

LE MOUVEMENT DU PÔLE.

PRINCIPES, DÉFINITIONS, MÉTHODES ET INSTRUMENTS

Par M. André DANJON.

(Observatoire de Paris).

SOMMAIRE. — Rappel des notions fondamentales sur le mouvement du pôle. Méthodes faisant intervenir les latitudes, les longitudes, les azimuts. Emploi simultané des latitudes et des longitudes. Il faut disposer d'un grand nombre de stations, mais il n'est pas nécessaire ni en théorie ni en pratique d'y observer les mêmes étoiles. Étude des effets parasites. Conditions d'emploi des instruments.

ABSTRACT. — Summing up of the fundamental notions concerning the motion of the Pole. Methods making use of latitudes, longitudes, azimuts. Simultaneous use of the latitudes and longitudes. A great number of stations must be disposed of, but it is not necessary, neither in theory nor in practice, that the same stars be observed in them. Parasitic effects are studied. Instructions concerning the use of the instruments.

ZUSAMMENFASSUNG. — Die Grundbegriffe der Polbewegung werden in Erinnerung gebracht. Methoden welche die Breiten, Längen und Azimute verwenden. Gleichzeitige Benützung der Breiten und Längen. Man muss über eine grosse Anzahl von Stationen verfügen, aber weder in der Theorie noch in der Praxis ist es nötig die gleichen Sterne zu beobachten. Untersuchung der parasitären Einflüsse. Benützungsbedingungen des Instrumentes.

РЕЗЮМЕ. — Напоминаются основные понятия, связанные с движением полюса. Методы, использующие широты, долготы и азимуты. Одновременное употребление широт и долгот. Нужно располагать большим числом станций, но нет необходимости, ни в теории, ни на практике, наблюдать на этих станциях одни и те же звезды. Исследование влияний паразитов. Условия пользования инструментами.

1.1. En un lieu donné, il existe une direction privilégiée à laquelle on sait rapporter la direction de l'axe de rotation de la Terre, c'est la verticale. Elle est définie physiquement à l'aide du niveau, et, avec une précision plus grande encore, par l'autocollimation sur un bain de mercure. On peut aussi rapporter la direction du plan méridien, qui contient à la fois la verticale et l'axe du monde, à la direction d'une mire ou d'un collimateur; mais ici, les méthodes d'observation n'ont pas encore atteint toute la précision désirable.

Comme ces rattachements astronomiques sont réduits sur la sphère céleste, c'est aussi sur la sphère qu'il convient de représenter les stations d'observation par leurs zéniths Z , l'axe de rotation de la Terre étant lui-même figuré par le pôle céleste P (lequel ne doit pas être confondu avec le zénith du pôle de rotation géographique, pôle qui n'a aucun rôle à jouer ici).

On sait depuis longtemps que la constellation formée sur la sphère par les zéniths des diverses stations et par le pôle n'est pas rigoureusement indéformable et que chacun des points de cette constellation se meut par rapport à l'ensemble des autres; on reviendra plus loin sur ces déformations. Si les zéniths Z étaient rigidement liés les uns aux autres, et que seul le point P soit mobile par rapport à leur constellation, son déplacement relatif serait désigné par définition et sans ambiguïté comme le *mouvement du pôle*. Mais les points Z subissent eux aussi des déplacements particuliers qui sont considérés comme des *variations des verticales*. En conséquence, et faute de points de repère déterminant un système de référence absolu, ces divers déplacements ne peuvent être considérés que comme des mouvements relatifs, et la valeur qu'on leur assigne, nécessairement conventionnelle, dépend du mode de calcul qu'on choisit et des hypothèses qu'il implique. On touche ici d'emblée à la difficulté essentielle du problème.

Le déplacement du zénith d'une station n'est pas dû seulement à la variation proprement dite de la verticale, c'est-à-dire à la déformation du champ de pesanteur sous l'effet de causes proches ou lointaines; il peut traduire en outre un déplacement de la station par suite d'une déformation ou d'un glissement du sol provoqués par des phénomènes géologiques ou séismiques. D'autre part, les déterminations astronomiques qui permettent de situer le zénith par rapport au canevas de coordonnées défini sur la sphère céleste par les étoiles fondamentales sont nécessairement entachées d'erreurs. Les unes ont pour origine les erreurs du catalogue : positions moyennes, mouvements propres, parallaxes, ainsi que les erreurs sur les constantes fondamentales qui interviennent dans le calcul des positions apparentes. Les autres affectent les mesures elles-mêmes, comme les réfractions accidentelles, les erreurs instrumentales, etc. Il est difficile et souvent impossible de distinguer

ces effets parasites des variations vraies de la verticale. Tout effort tendant à séparer les effets des diverses causes affectant la position apparente du zénith se heurte à d'inextricables difficultés. Il faut donc s'attacher à dépister ces causes *a priori* afin d'en faire, si on le peut, une étude théorique ou expérimentale en vue de déterminer l'ordre de grandeur de leurs effets, et de les atténuer. La marge d'indétermination du problème ne peut être réduite que par une amélioration progressive du catalogue et des constantes, par une connaissance plus précise des propriétés optiques de l'atmosphère de la station, et par une étude très poussée des défauts des instruments et de leurs abris : c'est là le véritable problème qui se pose aujourd'hui.

Certes, il n'est pas interdit de faire appel aux artifices de calcul auxquels on a recours chaque fois qu'un problème numérique est plus ou moins mal déterminé; mais, si l'on s'y résout, on ne devra pas oublier que ces artifices imposent des solutions arbitraires, valables seulement sous certaines conditions. Aucun d'eux ne peut être présenté comme une panacée, mais comme un expédient.

1.2. Lorsqu'on cesse de considérer la Terre comme un solide parfait, les notions élémentaires relatives à sa rotation doivent être révisées. Les différents points de sa surface n'étant pas liés rigidement, il correspond à chacun d'eux un pôle instantané particulier ainsi qu'une vitesse angulaire particulière. Cependant, jusqu'à preuve du contraire, on peut considérer la dispersion des pôles comme très petite et la négliger, ce qui revient à admettre l'existence de deux pôles célestes Nord et Sud bien déterminés et diamétralement opposés. On s'est demandé si la polhodie australe était bien symétrique de la polhodie boréale. En théorie, cette question ne peut se poser que pour les pôles géographiques, parce que le centre d'inertie de la Terre se déplace par rapport à l'ensemble du globe; tandis que les pôles célestes représentent sur la sphère une direction unique, celle de l'axe de rotation de la Terre, et sont nécessairement opposés. Du reste, si l'on réduit simultanément l'ensemble des observations faites dans les deux hémisphères, la solution du problème est unique; c'est seulement dans le cas où l'on traiterait séparément les résultats provenant des deux hémisphères qu'on s'exposerait à trouver deux polhodies différentes, mais il faudrait élucider le rôle des effets parasites avant de conclure à la dispersion des pôles particuliers.

1.3. Il n'est pas inutile de rappeler ici les résultats de la théorie classique de la rotation de la Terre, en vue de préciser la terminologie.

L'ellipsoïde d'inertie de la Terre est de révolution et aplati, les moments principaux d'inertie étant A et C ($C > A$). L'axe de révolution ou de figure est représenté (*fig. 1*) par le pôle P_f , que nous appellerons pôle d'inertie ou de figure. L'axe instantané de rotation est représenté

par le pôle vrai ou instantané P_v . Comme il est toujours très voisin du pôle de figure (certainement à moins de 1"), on peut représenter ces deux points sur une figure plane, ainsi que la polhodie et l'herpolhodie. Il reste à représenter le porteur du moment cinétique par le point P_k , que nous désignerons par l'expression abrégée de pôle cinétique.

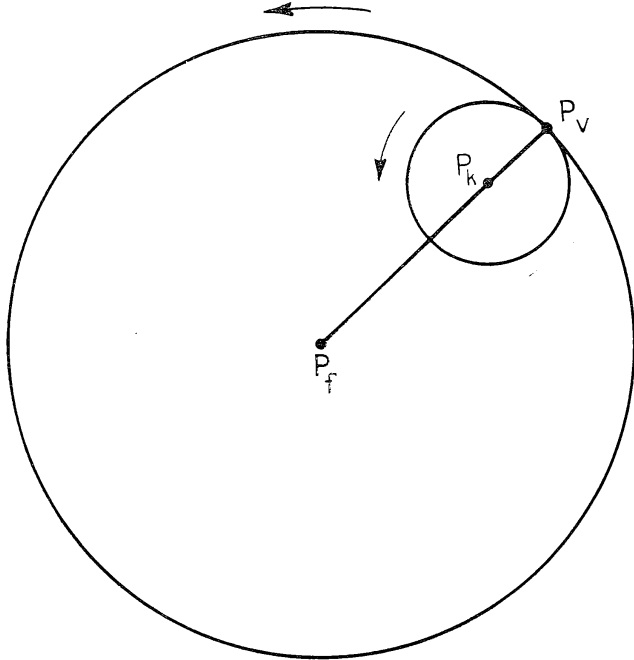


Fig. 1.

Si l'on admet pour un moment que la Terre est un solide indéformable sur lequel ne s'exercent pas de forces extérieures, la théorie conduit aux résultats suivants (Euler) :

- a. P_k est fixe par rapport au repère absolu.
- b. Les pôles P_f , P_k , P_v , sont alignés et disposés dans cet ordre, les rapports de leurs distances étant invariables. Le rapport

$$\frac{P_k P_v}{P_k P_f} = \frac{C - A}{\Lambda} = \frac{1}{305}$$

- c. Le cercle de rayon $P_f P_v$ qui a pour centre le pôle de figure roule sans glissement sur le cercle de rayon $P_k P_v$ qui a pour centre le point fixe P_k , et qui constitue l'herpolhodie.

- d. Dans ce mouvement de roulement, le pôle de figure tourne autour du pôle vrai avec la vitesse de rotation sidérale ω de la Terre (en raison des hypothèses admises, le jour sidéral se confond ici avec la révolution sidérale). En conséquence, le pôle vrai décrit l'herpolhodie avec la

vitesse angulaire $\Omega = \frac{C-A}{A} \omega$, la durée de sa révolution étant, en jours sidéraux $\frac{A}{C-A} = 305$ jours. Ces mouvements sont de sens direct (*fig. 2*) et se rapportent à la sphère des fixes.

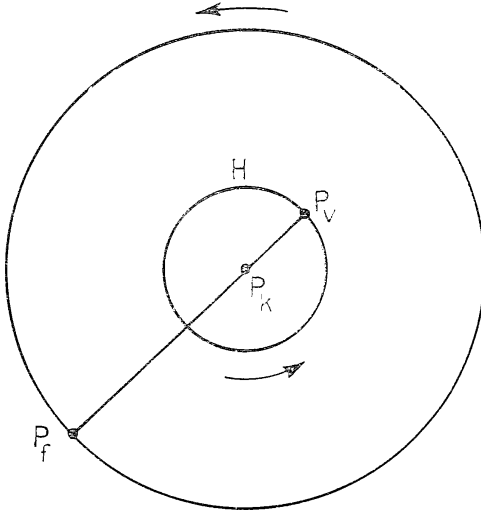


Fig. 2. — (Sur la sphère des fixes).
Le cercle H est l'herpolhodie.

e. En un jour sidéral, le pôle de figure décrit sur la sphère des fixes une trajectoire circulaire autour du pôle rotation. Rapportée au pôle cinétique, sa révolution est plus courte, dans le rapport $\frac{A}{C}$. L'écart représente donc la fraction $\frac{C-A}{C}$ d'un jour sidéral, soit 4 m 42 s.

f. Sur la sphère locale (*fig. 3*) qui porte des repères entraînés par la rotation de la Terre, le point fixe est le pôle de figure. Le pôle cinétique et le pôle vrai décrivent autour de lui deux cercles concentriques, dont les rayons sont dans le rapport des moments d'inertie principaux A et C. Si $P_f P_v$ reste inférieur à $0''{,}5$, $P_k P_v$ reste inférieur à $0''{,}0016$. L'orbite du pôle vrai est la polhodie.

Mais la Terre est soumise à des forces de gravitation extérieures, notamment à l'attraction de la Lune et du Soleil. Dans ces conditions, le pôle cinétique n'est plus un point fixe par rapport au repère absolu. La théorie permet de prévoir les effets de ces perturbations sur la rotation de la Terre : la vitesse angulaire n'est pas altérée, mais le porteur du moment cinétique subit la précession et la nutation luni-solaire. Nous n'avons pas à décrire ici ces phénomènes, mais à mentionner qu'on ne commet pas une erreur sensible (eu égard à la précision des observations)

en appliquant les résultats de la théorie au pôle instantané et non au pôle cinétique.

Lorsque, après beaucoup de tentatives infructueuses, le mouvement du pôle sur la sphère locale fut mis en évidence d'une manière certaine, Chandler ne tarda pas à reconnaître que les périodes fondamentales n'étaient pas de 10 à 12 mois, comme on s'y attendait, mais bien de 12 et 14 mois. S. Newcomb expliqua cet allongement de la période d'Euler

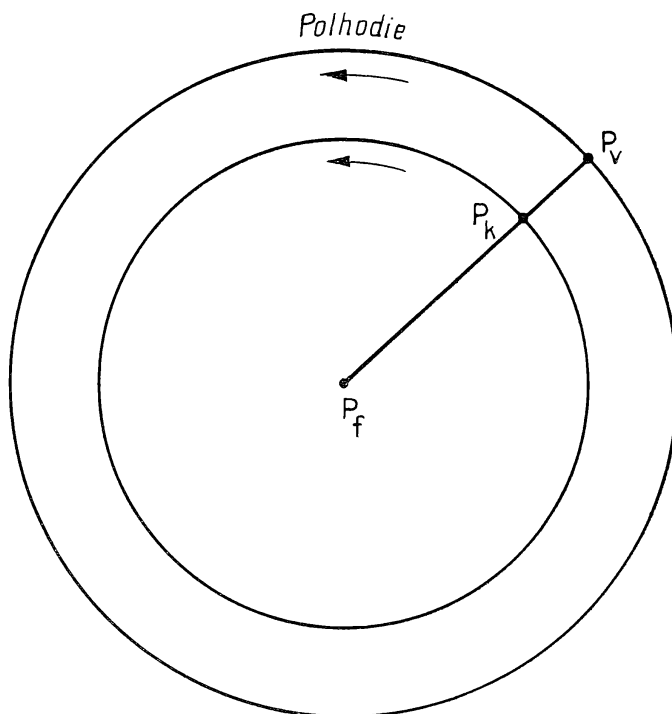


Fig. 3. — (Sur la sphère locale).

par la déformation que subit le globe terrestre sous l'effet des forces d'inertie lorsque le pôle vrai ne coïncide pas avec le pôle de figure. De ce fait (*fig. 4*) l'axe principal d'inertie est mobile, le pôle d'inertie P' se plaçant entre le pôle de figure et le pôle cinétique. La vitesse angulaire de P_v par rapport à P' obéit à la théorie d'Euler et sa valeur est encore égale à Ω ; mais par rapport à P_f , elle est égale à $\Omega \frac{P'P_v}{P_fP_v}$. Si $\frac{P_fP'}{P_fP_v} = 0,3$ la polhodie est parcourue en 436 jours au lieu de 305. Newcomb montre que cette valeur est d'un ordre de grandeur admissible, si l'on attribue au globe terrestre une rigidité semblable à celle de l'acier. Divers auteurs ont considérablement développé la théorie de la rotation d'un globe déformable : il n'y a pas lieu d'exposer ici leurs résultats. Ces auteurs ont tenu compte des déformations élastiques par inertie, mais aussi

de déplacements de masses soit dans l'intérieur du globe, soit dans ses enveloppes fluides, mers et atmosphère.

Sauf erreur — la bibliographie du mouvement du pôle compte plus de 2 000 publications et l'on ne peut tout lire —, il semble qu'on n'ait pas encore étudié l'effet d'un changement du moment cinétique dû à des causes extra-terrestres, telles qu'un courant de particules chargées d'électricité provenant du Soleil et agissant sur le champ géomagnétique.

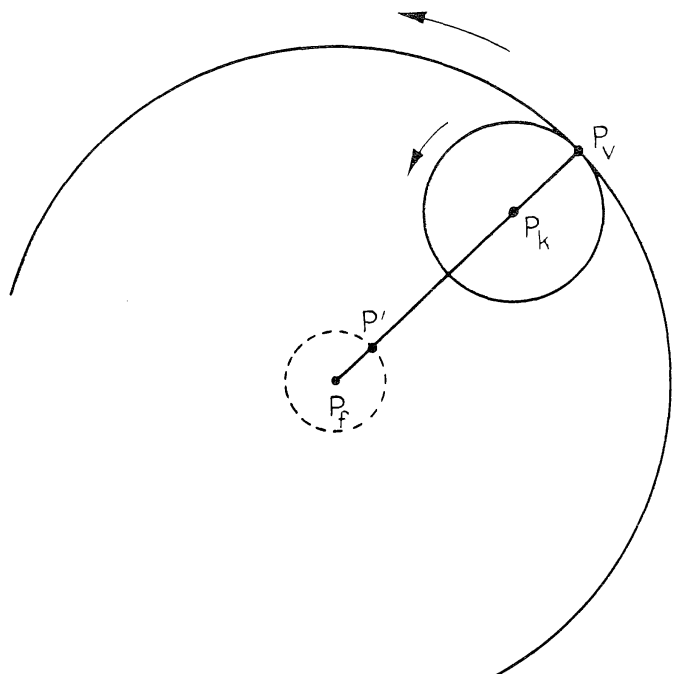


Fig. 4.

Les théoriciens qui croient à un amortissement rapide du mouvement chandlérien trouveront peut-être là une cause capable de relancer le mouvement de temps à autre, ce qui empêcherait le pôle de rotation de venir en coïncidence avec le pôle de figure ou d'y rester.

Le déplacement annuel décelé par l'observation n'est pas prévu par la théorie d'Euler; il s'explique par les déplacements de masse dus aux phénomènes météorologiques. Son existence était aisément prévisible et sa découverte ne pouvait causer aucune surprise. Pour le distinguer du mouvement chandlérien, on donne à celui-ci le nom de nutation libre, et au mouvement annuel celui de nutation forcée.

2.1. De quelle nature sont les données fournies par l'observation astronomique au sujet de la position du pôle et de ses mouvements? L'examen de cette question n'est pas inutile, puisque quelques-uns des nombreux auteurs qui s'en sont occupés n'ont pas fait la distinction

nécessaire entre les pôles célestes et les pôles géographiques, et que d'autres ne s'accordent pas sur l'identité du pôle qui fait l'objet de leurs discussions. Disons, en passant, que bien des malentendus auraient été évités si l'on avait toujours pris soin de considérer séparément la sphère des fixes et la sphère locale, comme on l'a fait au paragraphe 1.3.

Les méthodes astronomiques, quelles qu'elles soient, ont un but précis et unique : c'est de déterminer, à un certain instant, la position du zénith par rapport aux étoiles. Lorsqu'on a obtenu, pour cet instant sa position sur la sphère des fixes, c'est-à-dire son ascension droite et sa déclinaison, on en déduit aisément les éléments dont on a besoin sur la sphère locale : latitude, temps sidéral et par conséquent longitude, azimut de la mire.

Les valeurs trouvées pour ces quantités, φ , T ou λ , et α , sont donc déterminées par les valeurs attribuées aux coordonnées apparentes des étoiles observées. Si le système auquel sont rapportées ces coordonnées apparentes n'est pas conforme à sa définition théorique, les valeurs des éléments locaux, latitude, longitude et azimut sont elles-mêmes affectées d'erreurs systématiques. Développons ce point essentiel.

Calculer des coordonnées apparentes pour notre époque, c'est extrapoler, souvent sur un très long intervalle de temps, des positions méridiennes obtenues jadis avec des moyens matériels de qualité inférieure aux nôtres, alors qu'on ne connaissait peut-être pas les mouvements du pôle avec assez de précision pour en tenir compte. Les positions moyennes du catalogue, leurs variations : mouvements propres, précession, nutation, les données nécessaires au calcul de l'aberration et de la parallaxe, comportent des erreurs dont certaines, qui affectent les variations, entraînent, sur les positions calculées, des écarts progressivement croissants. Le système de référence défini implicitement par le catalogue et les constantes fondamentales qui lui sont associées s'écarte progressivement du système théorique. Le pôle de ce système s'éloigne séculièrement du pôle cinétique (que nous confondrons désormais avec le pôle de rotation ou pôle vrai). Or, c'est évidemment au pôle et à l'équinoxe du catalogue que se rapportent les coordonnées équatoriales du zénith fournies par la réduction des observations. En particulier, c'est le mouvement du pôle du catalogue sur la sphère locale qu'on déduit de ces observations.

Quelle est la nature de son mouvement ? On peut considérer le pôle du catalogue comme absolument fixe par rapport au pôle vrai pendant la durée d'une observation de groupe ; et l'on serait tenté de dire qu'il l'est aussi pendant les quelques heures que durent les observations d'une même nuit, et même pendant toute l'année, si l'on ne savait que les positions tirées d'un catalogue fondamental sont affectées non seulement d'erreurs individuelles aléatoires et d'erreurs systématiques, mais encore d'erreurs régionales, affectant des parties du ciel de la dimension d'une ou même de plusieurs constellations. Ces diverses erreurs peuvent être

corrigées grâce aux résultats du raccordement en chaîne des groupes d'étoiles figurant au programme de chaque observatoire. C'est ainsi que B. Guinot a établi pour l'astrolabe impersonnel de l'Observatoire de Paris un catalogue dont le pôle s'écarte probablement moins du pôle vrai que le pôle du FK 3. D'autres méthodes de correction peuvent être ou sont utilisées, notamment celle du Service International des Latitudes.

Mais si petit qu'il soit, ou qu'il le devienne un jour, l'écart entre le pôle du catalogue et le pôle vrai ne peut être négligé. Le pôle du catalogue est entraîné par le mouvement diurne; il décrit donc sur la sphère locale un petit cercle en un jour sidéral. C'est une pseudo-nutation diurne, qu'on peut appeler en termes brefs la nutation du catalogue. Elle ne peut introduire une erreur de fermeture si les groupes sont raccordés correctement entre eux, mais elle introduit une erreur, variable au cours de l'année, dans les coordonnées du pôle. Les coordonnées du pôle moyen peuvent en être également affectées, si certains groupes restent en observation plus longtemps que d'autres, auquel cas ses effets ne se compensent pas exactement dans la moyenne annuelle.

La méthode la plus sûre pour mettre en évidence la nutation du pôle du catalogue consiste à l'observer comme un phénomène diurne plutôt que comme un phénomène affectant successivement les divers groupes au cours de l'année. Dans une autre publication, l'auteur a proposé d'installer un astrolabe impersonnel à une latitude de $60^{\circ} 30'$ environ, sous un climat offrant en hiver un grand nombre de nuits claires. D'octobre à février, les séances d'observation pourraient durer plus de 12 h, ce qui offrirait d'excellentes conditions pour le raccordement en chaîne.

2. 2. On parle souvent du pôle moyen, mais on en rencontre rarement une définition dans la littérature. Si l'on se rapporte aux paragraphes 1. 3 et 2. 1, on constate que le pôle observé est le pôle du catalogue, mais que le raccordement en chaîne couvrant une année au moins permet d'approcher de très près le pôle vrai, pratiquement indiscernable du pôle cinétique.

Donnons d'abord quelques précisions sur la sphère locale : elle porte deux points fondamentaux : le zénith, qui représente la verticale, et le pôle vrai qui représente l'axe du monde instantané. Le premier de ces points est le pôle des coordonnées horizontales, azimuth et distance zénithale, l'autre est le pôle des coordonnées horaires, angle horaire et déclinaison. Les plans fondamentaux correspondants sont respectivement l'horizon et l'équateur céleste instantanés. La latitude est la hauteur du pôle vrai sur l'horizon; la longitude est l'angle que fait le méridien, défini par le zénith et le pôle instantané, avec un certain cercle horaire origine dont la détermination pratique exige l'intervention d'observations faites en une autre station (sous réserve des complications introduites dans cette définition par le mouvement du pôle et sur lesquelles

il n'y a pas lieu d'insister ici). Le méridien instantané sert d'origine à la mesure des azimuts de mire.

Si le pôle et le zénith étaient des points absolument fixes, on obtiendrait indéfiniment les mêmes valeurs numériques pour la latitude, la longitude, et l'azimut d'une mire. En fait, on obtient des valeurs variables avec le temps. L'analyse de ces résultats y fait reconnaître :

a. une variation séculaire, très lente, ou périodique à longue période, ou irrégulière mais non décomposable en séries rapidement convergentes de termes périodiques ;

b. une variation périodique ou plutôt, presque périodique, ayant une période voisine de 1,20 a, et qui correspond à la nutation libre d'Euler-Chandler ;

c. une variation annuelle, qui révèle l'existence d'un mouvement annuel du pôle vrai, généralement attribué à des phénomènes météorologiques, auxquels s'ajoutent la nutation du pôle du catalogue, ainsi que divers effets parasites dont l'étude sommaire sera faite plus loin. La partie proprement polaire de cette variation est la nutation forcée.

Alors que la polhodie chandlérienne s'écarte peu d'un cercle, de rayon variable il est vrai, la polhodie annuelle se montre beaucoup plus rebelle à l'analyse. C'est peut-être dû aux irrégularités des phénomènes météorologiques qui sont la cause directe ou indirecte des variations annuelles : ces phénomènes se répètent bien d'année en année selon un type moyen, mais avec des écarts aléatoires souvent considérables. Il n'y a aucune raison pour que leurs répercussions sur la position du pôle et de la verticale présentent plus de régularité qu'ils n'en offrent eux-mêmes. Enfin, les erreurs instrumentales et les réfractions accidentelles de caractère annuel entrent pour une bonne part dans les variations trouvées, et leur séparation est pratiquement impossible.

Comment, dans ces conditions, définir un pôle moyen ? En principe, on devrait éliminer la nutation libre, et prendre le barycentre de la polhodie annuelle, mais, d'une part, l'amplitude de la polhodie libre est variable, et peut-être aussi sa période, ce qui peut mettre en échec les méthodes de filtrage ; et, d'autre part, la nutation du pôle du catalogue, essentiellement diurne, ne se traduit pas nécessairement par un terme sinusoïdal annuel dans la latitude ou la longitude, si le programme n'y a pas spécialement pourvu. De plus, la moyenne annuelle des effets parasites d'origine atmosphérique ou instrumentale n'est pas nécessairement nulle.

Tant que le catalogue fondamental et les méthodes d'observation n'auront pas atteint un degré de perfection permettant de déterminer avec sécurité le pôle moyen année par année, on devra se contenter d'artifices médiocres, comme les moyennes glissantes, les moyennes

globales portant sur des intervalles de six années (multiples entiers des deux périodes fondamentales), etc. Mais ce ne sont que des expédients sur les mérites respectifs desquels il n'y a pas lieu de s'attarder.

2.3. Comme on l'a déjà mentionné, on ne peut rapporter les points Z et P à aucun système de référence absolu, et par suite, le problème du mouvement du pôle est essentiellement indéterminé. En pratique, cependant, on peut en chercher une solution statistique, en supposant que, sous certaines conditions, l'ensemble des points Z définit un système de référence par rapport auquel les mouvements particuliers de ces points ont un caractère aléatoire. Mais il ne faut pas oublier que les phénomènes saisonniers ont une allure systématique. D'autre part, on connaît, par différents exemples classiques, le défaut principal d'une solution de cette nature; si le nombre des stations est petit, la suppression ou l'adjonction d'une seule station peut suffire à modifier plus ou moins profondément le résultat. Il en est de même d'une modification apportée au formulaire de calcul. Les discussions auxquelles ont donné lieu les coordonnées du pôle fournies par le Service International des Latitudes et qui se sont ranimées à diverses reprises au cours de ses soixante années d'activité auraient probablement perdu leur objet, si le nombre des stations de latitude, qui n'a jamais dépassé six sur le parallèle de $39^{\circ} 8' N$, avait été notablement plus élevé, et si elles avaient été dispersées sur tous les continents comme le sont les stations horaires. Lorsque le nombre des stations d'observation est réduit à quelques unités, le problème du mouvement du pôle ne peut revêtir une forme statistique; on est obligé de le poser en termes géométriques et sa solution reste alors indéterminée dans une large mesure.

Ces remarques s'appliquent à la fois au pôle instantané P_0 , au pôle conventionnel P_c , réputé fixe, origine des coordonnées x et y du pôle instantané, et au pôle moyen P_m .

Supposons que le nombre des stations soit suffisamment grand et que leur mode de répartition soit assez large pour que le calcul d'une solution statistique soit justifié. La réduction des observations de chaque station fera apparaître des résidus locaux qu'on pourra attribuer en principe aux déplacements particuliers des zéniths Z . Mais là encore, on devra tenir compte des effets parasites déjà mentionnés, et de leur caractère systématique, avant de conclure à une variation proprement dite de la verticale. On reviendra plus loin sur cet aspect du problème.

2.4. La rotation de la Terre donne lieu à des remarques analogues à celles qui viennent d'être formulées au sujet du déplacement du pôle. En principe, le temps universel se rapporte au méridien défini par le pôle céleste conventionnel et par un certain point origine situé dans l'équateur céleste correspondant à ce pôle. Mais le point zéro des longi-

tudes est, comme le pôle conventionnel, lié statistiquement à l'ensemble des zéniths Z . Il ne peut être matérialisé par des repères terrestres, puisque l'origine de l'angle horaire dont le temps universel TU 1 est la mesure doit être définie sur la sphère. Dans la pratique, chaque observatoire horaire fournit une détermination de TU 1, et l'on adopte comme valeur définitive la valeur correspondant à ce qu'on appelle l'observatoire moyen.

Les variations de la rotation de la Terre se déduisent aujourd'hui du temps universel TU 1, par comparaison de ce temps au temps uniforme donné par un étalon de fréquence. Si l'on utilise pour cette comparaison le temps de l'observatoire moyen, la solution obtenue est de nature statistique, mais les valeurs individuelles fournies par les divers observatoires horaires peuvent différer les unes des autres.

En particulier, les courbes représentant la variation saisonnière de la rotation de la Terre correspondant à divers points de la surface du globe ne sont pas nécessairement superposables, en raison des erreurs d'observation, certes, et des autres effets parasites, mais aussi des variations réelles de la verticale, c'est-à-dire des déplacements des zéniths Z . Des écarts correspondants se retrouvent dans les longitudes elles-mêmes.

Le nombre des services horaires intervenant dans la définition de l'Observatoire moyen du Bureau International de l'Heure est actuellement de 23. Il est nettement supérieur à celui des stations du Service International des Latitudes. Comme les mesures de temps peuvent contribuer à la détermination du pôle instantané, il semble que les efforts des deux organismes pourraient être efficacement conjugués. On reviendra plus loin sur ce point.

2.5. Mention doit être faite ici de certaines particularités relatives à l'usage des mires, même si l'on doit, pour cela, anticiper sur l'étude qui sera développée plus loin des erreurs instrumentales. Alors que certains mouvements superficiels au voisinage immédiat de l'instrument, ainsi que les oscillations du bâtiment sous l'effet de l'insolation, les tassements du sol par temps sec, son gonflement par temps de gelée, n'ont aucun effet appréciable sur la verticale définie par le bain de mercure, la direction d'une mire ou d'un collimateur peut s'en trouver affectée séculairement, périodiquement ou accidentellement. Toutefois, dans certaines conditions favorables, il est permis d'espérer que l'azimut de la mire ou du collimateur peut être indépendant de ces effets tout en surface.

A priori, une direction est d'autant mieux déterminée que les deux points qui la définissent sont plus éloignés. Ce sont ici le centre optique de l'objectif et le réticule. Mais plus leur distance est grande, moins il est facile de les rendre solidaires. On peut admettre que l'amplitude de leurs déplacements relatifs accidentels, nulle s'ils sont très proches l'un

de l'autre, croît avec leur distance, mais qu'elle tend vers une limite lorsque l'indépendance des deux supports est devenue aussi complète que possible. Si cette hypothèse était valable, elle conduirait à adopter des mires très éloignées de leur objectif, et cette solution a été très fréquemment adoptée. Certaines mires méridiennes se trouvent à quelques centaines de mètres de l'instrument, d'autres à plusieurs kilomètres, mais l'hétérogénéité de l'atmosphère sur de si grandes distances en rend illusoire les avantages théoriques.

Il semble qu'un collimateur de quelques mètres de distance focale, dont les deux extrémités sont rendues solidaires par une armature, et qui repose sur un pilier robuste porté par un massif solidement ancré dans le sol, apporte une meilleure solution du problème. On protégera le tout de l'humidité par une toiture et par des conduites de drainage profondément enterrées; une bonne protection thermique ne sera pas moins indispensable. Le tube sera vide d'air ou rempli d'hélium pour supprimer les réfractions dues à la turbulence du milieu.

2.6. Comme on l'a déjà mentionné, on sait, par plus de 60 années d'observation, que les variations des éléments locaux : latitude, longitude, azimut d'une mire, liées aux mouvements du pôle ou à des circonstances locales (variations vraies de la verticale ou phénomènes parasites et instrumentaux) sont des fonctions presque périodiques du temps, mais que leur décomposition en sommes de sinus ou de cosinus se heurte à plusieurs obstacles : les amplitudes sont variables, la durée de la période chandlérienne l'est peut-être aussi.

L'application de l'analyse harmonique à une somme de termes de périodes et d'amplitudes variables ne semble pas légitime, si l'on ne prend pas la précaution d'en contrôler les résultats. Si, comme on l'a suggéré, le terme chandlérien est en réalité la somme de termes périodiques d'amplitudes constantes mais de périodes un peu différentes les unes des autres (ce qui expliquerait à la fois les variations de sa période et celles de son amplitude), l'analyse harmonique pourra mettre en évidence ces périodes fondamentales, pourvu qu'on l'étende à un intervalle de temps suffisant, disons, pour fixer les idées, de l'ordre du siècle. Mais il ne semble pas qu'on ait jamais tenté une telle analyse ou que, si on l'a fait, il n'ait pas été possible d'assurer l'homogénéité des catalogues d'étoiles successivement utilisés.

Jusqu'à présent, on a toujours traité le terme chandlérien comme un terme périodique simple, en divisant le temps en intervalles courts, habituellement de six ans, qu'on traite séparément. Quant au terme annuel, dont une partie est liée directement ou indirectement aux circonstances météorologiques de caractère saisonnier, il ne peut être véritablement périodique, ainsi qu'on l'a remarqué plus haut. En outre, on peut se demander si la nutation forcée obéit à des lois simples et si la polhodie

annuelle peut être assimilée à une ellipse, comme on le fait souvent, ou même à un ovale quelconque mais convexe.

Dans ces conditions, l'application des méthodes d'analyse impersonnelles telles que celles de M. et M^{me} Labrouste ou celle d'Orlov ne paraît pas entièrement justifiée. Une seconde approximation peut être nécessaire pour faire apparaître des changements d'amplitude ou de phase, mais c'est alors qu'intervient l'intuition des calculateurs et que se manifeste la diversité des doctrines. Ainsi, le caractère presque périodique des variations observées, qui, *a priori*, devrait favoriser la solution numérique du problème, ne se montrera-t-il pas aussi avantageux qu'on pouvait l'espérer.

2.7. L'étude du mouvement du pôle instantané exige l'organisation d'observations régulières, poursuivies avec persévérance suivant un plan déterminé, en un certain nombre de stations. En chaque station, le travail doit être assuré d'une manière continue, sans interruptions saisonnières de longue durée. Les données nécessaires à la réduction des mesures devront être homogènes et l'on appliquera partout les mêmes méthodes de calcul, au même degré d'approximation. Ces remarques s'imposent avec une telle évidence qu'il n'y a pas lieu de les commenter, mais il convient de noter dès à présent que certaines des conditions ainsi posées ne peuvent être satisfaites dans la pratique. Par exemple, on peut se trouver contraint de modifier de temps à autre la liste des étoiles à observer, ce qui interrompt inévitablement la continuité des résultats.

L'exploitation des données d'observation peut être conçue de diverses manières.

a. A priori, il peut paraître avantageux de conserver aux résultats des stations leur individualité propre le plus longtemps possible au cours des calculs, et pour cela, de discuter séparément les données provenant de chacune d'elles, de les soumettre séparément à l'analyse harmonique, etc.; en un mot, de reculer autant que faire se peut la combinaison inévitable des résultats particuliers en une solution générale. C'est en procédant ainsi qu'on s'assure le contrôle le plus efficace des résultats individuels et qu'on a les meilleures chances de déceler les anomalies locales, quelle qu'en soit la cause.

b. Ces avantages peuvent devenir illusoire si l'élimination de certaines causes d'erreurs systématiques ne peut résulter que de la combinaison précoce des observations. Ainsi, le calcul de la latitude et de la longitude est entaché d'erreurs provenant de l'incertitude des positions et des mouvements propres des étoiles observées. Mais si les stations sont situées sur un même parallèle terrestre et si l'on y observe les mêmes étoiles aux mêmes époques, les différences des latitudes ou des longitudes prises deux à deux sont affranchies de l'erreur en question. En pareil cas, il

peut être nécessaire de faire porter la discussion ou l'analyse harmonique non sur les déterminations individuelles, mais sur les différences de station à station; mais alors, la recherche des anomalies locales ne pourra plus se faire que sur les résidus laissés par la solution finale, ce qui, le cas échéant, pourra nécessiter une itération permettant d'éliminer les résultats manifestement aberrants.

c. Entre les deux types extrêmes qu'on vient de mentionner, il peut y avoir place pour une méthode mixte, les divers termes périodiques étant traités de manières différentes selon leur période : d'un côté, les termes chandlériens, de l'autre les termes annuels. *A priori*, ceux-ci, avec leurs harmoniques, devraient être considérés comme des sommes de termes polaires purs et de termes non polaires annuels, vrais ou parasites, correspondant soit aux variations vraies ou fictives de la verticale, soit aux erreurs instrumentales d'origine thermique; car, de même que nous avons supposé négligeable la dispersion des pôles (*voir* § 1.2), nous pouvons admettre, au moins en première approximation, que la nutation chandlérienne ne s'accompagne pas de déformations de même période du globe terrestre, au degré de précision des observations. En d'autres termes, il n'y a pas lieu d'introduire dans les équations une variation chandlérienne de la verticale. En conséquence, la recherche de la composante chandlérienne de la latitude ou de la longitude peut se faire séparément pour chacune des stations, la formation des différences par combinaison de stations ne s'imposant que pour la recherche des termes annuels vrais ou fictifs, et du mouvement séculaire du pôle.

Il résulte de cette remarque que la composante chandlérienne du mouvement du pôle se détermine plus facilement et plus sûrement que la composante annuelle, laquelle est compliquée de termes parasites plus ou moins mal connus. On peut ajouter que la composante séculaire offre encore moins de garanties, en raison des changements de programme qu'on ne saurait éviter. Cette conclusion peut paraître une banalité, mais il est toujours bon de rappeler que le problème du mouvement du pôle comporte des difficultés essentielles qu'aucun artifice de calcul ne permet d'éliminer.

On peut se demander si le Service International des Latitudes ne trouverait pas un sérieux avantage à isoler la composante chandlérienne des résultats fournis par les diverses stations, avant de procéder à la détermination des latitudes moyennes, des déclinaisons et de la variation annuelle.

3.1. Pour serrer de plus près la nature du problème, il convient d'explicitier les relations qui lient les inconnues aux données. Fixons d'abord les notations (*fig.* 5).

On désignera par P_c le pôle conventionnel présumé fixe, sous les réserves formulées au paragraphe 2.3, d'où sont issus les deux axes,

$P_c x$ et $P_c y$ auxquels sont rapportées les coordonnées différentielles x et y du pôle instantané ou vrai P_v , et qui ont respectivement pour longitudes géographiques 0 et 90° . On désignera de même par Z_c le zénith conventionnel présumé invariable, auquel sont rapportées les coordonnées différentielles ξ et η du zénith instantané ou vrai Z_v . On affectera Z_c et Z_v ainsi que ξ et η d'un indice i correspondant au numéro indicatif de la station. L'axe des ξ est orienté dans le méridien, vers le Nord, et l'axe des η est tangent au parallèle et dirigé vers l'Ouest.

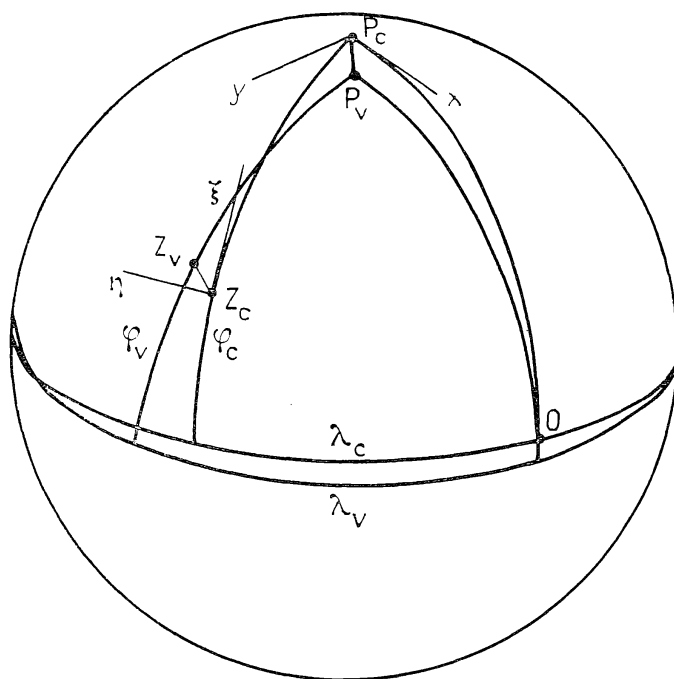


Fig. 5.

La latitude conventionnelle φ_{ci} de la station est le complément de la distance polaire $P_c Z_{ci}$; et la longitude conventionnelle λ_{ci} est l'angle que fait le méridien conventionnel de la station, $P_c Z_{ci}$, avec le méridien conventionnel choisi comme origine, $P_c O$. Les coordonnées instantanées ou vraies sont φ_{vi} et λ_{vi} .

Comme on l'a dit, on peut rapporter la position du pôle à la direction d'une mire ou d'un collimateur, à l'aide d'observations astronomiques. Cet azimut sera compté à partir du méridien, côté Sud, positivement vers l'Ouest. On distinguera les azimuts vrai et conventionnel par les notations a_{vi} et a_{ci} .

On posera encore

$$\begin{aligned} \delta\varphi_i &= \varphi_{vi} - \varphi_{ci}; & \delta\lambda_i &= \lambda_{vi} - \lambda_{ci}; & \delta a_i &= a_{vi} - a_{ci}; \\ U_i &= x \cos \lambda_{ci} + y \sin \lambda_{ci}; & V_i &= x \sin \lambda_{ci} - y \cos \lambda_{ci}. \end{aligned}$$

La connaissance de U, ou celle de V, en un certain nombre de stations (deux au moins) convenablement réparties en longitude, suffit en principe à déterminer les coordonnées du pôle instantané, x et y . On établit sans peine les équations suivantes :

$$(1) \quad \begin{cases} \delta\varphi_i = U_i + \xi_i, \\ \delta\lambda_i = V_i \operatorname{tg} \varphi_{ci} + \eta_i \operatorname{séc} \varphi_{ci}, \\ \delta\alpha_i = \zeta_i - V_i \operatorname{séc} \varphi_{ci} - \eta_i \operatorname{tg} \varphi_{ci} + (\zeta_i \sin \alpha_{ci} + \eta_i \cos \alpha_{ci}) \operatorname{cotg} z_i, \end{cases}$$

où z_i est la distance zénithale de la mire. ξ_i représente la variation propre de l'azimut de la mire, due soit à un déplacement du repère, soit, dans le cas d'une mire très éloignée, à des réfractions accidentelles de caractère diurne ou saisonnier (voir § 2.5).

3.2. Les équations (1) se compliqueraient notablement si nous prenions en considération les erreurs de mesure, les erreurs du catalogue stellaire ou du tableau des constantes fondamentales, les effets tels que les réfractions accidentelles, les erreurs d'origine instrumentale ou thermique, etc.

Il est cependant utile de les examiner sous leur forme originelle, car on peut supposer qu'elles conserveront, au moins partiellement, sous leur forme définitive, certaines de leurs propriétés. On note, dès l'abord, que les inconnues U et ξ ne peuvent pas être séparées algébriquement. Si l'on a déterminé simultanément un grand nombre de latitudes, et si l'étude des premiers résultats partiels a fourni des valeurs déjà très approchées des latitudes conventionnelles, en sorte que ξ_i reste en moyenne très petit, on peut se proposer de résoudre les équations en x et y par une méthode statistique appropriée, en assimilant ξ_i à une erreur d'observation. Admettons, par exemple, que cette méthode soit celle des moindres carrés, nous adapterons la solution qui rend minimale $\Sigma \xi_i^2$. C'est une solution statistique au sens où ce qualificatif a été employé dans le paragraphe 2.3, mais dont on ne devra pas en oublier le caractère arbitraire.

La seconde des équations (1) pourrait être traitée de la même façon, mais il faut noter qu'on ne détermine pas les longitudes absolues, mais seulement des différences de longitudes, alors qu'on sait déterminer les latitudes absolues. C'est ici l'un des cas où la combinaison des stations par couples s'impose en principe dès le début du calcul (voir cependant la paragraphe suivant). Ceci dit, on pourra résoudre par les moindres carrés un système d'équations en x et y de la forme

$$\delta\lambda_j - \delta\lambda_i = V_j \operatorname{tg} \varphi_{cj} - V_i \operatorname{tg} \varphi_{ci} + \eta_j \operatorname{séc} \varphi_{cj} - \eta_i \operatorname{séc} \varphi_{ci},$$

en traitant la différence des deux termes en η comme une erreur de caractère aléatoire (convention aussi arbitraire que la précédente).

La troisième équation, relative à l'azimut, est du même type que l'équation de la latitude, en ce sens qu'on peut l'appliquer séparément à chacune des stations; mais sous la forme simple où nous l'étudions ici, elle offre une particularité intéressante : on peut éliminer τ_i en l'associant à l'équation de la longitude

$$\delta\lambda_i \sin \varphi_{ci} + \delta\alpha_i = \zeta_i - V_i \cos \varphi_{ci}$$

(on suppose encore $\cotg z_i = 0$).

Dans ce cas, on devra combiner les stations deux à deux.

Mais on peut encore éliminer τ_i de la troisième équation en plaçant les stations approximativement à l'équateur : il restera alors l'équation suivante, particulièrement simple :

$$\delta\alpha_i = \zeta_i - V_i \quad (\varphi_{ci} = 0^\circ; z_i = 90^\circ),$$

où l'on traitera ζ_i comme on l'a proposé plus haut pour ξ_i et η_i .

3.3. Il convient d'étudier à part l'usage qu'on peut faire du temps universel brut TU 0 pour la détermination du mouvement du pôle. On désignera par TE le temps des éphémérides, et l'on admettra qu'il est représenté au degré d'approximation requis par le temps d'une horloge à quartz contrôlée à l'aide d'un étalon de fréquence atomique dont la fréquence aura été rapportée au temps des éphémérides. On représentera par S la variation saisonnière de la rotation de la Terre, et par θ le temps universel, compté en années et fraction d'année à partir d'une certaine origine; on peut alors poser

$$\text{TE} - \text{TU } 0 = \Delta(\theta) + S + V_i \operatorname{tg} \varphi_{ci} + \eta_i \operatorname{sec} \varphi_{ci},$$

$\Delta(\theta)$ représentant la variation lente de la rotation de la Terre augmentée de sa variation aléatoire ou fluctuation, de telle sorte que cette fonction ne renferme aucune inégalité périodique. La discussion des déterminations de temps faites à Paris avec un astrolabe impersonnel de 1955,5 à 1960,1, rapportées à un étalon à césium (Essen et Parry) jusqu'à la fin de 1957, puis à deux (le même, plus un atomichron) depuis cette dernière époque, a conduit l'auteur aux conclusions suivantes qu'il estime générales.

a. La fonction $\Delta(\theta)$ peut être représentée dans l'intervalle de 1956,15 à 1959,55 par un polynôme du troisième degré en θ , les écarts étant d'un ordre de grandeur compatible avec ce qu'on sait de la précision des mesures et des diverses causes d'erreurs qui peuvent les affecter. En millisecondes, et à une constante près dont la valeur importe peu pour ce qui nous occupe, on peut écrire, pour l'intervalle qui vient d'être défini :

$$\Delta_2(\theta) = 4190 + 95\theta^2 - 28\theta^3 \quad (\theta = t - 1957,0).$$

Les valeurs des coefficients trouvées par Guinot d'une manière indépendante et par une autre méthode de réduction ne diffèrent pas de celles-ci d'une manière significative.

b. Le polynome Δ_2 ne représente ni les observations antérieures à 1956,15 ni les observations postérieures à 1959,55, pour lesquelles il convient d'utiliser d'autres valeurs des coefficients. D'une manière générale, il semble qu'à un régime stable de la rotation de la Terre corresponde une fonction de la forme

$$\Delta_p(\theta) = \alpha_p \theta + \beta_p \theta^2 + \gamma_p \theta^3 \quad (\theta = t - t_p),$$

les quantités α , β et γ prenant de nouvelles valeurs à chaque changement de régime. Les passages du régime 1 au régime 2 (1956,15) et du régime 2 au régime 3 (1959,55) se sont produits brusquement. Le second a même été marqué par une discontinuité du temps universel TU 0 de Paris atteignant 0,85 ms. Il paraît établi que des changements de régime ont coïncidé avec des éruptions solaires accompagnées de manifestations géophysiques d'une importance exceptionnelle : orages magnétiques, perturbations ionosphériques, aurores polaires, rayons cosmiques, etc.

c. L'analyse harmonique de la quantité suivante, dont on peut alors calculer la valeur numérique

$$(2) \quad \text{TE} - \text{TU 0} - \Delta(\theta) = S + V_i \text{tg } \varphi_{ci} + \eta_i \text{séc } \varphi_{ci}$$

fait apparaître des inégalités ayant pour périodes la période de Chandler et l'année. De 1955,5 à 1960,1 la composante chandlienne a conservé une amplitude pratiquement constante, les variations qu'on a cru y apercevoir n'étant pas significatives. Sa période est restée égale à 1,20 a. Si l'on désigne cette composante par p_1 , on peut la représenter comme il suit, avec une très bonne approximation

$$p_1 = 17,4 \sin \frac{2\pi}{1,20} (t - 1956,25) \text{ ms.}$$

C'est la contribution de la nutation libre au produit $V_i \text{tg } \varphi_{ci}$.

d. Quant à l'inégalité annuelle, p_2 , elle comprend deux termes principaux, un terme annuel et un terme semi-annuel, mais pour la représenter très exactement, il faudrait tenir compte de quelques-uns des harmoniques d'ordre plus élevé; on ne le fera pas ici, et l'on se contentera d'écrire

$$p_2 = 25 \sin 2\pi(t - 1957,11) + 8 \sin 4\pi(t - 1957,29) \text{ ms.}$$

C'est la partie annuelle de la somme

$$S + V_i \text{tg } \varphi_{ci} + \eta_i \text{séc } \varphi_{ci}.$$

Pour appliquer cette analyse harmonique à la détermination du mouvement du pôle à l'aide des déterminations de temps, il faut éliminer S. Si l'on pouvait considérer η comme une quantité négligeable, la combinaison des résultats de deux stations de même longitude ferait connaître les inconnues α , β , γ , S et V. Une seule station équatoriale suffirait à déterminer S, l'inconnue V se trouvant éliminée. Enfin, les inconnues η pourraient être éliminées en combinant les déterminations de temps et d'azimut, comme on l'a dit à propos des longitudes.

Le mieux serait de disposer d'une chaîne de stations horaires de basses latitudes, réparties en longitude, de telle sorte que les sommes des cosinus et des sinus des longitudes soient nulles; on déterminerait les coordonnées du pôle et des longitudes λ_{ci} par itération, de telle manière que les sommes $S + \eta_i \text{ séc } \varphi_{ci}$ obtenues pour les stations prises deux à deux ne diffèrent entre elles que de faibles inégalités périodiques annuelles. On adopterait pour S la moyenne de toutes ces quantités : $S + \eta_i \text{ séc } \varphi_{ci}$. Il va sans dire que les étoiles observées devront être rattachées à un système homogène.

En résumé, *sous réserve des complications qu'entraînent les changements imprévisibles du régime de rotation*, il semble possible de déduire le mouvement du pôle d'observations faites en un seul lieu avec un instrument fournissant à la fois la déclinaison du zénith (latitude) et son ascension droite (temps sidéral).

Les conditions suivantes doivent être satisfaites :

a. Les étoiles du programme doivent être extraites d'un catalogue affranchi d'erreurs systématiques, ou bien le mode d'observation adopté doit en permettre le raccordement en chaîne.

b. L'instrument doit lui-même être affranchi des effets nuisibles dont la description sera donnée plus loin, à la fois dans son principe et dans sa réalisation (l'un n'entraîne pas nécessairement l'autre), et par un choix convenable de son emplacement et du mode de construction de son abri.

c. L'inégalité annuelle de la rotation de la Terre devra être demandée à une chaîne de stations de basse latitude, où l'on observera des étoiles choisies dans le catalogue désigné en a, ou raccordées à ce catalogue.

B. Guinot et M^{lle} S. Débarbat ont déduit la polhodie chandlérienne des observations faites à Paris ainsi qu'il a été dit au cours de ce paragraphe, pour les années 1956-1959. Ils ont obtenu pour les termes chandlériens de U et de V les valeurs suivantes :

$$\bar{U} = 0,22 \sin \frac{2\pi}{1,20} (t - 1956,04),$$

$$\bar{V} = 0,23 \cos \frac{2\pi}{1,20} (t - 1956,05),$$

1959BAAst...23...187D

qui représentent une polhodie très peu différente d'un cercle décrit uniformément. Les résidus fournissent le terme annuel \bar{U} , mais pour isoler \bar{V} , il faudrait connaître les valeurs de S, et pour cela, disposer d'observations faites en d'autres stations avec des astrolabes du même type, les positions des étoiles étant rattachées au catalogue utilisé à Paris (B. Guinot). Les valeurs de S que publie le Bureau International de l'Heure se rapportent au catalogue FK 3 R, conformément aux instructions de l'Union Astronomique Internationale, et ne sont donc pas utilisables ici telles quelles.

3.4. La détermination des différences δ qui apparaissent dans les premiers membres des équations (1), c'est-à-dire des écarts entre la latitude, la longitude et l'azimut fournis par l'observation à une époque déterminée, et les valeurs conventionnelles ou de référence de ces mêmes coordonnées, mérite de retenir l'attention.

Nous savons, par l'analyse de ces différences, qu'on peut y reconnaître :

- a. une constante, dont la valeur dépend uniquement du choix de l'origine;
- b. une variation lente, non périodique;
- c. des variations périodiques dont les périodes fondamentales sont l'année et la période de Chandler.

En principe, le choix des valeurs conventionnelles est arbitraire et c'est ce qu'on a admis dans tout ce qui précède, mais en fait, il est imposé par les conditions du problème, comme on va le montrer dans le cas des latitudes.

Le plus simple consiste à rendre nulle la constante augmentée de la variation non périodique, pour une époque déterminée, par exemple pour une époque voisine du début de la série des observations. Le Service International des Latitudes cherche à rapporter les coordonnées du pôle mobile au pôle de Wanach, défini comme le barycentre de la polhodie de 1900 à 1905.

Ceci suppose évidemment que les observations sont assez homogènes pour qu'on puisse « conserver » ce pôle, comme on « conserve » l'équinoxe moyen d'une époque ancienne. Si la constellation des zéniths était indéformable, cette condition serait aisément satisfaite : il suffirait de définir le pôle conventionnel par les latitudes attribuées une fois pour toutes aux stations du S. I. L., ces latitudes étant, par exemple, les latitudes moyennes de l'intervalle 1900-1905. Mais nous montrerons dans un instant que les latitudes varient par suite du déplacement des zéniths, non seulement au cours de l'année, mais séculairement.

C'est pour obvier à cette difficulté qu'Orlov a proposé de renoncer, au moins provisoirement, à un pôle conventionnel réputé invariable,

mais d'une localisation incertaine, pour adopter le pôle moyen de l'époque. Il écrit : « La réduction des observations astronomiques au pôle moyen ne peut consister actuellement que dans le calcul des variations périodiques du pôle ». Cette idée doit être examinée indépendamment du procédé de filtrage par moyennes glissantes proposé par Orlov pour la mettre en pratique et sur lequel on a formulé plus haut des réserves.

Pour essayer d'analyser la nature des obstacles qu'Orlov propose de contourner, nous allons utiliser un procédé graphique que nous appellerons la méthode des droites polaires en latitude, et qui conduit à des calculs numériques de la forme la plus classique (fig. 6). Soient aux époques t

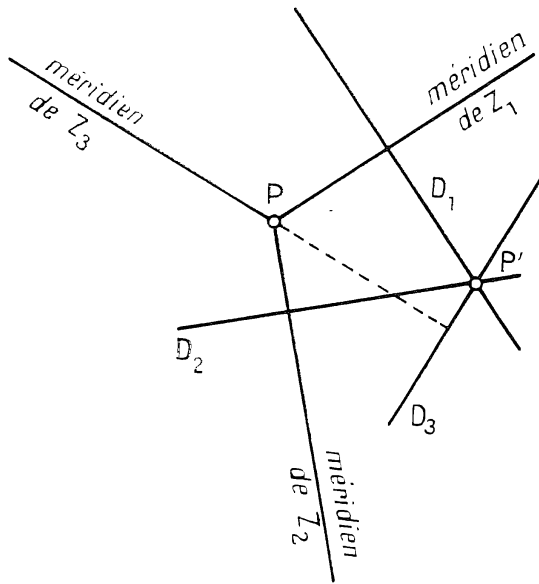


Fig. 6.

et t' , φ et φ' les hauteurs du pôle trouvées en une station. Le pôle s'est déplacé de P en P'. Traçons une droite D_1 perpendiculaire au méridien PZ_1 de la station, à la distance $\varphi' - \varphi$ du pôle P, dans le plan qui contient les axes Px et Py auxquels sont rapportées les coordonnées. Cette droite est la droite polaire pour la station de zénith Z_1 et pour les époques (t, t'). Les droites polaires des autres stations, D_2, D_3, \dots sont concourantes avec D_1 en P' , sous les conditions suivantes :

- a. la constellation des zéniths ne s'est pas déformée;
- b. les erreurs de mesure et les effets parasites locaux sont négligeables.

Dans ce cas, la coordonnée ξ qui figure dans la première des équations (1) est constante, et la quantité $\delta\varphi_i$ est égale à la variation de U. Le déplacement PP' est la variation totale, de t à t' , des trois composantes : séculaire, chandlérienne et annuelle.

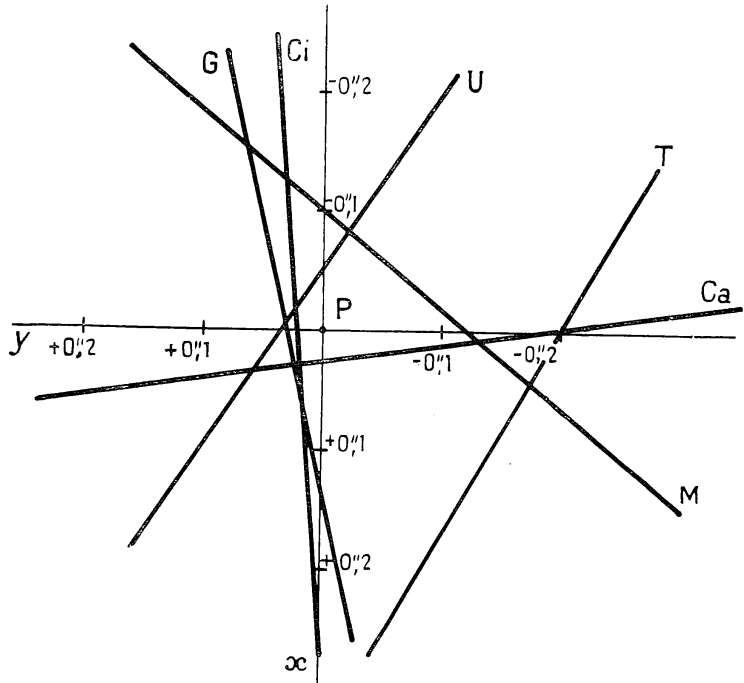
Si les zéniths se sont déplacés les uns par rapport aux autres, et si les erreurs de mesure et les effets parasites sont sensibles, les droites polaires ne sont pas concourantes. Les écarts dont la quasi-périodicité est annuelle peuvent être éliminés en grande partie si l'on choisit pour l'intervalle $t' - t$ un nombre entier d'années : les étoiles observées sont les mêmes, ce qui élimine les erreurs sur leurs positions moyennes et laisse subsister seulement les erreurs sur les mouvements propres, qui sont minimales. Les phénomènes d'origine thermique, qu'ils soient de nature atmosphérique ou instrumentale, sont également compensés en grande partie. Mais le déplacement du pôle, de P en P' contient intégralement la composante chandlérienne.

Si le polygone de recoupement des droites polaires ne se réduit pas à un point, c'est surtout parce que les valeurs des différences $\varphi' - \varphi$ sont affectées par les déplacements particuliers des zéniths et subsidiairement par des écarts de caractère aléatoire de la nutation forcée ou par des erreurs de mesure.

La figure 7 représente les droites polaires pour des intervalles respectifs de 1, 2, 3 et 4 ans, à partir de l'époque initiale $t = 1905,12$ et pour les stations de Mizusawa, Tschardjui, Carloforte, Gaithersburg, Cincinnati et Ukiah. Par hypothèse, les droites pour l'époque origine ($t' - t = 0$) passeraient toutes par l'origine. Au bout de la première année, leur recoupement se montre très diffus, la droite T (Tschardjui) passant à près de $0'',2$ de la position la plus probable du pôle P'. Elle s'en rapproche en 1907; en 1908, l'anomalie a disparu. Ainsi, pendant un ou deux ans, la latitude de Tschardjui a été trouvée en excès d'une quantité considérable. S'agit-il d'une variation temporaire de la verticale, ou d'erreurs de mesures dues à un défaut de réglage de l'instrument, ou à l'inexpérience d'un observateur novice ou peu doué, il est impossible d'en décider aujourd'hui. Mais supposons qu'on ait appliqué à la détermination de la latitude moyenne de Tschardjui une formule de filtrage par moyennes glissantes, quelle qu'elle soit, cet accident, étroitement localisé dans le temps, aurait été étalé sur un certain nombre d'années, il aurait perdu son caractère accidentel pour prendre une allure systématique, avec une amplitude atténuée et un caractère moins suspect. Les positions du pôle calculé en auraient été affectées dans les mêmes limites de temps. Cet exemple illustre bien le danger des méthodes en question.

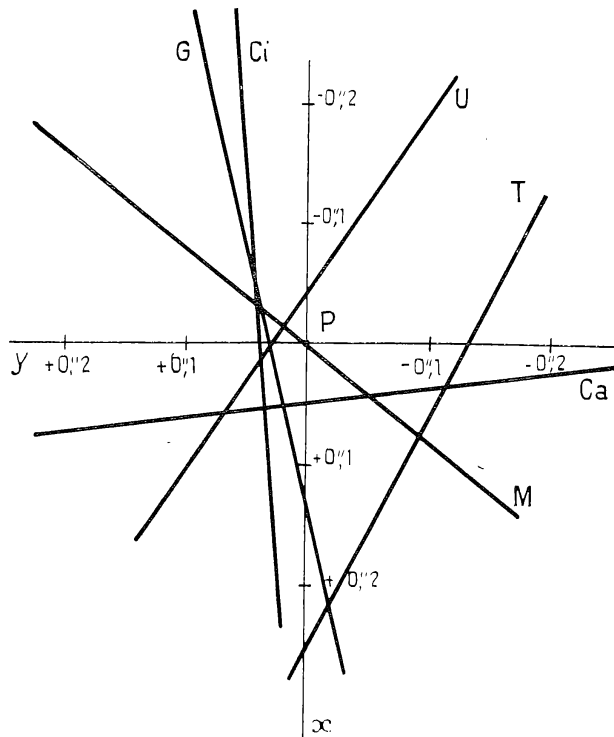
On ne peut développer ici l'étude des variations lentes ou rapides des latitudes, mais il faut en souligner les difficultés, et fixer l'ordre de grandeur de ces variations. Il suffira d'étudier le triangle des droites polaires de Mizusawa, Carloforte et Ukiah. Lorsque le nombre des stations est réduit à 3, on peut adopter comme inconnues les coordonnées x' et y' du pôle P' par rapport à P, et le rayon r du cercle inscrit dans le triangle des droites polaires, ce point étant considéré comme la position la plus

A. DANJON.



1906,12-1905,12

Fig. 7 a.



1907,12-1905,12

Fig. 7 b.

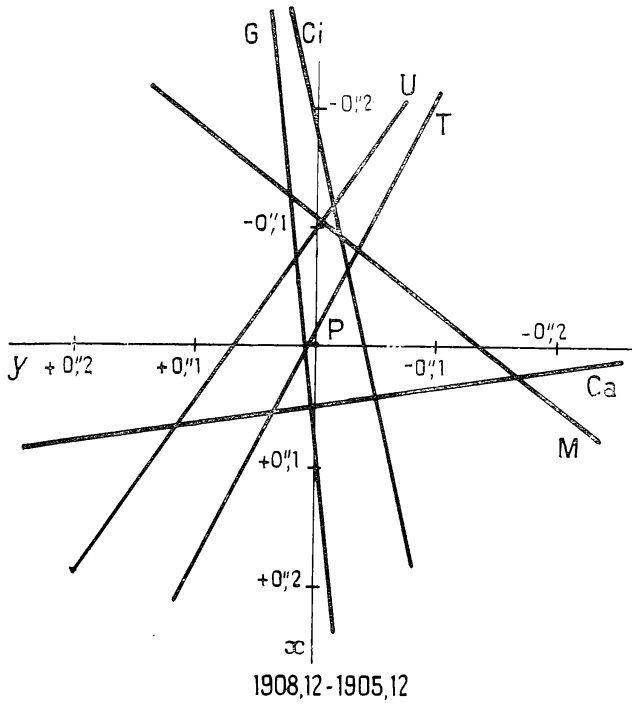


Fig. 7 c.

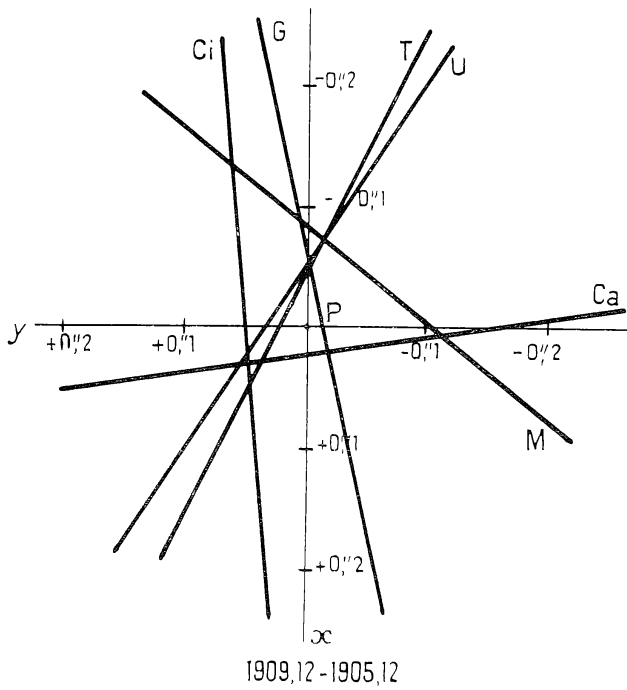


Fig. 7 d.

probable de P' dont le calcul est ici particulièrement simple. On a, en particulier, pour les stations énumérées ci-dessus :

$$r = -0,302 d_M - 0,402 d_C - 0,296 d_V.$$

Le calcul a été fait pour des intervalles consécutifs d'un an, et pour chacune des fractions d'année correspondant aux diverses combinaisons

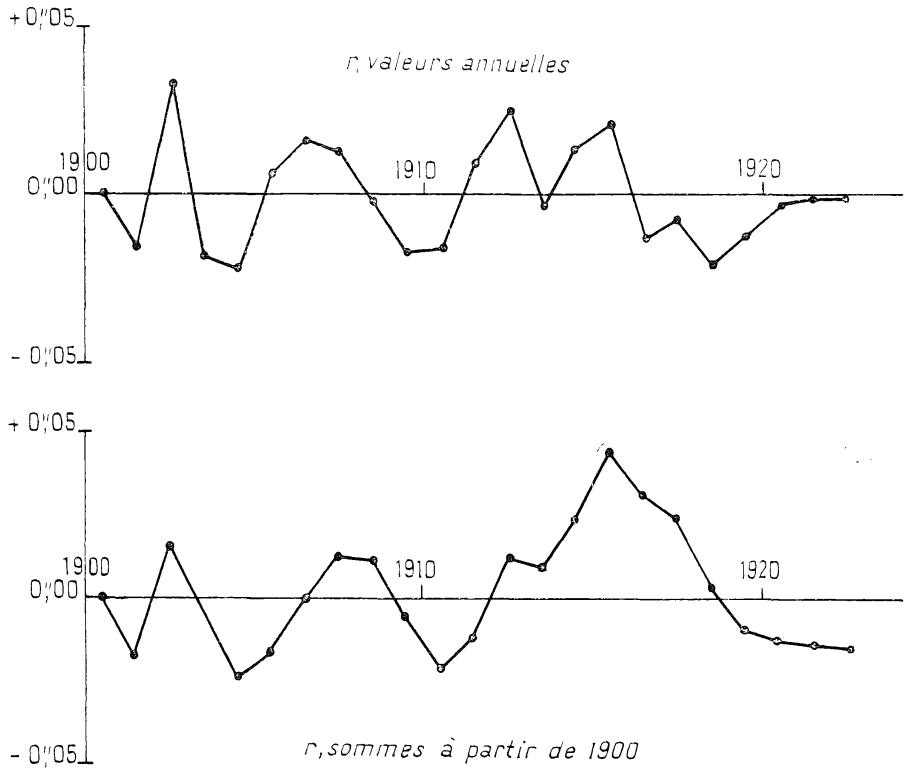


Fig. 8.

de groupes : 0,05 pour les groupes III et IV; 0,12 pour les groupes IV et V, etc. Les résultats de ce calcul occupent 12 colonnes du tableau I.

L'avant-dernière colonne donne la moyenne des 12 valeurs de l'année, et la dernière contient les sommes de ces moyennes, de proche en proche, c'est-à-dire la valeur de r qu'on aurait obtenue directement en prenant pour t l'année 1900. Ce mode de calcul d'où sont éliminées les déclinaisons et les valeurs adoptées pour les latitudes conventionnelles, réduit vraisemblablement les erreurs aléatoires et les effets parasites de caractère annuel. On peut seulement suspecter la validité des raccordements correspondant aux époques de changement de programme : 1906, 1912, mais aucun mode de calcul n'écarte cet inconvénient. Du reste, la marche systématique des nombres donnés dans la dernière colonne du tableau I (*fig. 8*) ne peut en être affectée d'une manière sensible;

cette marche est la preuve que le triangle Mizusawa-Carloforte-Ukiah a subi des déformations, à moins que des causes non fortuites n'aient

TABLEAU I.
Rayon du cercle inscrit.
Unité 0",001.

	0.05.	13.	20.	26.	32.	40.	47.	57.	67.	78.	88.	97.	Année.	Sommes
1900...	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
1901...	-51	-37	-10	+3	-16	-49	-12	+8	-44	-14	+1	+29	-16	-16
1902...	+46	+57	+43	+36	+43	+37	+35	+14	+30	-16	+16	+27	+32	+16
1903...	+14	-17	-35	-18	-28	-28	-31	-29	-7	+9	-19	-32	-18	-2
1904...	-25	-13	-5	-41	-18	-41	-39	-42	-35	-8	+1	+16	-21	-23
1905...	-4	+10	-14	+31	+10	+17	+37	+10	+9	-13	-10	-3	+7	-16
1906...	-10	+11	+24	+19	+34	+48	+14	+45	+13	+7	0	-13	+16	0
1907...	+40	+16	+9	-2	+4	-2	0	+4	+4	0	+31	+49	+13	+13
1908...	+10	-1	+10	-36	+8	-3	+11	-3	+22	+11	-3	-33	-1	+12
1909...	-20	-22	-35	-11	-8	+7	-3	-3	-36	-23	-13	-39	-17	-5
1910...	-41	-1	-35	-1	-33	-30	-9	-32	+2	-5	-14	+3	-16	-21
1911...	+5	-53	+15	+6	+15	+12	+6	+35	-3	+21	+49	0	+9	-12
1912...	+51	+65	+49	+12	-42	-74	+54	-22	+63	+33	+25	+83	+25	+13
1913...	+1	+26	-14	-15	+7	+31	-91	-6	-27	+11	+14	+29	-3	+10
1914...	+11	+24	+28	+46	+36	+21	-2	-2	+9	+2	-18	-4	+13	+23
1915...	+27	+25	+6	-1	+7	+23	+14	+44	+36	+44	+38	-16	+21	+44
1916...	-2	-33	+4	+12	-13	-33	+1	-37	-22	-43	-3	+16	-13	+31
1917...	+14	+26	-7	-23	+1	+19	-33	+7	-24	-19	-28	-15	-7	+24
1918...	-26	-54	-44	-9	-24	-31	-3	-9	-19	+10	-27	-19	-21	+3
1919...	-20	+10	-24	-11	-22	-5	-6	-18	-7	-27	+9	-22	-12	-9
1920...	+16	-23	-19	-3	+1	-4	-2	-21	+10	+16	-15	+10	-3	-12
1921...	-16	-10	+20	-12	-5	+10	+1	+3	-4	-17	+24	-1	-1	-13
1922...	-10	-2	+21	-3	-2	-24	+11	0	+2	-	-	-	-1	-14

altéré les résultats des mesures, les écarts évoluant avec le temps d'une manière systématique et relativement lente (1).

On peut s'assurer que 42 % des valeurs de r données dans le tableau I dépassent 0",020 en valeur absolue, 23 % dépassent 0",030 et 12 % dépassent 0",040. Les valeurs extrêmes de la dernière colonne sont -0",023 et +0",044. Ainsi qu'on rattache le pôle actuel au pôle de l'année précé-

(1) La date moyenne des observations d'un même groupe peut varier de quelques jours d'une année à l'autre. On n'a pas tenu compte de ces écarts.

1959BMAst...23...187D

dente ou au pôle de 1900, l'erreur à craindre est du même ordre de grandeur dans les deux cas. Ce n'est donc pas en choisissant un autre pôle de référence et d'autres méthodes de calcul qu'on améliorera les résultats du Service International des Latitudes. Le point faible de ce Service tel qu'il fonctionne depuis 60 ans, c'est de n'avoir jamais possédé un nombre de stations suffisant pour permettre une solution statistique du problème.

Les données sont insuffisantes en nombre et nous venons de constater qu'elles sont insuffisantes en qualité, mais si le S. I. L. avait pu discuter des données provenant d'une vingtaine d'observatoires, chacun fournissant sa latitude instantanée à quelques centièmes de seconde près, le rattachement du pôle P' au pôle P de l'année précédente, pour la même date, eût été possible, avec une incertitude de quelques millièmes de seconde seulement; le raccordement en chaîne du pôle actuel au pôle moyen des années 1900-1905 se faisant de proche en proche, on ne peut supposer que les erreurs aléatoires se seraient accumulées, mais plutôt qu'elles se seraient partiellement compensées. Quant au rattachement des latitudes conclues, au cours d'une même année, des observations de groupes différents, il n'aurait pas offert de difficultés insurmontables, et du reste la publication d'un catalogue de positions et de mouvements propres corrigés aurait permis de réviser ce raccordement pour les années écoulées depuis 1900.

Si le nombre des stations de latitude fut initialement de 6, pour tomber bientôt à 3, et pour revenir plus tard à 5, alors que tous les observatoires de la planète auraient pu participer efficacement à l'œuvre commune, c'est que les fondateurs du Service attribuaient une grande importance à l'élimination des erreurs sur les déclinaisons du catalogue. Il résulte cependant des explications données dans le présent paragraphe, qu'il n'est nullement indispensable d'observer partout le mêmes étoiles. Il suffit que, dans chaque observatoire, on observe chaque année les mêmes groupes d'étoiles, en vue de déterminer, pour chacun d'eux, les différences $\varphi' - \varphi$. La connaissance des variations de cette quantité d'année en année, pour chaque groupe, permet de tracer les droites polaires correspondantes, et d'aborder la solution numérique du problème. Un autre raccordement en chaîne assure le raccordement des groupes entre eux. Tel devrait être le programme de la nouvelle organisation.

Peut-on attendre un progrès réel d'une nouvelle réduction des mesures faites depuis 60 ans dans les stations internationales? Certes, il faudra entreprendre ce grand travail dès qu'on sera en possession d'un catalogue homogène de toutes les étoiles observées, ce qui permettra peut-être d'effacer les discontinuités dues aux changements apportés de temps en temps à la liste des groupes, mais d'autres inconvénients subsisteront irrémédiablement, dont les causes sont nombreuses et diverses: changements de programme, défaut de symétrie du programme primitif par rapport au

milieu de la nuit, détermination par trop sommaire du coefficient de température des micromètres; peut-être aussi l'isolement des observateurs livrés à eux-mêmes, bien que, en règle générale, tous méritent des éloges pour la qualité des résultats obtenus par eux dans des conditions souvent difficiles. S'ils avaient été 20 au lieu d'être 3, 4, 5 ou 6, l'œuvre du S. I. L. n'offrirait guère de prise à la critique.

3.5. On peut définir les droites polaires en longitude comme on a défini les droites polaires en latitude. Si $\lambda' - \lambda$ est la variation de la longitude entre les époques t et t' , la droite polaire correspondante est une parallèle au méridien de la station, tracée à la distance $(\lambda' - \lambda) \cotg \varphi$ du pôle P. S'il est vrai qu'on ne détermine pas les longitudes absolues mais seulement des différences de longitudes, il n'est pas moins vrai que la différence $\lambda' - \lambda$ peut s'obtenir comme la variation de la différence de longitude entre la station considérée et l'observatoire moyen, ou encore entre la station et un observatoire situé sur l'équateur (voir § 3.3).

On peut utiliser les droites polaires en longitude comme on l'a fait des droites en latitude dans le paragraphe précédent, mais il est encore possible de déterminer le pôle au moyen des observations faites en une seule station, par le recoupement de deux droites polaires, l'une en latitude et l'autre en longitude. La détermination de la polhodie chandlérienne par B. Guinot et S. Debarbat mentionnée dans le paragraphe 3.3 a été obtenue par une méthode équivalente à celle-ci. Ils auraient obtenu également la polhodie annuelle si les résultats d'un observatoire de basse latitude leur avaient fourni la valeur de S (variation annuelle de la rotation de la Terre) rapportée au catalogue utilisé pour la réduction des observations à l'astrolabe de Paris.

L'emploi des longitudes pour l'étude du mouvement du pôle est une méthode d'avenir, dont il devrait être tenu compte dans une réorganisation du S. I. L.

3.6. Il faut dire quelques mots de deux quantités qui occupent une grande place dans la littérature relative au mouvement du pôle : l'erreur de fermeture du raccordement des groupes en chaîne, et le terme z de Kimura.

Il est reconnu qu'une part de l'erreur de fermeture est due à l'emploi d'une valeur erronée de la constante d'aberration annuelle ($20''{,}47$ alors que la vraie valeur est au moins égale à $20''{,}51$), ainsi qu'à l'omission fréquente de la correction de parallaxe. La réfraction contribue pour sa part à l'erreur de fermeture, parce que sa valeur varie systématiquement au cours de la nuit, et qu'elle n'est pas la même pour les groupes observés avant et après minuit; les erreurs commises sur son évaluation sont donc cumulatives; en outre, des réfractions accidentelles peuvent apparaître et évoluer au cours de la nuit. Mais on n'a pas encore expliqué pourquoi

l'erreur de fermeture subit, en une même station, d'une année à l'autre, des variations dont l'amplitude considérable apparaît à la lecture du tableau II (fermeture sur les groupes IV-IV) :

TABLEAU II.
Erreur de fermeture en 0,001.

	1949.	1950.	1951.	1952.	1953.	1954.	1955.	1956.	1957.
Kitab	+314	+123	- 8	+300	-113	+530	-131	+162	+405
Ukiab	-332	-489	-90	-535	-530	-212	- 5	- 31	-318

La part de l'aberration et de la parallaxe est la même partout au même moment; les phénomènes de réfraction sont liés à la situation météorologique, qui, sans être rigoureusement périodique, offre une certaine régularité saisonnière. Il est surprenant que la dispersion de valeurs telles que celles du tableau II n'ait pas suscité des recherches approfondies, en vue d'en découvrir les causes. Une étude expérimentale faite sur place aurait peut-être fait découvrir les phénomènes physiques responsables de cette inadmissible dispersion. Ils figurent peut-être parmi ceux qui sont énumérés dans les derniers paragraphes de la présente Note. Au lieu de recommander cette étude, on s'est contenté de passer condamnation sur le raccordement en chaîne; jugement sommaire, qu'il conviendra de réviser.

En 1902, H. Kimura montrait que les observations de latitude faites aux six stations internationales situées sur le parallèle de $39^{\circ} 8'$, ainsi qu'en quatre autres observatoires situés sous des latitudes différentes (Tokyo, Kasan, Leyde, Philadelphie) étaient mieux représentées par l'équation à trois inconnues (ξ, x, y) :

$$\delta\varphi = \xi + x \cos \lambda + y \sin \lambda$$

que par l'équation à deux inconnues (x, y) obtenue en omettant ξ et qu'on avait utilisée jusqu'alors. « ξ varie avec le temps, ajoutait Kimura, mais à un instant donné, il a la même valeur pour toutes les stations. . . . La recherche de la nature et des causes de ξ doit être remise à plus tard » (*Astr. Nach.*, 3 783). Wanach attribue encore en 1916 au terme de Kimura, qu'il représente par la lettre z aujourd'hui consacrée par l'usage, la même valeur au même instant en toutes les stations du Service International. Mais l'histoire du terme z ne serait ici d'aucun intérêt, il est plus utile d'en chercher l'interprétation.

a. On réduit presque à coup sûr sur les résidus d'un système d'équations linéaires en nombre surabondant, en accroissant d'une unité le

nombre des inconnues. C'est ce qu'on a fait dans le paragraphe 3.4 en introduisant comme inconnue le rayon r du cercle inscrit dans le triangle des droites polaires. Mais il faut s'assurer que l'inconnue supplémentaire a une signification physique.

b. La nutation du pôle du catalogue, qui dépend du temps sidéral, se traduit par une erreur $\Delta\delta_z$ sur les déclinaisons des groupes, ce qui justifie l'introduction d'une inconnue z possédant les propriétés spécifiées par Kimura dans le passage cité plus haut. Mais l'emploi de catalogues de mieux en mieux corrigés des erreurs systématiques affectant les catalogues précédents se traduit par une diminution progressive de z , qui doit tendre vers zéro. Or, les valeurs de z qu'on rencontre dans les publications récentes paraissent trop importantes et trop dispersées pour être imputables en totalité au catalogue.

c. Il faut donc se retourner vers les phénomènes saisonniers et principalement vers les variations de la température, soit de l'air, soit de l'instrument, dont on étudiera plus loin les conséquences. Pour des stations situées sur un même parallèle, on peut s'attendre à des variations apparentes annuelles de la verticale dues à ces causes ayant la même phase mais non la même amplitude, en raison de la diversité des climats. *A priori*, il semble peu probable que le terme z ait la même valeur au même instant en tous les points du parallèle international.

En fait, le mode de calcul adopté par le S. I. L. équivaut à une équi-partition des variations des latitudes entre toutes les stations, que ces variations soient réelles ou fictives, qu'elles aient pour cause une erreur systématique du catalogue ou des perturbations atmosphériques régionales et locales, ou des erreurs instrumentales.

Cette confusion doit faire regretter l'initiative de Kimura. La diminution sensible des résidus due à l'introduction du terme z dans les équations de condition a donné aux calculateurs un sentiment de quiétude peu favorable à l'esprit de recherche. On a préféré une solution de facilité arbitraire à la laborieuse et pénible expérimentation qui, seule, eût conduit à la découverte des causes d'erreur et à l'amélioration des résultats. La multiplication du nombre des observatoires, recommandée plus haut, doit s'accompagner d'études approfondies des conditions d'observation, des propriétés de l'atmosphère locale, des instruments et de leurs abris. Une telle recherche ne peut pas être éludée sans compromettre le succès de la réforme.

4.1. Il reste, pour terminer cette étude, à donner quelques précisions sur les diverses causes d'erreurs qui affectent les observations, aussi bien en latitude qu'en longitude ou en azimut. Il y a été fait allusion lorsqu'on a parlé des effets parasites, et certains points énumérés ci-dessous ont

été traités plus ou moins complètement dans ce qui précède. On ne conçoit pas une réorganisation du Service International des Latitudes qui ne s'appuierait pas sur une étude de tous les points suivants.

a. Erreurs du catalogue et des constantes fondamentales :

- Coordonnées moyennes, mouvements propres, parallaxes;
- Précession, nutation, aberration.

b. Réfractions accidentelles liées à la situation météorologique générale. Réfractions locales, à l'échelle de la station. Réfractions de salle.

c. Variations de la verticale dues aux marées, aux phénomènes géophysiques ou météorologiques quotidiens ou annuels, aux phénomènes géologiques.

d. Erreurs instrumentales. Aberrations optiques. Variations de température. Différences de température entre les diverses parties de l'instrument, entre l'instrument et l'air ambiant. Emploi des collimateurs, de mires. Emploi du niveau ou du bain de mercure, etc.

4.2. La composition des groupes d'étoiles dépend essentiellement de l'instrument utilisé : elle n'est pas la même pour un cercle méridien, pour une lunette zénithale et pour un astrolabe. Les valeurs de la hauteur du pôle et du temps sidéral sont donc affectées de manières différentes par les erreurs portant sur les positions apparentes, c'est-à-dire sur les positions moyennes et leurs variations, ce qui implique aussi les constantes fondamentales.

Les groupes observés au cercle méridien peuvent être conservés tels quels indéfiniment. Les groupes mis en observation aux astrolabes de Paris n'exigeront aucun changement avant la fin de ce siècle. Ceux qu'on observe avec des lunettes zénithales visuelles ou photographiques doivent être modifiés à des intervalles rapprochés : les listes du S. I. L. ont reçu des corrections en moyenne tous les 12 ans, chaque changement se traduisant par une discontinuité dans les coordonnées du pôle et les latitudes des stations.

Il est à noter que les pointés faits avec des lunettes zénithales visuelles ou photographiques portent en général sur des images extra-axiales, dont la précession fait changer d'année en année la présentation dans le champ de l'instrument. Or, aucune indication n'a jamais été publiée sur les aberrations extra-axiales des lunettes visuelles du S. I. L., ni des divers modèles de P. Z. T. On reviendra sur ce point dans le paragraphe 4.5.

D'une manière générale, on doit attendre beaucoup de la publication prochaine du FK 4, du moins pour les instruments dont le programme contient seulement des étoiles fondamentales : cercles méridiens, instru-

ments des passages, astrolabes. Mais cette amélioration ne dispensera pas les observateurs de contrôler l'homogénéité du système de référence du FK 4. Quel que soit l'instrument utilisé, l'observation d'un groupe isolé, au cours d'une nuit, ne peut pas mettre en évidence une erreur sur la position du pôle du catalogue, puisque cette erreur n'affecte pas les positions relatives des étoiles. Elle ne peut apparaître que s'il est possible de raccorder en chaîne les observations de groupes, avec une erreur de fermeture petite au degré de précision cherché. Le raccordement en chaîne avec un cercle méridien suppose non seulement la stabilité de la réfraction (condition nécessaire quel que soit l'instrument) mais aussi celle de la mire ou du collimateur dont l'orientation ne doit pas varier au cours de la nuit : on a dit ce qu'il fallait en penser dans le paragraphe 2.5. Les chances paraissent meilleures avec les lunettes zénithales et l'astrolabe. On ne peut que souscrire à l'opinion de Chandler selon laquelle la puissance correctrice de l'instrument méridien était surfaite.

L'emploi d'astrolabes libérerait définitivement le S. I. L. de la servitude, imposée à l'origine, d'installer toutes les stations sur un même parallèle. On a déjà dit (§ 3.4) que cette condition n'avait nullement le caractère d'une nécessité logique, et qu'on aurait fort bien pu confier aux grands observatoires existants, pourvus d'un personnel entraîné et guidé par de solides traditions, la charge assumée par les stations du S. I. L. Comme il conviendra d'augmenter le nombre des stations de latitude en y incluant des observatoires permanents, il y a lieu de rappeler que les étoiles observées en un point avec l'astrolabe occupent une zone limitée à deux parallèles distants de 60° en déclinaison, ce qui permet un très bon raccordement de stations situées sous des latitudes différentes.

Il est à peine nécessaire d'ajouter que les coordonnées apparentes des étoiles doivent être obtenues grâce à un calcul de très haute précision. En particulier, la recherche de la marée lunaire serait vaine si le calcul des termes lunaires n'était assurée à quelques $1/10\ 000^e$ de seconde près.

Enfin, le moment paraît venu de remplacer la valeur $20'',470$ attribuée depuis 1896 à la constante de l'aberration par une valeur plus approchée, fut-elle provisoire, par exemple $20'',510$ ou $20'',515$. On pourrait bien corriger globalement les résultats des groupes, mais la seule procédure correcte et sûre consiste à calculer plus exactement l'aberration pour chaque étoile du programme.

4.3. On ne sait que bien peu de choses au sujet des réfractions accidentelles ou latérales liées aux défauts d'homogénéité de l'atmosphère. Jusqu'à la découverte des « jets-streams », ces défauts paraissaient localisés dans la troposphère, à différents niveaux, mais on sait aujourd'hui qu'il existe des vents en régime turbulent dans la stratosphère; on en a même observé à des altitudes dépassant de beaucoup l'altitude limite de 100 km,

au-delà de laquelle la réfraction astronomique partielle peut être considérée comme négligeable.

Dans une Note intitulée : *Modification de la réfraction astronomique par les facteurs météorologiques* (C. R. Acad. Sc., t. 240, 1955, p. 551), P. Queney et L. Arbey écrivent que la réfraction zénithale « pouvait atteindre $0''{,}4$ et que la contribution due aux perturbations locales de température ou d'humidité ayant leur siège près du sol était probablement prépondérante en général ». A Paris, l'effet sur la latitude déterminée à l'astrolabe pourrait alors dépasser $0''{,}4$ et sur la longitude $0''{,}04$. Or, les plus grands écarts constatés restent nettement au-dessous de ces limites théoriques. Queney et Arbey ne fournissent pas les données sur lesquelles repose leur estimation; si l'on admet leur conclusion, on est conduit à supposer que l'atmosphère locale, à Paris, au voisinage du sol, est relativement peu turbulente.

On peut calculer la réfraction zénithale en utilisant les résultats des radiosondages, ce qui exclut évidemment l'effet des perturbations locales. Même dans des cas extrêmes, par exemple au passage d'un front, B. Guinot n'a pas obtenu de valeurs supérieures à quelques millièmes de seconde; mais il convient de remarquer que les stations de radiosondages forment un réseau à mailles très larges, de quelques centaines de kilomètres de côté, et qu'elles fournissent seulement l'inclinaison générale des surfaces d'égale densité, dont le relief à l'échelle topographique reste inconnu. Pour répondre au vœu des astronomes, la Météorologie Nationale a accepté de tracer temporairement un réseau beaucoup plus serré d'isobares en altitude au-dessus de la région parisienne.

Aux réfractions accidentelles en relation avec la situation météorologique générale, s'ajoutent certainement les effets locaux auxquels Queney et Arbey attribuent une prépondérance, sans doute à juste titre. L'une des causes perturbatrices locales les plus importantes paraît être le refroidissement nocturne, d'autant plus sensible que l'atmosphère est plus dégagée de nuages, de brumes ou de fumées. On étudiera plus loin son influence sur l'instrument, et l'on se limitera ici à son influence fort complexe sur l'atmosphère.

La décroissance nocturne de la température dépend en particulier de la nature du sol et de son relief. Si, dans un rayon de quelques centaines de mètres autour de l'instrument, le relief présente de fortes dénivellations, ou si certaines parties du sol sont nues (routes ou terrasses cimentées ou asphaltées, sol caillouteux, etc.) d'autres étant couvertes de végétation (herbes, arbustes, bois), les surfaces d'égale densité ne peuvent plus être assimilées à des plans horizontaux, et des réfractions accidentelles (ou latérales) sont à redouter. Le vent, qui provoque alors le mélange de masses d'air n'ayant ni la même température, ni le même degré d'humidité, se traduit à la fois par une agitation des images d'origine locale, et par une déviation qui peut prendre un caractère systématique.

cela peuvent s'ajouter des phénomènes de turbulence dus à la présence d'obstacles rapprochés situés dans la direction d'où vient le vent, tels que des constructions élevées ou de grands arbres.

L'implantation d'un instrument d'astrométrie devrait être précédée d'une étude du site et de son microclimat. Il est vrai que le nombre et la variété des facteurs à considérer sont tels qu'il s'agit d'un art plus que d'une science. Le site le plus favorable paraît être un terrain plat, couvert d'une végétation semi-arborescente : buissons ou petits arbustes plantés jusqu'aux abords immédiats du pavillon. Il sera bon d'enregistrer la température et l'humidité en divers points d'un plan horizontal, à quelques mètres du sol, afin de contrôler la répartition des densités. Lorsqu'on discute la valeur des résultats obtenus en une station d'observation, c'est la qualité du site qu'on juge au moins autant que celle de l'instrument ou de l'observateur.

L'expérience des très grands instruments (télescopes à réflexion) montre que les images stellaires sont sensiblement moins agitées lorsque l'instrument est placé à une hauteur de 10 à 15 m au-dessus du sol que dans son voisinage immédiat. Il est de tradition constante de placer au niveau du sol les instruments d'astrométrie, mais ce qui paraissait indispensable dans le cas d'une lunette méridienne dont le système de référence est lié à deux piliers, ne l'est plus dans le cas d'instruments dont le système de référence est lié à la verticale déterminée au moyen d'un bain de mercure. On ne voit pas pourquoi on ne placerait pas une lunette zénithale photographique ou un astrolabe sur une tour, en prenant les précautions nécessaires pour que les matériaux de cette tour ne rayonnent pas, pendant la nuit, la chaleur qu'ils auraient absorbée pendant le jour. Une solution de ce problème expérimentée à l'Observatoire de Haute-Provence a donné des résultats concluants : le réflecteur de 193 cm, monté sur une tour convenablement calorifugée, fournit des images plus stables que les petits réflecteurs de 81 et de 120 cm, situés au niveau du sol; ce qui n'est paradoxal qu'en apparence.

Un abri mal conçu peut se montrer aussi nuisible qu'un site mal choisi. On doit s'efforcer de maintenir l'instrument, pendant le jour, à une température aussi peu différente que possible de celle de la nuit; on construira donc l'abri avec des matériaux isolants; au contraire, pendant l'observation, on devra maintenir l'égalité des températures extérieure et intérieure en découvrant très largement l'instrument. Une salle d'observation dont l'air ne se renouvelle pas constamment au cours de la nuit est inévitablement le siège de réfractions nuisibles. Si les conditions climatiques locales ne permettent pas d'assurer ce renouvellement, c'est que le site choisi est impropre aux observations de haute précision et qu'on a eu tort d'y installer un instrument.

En principe, il est d'autant plus facile d'assurer la protection thermique d'une salle qu'elle est plus grande, parce que le rapport de sa surface

rayonnante à son volume est en raison inverse de ses dimensions. Au contraire, l'uniformité de la température au cours des observations de nuit est d'autant mieux assurée que la salle est plus petite. En d'autres termes, il existe, pour le pavillon et sa trémie, des dimensions optimales qui du reste dépendent de l'instrument. Beaucoup de salles méridiennes de construction ancienne ont une trémie beaucoup trop étroite pour un volume beaucoup trop grand. Or, si l'on trouve dans la littérature de nombreuses études sur la réfraction de salle, il n'en existe guère sur les moyens de l'éviter.

Mentionnons encore, pour en finir avec les réfractions accidentelles, celles qui sont dues à la marée atmosphérique. On ne peut pas les séparer des variations de la verticale dues aux marées terrestres et océaniques.

4.4. Un certain nombre de phénomènes géophysiques, géologiques ou météorologiques (autres que les réfractions), s'accompagnent de déviations réelles de la verticale. Une remarque préliminaire s'impose : ces déviations doivent être mesurées sur la sphère, et non par rapport à des repères terrestres locaux. Les résultats obtenus à l'aide de pendules horizontaux donnent la différence entre la déviation proprement dite de la verticale et le déplacement du système de référence entraîné par la déformation locale du sol ou du bâtiment. Les déterminations astronomiques de latitude et de longitude ne sont pas affectées par le déplacement des repères, mais seulement par la déviation de la verticale. Malheureusement, les variations dont il s'agit sont d'un ordre de grandeur voisin de celui des erreurs de mesure, ou même d'un ordre inférieur. On n'a pu les mettre en évidence que dans un cas particulier, celui de la marée lunaire semi-diurne. Ceci dit, rappelons brièvement les causes perturbatrices qui modifient le champ de pesanteur en un lieu donné.

a. La perturbation de la pesanteur par l'attraction du Soleil et de la Lune (force de marée) fait varier sa grandeur et sa direction. Pour en calculer l'effet, il faut tenir compte de la déformation de l'écorce par la marée terrestre. Les marées océaniques se traduisent à distance par l'attraction exercée par le bourrelet de marée, mais aussi par la poussée qu'exerce ce bourrelet sur le fond des mers et notamment sur le plateau continental. Ces effets secondaires ou indirects, auxquels il faut ajouter ceux de la marée atmosphérique, agissent moins sur la direction absolue de la verticale que sur sa direction rapportée à des repères terrestres locaux.

On a pu mettre en évidence la variation lunaire semi-diurne moyenne de la verticale par l'observation astronomique, en dépouillant de très longues séries de mesures. Sa demi-amplitude ne paraît pas dépasser $0'',02$ (encore y aurait-il lieu de vérifier que les valeurs trouvées ne sont pas affectées par l'omission de certains termes lunaires dans le calcul de la

1959Bast...23...187D
tation). Si petite soit-elle, il conviendrait d'en tenir compte en raison de son caractère systématique, mais il faudrait en préciser l'amplitude et la phase. Quant à l'effet de la marée solaire, il est masqué par d'autres phénomènes de même période, et surtout par la réfraction astronomique, et il semble peu probable qu'on parvienne à le mettre en évidence à l'aide des moyens dont on dispose actuellement.

b. Les variations réelles de la verticale de période annuelle sont aussi difficiles à mettre en évidence que les variations diurnes, et pour la même raison : elles sont masquées par les variations annuelles de la réfraction. Elles peuvent avoir des causes très diverses, telles que l'accumulation, en hiver, et la fonte, en été, de la glace qui recouvre les montagnes et les régions polaires; les mouvements saisonniers de l'atmosphère; la variation du niveau des nappes souterraines; etc.

c. Ainsi qu'on l'a déjà mentionné, les variations de la vitesse de rotation de la Terre doivent s'accompagner d'une déformation du globe et de variations des verticales, mais on ne possède aucune information sur l'ordre de grandeur de ces effets qui sans doute sont très petits.

On peut retenir de tout ceci que la verticale en un lieu subit des variations vraies dépendant notamment de l'angle horaire du Soleil et de la Lune, ainsi que de l'époque de l'année; que ces phénomènes complexes dépendant en outre de la position de la station sur le globe; que ni la théorie, ni l'observation ne fournissent les données nécessaires à leur calcul, et que, par conséquent, on ne peut en affranchir les résultats des mesures. Seule la marée lunaire semi-diurne semble faire exception. Quant à la marée solaire et à la variation annuelle de la verticale, on ne sait pratiquement rien à leur sujet. Mais la somme de la variation annuelle vraie et de la variation apparente causée par la réfraction paraît accessible à l'observation astronomique, sous les deux conditions suivantes : que les erreurs des éphémérides soient considérablement réduites par l'emploi d'un catalogue amélioré, et que les erreurs instrumentales soient rendues négligeables. Il est possible que ces conditions soient satisfaites dans un proche avenir, et qu'alors on puisse aborder l'étude de ces phénomènes parasites avec quelques chances de succès.

Quant aux variations lentes de la verticale, elles peuvent avoir pour cause, soit des phénomènes géologiques tels que les mouvements épirogéniques altérant le champ de pesanteur, soit des phénomènes superficiels, tels qu'un glissement local du sol entraînant avec lui la station, ou bien l'érosion ou encore le charriage de matériaux divers par les vents ou les eaux. La variation séculaire du niveau des mers peut agir sur la verticale de stations continentales même fort éloignées des côtes. Mais il faut bien constater le manque de données numériques certaines sur la grandeur de ces effets; les discussions auxquelles ont donné lieu les

variations de la latitude moyenne de Mizusawa et de Tschardjui ont apporté plus de confusion que de clarté. Les variations lentes des verticales ainsi que le mouvement lent du pôle, restent à l'état d'hypothèses vraisemblables. Il faut pourtant les compter au nombre des inconnues du problème général étudié ici, mais surseoir à leur étude jusqu'à ce qu'on ait rassemblé des données plus abondantes et plus précises.

4.5. On réunit sous le nom d'erreurs instrumentales des effets nuisibles de causes très diverses et dont l'énumération complète ne saurait trouver place ici. On va en décrire quelques-unes parmi les plus connues. Mais avant de lire ce qui suit, le lecteur voudra bien se rappeler que l'unité d'angle du S. I. L., qui est de $0''_{,001}$, correspond à $0,005 \mu$ dans le plan focal d'une lunette de 1 m de distance focale. Cela justifie une discussion serrée des propriétés optiques des instruments utilisés.

a. Défauts du système optique. Le plus nuisible de ces défauts est incontestablement la coma résiduelle qu'un examen rigoureux fait apparaître trop souvent dans les images données par les objectifs astronomiques, et contre lequel les astronomes restent trop souvent désarmés. Il appartient à l'utilisateur d'appeler l'attention du constructeur sur cette aberration insidieuse. Aucun objectif, fût-il catalogué aplanat, ne donne des images axiales exemptes de coma si ses verres ne sont pas centrés correctement l'un par rapport à l'autre. Or, la coma déplace l'image physique par rapport à l'image géométrique ou théorique, l'écart pouvant être sensible au degré requis dans le cas d'un instrument de haute précision, sans que l'aspect de l'image diffère nettement de celui d'une image parfaite. Alors que la coma peut ne pas être décelable dans l'image d'une étoile, elle peut apparaître sur l'image d'un fil brillant, obtenue par autocollimation sur un miroir plan, c'est-à-dire par double transmission. Le déplacement de l'image physique est moindre dans le premier cas que dans le second, mais il peut ne pas être négligeable. La monture des objectifs destinés à l'astrométrie devrait imposer aux deux verres une position définie, sans exercer sur eux des contraintes déformantes, et surtout, elle devrait comporter les organes de réglage nécessaires au centrage des verres, non seulement lors du montage en atelier, mais chaque fois qu'un contrôle par autocollimation en aurait démontré la nécessité.

En règle générale, ce sont des images extra-axiales qu'on pointe avec les lunettes zénithales visuelles ou photographiques, ce qui suppose l'emploi exclusif d'objectifs exempts de coma, c'est-à-dire d'aplanats, corrigés en outre de l'aberration chromatique de grandissement et de la distorsion. Ces corrections sont d'autant plus nécessaires qu'une même étoile se place, d'année en année, à des distances croissantes ou décroissantes du centre du champ, en raison de la précession. Toute aberration

affectant la distance de l'image à ce centre doit donc être soigneusement éliminée. On ne possède pas d'informations sur les caractéristiques des objectifs des lunettes zénithales. Les descriptions qu'on a données des P. Z. T. fournissent d'abondantes informations sur la machine à programme qui en assure le fonctionnement automatique, mais elles sont muettes (du moins celles que l'auteur a pu consulter) sur la structure de l'objectif et sur le contrôle de ses aberrations, qui ne peuvent cependant passer pour secondaires. Autant qu'on peut en juger par un examen sommaire de ces instruments, ils sont munis d'objectifs de Clarke retournés, c'est-à-dire de doublets à verres séparés et à flint avant. Ce type de lentilles possède nécessairement une aberration chromatique de grandissement. Il est permis de se demander pourquoi on n'a pas adopté un type d'objectif astrographique à trois ou quatre verres, analogue à un téléobjectif retourné, ou même, plus simplement, un aplanat à deux verres en contact, percé en son centre pour introduire le porte-plaque dans le plan principal image.

Avec l'astrolabe impersonnel O. P. L., l'image observée est, en moyenne, axiale, comme dans une lunette méridienne. Du reste, l'objectif est un aplanat. Comme il travaille par moitiés, on a jugé nécessaire de limiter sa surface utile par deux lunules, de manière à donner aux deux faisceaux des axes de symétrie, condition indispensable pour que les pseudo-images extrafocales soient alignées sur deux droites déterminées. Cette condition ne serait pas satisfaite si l'on utilisait deux pupilles d'entrée demi-circulaires. La division de l'objectif en deux moitiés se traduit sur les images par un spectre secondaire bordant les deux images, l'une à la partie supérieure, l'autre à la partie inférieure. Un filtre interférentiel à large bande passante permet de s'en affranchir (un objectif apochromatique à trois verres devrait posséder des courbures élevées, incompatibles avec l'ouverture relative qu'il convient d'adopter pour l'objectif de l'astrolabe). Notons encore les aberrations introduites par le prisme biréfringent de Wollaston utilisé comme déviateur optique dans le micromètre impersonnel de l'instrument. L'auteur renvoie à ses deux publications sur ce point : *Bulletin Astronomique*, t. 18, 1954, p. 258 et t. 21, 1958, p. 327. Le biréfringent compensé décrit dans le second Mémoire a été réalisé et monté sur l'astrolabe n° 12 et ses excellentes qualités optiques ont été confirmées.

b. Effet des variations de température sur le système optique. On suppose que le système possède une température uniforme, en équilibre avec la température de l'air ambiant. L'étude expérimentale d'objectifs à deux verres a montré que le coefficient de température de leur distance focale, compte tenu de la variation de l'indice de l'air ambiant, est faible (au plus égal à celui des métaux usuels les moins dilatables) lorsque les verres ont été soigneusement recuits, mais qu'il peut prendre des valeurs

élevées, positives ou négatives, si l'un au moins des verres présente une biréfringence mesurable. La valeur du tour de la vis croît avec la température si le coefficient du métal qui la constitue est plus élevé que celui de la distance focale; il décroît dans le cas contraire. Les coefficients de température des tours de vis des cinq instruments du S. I. L. (1949 à 1952) ont été trouvés respectivement égaux à -15 , -6 , $+11$, -14 , -2 , en unités de l'ordre de 10^{-6} . La diversité de ces résultats décèle peut-être pour ces objectifs des degrés de trempe variés, mais on ne pourrait conclure sans avoir la certitude que chaque mesure du tour de vis a été précédée d'une mise au point très précise, car, si l'on ne prend aucune précaution, la mesure porte sur la différence relative des dilatations de l'acier constituant la vis, et du métal constituant le tube.

Le verre d'optique trempé pouvant être instable, il y a le plus grand intérêt à le soumettre à un recuit soigneusement contrôlé; sa qualité optique en est du reste améliorée. On n'a pas toujours pris ce soin dans le passé et il paraît nécessaire, aujourd'hui encore, d'appeler spécialement l'attention des fournisseurs sur ce point.

La même remarque s'applique, bien entendu, à la matière destinée à la fabrication des prismes d'astrolabe, qui fait l'objet d'un examen sévère. La disposition du prisme dans l'appareil, à l'intérieur d'une boîte percée seulement des ouvertures nécessaires au passage de la lumière, est favorable à l'établissement d'une température quasi uniforme. On peut du reste, en cas de besoin, renforcer cette protection thermique par un habillage du corps de l'instrument à l'aide de matériaux mauvais conducteurs de la chaleur. La petitesse de l'erreur de fermeture trouvée pour les distances zénithales paraît démontrer l'invariabilité de l'angle du prisme à longue échéance. Mais au cours de la nuit, la température décroît en général, et de faibles variations de l'angle du prisme peuvent apparaître, sans qu'il soit toujours possible de les distinguer d'anomalies locales de la réfraction (par exemple de la réfraction de salle). Des essais avec un prisme en quartz fondu avaient été projetés, mais l'industrie ne fournit pas encore cette matière au degré d'homogénéité requis. En attendant mieux, si un prisme de verre présente des déformations sensibles aux variations de température, il conviendrait de s'assurer qu'il ne subit pas de contraintes nuisibles sous l'effet de sa monture, et que sa matière n'a pas subi de modifications depuis l'époque de sa livraison: un examen à l'appareil de Nörremberg au voisinage de la teinte sensible suffit à déceler les moindres traces d'une biréfringence nuisible.

Au cours de la nuit, la température s'abaisse en général, et un certain régime de température, lentement variable, s'établit dans l'instrument et dans son voisinage immédiat. On étudiera plus loin les effets de la différence de température entre l'instrument et l'air qui le baigne. Il s'agit ici des effets de la turbulence de l'air sur la direction de visée. Les parties les plus élevées de l'instrument se refroidissent plus vite par

rayonnement que les parties voisines du sol. Dans une lunette méridienne ou zénithale, une circulation d'air tend donc à s'établir spontanément. Les sauts brusques des images stellaires de part et d'autre du fil horizontal ne sont pas dus seulement à l'hétérogénéité de l'air de la salle, mais aussi à la turbulence dans le tube. On pourrait l'atténuer en remplissant le tube d'hélium, au prix, il est vrai, de sérieuses difficultés technologiques. Lorsqu'il est possible de faire circuler de l'air isotherme dans l'instrument et autour de lui, sans compromettre sa stabilité mécanique ni, éventuellement, celle du bain de mercure, la plupart des inconvénients d'origine thermique qu'on vient de mentionner disparaissent. Des essais faits à Paris ont donné des résultats encourageants, ils seront repris.

c. Différences de température entre l'instrument et l'air ambiant. Supposons un objet quelconque plongé dans une atmosphère calme, mais dont la température soit différente de celle de l'air. Tant que l'objet ne s'est pas mis en équilibre avec le milieu, il est entouré d'une gaine d'air à l'intérieur de laquelle subsiste un fort gradient de température. L'épaisseur de cette couche est de l'ordre de 1 à 2 cm. Si on la détruit par une ventilation énergique, elle se rétablit en quelques secondes. L'observation de ce phénomène peut se faire soit par la méthode de la lame de couteau (Foucault), soit à l'aide d'un interféromètre de Mach à faisceaux séparés. On place l'objet sur l'un des faisceaux, et la déviation des franges rend très sensible la variation rapide de l'indice de l'air au contact de l'objet. Il suffit d'une différence de température de quelques dixièmes de degré entre l'objet et l'air qui l'entoure pour provoquer une réfraction appréciable de la lumière qui traverse la gaine. Tout le monde en a eu la preuve sous les yeux : les bras lumineux qui entourent les images stellaires données par les grands télescopes à réflexion, et qu'on attribue souvent, mais faussement, à la diffraction, sont dus à la réfraction de la lumière par la gaine entourant les bras qui portent le miroir secondaire. On a pu déterminer l'épaisseur de la gaine sur des focogrammes ou sur des photographies de franges obtenues avec un interféromètre de Mach. Pour supprimer ces aigrettes, il suffit de constituer les bras par des lames d'un métal poli à pouvoir réflecteur élevé (A. Couder).

Ces constatations ont leur application au cas des instruments d'astrométrie. On doit tenir pour certain que tout faisceau lumineux qui, avant de pénétrer dans l'instrument, est passé à quelques centimètres d'une masse métallique de quelque importance, surtout si cette pièce est peinte d'une couleur foncée, a subi une réfraction sensible. Les tubes parabués peints en noir doivent être proscrits. Les trémies d'observation doivent être assez larges pour que la charpente métallique qui supporte les volets, et les volets eux-mêmes, ne puissent avoir d'effets nuisibles. Les barillets des objectifs doivent être en métal poli, aluminium pur ou acier inoxydable, le tube doit être peint en blanc. Dans le même ordre

d'idées, on peut se demander si la superstructure placée en avant de l'objectif de certains P. Z. T. n'a pas un rôle nuisible.

Il arrive souvent que la différence de température entre l'instrument et l'atmosphère s'inverse au milieu de la nuit; les réfractions accidentelles locales changent alors de sens. C'est peut-être la cause des différences soir-matin et des erreurs de fermeture anormalement grandes qui ont suscité tant de discussions.

D'une manière générale, la question suivante, doit être posée : peut-on définir, pour un instrument d'un type donné, des dimensions optimales qu'il convient de ne pas dépasser ? On gagne à la fois sur l'éclat et sur la définition des images en accroissant l'ouverture et la distance focale de l'objectif, mais, en même temps, en augmentant la masse de l'instrument, on compromet son équilibre thermique, et l'on risque de voir apparaître les effets nuisibles qu'on vient de décrire. Habituellement, on part de la magnitude des étoiles les plus faibles qu'on se propose d'observer, pour calculer le diamètre d'ouverture de l'instrument, la distance focale étant alors déterminée par les conditions de l'optique géométrique. Il serait plus rationnel et plus sûr de construire des modèles d'ouvertures diverses et de les comparer entre eux, mais cette méthode empirique serait beaucoup trop onéreuse.

Les effets nuisibles des variations de température n'avaient pas échappé aux astronomes du siècle dernier, mais ils conduisaient leurs observations comme s'ils les avaient ignorées et beaucoup de leurs successeurs les ont imités. On construit encore des instruments de plein air comme s'ils devaient être utilisés dans l'atmosphère presque isotherme d'un laboratoire. Malheureusement, l'astronome n'a pas la faculté de régler à son gré, comme métrologiste, les conditions physiques de ses mesures; il les subit. Si surprenant que cela puisse paraître, les observateurs ne songent guère à organiser la lutte contre le phénomène physique le plus nuisible : les variations de la température ambiante.

d. On ne s'arrêtera pas ici aux micromètres, parce qu'il en existe de nombreuses monographies et que les observateurs apportent habituellement tous leurs soins à étudier ceux qu'ils emploient. On ne discutera pas davantage les mérites des méthodes visuelles et des méthodes photographiques, ni de l'automatisme récemment introduit en astrométrie, où il tend à accaparer l'attention, alors qu'on perd de vue des problèmes d'une importance au moins égale. On dira seulement quelques mots des moyens utilisés pour matérialiser la verticale, à savoir le niveau à bulle et le bain de mercure.

Il existe peu de niveaux vraiment fidèles; ceux qui possèdent cette qualité la perdent à la longue, par suite d'une altération lente de la face du verre en contact prolongé avec le liquide. D'autre part, la position

de la bulle est sensible aux moindres inégalités de la température du tube. Enfin, les contraintes exercées sur la fiole par sa monture sont variables avec les conditions extérieures; les déformations qu'elles provoquent le sont aussi.

Quant au bain de mercure, s'il définit la verticale avec une précision du même ordre de grandeur que celle des pointés stellaires, ce qui en fait un auxiliaire précieux, c'est à la double condition que le mercure soit isotherme et qu'il mouille le métal de son support. Il va sans dire qu'il doit être débarrassé de poussières, de corps gras, et de la pellicule d'oxyde qui tend à se reformer sans cesse à sa surface. Si l'épaisseur de la couche de mercure ne dépasse pas 2 mm, elle est stable et les ondes dues aux ébranlements du support ne s'y propagent qu'en s'amortissant très rapidement; mais alors, il faut assurer l'isothermie du mercure dans toute l'étendue de cette mince couche, en le mettant en contact intime avec un support massif, formé d'un métal très bon conducteur de la chaleur, et qui s'amalgame sans se laisser dissoudre, par exemple le cuivre rouge. Tout dépôt qu'on laisse se former à la surface du support est un obstacle à ce contact indispensable; il se traduit inévitablement par une déformation locale de la surface réfléchissante, même s'il n'empiète pas sur la ligne de raccordement, parce que la température du mercure ne peut être la même que celle du support lorsqu'il en est séparé par une substance étrangère. On ne saurait trop insister sur ce point : la préparation d'un bain de mercure demande les plus grands soins ; il ne suffit pas de verser du mercure n'importe comment dans n'importe quoi pour obtenir un horizon artificiel.

3. 1. **Conclusions.** — Les conclusions de la présente étude sont données ici sous la forme de recommandations.

a. Améliorer l'équipement des stations internationales, qui devront être maintenues en activité aussi longtemps qu'on le jugera utile pour rattacher les résultats du nouveau Service du Mouvement du Pôle à ceux du Service des Latitudes.

b. Associer au nouveau service le plus grand nombre possible d'observatoires possédant de bons étalons à quartz régulièrement comparés, soit directement, soit par l'intermédiaire de liaisons radioélectriques, à un ou plusieurs étalons à césium. Une large répartition en latitude et en longitude devrait favoriser l'application de méthodes statistiques au calcul du pôle instantané, non seulement à l'aide des hauteurs du pôle, mais encore des déterminations de temps.

c. Équiper notamment quelques stations équatoriales pour déterminer l'inégalité annuelle de la rotation de la Terre.

d. Généraliser l'emploi de la méthode des hauteurs égales pour la détermination simultanée du temps sidéral et de la hauteur du pôle, par l'observation d'étoiles du FK 4.

e. Utiliser exclusivement des positions apparentes calculées avec la plus grande précision ($0'',0001$), en conservant tous les termes lunaires dont le coefficient est sensible (en vue de la recherche des variations de la verticale dues aux marées) et en substituant à la constante de l'aberration adoptée en 1896 une valeur plus exacte, même provisoire.

f. Étudier le champ de densité de l'atmosphère en altitude autour de chaque station, pour fixer l'ordre de grandeur des réfractions accidentelles. Une telle étude est indispensable lors du choix d'un emplacement nouveau.

g. Assurer par des mesures préventives appropriées l'équilibre de température entre l'instrument et l'air de l'abri.

h. Étudier les propriétés intrinsèques de l'instrument pour en dépister les défauts optiques ou mécaniques.

i. Chaque fois qu'on aura quelques raisons de suspecter des variations anormales de la verticale, procéder à une étude de détail du champ de pesanteur local, pour en déceler les anomalies éventuelles. Une telle prospection serait utile lorsqu'on se propose de créer une station nouvelle.

(Manuscrit reçu le 16 juin 1960).

Note ajoutée sur les épreuves. — L'article ci-dessus a été rédigé pour le Symposium sur le Service International des Latitudes (Helsinki, août 1960), et distribué aux participants deux mois avant ce Symposium. Il est reproduit ici sans autres changements que des corrections de pure forme. Après avoir suivi les discussions d'Helsinki, l'auteur maintient ses conclusions.