

**ETUDE CRITIQUE DES ECARTS RELEVES AU COURS DE L'AUTOMNE 1959
ENTRE LA MAREE OBSERVEE ET LA MAREE PREDITE A BREST
EN RELATION AVEC LES FACTEURS METEOROLOGIQUES***

par

Jean René DONGUY

Enseigne de Vaisseau de Réserve

Océanographe Physicien stagiaire à l'Office de la Recherche Scientifique et Technique Outre-Mer

La présente étude donne le résultat de la comparaison, avec les prédictions de l'Annuaire des marées des côtes de France, d'observations marégraphiques recueillies en deux points de la rade de Brest et à Camaret, du 1er septembre 1959 au 1er janvier 1960.

Les écarts entre observations et prédictions ont été rapprochés des données météorologiques. L'influence de la pression barométrique et du vent a été mise en évidence de façon très nette. En dépit de l'amplitude assez considérable de la marée à Brest qui atteint couramment six mètres en vive-eau, l'étude de cette influence de la météorologie n'est pas sans intérêt pratique, en plus de sa valeur théorique.

Enfin, certaines particularités du mode de prédiction des marées de Brest ont été mises en évidence.

Observations effectuées

La marée était enregistrée aux points suivants :

1) Au marégraphe de la Penfeld qui est le marégraphe fondamental de contrôle des prédictions de l'Annuaire, et qui est installé sur la rive gauche de la Penfeld, à proximité du Château, dans un coude de la rivière, proche de son embouchure dans la rade-abri. Le zéro du marégraphe de la Penfeld qui est à la cote -4,45 m dans le nivellement général de la France (N.G.F.), est également le zéro hydrographique à Brest.

2) Au marégraphe de l'Ile Longue qui est situé dans la rade. Le zéro de l'échelle de contrôle est à la cote + 0,198 m au-dessus du zéro du marégraphe de la Penfeld, soit à la cote - 4,25 (N.G.F.). Les marégrammes examinés correspondent de façon à peu près continue aux mois d'octobre et de novembre 1959.

* Manuscrit reçu le 6 février 1962

3) Au marégraphe de Camaret installé provisoirement à l'extrémité de la nouvelle jetée Est du port. La graduation zéro de l'échelle de contrôle était située à la cote - 4,13 (N.G.F.). Les enregistrements étudiés étaient relatifs aux mois de septembre et d'octobre 1959. Ils ont permis de disposer de certaines indications relatives à la marée en dehors de la rade.

Les données météorologiques ont été fournies par le Centre Régional de Météorologie de Guipavas (Finistère) qui est situé à quelques kilomètres seulement de Brest, à l'exception de la pression atmosphérique relevée au marégraphe de Brest-Penfeld.

Comparaison des prédictions aux observations

Les heures et les hauteurs des pleines mers et des basses mers à Brest qui sont données dans l'Annuaire des marées résultent d'un calcul direct effectué à partir d'éléments astronomiques (angle horaire, déclinaison, parallaxe de la Lune et aussi du Soleil) par la formule de Laplace-Chazallon que nous mentionnons seulement ici. Les coefficients de cette formule ont été déduits d'un grand nombre d'observations faites vers le début du XIXe siècle à l'emplacement de l'actuel marégraphe.

Depuis cette époque de nombreux travaux portuaires ont été exécutés et notamment une digue de protection de la rade-abri. Ces ouvrages ont légèrement modifié le régime de la marée dans la Penfeld, qui, auparavant, était pratiquement identique à celui de la rade de Brest, de sorte que les prédictions détaillées de l'Annuaire, bien qu'établies à partir d'observations faites dans la Penfeld, sont relatives à la rade et qu'il a été nécessaire d'introduire dans l'Annuaire une correction à appliquer à ces marées pour obtenir les marées actuelles dans la Penfeld à l'emplacement du marégraphe.

La confrontation des heures et des hauteurs de pleine mer et de basse mer enregistrées à Brest-Penfeld et à Brest-Ile Longue aux heures et aux hauteurs correspondantes prédites dans l'Annuaire, conduit aux constatations suivantes :

a) Heures des pleines mers et des basses mers.

La correspondance des heures observées avec les heures prédites est très satisfaisante. Le relevé de ces heures a été fait pour les marégrammes de Brest-Penfeld à l'approximation de 5 minutes et pour les marégrammes de l'Ile-Longue à l'approximation de 10 minutes. Les écarts trouvés avec les heures prédites sont positifs ou négatifs et, en valeur absolue, ils demeurent inférieurs à 10 minutes. Ils semblent échapper à toute étude.

b) Hauteurs des pleines mers et des basses mers.

Les écarts auxquels on est conduit en comparant les hauteurs des pleines mers observées (à Brest-Penfeld et à Brest-Ile Longue) aux hauteurs corres-

Figure 1. Hauteurs des Pleines Mers, Ecart brut :
Observations Brest Penfeld - Prédiction Annuaire

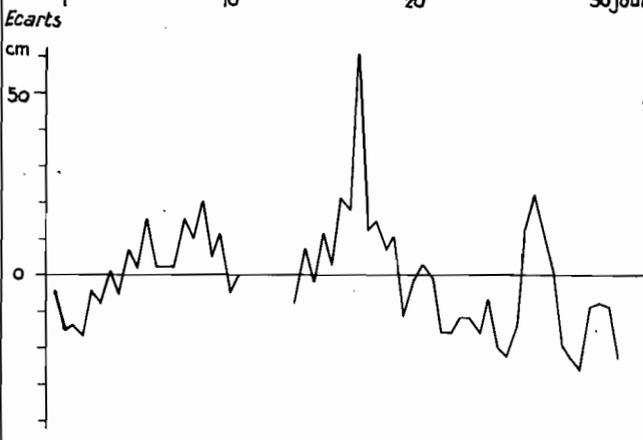
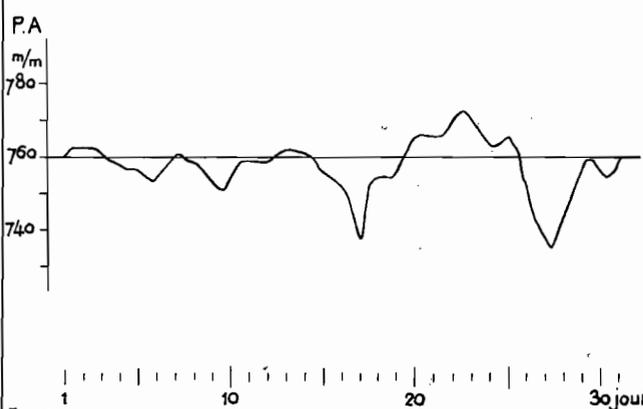
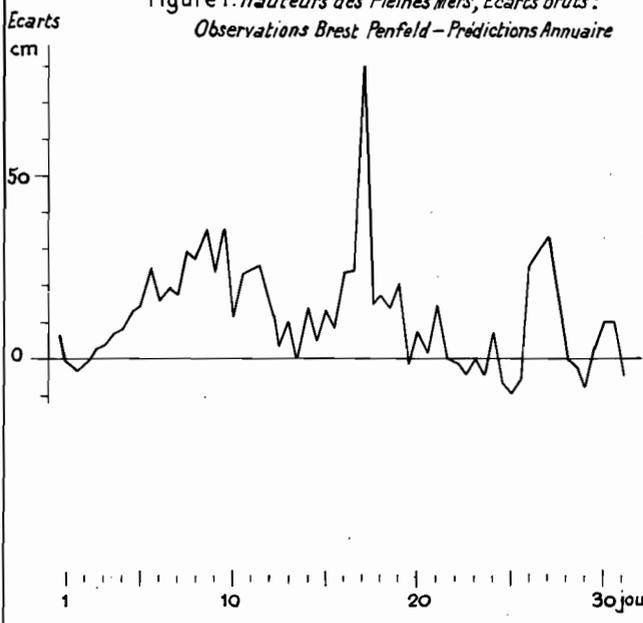
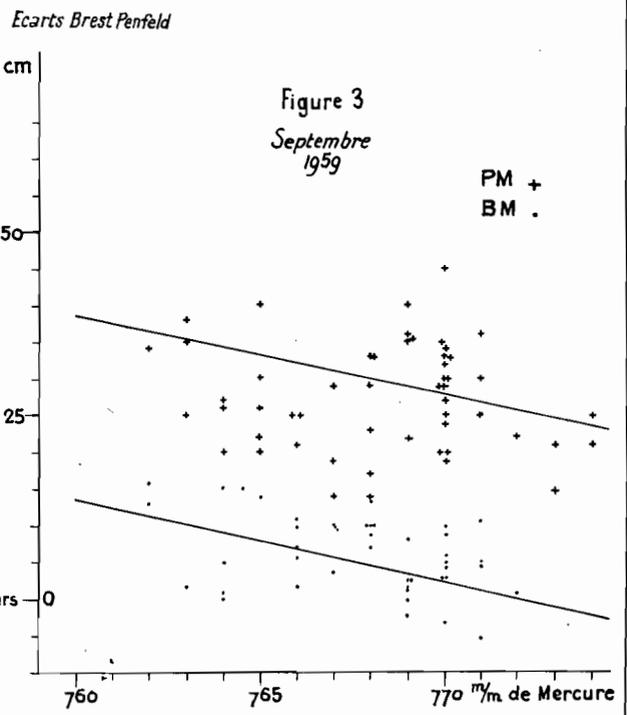
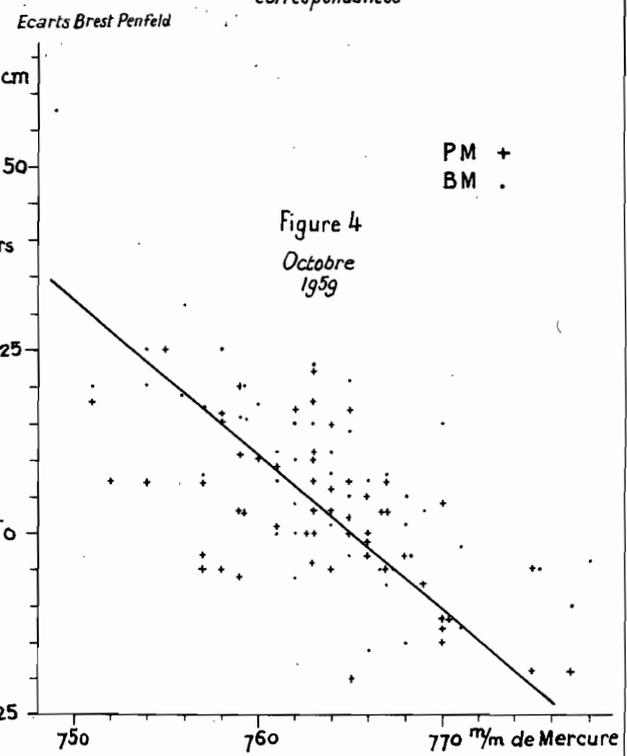
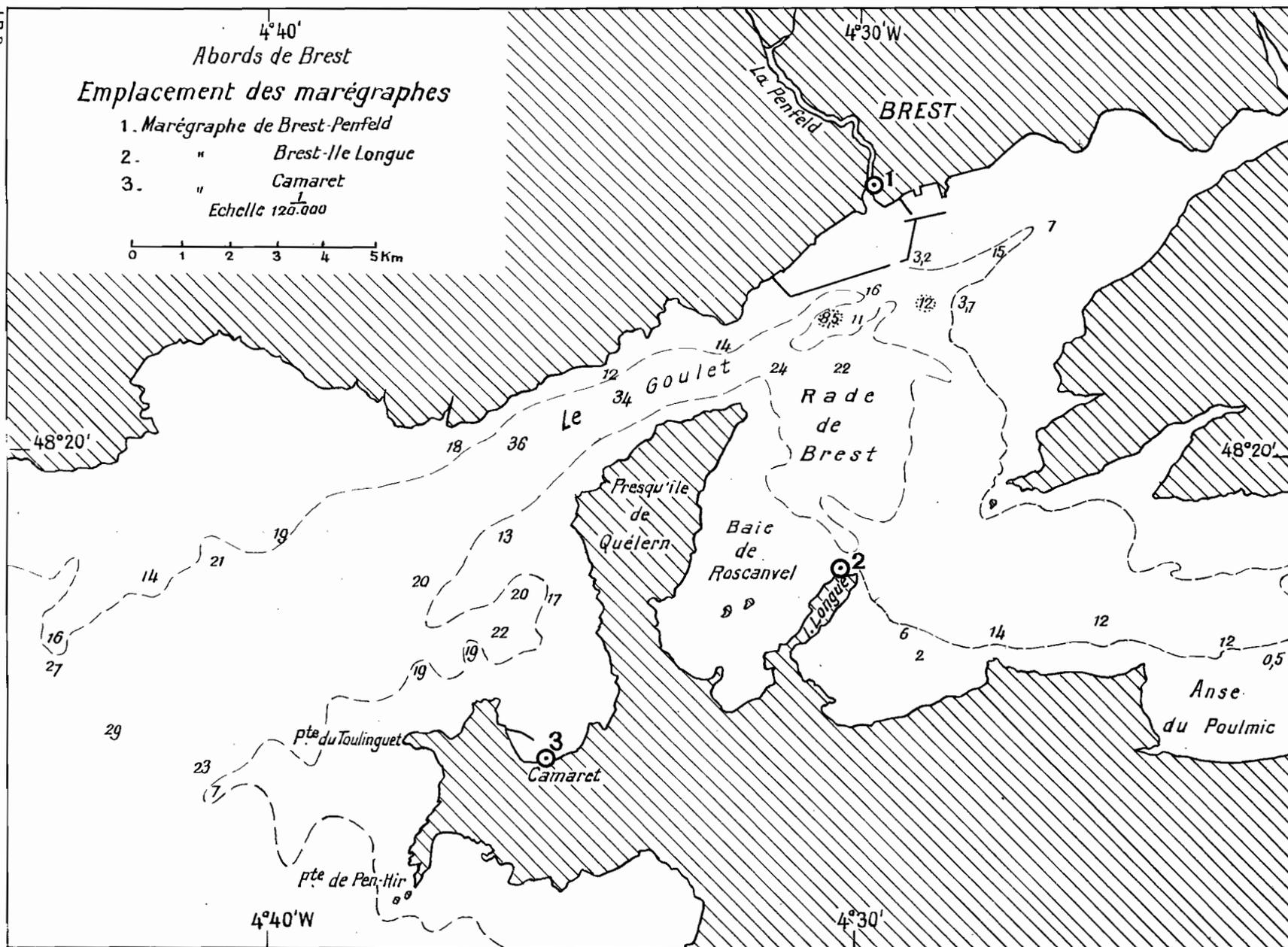


Figure 2. Hauteurs des Pleines Mers, Ecart brut :
Observations Brest Ile Longue - Prédiction Annuaire



Figures 3 et 4. Répartition des écart brut en fonction des pressions barométriques correspondantes





pondantes prédites, et en comparant de même les hauteurs des basses mers, sont toujours de même signe : les hauteurs observées sont systématiquement supérieures aux hauteurs prédites.

Les figures 1 et 2 donnent pour le mois d'octobre la représentation des écarts bruts relevés pour les deux pleines mers de chaque jour, à Brest-Penfeld et à Brest-Ile Longue respectivement. La courbe barométrique correspondante est mise en regard.

Ces écarts bruts sont essentiellement imputables aux conditions météorologiques. Sur les figures 1 et 2 on voit que les valeurs maximales des écarts bruts correspondent aux valeurs minimales de la pression barométrique. On relève deux dépressions très accusées avec des écarts particulièrement importants les 17 et 27 octobre.

Pour serrer de plus près l'étude des influences météorologiques sur ces écarts on a construit des graphiques mensuels sur lesquels les écarts bruts observés au marégraphe de Brest-Penfeld et au marégraphe de l'Ile-Longue ont été portés en ordonnées en fonction des valeurs correspondantes de la pression barométrique portées en abscisses. Les pleines mers et les basses mers ont été traitées séparément.

La figure 3 qui est donnée ici est relative au mois de septembre. Elle présente un intérêt particulier car pendant ce mois les vents ont été faibles et ils ont soufflé généralement du secteur N-E, en sorte que l'Iroise et la rade de Brest se sont trouvées relativement abritées, et l'on peut penser que pendant cette période les écarts résultent principalement de la pression atmosphérique.

On remarque sur la figure 3 que les points figuratifs se groupent en deux nuages plus ou moins nettement séparés. Le nuage supérieur correspondant aux basses mers et le nuage inférieur aux pleines mers.

On peut tracer à travers ces deux nuages de points deux droites moyennes approximativement parallèles.

L'examen de la figure 3 peut donner lieu aux observations suivantes :

1) La pente des deux droites moyennes donne une idée assez précise de l'influence de la pression atmosphérique. On en déduit ici une élévation de 11 cm du niveau de la mer pour une dépression barométrique de 1 cm de mercure. La correction adoptée par l'Annuaire des Marées des Côtes de France est de 13,5 cm d'eau par centimètre de mercure, correction dite statique, issue du rapport des densités de l'eau de mer et du mercure. DAUSSY (1834) a proposé la correction de 14,7 cm. BOUQUET DE LA GRUYE (1882) a pris 13,33 cm. Cependant COURTIER (1933) admet 14,00 cm et après correction des ondes annuelles 14,40 cm pour 1 cm de mercure. Mais, dans de telles corrections obtenues à partir de moyennes annuelles, rentrent différentes influences telles que tous les facteurs

météorologiques et les imperfections dans la prédiction de la marée.

De même les graphiques des mois d'octobre, novembre et décembre présentent des nuages de points plus épais et les nuages correspondant aux basses mers et aux pleines mers se recouvrent partiellement. Les conditions météorologiques étaient alors très troublées et à la répartition des pressions était associée une situation de vent: en général à de basses pressions vient s'ajouter l'influence de forts vents d'ouest.

2) La distance entre les deux droites moyennes se retrouve sur les mêmes graphiques des mois d'octobre, novembre et décembre pour le marégraphe de Brest-Penfeld. On n'observe nulle part un écart nul lorsque la pression barométrique est de 760 mm de mercure. Pour le marégraphe de l'Ile-Longue, les deux nuages de points présentent le même caractère: nuage supérieur correspondant aux basses mers, nuage inférieur correspondant aux pleines mers. Cependant ces nuages beaucoup plus rapprochés, s'interpénètrent au mois d'octobre et se confondent entièrement au mois de novembre. De plus on observe un écart quasiment nul lorsque la pression barométrique est de 760 mm de mercure. Nous vérifions donc ce qui a été indiqué plus haut que la marée de l'Ile-Longue c'est-à-dire la marée dans la rade, se présente comme la marée effectivement prédite.

3) Si c'était la marée de Brest-Penfeld qui était effectivement prédite, les deux droites moyennes seraient confondues et indiqueraient un écart nul pour la pression barométrique normale. Or les droites représentant, l'une les basses mers, l'autre les pleines mers, indiquent des écarts respectifs de 38 et de 13 cm, et d'autre part les corrections données par l'Annuaire pour le marégraphe de Brest-Penfeld sont de + 20 cm pour les basses mers et de + 10 cm pour les pleines mers, valeurs sensiblement comparables. Les valeurs non arrondies fournies par les comparaisons annuelles des prédictions avec les observations marégraphiques sont de 25 cm pour les basses mers et de 11 cm pour les pleines mers.

Ce qui confirme, avec des valeurs légèrement différentes de celles adoptées pour l'Annuaire, que les ouvrages portuaires installés à Brest depuis les observations de Laplace ont fait apparaître dans la Penfeld une marée légèrement différente de celle de la rade.

Cependant il existe une autre méthode de prédiction de la marée: la prédiction à l'aide de la formule harmonique; c'est celle qui est appliquée au Service Hydrographique de la Marine pour les ports d'outre-mer à l'aide d'une machine à prédire la marée. Cette machine fut utilisée pour établir des prédictions pour les mois de septembre, octobre, novembre et décembre 1959 à partir du plus grand nombre de constantes propres à Brest-Penfeld qui pouvaient être affichées sur la machine. Ces composantes, déduites d'observations marégraphiques relativement récentes, sont donc relatives à la marée actuelle dans la Penfeld; leurs demi-amplitudes sont les suivantes :

S_a	=	3,99 cm	$2 N_2$	=	4,65 cm
M_m	=	4,14	μ_2	=	9,03
M_{sf}	=	1,60	N_2	=	43,01
M_f	=	4,01	J_2	=	12,36
Q_1	=	2,29	M_2	=	204,48
O_1	=	6,69	L_2	=	10,72
P_1	=	2,03	T_2	=	4,31
S_1	=	1,01	S_2	=	74,79
K_1	=	6,43	K_2	=	22,98
J_1	=	0,68	$2SM_2$	=	1,85
MK_3	=	2,45	MO_3	=	0,49
MN_4	=	2,33	M_3	=	2,20
MS_4	=	3,49	M_4	=	5,84
$2SM_6$	=	0,28	M_6	=	3,02

Les courbes fournies par la machine conduisent, par comparaison avec les marégrammes de Brest-Penfeld à des graphiques mensuels d'écart analogues aux figures 1 et 2, mais ne présentant pas d'écart systématiques. Les écarts sont aussi bien positifs que négatifs; de l'ordre de ± 30 cm, ils atteignent ± 70 cm en décembre.

La figure 4 relative au mois d'octobre présente, comme la figure 3, les écarts bruts en fonction des valeurs correspondantes de la pression barométrique. Les points représentant les basses mers et les pleines mers se mélangent intimement. De plus lorsque la pression atmosphérique est de 760 mm de mercure, l'écart, sans être nul, n'est que de 10 cm. Il en est de même pour les autres graphiques mensuels: on observe un mélange intime des points représentant les pleines mers et les basses mers et l'écart correspondant à la pression barométrique normale est nul pour novembre et égal à - 10 cm pour décembre.

Comme il fallait s'y attendre, on constate que, pour Brest-Penfeld, l'amplitude de la marée fournie par la prédiction harmonique est correcte et que le niveau moyen est bien choisi.

D'ailleurs dans une étude parallèle, relative à Cherbourg, EYRIES et MAURY (1960) ont montré que la prédiction harmonique était plus adéquate pour ce port que la prédiction obtenue par concordance avec Brest, à condition d'utiliser un grand nombre de composantes.

INFLUENCE DU VENT

A l'aide de la correction statique proposée par l'Annuaire de Marées les écarts bruts des mois de septembre, octobre, novembre et décembre 1959 ont été diminués de l'influence de la pression atmosphérique locale. La figure 5, relative au mois d'octobre, représente les écarts observés à Brest-Penfeld, corrigés de l'influence de la pression barométrique, donc ramenés à la pression normale. La figure 6 qui est aussi relative au mois d'octobre, est l'homologue de la figure 5 pour le marégraphe de l'Ile Longue. Les nouveaux écarts sont en général moindres, la pression atmosphérique étant le facteur météorologique le plus important. On peut constater que les figures 5 et 6 sont presque superposables. De plus les graphiques d'écarts bruts, tels que les figures 1 et 2, sont très semblables à ceux qu'on déduit des marégrammes de Camaret. Nous pouvons en tirer la conclusion immédiate que la rade de Brest et l'Iroise obéissent en général de la même manière aux facteurs météorologiques. Il n'y a pas de transport d'eau d'un côté à l'autre de la rade de Brest, ni même d'un côté à l'autre de l'Iroise.

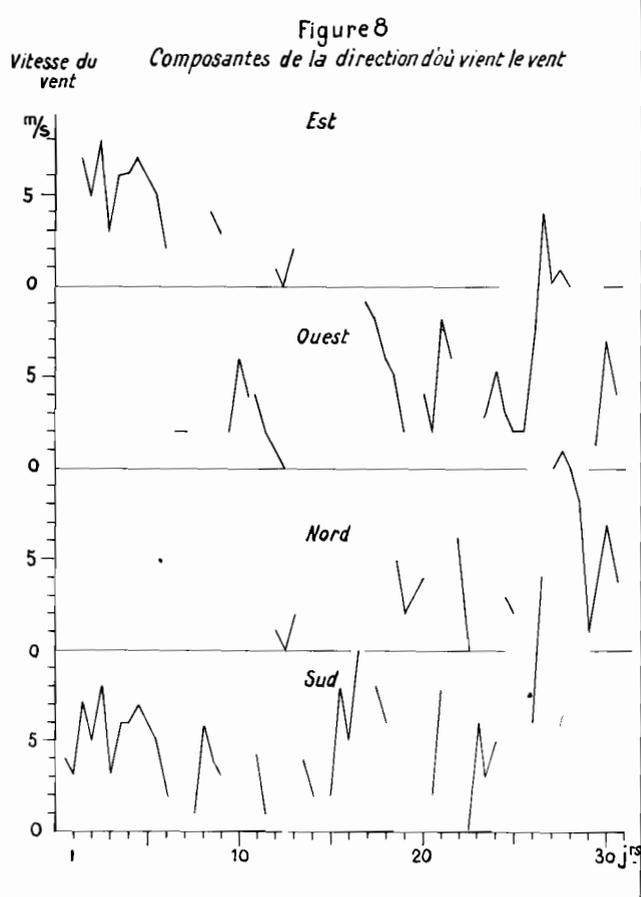
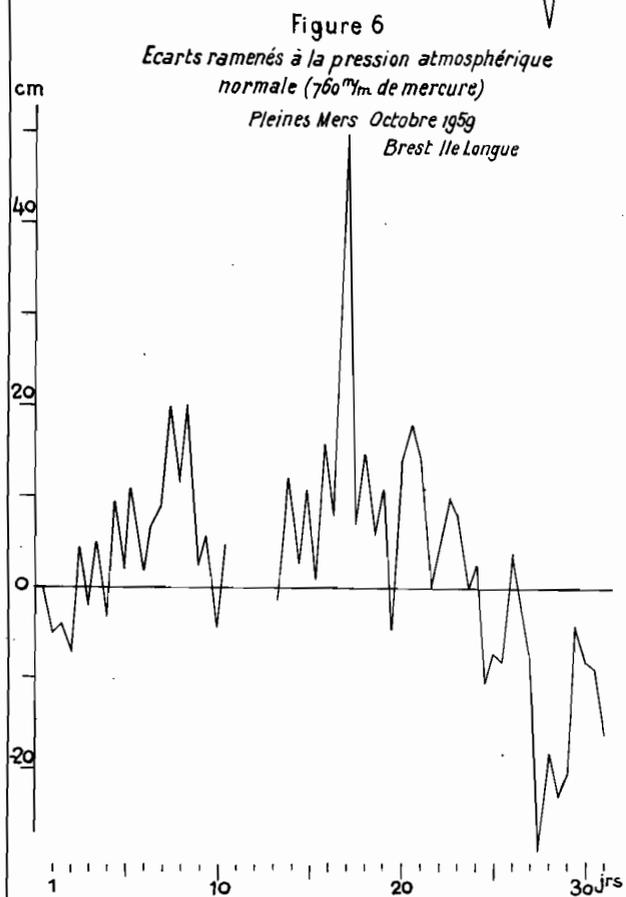
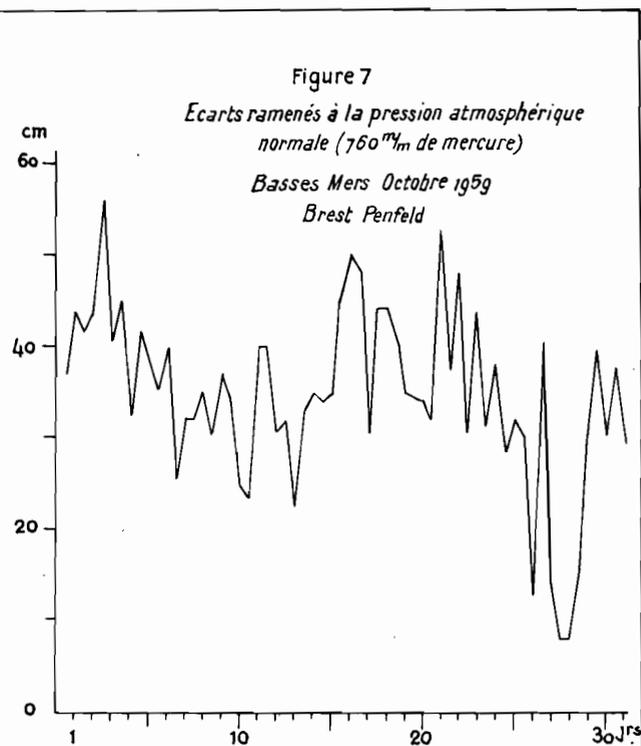
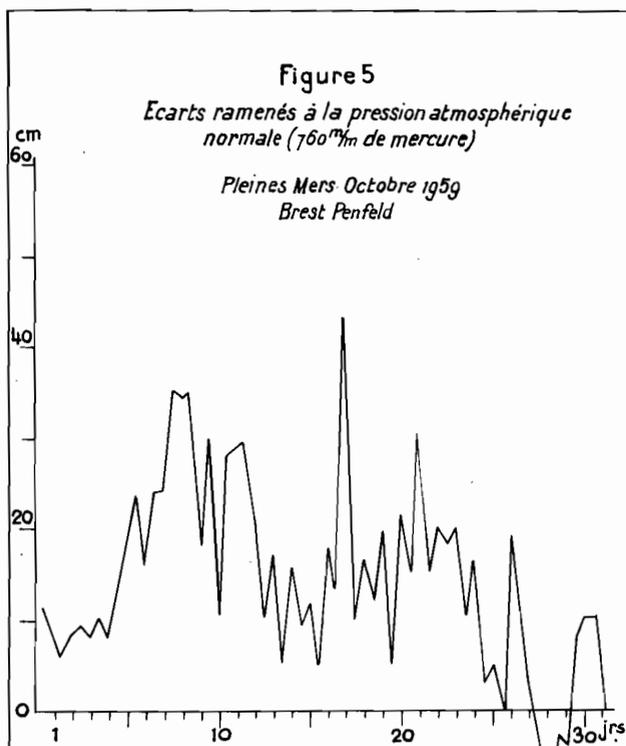
La comparaison entre les graphiques mensuels d'écarts et les graphiques mensuels représentant le vent en vitesse et direction est particulièrement fructueuse. A tout vent de composante Ouest ou Sud, correspondent des écarts particulièrement importants, donc une élévation du niveau de la mer. De même, aux vents de secteur Nord-Ouest, il correspond une diminution des écarts qui peuvent alors devenir négatifs, donc une baisse du niveau de la mer. Comparons les graphiques mensuels (figures 7 et 8) relatifs au mois d'octobre. Du 26 au 28 octobre les vents de Nord-Ouest ont été particulièrement forts et ont atteint 14 m/sec. On observe sur la figure 7 une baisse considérable des écarts durant cette période. Il est à noter que cette action de sens opposé des vents de Sud-Ouest et des vents de Nord-Ouest est conforme à la théorie des vents d'afflux et de reflux.

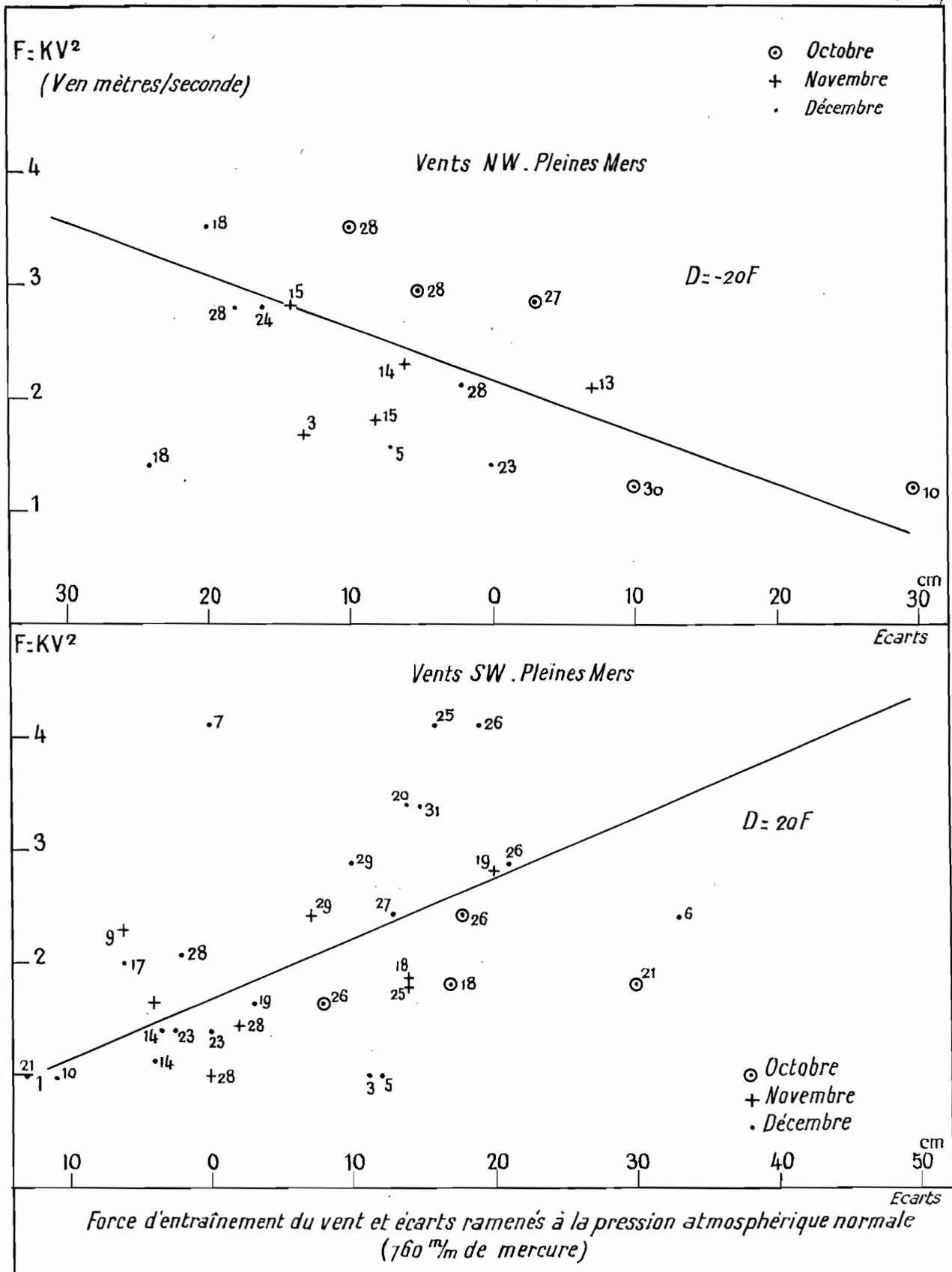
L'idée vient alors de décomposer tout vent suivant les deux axes Nord-Ouest et Sud-Ouest. C'est ainsi qu'un vent de secteur Ouest-Sud-Ouest de 13 m/sec se décompose en vent de Sud-Ouest de 12 m/sec et en vent de Nord-Ouest de 5 m/sec.

ROSSBY (1936) a établi une relation entre la force d'entraînement du vent sur la mer en dynes par cm^2 et sa vitesse en mètres par seconde, à 15 mètres au-dessus de la mer :

$$F = 2,8 \cdot 10^{-2} V^2$$

Dans la figure 9 cette force d'entraînement a été portée en ordonnée. En abscisse figurent les écarts corrigés de l'influence de la pression barométrique. Il y a un graphique pour la composante des vents suivant le Nord-Ouest et un graphique pour la composante suivant le Sud-Ouest. On obtient deux nuages de





points à travers lesquels on peut tracer deux droites moyennes de pentes approximativement semblables, mais de signes opposés.

Pour les composantes Sud-Ouest des vents, on en déduit la valeur de l'écart D en centimètres :

$$D = 20F$$

$$\text{ou } D = 2,8 \cdot 10^{-2} \times 20 V^2 = 0,56 V^2$$

la vitesse du vent étant exprimée en mètres/seconde.

Dé la même manière pour les composantes Nord-Ouest des vents, l'écart D en centimètres aura pour expression :

$$D = - 0,56 V^2$$

Ces expressions des écarts seraient donc valables à Brest-Penfeld pour des vents soufflant respectivement des directions Sud-Ouest et Nord-Ouest.

B I B L I O G R A P H I E

- 1882 - BOUQUET de la GRYE (A.) - Recherches sur la chloruration de l'eau de mer. Ann. Phys. et Chimie 25.
- 1880 - BOUQUET de la GRYE (A.) - Sur les ondes luni-solaires. Assoc. Franç. Avanc. Sci., Cong. Reims.
- 1933 - COURTIER (A) - Note sur la variation du niveau moyen de la mer à Brest en fonction de la pression atmosphérique. Ann. Comm. Etude Raz de Marée, 3.
- 1834 - DAUSSY (P.) Mémoire sur les marées des côtes de France. Connais. Temps. pp. 74-87.
- 1960 - EYRIES (M.) et MAURY (R.) - La prédiction de la marée à Cherbourg. Cahiers Océanogr. C.O.E.C. XII, 5 (mai 1960)

- 1905 - EKMANN (V.W.) - On the influence of the earth's rotation on ocean current. Ark. Mat. Astr. Fysik. 2 (11)
- 1799 - LAPLACE (P.S.) - Mécanique Céleste. Livre 4.
- 1938 - PALMEN (E.) et LAURILA (E.) - Ueber die Einwirkung eines Sturmes auf den hydrographischen Zustand un nordlichen Ostseegebiet. Soc. Sci. Fen. Com. Phys. Mat., 10 (1) pp. 53
- 1936 - ROSSBY (C.G.) - On the frictionnal force between air and water and on the occurence of a laminar boundary layer next to the surface of the sea, Pap. Phys. Oceanogr. and Meteor., 4 (3) pp.20
- 1939 - SVERDRUP (H.U.) - On the influence of stability and instability on the wind profile and the eddy conductivity near the ground. Fifth. internat. Congr. Applied. Mech. pp. 369-372.

Donguy Jean-René. (1962).

Etude critique des écarts relevés au cours de l'automne 1959 entre la marée observée et la marée prédite à Brest en relation avec les facteurs météorologiques.

s.l. : s.n., 409-416.