

4.1. NOUVELLES MÉTHODES DE CALCUL DU BUREAU INTERNATIONAL DE L'HEURE

BERNARD GUINOT et MARTINE FEISSEL
(*Observatoire de Paris, France*)

RÉSUMÉ

En développant de nouvelles méthodes de calcul pour le BIH, nous sommes arrivés aux conclusions suivantes: (1) il est nécessaire d'exprimer les résultats du BIH en utilisant une origine fixe pour les coordonnées du pôle; (2) la mesure des dérives continentales à latitudes égales doit être faite par des PZT; à des latitudes très différentes la contribution des astrolabes est utile.

ABSTRACT

In developing new methods of computation for the BIH we reached the following conclusions: (1) it is necessary for the BIH to use polar coordinates referred to a fixed origin; (2) the measurement of continental drifts by stations on nearly the same latitude may be carried out with PZT's. When the latitudes are very different, astrolabes can provide useful results.

Afin de publier rapidement l'heure définitive du BIH et éviter que les lissages conduisant aux heures demi-définitives des stations participantes ne fassent disparaître des détails de la rotation de la terre, nous avons cherché à utiliser les mesures brutes de TU0, en combinaison ou non avec les mesures de latitude, pour en déduire TU1 et les coordonnées x et y du pôle. Nous donnons ici quelques résultats des travaux en cours.

Le système d'équations à résoudre est:

$$x \cos L_0 + y \sin L_0 (+ z) = \varphi - \varphi_0, \quad (1)$$

$$-x \operatorname{tg} \varphi_0 \sin L_0 + y \operatorname{tg} \varphi_0 \cos L_0 + t = \text{TU0} - \text{TUC} + \Delta T_s, \quad (2)$$

où φ_0 et L_0 sont des valeurs fixes des latitude et longitude de référence (longitude du BIH pour L_0); φ , la valeur observée instantanée de la latitude; $\text{TU0} - \text{TUC}$, la valeur observée de la différence entre TU0, calculé avec L_0 , et TUC, le temps coordonné transmis par les signaux horaires; ΔT_s , la correction conventionnelle du BIH pour l'irrégularité saisonnière de la rotation de la terre, introduite pour des raisons de commodité.

L'inconnue t est $\text{TU2} - \text{TUC}$. Les solutions ont été essayées avec et sans l'inconnue z (terme de Kimura).

Dans cette première phase du travail, les valeurs observées, telles qu'elles sont

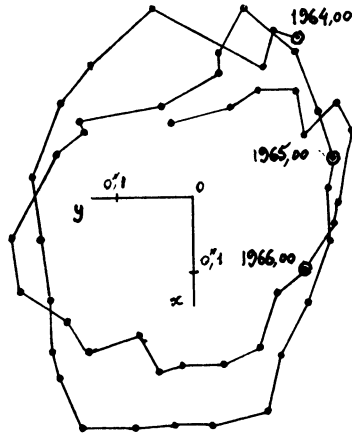


FIG. 1. *Polhodie d'après les mesures de temps. 8 PZT et 8 astrolabes.*

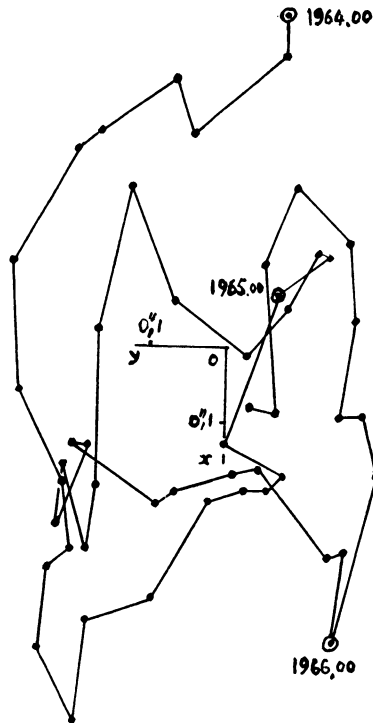


FIG. 2. *Polhodie d'après les mesures de temps. 25 instruments des passages.*

transmises par les stations, sont groupées par moyennes de poids égaux, les poids de chaque moyenne étant choisis de sorte qu'on ait environ 20 points de mesure par an. La solution est ajustée par la méthode des moindres carrés, pour chaque $\frac{1}{20}$ d'année. Le second membre des Équations (1) et (2) est, en principe, interpolé linéairement entre les deux valeurs qui l'encadrent.

Chaque station a reçu un poids provisoire d'après le type d'appareil et la fréquence des observations. Pour des instruments qui déterminent simultanément φ et TU0 (PZT et Astrolabes), le poids des mesures de TU0 a été généralement pris égal à la moitié du poids des mesures de φ .

Pour 1964 et 1965, l'heure définitive du BIH a été calculée par la méthode ancienne qui consistait à calculer d'abord les coordonnées du pôle, puis à faire une moyenne des TU2 demi-définitifs. Pour 1966, on a utilisé la solution d'après les Équations (1) et (2), mais comme les coordonnées du pôle avaient été calculées au préalable, la solution en TU2 a été corrigée pour qu'elle soit homogène avec ces coordonnées.

Avant d'adopter cette nouvelle méthode de calcul, nous l'avons essayée sur les années 1964 et 1965.

Nous donnerons maintenant quelques résultats et conclusions qui se dégagent de cette première étape de notre travail.

1. Valeur des mesures de temps

Il est apparu que la contribution des instruments des passages méridiens était très faible et nous avons établi séparément les polhodies déduites de ces instruments et des astrolabes et PZT (Figures 1 et 2).

La polhodie déduite des mesures de latitude seulement présente une meilleure homogénéité et elle a une forme sensiblement différente: la Figure 3 a été établie à partir des résultats des 25 meilleures séries, provenant d'instruments de tous types

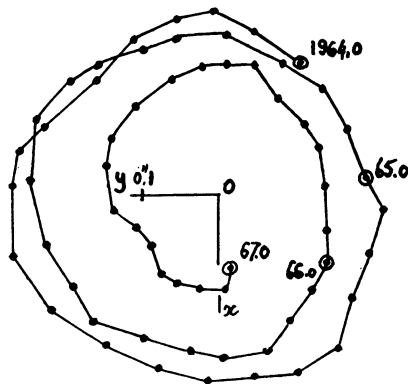


FIG. 3. Polhodie d'après les mesures de latitude. 25 instruments divers, sans pondération.

(dont la précision est comparable). Bien entendu la polhodie obtenue par la solution générale temps + latitude a une forme intermédiaire (Figure 4).

Il apparaît que le terme annuel de la polhodie a une forme différente suivant qu'il provient des mesures de temps ou de latitude (Figure 5). Notons que le terme annuel de la polhodie déduite des latitudes est comparable à celui obtenu par le SIMP. Il

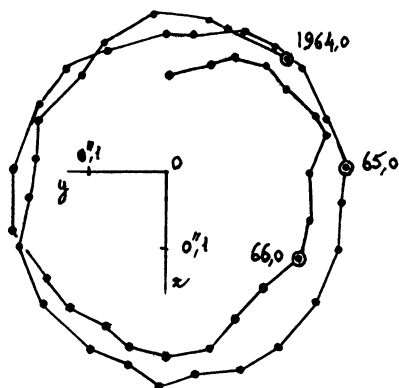


FIG. 4. Polhodie d'après les mesures de temps et de latitude (PZT et astrolabes).

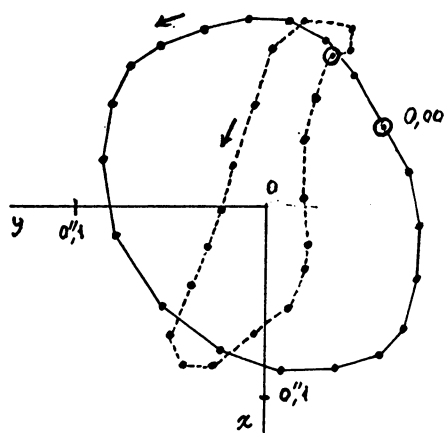


FIG. 5. Polhodie annuelle; en trait plein, d'après les mesures de latitude; en pointillé, d'après les mesures de temps.

convient de s'assurer que l'écart de la polhodie annuelle déduite des mesures de temps est bien réel. Pour cela nous sommes en train d'essayer divers groupements d'instruments et nous réduisons les principales séries de mesures de TU0 depuis 1960.

Les mesures de l'heure peuvent contribuer utilement au tracé de la polhodie, après pondération appropriée. Nous souhaitons donc que les calculs de TU1 par le BIH soient exécutés à partir de l'ensemble des mesures de temps et de latitude.

2. Pôle de référence

Les longitudes conventionnelles du BIH définissent un pôle de référence et la solution des Équations (2) donne les coordonnées du pôle par rapport à ce pôle de référence. Mais, par suite des décisions de l'UAI, le pôle utilisé pour passer de TU0 à TU1 est le "pôle moyen de l'époque".

Le choix du pôle moyen a été dû à la difficulté de conserver en chaque station une latitude de référence fixe par suite des erreurs instrumentales et personnelles et par suite des erreurs des catalogues d'étoiles. Nous allons estimer la dérive probable fictive du pôle due à ces erreurs en considérant les mesures de latitude faites dans la quarantaine de stations qui participent aux travaux du BIH.

A. ERREURS INSTRUMENTALES ET PERSONNELLES

Ces erreurs sont bornées. Elles affectent la précision de la polhodie mais elles ne peuvent pas simuler une dérive séculaire.

B. ERREURS SYSTÉMATIQUES SUR LES MOUVEMENTS PROPRES

Seule l'erreur du type $\Delta\mu'_s$ peut conduire à une dérive fictive du pôle. Nous déduisons des comparaisons entre le FK3, le FK4, le GC et le N30 que la dérive introduite en une station par l'erreur $\Delta\mu'_s$ de l'un de ces catalogues est probablement inférieure à 0''003 par an. De plus, les dérives des diverses stations ne sont pas indépendantes: les dérives sont identiques pour des stations à même latitude utilisant le même catalogue. Ainsi l'influence sur le pôle est très réduite. A titre d'exemple et pour fixer l'ordre de grandeur, nous avons supposé qu'il fallait appliquer les corrections FK4-GC à tous les instruments autres que les astrolabes (qui observent des étoiles du FK4). On trouve ainsi que la dérive fictive introduite par le GC aurait été pour les 40 stations utilisées: 0''0004 par an. La dérive doit être bien moindre si les catalogues sont au préalable ramenés au système du FK4.

C. ERREURS INDIVIDUELLES SUR LES MOUVEMENTS PROPRES

On caractérisera ces erreurs par leur écart type: 0''005 par an (pour la différence FK4-GC, on a environ 0''004 par an). Sur un programme contenant 100 étoiles, la dérive à craindre est 0''0005 par an. Pour l'ensemble des stations de latitude, ces erreurs ont un caractère accidentel et la dérive du pôle à craindre, pour les 40 stations actuelles est 0''0001 par an. Ces erreurs sont donc négligeables.

D. ERREURS DUES AUX RENOUVELLEMENTS DE PROGRAMMES

Nous supposons qu'un programme contenant 100 étoiles est complètement

changé, mais que les positions des étoiles restent prises dans le même catalogue. Si, par exemple, on prend les positions du GC, l'erreur accidentelle d'une déclinaison est de l'ordre de 0".3, le changement de programme introduira donc un saut probable de 0".03 dans la latitude. Si ce programme reste valable 10 ans, la dérive apparente probable est de l'ordre de 0".003 par an. Et si toutes les stations changent de programme tous les 10 ans, la dérive fictive probable du pôle est un peu inférieure à 0".001 par an.

Mais il faut noter que (1) certains instruments ne changent pas de programmes (astrolabes), (2) les renouvellements de programmes conservent le plus possible d'anciennes étoiles, (3) qu'à très long terme, cette cause d'erreur n'introduit pas de dérive fictive, car les erreurs sont bornées et aléatoires autour du système du catalogue.

Evaluons cependant la dérive probable due à des changements de programmes analogues à celui du SIMP en 1967,0 (40% des étoiles renouvelées, pour 12 ans). Compte tenu du nombre d'astrolabes, cette dérive probable est de 0".0002 par an.

Toutes les dérives fictives que nous trouvons sont extrêmement lentes (10–20 fois plus lentes que la dérive du pôle moyen par rapport au pôle de référence du SIMP).

Il n'y a plus aucune raison de conserver le "pôle moyen de l'époque". Nous souhaitons que les calculs du BIH soient exécutés à partir d'un système cohérent de latitudes et de longitudes fixes définissant un pôle de référence conventionnel.

Nous pensons même que, grâce au nombre d'instruments en service, le pôle de référence pourrait être mieux conservé par cette méthode statistique, que par la méthode géométrique du SIL/SIMP, à cause des possibles mouvements relatifs des zéniths. L'usage simultané des mesures de temps, convenablement pondérées, apporterait encore une stabilité accrue au pôle de référence.

3. Précision des instruments

Après résolution des Équations (1) et (2) pour tous les observatoires, en 1964 et 1965, nous avons considéré les résidus R_1 et R_2 de chaque type d'équation, dans le sens observation-calcul. Ces résidus, outre des écarts accidentels, présentent généralement une variation périodique annuelle et une variation progressive due, pour une faible part, à une dérive réelle ou fictive et, pour le reste, à des variations d'erreurs systématiques instrumentales. Nous prendrons l'absence de cette variation progressive comme critère de qualité des instruments, pour l'étude des dérives continentales et de la dérive du pôle. Nous calculons la variation progressive par différence des résidus moyens R_1 et R_2 pour chaque année :

$$d_i = (R_i)_{1964} - (R_i)_{1965}, \quad i = 1, 2.$$

Nous considérerons la moyenne quadratique σ_i des d_i par type d'instruments.

Le tableau 1 donne les valeurs de σ_1 et σ_2 .

Les PZT sont les meilleurs des instruments, à la fois pour les mesures de temps et de

Tableau 1

Stabilité des instruments sur un intervalle d'un an: on donne la moyenne quadratique des dérives constatées entre 1964 et 1965

Type des instruments	Nombre des instruments	Latitude, σ_1		Temps, σ_2 toutes stations
		toutes stations	toutes stations sauf une, anormale	
Astrolabes	7	0' 021	0' 021	0' 0070
PZT	9	0' 015	0' 015	0' 0019
Lunettes zénithales des latitudes	18	0' 050	0' 035	
Instruments des passages	22			0' 0140

latitude. Mais, pour les travaux courants du BIH, il convient de rattacher leurs catalogues au FK4.

Les astrolabes A. Danjon peuvent donner des résultats équivalents en qualité à ceux des PZT, lorsqu'ils sont utilisés dans les meilleures conditions. En moyenne les résultats sont moins bons. Ils sont, de plus, entachés d'erreurs personnelles. Cependant, les astrolabes ont l'avantage de permettre des observations d'étoiles fondamentales, sans renouvellements périodiques de programmes. Il conviendrait d'étudier d'autres types d'astrolabes, en particulier des astrolabes photoélectriques.

Les lunettes zénithales visuelles modernes (ZTL 180) ont une précision comparable à celle des astrolabes et PZT pour les mesures de latitude. Les instruments anciens sont un peu moins bons.

Les instruments des passages méridiens, visuels ou photoélectriques, donnent des mesures de l'heure entachées d'erreurs systématiques, importantes et lentement variables avec des amplitudes qui dépassent parfois 50 ms. Compte tenu de ces erreurs, on est conduit à leur donner un poids quasi-nul dans le calcul de la polhodie et de l'heure. Il ne faut pas oublier qu'à un rapport des erreurs de 10 qui est pratiquement le rapport

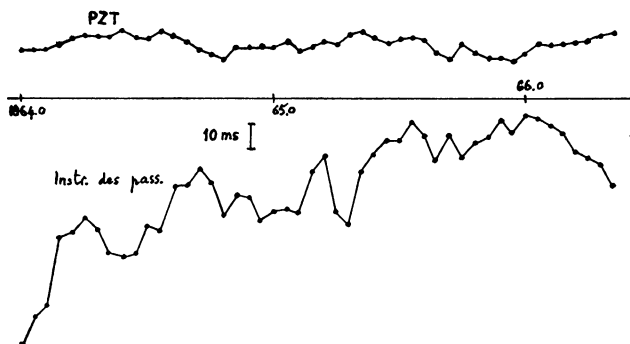


FIG. 6. Exemple typique des erreurs des mesures du temps pour deux types d'instruments.

entre les erreurs des instruments des passages et des PZT, il correspond un rapport des poids de 1/100. Voir Figure 6.

Les dérives continentales devraient être étudiées essentiellement par des PZT placés sur des parallèles communs et observant des listes d'étoiles communes. Les observations d'astrolabes sont rapportées à un catalogue suffisamment homogène, qu'elles contribuent de plus en plus à améliorer, pour qu'il soit plutôt recommandable de disperser les instruments afin d'étudier les dérives entre points de latitude différente (Europe–Amérique du Sud, par exemple).

Enfin on peut regretter que les stations du SIMP ne recueillent pas d'information sur l'heure.

Les stations du SIMP devraient être équipées de PZT.

Recommandations

Les parties du texte en italique constituent les recommandations que nous souhaiterions voir adopter.