ČÁST FYSIKÁLNÍ.

L'influence de la saison et du climat sur les réfractions astronomiques.

František Link, Praha.

(Reçu le 16 septembre 1937.)

Dédié à Monsieur le professeur František Nušl à l'occasion de son soixante-dixième anniversaire le 3 décembre 1937.

L'influence des facteurs météorologiques et géographiques sur la structure de l'atmosphère se traduit par des variations des réfractions astronomiques. Quelques résultats basés sur les sondages récents sont donnés à la suite, ainsi que les considérations sur les causes internes des variations rapides des réfractions découvertes en 1906 par F. Nušl et J. J. Frič.

Je me suis posé comme problème de calculer l'influence des facteurs météorologiques et géographiques sur les réfractions astronomiques. Ce problème devient important du moment que les observations astronomiques se font dans les différentes conditions, en ce qui concerne le climat et la saison de l'année. Les tables actuellement en usage ne tiennent compte de ces facteurs que très superficiellement. Il en résulte une incertitude autant plus grande que l'on s'approche de l'horizon. Très près de l'horizon la structure momentanée de l'atmosphère devient tellement importante, que tout calcul fait d'avance ne donne qu'une indication peu précise.

Pour bien faire il faudrait que chaque série d'observations astronométriques soit précédée et suivie de sondages aérologiques. Le calcul fait sur cette base donnerait alors pour chaque cas séparément les valeurs des réfractions, qui auraient beaucoup de chance d'être exactes. Avant d'atteindre ce degré de perfection il est toutefois utile de savoir, quelles sont les variations à attendre dans les différentes conditions qui peuvent se présenter.

Pour les calculs des réfractions on a besoin de connaitre la structure de l'atmosphère c'est-à-dire la fonction qui donne la densité de l'air en fonction de l'altitude. Les sondages aérologiques donnent alors la température et l'humidité relative en fonction de l'altitude h. A partir de ces données il est facile de calculer la densité de l'air ϱ. En admettant l'équilibre statique des couches atmosphériques supposées sphériques et la loi des gaz parfaits on obtient la formule connue

$$\log \varrho = \log \frac{273}{T_0} \frac{b_0}{760} + \log \frac{T}{T_0} - \frac{0{,}434\, M}{R^*} \int_0^h \frac{g}{T}\, \mathrm{d}h, \tag{1}$$

où $M = 28{,}98$, $R^* = 8{,}314 \,.\, 10^7 \,\mathrm{erg\, grad}^{-1}$, T_0 et T sont les températures absolues au sol et au niveau donné, g l'accélération de la pesanteur et b_0 la préssion barométrique au sol. L'influence de la vapeur d'eau est faible et les sondages aérologiques ne sont pas assez complètes sous ce rapport, pourqu'on puisse en tenir compte.

Le point de départ proprement parlé sera alors la fonction, qui donne la température T en fonction de l'altitude $T = \varphi(h)$. Je me suis d'abord servi des résultats de Ramanthan[1]) qui donne la repartition de la température sur l'hemisphère boréale en hiver et en été. Ces données atteignent l'altitude de 25 km. Pour pouvoir suivre aussi l'influence de différentes situations météorologiques, j'ai adopté les répartitions des températures dans le cyclone et dans l'anticyclone d'après Runge,[2]) données également pour l'hiver et pour l'été. Ces indications ne dépassent pas l'altitude de 16 km. On pourrait se demander, si ces données sont suffisantes pour un calcul exacte. On peut repondre par l'affirmatif, puisque l'intégrale des réfractions est peu influencée par les couches élevées de l'atmosphère. De cette façon à partir de 25 ou 16 km respectivement j'ai pu adopter les valeurs moyennes des densités d'après Humphreys,[3]) sans que la précision des calculs en souffre sensiblement. Pour l'intégrale des réfractions on peut écrire

$$R = c \sin z \int_{\varrho_0}^{0} \frac{\mathrm{d}\varrho}{\sqrt{\cos^2 z + 2\dfrac{h - h_0}{a} - 2c\,(\varrho_0 - \varrho)}} \tag{2}$$

où $a = 6370$ km, c est la constante de la loi, qui donne l'indice de réfraction de l'air μ en fonction de la densité de l'air: $\mu = 1 + c\varrho$, et z est la distance zénithale des rayons.

Près de l'horizon l'intégration numérique est nécessaire pour évaluer l'intégrale précédente. Sous les faibles distances zénithales l'intégrale est susceptible des grandes simplifications. En developpant en série l'expréssion sous le signe de l'intégrale on obtient approximativement

$$R = c\,\mathrm{tg}\,z \int\limits_{\varrho_0}^{0} \left(1 - \frac{h - h_0}{a \cos^2 z} + \frac{c\,(\varrho_0 - \varrho)}{\cos^2 z}\right) \mathrm{d}\varrho =$$

$$= c\varrho_0\,\mathrm{tg}\,z + \frac{c\,\mathrm{tg}\,z}{a \cos^2 z} \int\limits_{0}^{\varrho_0} (h - h_0)\,\mathrm{d}\varrho + \ldots,$$

mais pour le second terme on peut écrire

$$\int\limits_{0}^{\varrho_0} (h - h_0)\,\mathrm{d}\varrho = -\int\limits_{\infty}^{0} \varrho\,\mathrm{d}h = m,$$

ce qui est l'altitude de l'atmosphère homogène égale à 8,0 km sous les conditions normales. On obtient alors finalement en négligeant ce terme trop faible

$$R = c\varrho_0\,\mathrm{tg}\,z. \tag{3}$$

Cette formule montre, que sous les faibles distances zénithales les réfractions ne dependent que des conditions météorologiques locales. La structure de l'atmosphère a peu d'influence dans ce cas. La limite d'utilisation de cette formule est de l'ordre de 70°.

J'ai fait donc à titre d'information quelques calculs au vosinage de l'horizon en appliquant la formule exacte (2) et pour la distance zénithale de 45° d'après la formule approchée (3). Les résultats sont contenus dans le tableau suivant.

Table des réfractions astronomiques.

	Hiver					Eté				Humphreys viz [3]) [4])
z \ φ	+80°	+60°	+40°	+20°	+00°	+20°	+40°	+60°	+80°	
90°	54,2′	42,9′	34,4′	31,3′	30,8′	30,3′	31,8′	33,1′	37,8′	35,8′
89,5°	40,4′	32,4′	28,5′	26,4′	25,9′	25,4′	26,7′	28,4′	31,3′	29,3′
89°	32,1′	27,8′	24,3′	22,7′	22,3′	21,8′	22,8′	23,6′	25,3′	25,0′
45°	67,8″	62,0″	57,4″	55,2″	54,5″	53,7″	55,5″	57,1″	60,0″	58,3″

	Cyclone	Anticyclone	Cyclone	Anticyclone
90° $\varphi = 45°$	34,7′	45,6′	32,4′	34,7′
45° $\varphi = 45°$	56,1″	61,4″	54,1″	57,9″

L'examen de ce tableau montre les grandes différences surtout au voisinage de l'horizon, où elles ne sont pas dues aux différentes conditions au sol, mais à la structure différente de l'atmosphère. Les tables actuellement en usage ne peuvent donner pour cette raison qu'une approximation assez grossière dans certains cas, comme le montre l'exemple suivant. Les tables de la Connaissance des Temps donnent la réfraction moyenne à l'horizon égale à 36,6′ en assez bon accord avec notre valeur moyenne 35,8′. Reduisant encore la valeur de la C. des T. à la température moyenne de l'année on obtient 34,8′, ce qui constitue toujours un accord acceptable. Mais, si l'on compare ces tables avec nos données pour les situations météorologiques différentes, l'accord devient mauvais. Pour l'anticyclone en hiver per ex. (0° C, 775 mm) les tables de la C. des T. donnent 37,4′ au lieu de 45,6′ d'après nos calculs.

Ces variations saisonières et géographiques font penser aux variations de courte période trouvées par MM. F. Nušl et J. J. Frič,[5]) verifiées après par d'autres observateurs. Au cours de leurs observations avec l'appareil circumzénithal ils ont soupconné des variations des réfractions de période beaucoup plus longue que l'agitation habituelle des images. Les enregistrements photographiques à l'aide d'un appareil spécial ont demontré l'existence des variations de la hauteur de l'étoile polaire atteignant 1″ dans l'espace d'une seconde de temps environ.

On peut se demander alors, quelles sont les causes internes de ces fluctuations. D'après (3) nous pouvons penser d'abord aux variations de ϱ_0. En différenciant cette formule on a

$$\frac{\mathrm{d}R}{R} = \frac{\mathrm{d}\varrho_0}{\varrho_0}.$$

Dans notre cas nous avons $\mathrm{d}R : R = 2\%$ pour $R = 50''$. Il faudrait donc que les variations relatives de la densité locale atteignent 2% environ. Pour cela il faudrait admettre des fluctuations de la pression barométrique ou de la température, que l'on n'a pas observé jusqu'à présent.

Une autre explication s'impose dans ce cas. Supposons, que les niveaux d'égales densités au lieu d'être horizontaux subissent une inclinaison dans toute l'étendue de l'atmosphère, qui interesse la trajectoire lumineuse. Tout se passe alors comme si la distance zénithale z était modifiée du même angle. En différenciant la formule (3) par rapport à z on obtient

$$\frac{\mathrm{d}R}{R} = \frac{\mathrm{d}z}{\operatorname{tg} z \cos^2 z} \quad \text{et dans le cas envisagé } \mathrm{d}z = \pm\, 0{,}4°.$$

Une inclinaison d'un demi degré serait alors suffisante pour provoquer les variations des réfractions constatées. En réalité il