



## 9. Étoiles et galaxies

Collège, Lycée

### OBJECTIFS

- Comprendre comment on a repéré les étoiles et déterminé leur distance, leur rayon, leur température....

### INTRODUCTION

Le monde des étoiles et des galaxies est vaste. Il oblige à manipuler les puissances de 10 et les logarithmes. Plusieurs thèmes croisent ici le programme de physique.

La représentation de la Grande Ourse permet des exercices simples qui seront complétés au chapitre sur les cartes du ciel. Les exercices suivants abordent les calculs de distance, de masse, de masse volumique, de température ou de luminosité.

### EXERCICES

1	6 <sup>e</sup>	Angles.
2	5 <sup>e</sup>	Coordonnées cartésiennes dans un plan.
3	2 <sup>de</sup>	Coordonnées dans l'espace.
4	4 <sup>e</sup>	Puissances de 10.
5	4 <sup>e</sup>	Vitesse, puissances de 10.
6	3 <sup>e</sup> - 1 <sup>ere</sup>	Trigonométrie ou radians, puissances de 10.
7	3 <sup>e</sup> - 1 <sup>ere</sup>	Trigonométrie ou radians, puissances de 10.
8	3 <sup>e</sup>	Volume d'une sphère, masse volumique.
9	T	Puissance, volume d'une sphère, racine quatrième.
10	3 <sup>e</sup> - 1 <sup>ere</sup>	Puissance, volume d'une sphère, racine carrée.
11	T	Suite géométrique, logarithmes décimaux.
12	T	Logarithmes décimaux.

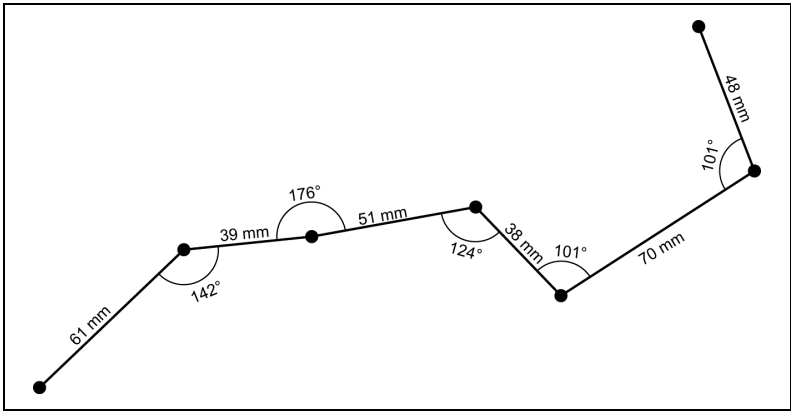
### SUPPLÉMENTS

Vous trouverez en plus sur le CD les solutions avec des commentaires, des feuilles de calcul pour les solutions des exercices 10, 11, 12, une animation en java montrant la Grande Ourse en 3D ainsi que les schémas de la Grande Ourse en format SVG et PNG pour les exercices 1 et 2.

# Constellations

## 1. La Grande Ourse en 2D (1)

Sur une feuille A4, reproduire la Grande Ourse en respectant les mesures indiquées.



En tenant son dessin à 50 cm de ses yeux, on voit la constellation de la même dimension apparente que dans le ciel.

## 2. La Grande Ourse en 2D (2)

Sur une demi-feuille de papier millimétré, reproduire la Grande Ourse dans un repère du plan en utilisant les coordonnées des différentes étoiles. Joindre ensuite les étoiles dans l'ordre du tableau, de Dubhe à Benetnash.

Dubhe	Merak	Phekda	Megrez	Alioth	Mizar	Benetnash
(6,2 ; 4,1 )	(7,4 ; 1 )	(3,3 ; -1,7 )	(1,5 ; 0,2 )	(-2,1 ; -0,4 )	(-4,7 ; -0,6 )	(-7,9 ; -3,6 )

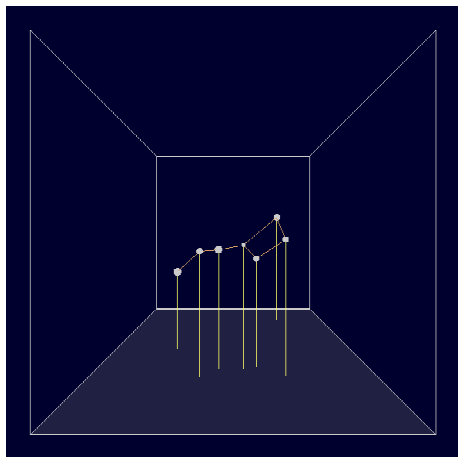
En tenant son dessin à 35 cm de ses yeux, on voit la constellation de la même dimension apparente que dans le ciel.

## 3. La Grande Ourse en 3D

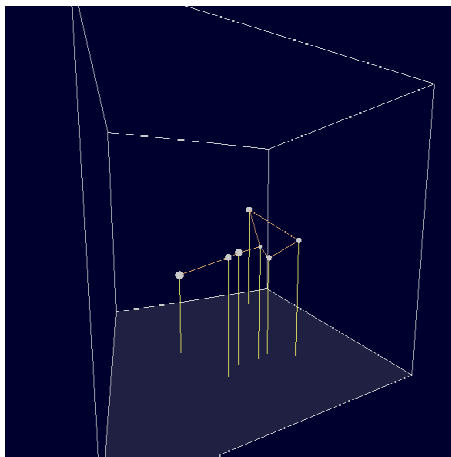
	X	Y	Z
Dubhe	256	- 45	55
Mérak	156	- 33	36
Phekda	166	- 16	23
Megrez	164	- 7	32
Alioth	163	10	29
Mizar	154	21	28
Benetnash	193	43	9

Les étoiles sont à placer dans une maquette en relief.

L'observateur terrestre doit être situé au point de coordonnées (0, 0, 40)



*La Grande Ourse en 3D*



*Changement de point de vue*

## Distances

### 4. Distances et puissances de 10

Tableau à compléter

en notation  
scientifique

Sirius		$8 \times 10^{13}$ km
Étoile Polaire	4 000 000 000 000 000 km	
Véga		$2,4 \times 10^{14}$ km
Galaxie M31	25 000 000 000 000 000 000 km	

### 5. L'année de lumière (ou année-lumière)

L'année de lumière ou année-lumière (abréviation al) est la distance parcourue par la lumière en un an à la vitesse de 300 000 km/s.

- Calculer la distance parcourue par la lumière en un an.
- La distance de l'Étoile Polaire est de 430 al. Convertir en km.
- Sirius est une étoile située à 81 000 000 000 000 km. Convertir en al.
- La galaxie du Sombrero contient des centaines de milliards d'étoiles et est située à 28 millions d'années-lumière. Calculer sa distance en km.

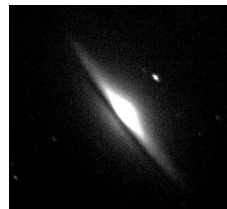
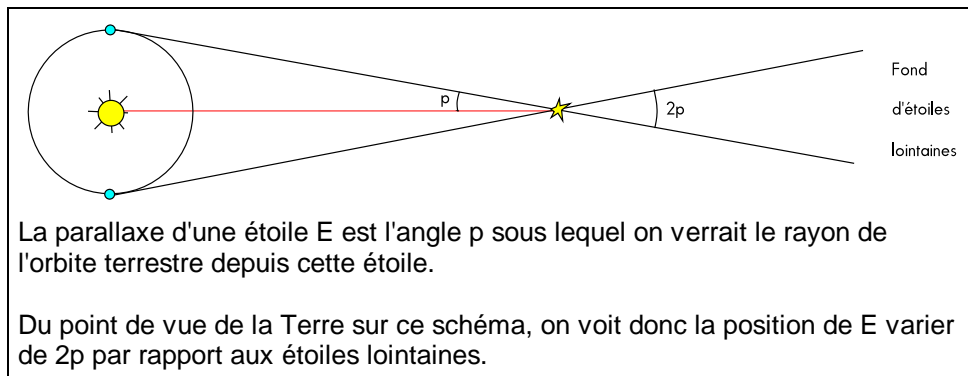


Photo SAB

## 6. Le parsec

Pour mesurer la distance d'une étoile proche, une des méthodes consiste à viser cette étoile à deux reprises à 6 mois d'intervalle. En 6 mois, la Terre s'est déplacée autour du Soleil et la direction de visée doit être légèrement modifiée. On en déduit la parallaxe annuelle de l'étoile qui est l'angle sous lequel on verrait le rayon de l'orbite terrestre depuis cette étoile. Connaissant le rayon de l'orbite terrestre, on peut calculer la distance de l'étoile.

La première parallaxe d'étoile a été mesurée par Bessel en 1838 sur l'étoile 61 du Cygne. Il trouva une parallaxe de  $0,35''$  (soit l'équivalent d'un écart de 1 cm vu à 7 km).



Cette technique a amené à définir une nouvelle unité de mesure, le parsec, abréviation de parallaxe seconde. Un parsec est la distance d'une étoile dont la parallaxe  $p$  est de 1 seconde d'arc ( $1/3600^\circ$ ).

- Convertir 1 parsec en km puis en années-lumière. Le rayon de l'orbite terrestre est de 149,6 millions de km.
- Dubhe, l'étoile la plus brillante de la Grande Ourse, est située à 38 parsecs. Donner sa distance en km et en al.
- L'étoile Pollux, dans la constellation des Gémeaux, a une parallaxe de  $0,1''$ . Calculer sa distance en parsecs.
- Quelle relation existe-t-il entre la distance  $d$  en parsec d'une étoile et sa parallaxe  $p$  ?

## Diamètres, masses, masses volumiques, température

### 7. Diamètre apparent

Une des plus grosses étoiles connues est Antarès, dans la constellation du Scorpion. On estime son diamètre à 700 fois celui du Soleil (700 000 km).

Elle est située à 600 années-lumière.

a. On demande de trouver son diamètre apparent en seconde d'arc (l'angle sous lequel on voit son diamètre depuis la Terre).

b. Dans un bon télescope terrestre, on arrive à voir des détails de l'ordre de 1" avec des méthodes classiques.

Peut-on voir le diamètre d'Antarès dans un télescope ?

### 8. Quelques types d'étoiles

	Aldébaran (géante rouge)	Soleil (étoile moyenne)	Sirius B (naine blanche)
Masse	1,7 masse solaire	$2 \cdot 10^{30}$ kg	1 masse solaire
Rayon	44 rayons solaires	700 000 km	6 000 km

Calculer la masse volumique moyenne de chacune de ces étoiles en  $\text{g/cm}^3$ .

### 9. Température du Soleil

On mesure qu'au niveau de la Terre, une surface de  $1 \text{ m}^2$  placée perpendiculairement au rayonnement reçoit du Soleil  $1\,370 \text{ W}$ .

a. Calculer la surface en  $\text{m}^2$  d'une sphère de 150 millions de km de rayon.

b. En déduire la puissance totale rayonnée par le Soleil.

c. Calculer la surface du Soleil en  $\text{m}^2$  (rayon 700 000 km).

d. En déduire la puissance émise par  $1 \text{ m}^2$  de la surface du Soleil.

e. La loi de Stefan donne la puissance émise par  $1 \text{ m}^2$  de surface d'un "corps noir",  $M$ , en fonction de sa température  $T$  en kelvin :

$$M = \sigma T^4 \text{ avec } \sigma = 5,67 \cdot 10^{-8} \text{ W} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{K}^{-4}$$

Calculer la température de surface du Soleil.

### 10. Rayon d'une étoile

Aldébaran est l'étoile principale de la constellation du Taureau. Sa couleur rouge orangée permet d'estimer sa température de surface à 4 000 K.

Connaissant sa distance et sa luminosité, on estime sa puissance totale à  $1,6 \cdot 10^{29} \text{ W}$ .

La loi de Stefan donne la puissance émise par  $1 \text{ m}^2$  de surface d'un "corps noir",  $M$ , en fonction de sa température  $T$  en Kelvin :

$$M = \sigma T^4 \text{ avec } \sigma = 5,67 \cdot 10^{-8} \text{ W} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{K}^{-4}$$

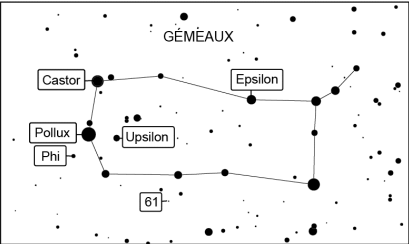
En déduire le rayon d'Aldébaran en km puis en rayon solaire ( $r_s = 700\,000 \text{ km}$ ).

# Éclat et magnitude

## 11. Magnitude apparente

Au II<sup>e</sup> siècle avant notre ère, Hipparque, un astronome grec, a classé les étoiles en 6 catégories notées de 1 à 6, par ordre décroissant d'éclat apparent. À partir du XIX<sup>e</sup> siècle, on a su mesurer l'éclat des étoiles.

Le tableau qui suit donne la grandeur d'Hipparque, de 1 à 6, ainsi que l'éclat en nW/m<sup>2</sup> (nanoWatt par m<sup>2</sup>) de quelques étoiles de la constellation des Gémeaux.



Nom (*)	Pollux (bêta 78)	Castor (alpha 66)	Mebсутa (epsilon 27)	Upsilon (69)	Phi (83)	61
Grandeur	1	2	3	4	5	6
Éclat (nW/m <sup>2</sup> )	9,6	4,4	1,8	0,65	0,28	0,12

- a. Montrer que la suite des éclats des étoiles du tableau est proche d'une suite géométrique.
- b. Montrer que si  $E_n$  est un terme d'une suite géométrique, alors on peut écrire n sous la forme  $a \log E_n + b$  (a et b étant des constantes).
- c. On a défini au XIX<sup>e</sup> siècle la magnitude m d'une étoile en fonction de son éclat E en essayant de rester proche de la notion de grandeur d'Hipparque. Mais pour être plus précis, m est cette fois un réel alors que la grandeur était un entier. Pogson a proposé une formule du type :  $m = a \log E + b$ . Pour rester proche des grandeurs d'Hipparque, on décide que, lorsque la magnitude augmente de 5, l'éclat doit être divisé par 100. En déduire la valeur de a dans la formule de Pogson.
- d. Toujours pour rester proche de l'échelle d'Hipparque, on choisit  $b = 3,6$  (si l'éclat est en nW/m<sup>2</sup>). Calculer la magnitude de chacune des étoiles du tableau avec la formule de Pogson.
- e. Calculer la magnitude de l'étoile Polaire (3,8 nW/m<sup>2</sup>), de Sirius, l'étoile la plus brillante du ciel (106 nW/m<sup>2</sup>), puis du Soleil (1370 W/m<sup>2</sup>)
- f. Quand on augmente la magnitude de 1, par quel nombre est multiplié l'éclat ?
- g. Mettre le résultat de la question f à la puissance 5. Expliquer.

(\*) Les étoiles les plus brillantes ont reçu un nom grec, romain ou arabe. Bayer, un astronome allemand, a utilisé des lettres grecques. Puis Flamsteed, un astronome anglais, a numéroté une partie des étoiles de chaque constellation. La plupart des étoiles ont ainsi plusieurs noms : Pollux, un des deux gémeaux (jumeaux) de la légende grecque, fils de Léda avec son frère Castor, est le nom de l'étoile la plus brillante de la constellation des Gémeaux qui s'appelle aussi bêta Geminorum ou 78 Geminorum (des Gémeaux), Hipparcos 37795 (n°37795 du catalogue Hipparcos)....

## 12. Magnitude absolue

La magnitude apparente  $m$  d'une étoile est définie par la formule :

$m = -2,5 \log E + C$  où  $E$  est l'éclat observé depuis la Terre et  $C$  une constante (qui dépend de l'unité choisie pour  $E$ ).

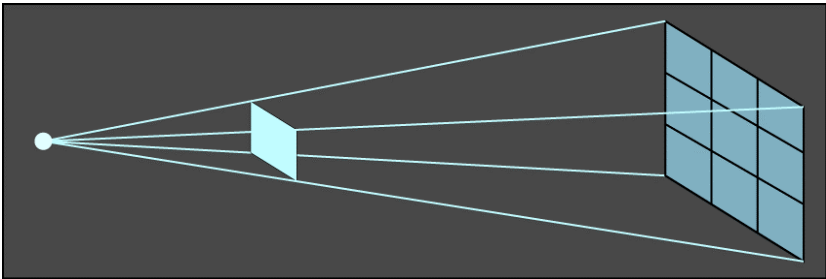
La magnitude apparente d'une étoile dépend donc de sa distance.

Pour comparer la luminosité des étoiles (la puissance rayonnée dans toutes les directions), on définit leur magnitude absolue  $M$  en ramenant toutes les étoiles à la même distance, 10 parsecs.

Rappel : le parsec est la distance d'une étoile depuis laquelle on voit le rayon de l'orbite terrestre sous un angle de  $1''$ .  $1 \text{ parsec} = 3,26 \text{ années-lumière}$ .

**a.** Écrire  $m - M$  en fonction de  $d$ , la distance en parsec ( $m - M$  s'appelle le module de distance).

*Aide : l'éclat d'une étoile est inversement proportionnel au carré de la distance puisqu'il s'agit d'une puissance surfacique. Si on multiplie la distance à l'étoile par 3, la surface à éclairer par un même faisceau de lumière est multipliée par 9. La puissance reçue par chaque unité de surface est donc divisée par 9.*



**b.** Calculer la magnitude absolue de l'étoile Polaire (distance 132 parsecs, magnitude apparente 1,97).

**c.** Calculer la magnitude absolue du Soleil (distance 150 millions de km, magnitude apparente  $-26,8$ ).

**d.** En analysant le spectre d'une étoile, on peut déterminer sa magnitude absolue. On a trouvé par exemple  $-8,73$  pour Deneb. Sachant que sa magnitude apparente est de  $1,25$ , calculer sa distance.

