

#### IV. — *Les migrations polaires.*

Lors d'une conférence prononcée devant la Société belge d'Astronomie, le 29 mai 1965 nous avons exposé (6) le problème des migrations polaires et nous n'y reviendrons donc pas. La solution retenue était celle envisagée dès 1876 par Lord Kelvin et Sir G.H. Darwin, d'un lent déplacement du Globe tout entier par rapport à son axe de rotation, — de position quasi-invariable par rapport au plan de l'écliptique, — sous l'influence des courants marins. Pour déplacer la Terre de  $90^\circ$ , c'est-à-dire la faire tourner autour d'un axe contenu dans son plan équatorial actuel, il faudrait dépenser une certaine quantité d'énergie qui a été calculée par M. Fouché (7). Celui-ci, dans sa communication, n'a pas repro-

duit ce calcul, mais il suffit d'écrire que cette énergie est égale à la différence entre les deux modes de rotation en remarquant que le moment cinétique  $I\omega$ , produit du moment d'inertie par la vitesse angulaire, demeure constant. Chacun sait comment un sujet debout sur un plateau tournant et les bras étendus, lancé par une impulsion, accroît sa vitesse de rotation en les laissant retomber, soit en réduisant son moment d'inertie.

Si  $I_1$  et  $I_2$  sont les deux moments d'inertie de la Terre,  $\omega_1$  et  $\omega_2$  les vitesses angulaires de rotation correspondantes, le moment angulaire est  $I\omega$  et l'énergie de rotation  $W$  est  $1/2 I\omega^2$ . La différence d'énergie est :

$$\Delta W = \frac{1}{2} (I_2 \omega_2^2 - I_1 \omega_1^2)$$

et comme :  $\omega_2 = \omega_1 \frac{I_1}{I_2}$  on a :  $\Delta W = \frac{1}{2} I_1 \omega_1^2 \left( \frac{I_1}{I_2} - 1 \right)$ .

On désigne habituellement par  $C$  le moment d'inertie correspondant à l'état présent et par  $A$  celui relatif à un axe équatorial, d'où :

$$\Delta W = \frac{1}{2} C \omega_1^2 \left( \frac{C}{A} - 1 \right) = W \frac{C - A}{A}$$

Si l'on introduit le coefficient donné par la précession, on a très sensiblement :

$$\Delta W = W \frac{C - A}{A} = 3 \cdot 10^{-3} \cdot W$$

Il faudrait fournir à la Terre une énergie égale aux  $3 \cdot 10^{-3}$  de son énergie de rotation actuelle. Celle-ci étant égale à  $2,2 \cdot 10^{30}$  ergs, il faudrait dépenser  $6,6 \cdot 10^{27}$  ergs, soit un peu plus que l'énergie irradiée par le Soleil durant une seconde.

Si, comme nous l'avons vu, la vitesse moyenne de migration polaire est de l'ordre du degré par Mégaans, il faut fournir à la Terre une énergie égale à :

$$6,6 \cdot 10^{27} / 90 \times 10^6 \times 3,15 \cdot 10^7 = 2,2 \cdot 10^{18} \text{ ergs/S}$$

soit 220 millions de kilowatts, ou dix fois moins que la puissance dépensée par les marées luni-solaires ralentissant la vitesse de rotation de la Terre ( $3 \cdot 10^{19}$  ergs/S).

Cette énergie ne peut être communiquée, par réaction, à la Terre que par les courants océaniques. Le moment cinétique de la Terre  $I\omega$  est égal à  $6,8 \cdot 10^{40}$  C.G.S. Celui d'un tel courant est égal à  $Mv\rho$ , produit de sa masse, de sa vitesse et de son rayon de gyration. Un grand courant océanique, tel que le Gulf Stream ou le Kuro Shivo, peut posséder un moment cinétique atteignant  $10^{31}$  C.G.S.

Les courants océaniques sont dûs à plusieurs causes : la circulation atmosphérique, les différences de densité dues à la salinité et la température, l'insolation. Mais la cause principale comme l'ont montré Ch. Dufour et Sir G. Darwin (8) en 1887 réside dans la rotation de la Terre, les marées lunisolaires et la force des Coriolis.

Bien que les circulations atmosphérique et océanique soient étroitement associées, les vents n'ont qu'une action superficielle. Les courants froids abyssaux issus des régions polaires n'existaient pas durant les époques interglaciaires et l'énergie thermique des mers, alors quasi-isothermes, était négligeable. Au contraire, les forces luni-solaires entraînent les eaux équatoriales vers l'ouest et la force de Coriolis les dévie en sens inverse dans les deux hémisphères. Cette accélération qui s'exerce sur tout mobile se déplaçant sur une sphère en rotation est égale à  $2\omega v \sin \lambda$ ,  $\lambda$  étant la latitude. Bien qu'elle ne se manifeste pas pour les fleuves à deltas, son influence sur les marées a été démontrée en 1960 au moyen du modèle à plate-forme tournante de l'Université de Grenoble construit lors de l'étude de l'usine marémotrice de la Rance.

Divers auteurs dont Rougerie (9) construisant un modèle, ont prétendu que les courants marins étaient dûs à la seule rotation du Globe et à la distribution des bassins océaniques. Ils furent critiqués par des hydrographes partisans du rôle essentiel de la radiation solaire et nous avons d'abord accepté cette thèse. Dans le but de vérifier cette assertion nous avons fait établir un modèle (voy. fig. 2), comportant deux globes en Plexiglas concentriques, le globe intérieur revêtu du relief continental pouvant tourner à l'intérieur du plus grand ( $D = 26$  cm), les océans étant représentés par une épaisseur d'eau de 1 cm. L'appareil a été construit avec beaucoup d'habileté et expérimenté par M.R. Médus collaborateur technique du C.N.R.S. Il fut d'abord utilisé sans continents et les courants obtenus étaient, bien entendu, dirigés selon les parallèles dans le sens de la rotation. Avec les continents, une partie des courants océaniques est seulement reproduite pendant les accélérations à défaut de courants entretenus. Les marées luni-solaires, l'accélération de Coriolis et la distribution des continents, semblent bien tous nécessaires pour rendre compte de la circulation océanique. Il en résulte que cette circulation était plus intense durant les époques géologiques primitives. L'énergie des courants océaniques serait ainsi, comme l'énergie des marées, empruntée à la rotation de la Terre, et non à la radiation solaire.

Ce mécanisme des migrations polaires engendrées par la circulation océanique, semble confirmé par le fait que l'énergie fournie par la rotation de la Terre pour déplacer les pôles et qui est emmagasinée en contraintes, se retrouve libérée lors des très grands séismes ayant lieu dans les ceintures voisines du 35e parallèle. Cette énergie est, en effet, égale à :  $6,6 \cdot 10^{27} / 90 \cdot 10^6 = 0,73 \cdot 10^{20}$  ergs/an, alors que l'énergie dépensée en grands

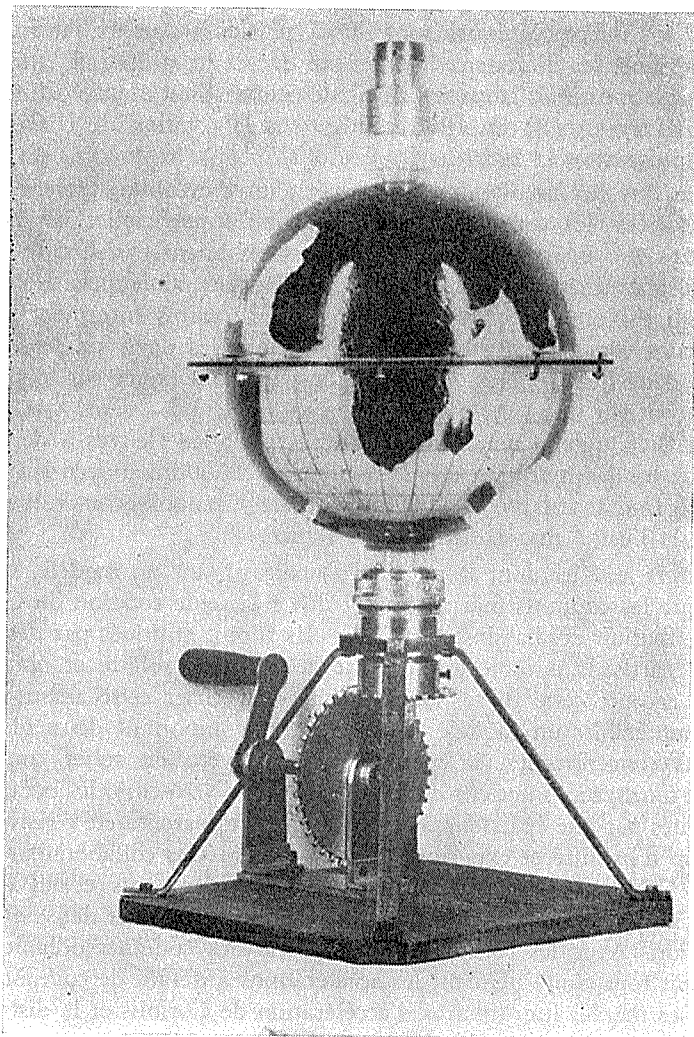


Fig. 2. — Modèle illustrant le rôle des bassins océaniques dans la formation des courants marins.

séismes a été estimée par B. Gutenberg et C.E. Richter (1941) à  $10^{20}$  ergs/an. L'énergie séismique est donc empruntée, elle aussi, à la rotation de la Terre.

Les figures 3 et 4 reproduisent les courbes empiriques de migration que nous avons obtenues d'après les données paléoclimatiques, à l'exclusion des données paléomagnétiques. Nous avons en effet, montré (10)

comment celles-ci ne pouvaient déterminer la position des pôles géographiques qu'à  $47^\circ$  près.

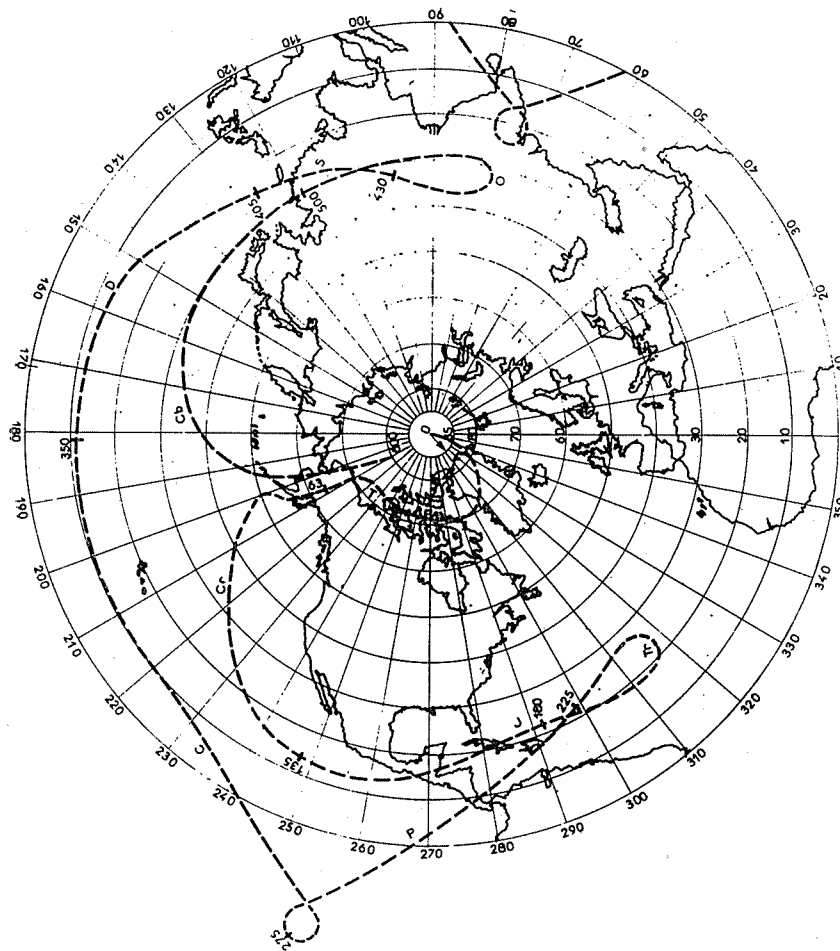


Fig. 3. — Courbe de migration du pôle Nord depuis 600 Ma. Cb : Cambrien ; O : OrdoVICIEN ; D : DéVONIEN ; C : Carbonifère ; P : Permien ; Tr : Trias ; J : Jurassique ; Cr : Crétacé ; T : Tertiaire.

On voit qu'il y a 600 Ma, lors de la glaciation Eocambrienne, les pôles occupaient sensiblement les mêmes lieux qu'aujourd'hui. Ces pôles ( $80^\circ$  lat. N,  $150^\circ$  long. W) pourraient être ceux que possédait la Terre à l'origine, il y a 4500 Ma.

Cette longitude correspond, en effet, au centre du Pacifique qui pourrait être la trace, d'après Osmond Fisher (11) du départ de la Lune, selon la théorie de Sir G.H. Darwin (8). En l'absence de marées océaniques durant ces longues glaciations, l'évolution du système Terre-Lune

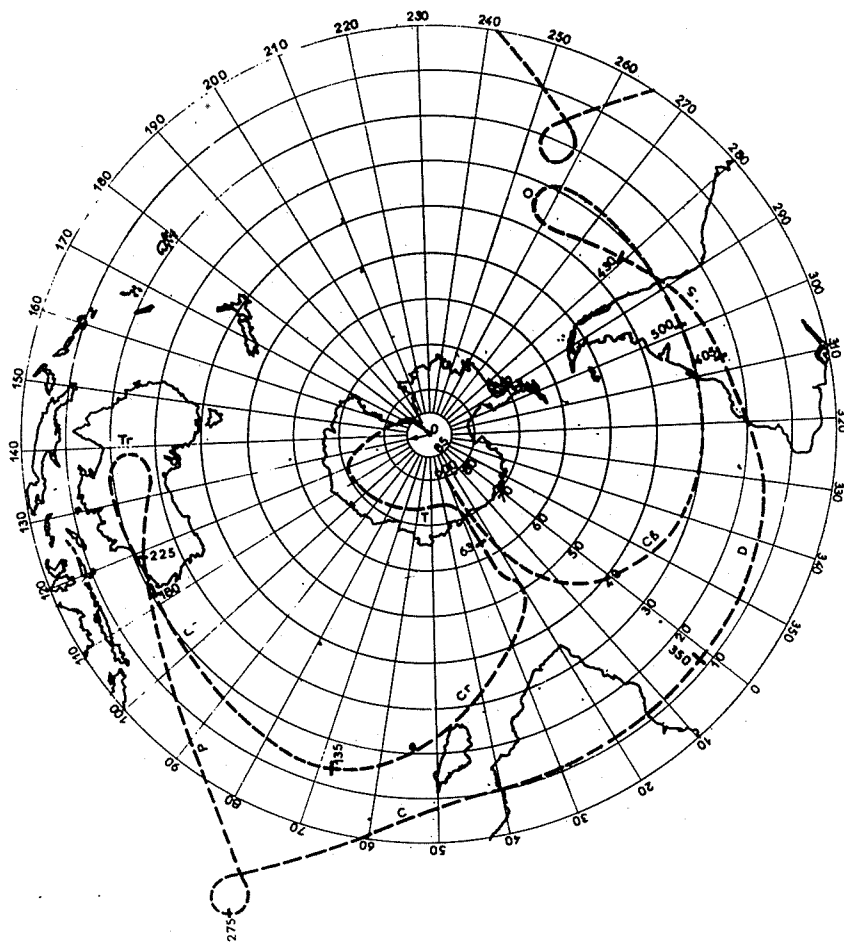


Fig. 4. — Courbe de migration du pôle Sud depuis 600 Ma.

(excentricité et inclinaison croissantes de l'orbite lunaire, inclinaison croissante de  $11^\circ$  à  $23,5^\circ$  de l'axe de rotation terrestre), s'est faite par les marées terrestres (bodily tides). L'axe du monde avait déjà son inclinaison actuelle à la fin de l'Eocambrien. L'ensemble des périodes géologiques représenterait ainsi un cycle de 600 Ma dont nous achevons le parcours.

#### V. — Les variations de l'albedo terrestre.

Nombre d'auteurs ont suggéré que l'émission thermique solaire, qui est mesurée par la « constante solaire », soit  $2 \text{ cal. cm}^{-2} \text{ mn}^{-1}$ , avait varié au cours des périodes géologiques, sans toutefois, pouvoir justifier cette assertion. Plutôt qu'une hypothèse aussi arbitraire, nous préférons admettre, comme notre expérience limitée le montre, que cette radiation thermique demeure constante et que c'est la transparence, c'est-à-dire l'albedo, ou pouvoir réflecteur, de la haute atmosphère qui varie sous l'influence de l'activité solaire, ainsi que le montre l'observation.

E.M. Antoniadi voulut démontrer en 1916 que l'émission solaire croissait avec son activité, par la corrélation apparente avec la vitesse de régression des calottes polaires de Mars (1870-1912). Mais celle-ci ne fut pas confirmée. Cependant E. Géneslay, estimant en 1959 le volume des glaces de Mars a montré qu'il était minimal en 1892 ( $222 \text{ km}^3$ ) époque de maximum d'activité solaire et maximal en 1924 ( $1273 \text{ km}^3$ ) année proche d'un minimum.

Au lieu d'admettre une variation exigeant beaucoup d'énergie et difficile à justifier, nous utilisons l'albedo comme un relais susceptible de provoquer une importante variation sans consommer d'énergie.

L'influence de l'albedo sur la glaciation est particulièrement remarquable sur la courbe représentant l'altitude du niveau des neiges persistantes en fonction de la latitude. Alors que ce niveau atteint  $6 \text{ km}$  à  $36^\circ \text{ N}$  et  $25^\circ \text{ S}$ , il s'abaisse à  $4,5 \text{ km}$  sous l'équateur où la nébulosité et les précipitations sont maximales.

La température de la photosphère demeure invariable au cours du cycle d'activité solaire de 11 ans, comme l'a montré la photométrie précise, par rapport à des étoiles de référence de la luminosité de Neptune et d'Uranus. Au contraire, l'albedo terrestre varie avec l'activité solaire par l'action du rayonnement ultra-violet lointain. Les travaux de A. Danjon G. Rougier et J. Dubois (12) ont montré par la photométrie de « la lumière cendrée » lunaire, que l'albedo terrestre variait inversement à l'activité solaire (voy. fig. 5). Cette lumière cendrée est l'intense « clair de Terre » produit sur la face obscure de la Lune par la Terre ensoleillée. La variation annuelle de l'albedo terrestre est déjà importante (Maximum de 0,43 en Mars, minimum de 0,31 en août). Cet albedo résulte d'un équilibre entre l'action photochimique de l'ultra-violet solaire sur la haute atmosphère et la destruction thermique des aérosols instables produits.

L'albedo varie inversement à l'activité solaire au cours de la période de 11 ans des taches solaires, ce qui explique le résultat de Abbot qui a trouvé un accroissement de 2 % de la constante solaire durant le cycle 1912-1924 entraînant une élévation de la température du Globe de  $+ 1,5^\circ \text{ C}$ . Le fait que le champ électrique de la troposphère, qui dépend de l'activité ora-