n'a pas encore eu d'explication plausible, que toutes ces baisses barométriques soudaines en V, petites ou grandes, ont lieu quand la baisse barométrique a atteint une valeur d'environ 1000 mb. Cette constatation nous a permis d'énoncer la règle de navigation suivante que nous avons donnée aux marins d'Extrême-Orient il y a plus de quarante ans: « Aussi longtemps que le baromètre du bord indique une pression supérieure à 1000 mb, on peut encore manoeuvrer le bateau. Si on attend que la pression soit devenue au-dessous de 1000 mb, tout peut arriver. Ce sera souvent trop tard pour éviter le centre du cyclone ».

La dimension verticale de la tempête est donnée par le niveau supérieur où la circulation atmosphérique devient anticyclonique, de cyclonique qu'elle était. Cette hauteur varie continuellement et peut aller de 4 à 10 km. Des avions type U2 ont largement survolé de gros typhons en volant à quelques 60,000 pieds. Le chiffre exact est encore gardé secret. Ajoutons que la cheminée du cyclone, en subissant des oscillations propres de quelques secondes à une ou deux minutes pas encore bien déterminées, penche souvent vers la région où se portera le centre. Le maximum de l'ouverture de cette cheminée de bas en haut est de quelques 30 degrés de la verticale au centre, en surface. Cependant, cela est encore une moyenne incertaine, car parfois l'ensemble du vortex a paru être cylindrique.

SOURCE DE L'ENERGIE

Il est peut-être intéressant de signaler que c'est seulement depuis quelques années que les météorologiste américains ont admis, eux aussi, que la chaleur latente de la condensation de l'air humide était la source principale de l'énergie des ouragans. On peut regretter que des résultats obtenus et bien confirmés

depuis longtemps par les chercheurs d'Extrême-Orient ne soient admis en Occident que lorsque, là aussi, ils sont devenus évidents. Après avoir fait nombre de suppositions, on est obligé de faire marche arrière. Cette remarque s'applique par exemple à l'action que des ondes atmosphériques auraient sur le cyclone à 100 ou 200 mb, ainsi qu'à la descente dans la cheminée du cyclone d'air stratosphérique. Ces hypothèses formulées pour expliquer l'intensification de la tempête et l'augmentation de la température de l'air dans les couches du cyclone n'ont pas été toujours confirmées par les faits. Le facteur de corrélation de ces intensifications de la violence et de l'augmentation de la température est par trop faible.

D'autres causes, déjà étudiées ailleurs qu'en Amérique, se sont montrées plus plausibles. Mêmes résultats négatifs quand on a prétendu que les cyclones tropicaux, non seulement se formaient sur des zones océaniques légèrement (3-5 Fah.) plus chaudes, mais qu'ils suivaient aussi dans leur route les courants chauds marins. Si cela était vrai, aucun ouragan n'aurait dû dévaster la côte Est américaine car le courant chaud marin du Gulf Stream lui est parallèle.

Les photographies de l'avion U2 obtenues bien au-dessus du centre de deux typhons nous montrent que le sommet de la colonne centrale, avant de se dissiper, se désagrège pour ainsi dire en de multiples et restreintes circulations cycloniques.

On admet actuellement que l'intensification de la turbulence de ces tempêtes est expliquée au moins partiellement par l'entrée d'air plus humide dans la cheminée. Y a-t-il une espèce de compression du cyclone par les masses d'air anticyclonique qui l'entourent? On a publié à ce sujet une longue discussion mathématique, mais on semble oublier que, aussi bien dans de secteur Ouest que dans le secteur Est, l'air anticyclonique ambiant est froid et sec. Cela devrait détruire le cyclone au lieu de le fortifier. Aux latitudes supérieures, cette pénétration dans la tempête tropicale de l'air anticyclonique froid transforme le cyclone tropical en une dépression extratropicale.

Il paraît établi que l'absorption de la chaleur sensible de la mer à 28 C. par l'air d'un ouragan est d'environ 720 calories par cm^2 par jour. La quantité de chaleur latente serait d'environ 2,420 calories par cm^2 par jour. Comment distribuer cette dernière valeur aux différents niveaux? A la périphérie de l'ouragan on note que pour une pression de 990-1000 (voir ce que nous avons déjà signalé plus haut) l'air qui entre ne subit plus un refroidissement dû à une expansion horizontale adiabatique, mais seulement une expansion isothermique. Un modèle d'ouragan d'extrême violence (Malkus and Riehl Février 1960. TELLUS) exigerait un vent de 105 ms (210 noeuds) avec une pression au centre de 882 mb. et une température potentielle de 396 A. Or, le 26 septembre 1958, le typhon Ida passant près de Tokyo souleva des rafales de 240 noeuds (sic) et fit descendre la pression à 872 mb. Un avion du type U2 survola à 50,000 pieds (?) le centre et ne rencontra aucune turbulence. Ses observations montrèrent cependant que cette température potentielle de l'ordre de 396A, pouvait être dûe simplement à la concentration des rayons solaires par les parois intérieures de la colonne cyclonique qui, dans ce cas, était complètement cylindrique de bas en haut jusqu'à 65,000 pieds, avec son axe un peu incliné en avant. Pas besoin d'admettre pour cela une pénétration de haut en bas d'air stratosphérique en subsidence. Les photographies obtenues par les satellites du type Tiros ont été utilisées pour juger de l'étendue du cyclone et on prétend pouvoir avec elles situer le centre à 2 degrés près.

On peut avoir aussi une idée assez correcte de l'énergie que possède une tempête tropicale par la quantité de pluie qu'il déverse, soit en passant sur une localité, soit, comme nous l'avons fait en 1949, durant les heures requises pour qu'il se dissipe sur place. Dans un typhon qui passe, on peut admettre que 75% de la vapeur d'eau présente est précipitée en pluie et le reste sort au sommet de la cheminée. Palmén, à l'occasion d'un ouragan transformé en dépression extratropicale sur l'Est des Etats-Unis, a trouvé 19×10^{10} Kjoules par seconde ou

19×10^{20} ergs par seconde sur une superficie de 355×10^4 km. carrés. Quand l'ouragan Hazel était encore un cyclone tropical, l'énergie due à la chaleur latente dégagée par la pluie atteignit le chiffre approximatif de 134×10^{15} kilojoules en 24 heures. Environ 53×10^{12} kg. de pluie furent déversés en 24 heures équivalent à environ 32×10^{18} calories (134×10^{25} ergs) ou 155×10^{10} kilojoules par seconde. Des météorologistes américains ont déclaré qu'il faudrait un millier de bombes atomiques, type celle de Hiroshima, pour dissiper un de ces cyclones tropicaux. (Des tables récentes — Riehl — donneraient pour des cyclones violents une chaleur latente libérée équivalente à 535×10^{12} joules/sec.).

N'oublions cependant pas qu'une fraction de cette énergie est, comme nous l'avons dit, dissipée par la turbulence et les frictions internes. Aussi, est-il impossible de donner des valeurs absolues. Un calcul fait par nous en 1948 à l'occasion d'un typhon qui se remplissait sur la région du Bas Yangtse nous avait donné 10×10^{27} ergs/seconde.

Quant au pouvoir destructeur de ces vents de plus de 300 km/h, on ne doit pas oublier que des rideaux de pluie dense justement nommée « pluie-à-sceaux » ajoutent leur masse de frappe au petit volume d'air qui la contient. Au lieu d'un kg de poids par mètre cube d'air, on arrive à des mètres cubes d'air presque entièrement remplis de pluie et par conséquent de plusieurs kg. Avec des rafales de plus de 300 km/h, on aura des pressions de frappe de l'ordre d'une tonne par mètre carré à la seconde. On a pu s'en rendre compte dans les tunnels aérodynamiques.

Bien entendu, ces volumes d'eau de pluie (pourtant bien constatés) ne couvrent pas de grandes surfaces. Ils expliquent néanmoins des phénomènes extraordinaires d'écrasement et de soulèvement d'objets très lourds. Au large, sur les bateaux, des paquets d'eau de mer emportés par ces rafales fantastiques (que nous avons subies en Extrême-Orient) ont démolé des superstructures et des cheminées en recourbant même de grosses bar-

res de fer. On néglige trop cette considération de la présence d'un fort volume d'eau dans un mètre cube d'air pour juger des dommages qu'un ouragan peut causer sur des bâtiments ou des tours de radio. L'échelle de temps du phénomène n'est pas la minute mais la seconde.

La méthode Doppler employée par les avions pour mesurer le vent dans les différents niveaux de la cheminée cyclonique ne semble pas avoir donné de résultats sûrs. Il est quand même évident qu'au-dessus de la surface de la mer du sol où des vitesses de 200 noeuds ont été mesurées par les anémomètres, le courant aérien doit atteindre des valeurs plus grandes. Des différences de 10°C entre la température à l'intérieur du cyclone et celle du dehors ont été observées à des niveaux de 3000 m.

Quoique les aviateurs n'aient pas pu mesurer les vents dans la cheminée elle-même, ils ont cependant apporté la confirmation de l'existence dans celle-ci d'oscillations verticales parfois extrêmement violentes et atteignant plusieurs fois la force de la gravité. D'un avion du type U2 déjà signalé, on a rapporté des photographies de nuages prises à plus de 60,000 pieds qui indiquent « des pénétrations périodiques de l'air extérieur dans la cheminée ». Celles-ci pourraient causer ces oscillations rapides de la pression signalées depuis de longues années en Extrême-Orient.

On ne sait pas jusqu'à quelle altitude se propagent les oscillations verticales déjà mentionnées. Elles montrent une période statistique moyenne d'entre 4 et 8 secondes. C'est cette périodicité qui peut causer des résonnances destructives dans des constructions qui auraient une vibration instrumentale de 4 à 8 secondes.

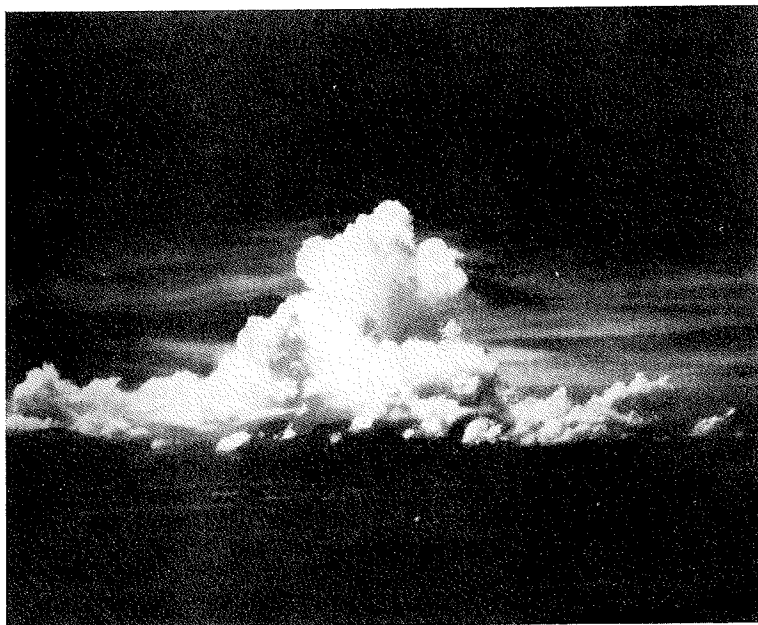
Ces mêmes oscillations dues à la turbulence de la colonne centrale du cyclone, en comprimant la surface de la mer, produiraient à travers l'eau, par un mécanisme encore peu connu, des vibrations terrestres appelées microséismes-en-groupe qui sont enregistrées même de très loin par les séismographes. Sur

les barographes, elles montrent des oscillations de la pression atmosphérique qu'on a appelé « le pompage de l'ouragan ». C'est à cela, pensons-nous, qu'il faut attribuer la formation de la houle qui, du centre de la tempête, rayonne vers l'extérieur. Plus ce « pompage » des barographes est accentué, plus la houle est profonde. Les vents horizontaux cycloniques de la tempête soulèvent seulement des vagues que les marins nomment « vagues dûes au vent ». Elles sont bien distinctes des oscillations de la houle. Les deux types de perturbation de la surface de l'océan peuvent exister simultanément. Les vagues dûes aux vents poussent les navires vers le centre de la tempête tandis que la houle tend à les en éloigner.

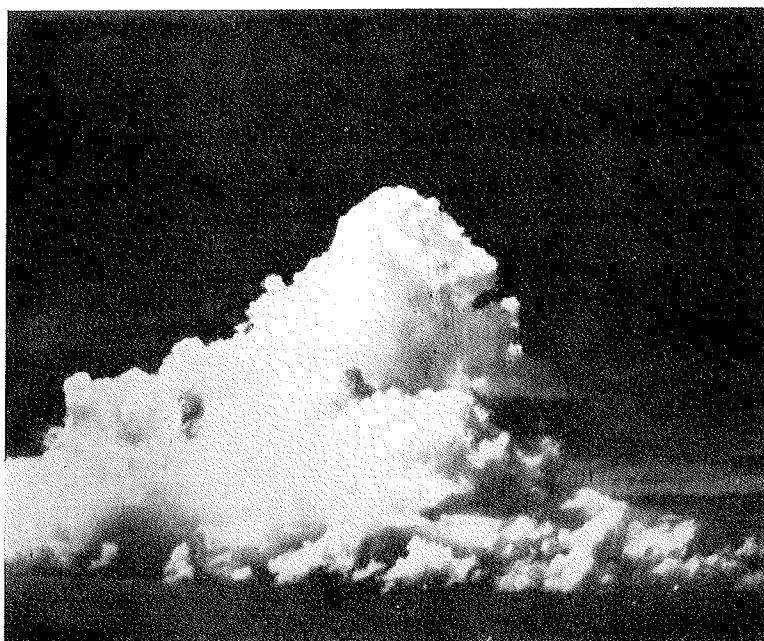
Un autre phénomène qui intéresse de nos jours les météorologistes, ce sont les spirales à allure logarithmique des nuages que les radars révèlent souvent avec une netteté impressionnante. On ne leur a pas encore trouvé d'explication satisfaisante.

En conclusion, il reste encore des points à élucider dans la thermodynamique des tempêtes tropicales. Les recherches modernes semblent s'intéresser avant tout à trouver une méthode sûre de prévoir la vitesse et la direction de ces centres cycloniques.

PLATE I — ORIGINE D'UN CYCLONE TROPICAL

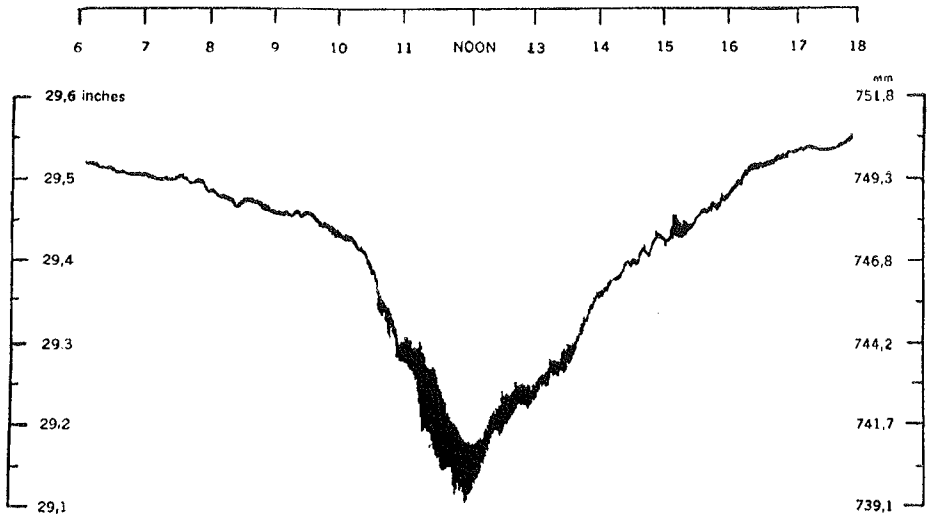


Large thundery area over a tropical island.

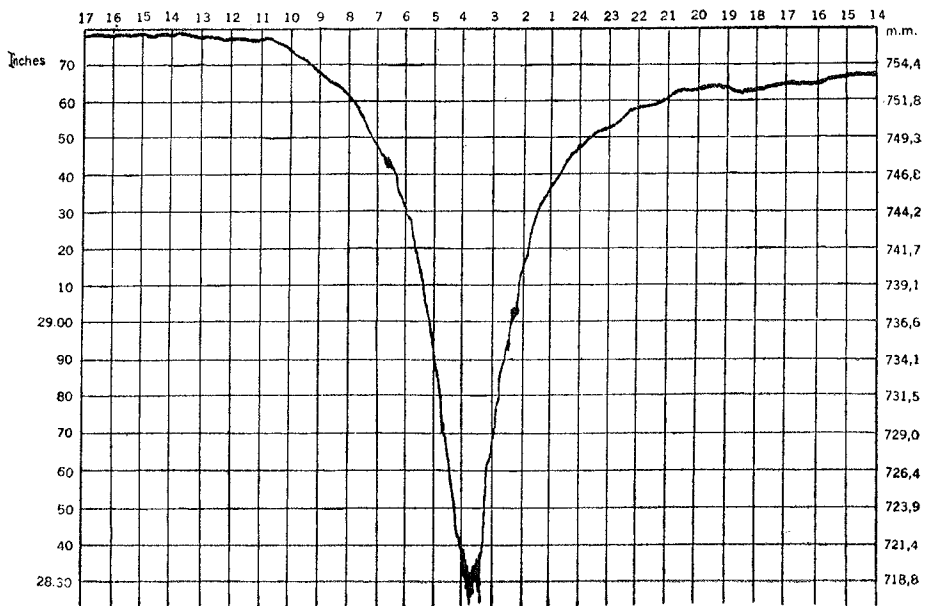


The same large thundery area moving away over the sea.

PLATE II — HONG KONG TYPHONS. ROYAL OBSERVATORY.

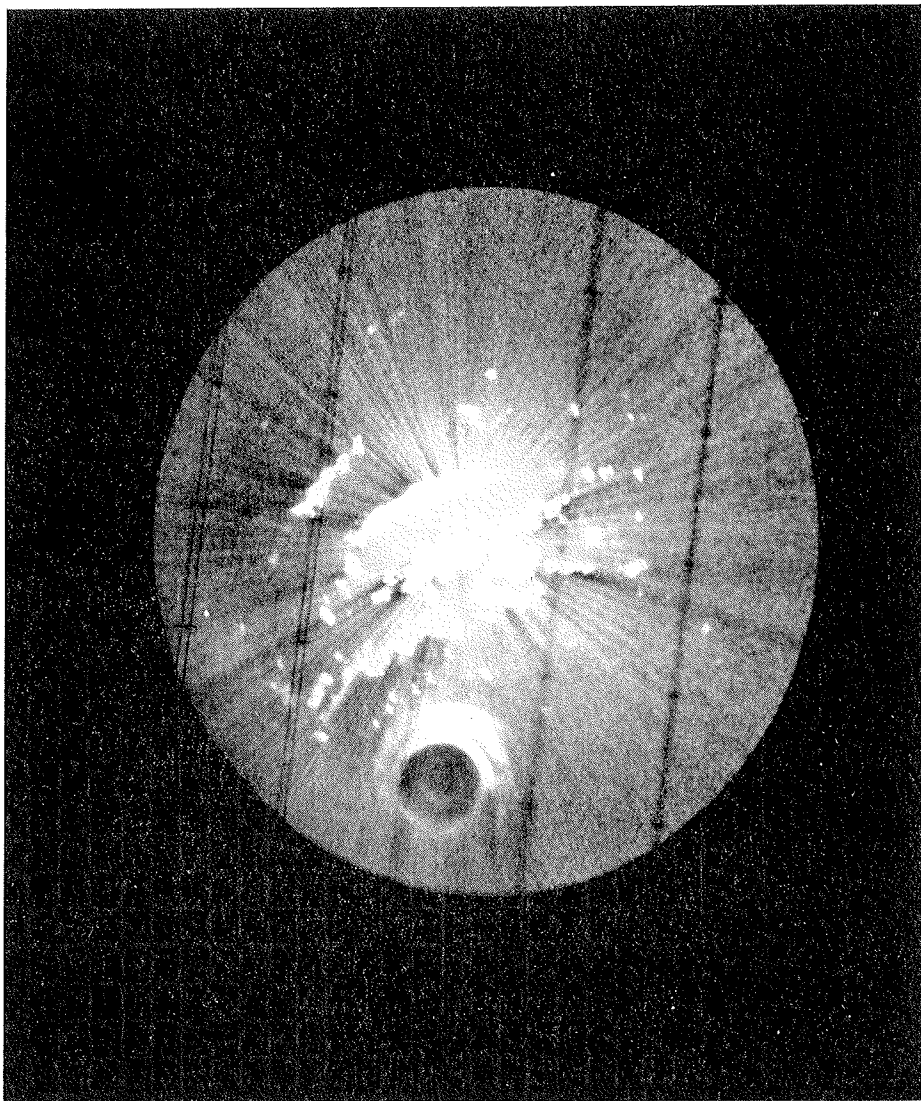


1 August, 1937 — The highest wind's velocity reached 217.6 kmh.
Heavy pumping and heavy swell.



1-2 September, 1937 — The wind's highest velocity reached 267 kmh.
Moderate pumping and moderate swell.

PLATE III -- TYPHON SUR LA MER DE CHINE.



Rayon du radar = 100 milles nautiques. 18 Sept. 1953.

PLATE IV



The cloud structure in the eye of Hurricane Gracie with surrounding cloud wall as photographed on 28 September 1959 by Commander Hill of the Fleet Air Photographic Laboratory, Naval Air Station, Jacksonville. Official Photograph U. S. Navy.

