S04 Chapitre 2 : La profondeur du ciel

Objectif : Vous faire comprendre comment, à travers l'histoire, on a réussi à déterminer la distance qui nous sépare des objets célestes.

Introduction au chapitre 2 (p. 76)

Sur Terre, les arpenteurs déterminent la distance des objets inaccessibles en prenant deux lignes de visée et en déterminant l'endroit où elles se coupent, une technique que l'on nomme ________________________.

Malheureusement, cette technique est difficile à appliquer en astronomie, car plus l'objet est éloigné, plus les lignes sont ____________________ et plus l'incertitude est grande. (On verra à la section 2.5 que cette technique peut néanmoins porter fruit en astronomie.)

2.1 Un Soleil lointain (p. 77)

Quelle observation simple prouve sans équivoque que le Soleil est plus éloigné que la Lune ?

____

L'astronome grec ____________________ a réalisé que le rapport entre la distance Terre-Soleil et la distance Terre-Lune peut être calculé à partir de la mesure de l'angle θ entre _______________ et _______________ dans le cas précis où la Lune, vue de la Terre, est ______________________________.

Si le Soleil est beaucoup plus loin que la Lune, l'angle θ vaut environ __________. Si le Soleil est à peine plus loin que la Lune, l'angle θ ___________________________________.

> Dans un examen vous devriez être en mesure de faire un schéma qui illustre ce que vous venez d'inscrire dans le paragraphe précédent, ce qui revient à reproduire la **figure 2.2**.

Dans la réalité, l'angle θ est très proche de _______ et la moindre différence sur la valeur de l'angle θ modifie énormément le résultat. Aristarque trouve que le Soleil est _______ fois plus loin que la Lune, mais en réalité, il est _______ fois plus loin !

Même avec ses résultats erronés, Aristarque conclut correctement que ___________ est plus gros que la Terre. Il pense que le Soleil est ______ fois plus loin que la Lune, mais puisque le Soleil et la Lune ont le même ____________________ vu de la Terre, c'est que le Soleil est ______ fois plus gros que la Lune. Or, une éclipse de Lune révèle que le diamètre lunaire est compris entre ____________ et ____________ du diamètre terrestre. Il en résulte que le Soleil est de ______ à ______ fois plus gros que la Terre.

Donnez le calcul explicite qui permet de trouver les deux derniers chiffres que vous venez d'écrire :

____

Aristarque en conclut que _______________ tourne autour _______________, mais personne ne le prend au sérieux !

2.2 La taille de la Terre (p. 79)

La méthode d'Aristarque ne fait intervenir que des distances relatives les unes aux autres ; pour convertir en grandeurs absolues, ça prend un _______________, c'est-à-dire une longueur connue de base. Historiquement, la première quantité de ce genre en astronomie a été ___________________.

________________ était le bibliothécaire en chef de la célèbre bibliothèque ________________.
Il savait qu'au même moment, les rayons du Soleil sont parfaitement verticaux dans une ville du ______ de l'Égypte (comment le savait-il ? ____), tandis qu'à Alexandrie, au ______ de l'Égypte, ils font un angle de 7° avec la verticale (comment a-t-il déterminé cet angle ? ________________________ ____________________). Il savait aussi que puisque le Soleil est très loin (d'après Aristarque), les rayons du Soleil sont ______________________.
Par simple géométrie, il put ainsi conclure que la distance entre les deux villes vaut 7° comparativement à 360° pour la circonférence de la Terre. Comme on connaissait la distance entre les deux villes (comment ? ______________________

_________________), il devenait possible de déterminer la circonférence de la Terre par règle de trois. Il obtient ainsi un écart de ________ % avec la valeur réelle !

Dans un examen vous devriez être en mesure de faire un schéma qui illustre ce que vous venez d'inscrire dans le paragraphe précédent, ce qui revient à reproduire la **figure 2.5**.

2.3 La distance de la Terre à la Lune (p. 80)

L'astronome grec ________________ a réalisé que la durée d'une ______________________ dépend de la distance entre la Terre et la Lune. En effet, plus le rayon de l'orbite de la Lune est __________, plus la fraction de l'orbite se trouvant __________________ __________________ est grande. Il obtient ainsi un écart de ______ % avec la valeur réelle.

Dans un examen vous devriez être en mesure de faire un schéma qui illustre ce que vous venez d'inscrire dans le paragraphe précédent, ce qui revient à reproduire la **figure 2.6**.

☒ *La section 2.4 est optionnelle.*

2.5 L'échelle du système de Copernic (p. 81)

Dans le modèle de Copernic, il est très facile de déterminer la distance entre le Soleil et une planète ________________ à partir de la simple mesure de l'angle θ qui correspond à ____.

Dans un examen vous devriez être en mesure de faire un schéma qui illustre ce que vous venez d'inscrire dans le paragraphe précédent, ce qui revient à reproduire la **figure 2.7**.

En fait, on obtient seulement un rapport entre la distance planète-Soleil et la distance Terre-Soleil. À l'époque, cette dernière distance était très incertaine (méthode d'Aristarque), et on a dissimulé le problème en définissant la distance Terre-Soleil comme valant 1 ___________________ (symbole : ____).

La distance des planètes supérieures

☑ *Cette section est au programme, mais n'est pas sujette au test de lecture.*

La sphère des étoiles éclate

Le déplacement de la position apparente d'un objet dû à un changement de position de l'observateur se nomme ________________. En exploitant le mouvement de la Terre autour du Soleil, cette quantité est assez facile à mesurer pour les planètes (figure 2.8), mais pas pour les étoiles. Il y a deux possibilités qui expliquent cela :

1. Copernic a tort : la Terre _____________________ ____.

2. Les étoiles sont __________________________ que le changement de position de la Terre au cours de l'année n'entraîne pratiquement aucune différence de perception pour un observateur terrestre.

Dans un examen vous devriez être en mesure de faire un schéma qui illustre cette deuxième possibilité, ce qui revient à reproduire la **figure 2.9**.

Lorsqu'on réalise que la bonne explication est la deuxième, on doit conclure que les étoiles sont si éloignées que leur luminosité réelle se compare à celle ________________.

Ainsi, Copernic aura révolutionné notre perspective cosmique de deux façons :
1. ____
2. ____

2.6 La détermination de l'unité astronomique (p. 84)

Au 17e siècle, la première détermination relativement précise de la valeur de l'unité astronomique a été faite indirectement en mesurant la distance de la planète ______________ par triangulation, en combinant une ligne de visée entre la ville de ____________ et la planète et une ligne de visée entre une ville en Amérique ____________ et la planète.

De nos jours, on mesure la distance des planètes à l'aide de la technique du ____________, qui consiste à envoyer une ________________ vers une planète et à chronométrer le temps requis pour l'aller-retour. Comme on connaît la vitesse de la lumière avec une précision de 1 pour ________________, on peut déterminer les distances avec une très grande précision.

En faisant rebondir un rayon laser sur un ____________ placé sur la Lune par les ______________________________________, on peut déterminer la distance de la Lune à ________ près.

2.7 La parallaxe des étoiles (p. 85)

La méthode du radar ne peut s'appliquer aux étoiles, parce que :

1. Le __________ d'attente serait trop long.

2. L' __________ serait trop faible.
On utilise plutôt la technique de la ___________ ____________ : on prend une ligne de visée à un moment donné, et une seconde ________________. On procède ensuite par triangulation.

On mesure habituellement la parallaxe annuelle d'une étoile en secondes d'arc (symbole : ") :
1" = (1/________)$^{\text{ème}}$ de degré.

Un parsec correspond à la distance à laquelle la parallaxe annuelle d'une étoile vaut ____________.
1 pc = __________ a.l.

À l'heure actuelle, les mesures les plus précises de parallaxe annuelle dont disposent les astronomes ont été prises par ______________________________.
On obtient ainsi les distances des étoiles jusqu'à __________ a.l. environ (au-delà, l'incertitude dépasse 30 %).

2.8 La relation intensité-luminosité-distance (p.87)

La brillance apparente d'une étoile dans le ciel se nomme _______________. La quantité réelle de lumière qu'elle émet se nomme _______________.

À distance égale, l'intensité est ________________ proportionnelle à la luminosité.

À luminosité égale, l'intensité est ______________________________ au ________ de la distance (figure 2.13).

L'unité SI de la luminosité est le _______, mais pour décrire les étoiles, on préfère utiliser ____________________ (symbole : ______).

L'unité SI de l'intensité est le W/m², mais les auteurs du livre ont inventé une nouvelle unité, le ____________, qui correspond à l'intensité de ____.

Des trois variables *D*, *L* et *I*, seulement ______ est directement mesurable.

Lorsque la technique de la parallaxe annuelle ne s'applique pas (*D* > 1000 a.l.), on peut trouver la distance d'un objet avec la relation intensité-luminosité-distance à condition que l'on réussisse à trouver une façon de déterminer ______________.

2.9 La luminosité des étoiles (p. 88)

Pour déterminer la luminosité d'une étoile **B** trop lointaine pour appliquer la technique de la parallaxe annuelle, on essaie de trouver une étoile **A** rapprochée, dont la luminosité est déjà connue, et qui aurait la même couleur et la même catégorie de taille : naine, normale ou géante… ce qu'on détermine par une analyse détaillée du spectre de l'étoile. On suppose alors que l'étoile **B** à la même ________________ que l'étoile **A**, et on applique la relation intensité-luminosité-distance. On appelle cela la méthode ____.

Pour une étoile isolée, cette méthode est assez imprécise, mais elle donne de bons résultats lorsqu'on fait une moyenne sur un amas d'étoiles.

Les céphéides sont des étoiles géantes de couleur ____________ qui ont la propriété de changer de luminosité de manière périodique. Au début du 20$^{\text{e}}$ siècle, une astronome observant une petite galaxie satellite de la Voie Lactée, le Petit Nuage de Magellan, remarqua que l'intensité des céphéides dans le Nuage était proportionnelle à leur ________________. Comme les étoiles du Nuage sont toutes à peu près __________________________, cela implique que la ________________ des céphéides est proportionnelle à leur période. Aujourd'hui, on a déterminé la constante de proportionnalité, et on peut ainsi se servir des céphéides que contient une galaxie pour déterminer sa distance. Cette technique s'applique jusqu'à environ ________________ a.l.

2.10 L'étendue de la Voie Lactée (p. 91)

Le télescope de Galilée a révélé que la traînée blanchâtre de la Voie Lactée est en fait constituée ____.

La Voie Lactée nous apparaît comme une bande mais elle est en fait en forme de _________________ _____________, et nous nous trouvons à l'intérieur.

Au début du 20ᵉ siècle, en comptant les étoiles dans divers secteurs du ciel et à partir de la distance connue de certaines d'entre elles, Kapteyn est arrivé à la conclusion que le Soleil était situé ______________ d'un disque aplati de ______________ a.l. de diamètre. On donna à ce modèle le nom _________________________________.

Aujourd'hui, on sait que le Soleil n'est pas au centre et que le véritable diamètre de la Voie Lactée est ______ fois plus grand. Kapteyn avait sous-estimé la taille de la Voie Lactée à cause de ___________________________________ qui empêche de voir clairement dans le plan de la galaxie.

Environ 20 ans plus tard, Shapley analysa la distribution en 3 dimensions de la centaine d'____________________ qui gravitent autour de la Voie Lactée en se servant des céphéides qu'ils contiennent, et il réalisa que le centre d'attraction de la Voie Lactée n'est pas le Soleil mais bien un point éloigné dans la constellation du ___________.

Quel est le parallèle historique que l'on peut faire entre Copernic et Shapley ?
____
____

2.11 Des nébuleuses jusqu'aux confins de l'Univers observable (p. 95)

Avant 1925, beaucoup d'astronomes pensaient que l'Univers se limitait à la Voie Lactée et que les nébuleuses étaient toutes des petits nuages des gaz dans la Voie Lactée. En 1925, ________________ découvrit des céphéides dans la « nébuleuse » ____________________, et il détermina qu'elle se trouvait bien en dehors de la Voie Lactée.

Aujourd'hui, on connaît des galaxies si éloignées que la méthode des céphéides ne s'applique plus. Pour déterminer les distances, on utilise alors d'autres classes d'objets dont tous les représentants ont à peu près ____________________ ______________ : ces classes d'objets sont nommées _______________________________.

Donnez-en 3 exemples :
_______________________________ ,
_______________________________ ,
_______________________________ .

C'est en mesurant la distance des galaxies lointaines qu'on a découvert le phénomène de l'expansion de l'Univers.

La détermination des distances en astronomie est un échafaudage de techniques, chaque méthode se basant sur les précédentes. Quel inconvénient pratique cela a-t-il ? ____________________________
____

Aux limites de l'Univers observable, l'incertitude sur les distances vaut ± ________ %.

Qui a dit que chaque génération ne parvenait à voir plus loin qu'en se hissant sur les épaules de géants de ses prédécesseurs ? ___________________

☒ *Les compléments 2.1 et 2.2 ne sont pas au programme.*

☑ *Le complément 2.3 est au programme, mais n'est pas sujet au test de lecture.*

QUESTIONS DE RÉVISION (p. 102-103)

1	**2**	**3**	**4**	☒	☒	**7**	☒	**9**	**10**
11	**12**	**13**	**14**	**15**	**16**	**17**	**18**	**19**	**20**
☒	☒	**23**	☒	☒	☒				

PROBLÈMES (p. 103)

P1	**P2**	**P3**	**P4**	**P5**	**P6**	**P7**	☒	☒	☒
☒	**P12**	☒	**P14**						

REMARQUE IMPORTANTE CONCERNANT LES UNITÉS DANS LES FORMULES

Les équations 2.8 et 2.3 ne diffèrent que par leurs unités.

équation 2.8 : $\boxed{I = \dfrac{L}{4\pi D^2}}$

équation 2.3 : $\boxed{I(\text{sir}) = 2{,}02\,\dfrac{L(\mathrm{L}_\odot)}{D^2(\text{a.l.})}}$

• Lorsqu'on n'indique pas les unités dans une équation (comme c'est le cas dans l'équation 2.8), il faut utiliser par défaut les unités SI (les unités « standard » du système international basées sur le kilogramme, le mètre et la seconde).

• Lorsqu'on indique spécifiquement entre parenthèses les unités dans une équation (comme c'est le cas pour l'équation 2.3), il faut nécessairement exprimer les variables dans ces unités pour que la formule soit valide.