

## Questions

- 1/Qu'est-ce qu'une planète ?
- 2/Qu'est-ce qu'une étoile ?
- 3/Comment définit-on une ellipse ?
- 4/Qu'est-ce qu'une orbite ?
- 5/Quelle est l'âge de la Terre ?
- 6/Qu'est-ce qu'un satellite ?
- 7/ Pourquoi a-t-on pu croire si longtemps que le soleil tournait autour de la Terre ?
- 8/ Pour quelles raisons les Humains ont-ils commencé à observer le ciel ?
- 9/ Qui était Nicolas Copernic ?
- 10/ Quelles sont les preuves, obtenues par Galilée, de la mobilité de la Terre autour du soleil ?

## Colles

- 1/ Comparer dans un tableau les planètes telluriques et Joviennes.
- 2/ Si l'histoire de l'univers était présentée sur un DVD de 2h, quand verrait-on la formation du système solaire, celle de la Terre, les premières espèces ayant laissé des fossiles directement visibles, et le développement des espèces d'homininés ? (vous pouvez faire un schéma pour répondre - et oui, vous allez devoir chercher ces infos également dans ce que vous devriez savoir depuis la troisième)
- 3/ Si la Terre avait la taille d'un ballon de football, quelle serait alors la taille de la Lune ? de Mars ? De Jupiter ? de Titan ? (Essayez de les comparer à des objets usuels).
- 4/ Si le soleil avait la taille d'un ballon de basket, quelle serait alors la taille de la Terre ? De Jupiter ? (Essayez de les comparer à des objets usuels).
- 5/ Sur une maquette du système solaire, on place Mars à un mètre du soleil. A quelle distance faut-il placer Vénus ? Et Saturne ? Et la dernière planète du système solaire ?

## Exercices

### 1 la Terre est ronde (3 pts)

Avant de faire de la Terre une planète, il fallait connaître sa forme! À la suite des philosophes grecs Pythagore (oui, lui) et Parménide, qui postulent que la Terre est ronde pour des raisons de géométrie, Platon (vers - 400 AEC) et Aristote (vers - 350) citent deux observations comme preuves que la Terre est une sphère:

- au cours des éclipses de Lune, l'ombre de la terre, projetée sur le satellite, est toujours circulaire
- lorsque l'on se déplace suffisamment, par exemple vers le sud, on voit apparaître dans le ciel de nouvelles étoiles devant soi alors que d'autres, derrière soi, disparaissent sous l'horizon (rassurons-nous : on les retrouve si l'on revient en arrière).

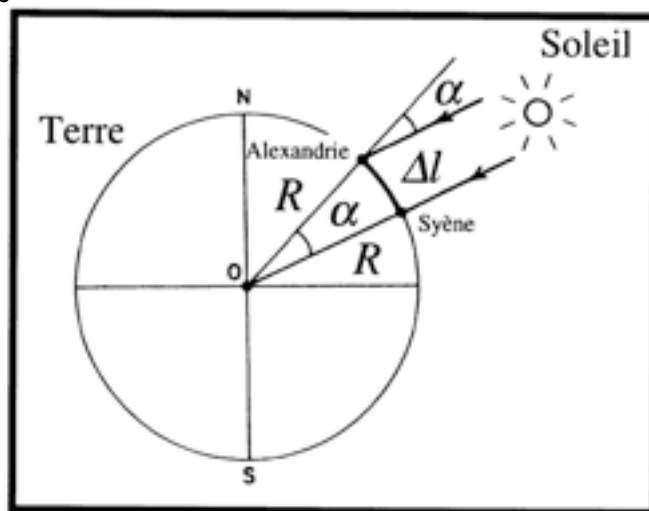
Vers l'an 0, Strabon ajoute une autre observation comme preuve: lorsque l'on regarde un bateau s'éloigner sur la mer, la coque disparaît en premier, puis le mat. Si le bateau s'approche, c'est l'inverse.

Expliquez en quoi ces trois observations constituent des preuves de la rotondité (oui, on dit comme ça) de la Terre.

### 2 - Eratosthène (and friends) (4 pts)

Vers l'an -205, l'astronome Ἐρατοσθένης (version originale sous-titrée : prononcez Eratosthène), directeur de la grande bibliothèque d'Alexandrie, mesura la Terre avec le seul secours de l'ombre d'un bâton (hum, ça, c'est pour la légende, un obélisque, en fait): Eratosthène avait entendu dire que le 21 juin (le solstice d'été, jour pendant lequel le soleil est le plus haut dans le ciel, commencement de l'été, et jour le plus long de l'année, oui, on apprend des choses même dans les exos, c'est fait pour ça!), à midi, les rayons du soleil tombaient perpendiculairement au sol dans la ville de Syène (Assouan, de nos jours). On pouvait même, grâce à cela, voir le soleil se refléter dans le fond d'un puits. Le même jour, au même moment, Eratosthène constate qu'à Alexandrie, exactement au nord de Syène, un obélisque projette une ombre. Il mesure l'angle de cette ombre avec la verticale, elle est de  $7,2^\circ$ . En se fiant aux cartes égyptiennes, notre astronome trouve que la distance entre Alexandrie et Syène est de 5000 stades égyptiens (comme vous le savez tous, un stade égyptien = 157,5 m).

Eratosthène montre que l'angle qu'il a mesuré est égal à l'angle qui sépare les deux villes sur une Terre sphérique, grâce à ce schéma:



Dès lors, il lui est facile de calculer la circonférence, donc le diamètre de la Terre. Serez-vous aussi subtils que lui ?

21 - Calculez donc à votre tour la circonférence et le diamètre de la Terre d'après ses mesures. Vous les comparerez ensuite aux valeurs «moderne».

22 - Refaites la démonstration d'Eratosthène (égalité des deux angles alpha du schéma - il faut bien que tous ces trucs que vous avez appris en math vous servent à quelque chose).

### 3 Antiquités

Dans son encyclopédie «histoire naturelle», l'écrivain romain Pline l'ancien, vers l'an 50, donne plusieurs arguments qui montrent que le soleil est considérablement plus grand que la Terre:

«Il (le soleil) est immense, car une ligne d'arbres plantés dans l'étendue d'autant de milles qu'on voudra donnera des ombres parallèles, comme si l'astre répondait à tous les points de cette ligne.

Il est immense, car à l'équinoxe il paraît, au même moment, vertical pour tout l'espace qui s'étend d'un tropique à l'autre.

Il est immense, car pour ceux qui habitent en deçà du tropique l'ombre est projetée à midi vers le nord, à l'heure du lever vers le couchant; ce qui ne pourrait se faire s'il n'était beaucoup plus grand que la terre.

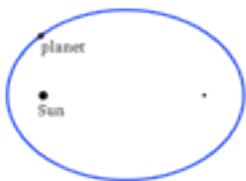
Il est immense, car à son lever il dépasse en largeur le sommet du mont Ida (plus haut sommet de Crète), qu'il déborde amplement à gauche et à droite, malgré la distance énorme qui l'en sépare.

Mais ce qui démontre indubitablement la dimension du soleil, ce sont les éclipses de lune (...) En effet, il y a trois figures d'ombres : si le corps opaque est égal au corps éclairant, l'ombre a la forme d'un cylindre prolongé indéfiniment; si le corps opaque est plus grand que le corps éclairant, l'ombre a la forme d'un cône droit, dont la partie inférieure est la plus étroite, et qui se prolonge également indéfiniment; si le corps opaque est plus petit que le corps éclairant, l'ombre a la forme d'un cône qui se termine par une pointe, et telle est l'apparence de l'ombre de la terre dans l'éclipse de Lune. Il ne reste donc aucune raison de douter que le soleil ne l'emporte en grandeur sur la terre, et la nature même semble l'indiquer par des témoignages muets : pourquoi, en effet, pendant une moitié de l'année, le soleil s'éloigne-t-il de nous! C'est pour refaire par la fraîcheur des nuits la terre, qu'il embraserait sans aucun doute, et que même il embrase en certaines parties, tant sont grandes ses dimensions.»

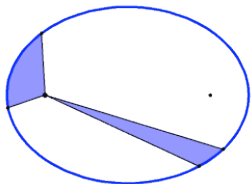
Parmi les arguments de Pline, certains sont tout à fait exacts, et défendables, tandis que d'autres sont fantaisistes. Classez-les donc en arguments corrects et erreurs, en expliquant où se situe l'erreur. Peut-on pour autant dire que Pline était un mauvais scientifique ? (Motivez votre avis).

#### 4 - Quand Kepler fait la loi. (8 pts)

En 1609, nous avons vu que l'astronome Kepler avait découvert, en étudiant les mesures réalisées par Tycho Brahé, les lois qui contrôlent le mouvement des planètes:



loi 1 - Les planètes décrivent des orbites elliptiques dont le soleil occupe un des foyers



loi 2 - Le mouvement de chaque planète est tel que le segment de droite reliant le Soleil et la planète balaie des aires égales pendant des durées égales. (sur le schéma ci-contre, les deux aires en violet étant égales, la planète parcourt les arcs d'orbite correspondant pendant la même durée - schémas Stw-Wikimedia).

En 1618, il découvre une troisième loi:

loi 3 - Pour toutes les planètes, le rapport entre le cube du demi-grand axe (distance à l'étoile) de l'orbite et le carré de la période de révolution (temps pour tourner autour de l'étoile) est constant.

41 - Le premier des deux schémas, ci-dessus, est correct, mais pourrait toutefois vous induire en erreur, saurez-vous trouver pourquoi (ce n'est pas parce qu'il est rédigé en anglais) ?

42 - D'après la deuxième loi, comment la vitesse d'une planète évolue-t-elle au fur et à mesure qu'elle parcourt son orbite ? (Comparez ce qui se passe lorsqu'elle se rapproche du Soleil et lorsqu'elle s'en éloigne)

431 - Imaginons que des planètes tournent autour de l'étoile Zeta reticuli. Si la planète Zeta II est éloignée de 25 millions de km de son étoile et boucle son orbite en 50 jours (terrestres!), à quelle distance de son étoile est située la planète Zeta IV, qui tourne autour de Zeta reticuli en 400 jours ? (vous devrez utiliser à un moment la touche «racine cubique» de votre calculatrice - c'est le moment de lire sa notice!)

432 - Si l'on veut utiliser la troisième loi de Kepler pour mesurer les distances des planètes dans le système solaire, de quels éléments, de quelles données doit-on disposer ?

#### 5 - Problèmes de transit (8 pts)

Pour mesurer les distances dans le système solaire, les astronomes, dès sa découverte, ont pensé utiliser la troisième loi de Kepler. Cette loi relie la période P (le temps mis par une planète pour tourner autour du soleil, facile à mesurer: c'est le temps au bout duquel elle revient à la même position dans le ciel, par rapport aux étoiles) et le demi-grand axe de son orbite. Comme les orbites des planètes sont très peu elliptiques (presque des cercles) ce demi-grand axe n'est autre que leur distance D au soleil). La troisième loi nous dit:  $D^3/P^2 = \text{constante K}$ . Si on connaît donc P et D pour une planète, la simple mesure de la période des autres nous donnera leur distance au soleil D.

51 - Établissez la formule liant le cube de la distance à la période (facile, non ?)

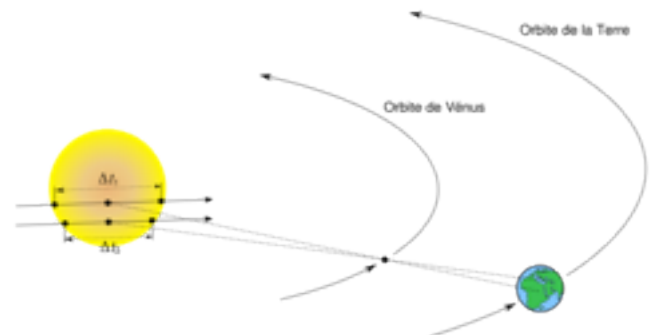
52 - Des astronomes subtils (y en a-t-il d'autres ?) eurent très tôt l'idée suivante: même en ignorant sa distance exacte au soleil, si on prend  $D=1$  pour la Terre, on doit pouvoir trouver la distance des autres planètes au soleil dans cette unité (dite unité astronomique, et savoir, par exemple, si Mars est 2,3 fois plus loin du soleil que la Terre, par exemple).

Si l'on prend les périodes de révolution (en jours terrestres) suivantes:

| planète | Mercure | Vénus | Mars | Jupiter | Saturne | Uranus | Neptune |
|---------|---------|-------|------|---------|---------|--------|---------|
| période | 88      | 225   | 687  | 4330    | 10756   | 30687  | 59790   |

Calculez (en arrondissant au dixième) la distance de ces planètes au soleil en prenant comme référence l'unité astronomique (vous devrez utiliser à un moment la touche «racine cubique» de votre calculatrice - c'est le moment de lire sa notice!)

53 - Dès 1663, l'astronome James Gregory montre que l'on peut calculer la distance de la Terre au soleil en utilisant les passages de Vénus devant le soleil (on appelle ces passages des transits). Halley précisera et étudiera aussi cette méthode. Le principe en est donné dans le schéma suivant (Duckysmokton, Wikimedia):



Il s'agit d'observer un passage de Vénus devant le soleil (ils se produisent par paires séparées de 8 ans, plus d'un siècle s'écoulant entre chaque paire de passage) depuis deux régions de la surface de la Terre. On comprend facilement que plus la Terre est près du soleil et plus l'écart entre les endroits où l'on voit passer Vénus devant le soleil (et donc les différences entre les durées  $\Delta t_1$  et  $\Delta t_2$  de son passage) est grand. En fait, cet écart permet de mesurer l'angle sous lequel la Terre est vue depuis le soleil. Réfléchissez donc et précisez quelles sont les meilleures conditions pour réaliser cette mesure.

### 6 -E pur si muove ! (5 pts)

Au cours de son procès, Galilée chercha à présenter des preuves du mouvement de la Terre autour du soleil. Il avait trouvé comment répondre aux objections datant d'Aristote :



Galilée résumait ces objections, que lui présentaient les jésuites, ses ennemis, de la façon suivante :



Toutefois, Galilée savait où trouver une preuve du déplacement de la Terre, tout comme, avant lui, Tycho Brahé. Le problème, c'est que cette preuve manquait à l'appel :



Malgré les meilleures observations, impossible de distinguer un changement dans la position d'une étoile par rapport aux autres au cours d'une année.

61 - Expliquez pourquoi l'argument d'Aristote (et plus tard des jésuites) est erroné (en clair: est faux). Pour cela, vous devrez peut-être réaliser des expériences, qui sait, c'est toujours bien vu par un prof, de réaliser des expériences. N'oubliez pas aussi de jeter un oeil sur votre cours de physique, ou de demander l'aide de votre professeur dans cette matière si vous séchez lamentablement...

62 - Comment expliquer que Tycho n'ai jamais pu détecter le mouvement d'une étoile par rapport aux autres au cours de l'année alors que, vous le savez, tout comme Galilée «e pur si muove!» (et pourtant, elle bouge! - en italien dans le texte).

63 - Tycho, ne pouvant observer le résultat attendu du mouvement de la Terre, élaborera ses propres idées, selon lesquelles les planètes tournaient autour du soleil, sauf la Terre, autour de laquelle tournait le soleil et sa suite. Son attitude vous semble t'elle scientifiquement correcte ?

### 7 - Principe de précaution (3 pts)

L'éditeur de Copernic, Andreas Osiander, rajoute (alors que personne ne le lui demandait) une préface (anonyme...) au livre de Copernic. Il y déclare: «Il y a déjà eu des rapports largement répandus à propos des hypothèses de ce travail qui déclare que la terre se meut et que le soleil est immobile au centre de l'univers. Ainsi, certains étudiants, j'en suis certain, sont profondément choqués et prétendent que les arts libéraux qui étaient établis depuis longtemps sur des bases solides ne devraient pas être mis en doute (...) Car ces hypothèses ne doivent pas être vraies ni même probables. Au contraire, si elles permettent des calculs en accord avec les observations cela suffit.»

71 - Comment Osiander considère t'il les idées de Copernic? Pour quelles raisons, selon vous, agit-il de cette façon ?

72 - Copernic lui-même avait-il les mêmes opinions qu'Osiander sur ses idées? Pour vous aider à répondre, sachez que Copernic publia son oeuvre en deux parties: la «narratio prima», un résumé, et le livre lui-même, destiné aux «professionnels». Copernic prend soin de préciser que ses idées ne sont pas nouvelles: il cite des philosophes grecs disciples de Pythagore, ainsi qu'Aristarque de Samos, qui tous ont proposé l'existence d'une Terre mobile tournant autour d'un soleil central. N'oubliez pas que Copernic à longtemps attendu (40 ans !) avant de publier son ouvrage.

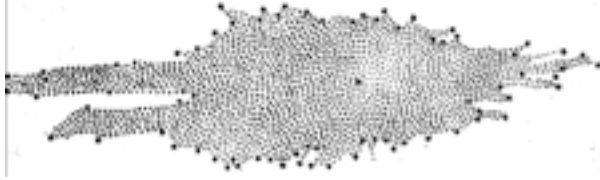
### 8 -La famille Herschel (4 pts)

En 1781, le musicien et astronome William Herschel, a découvert Uranus. Par la suite, aidé par sa soeur puis, plus tard, par son fils, il réalise de nombreuses observations, construisant lui même des télescopes de plus en plus grands (jusqu'à 1,2 m de diamètre et 12 m de long).

81 - En 1783, en notant la position précise de 14 étoiles et en la comparant avec des valeurs plus anciennes, Herschel met en évidence un mouvement d'ensemble des étoiles du ciel: toutes semblent s'écarter (très très lentement!) d'un point du ciel situé dans la constellation d'Hercule. Il y a «quelque chose» qui bouge pour expliquer ce mouvement, mais quoi ? Proposez donc une hypothèse plausible pour expliquer cette observation.

82 - En 1785, Herschel essaye de préciser la forme de la Galaxie contenant toutes les étoiles visibles. Pour cela, il compte toutes les étoiles dans différentes directions. Comme il ne connaît pas leur distance, il suppose que toutes brillent avec la même intensité, et que leur distance dépend donc seulement de leur éloignement. Il reconstitue ainsi le «nuage

d'étoiles» où se trouve le soleil, et obtient l'image suivante (le soleil est représenté par le point près du centre, à droite):



Nous savons maintenant que la galaxie ne ressemble pas à ce dessin d'Herschel. Quelles erreurs Herschel a-t-il pu commettre ?

### 9 - Cosmic connection (2 pts)

Le 30 septembre 2006, la chaîne de télévision Arte a diffusé une émission «Cosmic Connexion - le premier message de télévision adressé aux extraterrestres». L'idée de l'émission est d'envoyer un message aux hypothétiques habitants extraterrestres d'une des deux planètes orbitant autour de l'étoile Gamma Cephei b (Errai de son petit nom) située à 45 années lumières du soleil. Cette émission était constituée de messages envoyés par les téléspectateurs, sous forme de petits films, de musique, d'images, de sons. C'est une puissante antenne du CNES, près de Toulouse, qui a relayé l'émission en direction de gamma cephei b.

En quelle année les éventuels habitants des planètes tournant autour de cette étoile pourront-ils se délecter des créations audiovisuelles terrestres ?

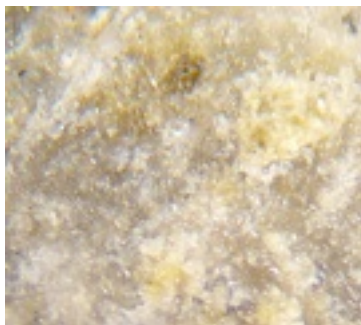
### 10 - Les tables et la loi (4 pts)

Ptolémée, le grand astronome de l'antiquité, pensait que les orbites des planètes étaient des cercles. Copernic pensait lui aussi que les orbites des planètes étaient des cercles. Ptolémée avait réalisé des tables servant à calculer la position future des astres, utilisées par les astrologues pour les horoscopes, mais aussi pour régler les différents éléments du calendrier, prévoir les éclipses, la durée du jour...

10-1 Les tables basées sur les idées de Ptolémée ont du être corrigées vers 1250, car elles se révélaient de plus en plus fausses (elles avaient plus de 1000 ans). Pourquoi, au fil du temps, les prévisions de Ptolémée étaient-elles de moins en moins exactes ?

10-2 Copernic réalisa ses propres tables de position des astres. Curieusement, elles n'étaient pas plus précises ni plus fiables que celles de Ptolémée, bien que Copernic ait situé correctement le soleil au centre du système solaire. Pourquoi, bien qu'il ait eu raison sur la structure du système solaire, les tables de Copernic n'étaient-elles pas meilleures que celles de Ptolémée ?

### 11 - Décrocher la Lune (4 pts)



Les photographies suivantes montrent un fragment de la météorite d'origine lunaire NWA 4483 grossie 100 fois (photo collection de l'auteur).

11-1 D'après la photographie ci-contre, dans quelles conditions la région de la surface

lunaire d'où vient cette météorite s'est-elle formée ? (vous devrez pour répondre faire appel à vos connaissances de quatrième... je sais, c'est loin, mais ce que vous avez appris au collège ne doit pas s'oublier !).

11-2 En observant attentivement la photographie suivante, trouvez des éléments qui montrent que lors de sa traversée de l'atmosphère terrestre, cet échantillon de météorite a été soumis à une chaleur intense.



### 12 - Les imposteurs (4 pts)

Il ne faut pas confondre l'astronomie, science des astres, et une superstition, l'astrologie. D'après l'astrologie, notre avenir dépend de la position des planètes dans le ciel au moment de notre naissance, position qui influence aussi notre futur chaque jour. Les prévisions établies par «signes» (votre signe devrait être la constellation dans laquelle le soleil se levait le jour de votre naissance) sont les horoscopes. Comme vous vous en doutez, ces croyances sont fausses, et datent de l'époque où l'on pensait que la Terre, et les Hommes, étaient au centre de l'univers.

A vous de vous comporter en scientifiques et de trouver des arguments logiques qui démontrent que l'astrologie est une imposture.

### Rules, Britannia

Traduisez le paragraphe suivant, tiré du livre «Pale Blue Dot: A Vision of the Human Future in Space» (New York: Random House, 1994, 385) de l'astronome Carl Sagan (photo ci-dessous, NASA).



*It is the beginning of history, not the end. In more than one respect, exploring the Solar System and homesteading other worlds constitutes the beginning, much more than the end, of history.*



### Des films pour réfléchir

Giordano Bruno, G. Montaldo, 1973 (introuvable!)  
[De la Terre à la Lune](#) - série TV 1998 - (DVD) T. Hanks

[Tous sur orbite](#) (DVD), N. Gessner, 2004 - excellent, une séquence par jour.

[Voyage autour du soleil](#), 2004

[Galilée où l'amour de dieu](#), JD Verhaeghe, 2005

[Agora](#), A. Amenabar, 2010