

LA CALCULETTE DE L'ASTRONOME

COMMENT RELEVÉR LES COORDONNÉES D'UN ASTRE SUR UN CLICHÉ ASTRONOMIQUE

► Nombreux sont les astronomes amateurs qui pratiquent aujourd'hui l'astrophotographie. Ceux-là savent donc qu'il peut arriver que l'on ait besoin de relever sur l'un de ces clichés la position précise d'une planète, d'un astéroïde ou, pourquoi pas, d'une comète nouvellement découverte. L'échelle du cliché n'étant jamais exactement la même que celle des cartes célestes existantes, aucune superposition n'est donc possible; en outre, les cartes célestes sont établies suivant divers systèmes de projection, qui ne permettent pas une mesure facile par projection. Le problème semble donc insoluble.

Pourtant, sans avoir recours aux méthodes de "réduction" des clichés utilisées par les astronomes professionnels (méthode de Turner en particulier), beaucoup trop longues et complexes, nous pouvons, avec la méthode que nous vous proposons ce mois, parvenir à une bonne précision de localisation. Elle peut se résumer en huit étapes.

1. Effectuer un bon tirage sur papier du champ stellaire photographié. Il est évidemment préférable de travailler directement sur le négatif, mais pour éviter de le détériorer, une mesure sur tirage reste satisfaisante, bien que moins précise, en raison des déformations éventuelles du support papier et de la distorsion sur les bords (due à l'optique de l'agrandisseur).

2. Relever sur un catalogue ou une carte céleste les coordonnées équatoriales (ascension droite, déclinaison) de deux étoiles parfaitement identifiées, si possible pas trop proches l'une de l'autre, mais pas non plus situées sur les bords du cliché, pour la raison évoquée plus haut.

3. Déterminer les coordonnées graphiques de ces étoiles de référence: le côté gauche du cliché sera l'axe des ordonnées; le bord inférieur, celui des abscisses. Ce cliché aura bien entendu été préalablement orienté pôle céleste vers le haut (nord ou sud selon le cas); ainsi, les déclinaisons iront croissant vers le haut (en valeur absolue), et les ascensions droites croissant vers la gauche, comme sur les cartes célestes (figure 1).

4. Calculer à l'aide du programme (1^{re} partie) l'échelle de transformation du cliché, c'est-à-dire le nombre de degrés par millimètre.

5. Tracer sur un papier calque millimétré, de format un peu supérieur à celui du cliché, des divisions de degré en degré ou de 0,1° en 0,1° selon le champ couvert, de manière à former une grille. Puis tracer alors les grandes divisions correspondant aux ascensions droites et aux déclinaisons de cette région du ciel. Par exemple: un axe pour 10 h en alpha (150°) et un autre pour 10° en delta, si vous avez photographié la constellation du Lion.

6. Porter sur cette grille la position des deux étoiles de référence, d'après leurs coordonnées relevées par ailleurs.

7. Superposer cette grille sur le cliché de manière à ce que les deux étoiles viennent le mieux possible en coïncidence avec celles de la grille (ce positionnement est encore plus précis dans le cas où l'on dispose de trois étoiles de référence). Une lecture directe vous fournit alors les coordonnées précises de l'astre à localiser. Inversement, cette méthode peut vous permettre d'identifier facilement un astre de faible luminosité (astéroïde par exemple) dont vous connaissez les coordonnées, mais qu'il est difficile de situer dans le fourmillement des étoiles.

8. Pour une mesure précise des coordonnées, il est recommandé de faire ensuite appel au programme (2^e partie), dans lequel doivent être introduites: la position (alpha, delta) de l'étoile de référence la plus proche; les coordonnées graphiques (X, Y) de cette étoile; les coordonnées graphiques (x, y) de l'astre à localiser; et l'échelle de transformation du cliché (E), calculée par le premier programme. Ces coordonnées graphiques sont mesurées en prenant pour axes ceux du papier millimétré et non plus ceux des bords du cliché.

Formulation

Première partie du programme: Calcul de l'échelle de transformation du cliché.

Par application du théorème de Pythagore (dans un triangle rectangle, le carré de l'hypoténuse est égal à la somme des carrés des côtés de l'angle droit), on peut écrire que la distance angulaire sur le ciel entre deux étoiles de référence vaut:

$$d = \sqrt{\Delta x^2 + \Delta y^2}$$

avec

$\Delta x = (x_a - x_b)$ exprimé en valeur absolue.

$\Delta y = (y_a - y_b)$ exprimé en valeur absolue.

Sur le cliché de cette région du ciel, la position de ces étoiles étant mesurée par rapport aux axes perpendiculaires représentés par les bords du cliché, on peut écrire de même:

$$D = \sqrt{\Delta \alpha^2 + \Delta \delta^2}$$

avec

$\Delta \alpha = 15 (\alpha_a - \alpha_b)$ exprimé en valeur absolue.

(Le coefficient 15 permet de convertir en degrés les ascensions droites, exprimées en "heures".)

$\Delta \delta = (\delta_a - \delta_b)$ également exprimée en valeur absolue.

L'échelle de transformation, en degrés par millimètre, vaut donc:

$$E = \frac{D}{d}$$

Deuxième partie du programme:

Calcul de la position de l'astre "inconnu" (ce calcul intervient après que l'on ait fixé l'orientation réelle du cliché, comme expliqué dans le texte de présentation).

Ascension droite:

$$\alpha_x = \alpha_c \pm \left(\frac{E(X_0 - X)}{15} \right)$$

avec

α_c : ascension droite de l'étoile de référence la plus proche.

X_0 : abscisse de l'étoile.

X : abscisse de l'astre.

Déclinaison:

$$\delta_x = \delta_c \pm (E(Y_0 - Y))$$

avec

δ_c : déclinaison de l'étoile de référence.

Y_0 : ordonnée de l'étoile.

Y : ordonnée de l'astre.

E : échelle de transformation (en °/mm) calculée ci-dessus.

Utiliser le signe:

"+" si l'étoile de référence se situe à droite de l'astre (car les ascensions droites célestes croissent vers la gauche), et si cette étoile est en dessous de l'astre.

"-" si l'étoile de référence est à gauche de l'astre, et au-dessus de lui.

Ne pas oublier de prendre les valeurs absolues (sans signe) des expressions $(X_0 - X)$ et $(Y_0 - Y)$.

Application

Une photographie d'amateur, prise le 10 avril 1963 avec un

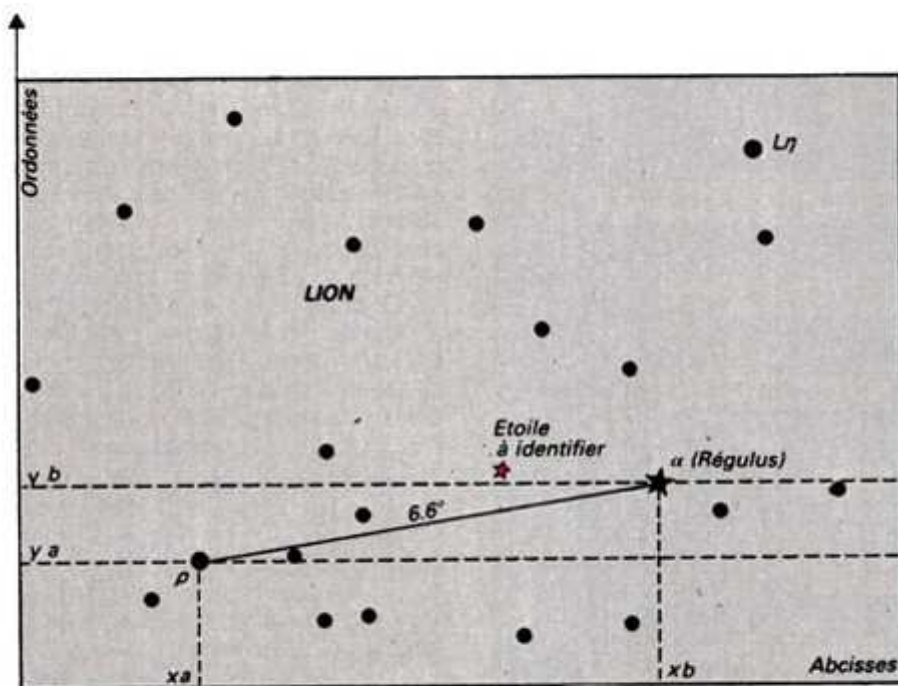


Figure 1

$$D = \sqrt{6.075^2 + 2.6^2}$$

$$= \sqrt{43.666} = 6.61^\circ$$

$$E = D/d = 6.61/68.1$$

$$= 0.097^\circ \text{ par mm.}$$

(Les résultats de ces mesures sont reportés sur la figure 2.)

Étape 8 (2^e partie du programme) : Nous disposons des valeurs numériques suivantes (voir à nouveau figure 2) :
 $X = 45$, $Y = 16$, $X_0 = 22$ et $Y_0 = 20$.

Nous avons choisi en effet l'étoile Régulus, la plus proche de l'astre cherché (rappel : $\alpha_0 = 10.143$ h, $\delta_0 = +11.9^\circ$).

$$\alpha_x = 10.143 \pm \left(\frac{0.097(22 - 45)}{15} \right)$$

L'astre étant à gauche de l'étoile de référence, nous utiliserons le signe "+".

$$\alpha_x = 10.143 + 0.149$$

$$= 10.292 = 10 \text{ h } 17.5 \text{ mn}$$

$$\delta_x = 11.9 \pm 0.097 (20-16)$$

L'astre étant au-dessous de l'étoile nous utiliserons le signe "-".
 $\delta_x = 11.9 - 0.388 = +11.50^\circ$

Il reste donc à trouver l'astre qui avait à cette date une ascension droite de 10 h 17.5 mn et une déclinaison de +11,5°. Or les éphémérides nous apprennent que, le 10 avril 1963, la planète Uranus se trouvait par 10 h 16.5 mn et +11.35°. C'est donc d'elle qu'il s'agit, car l'écart (respectivement 1/8 et 1/7 de degré) est infime.

Indications

La démarche indiquée dans le texte est simple et la programmation ne sera pas trop ardue. Le seul point délicat sera d'indiquer à la machine la position relative de l'étoile par rapport à l'astre au cours de la 2^e partie. Nous vous proposons donc d'introduire, en plus des données, une constante N, qui vaudra 1 ou 2 suivant que l'étoile de référence est à gauche ou à droite de l'astre, et précédée du signe "+" ou "-" suivant qu'elle est au-dessus ou au-dessous. Suivant les cas, le nombre $M1 = \text{ABS}(N)/N$ vaudra -1 ou +1, et de même pour $M2 = 2 \times \text{ABS}(N) - 3$. Le résultat est donné dans l'organigramme et permet de trouver les signes sans devoir faire des tests.

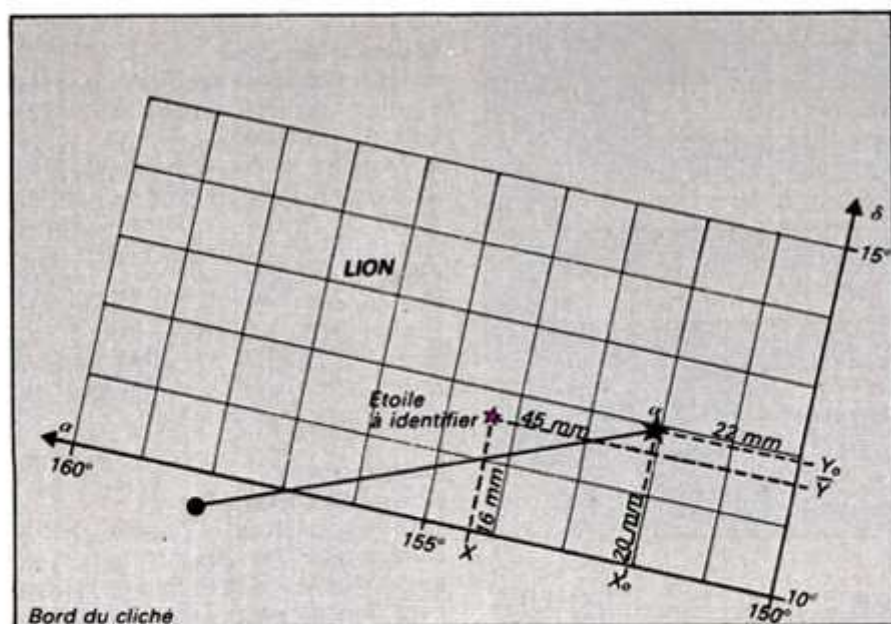


Figure 2

appareil photo ordinaire muni d'un téléobjectif de 135 mm, présente une partie de la constellation du Lion : on y voit, près de l'étoile Régulus, un astre qui n'existe pas sur les cartes célestes. Déterminez ses coordonnées exactes afin de tenter une identification sur éphémérides.

Étape 4 (1^{re} partie du programme) :

On a $x_a = 26$ mm, $x_b = 93$ mm, $y_a = 18$ mm et $y_b = 30$ mm, soit

$$\overline{\Delta x} = 67$$

$$\overline{\Delta y} = 12$$

$$\text{Donc, } d = \sqrt{67^2 + 12^2} = \sqrt{4633}$$

$$= 68.1 \text{ mm}$$

On a par ailleurs :

pour Régulus :

$$\alpha_b = 10 \text{ h } 08.6 \text{ mn} = 10.143 \text{ h}$$

$$\delta_b = +11.9^\circ$$

pour ρ du Lion :

$$\alpha_a = 10 \text{ h } 32.9 \text{ mn} = 10.548 \text{ h}$$

$$\delta_a = +9.3^\circ$$

$$\Delta\alpha = 15 (10.548 - 10.143)$$

$$= 15 \times 0.405 = 6.075^\circ$$

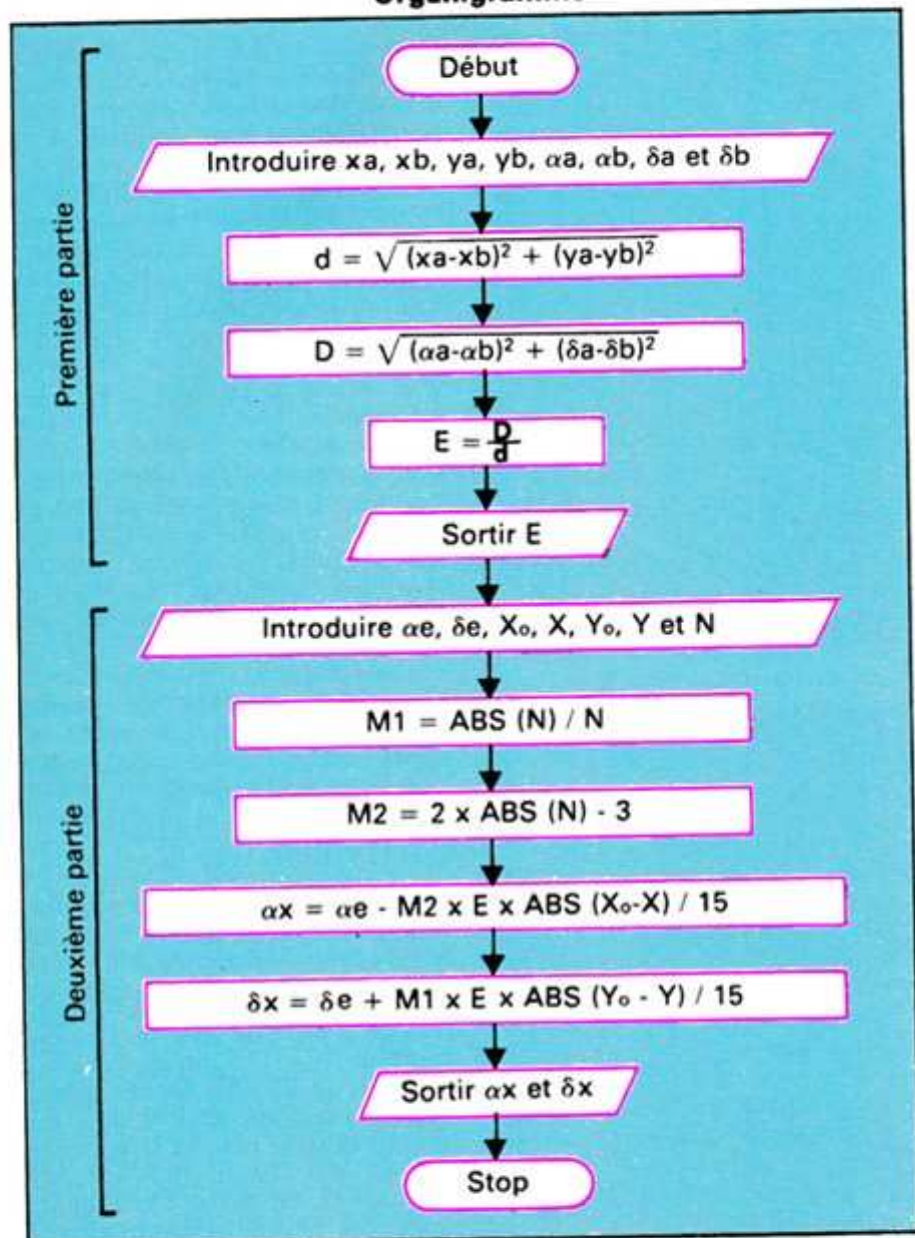
$$(\overline{\Delta\alpha} = 6.075)$$

$$\Delta\delta = 9.3 - 11.9$$

$$= -2.6 (\overline{\Delta\delta} = 2.6^\circ)$$

(suite)

Organigramme



Programme pour HP-33

01 CL x	GSB 25
STO 2	RCL 6
GSB 25	÷
RTN	RTN
CL x	RCL 1
STO 1	1
GSB 25	5
CHS	x
1	RCL 2
10 5	30 -
÷	RCL 5
RTN	-
CL x	RCL 6
STO 4	RCL 3
GSB 25	x
RCL 7	-
÷	RCL 7
RTN	RCL 4
CL x	x
	-
20 STO 3	41 RTN

Mode d'emploi

● Remplir les mémoires 5, 6 et 7 avec, respectivement : 98.9715, 0.98563 et 15.0405.

● Suivant la clé désirée, stocker les valeurs connues parmi α (en 1), L (en 2), N (en 3) H (en 4), puis faire GSB 01, GSB 05, GSB 13 ou GSB 19, suivant que l'on se trouve dans la clé 1, 2a, 2b, ou 2c. Le calcul donnera, suivant le cas : L, α, H ou N. D'après l'organigramme, α et δ sont connus simplement et on n'a pas à les calculer.

Remarque pour les 2 machines

Une explication s'impose pour comprendre les programmes. On aura constaté que l'organigramme peut se résumer en fait à l'identité :

$$15\alpha - L - 98.9715 - 0.98563N - 15.0405H = 0$$

Si, par exemple, l'on désire calculer N, en supposant connus α, L et H, il suffit de calculer l'expression ci-dessus, sans faire intervenir N (pour cela, les programmes le remplaceront par zéro). Mathématiquement, le résultat obtenu, soit $15\alpha - L - 98.9715 - 15.0405H$ vaut $0.98563N$, et il ne restera plus qu'à diviser par la constante 0.98563. De même, pour les trois autres cas, cette méthode a permis de faire entrer le programme dans les petites machines.

Pierre KOHLER
Programmation Daniel FERRO □

SOLUTION DU NUMÉRO PRÉCÉDENT

« Le passage des astres au zénith ».

Programme pour TI-57

00 LBL 0	RCL 4
1	=
5	INV SBR
x	LBL 1
RCL 1	20 CLR
-	STO 2
RCL 2	SBR 0
-	INV SBR
RCL 5	LBL 2
-	CLR
10 RCL 6	STO 1
x	SBR 0
RCL 3	+/-
-	÷
RCL 7	30 1
x	5

=	INV SBR	INV SBR
LBL 4	LBL 3	LBL 3
CLR	CLR	CLR
STO 3	STO 4	STO 4
SBR 0	SBR 0	SBR 0
÷	÷	÷
RCL 6	RCL 7	RCL 7
=	=	=
40 =	49 INV SBR	49 INV SBR

Mode d'emploi

● Remplir les mémoires 5, 6 et 7 avec, respectivement : 98.9715, 0.98563 et 15.0405.

● Suivant la clé désirée, stocker les valeurs connues α (en 1), L (en 2), N (en 3), H (en 4), puis faire SBR 1, 2, 3 ou 4, suivant que l'on veut la clé 1, 2a, 2b, ou 2c. Le calcul donnera, respectivement : L, α, H ou N (α et δ sont connus hors du programme).