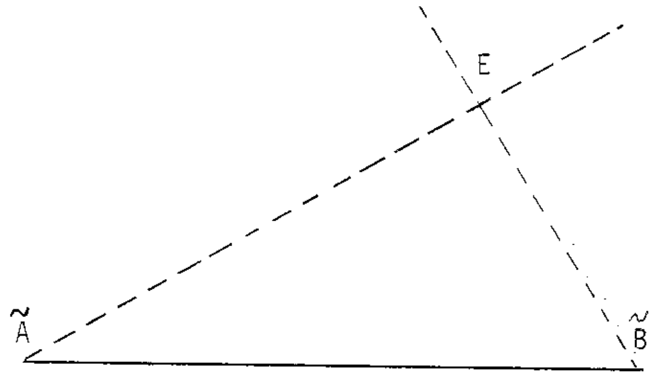
TRIANGULATION D'UN METEORE

Le 11 août 1982, plusieurs astronomes-amateurs du Club d'Astronomie de l'Université du Maine et du Club astronomique de Bercé ont photographié le ciel après concertation préalable. Le but était d'obtenir des clichés exploitables afin de déterminer la hauteur, la vitesse et la trajectoire d'une "étoile filante". La triangulation devient possible si on dispose de deux clichés pris au même instant en des lieux différents (les deux stations) ... et que l'on ait eu la chance de photographier le même météore. Ce fut le cas, à plusieurs reprises, pendant cette nuit mémorable !

Ce document a pour but de montrer comment il est possible, dans un premier temps, d'obtenir l'altitude du même point de la trajectoire de la météorite, à savoir celle du point d'explosion (E).



station 1
Le Breil sur Merize

station 2
Beaumont Pied de Boeuf

Figure 1

La figure 1 ci-dessus montre clairement que la ligne de visée $\tilde{A}E$ et la ligne de visée $\tilde{B}E$ rencontrent la voûte céleste étoilée en deux points différents. Les trajectoires des "étoiles filantes" seront décalées sur les clichés pris en $\tilde{A}$ et en $\tilde{B}$ par rapport au fond du ciel. La figure 2, résultant du compositage des deux clichés, fait voir ce décalage.

La ligne $\tilde{A}E$ rencontre la sphère céleste en E_1 et la ligne $\tilde{B}E$ en E_2. Il nous faut déterminer les coordonnées équatoriales de ces deux points en utilisant celles des étoiles repères figurant sur les clichés.

1 - Coordonnées équatoriales de E_1 et E_2.

Afin de simplifier les calculs, nous admettrons que les longueurs mesurées entre deux points images d'étoiles sont proportionnelles aux écarts angulaires de ces étoiles. Cela signifie que l'échelle du cliché exprimée par exemple en °/mm est constante sur la région concernée.
On choisit deux étoiles (1) et (2) situées de part et d'autre de la trace du météore. La ligne qui les joint donne une intersection A avec la trace.

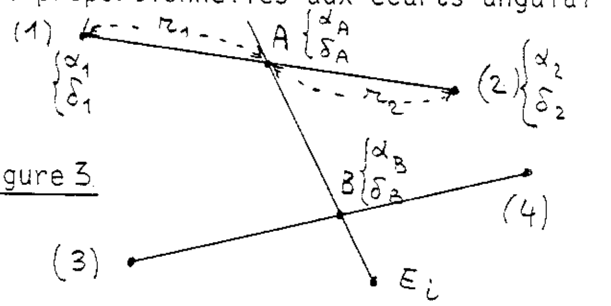


Figure 3

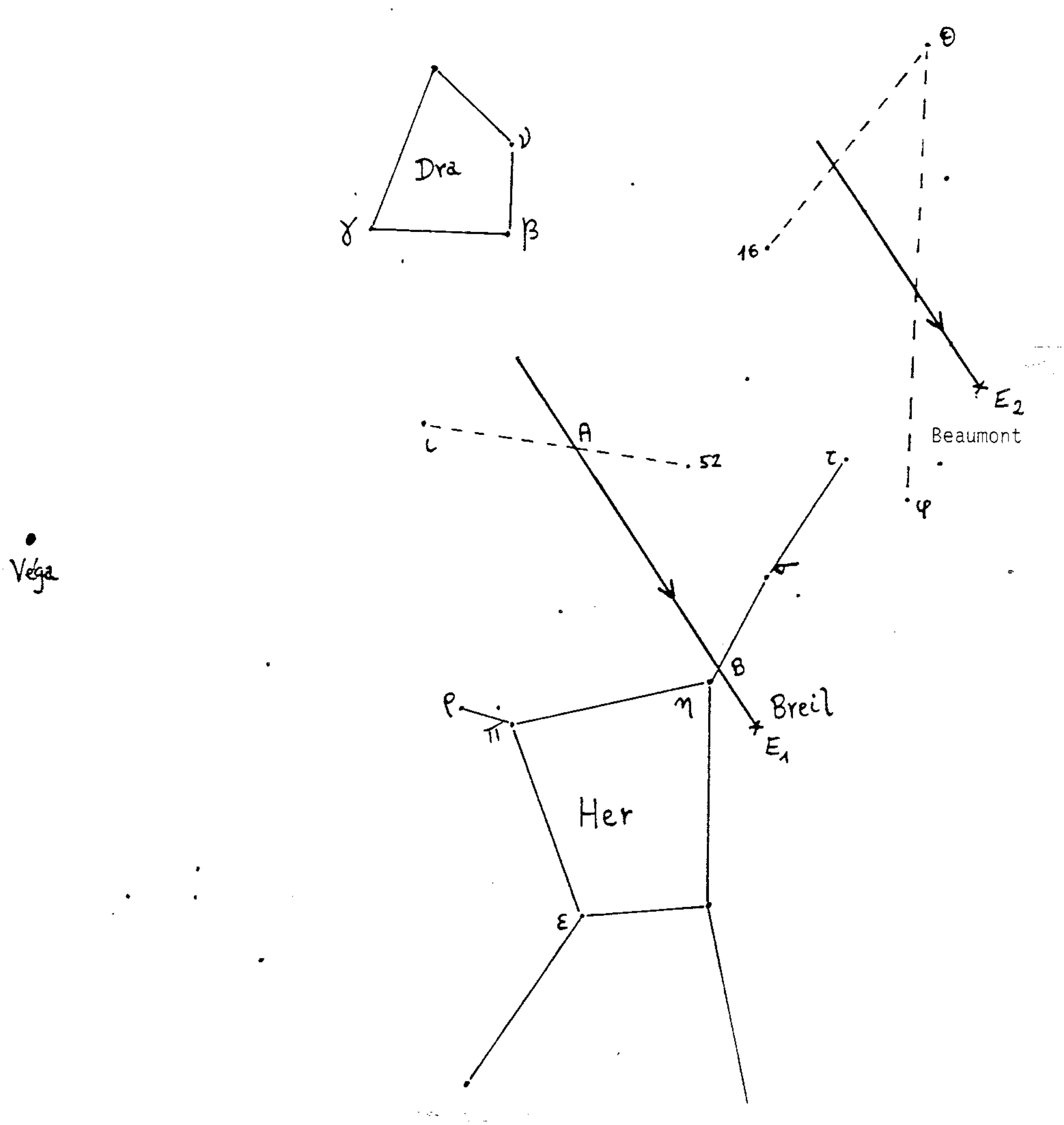


Figure n°2

L'hypothèse précédente se traduit par: $\dfrac{\alpha_1 - \alpha_A}{r_1} = \dfrac{\alpha_A - \alpha_2}{r_2} = \dfrac{\alpha_1 - \alpha_2}{r_1 + r_2}$

r_1 et r_2 étant les distances de A aux étoiles, mesurées sur le cliché. De même:

$$\frac{\delta_1 - \delta_A}{r_1} = \frac{\delta_A - \delta_2}{r_2} = \frac{\delta_1 - \delta_2}{r_1 + r_2}$$

soit, finalement:

$$\begin{cases} \alpha_A = \dfrac{1}{2}\left[\alpha_1 + \alpha_2 + \dfrac{r_2 - r_1}{r_1 + r_2}(\alpha_1 - \alpha_2)\right] \\ \delta_A = \dfrac{1}{2}\left[\delta_1 + \delta_2 + \dfrac{r_2 - r_1}{r_1 + r_2}(\delta_1 - \delta_2)\right] \end{cases}$$

Puis on refait les mêmes calculs pour obtenir les coordonnées équatoriales d'un autre point de la trace en choisissant un nouveau couple d'étoiles (3) et (4) ce qui conduit au point B.

En pratique, les coordonnées des étoiles (1), (2), (3) et (4) doivent être celles de l'instant de la prise de vue; nous lisons leurs coordonnées dans "Sky Catalogue 2000.0" et nous leur appliquons une correction de précession et de mouvement propre.

* <u>exemple</u> (voir figure 2)

	α_{1982}	δ_{1982}		
i Her	17h 38min 57s	46° 00' 55"	r_1=27 mm	r_2=22 mm
52 Her	16h 48min 42s	46° 00' 50"		
η Her	16h 42min 17s	38° 57' 21"	r_1= 3 mm	r_2=19 mm
σ Her	16h 33min 31s	42° 28' 24"		

On obtient:

$$A \begin{cases} \alpha_A = 17\text{h } 11\text{min } 16\text{s} \\ \delta_A = 46° \ 00' \ 52'' \end{cases}$$

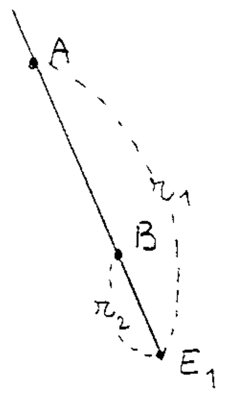
$$B \begin{cases} \alpha_B = 16\text{h } 41\text{min } 05\text{s} \\ \delta_B = 39° \ 26' \ 08'' \end{cases}$$

On détermine maintenant les coordonnées de E_1 (α_1, δ_1)

$$\alpha = \frac{1}{2}\left[\alpha_A + \alpha_B - \frac{r_1 + r_2}{r_1 - r_2}(\alpha_A - \alpha_B)\right]$$

$$\delta = \frac{1}{2}\left[\delta_A + \delta_B - \frac{r_1 + r_2}{r_1 - r_2}(\delta_A - \delta_B)\right]$$

ce qui donne $E_1 \begin{cases} \alpha_1 = 16\text{h } 33\text{min } 32\text{s} \\ \delta_1 = 37° \ 47' \ 27'' \end{cases}$



<u>Figure 4</u>

On procède de la même manière pour le point E_2:

étoiles repères:

	α_{1982}	δ_{1982}
16 Dra	16h 35min 46s	52° 56' 08"
θ Dra	16h 01min 33s	58° 36' 47"
φ Her	16h 08min 12s	44° 58' 53"

on obtient finalement

$$E_2 \begin{cases} \alpha_2 = 15\text{h } 53\text{min } 05\text{s} \\ \delta_2 = 48° \ 12' \ 11'' \end{cases}$$

2 - Coordonnées horizontales de E_1 et E_2.

Il faut appliquer la transformation des coordonnées équatoriales en coordonnées horizontales (hauteur h et azimut A). Celle-ci fait intervenir les longitudes (λ) et latitudes (φ) des deux stations ainsi que l'instant d'observation (instant sidéral T à l'endroit donné).

Date: 11 août 1982
Heure: 23h 06min 17s TU

Breil $\begin{cases} \varphi_1 = 48° \ 00' \ 22'' \\ \lambda_1 = -0° \ 28' \ 31'' \end{cases}$ Beaumont $\begin{cases} \varphi_2 = 47° \ 45' \ 38'' \\ \lambda_2 = -0° \ 24' \ 00'' \end{cases}$

$\begin{cases} \alpha_1 = 16\text{h } 33\text{min } 32\text{s} \\ \delta_1 = 37° \ 47' \ 27'' \end{cases}$ $\begin{cases} \alpha_2 = 15\text{h } 53\text{min } 05\text{s} \\ \delta_2 = 48° \ 12' \ 11'' \end{cases}$

On applique dans chaque station les formules suivantes:

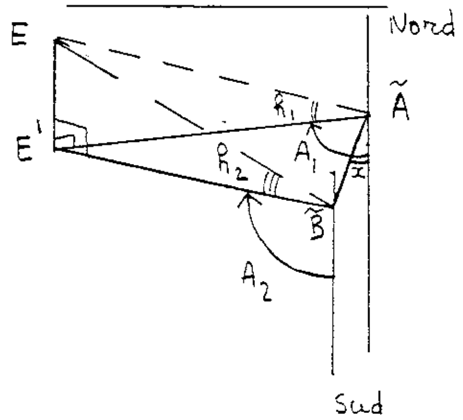
$$\begin{cases} \sin h = \sin\varphi \sin\delta + \cos\varphi \cos(T-\alpha)\cos\delta \\ \sin A = \cos\delta \sin(T-\alpha) / \cos h \\ \cos A = (\sin\varphi\cos\delta\cos(T-\alpha) - \cos\varphi\sin\delta) / \cos h \end{cases}$$

T_1 = 20h 28 min 31s
T_2 = 20h 28min 13s

on obtient les résultats suivants:

Breil $\begin{cases} h_1 = 46° \ 51' \ 51'' \\ A_1 = 98° \ 51' \ 23'' \end{cases}$ Beaumont $\begin{cases} h_2 = 45° \ 33' \ 59'' \\ A_2 = 117° \ 26' \ 19'' \end{cases}$

3 - Calcul de l'altitude.



x = azimut de $\tilde{B}$ vu de $\tilde{A}$
a = $\widetilde{A}\widetilde{B}$ = dimension de la base
E' = projection de E sur le sol
on calcule EE', l'altitude, à partir de a, x, A_1, A_2, h_1, h_2
a = 27, 87 km
x = 11,6°

$$H_1 = a \quad \sin (A_2 - x) \quad tg\, h_1 \;/\; \sin (A_2 - A_1)$$

$$H_2 = a \quad \sin (A_1 - x) \quad tg\, h_2 \;/\; \sin (A_2 - A_1)$$

ici on obtient: $H_1 = 89{,}79$ km, $H_2 = 89{,}10$ km, soit $H = \frac{H_1 + H_2}{2} = \underline{89{,}45 \text{ km}}$

4 - Position du radiant.

Le radiant est le "point du ciel" d'où semble venir l'étoile filante. Chaque trace photographique est un grand cercle de la sphère céleste. Le radiant est donc l'une des intersections des deux grands cercles dont les trajectoires font partie (figure 5)

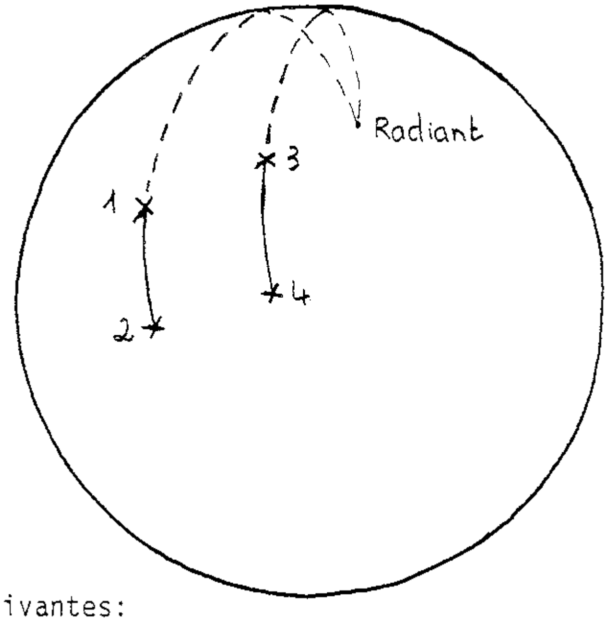


Figure 5

on applique les formules suivantes:

$$tg\,\alpha_x = (\cos\alpha_2 \, tg\,\delta_1 - \cos\alpha_1 \, tg\,\delta_2) \;/\; (\sin\alpha_1 \, tg\,\delta_2 - \sin\alpha_2 \, tg\,\delta_1)$$

$$tg\,\delta_x = -\cos(\alpha_x - \alpha_1) \;/\; tg\,\delta_1 = -\cos(\alpha_x - \alpha_2) \;/\; tg\,\delta_2$$

$$tg\,\alpha_y = (\cos\alpha_4 \, tg\,\delta_3 - \cos\alpha_3 \, tg\,\delta_4) \;/\; (\sin\alpha_3 \, tg\,\delta_4 - \sin\alpha_4 \, tg\,\delta_3)$$

$$tg\,\delta_y = -\cos(\alpha_y - \alpha_3) \;/\; tg\,\delta_3 = -\cos(\alpha_y - \alpha_4) \;/\; tg\,\delta_4$$

$$tg\,\alpha_R = (\cos\alpha_y \, tg\,\delta_x - \cos\alpha_x \, tg\,\delta_y) \;/\; (\sin\alpha_x \, tg\,\delta_y - \sin\alpha_y \, tg\,\delta_x)$$

$$tg\,\delta_R = -\cos(\alpha_R - \alpha_x) \;/\; tg\,\delta_x = -\cos(\alpha_R - \alpha_y) \;/\; tg\,\delta_y$$

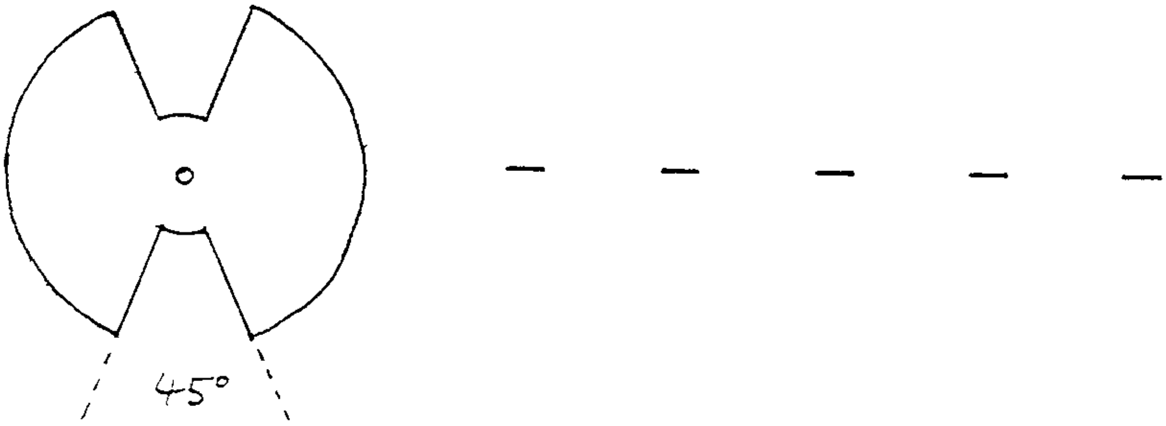
on trouve:

$\begin{cases} \alpha_1 = 17\text{h } 11\text{min } 16\text{s} \\ \delta_1 = 46° \; 00' \; 52'' \end{cases}$ $\begin{cases} \alpha_2 = 16\text{h } 33\text{min } 32\text{s} \\ \delta_2 = 37° \; 47' \; 27'' \end{cases}$ $\begin{cases} \alpha_3 = 16\text{h } 21\text{min } 12\text{s} \\ \delta_3 = 55° \; 21' \; 05'' \end{cases}$ $\begin{cases} \alpha_4 = 15\text{h } 53\text{min} 05\text{s} \\ \delta_4 = 48° \; 12' \; 11'' \end{cases}$

$\Rightarrow \begin{cases} \alpha_R = 1\text{h } 40\text{min } 23\text{s} \\ \delta_R = 29° \; 40' \; 10'' \end{cases}$ dans le "Triangle", près de M33

5 - Vitesse.

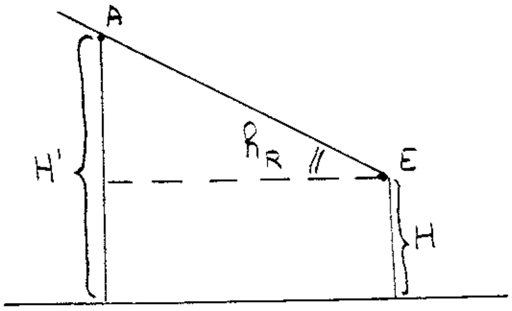
L'utilisation d'un secteur tournant placé devant l'objectif de l'appareil photo nous a "découpé" la trajectoire de la façon suivante:



Le disque entrainé par un moteur tournait à 300 tours par minute. Sur le cliché on a la trajectoire discontinue; on en déduit la durée du parcours AE soit t = 0,40 s

On connait l'altitude d'un point de la trajectoire, celle du point E (H = 89,45 km). On détermine celle du point A (Breil) H' = 99,84 km.

La dénivellation est:
H'-H = 10,39 km
La distance réellement parcourue est:
AE = 10,39 / sin h_R
avec h_R = hauteur du radiant = 29° 16' 53"
d'où AE = 21,24 km



La vitesse est donc v = AE / t = 21,24 / 0,4 = $52{,}8\ km\ s^{-1}$

* * * * * * * * * * * * * * * *

Ce document, rédigé par J.P. ROSENSTIEHL doit son existence à celle du club Astro de l'Université du Maine.

$$$

LE CLEA ET LES PETITES PLANETES

Camille Flammarion écrivit, dans la deuxième moitié du 19ème siècle, de nombreux ouvrages d'inspiration philosophique, parmi lesquels: "Uranie", livre en trois parties. Dans la deuxième, intitulée "Georges Spero", on y découvre l'aventure de deux êtres qui s'aiment mais qui finissent tragiquement au cours d'un voyage en ballon. Le monsieur est Georges Spero, quant à la jeune femme, elle se prénome ICLEA.

A la fin de l'ouvrage, Flammarion signale: "En souvenir de ce livre, le nom d'ICLEA a été donné à la 286ème petite planète découverte entre Mars et Jupiter, le 3 août 1889, par M. Palisa, astronome à l'observatoire de Vienne."

CLEA et ICLEA. Beau rapprochement homophonique. A quand une petite planète CLEA ?

Daniel BARDIN