

Histoire des sciences, recherche en didactique et enseignement bi-disciplinaire maths/physique : pistes et enjeux

Cécile de Hosson

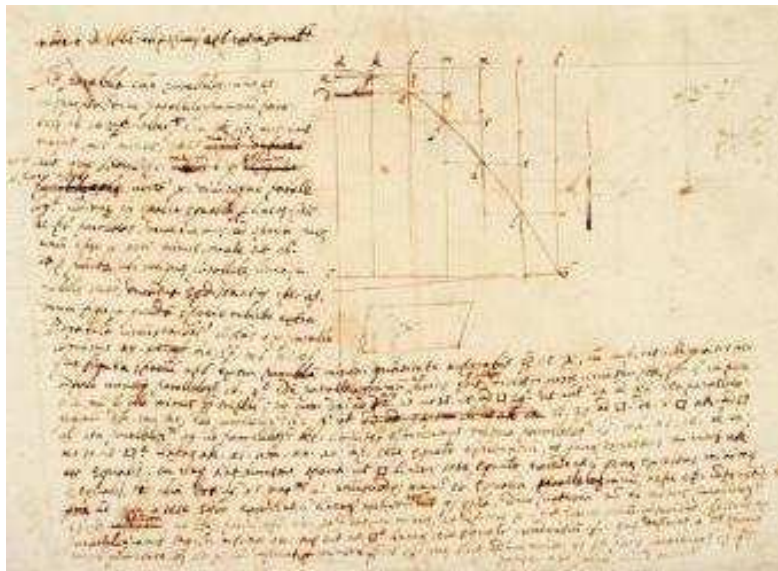
Laboratoire de Didactique André Revuz (EA 4434)

Université Paris Diderot

Plan de l'exposé

- Partie 1
 - Mathématiques et Physique : deux domaines de connaissance interconnectés
- Partie 2
 - Utiliser l'histoire des sciences dans l'enseignement : quelques repères théoriques
- Partie 3
 - Favoriser les liens maths / physique : proposition pédagogique fondée sur l'histoire des modèles astronomiques grecs et chinois

1. Liens mathématiques / physique



Galileo Galilei, *Discorsi*, 1638

« La philosophie est écrite dans ce livre gigantesque qui est continuellement ouvert à nos yeux (je parle de l'Univers), mais on ne peut le comprendre si d'abord on n'apprend pas à comprendre la langue et à connaître les caractères dans lesquels il est écrit. Il est écrit en langage mathématique, et les caractères sont des triangles, des cercles, et d'autres figures géométriques, sans lesquelles il est impossible d'y comprendre un mot. Dépourvu de ces moyens, on erre vainement dans un labyrinthe obscur » (Galileo Galilei, *L'Essayeur*, 1623)

1. Liens mathématiques / physique

« La physique étudie la matière et le rayonnement ainsi que leur évolution dans l'espace et dans le temps, par le biais d'expérimentations et d'élaboration de concepts »

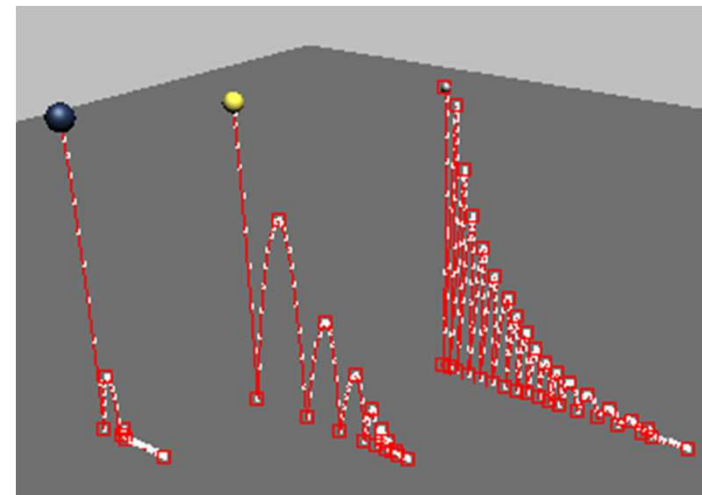
Perdijon, 2007

Exemple : le rebond des balles

- **Pourquoi** les balles rebondissent-elles ?
- **Comment** les balles rebondissent-elles ?

$$D = d_0 + 2d_1 \frac{1 - k^{2n}}{1 - k^2}$$

$$T = t_0 + \sum_{t=1}^n 2t_n = t_0 + 2t_1 \frac{1 - k^n}{1 - k}$$



$$k = \frac{v_2}{v_1} = \frac{t_2}{t_1} = \sqrt{\frac{h_2}{h_1}}$$

1. Liens mathématiques / physique

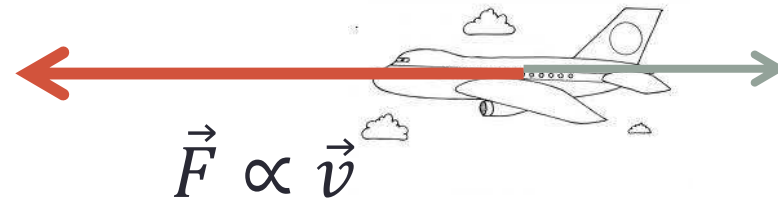
- Artigue, M., Menigaux, J., & Viennot, L. (1990). Some aspects of students' conceptions and difficulties about differentials. *European Journal of Physics*, 11(5), 262.
- Gill, P. (1999). The physics/maths problem again. *Physics Education* 34, 83–87.
- Redish, E. F., Saul, J. M., & Steinberg, R. N. (1998). Student expectations in introductory physics. *American Journal of Physics*, 66, 212.
- Albe, V., Venturini, P., & Lascours, J. (2001). Electromagnetic concepts in mathematical representation of physics. *Journal of Science Education and Technology*, 10(2), 197-203.
- Meltzer, D. E. (2002). The relationship between mathematics preparation and conceptual learning gains in physics: A possible “hidden variable” in diagnostic pretest scores. *American Journal of Physics*, 70, 1259.
- Hestenes, D. (2003). Oersted Medal Lecture 2002: Reforming the mathematical language of physics. *American Journal of Physics*, 71, 104.

“There is a significant correlation between normalized learning gain in physics and students’ pre-instruction mathematics skill” (Meltzer, 2002)

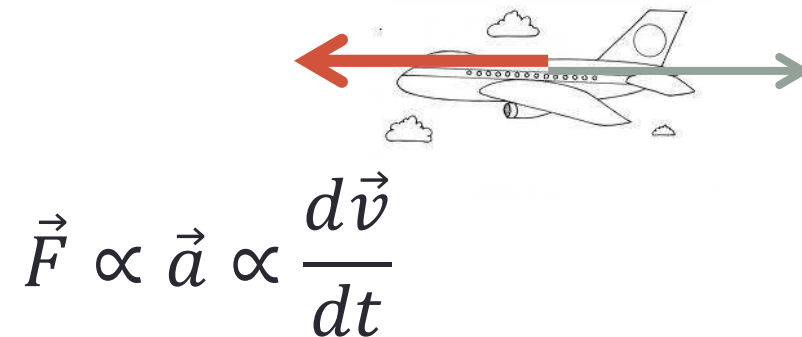
1. Liens mathématiques / physique

Un avion se déplace horizontalement à vitesse constante; la résultante des forces de frottement agissant sur l'avion est représentée par le vecteur gris. Représenter le vecteur associé à la résultante des forces de propulsion.

Sens commun



Lois de Newton



1. Liens mathématiques / physique

- Evidence épistémologique
 - *Nature of Science* (Lederman 1992) : donner à voir des aspects majeurs de l'activité de production du savoir en physique
- Opportunité cognitive
 - Le formalisme mathématique contribue au processus de conceptualisation en physique (et réciproquement ?)
- Nécessité didactique

VERSUS

Manque de ressources pédagogiques
Indépendance, à l'école, des deux disciplines

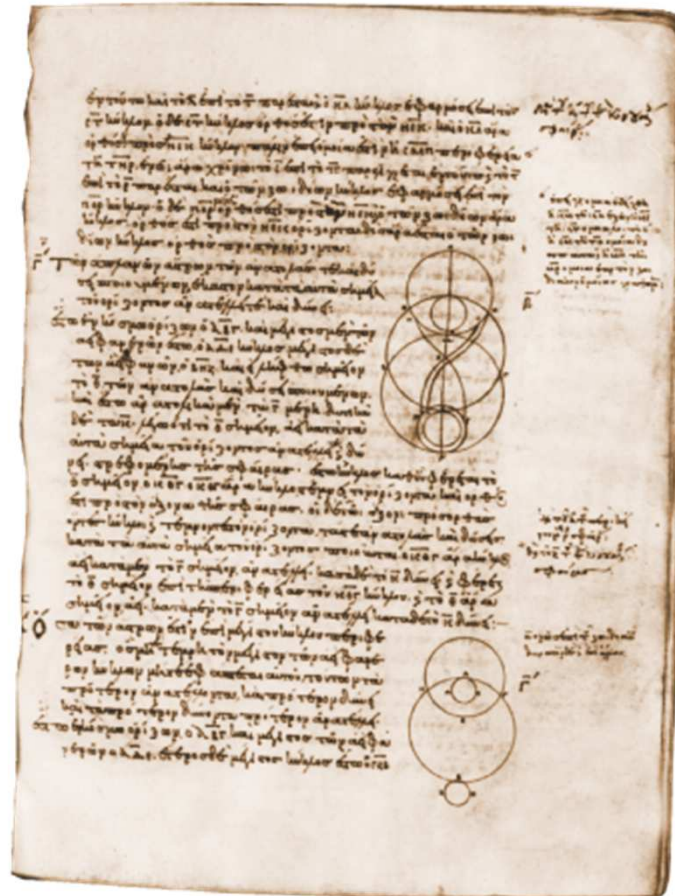
L'élève est ainsi amené à raisonner avec méthode et à mettre en œuvre avec rigueur l'ensemble des étapes qui lui permettent de trouver la ou les solution(s) au problème posé. Le professeur aura cependant à l'esprit que le recours à des outils mathématiques n'est pas le but premier de la formation de l'élève en physique-chimie, même si cela peut être parfois nécessaire pour conduire une étude à son terme. Dans certains cas, le professeur utilisera des méthodes

2. Histoire des sciences et enseignement

- Dans la littérature de recherche sur l'enseignement des sciences :
 - Nature de la science (Lederman & Abd-el-Khalick, Maurines & Beaufils, etc.)
 - Conceptual change – changement conceptuel (Galili, Kipnis, etc.)



Ex 1 : la Terre est ronde



Extrait des *Éléments* d'Euclide— site
CultureMath

Astronomie



Géométrie

“Astronomie
mathématique
– sphérique”

(Neugebauer, 1957,
Coveing, 1982)

“Pythagorism turned geometry into the instrument for astronomy as a contemplative science of the natural being” (Coveing, 1982, p.146).

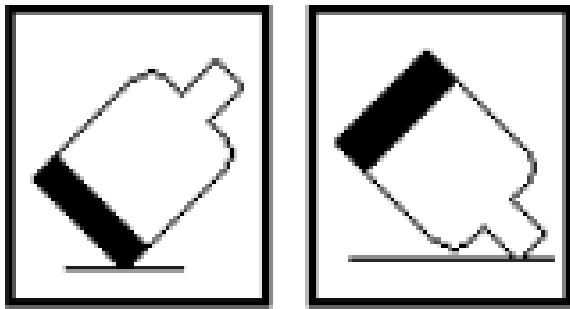
Ex 1 : la Terre est ronde

D'après la manière même dont les astres se montrent à nous, il est prouvé que non seulement la terre est ronde, mais même qu'elle n'est pas très grande; car il nous suffit de faire un léger déplacement, soit au midi, soit au nord, pour que le cercle de l'horizon devienne évidemment tout autre. Ainsi les astres qui sont au-dessus de notre tête subissent un changement considérable, et ils ne nous semblent plus les mêmes, selon qu'on va au midi, ou au nord. Il y a certains astres qu'on voit en Égypte et à Chypre, et qu'on ne voit plus dans les contrées septentrionales. Certains astres, au contraire, qu'on voit constamment dans les contrées du nord, se couchent quand on les considère dans les contrées que je viens de nommer. Ceci prouve non seulement que la forme de la terre est sphérique, mais encore que sa sphère n'est pas grande.

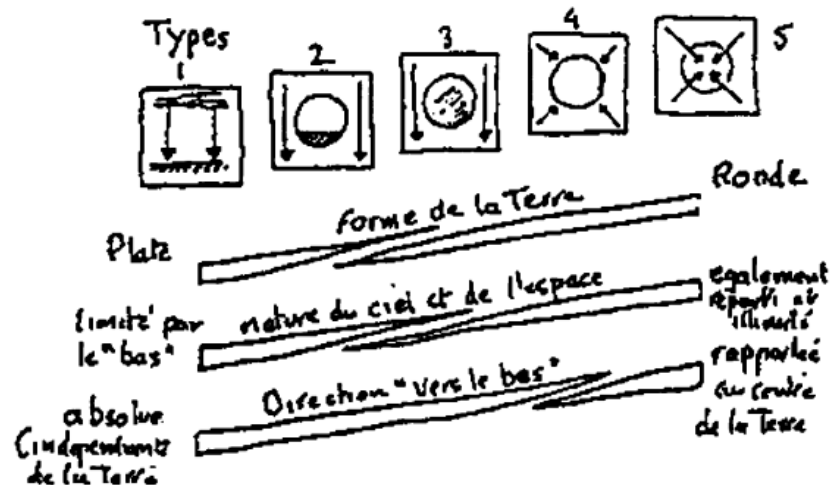
Aristote, *Le traité du ciel*, chapitre 14.

Ex 1 : La Terre est ronde

- Les idées des enfants à propos de l'horizontalité et de la verticalité

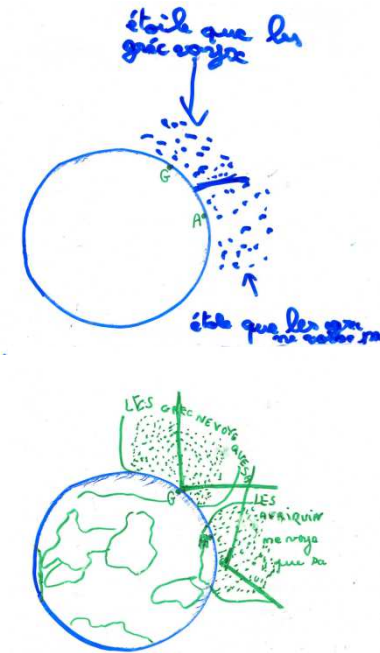
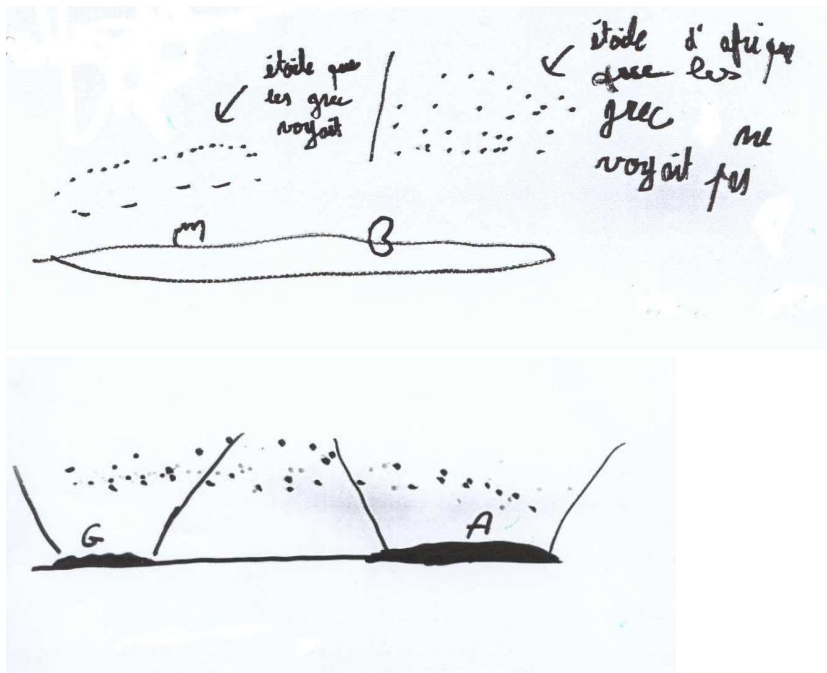


Les enfants représentent la surface libre de l'eau en une ligne droite dont la direction est liée à celle des bords du récipient (Aeckermann, 2002)



Evolution des idées des enfants à propos de la direction de la chute des objets sur Terre (Nussbaum, 1989)

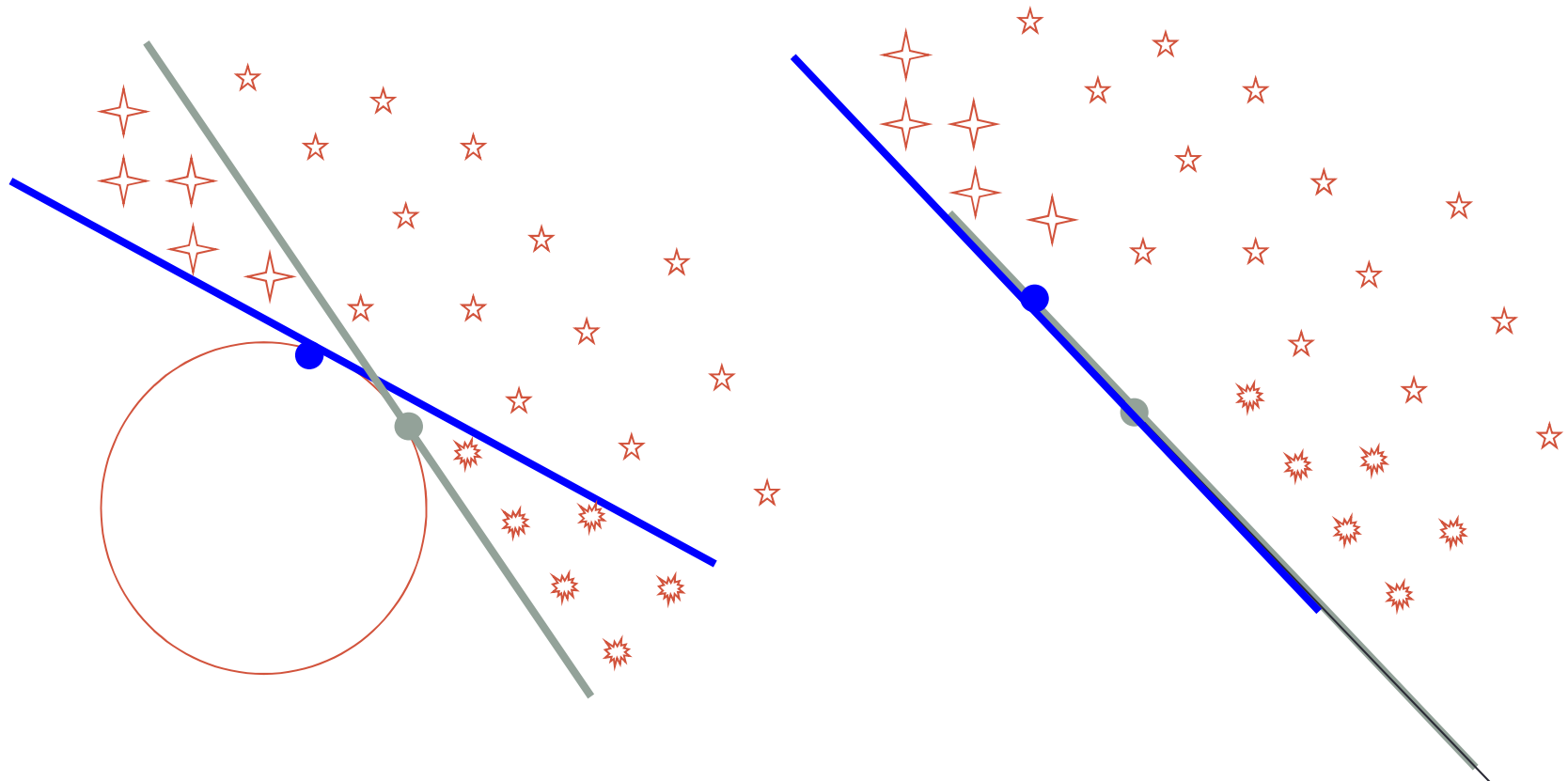
Ex 1 : La Terre est ronde



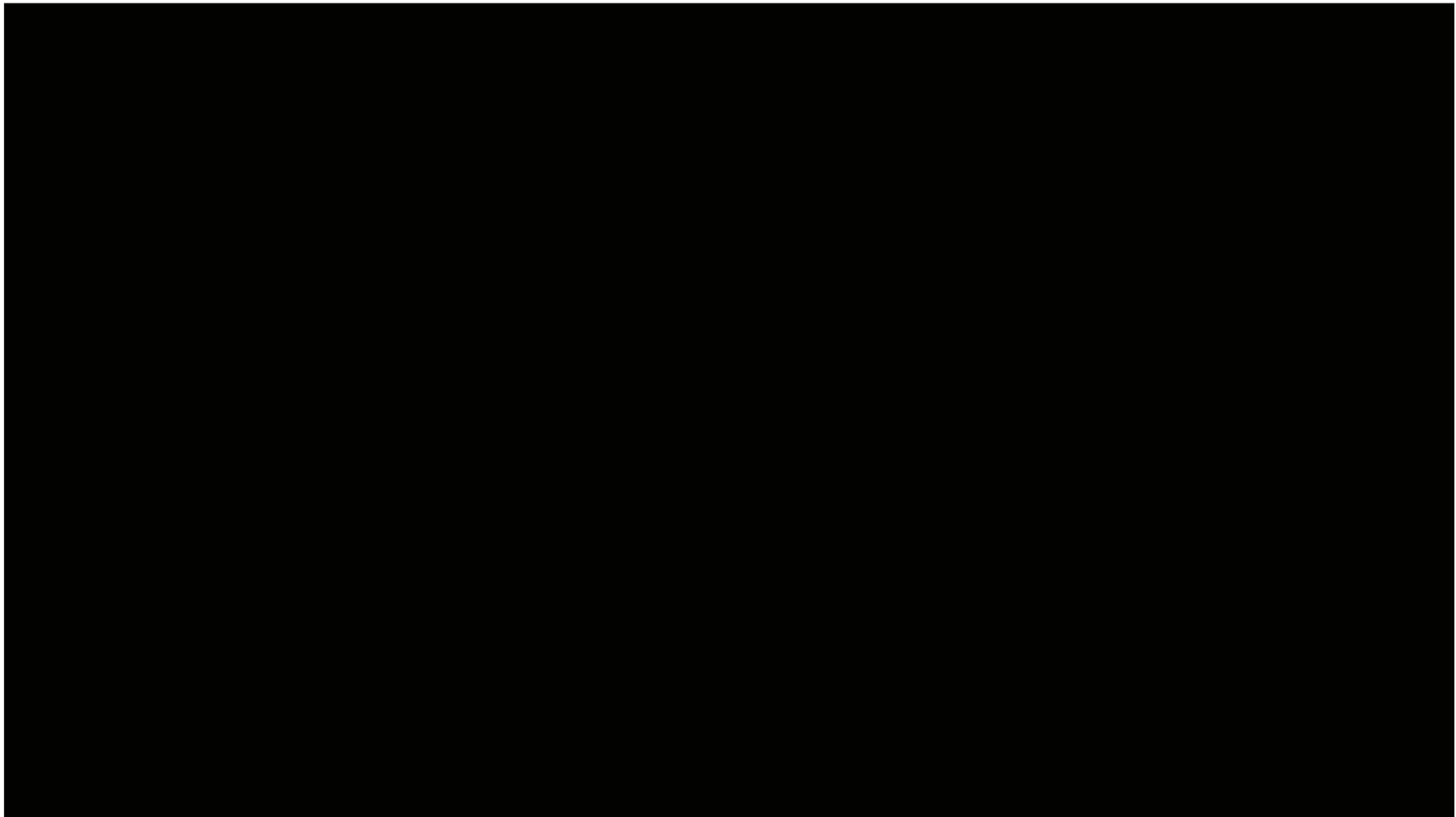
Dessins réalisés par des élèves de 10 ans à qui l'on demande d'expliquer la raison pour laquelle certaines étoiles ne sont plus visibles lorsque l'on se déplace vers le sud.

Merle (2002)

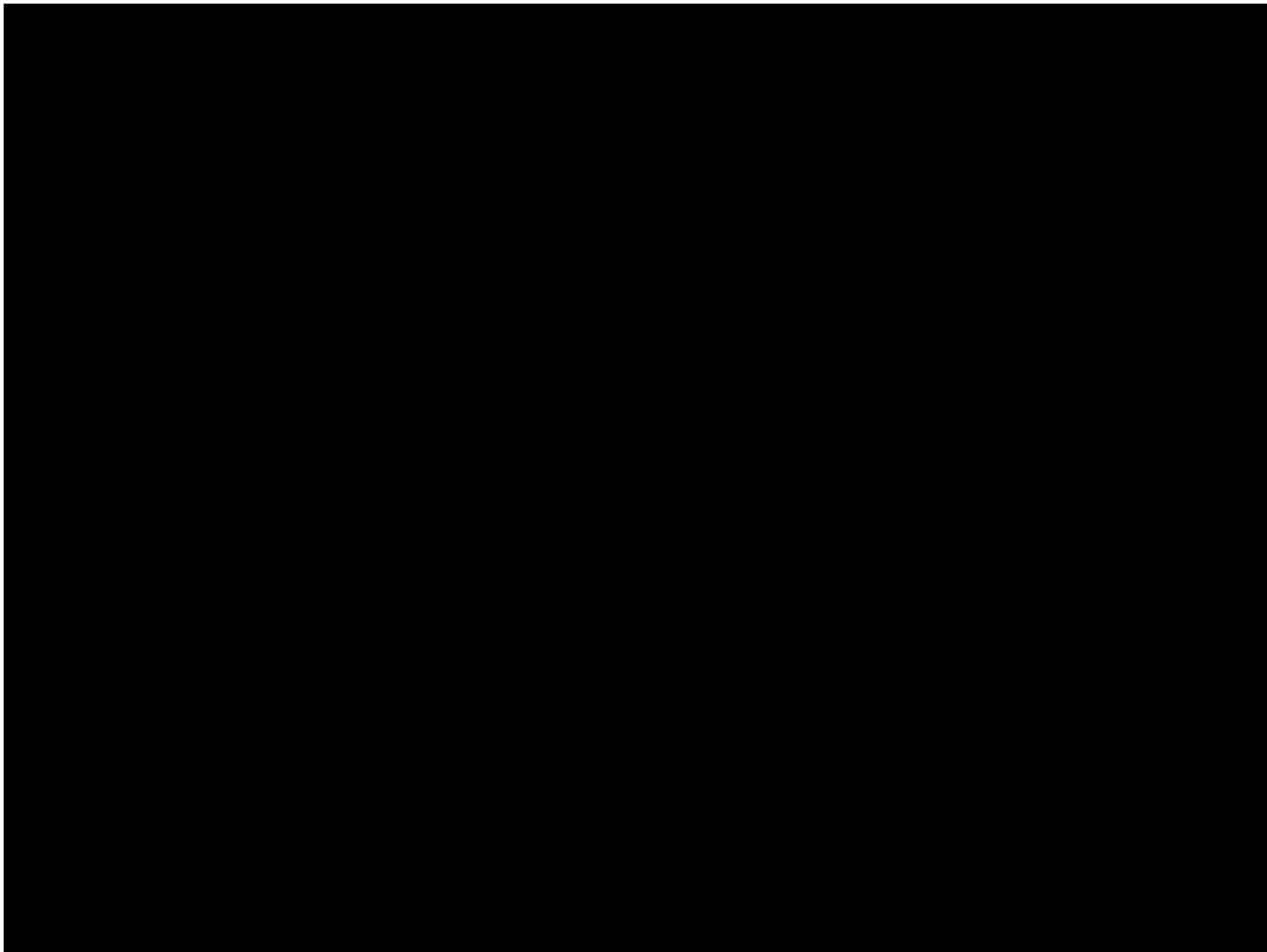
Ex 1 : la Terre est ronde

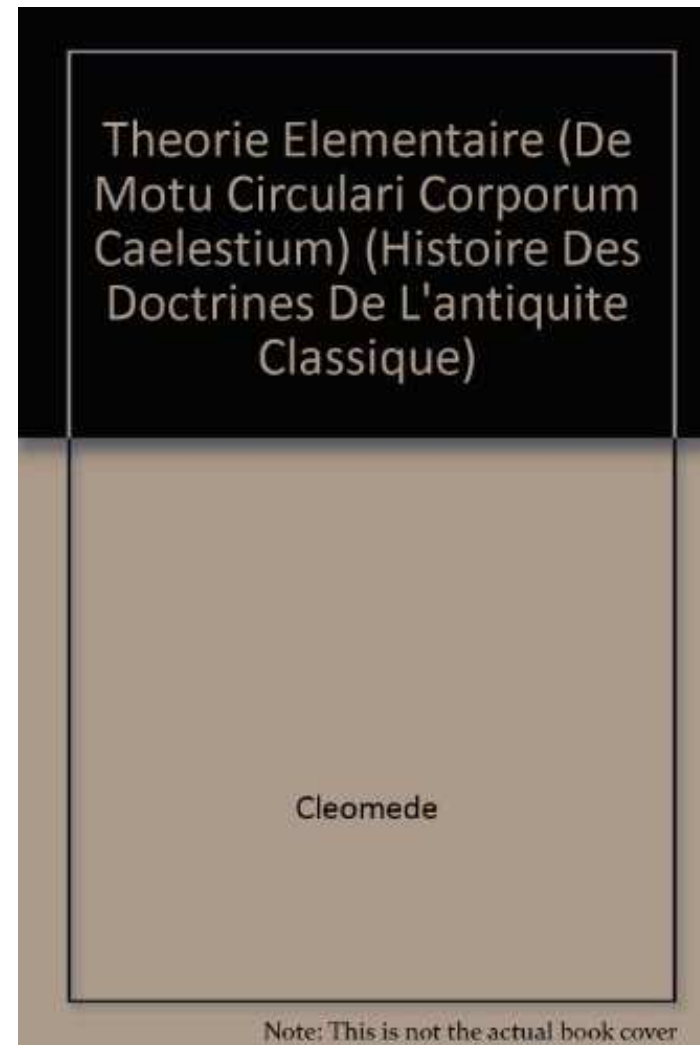
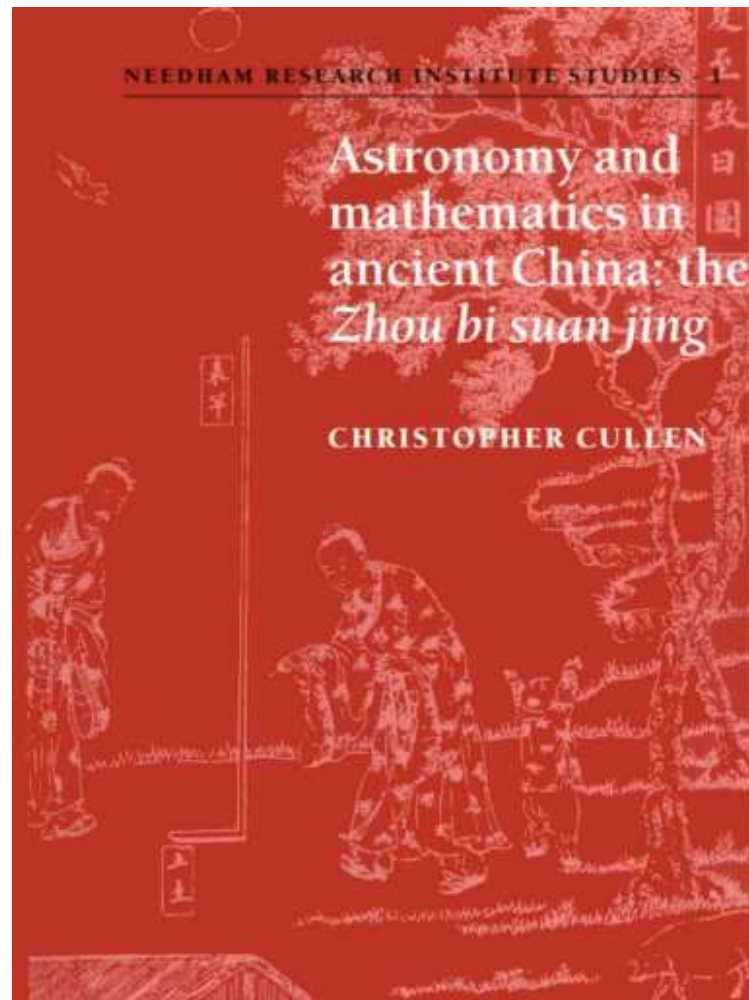


Ex 1 : La Terre est ronde



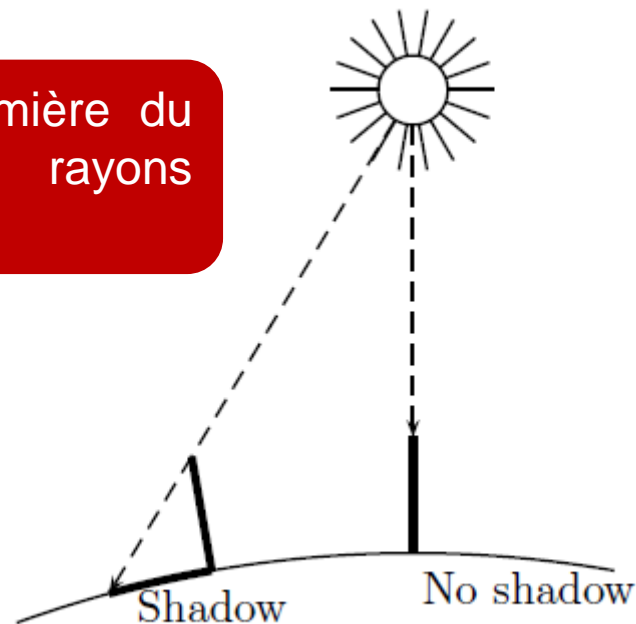
Ex 2 : Calculer des distances astronomiques





Ex 2 : Calculer des distances astronomiques

Propagation de la lumière du Soleil figurée en rayons divergents

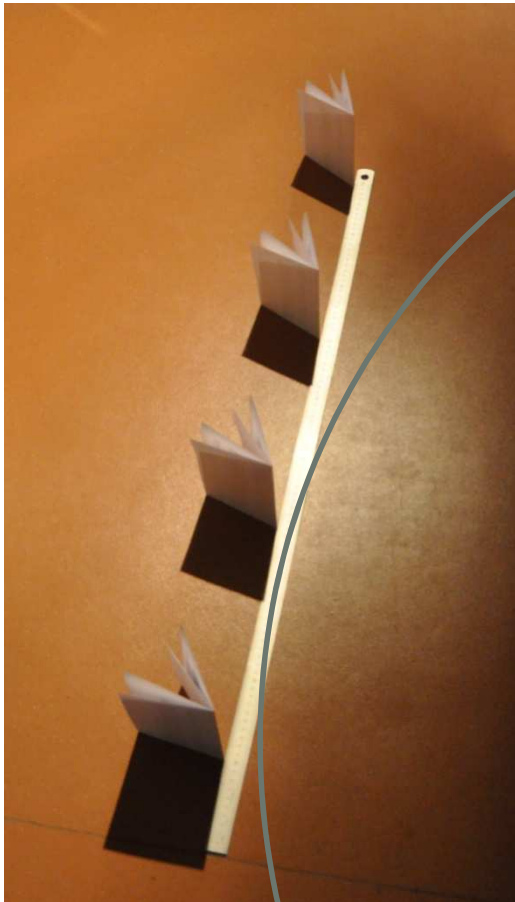


Réponse prototypique d'élèves (et d'étudiants) à qui l'on demande d'expliquer pourquoi au solstice d'été deux gnomons ne projettent pas la même ombre en deux endroits différents de la Terre situés le long du même méridien (Merle 1985, Farges & *al.* 2002, Ducourant 2007).

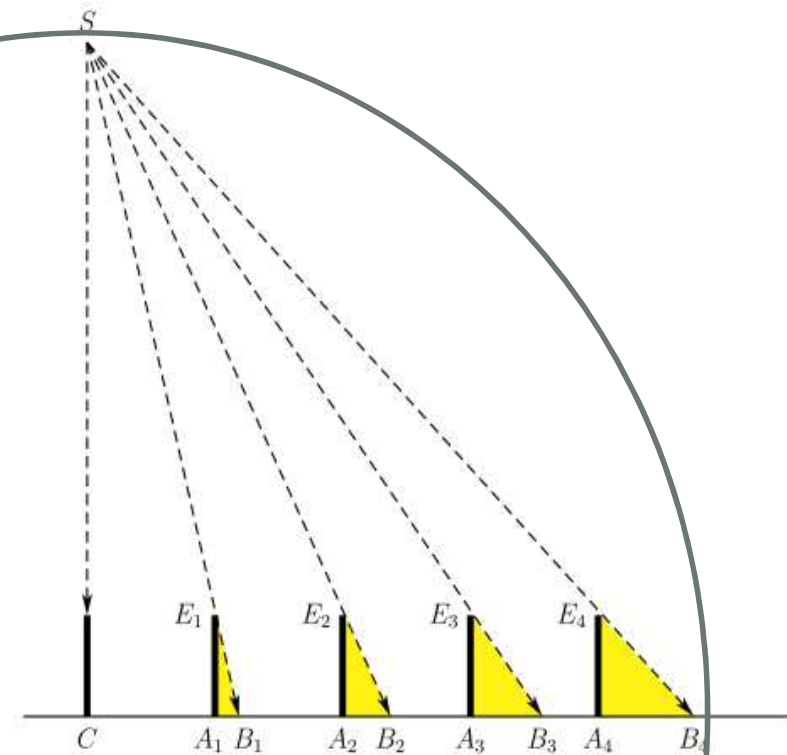
II. — LA THÉORIE DE WANG FAN

« *Rites des Zhou* : “(le lieu où) l’ombre du solstice est d’un pied et demi, on l’appelle le milieu de la Terre”. Le commentaire de Zheng Zhong donne les précisions suivantes : “La tablette étalon mesure un pied et demi. Le jour du solstice d’été, on érige un gnomon de huit pieds. Si (à midi) son ombre coïncide avec la tablette étalon (l’endroit où se trouve érigé le gnomon) sera nommé milieu de la terre. Ce lieu correspond à l’actuelle Yangcheng dans la préfecture de Yingchuan.” Selon Zheng Xuan, “le rapport de l’ombre du Soleil aux distances terrestres est tel qu’il y a une différence d’un pouce pour un déplacement de mille *li*. Puisque l’ombre (solsticielle) mesure un pied et demi, le lieu (se trouvant ce jour-là) à la verticale du Soleil sera à 15 000 *li* au sud (du gnomon)”. De ceci, on peut déduire que la distance verticale du Soleil à la Terre (le jour du solstice d’été) est de 80 000 *li* et que le demi-diamètre du Ciel correspond à la longueur du rayonnement oblique du Soleil sur Yangcheng. Puisque la figure du Ciel est ronde comme une boule, que la Terre se tient en sa moitié et que Yangcheng en occupe le centre, la distance de ce lieu au Soleil ne variera pas ; elle sera toujours égale, quel que soit l’heure du jour ou le moment de l’année. C’est pourquoi nous savons que le rayonnement oblique du Soleil sur Yangcheng représente le demi-diamètre du Ciel. »

L'hypothèse du rite des Zous



Où se trouve la source de lumière?



Le modèle d'Eratosthène selon Cléomède

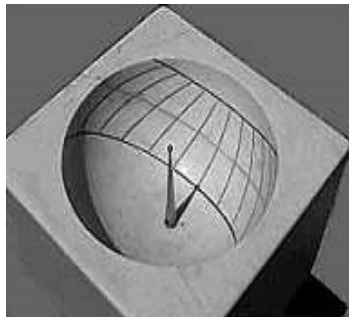


Fig.3 : Scaphe

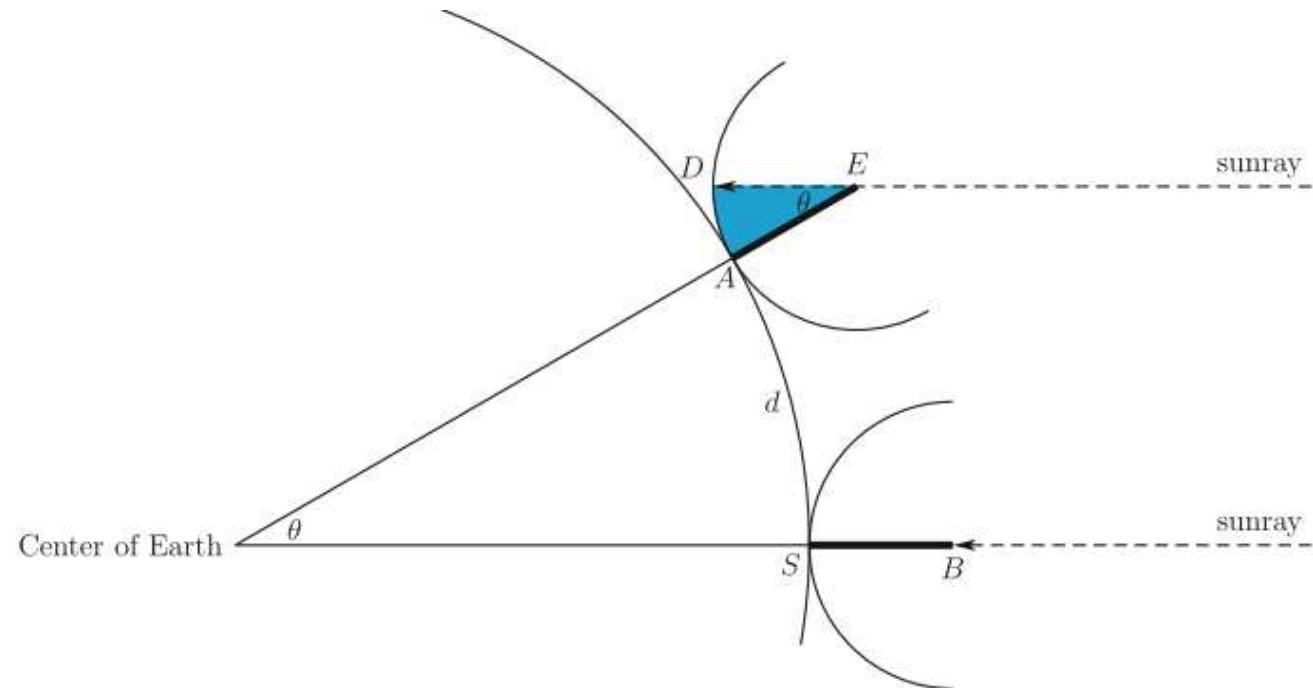
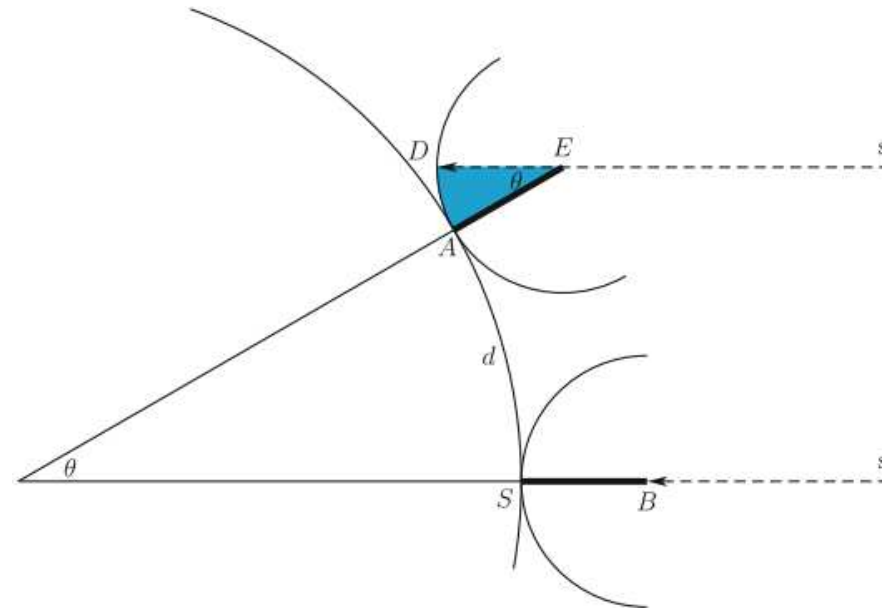
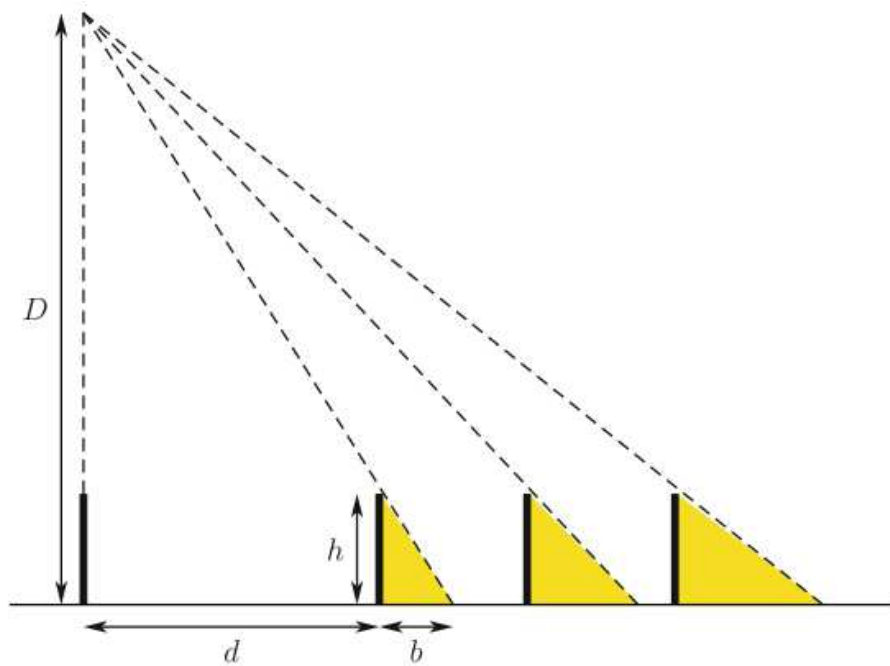


Fig. 3 Illustration of Eratosthenes' procedure as described by Cleomedes in *On the circular motion of the celestial bodies* (book 1, Chap. 7). The shadow AD cast by the gnomon in the hemispherical sundial reaches an arc equal to $1/50$ th of a circle of radius AC . The ratio of $1/50$ th of the circumference of the Earth corresponds to the distance AE between Alexandria and Syene (Weir 1931)

Ex 2 : Calculer des distances astronomiques



« L'instrument de mesure finit toujours par être une théorie et il faut comprendre que le microscope est un prolongement de l'esprit plutôt que de l'œil ».

Bachelard, *La formation de l'esprit scientifique* (1938)

Quelques difficultés...

- [T] I still don't understand why the light sent by a single luminous point can be modeled using parallel rays⁸
- [R] Actually, the Sunrays are not exactly parallel. But if I stretch out two long strings from the same mooring, their extremities can be considered as parallel lines under certain conditions? Which one?
- [T] Hum... if it is nearly parallel it is very different!
- [R] Why?
- [T] Because in the case of nearly parallel lines from a single point it is obvious that they can have the same origin, whereas if they are really parallel they will never cross each other; they cannot come from the same point
- [R] Ok. But what could allow considering these two lines having the same mooring as parallel?
- [T] If the extremities are very close
- [R] Do you think Syene and Alexandria are close enough to consider the Sunrays reaching them as parallel lines?

Le parallélisme des rayons du Soleil

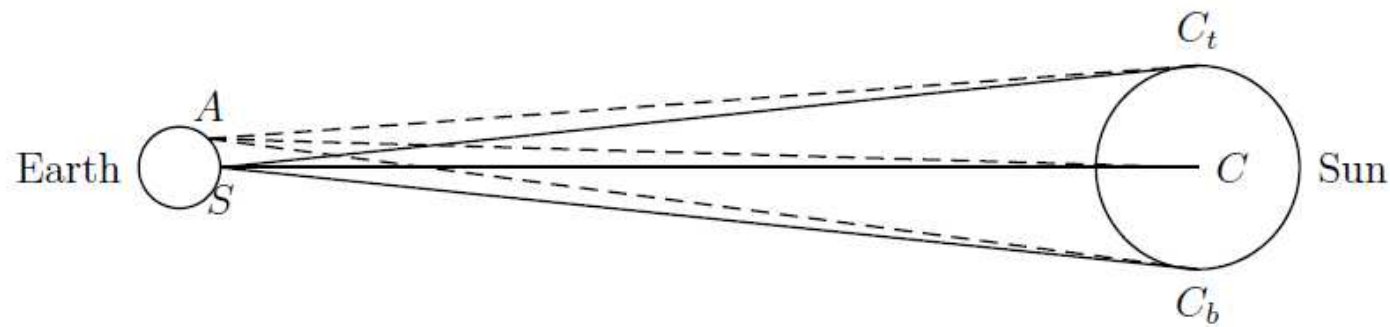
« Ératosthène dit, ce qui est vrai, que Syène est située sous le tropique d'été. Donc, chaque fois que le soleil, parvenu dans le Cancer, au solstice d'été, culmine exactement au méridien, les gnomons des horloges sont sans ombre, nécessairement, puisque le soleil est situé exactement à la verticale (cela se produit, dit-on, sur un rayon de 150 stades) ».

Cleomedes (trad. Aujac)

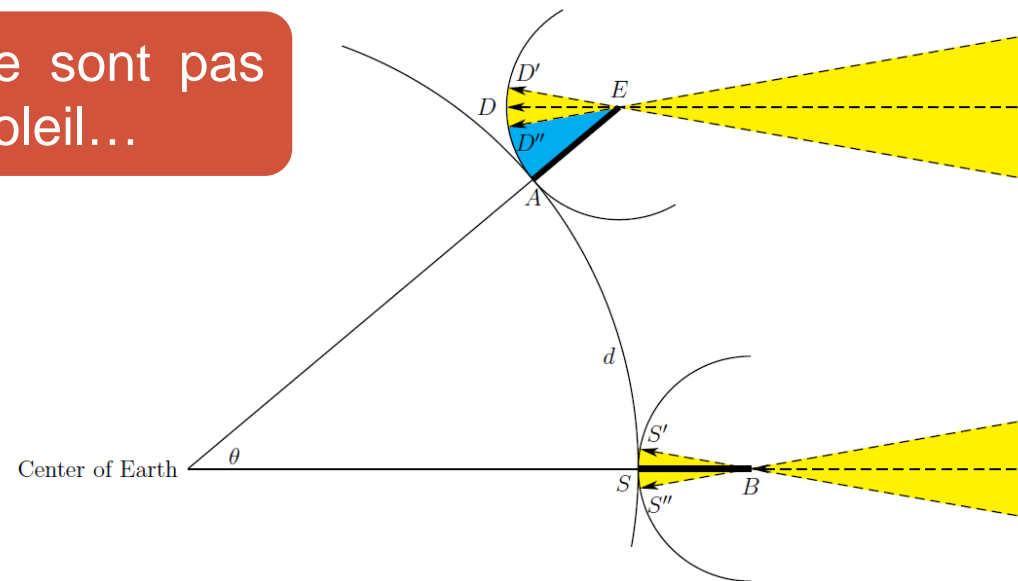


$$P_{zone} = \frac{0,5 \times 250\,000}{360} \approx 350 \text{ stadia}$$

Le parallélisme des rayons du Soleil



Les “droites” ne sont pas les rayons du Soleil...



MERCI

cecile.dehosson@univ-paris-diderot.fr