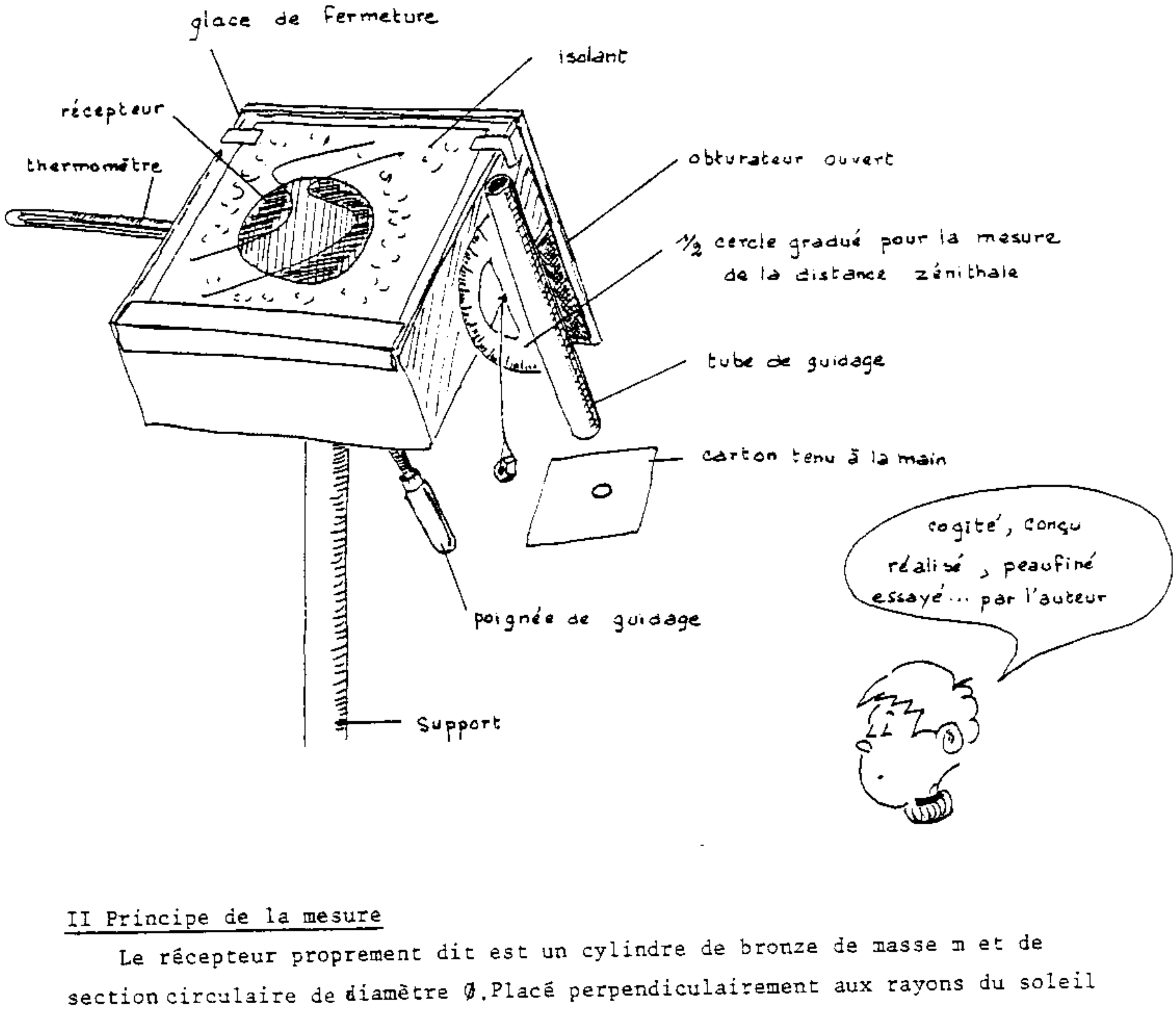
LE THERMOSECANTZETAHELIOMETRE A ROTULE

(TZM en abrégé)

I Introduction

Le TZM permet de déterminer la température effective du soleil par la mesure de deux quantités : l'échauffement d'un cylindre de bronze pendant une durée donnée et la distance zénithale. Le dessin ci-dessous reproduit ce merveilleux appareil :



II Principe de la mesure

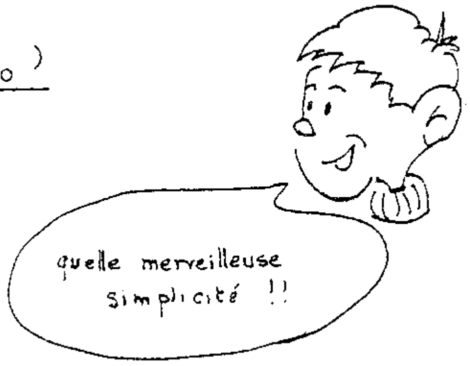
Le récepteur proprement dit est un cylindre de bronze de masse m et de section circulaire de diamètre $\emptyset$. Placé perpendiculairement aux rayons du soleil il s'échauffe. Sa température passe de Θ_o à Θ_f en t secondes. On suppose qu'il absorbe toutes les radiations qui le frappent (surface noire mate) et qu'il ne dissipe pas sa chaleur (isolant, glace de fermeture). La quantité de chaleur reçue en t secondes est (en calories) :

$$Q = m\,c\,(\,\theta_f - \theta_o\,)$$

où c est la chaleur massique du bronze.

La puissance absorbée par le cylindre est donc :

$$P = 4.18\,\frac{Q}{t} = 4.18\;\frac{m\,c\,(\,\theta_f - \theta_o\,)}{t}$$



où c est en cal.g^{-1}.°C^{-1}

$(\,\theta_f - \theta_o\,)$ en °C

m en grammes

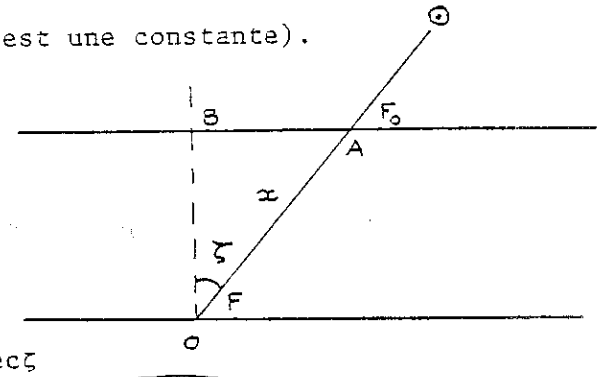
t en secondes

P en watts

· Malheureusement notre atmosphère a absorbé une partie de la puissance; comment évaluer cette absorption? Nous allons utiliser la méthode de Bouguer. Voici la méthode :

Soit F_o le flux lumineux qu'on recevrait s'il n'y avait pas d'atmosphère. La loi générale de l'absorption conduit à la relation suivante :

$F = F_o\, e^{-kx}$ où F est le flux lumineux reçu et x est la longueur du trajet dans le milieu absorbant (k est une constante).



Ici $$x = OA = \frac{OB}{\cos\zeta} = OB\ \sec\zeta$$

or OB est l'épaisseur de la couche absorbante et est supposée constante pour un jour donné.

$$F = F_o\, e^{-k\ OB\ \sec\zeta} = F_o\, e^{-K\ \sec\zeta}$$

soit en prenant les logarithmes :

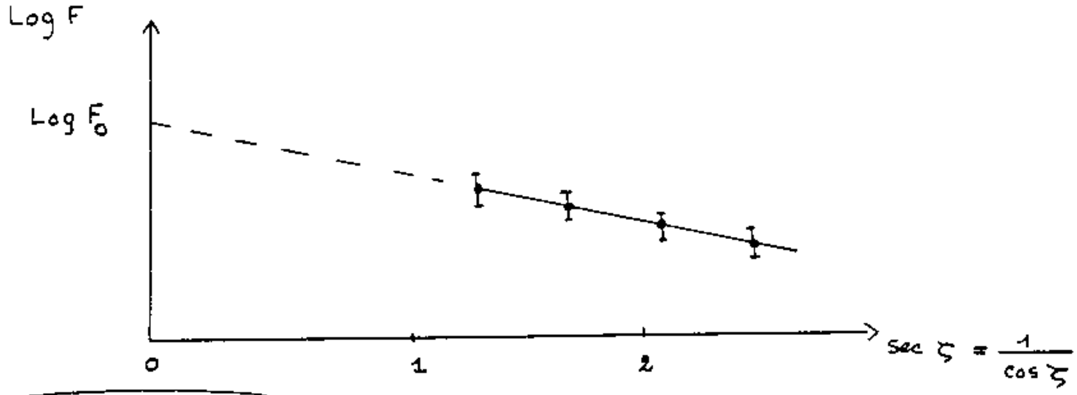
$$\mathrm{Log}\ F = \mathrm{Log}\ F_o - K\ \sec\zeta \qquad \text{(K est une constante)}$$

On voit alors que si on fait les mesures de F (flux effectivement reçu) pour les différentes valeurs de secζ (<u>id est</u> : différentes positions du soleil) on peut tracer le graphique suivant.

(on a représenté quatre mesures)

L'ordonnée à l'origine donne...Log F_o c'est-à-dire F_o (c.q.f.t.)

(ce qu'il fallait trouver)



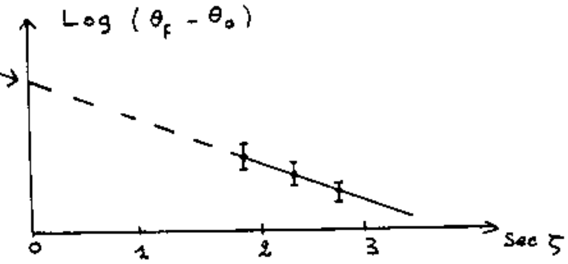
Revenons à notre cylindre de bronze

Si toutes les conditions de mesure de l'échauffement $\Theta_f - \Theta_o$ sont les mêmes (principalement la durée t de l'exposition du cylindre) pour les différentes positions ζ il suffira de faire le graphique suivant.

On en déduira Log $(\Theta_f - \Theta_o)_{H.A.}$

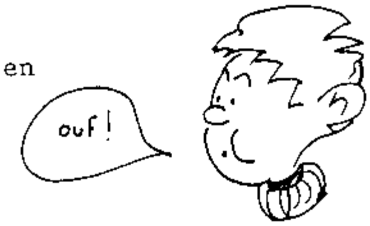
donc $(\Theta_f - \Theta_o)_{H.A.}$ qui est la

variation de température qu'on aurait enregistrée hors-atmosphère .



Nous supposerons maintenant que $(\Theta_f - \Theta_o)_{H.A.}$ est déterminé par cette méthode et nous ne nous occuperons plus de l'absorption atmosphérique.

La puissance qu'aurait absorbée notre cylindre en l'absence d'atmosphère est donc :

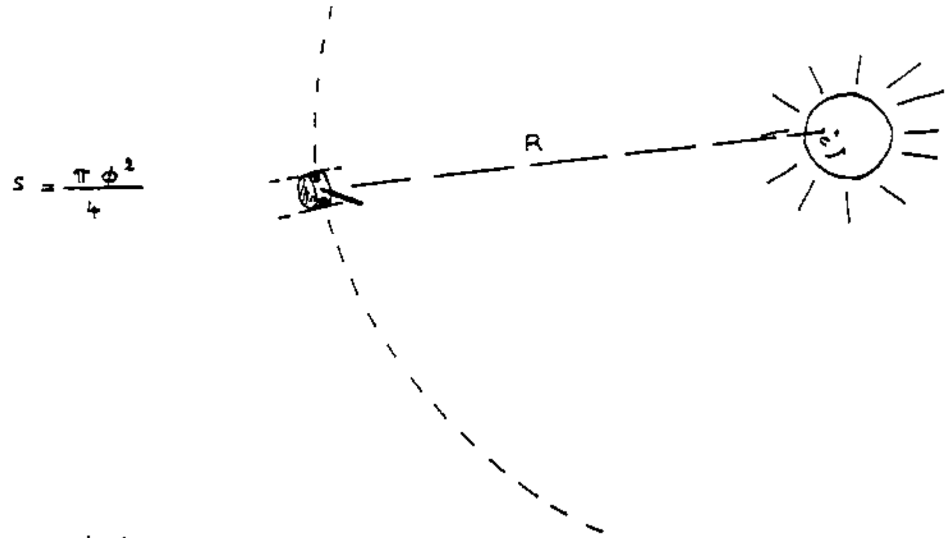


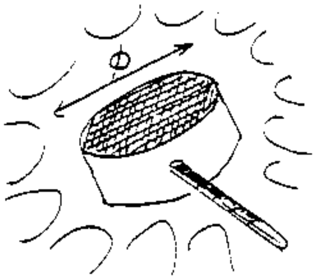
$$P_{H.A.} = 4.18 \; \frac{m \; c \; (\Theta_f - \Theta_o)_{H.A.}}{t}$$

$P_{H.A.}$ est la puissance venant du soleil et traversant la surface $s = \frac{\pi \cdot \emptyset^2}{4}$ à la distance R du soleil.

La puissance totale rayonnée par le soleil est donc :

$$P_T = P_{H.A.} \frac{S}{s} \quad \text{où S est la surface de la sphère de rayon R.}$$



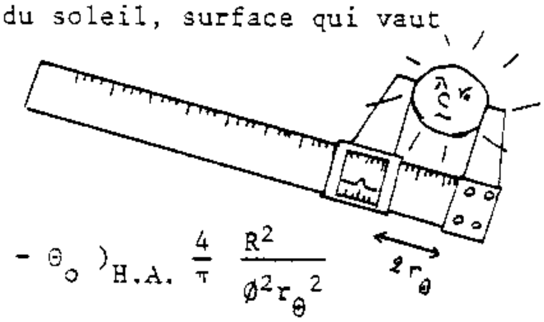


ce qui donne :

$$P_T = P_{H.A.} \frac{4\pi R^2}{\frac{\pi\emptyset^2}{4}}$$

$$P_T = 4.18 \frac{mc}{t} (\Theta_f - \Theta_o)_{H.A.} \; 16 \frac{R^2}{\emptyset^2}$$

Et toute cette foooormidable (!!!) puissance émise par le coeur du soleil doit foooorcément passer par la surface du soleil, surface qui vaut $4\pi r_\Theta^2$, où r_Θ est le rayon du soleil. Par unité de surface du soleil on a donc la puissance suivante :

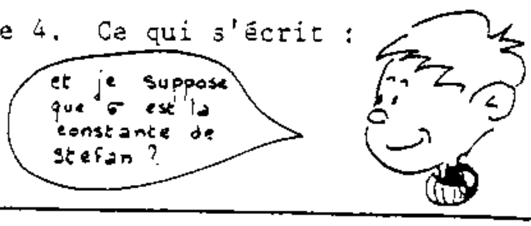


$$\underbrace{P_{p.u.s.}} = \frac{P_T}{4\pi \, r_\Theta^2} = 4.18 \frac{mc}{t} (\Theta_f - \Theta_o)_{H.A.} \frac{4}{\pi} \frac{R^2}{\emptyset^2 r_\Theta^2}$$

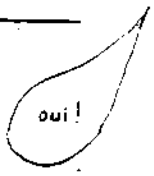
par unité de surface

Or Stefan* a montré que la puissance totale par unité de surace d'un corps chaud parfaitement émissif (appelé corps noir) est proportionnelle à sa température effective élevée à la puissance 4. Ce qui s'écrit :

$$P_{p.u.s.} = \sigma T_e^{\,4}$$

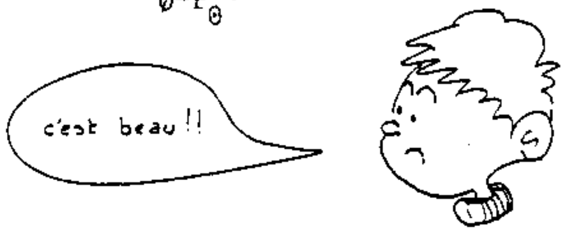


* Joseph Stefan, physicien autrichien né près de Klagenfurt (1835-1893)



T_e est la température effective.
Pour le soleil on a donc :

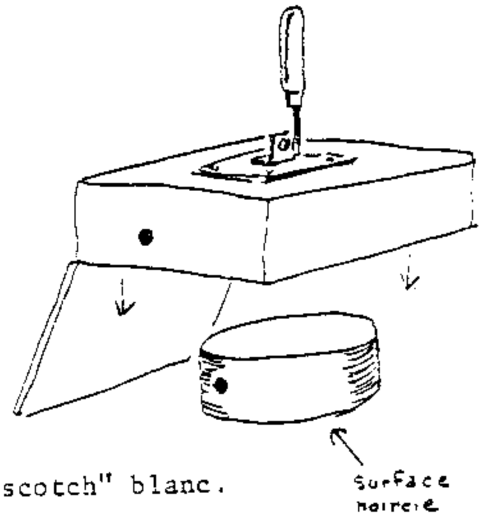
$$T_e = \sqrt[4]{4.18 \frac{mc}{t} \left(\theta_f - \theta_o \right)_{H.A.} \frac{4}{\pi} \frac{R^2}{\phi^2 r_\odot^2} \frac{1}{\sigma}}$$



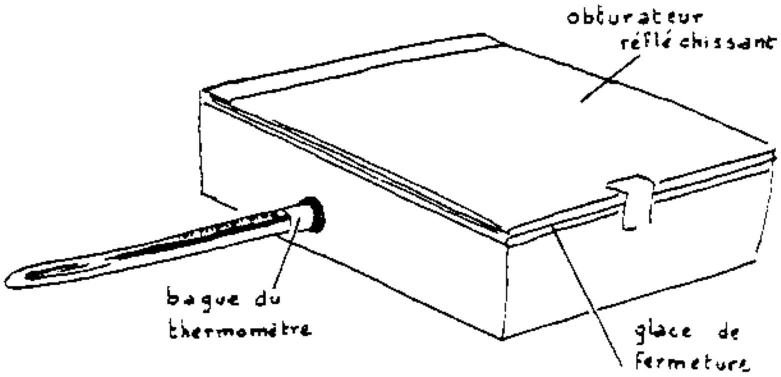
III Utilisation pratique du TZM

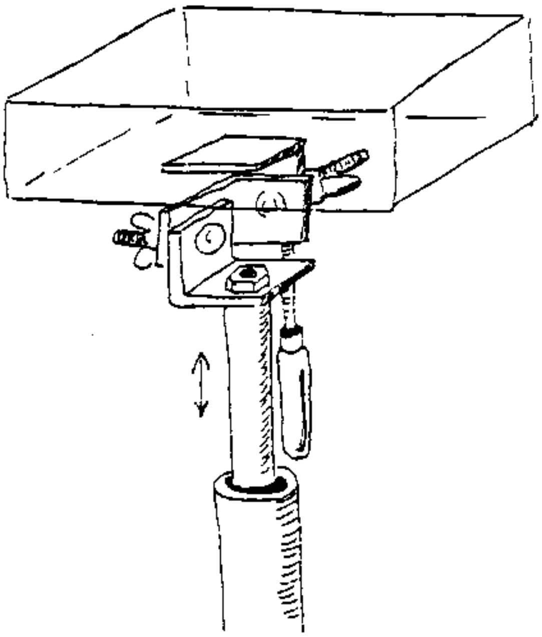
1) Montage du TZM

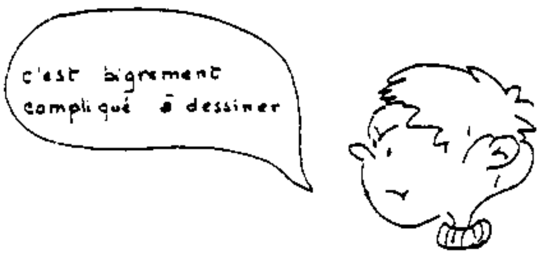
- On commence par mettre le cylindre de bronze dans l'isolant en veillant à ce que le trou prévu pour le thermomètre soit juste en face du trou correspondant de la boîte.
Pour ne pas abîmer l'isolant de la boîte il est préférable de tenir le cylindre et de le "coiffer" avec la boîte.

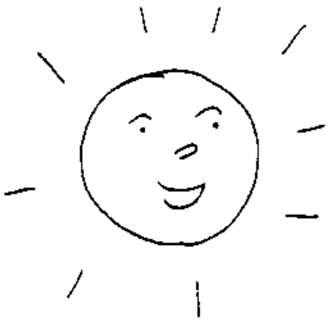


- On met en place le thermomètre qui doit entrer sans efforts jusqu'à la bague de "scotch"
- On place alors la glace de fermeture dont la charnière est faite de "scotch" blanc.
- On fixe alors la boîte sur la rotule.
- On attend qu'il fasse beau en laissant le cylindre atteindre sa température d'équilibre.

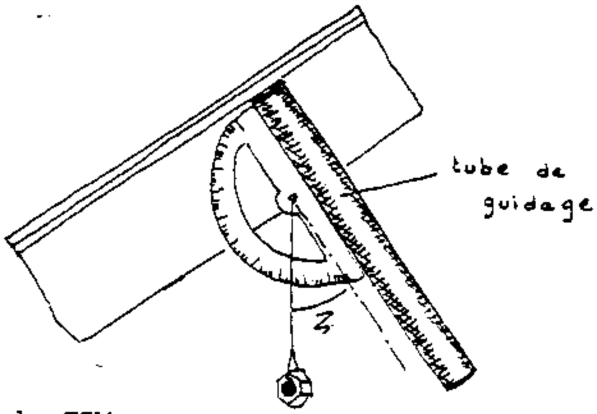








"Notes à benêts" :
- On évitera de mettre les doigts sur la surface noircie
- On pourra caler le cylindre dans l'isolant avec des petits bouts de carton.
- On n'oubliera pas d'accrocher le fil à plomb sur le demi-cercle gradué, pour pouvoir lire ζ facilement.



2) <u>Mode opératoire pour utiliser le TZM</u>

Le cylindre du TZM ayant atteint sa température d'équilibre (il faudrait avoir 20°C au maximum) on attend que le soleil passe au méridien. On a pris soin de fixer soigneusement le tube support (enfoncé dans le sol ou mieux, fixé sur une barrière avec des sandows) quand le soleil arrive au méridien on apporte le TZM qu'on glisse dans le tube support, le couvercle obturateur étant <u>fermé</u>.

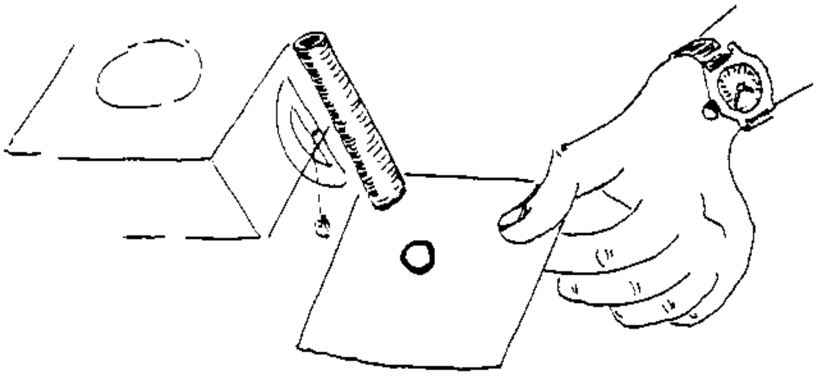
On oriente alors l'appareil en manoeuvrant les écrous papillons et en se servant du tube guide.

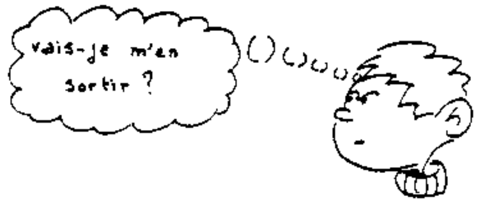
<u>Note sur l'utilisation du tube de guidage</u>

Sur le carton on a l'aspect suivant quand l'appareil est bien orienté :

quand l'appareil est mal orienté on a ceci →

Un individu normal n'a donc pas de problèmes pour le guidage.





Au moment choisi pour le début de la mesure on note sur un papier :

Θ_o température de départ (en degrés Celsius)

h_o heure de départ

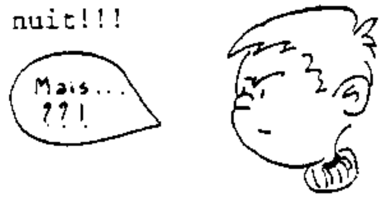
ζ_o distance zénithale en degrés (angle)

On ouvre l'obturateur et on surveille en permanence la bonne orientation du TZM.

Une durée de pose correcte est environ 15 minutes = 900 s.
(il ne faut absolument aucun nuage). On note au bout des 15 minutes Θ_f , h_f , et ζ_f. (température, heure, distance zénithale).

On a ainsi la première mesure : $\Theta_f - \Theta_o$, $t = h_f - h_o$, $\zeta = \frac{(\zeta_o + \zeta_f)}{2}$

quelques heures plus tard on recommence la même mesure. Le soleil est alors plus bas (ζ est plus grand) ainsi de suite...jusqu'à la nuit!!!



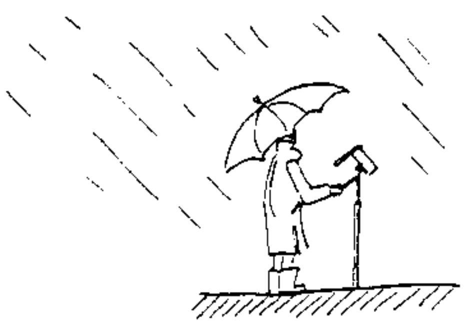
On a alors le tableau suivant (par exemple)

numéro de la mesure	$(\Theta_f - \Theta_o)$	ζ	t
1	7,25°C	22°	900 s.
2	6,75°C	30°	900 s.
3	5,50°C	40°	900 s.
4	4,00°C	50°	900 s.

"Notes à benêts" : entre chaque mesure on a mis l'appareil dans un endroit frais et on a ouvert l'obturateur et la glace de fermeture pour faciliter le refroidissement.

IV Traitons un exemple avec les mesures faites à St Genis-Laval

Par manque de beau temps nous n'avons obtenu que deux mesures et pire pour deux jours différents. Nous supposerons donc que l'absorption atmosphérique était la même pour ces deux jours.



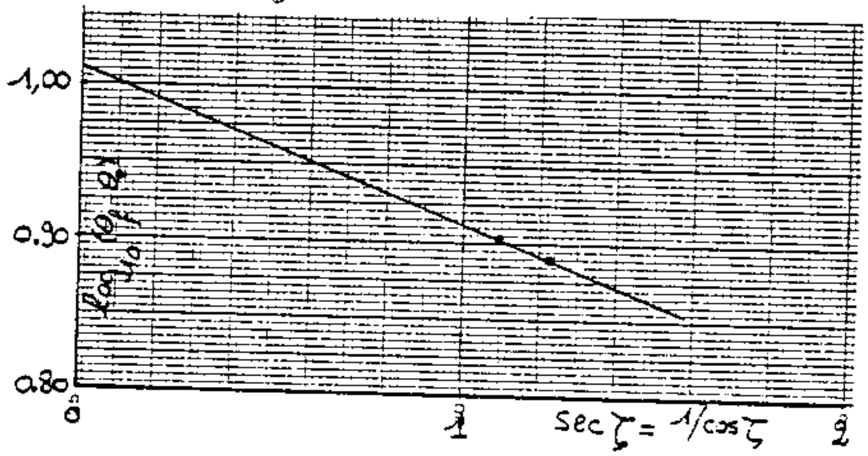
Les résultats furent les suivants :

mesure	$\theta_f - \theta_o$	ζ	t
1	7,25°C	35°	840 s
2	8,00°C	23,5°	900 s

Attention : il faut ramener les mesures à une même durée par une règle de trois on obtient le tableau corrigé et complété :

mesure	$\theta_f - \theta_o$	ζ	t	$\sec\zeta$	$\log_{10}(\theta_f - \theta_o)$
1	7,77°C	35°	900 s	1.22	0.890
2	8,00°C	23,5°	900 s	1.09	0.903

On construit la droite de Bouguer :



On lit la courbe $\log_{10}(\theta_f - \theta_o)_{H.A.} = 1.01$ ce qui donne

$(\theta_f - \theta_o)_{H.A.} = 10,22°C$

la masse du cylindre est $m = 961$ g.

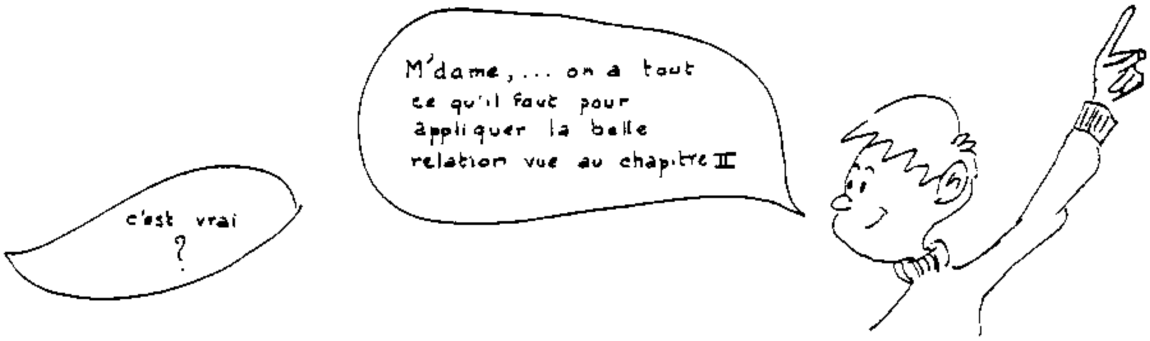
la chaleur massique du bronze sera prise égale à $c = 0,1$ cal.g^{-1}.°C^{-1}.

le diamètre du cylindre est $\emptyset = 0,07$ m.

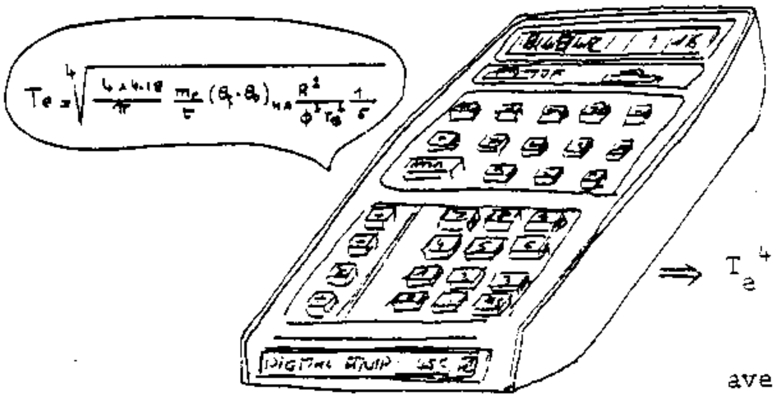
le rapport (distance θ/rayon θ) vaut <u>en moyenne</u> :

$$R/r_\theta = 23400/109$$

la constante de Stefan vaut : $\sigma = 5,67\ 10^{-8}\ W.m^{-2}\ K^{-4}$



appliquons grâce à l'indispensable machine :



$$\Longrightarrow T_e^{\,4} = 8{,}4842.10^{16} \, \frac{(\theta_f - \theta_o)_{H.A.}}{t}$$

avec $(\theta_f - \theta_o)_{H.A.} = 10{,}22°C$ et $t = 900$ s

on trouve $T_e = 5571°K$

Note à pas benêts : Pour améliorer les résultats :

- On peut commencer par de meilleures mesures, pour avoir une meilleure droite de Bouguer
- On peut utiliser la vraie valeur de la distance terre-soleil pour le jour considéré.
- On peut prendre une meilleure valeur de c.
pour un bronze moyen (85% Cu; 15% Sn) on a une valeur de c plus faible
$c = 0.0856$ cal.g^{-1}.°C^{-1}
- constante de Stefan $\sigma = 5{,}66961.10^{-8}$ $W.m^{-2}.K^{-4}$
- équivalence 1 calorie = 4, 1840 joules.
- On peut estimer l'absorption de la glace de fermeture.

G. Paturel