

# L'Année Géophysique Internationale et l'évolution de l'ionosphère d'après les données de Casablanca - Rabat

A. HAUBERT

Ricevuto il 30 Novembre 1962

## INTRODUCTION.

Afin de situer l'Année Géophysique Internationale dans l'évolution cyclique de l'activité solaire, nous avons rassemblé, pour chacun des douze mois de l'année, les courbes des variations diurnes des médianes horaires mensuelles des fréquences critiques et des hauteurs virtuelles obtenues depuis le début des sondages ionosphériques au Maroc, c'est-à-dire, depuis Septembre 1951.

L'effet saisonnier est ainsi éliminé et l'influence du cycle solaire apparaît plus nettement (Fig. 1).

On constate, par les courbes des fréquences critiques, que le minimum d'activité solaire s'est produit un peu avant Janvier 1955 et que le nouveau cycle s'est manifesté dès Mai 1955, la remontée des fréquences critiques étant particulièrement brutale en Mars-Avril 1956.

En ce qui concerne les hauteurs virtuelles, par contre, l'influence du cycle solaire paraît minime, celles-ci ayant seulement tendance à être un peu plus élevées à l'époque du maximum.

Nous reviendrons sur certaines particularités dans ce qui suit.

## REGION F

### I. - COUCHE $F_2$ .

#### a) *Hauteurs virtuelles.*

Jusqu'en 1956, les hauteurs virtuelles de nuit de la région  $F$  étaient classées comme  $h'F_2$  et les courbes reproduites obéissent à cette convention de continuité.

A partir de 1957, les hauteurs virtuelles de nuit sont classées avec les ex- $h'F_1$  de jour, sous la désignation unique de  $h'F$ ,  $h'F_2$  étant réservé à la stratification la plus élevée de la région  $F$  pendant le jour.

On remarquera le peu d'influence de l'activité solaire sur les hauteurs virtuelles de nuit; par contre la variation diurne présente pendant le jour et surtout en été, des aspects différents. Les hauteurs de jour sont dans l'ensemble plus élevées au maximum qu'au minimum d'activité solaire, mais ce qui caractérise surtout le maximum, c'est la formation en été le matin d'une stratification apparaissant en haute altitude et descendant rapidement ensuite avant de suivre une évolution diurne normale jusqu'à sa fusion avec  $F_1$  le soir.

Il est à noter qu'une telle évolution qui est suffisamment fréquente au maximum d'activité solaire pour apparaître dans les médianes se manifeste parfois de façon exceptionnelle loin de ce maximum. Il en a été ainsi en 1952, le 6 Mars, 11 Juin, 4 et 5 October et en Juin et Juillet 1954. Le même phénomène a été constaté par Rastogi à Ahmedabad en Décembre 1955 et par Estrabaud à Bangui, lors de l'éclipse du 25 Février 1952.

b) *Fréquences critiques.*

Celle-ci suivent de façon évidente le cycle d'activité solaire. On remarquera que c'est en Février 1955 que les  $f_o F_2$  commencent à se relever, le minimum se situant entre Octobre 1954 et Janvier 1955.

Nous avons calculé, pour chaque mois, de 1951 à 1958, et à partir des médianes horaires mensuelles de  $f_o F_2$ , les quantités:

$$P = \frac{1}{24} \sum_0^{23} f_o F_2.$$

Les valeurs obtenues, portées sur un graphique en fonction des moyennes mensuelles du nombre de Wolf, forment un ensemble de points s'alignant assez grossièrement le long d'une droite, la dispersion semblant obéir à un effet saisonnier. Nous avons alors calculé les moyennes glissantes de  $P$  et de  $R$  (la moyenne de treize mois étant affectée au mois central). Nous avons ainsi obtenu le graphique reproduit Figure 2, lequel correspond à la loi suivante:

$$\bar{P} = 0,03 \bar{R} + 4,5$$

Pour mettre en évidence l'effet saisonnier, nous avons tracé la courbe des écarts de  $P$  avec sa moyenne glissante  $\bar{P}$  et nous avons obtenu le graphique reproduit Figure 3. On constate qu'à une période annuelle vient se superposer une période semi-annuelle lorsque l'activité solaire devient forte ( $\bar{R} > 100$ ). Les maximums se situent vers les équinoxes et les minimums vers les solstices d'été et d'hiver. Le minimum du sols-

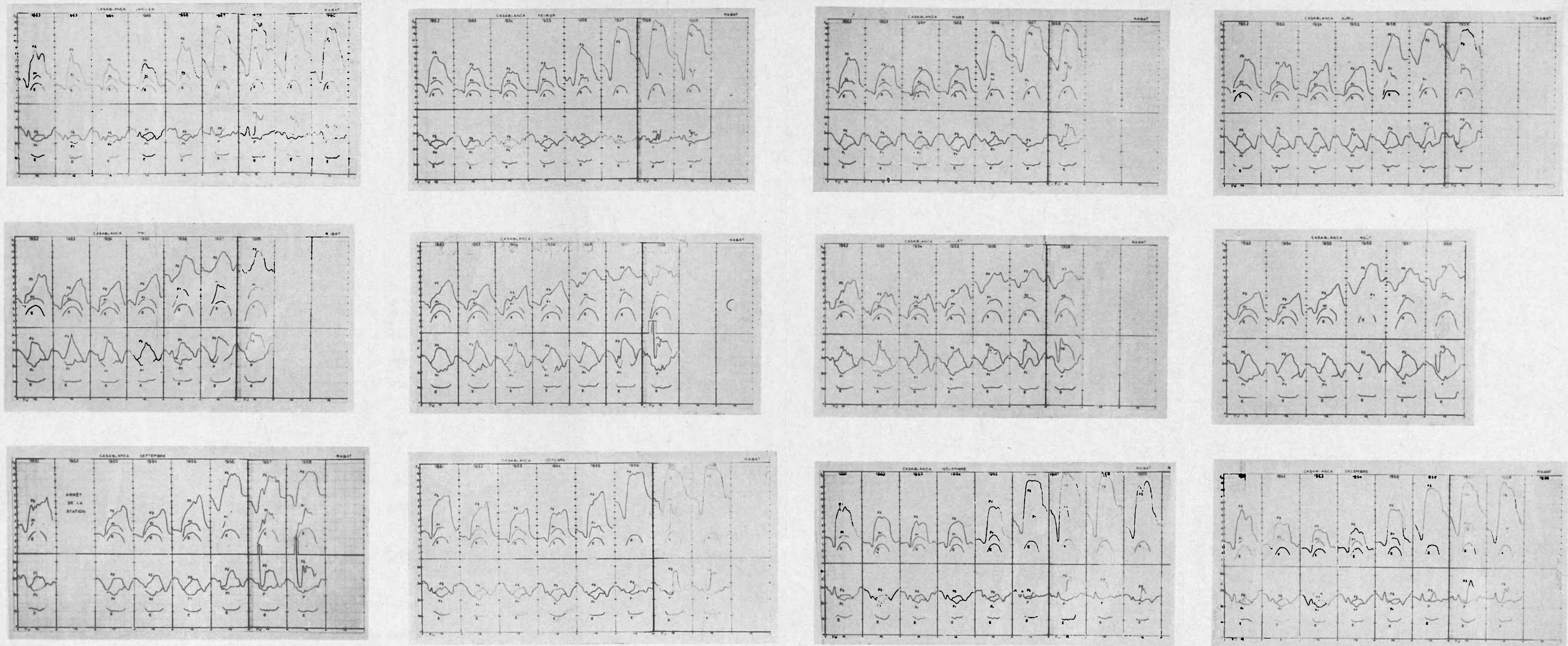


Fig. 1 - Variation des fréquences critiques (en haut) et des hauteurs virtuelles (en bas).

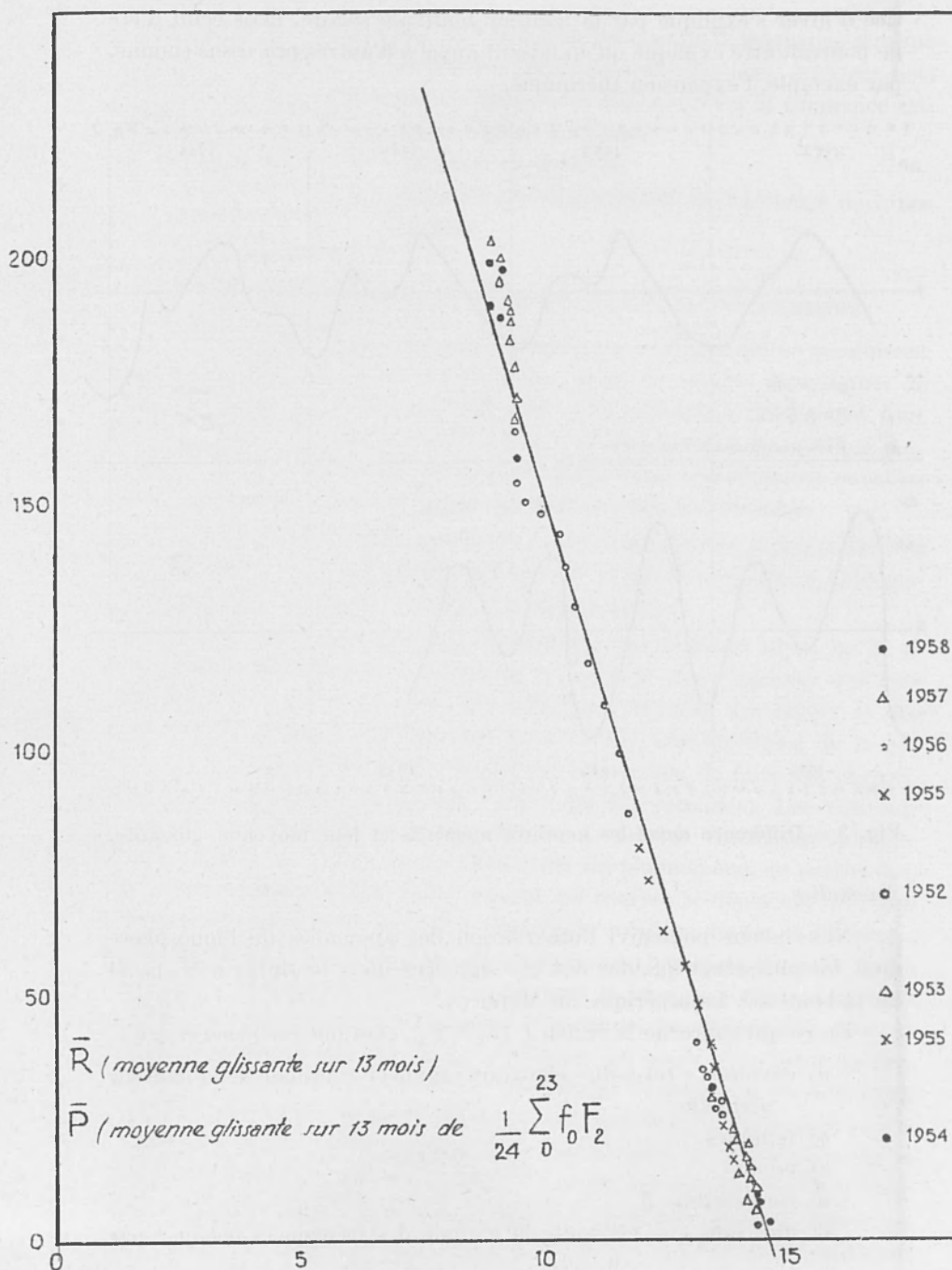


Fig. 2 - Moyennes glissantes sur treize mois des moyennes horaires mensuelles des  $f_oF_2$  en fonction des moyennes glissantes correspondantes du nombre de Wolf.

tice d'hiver s'explique par la hauteur zénithale solaire, mais celui d'été ne pourrait être expliqué qu'en faisant appel à d'autres processus comme, par exemple, l'expansion thermique.

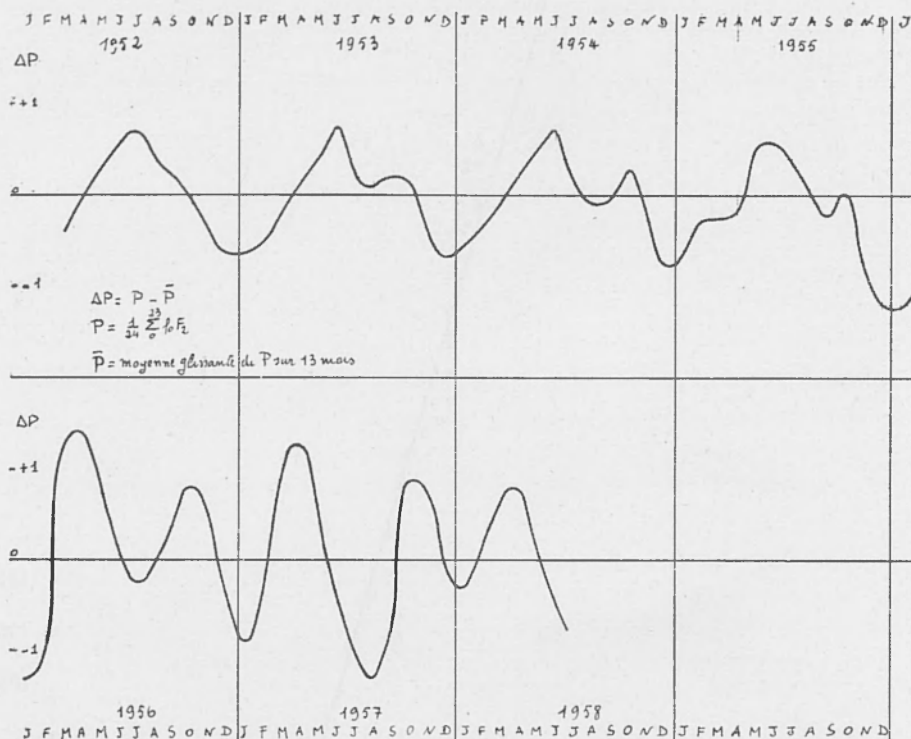


Fig. 3 - Différence entre les nombres mensuels et leur moyenne glissante.

### Anomalies.

Nous avons poursuivi l'observation des anomalies de l'ionosphère dont les plus remarquables ont été signalées dans le Bulletin mensuel du Laboratoire Ionosphérique du Maroc (<sup>1</sup>).

En ce qui concerne la région  $F$  ( $F_1$  et  $F_2$ ), elles ont été classées ainsi:

- a) envolées, c'est-à-dire élévation rapide et anormale de la hauteur virtuelle
- b) fourches
- c) ergots
- d) composante  $Z$
- e) diffusion 1 - sur toute la gamme des fréquences occupée par la trace

- 2 - sur les fréquences proches de la fréquence critique seulement (généralement avec bord inférieur net)
- 3 - sur les fréquences supérieures à la fréquence critique (région *G* diffuse)
- 4 - diffusion en éventail
- 5 - diffusion par déplacement en fréquence de toute la trace

f) double trace.

Voici quelques précisions quant aux aspects de ces anomalies:

a) *Envolées*: Ne sont pas signalées les envolées qui se produisent quotidiennement en été vers 10 heures, mais les envolés sporadiques de 05 h et de 21 h (<sup>2</sup>), ainsi que celles qui se produisent à des heures tout à fait imprévues correspondant généralement à un état magnétique perturbé; le phénomène est souvent mondial, mais certainement envolées ont un caractère plus local dont la cause n'a pas été élucidée.

b) *Fourches*: Nous appelons fourches les branches supplémentaires au voisinage de la fréquence critique et ayant une courbure analogue aux branches normales ordinaire et extraordinaire.

c) *Ergots*: Les ergots se distinguent des fourches en ce qu'ils se détachent des branches principales en suivant une courbure qui leur est propre. Les écarts entre les fréquences critiques des ergots et des branches normales, sont les plus souvent des sous-multiples de la gyrofréquence. Nous avons eu, depuis lors, l'occasion de faire des enregistrements accélérés (un sondage toutes les dix secondes). Les vues sur film de 16 mm sont ensuite projetées à cadence cinématographique. Cela nous a permis de suivre l'évolution du phénomène, en particulier, au lever du soleil. Alors, qu'en général, les courbes se déplacent de façon continue au fur et à mesure de la montée du soleil au-dessus de l'horizon, il arrive certains jours qu'un ergot apparaisse brusquement près de la fréquence critique et descende rapidement le long de la trace, sa propre courbe se substituant finalement à l'ancienne. Le phénomène peut se répéter plusieurs fois, ou même s'inverser, au cours d'un lever solaire. Là où il est le plus remarquable, c'est lorsque l'ergot de la branche ordinaire vient se superposer à la branche extraordinaire de telle façon qu'à la fin de l'évolution, la branche ordinaire nouvelle a pris la place de la branche extraordinaire, une branche nouvelle extraordinaire s'étant formée simultanément. Nous avons tout lieu de penser qu'on se trouve en face d'un phénomène de dérive engendré par des champs électrostatiques extérieurs, liés à un état ionosphérique perturbé.

d) *Composante Z*: Le phénomène est rare à la latitude de Casablanca, trop rare même pour rechercher quelques corrélations avec d'autres phénomènes géophysiques. Seule une simultanéité de l'apparition de la composante *Z* en d'autres latitudes pourrait présenter quelque intérêt.

e) *Diffusion*: Ce phénomène est rare au Maroc, il est généralement lié aux fortes perturbations magnétiques: cependant, nous avons observé, par calme magnétique, de la diffusion en hiver au cours de périodes anormalement froides.

La diffusion du type 1 est probablement due à la turbulence en dessous de *F*.

La diffusion du type 5 est probablement due à une réflexion oblique se superposant à la trace normale.

f) *Double trace*: Ce phénomène semble dû à une réflexion oblique sur une ride de l'ionosphère, il est cependant difficile d'expliquer pourquoi les échos d'ordre 2 sont dédoublés avec le même écart en hauteur que les échos d'ordre 1. Ce phénomène doit être de grande étendue car il a été observé les mêmes nuits à Casablanca et à Poitiers.

## II. — COUCHE $F_1$ .

La stratification de la région *F* en  $F_1$  et  $F_2$  est devenue de moins en moins marquée avec l'accroissement de l'activité solaire. La mesure de  $f_o F_1$  est devenue de plus douteuse et le nombre des mesures possibles de plus en plus restreint.

Nous donnons ci-dessous quelques valeurs des coefficients  $p$  et  $f_m$  de la formule de Chapman:  $f = f_m (\cos z)^p$ , obtenues graphiquement:

1957	<i>Juin</i>	<i>Juil.</i>	<i>Août</i>	<i>Sept.</i>	<i>Oct.</i>	<i>Nov.</i>	<i>Déc.</i>
$p$	(0,47)	0,29	0,22	—	—	—	—
$f_m$	(6,56)	6,12	6,10	—	—	—	—
1958	<i>Janv.</i>	<i>Fév.</i>	<i>Mars</i>	<i>Avril</i>	<i>Mai</i>	<i>Juin</i>	<i>Juil.</i>
$p$	—	—	—	0,38	0,22	0,28	0,26
$f_m$	—	—	—	7,59	6,49	6,40	6,24
1958	<i>Août</i>	<i>Sept.</i>	<i>Oct.</i>	<i>Nov.</i>	<i>Déc.</i>	<i>Janv. 1959</i>	
$p$	0,21	0,32	—	—	—	—	—
$f_m$	6,53	6,92	—	—	—	—	—

REGION *E*I. - COUCHE  $E_1$ .

Voici les valeurs des paramètres de la formule de Chapman pour la région *E* normale:

1957	<i>Juin</i>	<i>Juil.</i>	<i>Aout</i>	<i>Sept.</i>	<i>Oct.</i>	<i>Nov.</i>	<i>Déc.</i>
<i>p</i>	0,35	0,34	0,35	0,31	0,30	0,33	0,29
<i>f<sub>m</sub></i>	4,23	4,19	4,10	4,21	4,30	4,66	4,58
1958	<i>Janv.</i>	<i>Févr.</i>	<i>Mars</i>	<i>Avril</i>	<i>Mai</i>	<i>Juin</i>	<i>Juil.</i>
<i>p</i>	0,30	0,34	0,30	0,29	0,32	0,31	0,32
<i>f<sub>m</sub></i>	4,58	4,40	4,27	4,12	4,27	4,24	4,17
1958	<i>Aout</i>	<i>Sept.</i>	<i>Oct.</i>	<i>Nov.</i>	<i>Déc.</i>	<i>Janv. 1959</i>	
<i>p</i>	0,32	0,28	0,25	0,33	0,33	0,32	
<i>f<sub>m</sub></i>	4,27	4,17	4,04	4,31	4,44	4,52	

II. - COUCHE  $E_2$ .

Nous avons poursuivi son observation au cours de l'Année Géophysique Internationale et le caractère mondial de ses manifestations se trouve de plus en plus confirmé; nous renvoyons le lecteur à nos précédentes publications citées en référence en attirant à nouveau son attention sur l'intérêt d'une étude générale du comportement de cette région intermédiaire entre la région *F* et la région *E*.

III. - COUCHE  $E_3$ .

Avec l'Année Géophysique Internationale, est entrée en vigueur la distinction des différents types d' $E_3$ , mais si l'on fait la somme des occurrences en fonction de l'heure, sans distinction de type, on constate que la courbe de densité d'occurrence présente:

- a) un minimum avant le lever du soleil
- b) une montée rapide au lever du soleil
- c) une décroissance au milieu du jour (qui peut d'ailleurs n'être qu'apparente par suite de l'absorption).
- d) un deuxième maximum après le coucher du soleil.
- e) un palier moyen ensuite, se maintenant jusqu'au creux qui précède le lever du soleil.

Si maintenant, on distingue les différents types d' $E_3$ , on trouve quatre types diurnes:  $E_{sh}$ ,  $E_{sc}$ ,  $E_{sl}$ ,  $E_{ss}$ , un type nocturne  $E_{st}$ , et un type indifférent  $E_{sq}$ .



Les types diurnes sont essentiellement éphémères et les fréquences maximum variant de façon erratique.

Le type nocturne est plus stable et il est généralement formé par la dégénérescence d'une formation plus épaisse, se détachent de  $F_1$  dans la journée et descendant progressivement au cours de la deuxième partie de la journée. Cette formation est cataloguée soit  $E_2$ , soit  $E_{s,h}$  suivant l'aspect des ionogrammes.

L'ionisation sporadique de la région  $E$  semble avoir plusieurs causes. La fréquence d'occurrence de  $E_s$  est beaucoup plus grande en été qu'en hiver et les fréquences maximums observées sont aussi plus élevées en été qu'en hiver; ainsi le nombre de jours par mois où  $f_oE_s$ , en 1957, a dépassé 5 Mc/s a atteint 30 en Juillet et est descendu à 3 en Février; et celui où  $f_oE_s$  a dépassé 10 Mc/s a atteint 11 en Juillet alors qu'il est resté nul en Janvier, Février, Mars, Avril, Octobre, Novembre, Décembre.

La comparaison de divers graphiques laisse apparaître une tendance à une corrélation des pointes de  $E_s$  avec le passage de centres d'activité solaires sur le méridien, a fortiori lorsque le passage de ces centres est accompagné d'un orage magnétique.

L'augmentation de la fréquence maximum, dans la soirée, alors que le soleil baisse sur l'horizon ou a même disparu, demande l'intervention de processus d'ionisation autres que le rayonnement direct du soleil. L'augmentation de la densité maximum d'ionisation coïncidant avec l'abaissement et l'amincissement de la couche, on peut invoquer soit une augmentation de densité par compression, soit une ionisation par choc, soit encore un détachement par choc à partir d'ions négatifs.

#### REGION D

La faible puissance du sondeur ne permet pas d'obtenir des échos sur les basses couches de l'ionosphère, mais l'enregistrement de champs de stations de radiodiffusion constitue un moyen d'investigation de ces régions. En effet, l'augmentation de l'ionisation aux altitudes de l'ordre de 70 à 80 km, sous l'effet de la hauteur du soleil au dessus de l'horizon, fait varier l'amplitude moyenne du champ en ondes décamétriques de façon régulière. La loi de variation de l'absorption, en fonction de la hauteur zénitale solaire, est de la forme:

$$\delta = A \cos^n Z .$$

L'expérience effectuée au Maroc sur la réception d'Allouis (6200 Kn/s) a donné pour  $n$  la valeur de 0,79 (3).

En dehors de la variation régulière quotidienne, on observe des anomalies brutales lors des éruptions chromosphériques. Les ondes décamétriques sont brusquement affaiblies ou totalement coupées pendant une durée de quelques minutes à plusieurs dizaines de minutes.

Un phénomène concomitant se produit en ondes longues (\*), mais celles-ci sont tantôt renforcées, tantôt affaiblies. Nous avons été surpris de constater que sur la fréquence de 200 Kc/s, en été, ce sont les renforcements qui dominent, alors qu'en hiver ce sont les évanouissements (\*\*).

On sait que l'absorption d'une onde électromagnétique traversant un plasma est proportionnelle à l'expression  $\omega_0^2\nu/(\omega^2 + \nu^2)$  où  $\omega_0$  est la pulsation du plasma traversé,  $\nu$  la fréquence des chocs et  $\omega$  la pulsation de l'onde incidente.

Si  $\nu \ll \omega$ , l'expression peut se réduire à  $\omega_0^2\nu/\omega^2$  et l'absorption est alors proportionnelle au nombre des chocs.

Si, au contraire,  $\nu \gg \omega$ , l'expression se réduit à  $\omega_0^2/\nu$  et l'absorption est, dans ce cas, inversement proportionnelle au nombre des chocs.

Pour l'onde de 200 Kc/s,  $\omega = 1,25 \cdot 10^6$ . On sait qu'une éruption chromosphérique est accompagné d'un rayonnement ultraviolet intense, c'est-à-dire que la proportion de photons d'énergie élevée, augmente. Toute énergie dépassant le potentiel d'ionisation étant transformée en énergie cinétique, la vitesse quadratique moyenne des électrons libres doit augmenter sous l'effet du rayonnement de l'éruption et par conséquent le nombre des chocs doit augmenter.

Puisqu'en été, l'absorption diminue lors d'une éruption chromosphérique, il faudrait que  $\nu$  soit à cette époque supérieur à  $1,25 \cdot 10^6$  et qu'il augmente plus vite que  $N$ ; par contre, puisqu'en hiver l'absorption augmente sous le même effet, il faudrait que  $\nu$  soit alors inférieur à  $1,25 \cdot 10^6$ . La mesure de l'altitude à laquelle se produit l'absorption est d'importance primordiale et des moyens nouveaux, comme par exemple les fusées ou les satellites artificiels, apporteront sans doute, des réponses plus directes aux questions posées.

#### SUMMARY

*In order to set the International Geophysical Year in the cyclic evolution of solar activity, we have summarized each month of the year the curves of daily variations of the monthly hourly means of the critical frequencies and virtual heights obtained after the beginning of ionospheric soundings in Morocco, i.e. since September 1951.*

*The seasonal effects is thus eliminated and the influence of solar cycle appears more evident.*

*It is observed that due to the curves of critical frequencies, the minimum solar activity occurred not long before January 1955, and that the new cycle has been happening since May 1955, a restarting of critical frequencies was particularly accentuated during March-April 1956.*

*On the contrary, as regards virtual heights, the influence of the solar cycle appears minimum, this latter tends to assume higher values only during the maximum period.*

#### RIASSUNTO

*Allo scopo di inquadrare l'Anno Geofisico Internazionale nell'evoluzione ciclica dell'attività solare abbiamo riassunto, per ciascuno dei dodici mesi dell'anno, le curve delle variazioni diurne delle medie orarie mensili delle frequenze critiche e delle altezze virtuali ottenute dopo l'inizio dei sondaggi ionosferici nel Marocco, cioè dal Settembre 1951.*

*L'effetto stagionale viene così eliminato e l'influenza del ciclo solare appare più netta.*

*Si constata, per le curve delle frequenze critiche, che la minima attività solare si è avuta poco prima del Gennaio 1955 e che il nuovo ciclo si è manifestato dal Maggio 1955, con una ripresa delle frequenze critiche particolarmente accentuata durante i mesi di Marzo-Aprile 1956.*

*Per quanto concerne le altezze virtuali, al contrario, l'influenza del ciclo solare appare minima, con tendenza quest'ultima ad assumere valori più elevati solamente all'epoca del massimo.*

#### BIBLIOGRAPHIE

- (<sup>1</sup>) HAUBERT A., *L'Ionosphère à Casablanca* — Note Préliminaire du L.N.R., N° 168, 1953. « Annales du Serv. de Phys. du Globe et de Météo. de l'Inst. Sc. Chérifien », XIV, 65-71, (1955), XVII, 103-110, (1957), XIX, 73-77, (1959).
- (<sup>1</sup>) HAUBERT A., *Sur un phénomène de marée ionosphérique observée à Casablanca*. « Ann. du Serv. de Phys. du Globe et de Météo. du Maroc », XVI, 165-168, (1956).
- (<sup>2</sup>) HAUBERT A., *La participation du Maroc à l'étude des relations soleil-ionosphère dans le cadre de l'Année Géophysique Internationale*. « Ann. du Serv. de Phys. du Globe et de Météo. du Maroc », XVIII, 137-144, (1958).
- (<sup>4</sup>) HAUBERT A., *Le renforcement du champ en ondes longues et les évanouissements en ondes courtes*, « J. Atmos. and Terr. Phys. », 13, 379-381, (1959).
- (<sup>5</sup>) HAUBERT E., *Les perturbations ionosphériques et la propagation des ondes longues*, « J. Atmos. and Terr. Phys. », 18, 71-72, (1960).