HUGHES' TABLES for SEA and AIR NAVIGATION

Leslie J. COMRIE

Ce recueil de tables a été mis au point par Leslie J. Comrie suite à des idées suggérées par P. V. H. Weems lors de sa visite en Angleterre en 1936, à l'occasion de la mise au point de l'édition anglaise de son ouvrage « Air Navigation ». Ces suggestions furent aussi entendues par A. J. Hughes qui, appuyé par plusieurs officiers navigants, marins et aviateurs, convainquit sa société (Henry Hughes and Son Ltd¹) du bien-fondé de la publication de ce recueil de tables.

Leslie J. Comrie² (1896-1950) est mathématicien, spécialiste de l'analyse numérique, et astronome. C'est l'un des pionniers du calcul mécanique par cartes perforées qu'il applique aux calculs astronomiques et à l'élaboration de tables numériques. Outre une intense activité d'enseignement et de recherche, L. J. Comrie a notamment rejoint HM Nautical Almanac Office à Greenwich en 1926 et en a été le « Superintendent » de 1930 à 1936.

Le recueil fut édité pour la première fois en 1938. Des réimpressions ont été publiées en 1943, 1944, 1946 et 1950.

Ce recueil de tables ne constitue pas une innovation dans le domaine des tables de navigation mais, les tables étant réunies et expliquées par un scientifique de haut niveau, spécialiste du calcul numérique, doublé d'un pédagogue, il se distingue des autres en usage courant à l'époque par la richesse de ses commentaires et instructions d'emploi.

Le volume contient environ 240 pages ; il est relativement léger (600g) et de faible encombrement (250 sur 160 mm). La préface et les instructions d'emploi sont développées sur 56 pages ; 130 pages sont consacrées aux tables spécifiques au calcul des éléments de la droite de hauteur ; les pages restantes sont dévolues à diverses tables : latitudes croissantes, table de point, logarithmes à 4 décimales, tables de conversion, tables de corrections des hauteurs.

Formulation utilisée :

Le triangle de position de l'astre, PZM, est construit à partir du pôle élevé ; la latitude, notée ϕ , est donc une quantité positive, inférieure à 90°. La déclinaison de l'astre, notée D, est positive si elle est de même nom que la latitude, négative dans le cas contraire.

Ce triangle de position est décomposé en deux triangles sphériques rectangles en abaissant, à partir du zénith Z, la perpendiculaire sphérique ZX au méridien de l'astre. Ces triangles sont PZX et MZX.

On note R l'arc ZX et K la latitude du point X. La mesure de l'arc MX est notée K~D qui exprime la valeur absolue de la différence algébrique entre K et D.

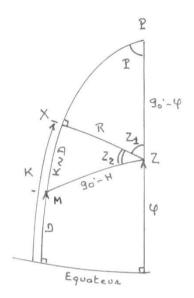
P. BEDEL 03/05/2013 Page : 1

.

¹ Qui deviendra la société Kelvin & Hughes Ltd.

² Ces éléments biographiques sont extraits du site : www.columbia.edu/cu/computinghistory.

Partant de la configuration indiquée sur la figure à savoir un point X, pied de la hauteur ZX, situé entre le pôle élevé P et l'astre M, on établit, à l'aide de la règle du pentagone de Neper, les formules suivantes :



Triangle PZX:

$$\sin R = \cos \phi . \sin P$$
 , $\cot K = \cot \phi . \cos P$, $\cot Z_1 = \sin \phi . \tan P$

Triangle KZX:

$$\sin H = \cos R \cdot \cos(K \sim D)$$
 , $\cot Z_2 = \sin R \cdot \cot(K \sim D)$

Ces deux dernières formules s'écrivent :

$$csc H = sec R.sec(K \sim D)$$
 , $tan Z_2 = csc R.tan(K \sim D)$

On reconnait donc ici une décomposition et des variables auxiliaires (R et K) identiques à celles choisies par Ogura et Weems et une formulation identique à celle utilisée par Dreisonstok.

Tabulation et règles de signe :

L'utilisation commode de ces tables repose sur la définition d'un point auxiliaire. Ce point a les caractéristiques usuelles suivantes : sa latitude est le nombre entier de degré le plus proche de la latitude estimée et sa longitude est telle que l'angle au pôle auxiliaire soit le nombre entier de degré le plus proche de l'angle au pôle estimé.

Pour calculer la hauteur et l'azimut, L. J. Comrie utilise trois tables :

1) <u>Table I</u> (voir annexe I):

L'argument horizontal est la latitude et l'argument vertical est l'angle au pôle³. Ces deux arguments sont exprimés avec un intervalle de 1°. La latitude exprimée couvre l'intervalle [0°, 89°] et l'angle au pôle exprimé couvre l'intervalle [0°, 180°] grâce à une double échelle. A noter qu'une page de la table I est relative à un degré de latitude et, qu'avec cette disposition, l'ensemble des éléments de calcul d'un point crépusculaire figure sur la même page.

La table donne, pour chaque couple de valeur de latitude et d'angle au pôle :

- l'arc auxiliaire K en degrés, minutes et dixièmes de minute,
- la quantité $A = 10^5$. log sec R,
- la quantité⁴ $D = 10^3$. log csc R,
- l'angle Z_1 .

Lorsque l'angle au pôle est supérieur à 90° , la table donne, en 1^{re} colonne, $K' = 180^{\circ}$ - K. Si tel est le cas, il convient de poursuive le calcul avec $K = 180^{\circ}$ - K'.

Les éléments fournis sont donc équivalents à ceux donnés par la table I de Dreisonstock.

2) Hauteur et Table II (voir annexe II):

C'est une table à simple entrée donnant, avec un intervalle d'argumentation de 0,5', les quantités :

- $B = 10^5 \cdot \log \sec(argument)$,
- $C = 10^5 \cdot \log \csc(argument)$.

Cette table permet le calcul de :

- $10^5 \cdot \log \csc H = A + 10^5 \cdot \log \sec (K \sim D)$,
- puis de la hauteur H par lecture inverse.

A noter que, jusqu'ici, les seules règles de signe à considérer sont celles relatives à $(K \sim D) = |K - D|$ qui est une quantité positive résultant d'une différence algébrique dans laquelle K est positif (toujours du nom de la latitude) et D est positive si elle est du nom de la latitude, négative si elle est de nom contraire.

Cette table II est identique à celle utilisée dans l'ouvrage HO 211 d'Ageton.

3) Azimut et Table III (voir annexe III):

Cette table est réservée au calcul de Z_2 . D'une manière générale, l'azimut Z est ici compté à partir du pôle élevé, de 0° à 180° . Il résulte de la somme algébrique des angles Z_1 et Z_2 . Les règles de signe sont les suivantes :

- Z_1 est positif si $P < 90^\circ$, négatif si $P > 90^\circ$,
- Z_2 est du signe de la différence algébrique K D,
- dans ces conditions, on a toujours algébriquement : $Z = Z_1 + Z_2$.

P. BEDEL 03/05/2013 Page : 3

³ Noté h dans la table.

⁴ A ne pas confondre ici avec la déclinaison que Comrie note d.

La table III est une table à simple entrée dont l'argument est exprimé de 0° à 90° avec un intervalle d'argumentation de 6 minutes (ou un dixième de degré) donnant $E=10^3$. $\log \tan(argument)$ si l'argument est supérieur à 45° et $E=10^4+10^3$. $\log \tan(argument)$ si l'argument est inférieur à 45° permettant le calcul de :

- $10^3 \cdot \log \tan Z_2 = 10^3 \cdot \log \csc R + 10^3 \cdot \log \tan (K \sim D) + [10^4 \cos \acute{e} ch\acute{e} ant] = D + E$
- puis de Z_2 par lecture inverse.

La Table III est particulière au recueil de Comrie et permet le calcul de l'azimut avec une précision suffisante (1/10°).

Exemple:

	Estime	Coor	données horaires		Observation
фе	24° 51′ N	AHap	189° 31,7′	H_{v}	49° 58,5′
G_{e}	146° 29′ W	D	45° 04,8′ N		Deneb
AHa	$g_e = 43^{\circ} 02,7' ; P_e =$: 43° 02,7	'W		

Point auxiliaire: ϕ_a = 25° N, P_a = 43° W soit G_a = 146° 31,7′ W.

Les extraits de tables utiles figurent en annexe I, II et III.

Le calcul exact, par rapport au point auxiliaire, donne $H_c = 50^{\circ} 06,7'$ et une même valeur pour l'azimut.

Quelques éléments remarquables :

Nous avons relevé, au fil de la lecture de la préface et des instructions d'emploi, de nombreuses définitions, explications et remarques de L. J. Comrie ; ces éléments précisent le point de vue critique du scientifique, sur des questions qui, jusqu'alors, avaient été majoritairement traitées par des marins. Ces derniers se sont essentiellement attachés à concevoir un outil qui allie sûreté, rapidité et précision de calcul sans parfois trop s'embarrasser, dans leurs textes de présentation, de détails théoriques dont la bonne compréhension peut, par ailleurs, faire appel à une culture mathématique étendue ; Comrie vient ici donner sa leçon en matière de rigueur mathématique et scientifique.

On remarque en premier lieu que l'ouvrage s'ouvre sur une liste de symboles et abréviations en usage dans les pays anglo-saxons puis sur un glossaire des principaux termes de navigation et d'astronomie nautique. L'auteur indique que ce glossaire ne saurait remplacer un livre de cours mais constitue la

P. BEDEL 03/05/2013 Page : 4

⁵ Du fait de la construction de la table III, l'ajout de 10.000 est systématique dans toutes différences de logarithmes conduisant à un résultat négatif ; voir l'exemple de calcul à partir du point estimé dans cette fiche.

référence pratique à l'emploi du recueil de tables : c'est en effet un résumé de cours (ou un aidemémoire) qui rappelle, en tant que de besoin, les formules de calcul et les règles de signe associées ; les règles d'arrondi y sont également mentionnées.

Outre ce souci de rigueur terminologique, L. J. Comrie détaille plusieurs thèmes qui concernent notamment :

- les notions de précision,
- les techniques de contrôle d'une table,
- l'usage d'un point auxiliaire et les inconvénients liés à son éloignement du point estimé,
- l'utilisation de la table à partir d'un point estimé,
- le calcul d'une orthodromie.

1) Notions de précision:

Dans sa préface, L. J. Comrie indique que le navigateur aérien travaille à 1' près et peut ainsi négliger sans hésitation l'interpolation en table II tandis que le marin travaille, lui, ordinairement à 0,1' près sans que ce ne soit réellement justifié. Comrie propose l'adoption d'un nouveau niveau standard de précision qui pourrait être, pour les marins, de 0,5'. La déclinaison et K, issu de la table I, pourrait être pris, comme à présent, au 1/10 de minute près mais K~D pourrait être arrondi à la demi-minute ronde la plus proche et toutes les interpolations en table II supprimées. Comrie indique que la hauteur ainsi calculée ne diffèrerait pas de plus de 0,4' de la hauteur calculée rigoureusement avec toutes ses décimales.

Dans l'instruction d'emploi, suite à plusieurs exemples, Comrie indique, sous forme de note qu'il a effectué dans les exemples les diverses interpolations mais que le fait de les négliger conduirait :

- à une erreur maximale sur la hauteur de 0,2' si on néglige la seule interpolation sur K~D,
- à une erreur maximale sur la hauteur de 0,4' si, de plus, on extrait H_c de la table II sans interpolation à la demi-minute près⁶.

2) Techniques de contrôle d'une table :

Comrie formule ensuite plusieurs observations sur la construction des tables en indiquant qu'à l'origine, il était proposé qu'il reprenne en table I les éléments K et A fournis par Weems et les éléments D et Z_1 fournis par Dreisonstok. Après analyse et comparaisons entre de multiples tables en usage (Aquino, Dreisonstok, Gingrich, Ogura, Pinto, Smart and Shearme et Weems⁷), Comrie s'est aperçu que, à l'exception des tables d'Aquino, aucune d'entre elles n'était rigoureusement fiable⁸. Suite à l'utilisation de procédés de vérification, Comrie a repris l'ensemble des calculs et présente des tables dans lesquelles « ... error is less than one unit of the last decimal in K and A, and less than half a unit in D and Z_1 ...».

Les procédés de vérification dont il s'agit sont extrêmement simples comme par exemple concernant la table I, où les entrées sont φ et P et où sont calculés, à partir de la formule $\sin R = \cos \varphi \cdot \sin P$, les

_

⁶ Valeurs à rapprocher de celles présentées en annexe II Ogura.

⁷ Ensemble des auteurs cités par Comrie.

⁸ Comrie utilise l'adjectif « reliable ».

valeurs notées A et D égales, au facteur 10^5 (ou 10^3) près, aux logarithmes de la sécante et de la cosécante de R. On doit en effet retrouver des valeurs rigoureusement identiques par permutation des variables affectées de valeurs simultanément complémentaires. Par exemple, pour $\phi = 20^\circ$ et $P = 30^\circ$, nous avons A = 5416 et D = 328. On retrouve ces valeurs pour $\phi = 60^\circ$ et $P = 70^\circ$.

Le même genre de procédé s'étend aux contrôles de K et de Z₁ :

$$\cot K = \cot \phi \cdot \cos P$$
 , $\cot Z_1 = \tan P \cdot \sin \phi$

Il est clair qu'en substituant aux valeurs de ϕ et de P de la première équation leurs compléments respectifs dans la seconde équation (et dans le même ordre des opérateurs), on arrivera aux mêmes résultats. Par exemple :

ф	Р	K	А	D	Z_1
32°	34°	37° 00,4′	5532	324	70,3°
56° = 90° - 34°	58° = 90° - 32°	70° 19,9′	5532	324	37,0°

Un écart dans les résultats permet de détecter une erreur et à reprendre le calcul avec une table de logarithmes dont le nombre de décimales exprimées est suffisant (au moins 7, voir ci-dessous).

La table II a été comparée avec les résultats de tables de logarithmes à 7 et 8 décimales et la table présentée est « ... correct to the last decimal. » Il compare ensuite sa table II à celle d'Ageton (HO 211) et y met en évidence des inexactitudes qui permettent à Comrie de déduire qu'Ageton a effectué ses calculs avec une table de logarithmes à 6 décimales. En effet, ces dernières ne permettent pas de déterminer avec certitude si un « 5 » en 6 décimale doit être arrondi, en 5 décimale, au-dessus ou audessous.

Exemple : les deux logarithmes de la colonne de gauche s'arrondissent identiquement à 6 décimales ce qui pourrait conduire à écrire, à 5 décimales, 0,78645.

7 décimales	6 décimales	5 décimales
0,7864445	0,786445	0,78644 (arrondi au-dessous)
0,7864454	0,786445	0,78645 (arrondi au-dessus)

La connaissance de la valeur à 7 décimales permet de faire les arrondis corrects à 5 décimales.

3) Point auxiliaire:

Il a été mis en évidence¹⁰ que le point auxiliaire peut se trouver à relativement grande distance du point estimé (environ 42 milles au maximum dans le cas de l'usage des présentes tables) ce qui peut conduire à trouver un point observé éloigné du point déterminatif. Cet éloignement peut être à l'origine d'un écart, plus ou moins acceptable, entre droite (lieu supposé du navire sur la carte) et courbe de hauteur (lieu réel) au voisinage de la position observée. Pour énoncer une règle de limite de validité, L. J. Comrie s'appuie sur les travaux¹¹ de W. M. Smart paru en mai 1919 dans la revue de la Royal Astronomical Society et, considérant les difficultés de l'observation précise à la mer, conclut

_

⁹ Inexactitudes sans réelles conséquences en pratique comme le précise Comrie.

L'expression de la distance entre points estimé et auxiliaire a été établie dans plusieurs fiches, notamment celle consacrée aux tables de Souillagouët.
 Travaux à rapprocher (mais la méthode est différente) de ceux relatifs aux limites d'utilisation d'une droite de hauteur; voir la fiche

Travaux à rapprocher (mais la méthode est différente) de ceux relatifs aux limites d'utilisation d'une droite de hauteur ; voir la fiche dédiée. Voir également les travaux de l'Amiral Perrin.

que l'utilisation d'un point auxiliaire n'est pas source d'erreur significative tant que la hauteur observée n'excède pas 75°.

Si la hauteur est supérieure à 75°, et si les différences de latitude et de longitude entre points estimé et auxiliaire sont supérieures à 20', Comrie conseille d'effectuer les calculs à partir du point estimé selon une formulation particulière.

Remarque : la règle énoncée peut se retenir si le point observé est relativement proche du point estimé ; si tel n'est pas le cas, il convient de contrôler que les conditions de substitution de la droite à la courbe, au voisinage du point observé, sont bien vérifiées.

Calculs à partir du point estimé :

L. J. Comrie cite brièvement le calcul par la formule en cosinus-haversine d'usage courant en Grande Bretagne et la méthode d'Ageton¹² de 1931 (avec l'inconvénient que l'on lui connait et que Comrie rappelle) puis présente une formulation basée sur la décomposition du triangle de position selon la hauteur sphérique issue de Z (voir figure page 2), directement utilisable avec ses tables.

La formulation s'établit en utilisant la règle du pentagone de Neper puis en utilisant exclusivement les fonctions sécante, cosécante et tangente dont les logarithmes sont tabulés dans les tables II et III. Cette formulation est la suivante :

$$\csc R = \sec \phi . \csc P \quad ; \quad \csc K = \frac{\csc \phi}{\sec R} \quad ; \quad \csc H_c = \sec R. \sec (K \sim D)$$

$$\tan Z_1 = \frac{\csc \phi}{\tan P} \quad ; \\ \tan Z_2 = \csc R. \tan (K - D)$$

L'ensemble des éléments R, K, H_c, Z₁ et Z₂ se calculent ensuite par logarithmes. L'exemple cidessous, basé sur les données de l'application traitée en page 4, montre que le calcul est relativement laborieux.

	Estime	Coor	données horaires		Observation
фе	24° 51′ N	AHap	189° 31,7′	H_{v}	49° 58,5′
G_e	146° 29′ W	D	45° 04,8′ N		Deneb
AHa	g _e = 43° 02,7'; P _e =	43° 02,7	'W		

On note qu'il a fallu ajouter 10.000 au « logcscφ_e » pour obtenir une différence positive.

¹² Voir la publication HO 211.

Le calcul exact, par rapport au point estimé donne He = 49° 58,9' et Z = 311,4° (N48,6°W).

5) Calcul d'une orthodromie :

Le problème est ici présenté de façon très théorique. Après avoir défini l'arc de grand cercle passant par un point de départ A et un point d'arrivée B et précisé les symboles utilisés, L. J. Comrie se fixe comme objectif le calcul :

- de l'angle de route au départ en A¹³,
- des coordonnées de points régulièrement espacés sur l'arc d'orthodromie,
- de la route à suivre pour aller d'un point de l'arc d'orthodromie au suivant.

La formulation présentée ne comporte que les fonctions sécante, cosécante et tangente de façon à utiliser les tables II et III exclusivement. Cette formulation est construite sur la décomposition du triangle PAB (P étant un pôle terrestre) en deux triangles rectangles en menant les hauteurs issues de A ou de B.

Les points de l'orthodromie dont il s'agit de calculer les coordonnées sont fixés par leurs distances les uns des autres (par exemple tous les 300 milles – ou 5°- à partir du point de départ).

L. J. Comrie se livre ensuite à une longue analyse mathématique sur les différences successives entre coordonnées de ces points dans un but de vérification des calculs. Cette analyse, appliquée aux angles de route au départ¹⁴ de chaque point, permet de déterminer la route moyenne à suivre entre deux points calculés de l'orthodromie.

Comme nous l'avons indiqué, le problème est analysé sous un angle très théorique; les éléments essentiels que sont pour le marin la distance orthodromique et la position du vertex, notamment sa latitude pour des raisons météorologiques, sont occultés. Notons ici que le calcul classique, en utilisant les formules générales dans le triangle sphérique PAB, est beaucoup plus expéditif.

Autres tables:

Plusieurs autres tables figurent dans le recueil de L. J. Comrie. Sans en faire une étude dans le détail, il a paru intéressant de donner quelques indications sur quelques-unes d'entre elles.

1) <u>Table des latitudes croissantes</u>:

Cette table donne les latitudes croissantes, à intervalle d'une minute, pour des latitudes variant de 0° à 80°. Les valeurs sont calculées pour l'ellipsoïde de Clarke de 1880. La formule de calcul est la suivante :

$$\Lambda = 7915,7045.\log\tan\left(45^{\circ} + \frac{\varphi}{2}\right) - 23,4285.\sin\varphi + 0,0133\sin(3\varphi)$$

Expression dans laquelle Λ est exprimée en minutes.

¹³ Voir note ci-dessous

¹⁴ L'angle de route au départ d'un point est l'angle formé en ce point par la tangente à l'orthodromie et le méridien.

2) <u>Tables de correction des hauteurs</u>:

Les tables de correction des hauteurs sont calculées selon les dernières théories de l'époque et font l'objet d'explications détaillées. Six tables figurent dans le recueil parmi lesquelles L. J. Comrie distingue :

- des tables calculées au dixième de minute près à l'usage des marins qui observent avec un « marine sextant » ainsi que des hydrographes et géodésiens utilisant une théodolite,
- des tables calculées à la minute près à l'usage des aviateurs utilisant un sextant à bulle.
- L. J. Comrie met en garde contre certains usages expéditifs relatifs au calcul d'une correction globale en fonction de l'élévation de l'œil et de la hauteur observée :

« The practice of giving altitude correction tables in double-entry form, in which one argument is, the altitude, and the other the eight of eye has grown up during the last century. While it is possible to compute a table correctly in this form, this does not appear to have been done, as compilers have lost sight of the fact that an observed altitude must be corrected for dip *before* the altitude is used as an argument for refraction. The effect of this oversight is negligible at small heights of eye and moderate or large altitudes, but is not negligible when the eight of eye approaches 100 feet (or more in aircraft) and the altitude is small ... »

En conséquence, ses tables amènent à effectuer le calcul des corrections en plusieurs étapes :

- calcul de la dépression apparente de l'horizon, en fonction de l'élévation de l'œil,
- calcul de la correction relative à la réfraction moyenne, la parallaxe et le demi-diamètre,
- correction de température et de pression (le cas échéant).

Les tables de correction des hauteurs du Nautical Almanac d'aujourd'hui sont de conception très voisine de celles figurant dans le recueil de Comrie.

Commentaire final:

Il s'agit d'un ouvrage de référence dont la tabulation, précise et justement contrôlée, permet l'exécution facile de la méthode d'Ogura pour le calcul de la hauteur ; le résultat est précis, sans avoir à interpoler. Les tables présentées permettent également l'exécution de tous les calculs nautiques usuels, parfois au prix d'une certaine lourdeur due à l'emploi des seules fonctions sécante, cosécante et tangente.

Un soin tout particulier a été apporté à la typographie en utilisant des caractères adaptés et en respectant des espaces suffisants pour que l'œil puisse isoler sans ambiguïté le groupe numérique recherché.

Dans un hommage à L. J. Comrie prononcé après sa mort en 1950, D. H. Sadler, alors superintendent du Nautical Almanac Office, indique que les « Hughes Tables for Sea and Air Navigation » sont « ... probably the finest book of navigational tables of their type. » 15

¹⁵ Voir Ch. Cotter « A History of Nautical Astronomy », page 334.

ANNEXE I

EXTRAIT TABLE I

22 26 27 27 28 27	5 32·5 5 41·9 5 51·9 7 02·5 7 13·6 7 25·3 7 37·5 7 50·4 8 03·9 8 18·0 8 32·8 8 48·3 9 04·5 9 21·4 9 39·1 9 57·5 1 19·8 8 42·6 2 31·3 2 2 5·2 3 24·2	2421 2659 2910 3171 3445 3730 4028 4337 4658 4991 5336 5694 6064 6446 6841 7247 7667 8100 8545 9003 9473 9956 10453 10961	488 469 451 433 417 401 386 371 357 344 331 307 295 284 274 263 253 244 235 226 217 209 201	80.8 80.3 79.8 79.3 78.9 78.4 77.8 77.3 76.8 75.8 75.2 74.7 74.1 73.5 72.9 72.3 71.7 71.1 70.5 69.8 69.2 68.5 67.8	159 158 157 156 155 154 153 152 151 150 149 148 147 146 145 144 143 142 141 140 139 138 137 136	66 67 68 69 70 71 72 73 74 75 76 77 78 79 80 81 82 83 84 85 86 87 88 89	48 54·2 50 02·4 51 13·4 52 27·4 53 44·5 55 04·7 56 28·1 57 54·8 59 24·7 60 58·1 62 34·8 64 14·8 65 58·2 67 44·8 69 34·5 71 27·3 73 22·9 75 21·2 77 21·9 79 24·8 81 29·5 83 35·8 85 43·2 87 51·4 90 00·0	25119 25855 26592 27327 28058 28783 29500 30206 30898 31573 32229 32862 33468 34043 34585 35089 35552 35970 36341 36660 36925 37133 37284 37375	82 79 76 73 70 67 65 62 60 58 56 54 52 51 49 48 47 46 45 44 44 43 43 43	46·5 45·1 43·7 42·2 40·7 39·2 37·6 35·9 34·2 32·4 30·5 28·6 26·7 24·7 22·6 20·5 18·4 16·2 14·0 11·7 9·4 7·1 4·7 2·4	114 113 112 111 110 109 103 102 101 100 99 98 97 96 99 94 93 92 91
22 26 27 27 28 29 28 29 28 33 34 29 35 36 37 36 37 38 37 38 37 36 40 3 34 41 3 34 42 43 33	5 41·9 5 51·9 7 02·5 7 13·6 7 25·3 7 37·5 7 50·4 8 03·9 8 18·0 8 32·8 8 48·3 9 04·5 9 21·4 9 39·1 9 57·5 9 16·8 9 36·9 9 57·9 1 19·8 1 42·6 2 06·4 2 31·3	2659 2910 3171 3445 3730 4028 4337 4658 4991 5336 5694 6064 6446 6841 7247 7667 8100 8545 9003 9473 9956 10453	469 451 433 417 401 386 371 357 344 331 319 307 295 284 274 263 253 244 235 226 217 209	80·3 79·8 79·3 78·9 78·4 77·3 76·8 76·3 75·8 75·2 74·7 74·1 73·5 72·9 72·3 71·7 71·1 70·5 69·8 69·2 68·5	158 157 156 155 154 153 152 151 150 149 148 147 146 143 142 141 140 139 138 137	67 68 69 70 71 72 73 74 75 76 77 78 80 81 82 83 84 85 86 87 88	50 02·4 51 13·4 52 27·4 53 44·5 55 04·7 56 28·1 57 54·8 59 24·7 60 58·1 62 34·8 64 14·8 65 58·2 67 44·8 69 34·5 71 27·3 73 22·9 75 21·2 77 21·9 79 24·8 81 29·5 83 35·8 85 43·2	25855 26592 27327 28058 28783 29500 30206 30898 31573 32229 32862 33468 34043 34585 35089 35552 35970 36341 36660 36925 37133 37284	79 76 73 70 67 65 62 60 58 56 54 52 51 49 48 47 46 45 44 43 43	45·I 43·7 42·2 40·7 39·2 37·6 35·9 34·2 32·4 30·5 28·6 26·7 24·7 22·6 20·5 18·4 16·2 14·0 11·7 9·4 7·1 4·7	113 112 111 110 105 107 106 103 102 101 100 99 98 97 96 99 94 93 99
22 26 27 27 28 29 28 29 28 29 28 33 34 29 36 37 38 30 30 30 40 33 41 33 42 36	5 41·9 5 51·9 7 02·5 7 13·6 7 25·3 7 37·5 7 50·4 8 03·9 8 18·0 8 32·8 8 48·3 0 04·5 0 21·4 0 39·1 0 57·5 0 16·8 0 36·9 0 57·9 1 19·8 1 42·6 2 06·4	2659 2910 3171 3445 3730 4028 4337 4658 4991 5336 5694 6064 6446 6841 7247 7667 8100 8545 9003 9473 9956	469 451 433 417 401 386 371 357 344 331 319 307 295 284 274 263 253 244 235 226 217	80·3 79·8 79·3 78·9 78·4 77·8 77·8 76·8 75·8 75·2 74·7 74·1 73·5 72·9 72·3 71·7 71·1 70·5 69·8 69·2	158 157 156 155 154 153 152 151 150 149 148 147 146 145 144 143 142 141	67 68 69 70 71 72 73 74 75 76 77 78 79 80 81 82 83 84 85 86 87	50 02·4 51 13·4 52 27·4 53 44·5 55 04·7 56 28·1 57 54·8 59 24·7 60 58·1 62 34·8 64 14·8 65 58·2 67 44·8 69 34·5 71 27·3 73 22·9 75 21·2 77 21·9 79 24·8 81 29·5 83 35·8	25855 26592 27327 28058 28783 29500 30206 30898 31573 32229 32862 33468 34043 34585 35089 35552 35970 36341 36660 36925 37133	79 76 73 70 67 65 62 60 58 56 54 52 51 49 48 47 46 45	45·I 43·7 42·2 40·7 39·2 37·6 35·9 34·2 32·4 30·5 28·6 26·7 24·7 22·6 20·5 18·4 16·2 14·0 11·7 9·4 7·1	112 112 110 100 100 100 100 100 100 100
22 26 27 22 28 22	5 41.9 5 51.9 7 02.5 7 13.6 7 25.3 7 37.5 7 50.4 8 03.9 8 18.0 8 32.8 8 48.3 9 04.5 9 21.4 9 39.1 9 57.5 16.8 9 36.9 9 57.9 1 19.8 1 42.6	2659 2910 3171 3445 3730 4028 4337 4658 4991 5336 5694 6064 6446 6841 7247 7667 8100 8545	469 451 433 417 401 386 371 357 344 331 319 307 295 284 274 263 253 244 235 226	80·3 79·8 79·3 78·9 78·4 77·8 76·8 76·3 75·8 75·2 74·1 73·5 72·9 72·3 71·1 70·5 69·8	158 157 156 155 154 153 152 151 150 149 148 147 146 145 144 143 142 141	67 68 69 70 71 72 73 74 75 76 77 78 79 80 81 82 83 84	50 02·4 51 13·4 52 27·4 53 44·5 55 04·7 56 28·1 57 54·8 59 24·7 60 58·1 62 34·8 64 14·8 65 58·2 67 44·8 69 34·5 71 27·3 73 22·9 75 21·2 77 21·9 79 24·8 81 29·5	25855 26592 27327 28058 28783 29500 30206 30898 31573 32229 32862 33468 34043 34585 35089 35552 35970 36341 36660 36925	79 76 73 70 67 65 62 60 58 56 54 52 51 49 48 47 46 45	45·I 43·7 42·2 40·7 39·2 37·6 35·9 34·2 32·4 30·5 28·6 26·7 24·7 22·6 20·5 18·4 16·2 14·0 11·7 9·4	1101 1102 1002 1002 1002 1002 1002 1002
22 26 23 26 24 27 25 27 26 27 27 22 28 27 29 28 20 28 30 28 31 28 33 26 33 26 36 26 37 36 36 26 37 36 38 36 39 36 40 31	5 41.9 5 51.9 7 02.5 7 13.6 7 25.3 7 37.5 7 50.4 8 03.9 8 18.0 8 32.8 8 32.8 9 04.5 9 21.4 9 39.1 9 57.5 9 16.9 9 57.5 9 16.9 9 57.5 9 16.9 9 17.5 9 16.9 9 17.5 9 16.9 9 17.5 9 17.5 9 18.0 9 18.0	2659 2910 3171 3445 3730 4028 4337 4658 4991 5336 5694 6064 6446 6841 7247 7667 8100 8545	469 451 433 417 401 386 371 357 344 331 319 307 295 284 274 263 253 244	80·3 79·8 79·3 78·9 78·4 77·8 76·8 76·3 75·8 75·2 74·7 74·1 73·5 72·9 72·3 71·1 70·5	158 157 156 155 154 153 152 151 150 149 148 147 146 145 144 143 142 141	67 68 69 70 71 72 73 74 75 76 77 78 79 80 81 82 83 84	50 02·4 51 13·4 52 27·4 53 44·5 55 04·7 56 28·1 57 54·8 59 24·7 60 58·1 62 34·8 64 14·8 65 58·2 67 44·8 69 34·5 71 27·3 73 22·9 75 21·2 77 21·9 79 24·8	25855 26592 27327 28058 28783 29500 30206 30898 31573 32229 32862 33468 34043 34585 35089 35552 35970 36341 36660	79 76 73 70 67 65 62 60 58 56 54 52 51 49 48 47 46 45	45·I 43·7 42·2 40·7 39·2 37·6 35·9 34·2 32·4 30·5 28·6 26·7 24·7 22·6 20·5 18·4 16·2 14·0 11·7	112 112 113 100 100 100 100 100 100 100 99 90 90 90
22 26 27 27 28 27 28 27 28 27 28 27 28 27 28 27 28 27 28 27 33 34 26 37 36 37 38 36 39 36	5 41.9 5 51.9 7 02.5 7 13.6 7 25.3 7 37.5 7 50.4 8 03.9 8 18.0 8 32.8 8 48.3 9 04.5 9 21.4 9 39.1 9 57.5 9 16.9 9 25.3 9 39.1 9 57.5 9 16.9 9 21.4	2659 2910 3171 3445 3730 4028 4337 4658 4991 5336 5694 6064 6446 6841 7247 7667 8100 8545	469 451 433 417 401 386 371 357 344 331 319 307 295 284 274 263 253 244	80·3 79·8 79·3 78·9 78·4 77·3 76·8 76·3 75·8 75·2 74·7 74·1 73·5 72·9 72·3 71·7 71·1	158 157 156 155 154 153 152 151 150 149 148 147 146 145 144 143 142 141	67 68 69 70 71 72 73 74 75 76 77 78 79 80 81 82 83 84	50 02·4 51 13·4 52 27·4 53 44·5 55 04·7 56 28·1 57 54·8 59 24·7 60 58·1 62 34·8 64 14·8 65 58·2 67 44·8 69 34·5 71 27·3 73 22·9 75 21·9	25855 26592 27327 28058 28783 29500 30206 30898 31573 32229 32862 33468 34043 34585 35089 35552 35970 36341	79 76 73 70 67 65 62 60 58 56 54 52 51 49 48 47 46 45	45·I 43·7 42·2 40·7 39·2 37·6 35·9 34·2 32·4 30·5 28·6 26·7 24·7 22·6 20·5 18·4 16·2 14·0	112 112 113 100 100 100 100 100 100 100 100 100
22 26 27 27 28 28 28 28 28 28 28 28 28 28 28 28 28	5 41·9 5 51·9 7 02·5 7 13·6 7 25·3 7 37·5 8 03·9 8 18·0 8 32·8 8 48·3 9 04·5 9 21·4 9 39·1 9 57·5 9 16·8 9 36·9	2659 2910 3171 3445 3730 4028 4337 4658 4991 5336 5694 6064 6446 6841 7247 7667 8100	469 451 433 417 401 386 371 357 344 331 319 307 295 284 274 263 253	80·3 79·8 79·3 78·9 78·4 77·3 76·8 76·3 75·8 75·2 74·7 74·1 73·5 72·9 72·3 71·7	158 157 156 155 154 153 152 151 150 149 148 147 146	67 68 69 70 71 72 73 74 75 76 77 78 79 80 81 82 83	50 02·4 51 13·4 52 27·4 53 44·5 55 04·7 56 28·1 57 54·8 59 24·7 60 58·1 62 34·8 64 14·8 65 58·2 67 44·8 69 34·5 71 27·3 73 22·9 75 21·2	25855 26592 27327 28058 28783 29500 30206 30898 31573 32229 32862 33468 34043 34585 35089 35552 35970	79 76 73 70 67 65 62 60 58 56 54 52 51 49 48 47 46	45·1 43·7 42·2 40·7 39·2 37·6 35·9 34·2 32·4 30·5 28·6 26·7 24·7 22·6 20·5 18·4 16·2	110 110 100 100 100 100 100 100 100 100
22 26 27 27 27 28 27 29 28 27 29 28 27 29 28 33 26 33 34 29 35 36 36 37 36 37 36 37 36	5 41·9 5 51·9 7 02·5 7 13·6 7 25·3 7 37·5 7 50·4 8 03·9 8 18·0 8 32·8 8 48·3 9 04·5 9 21·4 9 39·1 9 57·5 9 16·8	2659 2910 3171 3445 3730 4028 4337 4658 4991 5336 5694 6064 6446 6841 7247 7667	469 451 433 417 401 386 371 357 344 331 319 307 295 284 274 263	80·3 79·8 79·3 78·9 78·4 77·8 77·3 76·8 75·8 75·2 74·7 74·1 73·5 72·9 72·3	158 157 156 155 154 153 152 151 150 149 148 147 146	67 68 69 70 71 72 73 74 75 76 77 78 79 80 81 82	50 02·4 51 13·4 52 27·4 53 44·5 55 04·7 56 28·1 57 54·8 59 24·7 60 58·1 62 34·8 64 14·8 65 58·2 67 44·8 69 34·5 71 27·3 73 22·9	25855 26592 27327 28058 28783 29500 30206 30898 31573 32229 32862 33468 34043 34585 35089 35552	79 76 73 70 67 65 62 60 58 56 54 52 51	45·1 43·7 42·2 40·7 39·2 37·6 35·9 34·2 32·4 30·5 28·6 26·7 24·7 22·6 20·5 18·4	112 112 110 100 100 100 100 100 100 100
22 26 27 27 28 28 28 28 28 28 28 28 28 28 28 28 28	5 41.9 5 51.9 7 02.5 7 13.6 7 25.3 7 37.5 7 50.4 8 03.9 8 18.0 8 32.8 8 48.3 9 04.5 9 21.4	2659 2910 3171 3445 3730 4028 4337 4658 4991 5336 5694 6064 6446 6841 7247	469 451 433 417 401 386 371 357 344 331 319 307 295	80·3 79·8 79·3 78·9 78·4 77·8 76·8 76·3 75·8 75·2 74·7 74·1 73·5 72·9	158 157 156 155 154 153 152 151 150 149 148 147 146	67 68 69 70 71 72 73 74 75 76 77 78 79 80 81	50 02·4 51 13·4 52 27·4 53 44·5 55 04·7 56 28·1 57 54·8 59 24·7 60 58·1 62 34·8 64 14·8 65 58·2 67 44·8 69 34·5 71 27·3	25855 26592 27327 28058 28783 29500 30206 30898 31573 32229 32862 33468 34043 34585 35089	79 76 73 70 67 65 62 60 58 56 54 52 51	45·1 43·7 42·2 40·7 39·2 37·6 35·9 34·2 32·4 30·5 28·6 26·7 24·7 22·6 20·5	113 112 113 103 103 103 103 103 103 103 103 103
22 26 27 27 28 29 28 29 28 29 28 33 34 29 35 29 35	5 41.9 5 51.9 7 02.5 7 13.6 7 25.3 7 37.5 7 50.4 8 03.9 8 18.0 8 32.8 8 48.3 9 04.5 9 21.4	2659 2910 3171 3445 3730 4028 4337 4658 4991 5336 5694 6064 6446	469 451 433 417 401 386 371 357 344 331 319 307 295	80·3 79·8 79·3 78·9 78·4 77·8 76·8 76·3 75·8 75·2 74·7 74·1	158 157 156 155 154 153 152 151 150 149 148 147 146	67 68 69 70 71 72 73 74 75 76 77 78 79	50 02·4 51 13·4 52 27·4 53 44·5 55 04·7 56 28·1 57 54·8 59 24·7 60 58·1 62 34·8 64 14·8 65 58·2 67 44·8 69 34·5	25855 26592 27327 28058 28783 29500 30206 30898 31573 32229 32862 33468 34043 34585	79 76 73 70 67 65 62 60 58 56 54 52 51	45·1 43·7 42·2 40·7 39·2 37·6 35·9 34·2 32·4 30·5 28·6 26·7 24·7 22·6	11: 11: 10: 10: 10: 10: 10: 10: 10: 10:
22 26 27 27 27 28 27 28 27 28 27 28 27 28 27 28 27 28 27 28 27 28 27 28 29 28 30 28 31 28 33 2 28 33 4 29	5 41.9 5 51.9 7 02.5 7 13.6 7 25.3 7 37.5 7 50.4 8 03.9 8 18.0 8 32.8 8 32.8 9 04.5 9 21.4	2659 2910 3171 3445 3730 4028 4337 4658 4991 5336 5694 6064 6446	469 451 433 417 401 386 371 357 344 331 319 307 295	80·3 79·8 79·3 78·9 78·4 77·8 76·8 76·3 75·8 75·2 74·7 74·1	158 157 156 155 154 153 152 151 150 149 148 147 146	67 68 69 70 71 72 73 74 75 76 77 78 79	50 02·4 51 13·4 52 27·4 53 44·5 55 04·7 56 28·1 57 54·8 59 24·7 60 58·1 62 34·8 64 14·8 65 58·2 67 44·8	25855 26592 27327 28058 28783 29500 30206 30898 31573 32229 32862 33468 34043	79 76 73 70 67 65 62 60 58 56 54 52 51	45·1 43·7 42·2 40·7 39·2 37·6 35·9 34·2 32·4 30·5 28·6 26·7 24·7	11: 11: 10: 10: 10: 10: 10: 10: 10: 10:
22 26 27 27 28 27 28 27 28 27 28 27 28 27 28 33 28 33 28 33 28 33 28 33 28	5 41·9 5 51·9 7 02·5 7 13·6 7 25·3 7 37·5 7 50·4 8 03·9 8 18·0 8 32·8 8 48·3 0 04·5	2659 2910 3171 3445 3730 4028 4337 4658 4991 5336 5694 6064	469 451 433 417 401 386 371 357 344 331 319 307	80·3 79·8 79·3 78·9 78·4 77·8 77·3 76·8 76·3 75·8 75·2 74·7	158 157 156 155 154 153 152 151 150 149 148 147	67 68 69 70 71 72 73 74 75 76 77 78	50 02·4 51 13·4 52 27·4 53 44·5 55 04·7 56 28·1 57 54·8 59 24·7 60 58·1 62 34·8 64 14·8 65 58·2	25855 26592 27327 28058 28783 29500 30206 30898 31573 32229 32862 33468	79 76 73 70 67 65 62 60 58 56 54 52	45·1 43·7 42·2 40·7 39·2 37·6 35·9 34·2 32·4 30·5 28·6 26·7	110
22 26 27 27 28 27 28 27 28 27 28 27 28 27 28 33 28 33 28 33 28 33 28 33 28	5 41·9 5 51·9 7 02·5 7 13·6 7 25·3 7 37·5 7 50·4 8 03·9 8 18·0 8 32·8 8 48·3 0 04·5	2659 2910 3171 3445 3730 4028 4337 4658 4991 5336 5694 6064	469 451 433 417 401 386 371 357 344 331 319 307	80·3 79·8 79·3 78·9 78·4 77·8 77·3 76·8 76·3 75·8 75·2 74·7	158 157 156 155 154 153 152 151 150 149 148 147	67 68 69 70 71 72 73 74 75 76 77 78	50 02·4 51 13·4 52 27·4 53 44·5 55 04·7 56 28·1 57 54·8 59 24·7 60 58·1 62 34·8 64 14·8 65 58·2	25855 26592 27327 28058 28783 29500 30206 30898 31573 32229 32862 33468	79 76 73 70 67 65 62 60 58 56 54 52	45·1 43·7 42·2 40·7 39·2 37·6 35·9 34·2 32·4 30·5 28·6 26·7	110
22 26 27 27 27 28 27 28 27 28 27 28 27 28 27 28 27 28 27 28 27 28 27 28 27 28 27 28 29 28 29 28 29 28 29 28 29 28 29 28 29 28 29 28 29 28 29 28 29 28 29 28 29 28 29 28 29 28 29 29 29 29 29 29 29 29 29 29 29 29 29	5 41·9 5 51·9 7 02·5 7 13·6 7 25·3 7 37·5 7 50·4 8 03·9 8 18·0 8 32·8 8 48·3	2659 2910 3171 3445 3730 4028 4337 4658 4991 5336 5694	469 451 433 417 401 386 371 357 344 331 319	80·3 79·8 79·3 78·9 78·4 77·8 77·3 76·8 76·3 75·8 75·2	158 157 156 155 154 153 152 151 150 149 148	67 68 69 70 71 72 73 74 75 76	50 02·4 51 13·4 52 27·4 53 44·5 55 04·7 56 28·1 57 54·8 59 24·7 60 58·1 62 34·8 64 14·8	25855 26592 27327 28058 28783 29500 30206 30898 31573 32229 32862	79 76 73 70 67 65 62 60 58 56 54	45·I 43·7 42·2 40·7 39·2 37·6 35·9 34·2 32·4 30·5 28·6	110
22 26 27 27 28 27	5 41.9 5 51.9 7 02.5 7 13.6 7 25.3 7 37.5 7 50.4 8 03.9 8 18.0 8 32.8	2659 2910 3171 3445 3730 4028 4337 4658 4991 5336	469 451 433 417 401 386 371 357 344 331	80·3 79·8 79·3 78·9 78·4 77·3 76·8	158 157 156 155 154 153 152 151	67 68 69 70 71 72 73 74 75 76	50 02·4 51 13·4 52 27·4 53 44·5 55 04·7 56 28·1 57 54·8 59 24·7 60 58·1 62 34·8	25855 26592 27327 28058 28783 29500 30206 30898 31573 32229	79 76 73 70 67 65 62 60	45·I 43·7 42·2 40·7 39·2 37·6 35·9 34·2 32·4 30·5	110
22 26 27 27 28 27	6 41.9 6 51.9 7 02.5 7 13.6 7 25.3 7 37.5 7 50.4 8 03.9	2659 2910 3171 3445 3730 4028 4337 4658	469 451 433 417 401 386 371 357	80·3 79·8 79·3 78·9 78·4 77·8 77·3 76·8	158 157 156 155 154 153 152 151	67 68 69 70 71 72 73 74	50 02·4 51 13·4 52 27·4 53 44·5 55 04·7 56 28·1 57 54·8 59 24·7 60 58·1	25855 26592 27327 28058 28783 29500 30206 30898 31573	79 76 73 70 67 65 62 60	45·I 43·7 42·2 40·7 39·2 37·6 35·9 34·2	110
22 26 27 27 28 27 28 27 28 27	6 41.9 6 51.9 7 02.5 7 13.6 7 25.3 7 37.5 7 50.4 8 03.9	2659 2910 3171 3445 3730 4028 4337 4658	469 451 433 417 401 386 371 357	80·3 79·8 79·3 78·9 78·4 77·8 77·3 76·8	158 157 156 155 154 153 152 151	67 68 69 70 71 72 73 74	50 02·4 51 13·4 52 27·4 53 44·5 55 04·7 56 28·1 57 54·8 59 24·7	25855 26592 27327 28058 28783 29500 30206 30898	79 76 73 70 67 65 62 60	45·I 43·7 42·2 40·7 39·2 37·6 35·9 34·2	110
22 20 23 20 24 27 25 27 26 27 28 27	6 41.9 6 51.9 7 02.5 7 13.6 7 25.3 7 37.5 7 50.4	2659 2910 3171 3445 3730 4028 4337	469 451 433 417 401 386 371	80·3 79·8 79·3 78·9 78·4 77·8 77·3	158 157 156 155 154 153 152	67 68 69 70 71 72 73	50 02·4 51 13·4 52 27·4 53 44·5 55 04·7 56 28·1 57 54·8	25855 26592 27327 28058 28783 29500 30206	79 76 73 70 67 65 62	45·I 43·7 42·2 40·7 39·2 37·6 35·9	110
22 26 27 27 27	6 41.9 6 51.9 7 02.5 7 13.6 7 25.3 7 37.5	2659 2910 3171 3445 3730 4028	469 451 433 417 401 386	80·3 79·8 79·3 78·9 78·4 77·8	158 157 156 155 154 153	67 68 69 70 71 72	50 02·4 51 13·4 52 27·4 53 44·5 55 04·7 56 28·1	25855 26592 27327 28058 28783 29500 30206	79 76 73 70 67 65 62	45·I 43·7 42·2 40·7 39·2 37·6	110
22 26 27 24 27 25 27 26 27	6 41.9 6 51.9 7 02.5 7 13.6 7 25.3	2659 2910 3171 3445 3730	469 451 433 417 401	80·3 79·8 79·3 78·9 78·4	158 157 156 155 154	67 68 69 70 71	50 02·4 51 13·4 52 27·4 53 44·5 55 04·7 56 28·1	25855 26592 27327 28058 28783	79 76 73 70 67	45·I 43·7 42·2 40·7 39·2	110
22 26 23 26 24 27 25 27	6 41·9 6 51·9 7 02·5 7 13·6	2659 2910 3171 3445	469 451 433 417	80·3 79·8 79·3 78·9	158 157 156	67 68 69 70	50 02·4 51 13·4 52 27·4 53 44·5	25855 26592 27327 28058	79 76 73	45·I 43·7 42·2 40·7	111
22 26 23 26 24 27	6 41·9 6 51·9 7 02·5	2659 2910 3171	469 451 433	80·3 79·8 79·3	158 157 156	67 68 69	50 02·4 51 13·4 52 27·4	25855 26592 27327	79 76 73	45·I 43·7 42·2	11:
22 26 23 26	51.9	2659 2910	469 451	80·3 79·8	158	67 68	50 02·4 51 13·4	25855 26592	79 76	45·I 43·7	113
22 26 23 26	51.9	2659 2910	469 451	80·3 79·8	158	67 68	50 02·4 51 13·4	25855 26592	79 76	45·I 43·7	113
22 20	41.9	2659	469	80.3	158	67	50 02.4	25855	79	45.1	II
				_				-			1000000
						11	0		0		775
	23.5	2194	509	81.3	160	65	47 48.8	24385	85	47.8	II
19 20	5 15.1	1978	530	81.7	161	64	46 46.1	23654	89	49.1	110
	07.1	1774	553	82.2	162	63	45 46.0	22927	93	50.3	II'
	5 59.7	1581	577	82.6	163	62	44 48.4	22206	97	51.5	118
-	5 52.7	1399	602	83.1	164	61	43 53·I	21492	101	52.7	II
15 25	46.2	1229	630	83.5	165	60	43 00.2	20786	105	53.8	120
-4 2	, 40.1	10/0	039	04.0	100	39	42 09.4	20000	110	34.9	14.
	34.5	922	659	84.0	166	59	42 09.4	20088	114	55·9 54·9	121
	29.3	785	725 691	84.9	167	57 58	40 34·2 41 20·8	19400	119	56.9	123
	24.6	659.3	762	85.3	169 168	56	39 49.5	18721	124	57.9	124
	20.3	544.7	803	85.7	170	55	39 06.6	17396	129	58.9	125
,			0	0			20 -66	×2006	***	-0-	
9 2	5 16.4	440.9	848	86.2	171	54	38 25.6	16750	135	59.8	126
	12.9	348.3	899	86.6	172	53	37 46.2	16115	140	60.7	127
	09.9	266.5	957	87.0	173	52	37 08.4	15493	146	61.6	128
	07.2	195.8	1023	87.5	174	51	36 32.2	14882	152	62.4	129
	5 05.0	135.9	1102	87.9	175	50	35 57.5	14284	158	63.3	130
4 ~.	, 03 2	0,0	1199	003	1/0	49	33 44 4	13099	103	041	-3-
	03.2	87.0	1324	88.3	177	49	34 54.3	13125	165	64.1	132
	00.8	21·7 48·9	1500	89·2 88·7	178	47 48	34 21·7 34 52·3	13125	179 172	64.9	133
	00.2	5.4	1801	89.6	179	46	33 52.4	12018	186	66·4 65·6	134
	00.0	0.0	-0	90.0	180	45	33 24.2	11483	193	67.1	135
	,			0	0	0	0 /	0-		0	(
							-				
h	K	A	D	Z_1		h	K	A	D	Z_1	Table 1

ANNEXE II

EXTRAITS TABLE II

		,00	59.5	59.0	50.5	1	57.0	56.5	56.0	0 1	54.5	54.0	53.5	52.5	52.0	51.5	50.5	50.0	49.5	48.5	48.0	47.5	46.5	45.5	45.0	44.5	43.5	42.5	42.0	41.9	40.5	39.5	39.0	38.0	37.5	36.5	36.0	35.0	34.5	33.5	33.0	32.5	31.5	30.5	30.0		
4°	C	1000	9204	9195	9190	0181	9101	9172	8916	0110	9154	9149	9145	9136	9131	9126	2116	9113	9100	6606	9004	9090	1806	9076	2906	9063	9054	9044	9040	9031	9006	9022	9013	9004	8999	8990	8986	8977	8972	8963	8958	8954	8945	8940	8931	C	-
ιά	B		23087		23104		313	313	23148	2.5	23174	318	23191	23209	23218	23226	23244	23253	23201	23279	23288	23290	23314	23323	23340	23349	23366	23384	23393	23402	23419	23428	23446	23463	23472	23490	23499	23516	33	23534				23587		В	
53°	C	940	9760	9226	9751	2777	9737	9732	9727	8110	9713	8026	9703	9694	6896	9684	9675	0496	1996	9656	1506	9047	2637	9628	9623	9018	9609	9599	9595	9585	9581	9570	9566	9557	9552	9543	9538	9529	9524	9515	9510	9500	9466	9491	9482	C	
N.	В	23055	22062	22070	22079	90000	22104	22112	22121	00000	22146	22154	22103	22180	22188	22205	22213	22222	22230	22247	22256	22224	22281	22289	22306	22315	22332	22349	22357	22374	22383	22391	22408	22425	22433	22450	22459	22476	22485	22502	22510	22519	22536	22544	22561	В	
52°	C	10247	10342	10337	10332	10222	10317	10312	10307	10208	10293	10288	10203	10273	10268	10203	10253	10248	10239	10234	10229	10224	10214	10209	10199	10195	10185	10175	02101	10160	10155	10151	10141	10131	10126	91101	10112	10102	76001	10087	10082	10078	10068	10003	10053	C	
iń	В	21066	21074	108	21008	90116	21114	21122	21131	17110	21155	21163	21171	21187	21195	21204	21220	21228	21244	21252	21261	21209	21285	21293	21309	21318	21334	21350	21358	21375	21383	21391	21408	21424	21432	21448	21457	21473	21481	21498	21506	21514		21539	21555	В	
ı°	C	10050	10945	10940	10020	10024	61601	10914	10000	10800	10894	10888	10878	10873	10868	10853	10853	10848	10838	10832	10827	10817	10812	10802	10797	10792	10782	10772	19201	10756	10751	10/40	10736	10726	10721	10711	10701	96901	16901	18901	92901	10001	19901	10050	10646	S	
ıv	В	20113	20121	20128	20130	20162	20160	20167	20175	2010	1 (1			- 200	20238	20240	20261	20269	20285	20293	20301	20316	20324	20332	20348	20350	20371	20387	20395	20411	20419	20435	20442	20458	20466	20482	20490	20506	20514	20530	20537	20545	20561	20509	20585	В	
50°	C	11575	11569	11564	11559	11548	11543	11538	11532	11522	11516	11511	11500	11495	11490	11405	11474	11469	11458	11453	11448	11443	11432	11427	11416	11411	11401	11390	11385	11374	11369	11359	11353		11338		11322	11312	11306	11296	11291	11285	11275	11270	11259	S	
ıo	В	10102	19201	19208	19210	10231	19238	19246	19254	10260	19276	19284	19291	19306	19314	19322	19337	19344	19359	19367	19375	19390	19397	19405	19420	19425	19443	19458	19466	19481	19489	19594	19511	19527	19534	19550	19557	19572	19580	19595	19603	1961	19626	19634	19649	В	-
		, 00	00.5	0.1	2.0	25.21	3.0	3.5	04.0		05.5	0.90	0.40	6.40	08.0	0.60	6.60	0.01	0.11	11.5	0 1	13.0	13.5	14.5	15.0	15.5	16.5	iù	0.81	0.61	19.5	20.5	21.0	22.0	22.5	iù	24.5	0	ro c	26.5	0	5 0	ın	29.0	30.0		

			29.5	-	_	27.5		_	_	_	23.5	и	22.5	_	20.5	_		8 8	17.	_	_	15.0		13.5			11.0	100	00.00	08.5	-		-	02:2		03.5	-	02.5			0.00	
14°	0	60140	0009	29009	6004	50004	29969	59945	5080	5987	59848	59800	59775	59727	59703	5965	59030	59582	59534	59510	59462	59430	59390	59342	59294	59270	59222	59175	59151	59103	59056	59032	58984	53901	58913	58889	58842	58818	58771	58724	58700	O
	В	1406	1407	1411	1412	1414	1417	1419	1422	1424	1426	1429	1430	1434	1435	1439	1442	1444	1447	1449	1452	1454	1457	1459	1464	1465	1469	1472	1474	1477	1480	1482	1485	1487	1490	1492	1495	1497	1501	1504	1506	В
13°	C	63181	63155	63103	63076	63024	62998	62972	62919	62893	62867	62815	62789	62737	62685	62659	62607	62581	62529	62503	62451	62400	62374	62322	62271	62245	62194	62142	62001	62065	62014	61989	61938	51610	19819	61810	61785	61759	61709	61658	61632	O
	В	1217	1218	1221	1223	1224	1227	1229	1232	1234	1235	1238	1240	1243	1244	1247	1250	1252	1255	1257	1260	1263	1264	1267	1271	1272	1275	1278	1280	1283	1286	1288	1291	1292	1295	1297	1300	1302	1305	1308	1310	В
12°	C	99499	66400	66381	00353	66296	66267	66239	66182	66154	66098	69099	66041	65985	65957 65928	65900	65844	65816	65760	65732	65676	65620	65592	65537	65481	65453	65398	65342	65287	65259	65204	65176	65121	65066	65038	64983	64956	64928 64901	64873	64819	64791	O
	B	1042	1043	1046	1047	1049	1052	1053	1056	1057	1059	1062	1063	1066	1000	1070	1073	1074	1077	1079	1801	1084	1086	1089	1601	1093	1090	1099	1102	1103	9011	1100	1110	1112	1115	1111	6111	1120	1123	1126	1128	В
ıı°	0	70034	70003	69941	01660	69849	81869	69756	69725	6969	69633	69602	69571	69510	69479	69418	69357	69326	69265	69235	69174	69113	69083	68002	29689	68932 68001	68871	68811	68750	68720	68660	68630	68570	68510	68480	68421	68391	68331	68301 68272	68242	68212	S
	В	188	883	885	980	888	890	892	894	895	898	899	006	903	904	907	606	911	913	914	917	920	921	924	926	928	930	933	934	937	940	941	45	945	948	949	952	953	956	958	096	В
°01	C	73937	73903	73835	73301	73733	73699	73665	73597	73563	73530	73462	73429	73361	73328	73261	73194	73160	73093	73060	72993	72927	72893	72827	72760	72727	72661	72595	72502	72496	72430	72398	72332	72266	72234	72261	72136	72103	72038	71973	71940	S
	В	733	735	737	738	739	742	743	745	746	749	750	751	753	755	757	759	761	763	764	767	694	770	773	775	776	779	781	783	785	787	788	162	703	794	797	798	800	803	804	805	В
		30.0	30.5	31.5	32.0	33.0	33.5	34.5	35.0	35.5	36.5	0.4	37.5	8.3	9.5	40.0	41.0	41.5	42.5	43.5	0.44	45.0	45.5	46.5	1.2	48.5	49.0	0.0	0 0	51.5	IO.	0 15	54.0	. 0	ro o	56.5	0 1	57.5	10 0	io	0.00	

ANNEXE III

EXTRAIT TABLE III

$K \sim d$	o'	6'	12'	18'	24'	30'	36'	42'	48'	54	60'
or Z_2	.0	·I	.2	•3	.4	.5	.6	-7	.8	.9	1.0
0		70.10			-0		0	0.0			
0	8242	7242 8283	7543	7719 8356	7844	7941	8020	8087	8145	8196	8242
2	8543	8564	8321		8388	8418	8446	8472	8497	8521	8543
	8719	8734		8604	8622	8640	8657	8674	8689	8705	8719
3	8845		8747	8761	8774	8786	8799	8811	8822	8834	8845
4	0045	8855	8866	8876	8886	8896	8906	8915	8924	8933	8942
5	8942	8951	8959	8967	8976	8984	8991	8999	9007	9014	9022
6	9022	9029	9036	9043	9050	9057	9063	9070	9076	9083	9089
7	9089	9095	9102	9108	9114	9119	9125	9131	9137	9142	9148
8	9148	9153	9159	9164	9169	9174	9180	9185	9190	9195	9200
9	9200	9205	9209	9214	9219	9224	9228	9233	9237	9242	9246
10	9246	9251	9255	9259	9264	9268	9272	9276	9280	9285	9289
II	9289	9293	9297	9301	9305	9308	9312	9316	9320	9324	9327
12	9327	9331	9335	9339	9342	9346	9349	9353	9356	9360	9363
13	9363	9367	9370	9374	9377	9380	9384	9387	9390	9394	9397
14	9397	9400	9403	9406	9410	9413	9416	9419	9422	9425	9428
15	9428	9431	9434	9437	9440	9443	9446	0440	0.170		
16	9457	9460	9463	9466	9469	9443		9449	9452	9455	9457
17	9485	9488	9491	9493	9496	9472	9474	9477	9480	9483	9485
18	9512	9514	9517	9519	9522	9525	9501	9504	9507	9509	9512
19	9537	9539	9542	9544	9547	9549	9527 9552	9530 9554	9532 9556	9535 9559	9537 9561
20	9561	9563	9566	9568	0.550	0.550			0		
21	9584	9586	9589		9570	9573	9575	9577	9580	9582	9584
22	9606	9609	9509	9591 9613	9593	9595	9598	9600	9602	9604	9606
23	9628	9630	9632	9634	9615	9617	9619	9621	9624	9626	9628
24	9649	9651	9653	9655	9657	9638	9640	9642	9644	9647	9649
	9049	9031	9053	9055	9057	9659	9661	9663	9665	9667	9669
25	9669	9671	9673	9675	9677	9678	9680	9682	9684	9686	9688
26	9688	9690	9692	9694	9696	9698	9700	9702	9703	9705	9707
27	9707	9709	9711	9713	9715	9716	9718	9720	9722	9724	9726
28	9726	9728	9729	9731	9733	9735	9737	9738	9740	9742	9744
29	9744	9746	9747	9749	9751	9753	9754	9756	9758	9760	9761
30	9761	9763	9765	9767	9768	9770	9772	9774	9775	9777	9779
31	9779	9780	9782	9784	9786	9787	9789	9791	9792	9794	9796
32	9796	9797	9799	9801	9803	9804	9806	9808	9809	9811	9813
33	9813	9814	9816	9817	9819	9821	9822	9824	9826	9827	9829
34	9829	9831	9832	9834	9836	9837	9839	9840	9842	9844	9845
35	9845	9847	9848	9850	9852	9853	9855	9856	9858	9860	9861
36	9861	9863	9864	9866	9868	9869	9871	9872	9874	9876	9877
37	9877	9879	9880	9882	9883	9885	9887	9888	9890	9891	9893
38	9893	9894	9896	9897	9899	9901	9902	9904	9905	9997	9993
39	9908	9910	9911	9913	9915	9916	9918	9919	9921	9922	9908
40	9924	9925	9927	9928	9930	9931	9933	0025	9936	0028	
41	9939	9941	9942	9944	9935	9931	9933	9935		9938	9939
42	9954	9956	9957	9959	9943	9947	9964	9965	9951	9953	9954
	9970	9971	9973	9939	9976	9902	9979	9980	9967	9968	9970
44	9985	9986	9988	9974	9970	9977	9979	9995	9982	9983	9985

To determine the component Z_2 of the azimuth, Table III is entered with argument $K \sim d$ to obtain E, which is added to the value of D found from Table I. Z_2 is then given by entering the body of Table III with D+E, and reading from the argument column. It is negative if the declination has the same sign as the latitude and is numerically greater than K (which has the same sign as the latitude); otherwise it is positive. In other words, Z_2 is negative only when $K \sim d$ is formed by subtracting K from d.