

RAID SUR ENTEBBE

L'histoire de Müllerchen, la petite fauvette babillarde.

Avant-propos: Le travail qui suit a été réalisé et son compte-rendu rédigé par des élèves de la classe de 1er^{er}PS du lycée La Martinière-Tanneaux de Lyon et leur prof. de physique. Nous sommes bien sûr prêts à fournir au lecteur tout renseignement complémentaire.

Azzedine CHARED, Bruno DIASGLIO, Philippe DONSBACK, François VINCENT, et leur professeur Gérard PINSON.

Demandez à quelqu'un, au hasard:

- "Comment les oiseaux migrateurs peuvent savoir que l'heure de leur départ a sonné? "

On vous répondra, en général:

- "... à l'approche de l'hiver".

Demandez:

- "Comment choisissent-ils leur direction? "

On vous dira:

- "... ils se dirigent vers les pays chauds ".

Quoi de plus simple, n'est-ce pas?

Et pourtant c'est en étudiant de plus près les phénomènes migratoires que l'on est amené à se poser des questions et que l'on découvre de véritables mystères. En effet des expériences ont été faites sur diverses espèces d'oiseaux. Gustav Kramer découvrit notamment que les migrateurs, au moment venu, se dirigent sans hésiter dans une direction bien précise et s'envolent directement.

Il en est ainsi des fauvettes qu'Eléonore et Franz Sauer étudièrent à Brême, sous le ciel artificiel d'un planétarium, à l'abri de toute influence extérieure. Ils ont découvert que ce passereau, qui ne vole que la nuit, se dirige uniquement (pas d'indicateur géographique, magnétique ou autre) à l'aide des étoiles (les plus brillantes lui suffisent), mais s'arrête dès que le ciel est nuageux; qu'il s'envole vers le Sud-Est lorsqu'il aperçoit le ciel tel qu'on le voit en Allemagne septentrionale en septembre, époque de la migration; qu'il connaît enfin la position exacte des astres à tel jour et à telle heure de l'année, en un lieu donné, et est capable ainsi de naviguer aux étoiles.

Les Sauer ont démontré que ces connaissances sont innées, sur une fauvette babillarde qu'ils avaient baptisée "Müllerchen". Isolée de ses congénères dès sa naissance en milieu totalement artificiel, Müllerchen n'avait jamais vu le jour et la nuit naturels.

Lorsque par une nuit de septembre, elle fut animée du visible désir de partir, le Dr Sauer la transporta dans le planétarium de Brême et alluma brusquement toutes les étoiles. Elle fut d'abord saisie d'effroi. Puis elle se mit à sautiller vers le ... Sud-Est !

Les deux savants lui firent croire alors qu'elle suivait la route migratoire normale en faisant défiler, comme s'il s'agissait d'un vrai ciel, la voûte étoilée de Prague, de Budapest, de Sofia, de la Turquie Orientale.

Jusque là Müllerchen maintenait son cap, mais lorsqu'elle aperçut le ciel étoilé visible de Chypre elle changea brusquement de direction et prit plein Sud.

Enfin, reconnaissant le ciel tel qu'on le voit au Sud de la grande chute du Nil, elle se crut arrivée et s'endormit.

Fait encore plus surprenant: qu'on fasse défiler quelques semaines de ciels nocturnes en un mois ou en un jour, elle ne faisait pas la différence, croyant effectuer son trajet normalement!

Ces expériences montrent ainsi l'existence d'un certain nombre de dons, assez étonnants, dont semblent hériter ces oiseaux dans l'oeuf:

- Müllerchen reconnaît le ciel de départ et sait choisir son cap d'envol.
- puis elle sait le maintenir, ou le modifier selon les nécessités de sa trajectoire, du début à la fin du voyage. Par exemple, elle reconnaît le ciel de Chypre (sans autre indice, géographique ou autre) pour changer de cap (Sud-Est puis Sud).
- elle reconnaît le ciel à son arrivée
- enfin, de quelle façon tient-elle compte de l'écoulement du temps ? Possède-t-elle, de façon innée, la succession des configurations d'étoiles qu'elle est amenée à rencontrer en un mois de migration automnale ?

Cette histoire extraordinaire est bien mystérieuse. Nous n'avons pas cherché à l'élucider. Mais simplement, en refaisant les calculs de navigation stellaire à la manière des humains, avons-nous tenté de nous représenter cet exploit en recréant le ciel nocturne vu par l'oiseau au cours de sa migration.

Le plan de travail adopté fut le suivant:

- 1°) Constituer un plan de vol:
 - durée de la migration: 40 jours (du 15 septembre au 25 octobre)
 - 8 étapes de 5 jours dont 2 nuits de vol, plus une étape intermédiaire qui est Chypre, entre la Turquie et l'Egypte.
 - on repère les coordonnées géographiques des lieux survolés et la date de passage supposée.
- 2°) Réaliser les 10 configurations stellaires.
 - choix de 22 étoiles, les plus brillantes (7 resteront invisibles).
 - relevé des coordonnées des étoiles sur les tables éphémérides de 1979; à chaque étape calculs en prenant arbitrairement Oh TU (temps universel).
- 3°) Réalisation d'un montage sur diapositive des 10 configurations stellaires, pour mieux visualiser la trajectoire des étoiles.
- 4°) En projet : calculs avec un plus grand nombre d'étoiles. Visualisation sur écran de micro-ordinateur.

bibliographie : Vitus B. Bröscher : "Le merveilleux dans le règne animal",
coll. d'art Ly n° 249
Annuaire du Bureau des Longitudes, éphémérides 1979, ed.
Gauthier-Villars, 1978.

CALCUL DES CARTES

1- Sphère céleste. Coordonnées équatoriales. (figure 2)

L'ensemble des corps célestes est considéré, pour les calculs de position dans le ciel, comme un ensemble de points disséminés sur la surface interne d'une sphère de diamètre infini dont la Terre serait le centre. La position des corps célestes y est pratiquement constante à leur mouvement propre près (qq 1/10 sec d'angle par an).

Pour repérer leur position, on utilise un système de coordonnées équivalent au système terrestre.

a) L'équateur et les parallèles célestes sont l'exacte projection de leur équivalent terrestre. Leur position sur la sphère céleste n'est pas constante n'est pas constante : l'axe de rotation de la Terre ne garde pas une direction fixe, et à la manière d'une toupie, il décrit un cône de révolution en 25800 ans dont le demi angle au sommet est égal à $23^{\circ}27'$. Ce phénomène appelé précession sera négligé ici.

La distance angulaire d'une étoile à l'équateur céleste est appelée DECLINAISON comptée en degrés, positivement vers le Nord.

b) L'écliptique est le plan formé par la trajectoire de la Terre autour du Soleil, faisant un angle de $23^{\circ}27'$ avec l'équateur céleste. On définit le point vernal, noté γ , point d'intersection entre l'équateur céleste et le cercle écliptique, dans la constellation du Poisson. La distance angulaire entre la projection orthogonale sur l'équateur céleste d'une étoile et ce point est appelée ASCENSION DROITE, comptée en heures positivement dans le sens de rotation des planètes.

2- Voûte céleste. Coordonnées horizontales. (figure 3)

La voûte céleste est la partie de l'espace visible d'un emplacement donné de la Terre, à un instant T.

On y repère les objets célestes par 2 coordonnées:

L'AZIMUT : distance angulaire entre la projection orthogonale de la position de l'étoile sur l'horizon, et le Sud, comptée en degrés, positivement vers l'Ouest.

La HAUTEUR: distance angulaire entre l'horizon et la position de l'étoile, comptée en degrés, positivement vers le zénith. (pour des raisons pratiques, on utilise en fait son complément à 90° , appelé DISTANCE ZÉNITHALE).

3- Temps sidéral.

Lors d'une révolution complète autour du Soleil, la Terre fait 365,2422 tours par rapport au Soleil, mais elle en aura fait un de plus par rapport aux étoiles, soit 366,2422.

La journée sidérale est le temps mis par une étoile pour revenir au même méridien. Comme l'année sidérale compte un jour de plus, la journée sidérale sera donc plus courte de $24/366,2422$ heures soit 3mn 56s.

L'heure solaire et l'heure sidérale coïncident à l'équinoxe d'automne.

4- Organigramme des calculs. (figure 4)

Des formules permettent de passer des coordonnées équatoriales aux coordonnées horizontales en se donnant la latitude du lieu et un temps sidéral local correspondant à une heure donnée TU.

On peut ainsi dresser une carte du ciel d'un lieu à un instant donné.

Soit :

Alors :

φ : latitude du lieu

$$DZ = \arccos(\sin\varphi \sin\delta + \cos\varphi \cos\delta \cos AH)$$

TSL: temps sidéral local

et :

α : ascension droite

AH : angle horaire = TSL -

δ : déclinaison

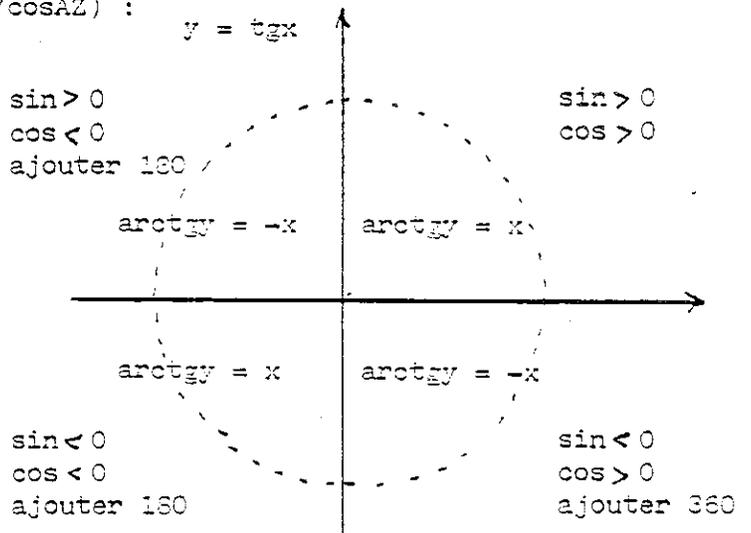
$$AZ = \arctg(\sin AH / (\sin\varphi \cos AH - \cos\varphi \operatorname{tg}\delta))$$

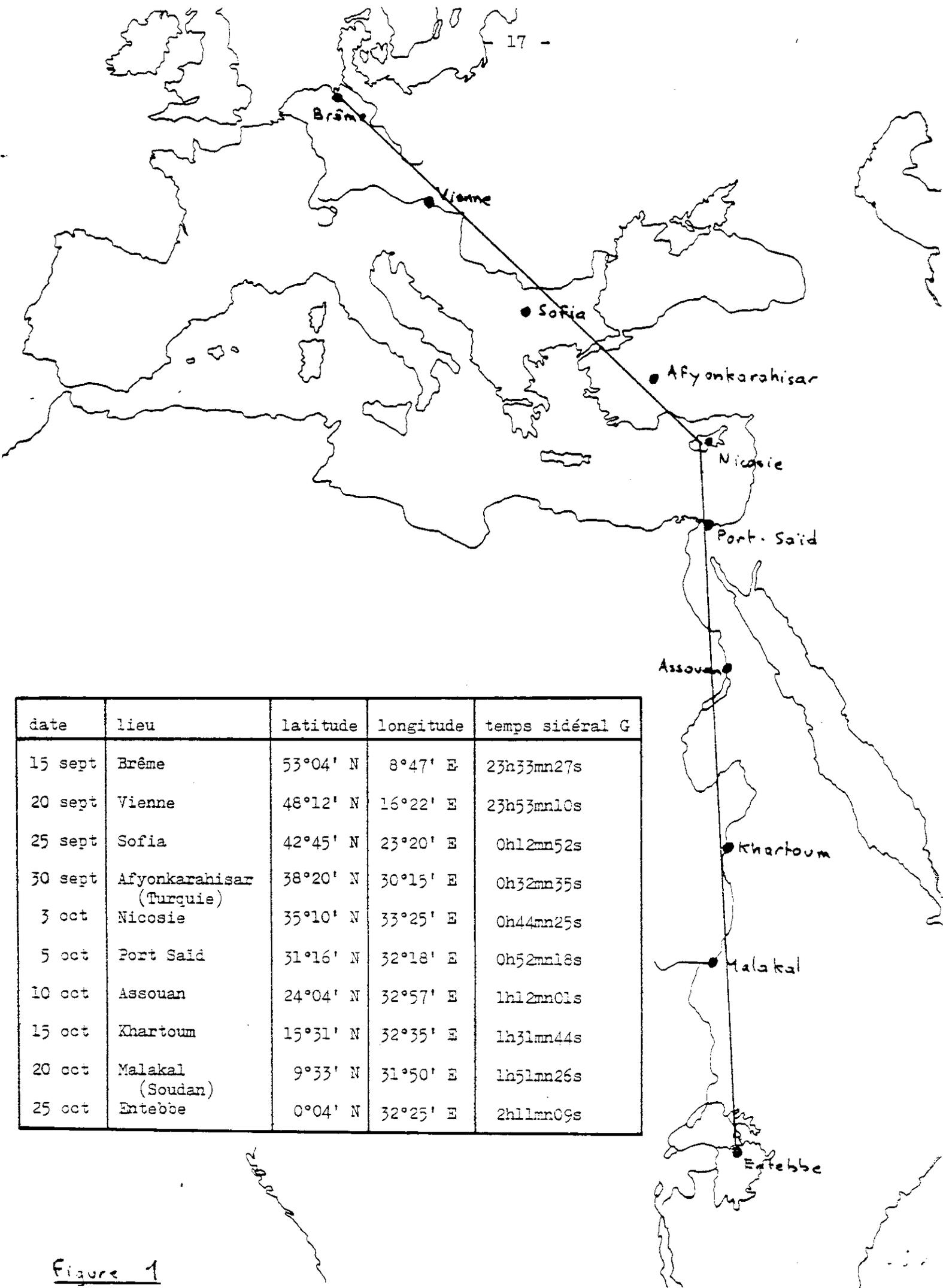
DZ : distance zénithale

AZ : azimut

Remarque : AZ étant compté de 0 à 360° , il est nécessaire de faire une correction en fonction du numérateur et du dénominateur se trouvant dans la fonction \arctg .

On pose donc : $AZ = \arctg(\sin AZ / \cos AZ)$:





date	lieu	latitude	longitude	temps sidéral G
15 sept	Brême	53°04' N	8°47' E	23h33mn27s
20 sept	Vienne	48°12' N	16°22' E	23h53mn10s
25 sept	Sofia	42°45' N	23°20' E	0h12mn52s
30 sept	Afyonkarahisar (Turquie)	38°20' N	30°15' E	0h32mn35s
3 oct	Nicosie	35°10' N	33°25' E	0h44mn25s
5 oct	Port Saïd	31°16' N	32°18' E	0h52mn18s
10 oct	Assouan	24°04' N	32°57' E	1h12mn01s
15 oct	Khartoum	15°31' N	32°35' E	1h31mn44s
20 oct	Malakal (Soudan)	9°33' N	31°50' E	1h51mn26s
25 oct	Entebbe	0°04' N	32°25' E	2h11mn09s

Figure 1

SPHERE CELESTE
COORD. EQUATORIALES

γ : point vernal

δ : déclinaison

α : ascension droite

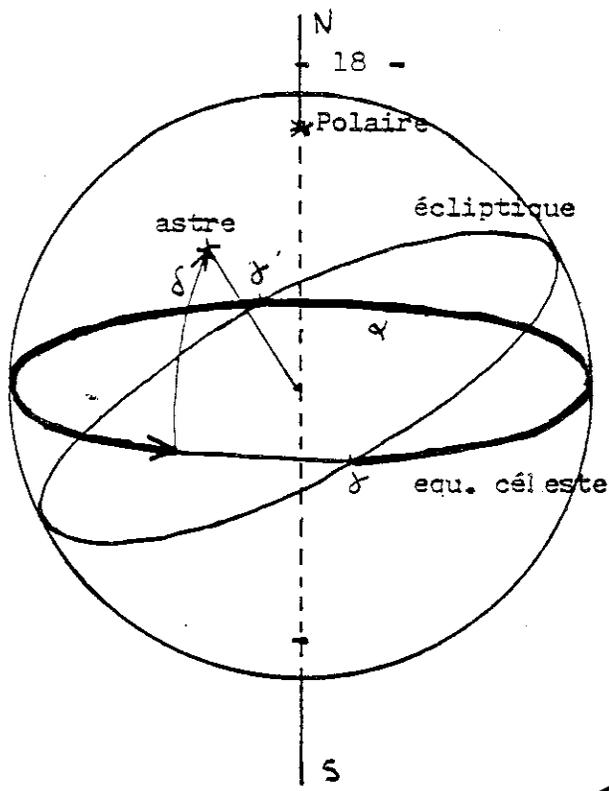


figure 2

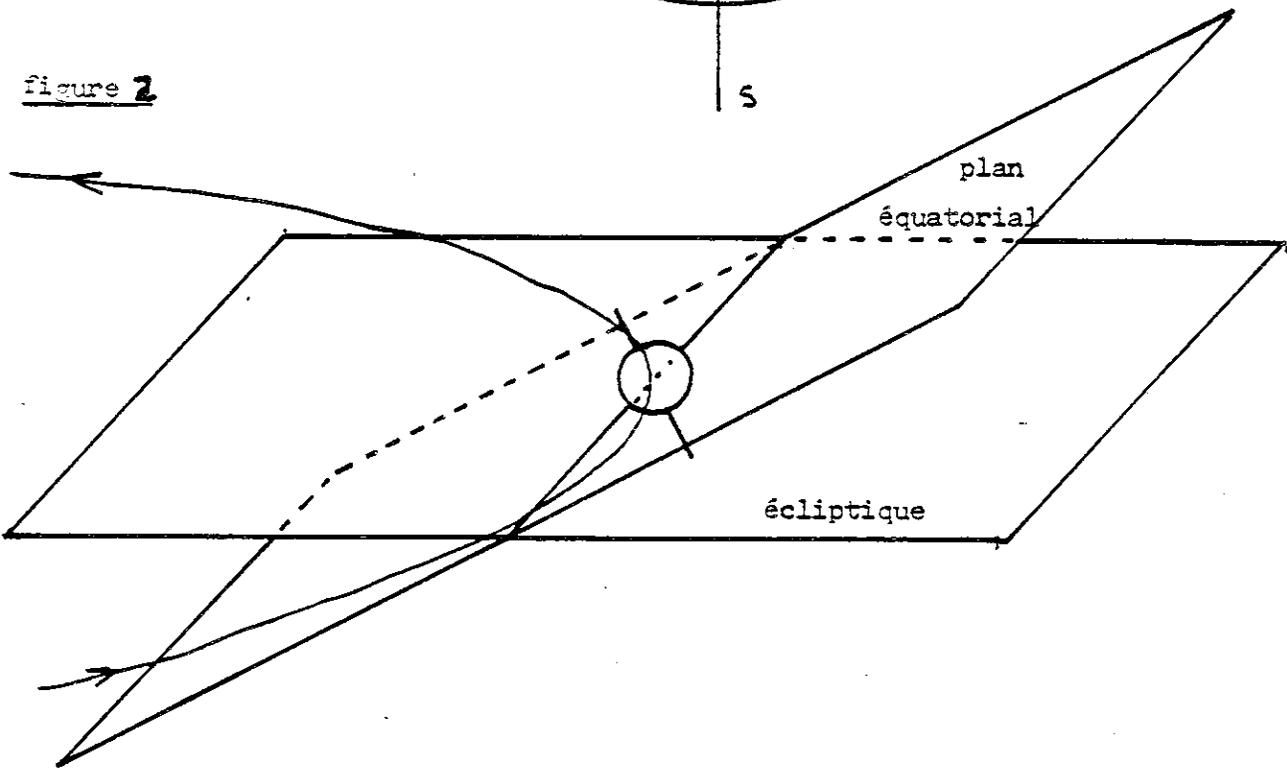
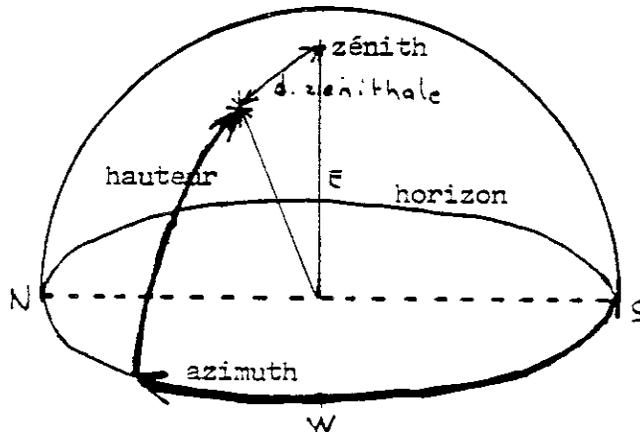
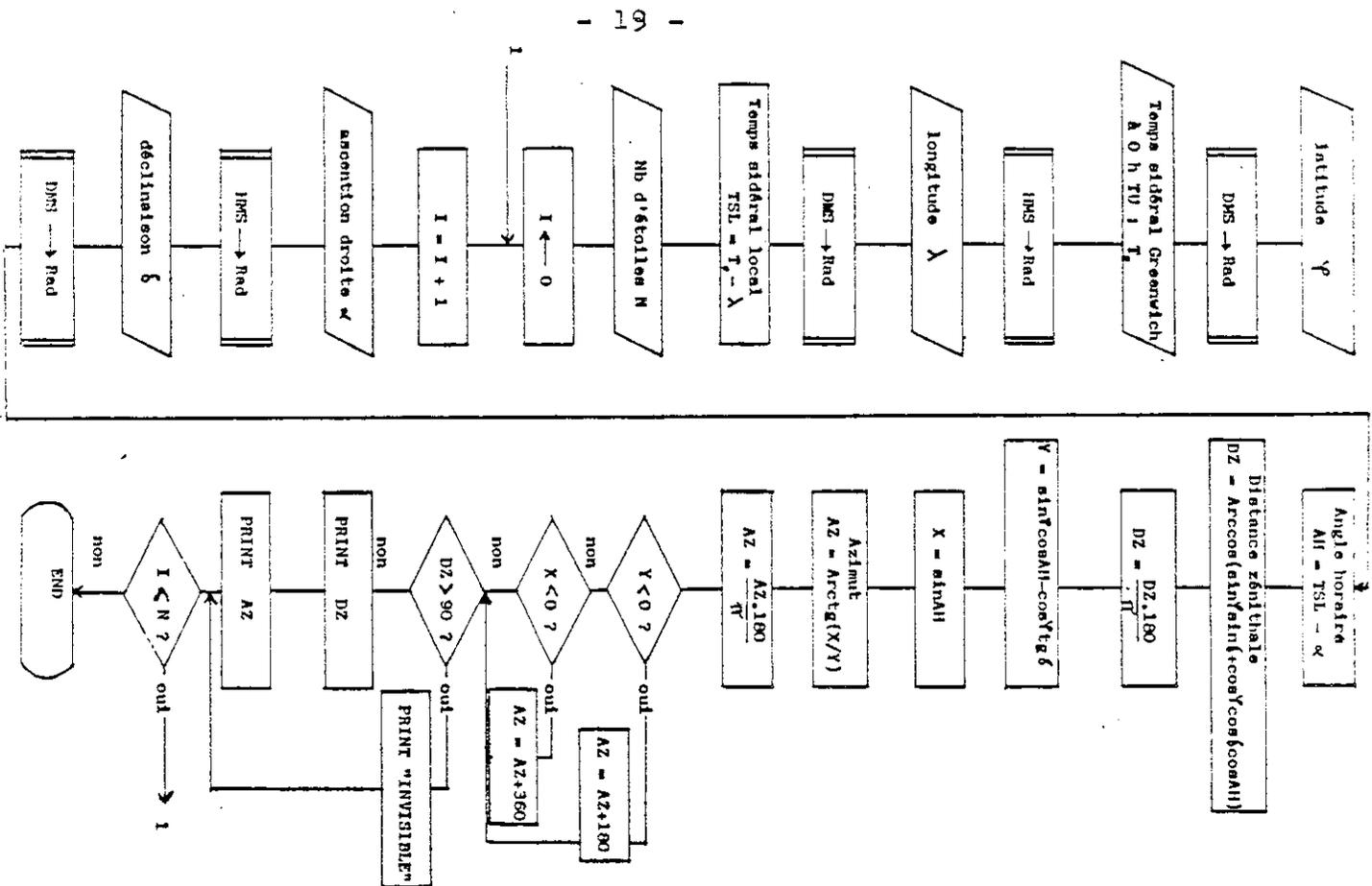


figure 3

COORD. HORIZONTALES



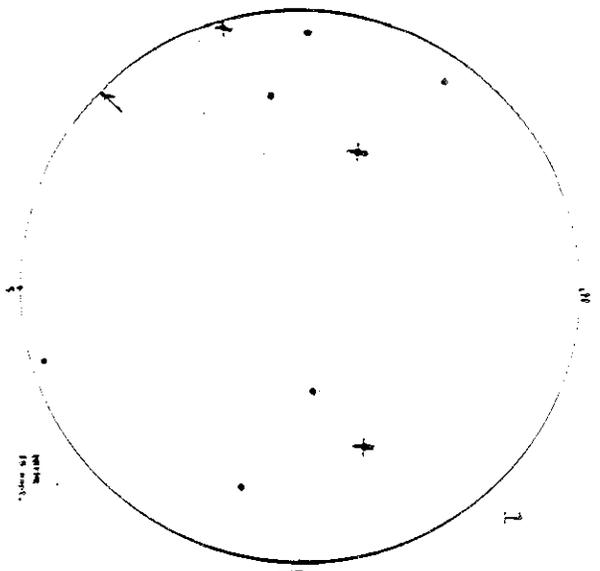


```

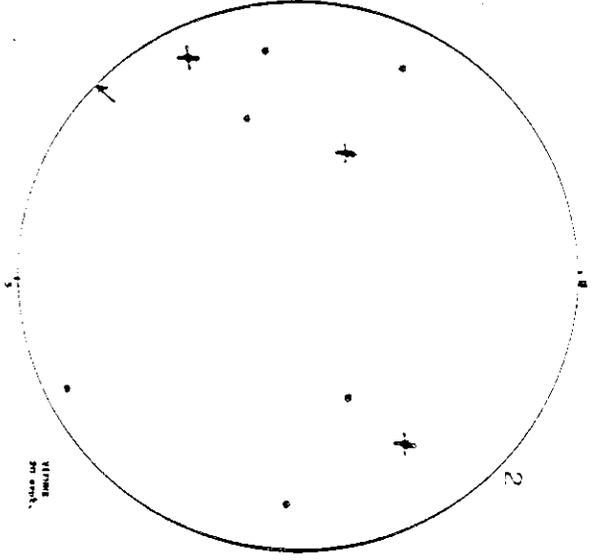
10 PRINT "Y" : PRINT TAB(50); "COORDONNEES MAPLE 2000-1-1-83"
20 LET FEED PRINT
30 INPUT "HORIZON D'ETOILES" : H
40 DIM STR$(4,2) : DIM HNE(4)
50 PRINT : PRINT "HORIZON DROITE, DECLINATION ?"
60 FOR I=1 TO H
70 PRINT : PRINT "ETOLE" : I : INPUT HNE(I) : STR$(1,0) : STR$(1,1)
80 A=STR$(1,0) : J=1 : GO SUB 1000 : STR$(1,0)=H
90 A=STR$(1,1) : GO SUB 1000 : STR$(1,1)=H
100 NEXT I
110 PRINT "Y" : PRINT : PRINT : INPUT "LATITUDE DU LIEU" : LAT
120 A=INT(GO SUB 1000 : LAT)=R
130 PRINT : INPUT "TEMP SIDERAL LOCAL" : TSL
140 A=INT(J=1 : GO SUB 1000 : TSL)=R
150 FOR I=1 TO H
160 STR$(1,0)=TSL-STR$(1,0)
170 IZ=SIGN(LAT)*SIGN(STR$(1,1))+COS(LAT)*COS(STR$(1,1))*COS(STR$(1,0))
175 IF IZ=0 THEN IZ=90 : GO TO 190
180 IZ=ATN(COS(1-IZ)/IZ)/DZ*180/R
190 X=SIGN(STR$(1,0))
200 Y=SIGN(LAT)*COS(STR$(1,0))-COS(LAT)*TAN(STR$(1,1))
210 AZ=ATN(X/Y)*180/R
220 IF Y<0 THEN AZ=AZ+180 : GO TO 240
230 IF X<0 THEN AZ=AZ+360
240 PRINT : PRINT "ETOLE" : "NOMES" : (I)
250 IF DZ>90 OR DZ<0 THEN PRINT "INVISIBLE" : GOTO 270
260 PRINT "AZIMUT" : I : INT(AZ*10+.5)/10
270 PRINT "DISTANCE ZENITHALE" : INT(DZ*10+.5)/10
280 NEXT I
290 PRINT : PRINT "UNE AUTRE CARTE?"
295 GET R$ : IF R$="N" THEN GOTO 295
300 IF R$="O" THEN GOTO 110
310 END
1000 IM=INT((R-INT(R))*100)
1010 SS=INT((R-INT(R))*10000)-M*100
1020 R=INT(R)+(60*M+SS)/3600
1030 IF J=1 THEN R=R*/12 : J=0 : RETURN
1040 R=R*/180 : RETURN
FEED"
    
```

Figure 4 : organigramme de calcul et programme en BASIC. Les calculs ont aussi été effectués sur calculatrices Texas TI 59 et Hewlett-Packard HP 41. En préparation : calculs et sortie des cartes sur imprimantes (PPT et HP 85).

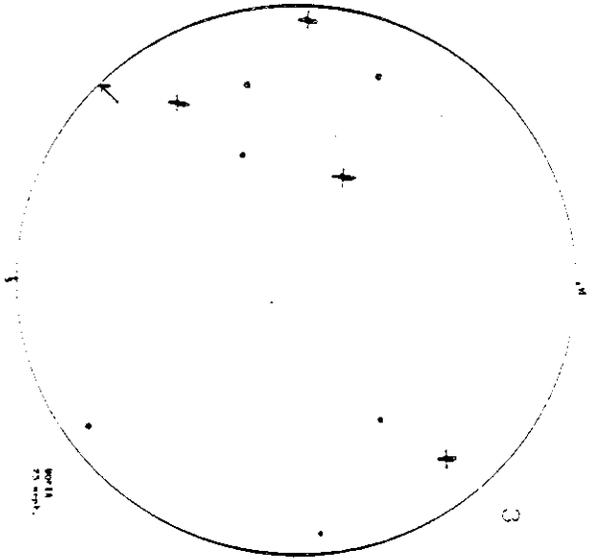
Rhône (15/09)



Vienne (20/09)



Sofia (25/09)



Turquie Oc. (30/09)

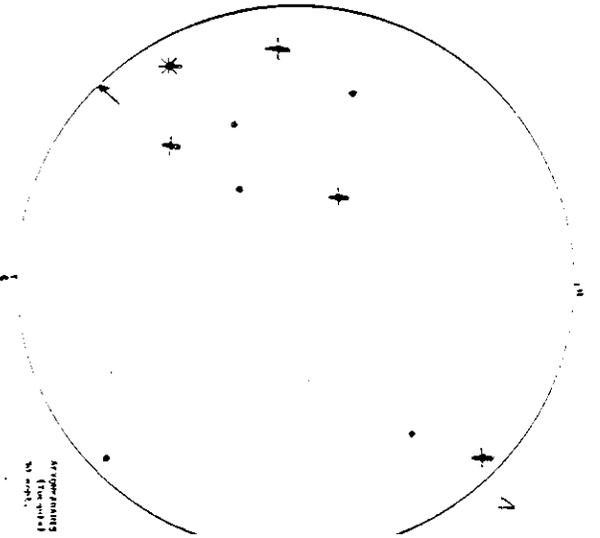
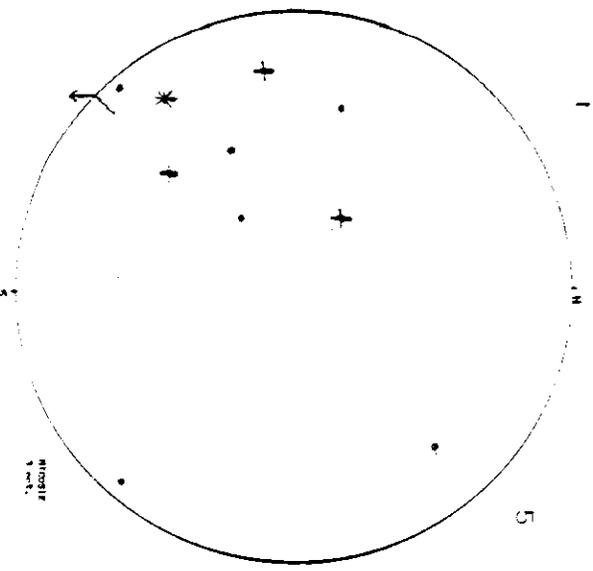
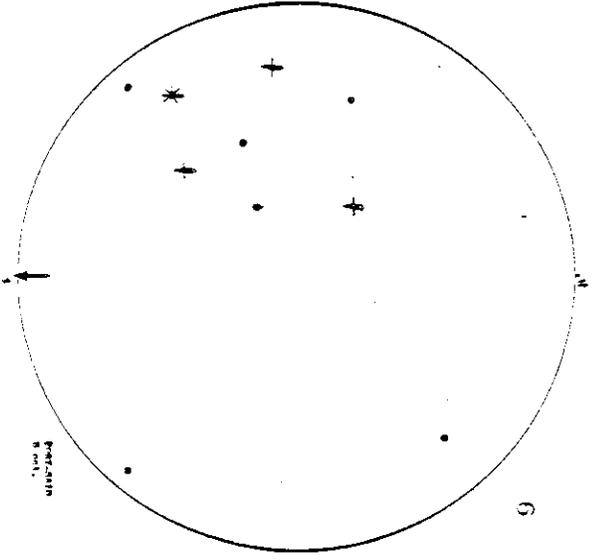


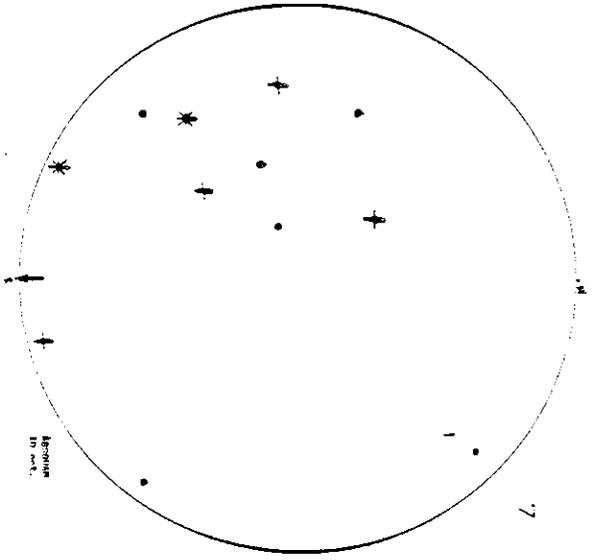
Figure 5 : Les dix cartes obtenues



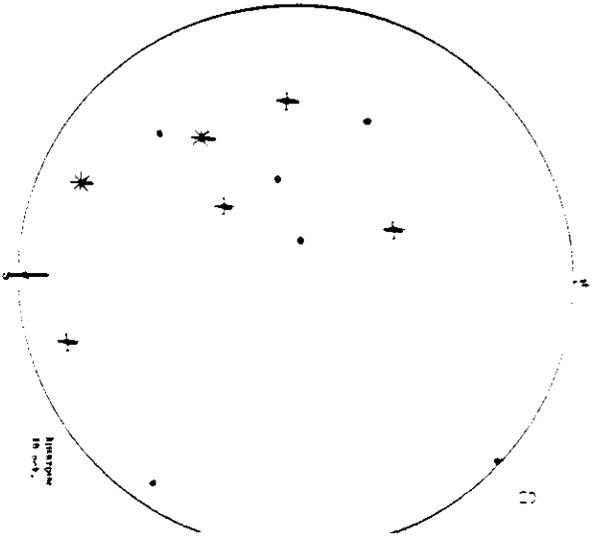
Glypore (03/10)



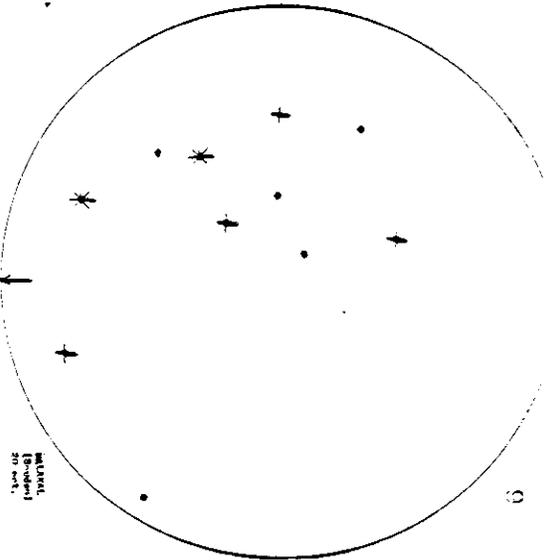
Port-Saïd (05/10)



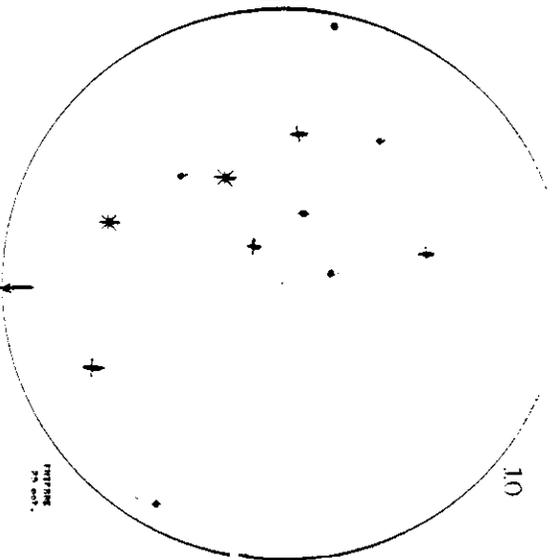
Assouan (10/10)



Khartoum (15/10)



Paljakal (20/10)
Figure 5 (suite)



Entebbe (25/10) B: Brème.
E: Entebbe.

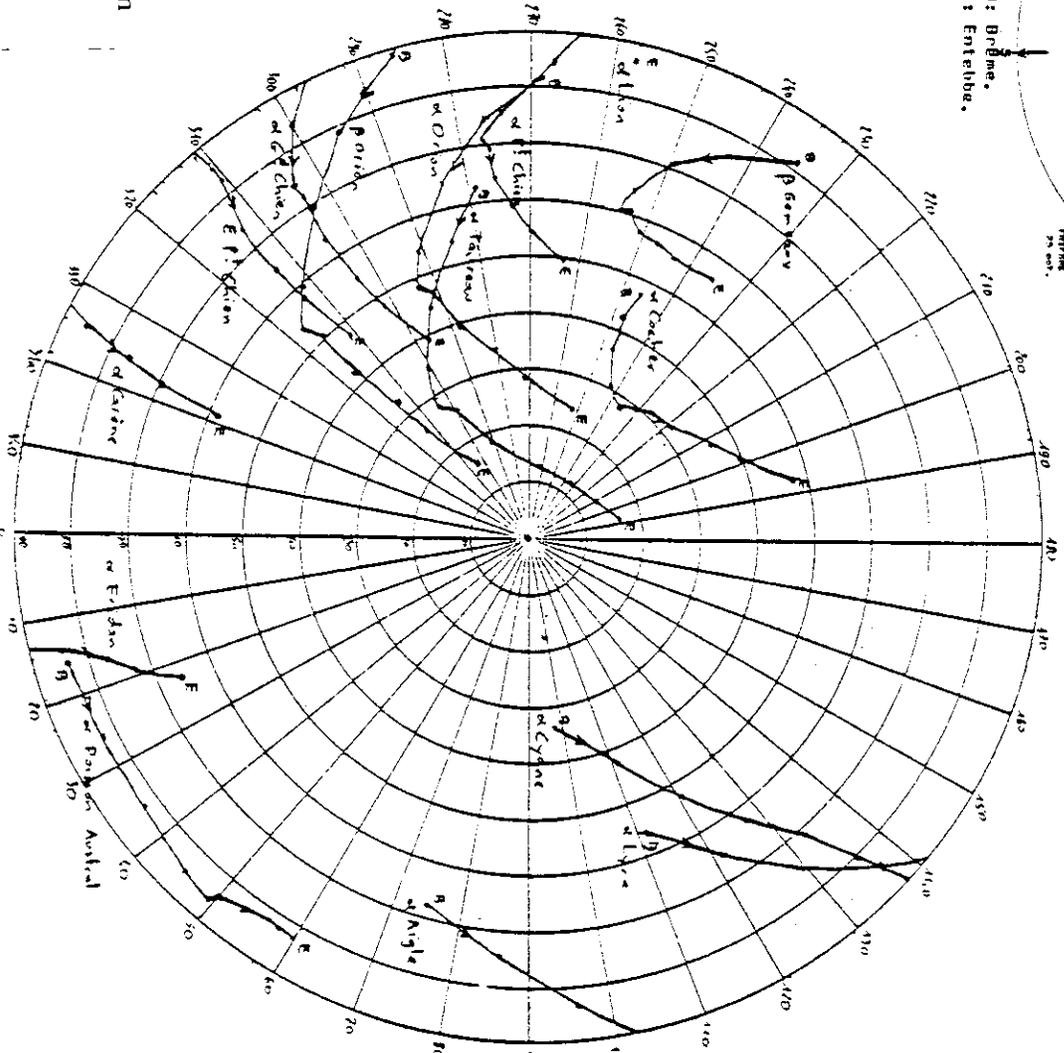
symboles représentant les
diverses magnitudes:

magnitude: m	symbole
$m \in [1,5; 0,5]$.
$m \in [0,5; -0,5]$	+
$m \in [-0,5; -1,5]$	*

Figure 6 :

Variation globale de la carte stellaire

Déplacement apparent des étoiles
dans le ciel pendant la migration
de Brème à Entebbe.



LISTE DES ÉTOILES

α Taureau (Aldebaran)	magn. 0,4
α Corber (Ishure)	0,1
α Orion (Betelgeuse)	0,6
α P. chien (Procyon)	0,4
β Gémeaux (Pollux)	1,1
α Lion (Regulus)	1,1
α Bouvier (Arcturus)	0
α Lyre (Véga)	0
α Aigle (Altair)	0,1
α Cygne (Deneb)	1,1
α Eridan (Achernar)	0,5
β Orion (Rigel)	0,2
α Corène (Canopus)	-0,6
α Sid. chien (Sirius)	-1,4
α P. chien (Antares)	1,5
α Croix (Mimosa)	1,2
α Vierge (I. Épi)	1
α Centaure (Rigel Kentarus)	0,1
α Scorpion (Antares)	0,9
α Poisson Austral (Fomalhaut)	1,1
α Croix (Ishure)	1,5