**Projet**

# Pré-test : questionnaire pour les élèves

## Préliminaires

Lisez à vos élèves le petit texte ci-dessous concernant Eratosthène : cela va aiguiser leur curiosité et les motiver ensuite pour entrer à fond dans le projet.

“ Figurez-vous qu’il y a bien longtemps, en Egypte, un papyrus attira l’attention d’un certain Eratosthène, alors directeur de la Grande Bibliothèque d’une ville nommée Alexandrie (située au bord de la Méditerranée) : il y était question d’un bâton vertical qui, le premier jour de l’été (c’est-à-dire le 21 juin), et à l’heure de midi au soleil, ne projetait aucune ombre sur le sol ! Cela se passait très loin d’Alexandrie, droit vers le sud, dans une ville appelée Syène (aujourd’hui Assouan). Or, Eratosthène remarqua de son côté qu’à Alexandrie, le 21 juin également et à la même heure, un bâton vertical, projetait une ombre, même si celle-ci était relativement courte… Quel était donc ce mystère ? Nous n’allons surtout pas vous en donner la clef ici, mais plutôt vous inviter à la découvrir par vous-mêmes… Cela vous mènera fort loin car, comme le fit Eratosthène, la clef du mystère vous permettra, ni plus ni moins, de mesurer…le tour de la Terre ! ”

Vous verrez ultérieurement comment compléter ce récit et quelles simulations proposer à vos élèves. De la même façon, les recherches bibliographiques se feront plus tard. Mais vos élèves pourront bien sûr commenter cette histoire vraie, et situer déjà les deux villes impliquées.

Dites ensuite pour les rassurer à propos du questionnaire :

“ Au cours des nombreuses activités que nous allons entreprendre à propos de ce projet “ Sur les pas d’Eratosthène ”, nous allons aborder une série de sujets passionnants dont vous avez déjà peut-être une idée : le questionnaire que voici vous est donc proposé pour faire le point sur ce que vous connaissez de ces sujets. Mais, dites-vous bien que si vous ne savez pas répondre à certaines questions, ou si vous vous trompez dans vos réponses, cela n’a aucune importance : ce questionnaire ne sera pas noté car c’est plutôt un jeu-test. N’hésitez pas, cependant, à demander des précisions sur une question si vous n’en comprenez pas le sens et à répondre simplement " je ne sais pas" si c'est le cas. ”

## Modalités pratiques

*Durée prévue : selon l’entraînement de vos élèves, une séance de 45 mn, ou deux séances de 30 mn environ (mais il faudra que les élèves très lents puissent terminer ultérieurement)*

**Matériel :**

**Pour chaque élève :**
les feuilles du questionnaire et quelques feuilles blanches pour les dessins demandés dans certaines questions ;
crayon noir, gomme, pochette de crayons de couleur ou de feutres.

---

PROJET : “ SUR LES PAS D’ERATOSTHENE ”

13 questions pour faire le point sur tes connaissances dans certains domaines
*Avant de répondre à une question, commence par la lire jusqu’au bout.*
*Lorsque tu dois choisir une réponse proposée, **entoure** la réponse choisie au crayon noir.*
*Lorsque tu dois répondre par un **dessin**, fais celui-ci sur une feuille à part en écrivant d’abord le **numéro** de la question sur cette feuille.*

## *1 – Mettons-nous à l’ombre !*

As-tu déjà observé des ombres ? Essaie de dessiner l'ombre d' un bâton au soleil (ce bâton est planté dans le sol).
Fais de même ensuite, pour trois bâtons assez écartés les uns des autres.

## *2 – Le tableau noir est-il de travers ?*

Vertical, horizontal : fais un dessin pour illustrer ces deux mots. Trace d’abord une ligne pour représenter le sol ; ensuite, dessine, comme s’il était posé dessus, un objet vertical, puis un autre à côté, mais horizontal.

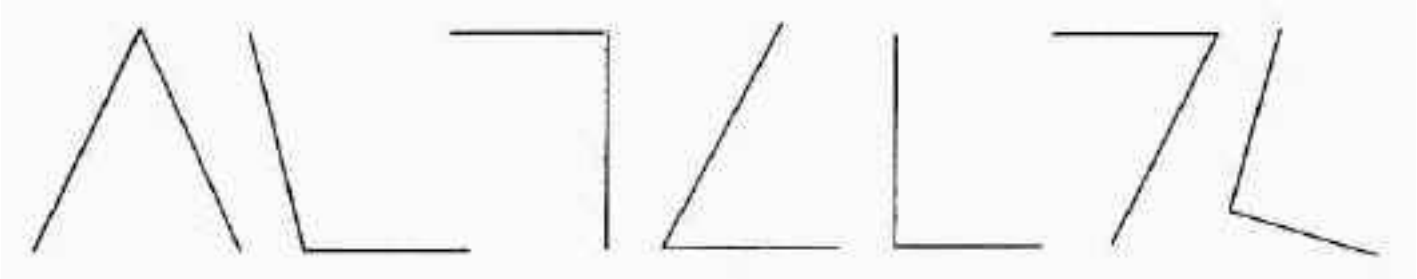
Peux-tu nommer (et dessiner ?) deux instruments permettant de vérifier :

- la verticalité du premier objet : _____

- l’horizontalité du deuxième objet : _____

## *3 – A l’angle de ma rue*

Peut-être sais-tu déjà ce qu’est un angle, et peut-être aussi, un angle droit ? Parmi les angles ci-dessous, entoure ceux que tu reconnais être des angles droits.



Sais-tu comment s’appelle un angle "moins ouvert ” que l’angle droit ?

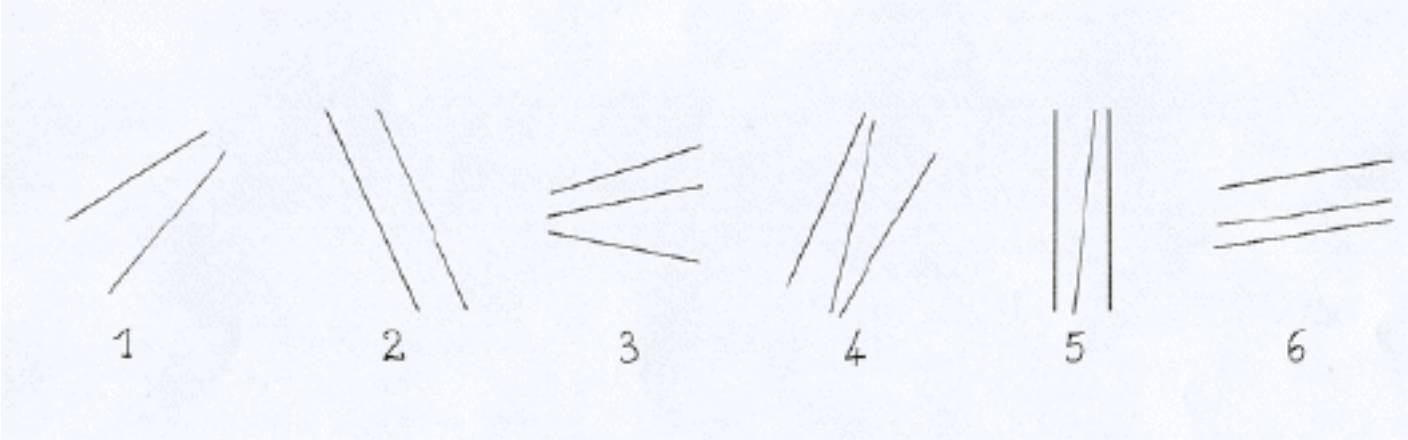
On dit que c’est un angle_____

Connais-tu l’instrument qui sert à mesurer “ l’ouverture ” d’un angle ?

On l’appelle un_____

### *4 – Prenons une rue parallèle à la tienne...*

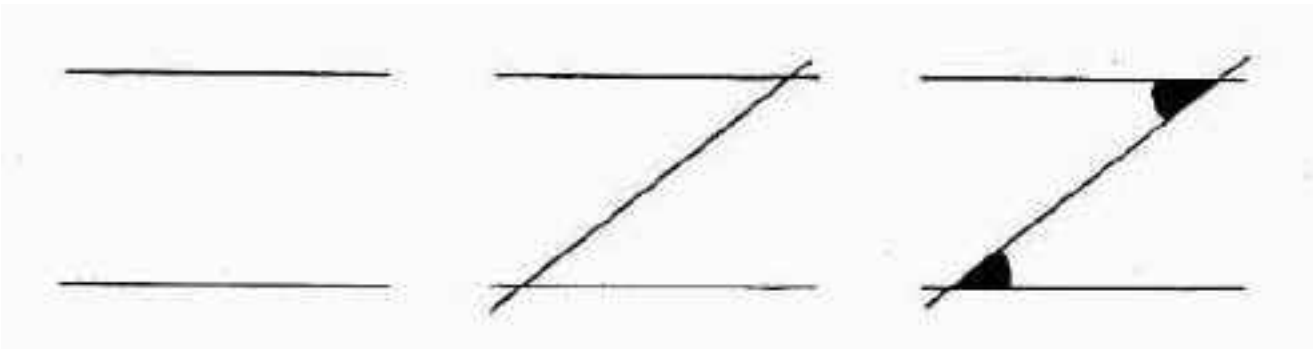
As-tu entendu parler de “ droites parallèles ” ? Même si ça n’est pas le cas, tu pourras peut-être trouver de quoi il s’agit en regardant bien ces "groupes" de droites :




Si tu penses avoir trouvé, entoure les "groupes" de droites parallèles figurant sur le dessin

### *5 – Z comme Zorro (cette question est réservée aux élèves de collège)*

Regarde les trois étapes de la construction de ce drôle de “ Z ” :



Les deux angles coloriés en noir

ont une particularité : laquelle ? _____

On pourrait la vérifier, comment ? _____

### *6 – Bonjour la Terre !*

Quelle forme a la Terre ? (Dessine-la sur une feuille)

Comment le sais-tu ?_____A quel objet te fait-elle penser ? _____

### *7 – Encore des bâtons !*

Reprends le dessin de la Terre que tu viens de faire, et ajoute, sur le pourtour, trois petits bâtons plantés dans le sol comme des piquets, mais très éloignés les uns des autres.

### *8 – La Terre s'est mise au soleil*

Dessine la Terre comme tu imagines qu'on peut la voir dans l'espace, avec des continents par exemple, mais aussi avec le Soleil qui l'éclaire. Si tu veux montrer qu'il fait nuit quelque part sur ta planète, colorie soigneusement cette partie en noir.

### *9 – C'est le jour et la nuit !*

Parmi ces 4 phrases, entoure celle (ou celles) qui explique (expiquent) de façon correcte, à ton avis, pourquoi il fait tantôt jour et tantôt nuit pour les Terriens : ( tu peux entourer plusieurs réponses )

1) La Terre tourne autour du Soleil

2) Le Soleil  tourne autour de la Terre

3) La Terre tourne sur elle-même

4) La Terre tourne sur elle-même et autour du Soleil

### *10 – Un petit vent d'ouest*

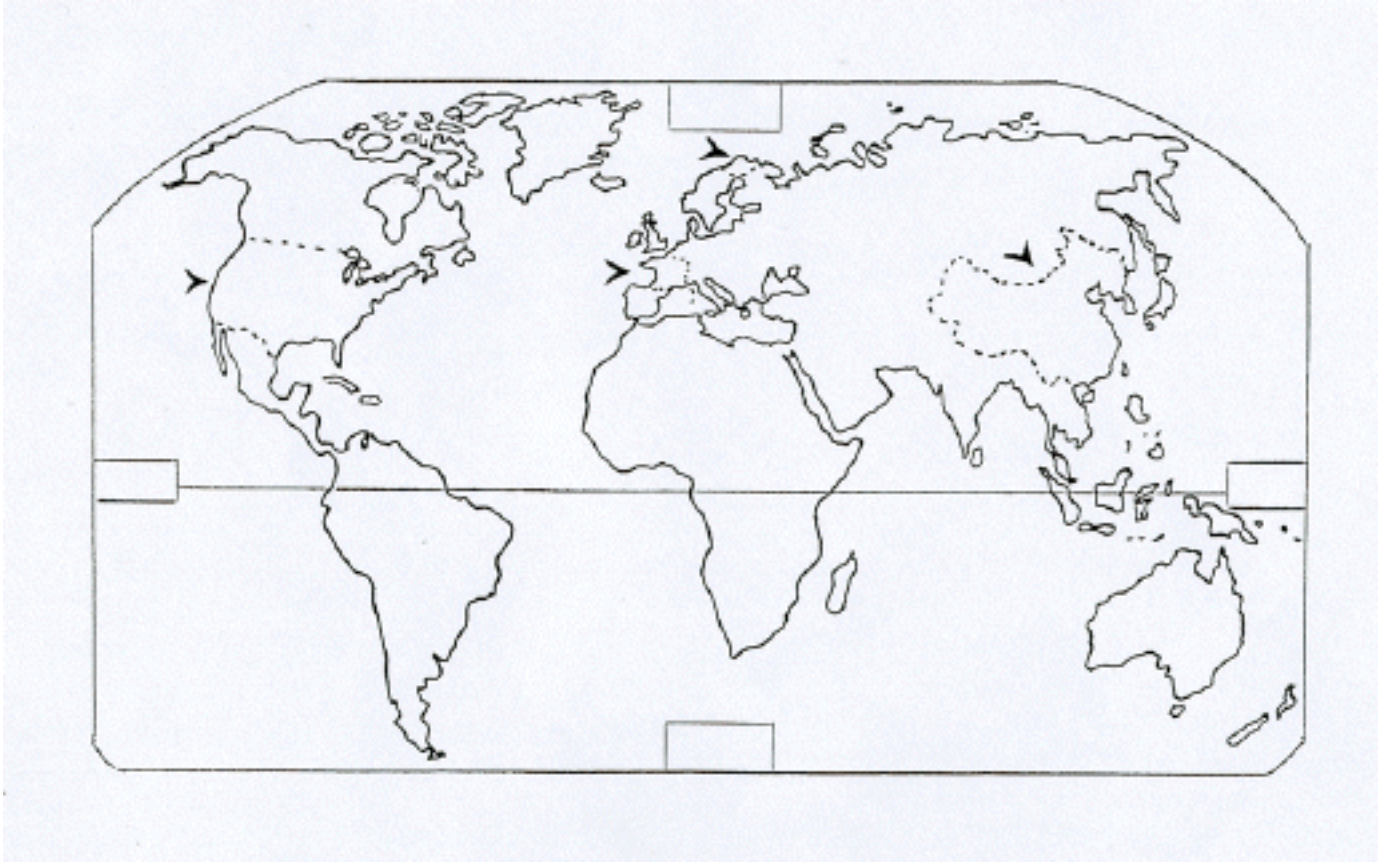
Voici la carte de la France avec, à côté, ce qu'on appelle une  rose des vents : elle indique la direction des quatre points cardinaux qui sont :

le nord (N)  le sud (S)  l'est (E)  l'ouest (O)

Écris l'initiale de chacun (sa lettre majuscule) bien à sa place à l'extrémité d'une pointe de la rose des vents.
Sur la carte, est repéré le lieu où se trouve l'école : choisis une région plus au nord de ce lieu et écris nord, une région plus au sud et écris sud, etc.

## *11 – Parcourir le vaste monde*

Voici une carte représentant les cinq continents : on l'appelle un planisphère. Ecris le nom des quatre points cardinaux dans les quatre petits rectangles. Repère la France, les Etats-Unis, la Chine, le Laponie en les coloriant avec une couleur différente pour chacun.



A ton avis, les Etats-Unis sont :

- à l'ouest de la France

- à l'est de la France

A ton avis, la France est :

- à l'ouest de la Chine
- à l'est de la Chine

## *12– Tiens, le Soleil se lève !*

Sais-tu dans quelle direction on voit le Soleil se lever ?

au nord au sud à l'est à l'ouest

Sais-tu dans quelle direction on voit le Soleil se coucher ?

au nord au sud à l'est à l'ouest

## *13– J'ai le soleil dans l'œil !*

Imagine-toi maintenant debout, face à la mer (ou face à une vaste plaine), avec le Soleil devant toi, haut dans le ciel. A quel moment de la journée peux-tu le voir ainsi ? _____

Dans quelle direction peut-il être à ce moment là ? _____

Dessine une ligne figurant l'horizon, puis, au milieu et en hauteur, le Soleil dans le ciel.

Trace le trajet du Soleil depuis le matin, à son lever, jusqu'au soir, à son coucher.
D'après tes réponses aux questions 12 et 13, essaie de placer des points cardinaux.
Pour terminer, mets des flèches sur le trajet du Soleil .

## *14– Au fil des jours, des nuits et des saisons*

Sais-tu pourquoi, en France, les nuits sont plus longues en hiver qu'en été ?_____

_____

Sais-tu pourquoi il y fait froid l'hiver et chaud l'été ? _____

_____

*COMMENTAIRES POUR L'ENSEIGNANT*

*Concernant la réponse à la question n°1, on peut repérer différents types d'erreurs possibles - Absence de Soleil.*
*- Mauvaises positions relatives du Soleil, du bâton et de l'ombre.*
*- Ombre non rattachée à la base du bâton*
*- Détails dans l'ombre.*
*- Ombre de même dimension que le bâton. Ce n'est pas forcément une erreur car le cas peut se produire, mais il dénote chez l'élève la tendance à considérer l'ombre un peu comme une image, un reflet.*

*Concernant la réponse à la question n° 9, on peut considérer, selon la physique théorique, que le choix de la phrase 2 est également correct puisque la Terre et le Soleil ont un mouvement relatif l'un par rapport à l'autre. Aussi, tout dépend du référent que l'on choisit : si c'est la Terre, c'est bien le Soleil qui tourne autour d'elle !*
*Les élèves sont souvent persuadés que la seule hypothèse valable est la quatrième phrase. Il est très instructif mais très difficile de leur faire admettre que plusieurs hypothèses expliquent l'alternance des jours et des nuits. Vu autrement, il est difficile de leur faire admettre qu'il n'y a aucun phénomène familier qui puisse trancher entre différentes hypothèses.*

*De même, concernant la question n° 13, si un élève oriente le trajet de son soleil de la droite vers la gauche après avoir écrit l'est à droite pour son lever, et l'ouest à gauche pour son coucher, et donc le nord là où il culmine, notons que son dessin n'est pas faux dans l'absolu puisque cela se passe effectivement de cette façon dans l'hémisphère sud.*

*A propos des " erreurs " ou " imprécisions " que vous relèverez dans les dessins-réponses, il conviendra d'être circonspect : l'élève peut avoir une conception assez juste mais ne pas savoir la traduire correctement, cela pour de nombreuses raisons : étourderie, maladresse, incapacité de traduire trois dimensions sur une feuille… Donc, ne pas hésiter à questionner l'élève pour s'en assurer.*

*Il vaudra mieux, à notre avis, faire une évaluation “ transversale ” : cela, en comptabilisant le nombre d’élèves ayant répondu tout à fait correctement à telle question, puis en repérant la nature et la fréquence des erreurs trouvées dans les réponses à cette même question : ce travail-là nous semble beaucoup plus intéressant et plus fructueux pour la suite.*

*Néanmoins, pour chaque élève, pourquoi ne pas établir une sorte de “ profil ” qualitatif en repérant ses points forts et ses points faibles dans chaque domaine concerné ? Ce profil sera bien sûr confronté au post-test en fin de parcours, lequel pourra être, tout simplement… le même questionnaire !*

---

# Complément historique de la séquence d'introduction (pré-test)

---

**Au sommaire de ce complément :**


**- bref résumé de l'histoire de la science grecque**

**- les grands savants de la science grecque**

**- Alexandrie : Musée et Grande Bibliothèque**


## Histoire de la science grecque

Les Grecs sont à l'origine de la science comme cheminement conduisant à étudier le monde afin de le comprendre et de le maîtriser. On situe généralement la naissance de la science grecque au 6 ème siècle avant notre ère, avec Thalès de Milet ; et sa fin vers le 3 ème siècle après JC, avec l'essor de la pensée chrétienne.

Conjointement à cette science, les grecs ont développé une philosophie pour donner un sens au monde et à la place que l'homme y occupe. Science et philosophie ont ainsi toujours été intimement liées, ce qui a conduit à de nombreuses polémiques au cours des siècles et à la formation des écoles de pensée grecques.

Les savants grecs ont exploré de nombreux domaines de la science et ont formé des théories qui, pour certaines d'entre elles, ont traversé les siècles. A l'époque d'Eratosthène, les principaux travaux réalisés traitaient surtout de mathématiques, d'astronomie ou de médecine.

### La formation des mathématiques

Depuis le début de la science, les mathématiques ont été un formidable outil pour la recherche scientifique, ainsi que pour l'observation du monde.

Le premier « théorème » mathématique est celui de **Thalès** , qui lui permettait de mesurer la hauteur des pyramides. Cependant, à l'époque de **Thalès** , les questions brûlantes se posaient surtout sur la nature du monde et peu de travaux mathématiques verront le jour, jusqu'à **Pythagore** .

**Pythagore** n'avait pas la même conception des mathématiques que **Thalès** . Loin de s'en servir pour des applications pratiques, les mathématiques étaient pour lui et ses disciples une façon d'expliquer l'ordre du monde. Si on peut lui reprocher d'avoir empreint toute sa science de mysticisme et de religion, il est à noter que l'absence de visées pratiques à permis à cette science d'évoluer vers des concepts plus abstraits, base des mathématiques modernes.

De plus, c'est **Pythagore** qui fit de la géométrie un enseignement libéral, et ouvrait ainsi la voie à une longue tradition de mathématiciens.

Cependant, la doctrine rigide des pythagoriciens eut aussi quelques désavantages. Persuadés de la perfection mathématique du monde, ils firent barrage à des découvertes qui ébranlaient quelque peu leur conception du monde. Ainsi, pendant plusieurs siècles, les mathématiques n'évoluèrent que peu, jusqu'à **Euclide** et les savants de l'école d'Alexandrie.

**Euclide** est à l'origine d'un des plus complets traités de mathématiques de tous les temps. Cette œuvre colossale regroupe les écrits mathématiques des savants qui l'ont précédé ainsi que ses propres travaux et forment une base mathématique si solide que certaines parties sont encore enseignées de nos jours.

Quelques décennies plus tard, **Archimède** , bien qu'ingénieur (on lui doit le célèbre « principe d'Archimède »), intervient dans l'évolution des mathématiques. Pour les besoins de ses travaux de mécanique, il travailla sur la géométrie des objets plans et en volume, ce qui lui permit de trouver un premier encadrement du nombre pi et de déterminer les propriétés d'un objet pesant (ou ensemble de points pondérés, c'est à dire la théorie des barycentres). Ces travaux aideront considérablement les savants modernes qui, bien plus tard, puisèrent dans les écrits d'Archimède pour leurs propres recherches.

A la suite d' **Archimède** et d' **Euclide** , un autre savant a profondément marqué le développement des mathématiques et surtout de la géométrie : **Apollonios** . Essentiellement connu pour son traité sur les coniques (courbes issues de la section d'une courbe et d'un plan), il a eu un rôle d'historien et a permis, à travers les nombreuses citations de savants dans ses ouvrages, de préciser l'histoire des mathématiques, en particulier en ce qui concerne des savants dont il n'a subsisté que peu d'écrits.

## L'astronomie et les conceptions de l'Univers

L'astronomie est née, elle aussi, pendant cette grande période de la science grecque. C'était la première fois que l'on sortait des conceptions primitives de la formation de la Terre et de l'Univers pour aller vers des explications scientifiques.

Ainsi, les idées évoluèrent. Au début de la science, on croyait à une Terre plate, flottant dans l'Univers, tous les autres astres tournant autour d'elle. Vint ensuite l'hypothèse que la Terre était sphérique, proposée par **Parménide** , qui supposait que la sphère étant le volume le plus parfait, la Terre devait être sphérique. Il est amusant de se dire que c'est une hypothèse que l'on n'a pu vérifier de visu que très récemment, avec les débuts de la conquête spatiale.

Un siècle plus tard, **Eudoxe** propose un premier modèle pour expliquer le mouvement des astres dans le ciel de la Terre : les sphères homocentriques. Dans ce système, la Terre se trouve au centre de sphères concentriques, chacune portant un objet céleste ; on pouvait ainsi prédire la trajectoires des astres, à l'aide cependant de calcul très compliqués.

A la même époque, les propositions d'**Héraclide** bousculèrent les idées reçues : la Terre n'est pas fixe dans l'espace, mais tourne sur elle-même. On s'éloigne de plus en plus de l'idée d'un univers tournant autour de la Terre fixe dans l'espace.

Encore un siècle plus tard, **Aristarque** émit le premier l'idée que c'était peut-être la Terre qui tourne autour

du Soleil, et non l'inverse : c'est le modèle héliocentrique. Il allait ainsi complètement à l'encontre de toutes les idées de l'époque ; cependant, son système simplifiait beaucoup les modèles déjà existants (notamment celui d' **Eudoxe** ) et de plus permettait d'expliquer facilement les cycle des saisons. Malheureusement, son hypothèse ne fut pas entendue et on revint au système géocentrique (centré sur la Terre). Ce n'est que 17 siècles plus tard que l'idée reviendra à la surface, avec Copernic, qui lui-même n'osa pas publier ses idées par crainte des réactions qu'elles risquaient de susciter.

Les grandes évolutions suivantes de l'astronomie sont dues à **Hipparque** , qui dressa le premier catalogue d'étoiles et parvint à calculer les dimensions et la distance de la Terre et du Soleil au moyen d'un dioptre (instrument permettant de mesurer la distance angulaire entre 2 points).

La fin de l'expansion de l'astronomie grecque est marquée par les travaux de **Ptolémée** . Il décrivit un modèle semblable à celui des sphères d'Eudoxe, mais où les objets célestes n'étaient pas portés par ces sphères. Ils étaient placés sur une roue décentrée, tournant elle aussi. Ce système compliqué permettait de calculer, avec un degré d'exactitude raisonnable, les observations faites. En fait ce système fonctionnait si bien qu'il est resté la référence jusqu'à la Renaissance et Copernic, puis Galilée, qui ont finalement réussi à prouver son inexactitude.

## La naissance de la médecine comme science

Jusqu'au 5 ème siècle av. JC, la médecine n'avait pas de bases scientifiques. Les diagnostics des médecins étaient alors donnés en fonction de signes religieux ou magiques.

**Hippocrate** mit fin à cet obscurantisme, pour un temps seulement, en instituant une véritable science de la médecine, codifiée et méthodique. Il introduit ainsi le concept de consultation du malade, qui nous semble évident à l'heure actuelle, mais qui n'existait pas du tout à l'époque. Il affirme que la santé et les maladies sont des phénomènes naturels et s'intéresse beaucoup à l'hygiène, comme moyen d'éviter ces problèmes. On lui doit bien évidemment l'énoncé du « serment d'Hippocrate », que la plupart des étudiants de médecine actuels prononcent encore lors de leur entrée dans le corps médical.

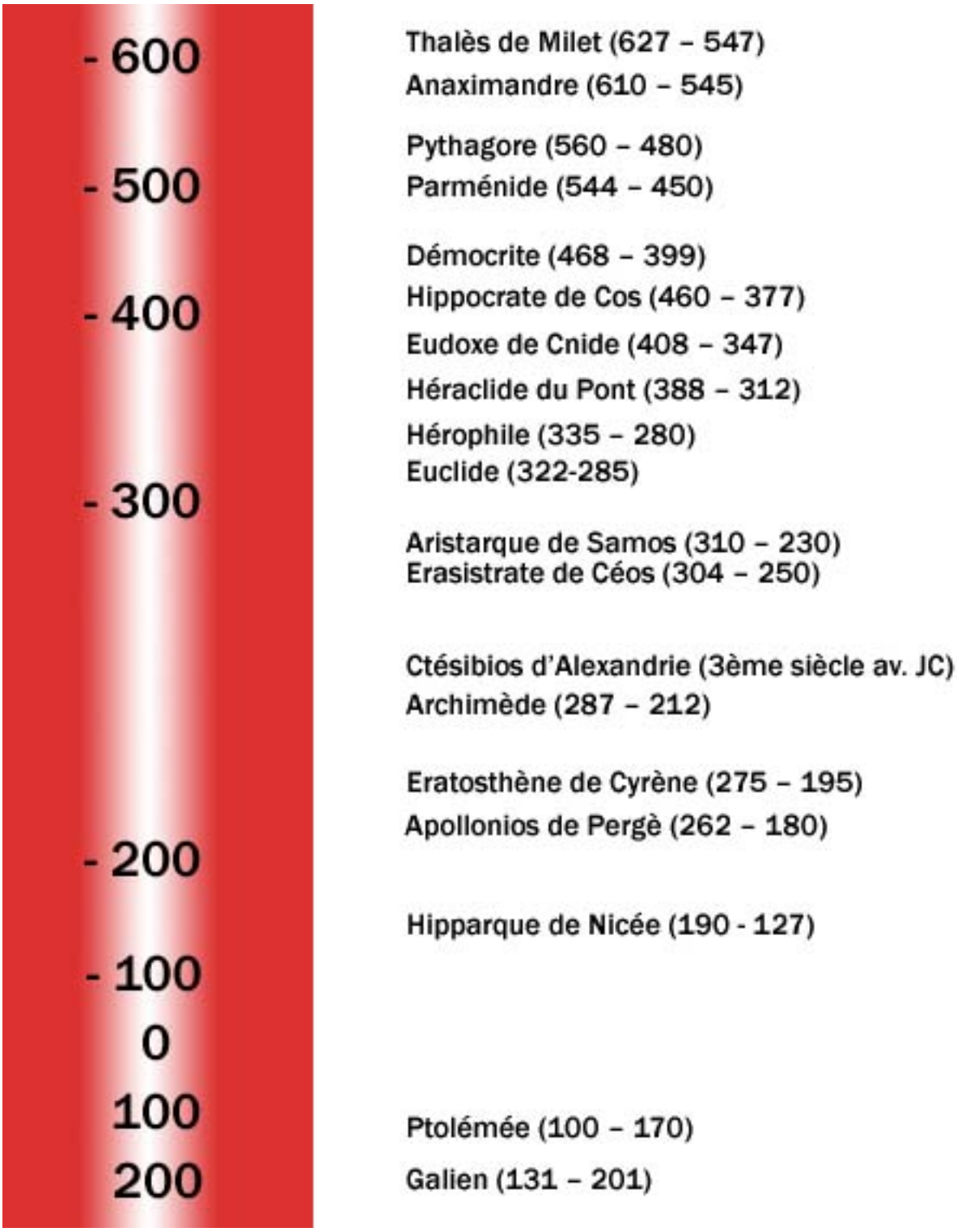
Environ un siècle et demi plus tard, deux autres savants apporteront de précieuses pierres à l'édification de la médecine. Tout d'abord **Hérophile** , qui fit faire un bond en avant à l'anatomie. Il proposa les premières hypothèses sur la circulation du sang (théorie qui ne sera affirmée qu'en 1628, par Harvey) et donna les premières descriptions précises de l'anatomie du cerveau. Il est aussi connu, comme gynécologue, pour avoir accouché une mère de quintuplés, fait extrêmement rare même à notre époque.

A la même époque, **Erasistrate** faisait aussi de nombreuses découvertes. Se servant des travaux d' **Hérophile** , il compléta ses recherches sur le cerveau. Mais en dehors de ses travaux médicaux, sa principale œuvre, souvent décriée par ses contemporains, fut d'essayer de mettre au point une thérapeutique, basée sur un mode de vie hygiénique et des techniques de soins légères (diètes, régimes spéciaux ; à comparer avec les saignées et autres traitements radicaux appliqués à l'époque).

Bien plus tard, au 2 ème siècle ap. JC, **Galien** reprit les travaux de ses prédécesseurs et les associa aux siens pour fonder une œuvre médicale impressionnante, bien que souvent inexacte. Il est amusant de noter que **Galien** prônait l'existence dans l'homme de l'essence divine d'un dieu unique. Cette vision des choses permit à ses travaux de traverser les siècles, sous la protection de la religion chrétienne qui allait bientôt déferler sur toute l'Europe, jusqu'à ce que quelques savants de la Renaissance osent s'opposer au dogme religieux et

remettent en question une partie de ses travaux.

## Les grands savants de la science grecque




### Thalès de Milet (627 – 547)

« Thalès est le philosophe qui tombe dans le trou ouvert sous ses pas parce qu'il est occupé à regarder les

choses du ciel » (anecdote issue des écrits de Platon). Thalès est né à Milet, en Asie Mineure (actuelle Turquie), puissante cité maritime.

Il est le premier à avoir tourné le dos au mysticisme pour tenter de donner une explication scientifique des phénomènes qu'il observait. Il est l'exemple parfait du savant qui préfère rester dans la contemplation et l'étude du monde, plutôt que de se servir de ses connaissances à des fins de gloire ou de fortune.

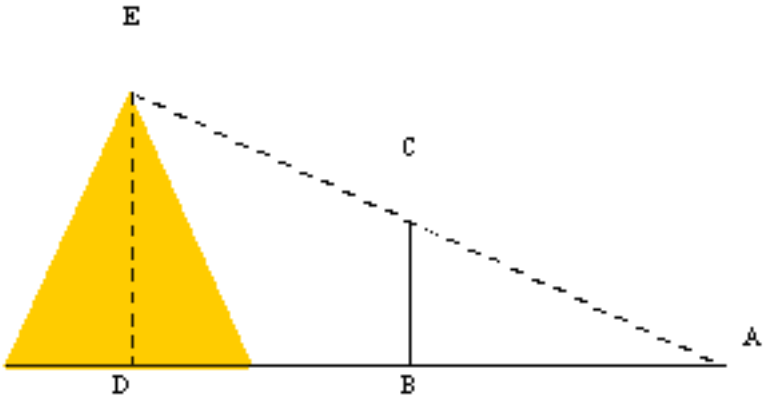
Cependant, ses détracteurs le raillaient et estimaient que sa philosophie ne le mènerait pas loin, dénuée qu'elle était de toute application pratique. Marchand de son état, Thalès fit alors une opération qui lui assura le respect, en même temps que la fortune : à la sortie d'un hiver très rigoureux, il remarqua que la récolte d'olives s'annonçait exceptionnelle (on attribue parfois cette découverte à des observations astronomiques qu'il aurait faites) ; il acheta alors tous les pressoirs à huile de la région, et lorsque la récolte fut arrivée, il put les louer à prix d'or, coupant court aux moqueries dont il faisait l'objet.

Certains textes lui attribuent la prédiction de l'éclipse de Soleil de mai 585 av. JC. Selon Hérodote, cette prédiction aurait même mis fin à une guerre entre les Lydiens et les Mèdes qui, impressionnés et inquiets de ce phénomène, prirent rapidement le chemin de la paix.

On lui doit le célèbre théorème de Thalès, issu d'une observation qu'il fit en calculant la hauteur d'une pyramide (et qui ne sera démontré que trois siècles plus tard par Euclide, sans qu'il porte ce nom ; le nom de Théorème de Thalès ne fera son apparition qu'au 19 ème siècle).

Il fonda l'école de Milet où il put dispenser ses enseignements à de nombreux élèves, et ainsi laisser sa marque dans l'histoire.

Exemple d'utilisation du **théorème de Thalès** : calcul de la hauteur d'une pyramide




On plante verticalement dans le sol un bâton (noté ici BC), l'observateur (son œil) se place au point A, le but étant de calculer la hauteur DE de la pyramide.

D'après le théorème de Thalès, si BC et DE sont parallèles alors on peut écrire :

$$\frac{AC}{AE} = \frac{AB}{AD} = \frac{BC}{DE}$$

...retour à la frise...

## Anaximandre (610 - 545)

Philosophe né à Milet, en Asie Mineure (actuelle Turquie). Il succéda à Thalès à la tête de l'école de Milet. Il fut le premier à introduire une cosmologie (c'est à dire une explication de la naissance du monde et de sa fin), qu'il basait sur l'interaction entre deux éléments d'essence opposée, par exemple le « chaud-léger-lumineux » qui affronte le « froid-dense-obscur ». Sa grande originalité est de sortir des conceptions mythologiques, majoritairement suivies à son époque, pour donner une rationalité scientifique à la naissance du monde.

...retour à la frise...

## Pythagore (560 - 480)

La vie de Pythagore est empreinte de mystère. Il n'aurait rien écrit, tout ce que nous savons de lui a été transmis par tradition orale.

Il naquit vraisemblablement à Samos (une île à l'Ouest de la côte turque), qu'il quitta pour fonder une nouvelle communauté religieuse et politique, à Crotone en Italie.

Les pythagoriciens estimaient que le monde est régi par les lois mathématiques (on leur doit d'ailleurs l'utilisation de ce terme, qui signifie enseignement ou apprentissage de la science) et faisaient reposer la majeure partie de leurs théories sur les propriétés et les applications des nombres.

On doit à cette école la démonstration du célèbre théorème de Pythagore, qui était déjà connu, sans aucun doute possible, longtemps auparavant (on a retrouvé des traces de son application dans des tablettes babyloniennes datant de 1800 ans av. JC).

Cependant, loin des considérations de Thalès ou d'Anaximandre qui tentaient de s'éloigner des conceptions mystiques de la science, l'école de Pythagore avait une forte propension au religieux et au mysticisme, et s'impliquait beaucoup dans la vie religieuse et politique de la région ; ce qui ne plût pas à tout le monde, et une émeute populaire, lors de laquelle l'école fut détruite, mis fin au travail du savant.

**Théorème de Pythagore** : dans un triangle rectangle, la somme des longueurs élevées au carré des côtés adjacents à l'angle droit est égale à la longueur élevée au carré de l'hypoténuse du triangle.

Soit dans un triangle ABC rectangle en A, on aura $AB^2 + AC^2 = BC^2$

...retour à la frise...

## Parménide (544 - 450)

Philosophe, né à Elée (colonie du sud de l'Italie). Son œuvre principale, *De la nature*, dont il ne reste qu'une soixantaine de vers (on connaît le reste de l'œuvre grâce aux commentaires qui en ont été faits, notamment par Platon), pose les premières conceptions de l'idée de vérité : la vérité n'est pas celle que l'on voit (vérité de la perception, issue de l'expérience) mais celle que l'on peut concevoir (vérité de la pensée, issue de la raison) au travers de l'être (Un, unique, indivisible). Il oppose ainsi la logique (l'être) à l'expérience (le non-être), principe résumé dans ses mots : « L'être est et le non-être n'est pas. »

Il est le premier à introduire l'idée d'une Terre sphérique, la sphère étant le volume le plus parfait.

...retour à la frise...

## Démocrite (468 - 399)

Philosophe né à Abdère, en Thrace ; il était versé dans la physique, l'éthique, les mathématiques et les arts. Avec plus de 2000 ans d'avance, il propose une théorie atomiste de la nature de l'Univers : il n'existe rien, que l'atome et le vide. L'Univers serait formé de grains, les atomes, indivisibles, infinis en nombre et éternels, se mouvant dans le vide (en grec « atomos » signifie insécable, indivisible).

Plutarque raconte dans ses écrits qu'il se serait ôté la vue pour ne plus être tenté, notamment par les femmes, et pouvoir ainsi se consacrer tout entier à sa réflexion.

...retour à la frise...

## Hippocrate de Cos (460 - 377)

Hippocrate serait né sur l'île de Cos. Il est issu d'une grande famille aristocratique détentrice d'un savoir médical transmis de générations en générations. Appelé « Père de la médecine » par ses contemporains et ses commentateurs (notamment Platon), il est à l'origine de la médecine moderne, exempte de toute considérations mystique ou religieuse, en faisant une véritable science, centrée sur le malade, avec ses règles qu'il décrit dans son œuvre majeure, les *Aphorismes* .

Il est le premier à prendre en considération l'influence de facteurs tels que le climat, l'état de l'atmosphère, la température, l'influence des saisons, des pluies, des vents et des orages, l'âge du malade ou le régime alimentaire, sur la santé.

D'après ses écrits, on peut affirmer qu'il avait de bonnes connaissances en chirurgie, en obstétrique et en ostéologie, mais sa conception de la physiologie est parfaitement erronée.

Sa médecine et sa physiologie reposent sur les mêmes hypothèses que celles des philosophes naturalistes : l'homme est constitué de quatre éléments (eau, terre, air, feu) correspondant à quatre caractères (respectivement froid, sec, humide, chaud) et interagissant autour de quatre « humeurs » (le sang, la lymphe, la bile, l'atrabile). L'homme est malade lorsque l'équilibre de ces humeurs se trouve rompu, le travail du

médecin étant alors de les rééquilibrer.

Il fonde une école de médecine où ses étudiants doivent prononcer un serment (voir ci-dessous). Ce serment est toujours prononcé par les étudiants de médecine, lors de la réception de leur diplôme.

**Serment d'Hippocrate (traduction du Littré)**

*« Je jure par Apollon médecin, par Esculape, Hygie et Panacée, par tous les dieux et toutes les déesses, et je les prends à témoin que, dans la mesure de mes forces et de mes connaissances, je respecterai le serment et l'engagement écrit suivant :*

*Mon Maître en médecine, je le mettrai au même rang que mes parents. Je partagerai mon avoir avec lui, et s'il le faut je pourvoirai à ses besoins. Je considérerai ses enfants comme mes frères et s'ils veulent étudier la médecine, je la leur enseignerai sans salaire ni engagement.*
*Je transmettrai les préceptes, les explications et les autres parties de l'enseignement à mes enfants, à ceux de mon Maître, aux élèves inscrits et ayant prêtés serment suivant la loi médicale, mais à nul autre.*

*Dans toute la mesure de mes forces et de mes connaissances, je conseillerai aux malades le régime de vie capable de les soulager et j'écarterai d'eux tout ce qui peut leur être contraire ou nuisible. Jamais je ne remettrai du poison, même si on me le demande, et je ne conseillerai pas d'y recourir. Je ne remettrai pas d'ovules abortifs aux femmes.*

*Je passerai ma vie et j'exercerai mon art dans la pureté et le respect des lois Je ne taillerai pas les calculeux, mais laisserai cette opération aux praticiens qui s'en occupent. Dans toute maison où je serai appelé, je n'entrerai que pour le bien des malades. Je m'interdirai d'être volontairement une cause de tort ou de corruption, ainsi que tout entreprise voluptueuse à l'égard des femmes ou des hommes, libres ou esclaves. Tout ce que je verrai ou entendrai autour de moi, dans l'exercice de mon art ou hors de mon ministère, et qui ne devra pas être divulgué, je le tairai et le considérerai comme un secret.*

*Si je respecte mon serment sans jamais l'enfreindre, puissé-je jouir de la vie et de ma profession, et être honoré à jamais parmi les hommes. Mais si je viole et deviens parjure, qu'un sort contraire m'arrive ! »*

**Texte simplifié actuellement utilisé dans la plupart des facultés de médecine :**

*« En présence des Maîtres de cette Ecole, de mes chers condisciples devant l'effigie d'Hippocrate, je promets et je jure, au nom de l''Etre Suprême, d'être fidèle aux lois de l'honneur et de la probité, dans l'exercice de la Médecine.*

*Je donnerai mes soins gratuits à l'indigent, et n'exigerai jamais un salaire au dessus de mon travail. Admis dans l'intérieur des maisons, mes yeux ne verront pas ce qui s'y passe, ma langue taira les secrets qui lui seront confiés, et mon état ne servira pas à corrompre les mœurs, ni à favoriser le crime.*

*Respectueux et reconnaissant envers mes Maîtres, je rendrai à leurs enfants l'instruction que j'ai reçue de leurs pères .*

*Que les hommes m'accordent leur estime si je suis fidèle à mes promesses!*

*Que je sois couvert d'opprobre et méprisé de mes confrères si j'y manque! »*

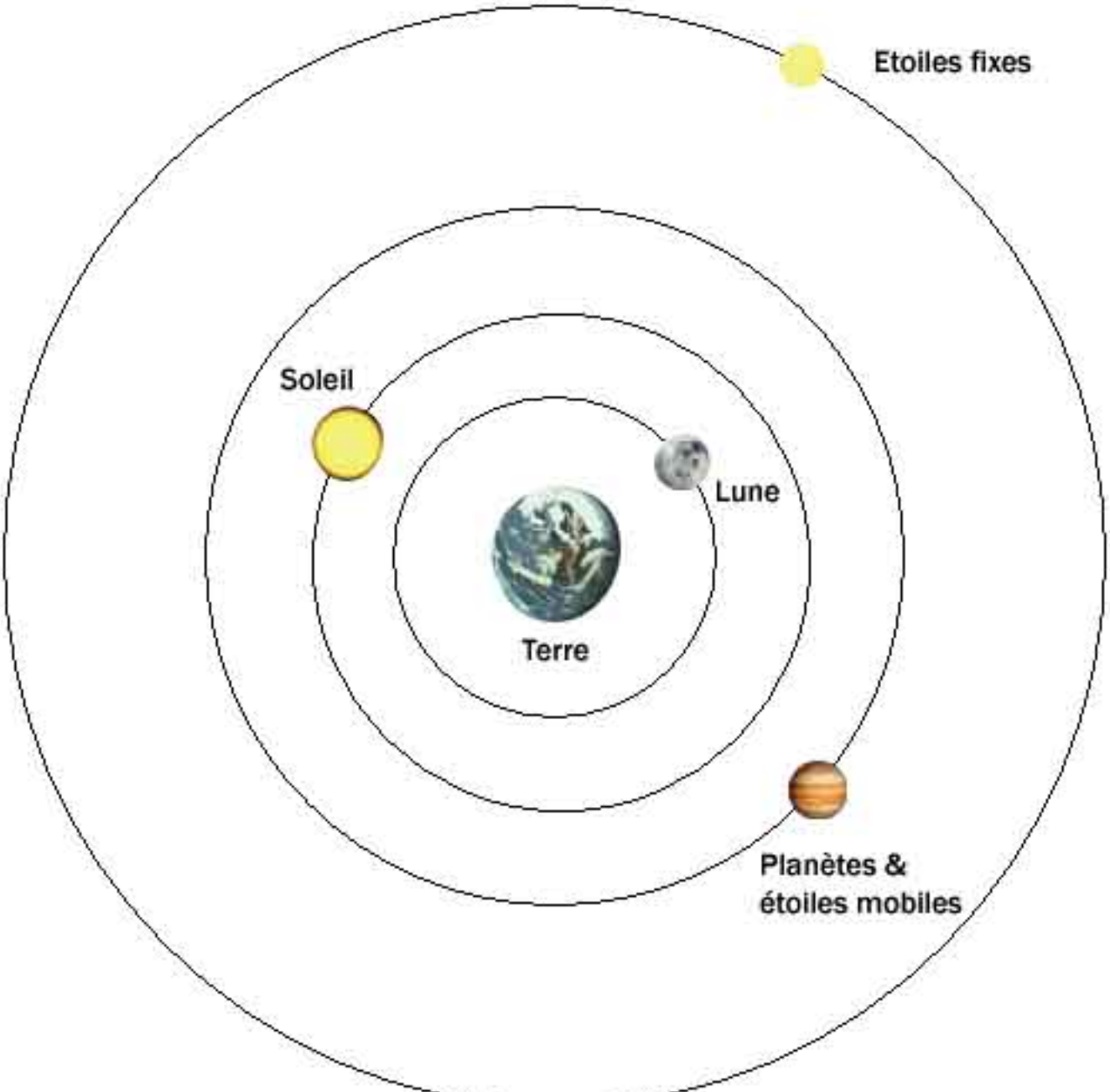
...retour à la frise...

## Eudoxe de Cnide ( 408 - 347)

Issu d'une famille de médecins sans fortune, Eudoxe a beaucoup voyagé (Grèce, Egypte). Même si on a pu retrouver que des fragments de son œuvre, il est souvent cité par ses commentateurs (notamment Archimède) et on peut en déduire qu'il fut un des plus grands savants du 4 ème siècle avant notre ère. Ses travaux mathématiques ont profondément influencé ses successeurs (notamment Euclide) et ses recherches astronomiques ont abouti à la mise en forme d'un système permettant de prédire le mouvement des astres dans le ciel : les sphères homocentriques.

Il fut le premier à calculer la durée d'une année, et l'évalua à 365,25 jours, résultat très proche des calculs modernes.

**Les sphères homocentriques d'Eudoxe :**



La Terre se trouve au centre du système de sphères, qui en compte 27. La première sphère porte la Lune, la seconde le Soleil, les suivantes portent les planètes et les étoiles mobiles. La dernière sphère porte les étoiles fixes du ciel.

Ce système a l'avantage de pouvoir calculer et prédire avec une assez bonne exactitude les mouvements des astres, cependant les calculs nécessaires à son fonctionnement sont excessivement complexes.

...retour à la frise...

## Héraclide du Pont (388 - 412)

Né à Héraclée dans le Pont. Il partit vivre à Athènes où il fut le disciple de Platon et d'Aristote. Il ne reste aucune trace de ses ouvrages dont on sait qu'ils traitaient de philosophie, de grammaire et de physique.

Sa principale contribution à la science grecque, et surtout à l'astronomie, est d'avoir défendu l'idée de la rotation de la Terre sur elle-même, même s'il plaçait la Terre au centre de l'Univers.

...retour à la frise...

## Hérophile (335 - 280)

Né à Chalcédoine (actuellement en Turquie). Il est connu comme le père de l'anatomie scientifique car il fut le premier à fonder ses conclusions scientifiques sur la dissection du corps humain. Il étudia le cerveau et comprit qu'il était le centre du système nerveux. Il distingua les nerfs moteurs des nerfs sensoriels et décrivit correctement l'œil, le cerveau, le foie et le pancréas, ainsi que les glandes salivaires et les organes génitaux. Il fut le premier à penser que les artères transportaient du sang, et non de l'air. Ses travaux, qui comprenaient des commentaires sur Hippocrate ainsi qu'un traité d'anatomie, ont été perdus.

...retour à la frise...

## Euclide (322 - 285)

On ne sait quasiment rien sur la vie d'Euclide, dont le nom résonne surtout avec son œuvre mathématique, les *Eléments* . Il est presque certain qu'il vécut à Alexandrie, sous Ptolémée 1 er Sôter, au moment de la création du musée et de la bibliothèque, et apparaîtrait comme le fondateur de l'école d'Alexandrie qui regroupa dans ses membres des noms illustres tels qu'Archimède, Eratosthène ou Hipparque.

La grande force de son œuvre repose sur le principe, nouveau pour l'époque, de sa construction. En effet, cette œuvre entreprend de déduire l'ensemble des résultats mathématiques à partir d'un petit nombre d'entre eux, explicitement admis (les axiomes ou postulats). Tous les autres résultats n'apparaissent alors que comme des conséquences des résultats premiers, déduits de raisonnements qui se veulent absolument précis et rigoureux. La certitude des théorèmes semble découler alors implacablement de celle des énoncés

premiers, par le seul moyen de la démonstration mathématique.

...retour à la frise...

## Aristarque de Samos (310 - 230)

Astronome, originaire de l'île de Samos, en mer Egée (Grèce). Il est le premier à proposer un système héliocentrique (le Soleil est le centre de l'Univers et les astres, y compris la Terre, tournent autour de lui), qui simplifiait grandement les calculs de trajectoires des objets célestes mais qui ne sera pas écouté, notamment du fait que ce principe allait complètement à l'encontre des philosophies de l'époque, où la Terre se devait d'être au centre du monde. Ses idées ne seront reprises que 17 siècles plus tard, par Nicolas Copernic.

Il trouva une méthode basée sur des applications trigonométriques pour calculer les distances relatives entre la Terre, le Soleil et la Lune. Cependant, se fondant sur des observations astronomiques erronées, ce calcul sera faux.

...retour à la frise...

## Erasistrate de Céos (304 - 250)

Médecin et anatomiste. Il passe pour le fondateur de la physiologie dans ses travaux sur la circulation du sang, pensant que les veines envoyaient le sang du cœur vers les organes alors que les artères servaient à la circulation de l'air.

Egalement très bon clinicien, il est le premier à avoir étudié le relations entre maladies et lésions, créant ainsi l'anatomie pathologique. Diététicien et hygiéniste, il déplora souvent le peu d'attention portée par ses confrères aux règles élémentaires d'hygiène qui permettent de prévenir ou atténuer les effets des maladies.

Suiveur d'Hérophile, il fut le médecin de Séleucos I et l'on dit qu'il fut le seul à deviner que la mystérieuse maladie du fils de Séleucos était une passion malheureuse pour la seconde femme de son père. Erasistrate obtint du roi qu'il divorce et accepte le mariage de son fils.

...retour à la frise...

## Ctésibios d'Alexandrie (3ème siècle)

Mécanicien. Il est l'inventeur de nombreux procédés, notamment basés sur l'hydraulique, tels que la clepsydre à débit constant, l'orgue hydraulique ou un système de pompe (foulante-aspirante) auquel son nom reste attaché.

...retour à la frise...

## Archimède (287 - 212)

Archimède est né à Syracuse, au sud-est de la Sicile. Fils d'un astronome, il a beaucoup étudié la mécanique

et on lui doit le célèbre « principe d'Archimède » qu'il aurait, selon la légende, découvert en prenant un bain. Il découvrit aussi le principe du levier et de la vis sans fin.

Ses travaux mathématiques ne sont pas moindres puisqu'il détermina une première approximation du nombre pi.

Il eut une correspondance avec Eratosthène, dans laquelle ils discutaient de problèmes scientifiques, et d'hypothèses qu'ils tentaient de formuler.

Pendant le siège de Syracuse par les troupes romaines, il mit ses talents d'ingénieur à contribution pour la défense de la ville et aurait trouvé un système permettant d'enflammer les bateaux à distance, au moyen de jeu de gigantesques miroirs concentrant leurs rayons en un point. Malheureusement, il fut tué par un soldat, qui pourtant était chargé de le ramener vivant au général romain Marcellus.

**Principe d'Archimède :**

« Tout corps solide plus léger que tel liquide s'enfoncera, une fois plongé dans ce liquide, jusqu'au point où le volume de liquide correspondant au volume de la partie immergée du solide aura un poids égal à celui du corps tout entier. »

*De corporibus fluctuantibus* , I, 5

Dans une formulation plus actuelle :

« Tout corps plongé dans un liquide subit une poussée vers le haut équivalente au poids du liquide qu'il déplace »

...retour à la frise...

## Eratosthène de Cyrène (275 - 195)

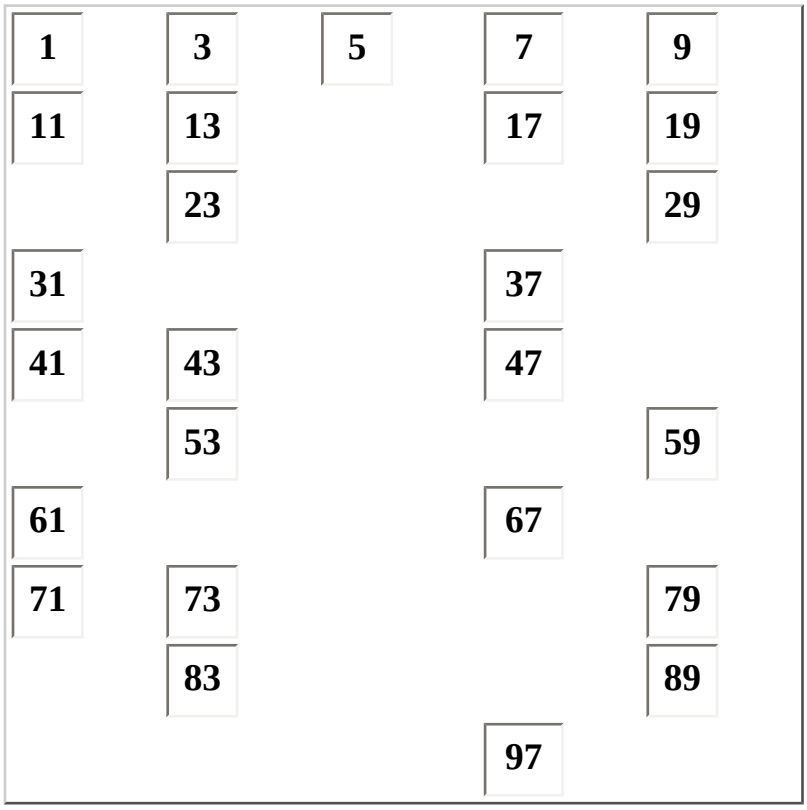
Eratosthène est né à Cyrène (actuellement en Syrie). Il passe la première partie de sa vie à Athènes où il se bâtit une solide culture dans de nombreux domaines (certains de ses détracteurs l'appelleront ainsi Bêta, 2 ème lettre de l'alphabet grec, arguant qu'il était toujours second en tout). Au cours du 3 ème siècle, un de ses anciens maîtres, le poète Callimaque, originaire comme lui de Cyrène, et directeur de la Grande Bibliothèque d'Alexandrie, le recommande au pharaon Ptolémée III pour qu'il devienne le précepteur de son fils, futur pharaon. Ainsi Eratosthène part en Egypte, à Alexandrie, où en plus de ses fonctions de précepteur royal, il succède à Callimaque au poste de directeur de la Bibliothèque.

Intéressé dans de nombreux domaines, il brille notamment en mathématiques (crible d'Eratosthène et mésolabe) et en géographie, domaine dans lequel il sera toujours considéré comme un fondateur. Mais le plus grand retentissement de son œuvre est sans aucun doute le calcul de la circonférence de la Terre, qu'il fit avec beaucoup de précision pour l'époque.

**Méthode du crible d'Eratosthène :**

Ce procédé, un peu fastidieux, permet de retrouver les nombres premiers. Dans un tableau regroupant des

nombres écrits dans l'ordre ascendant, on ôte tous les multiples de chaque nombre sauf ce nombre lui-même. Par exemple, on efface tous les multiples de 2 sauf 2, puis tous les multiples de 3 sauf 3, etc…




**Le mésolabe : problème de la duplication du cube**

Un des grands problèmes des mathématiciens grecs était la duplication du cube, c'est à dire trouver à partir d'un cube donné (de côté c), un autre cube (de côté C) de volume double. On en revient à l'équation : $C^3=2c^3$.

La méthode consiste à insérer des éléments de proportionnalité dans le calcul et à trouver la longueur d'un côté du cube dupliqué en s'appuyant sur le théorème de Thalès.

...retour à la frise...

## Apollonios de Pergé (262 - 180)

Géomètre, astronome et mathématicien. Dans son *traité des Sections coniques* , composé de 8 livres, il donne un exposé systématique et rigoureux des propriétés de l'ellipse, de la parabole et de l'hyperbole (noms qu'il leur attribua). Il tenta aussi d'expliquer le mouvement rétrograde apparent des planètes par usage d'épicycles (en astronomie, petit cercle décrit par un astre dont le centre décrit un autre cercle).

Avec Euclide et Archimède, il est l'une des grandes figures des mathématiques antiques, et a marqué la géométrie pendant près de 20 siècles.

...retour à la frise...

## Hipparque de Nicée (190 - 127)

Considéré comme le plus grand astronome de l'Antiquité. Il est né à Nicée (actuellement en Turquie) où il fit ses premières observations, avant de partir s'installer à Rhodes, en Grèce, où vraisemblablement il mourut.

Il est le fondateur de la trigonométrie, à laquelle il inclut le partage du cercle en 360 parties (que nous utilisons toujours dans nos mathématiques modernes), grâce à laquelle il fonde une méthode de prédiction des éclipses.

Il découvre la précession des équinoxes, mais attribue ce phénomène à un mouvement parallèle de la sphère céleste, et non pas à la variation de l'orientation de l'axe de la Terre (dont on sait maintenant qu'elle est responsable de cette précession).

Ses connaissances mathématiques lui auraient permis d'inventer l'astrolabe, instrument permettant de relever la position des étoiles (en mesurant les coordonnées célestes –ascension droite et déclinaison), et ainsi de dresser le premier catalogue d'étoiles.

Son nom est porté par un cirque lunaire (immense cratère à la surface de la Lune), sur lequel Tintin et ses amis se posent dans *Objectif Lune* .

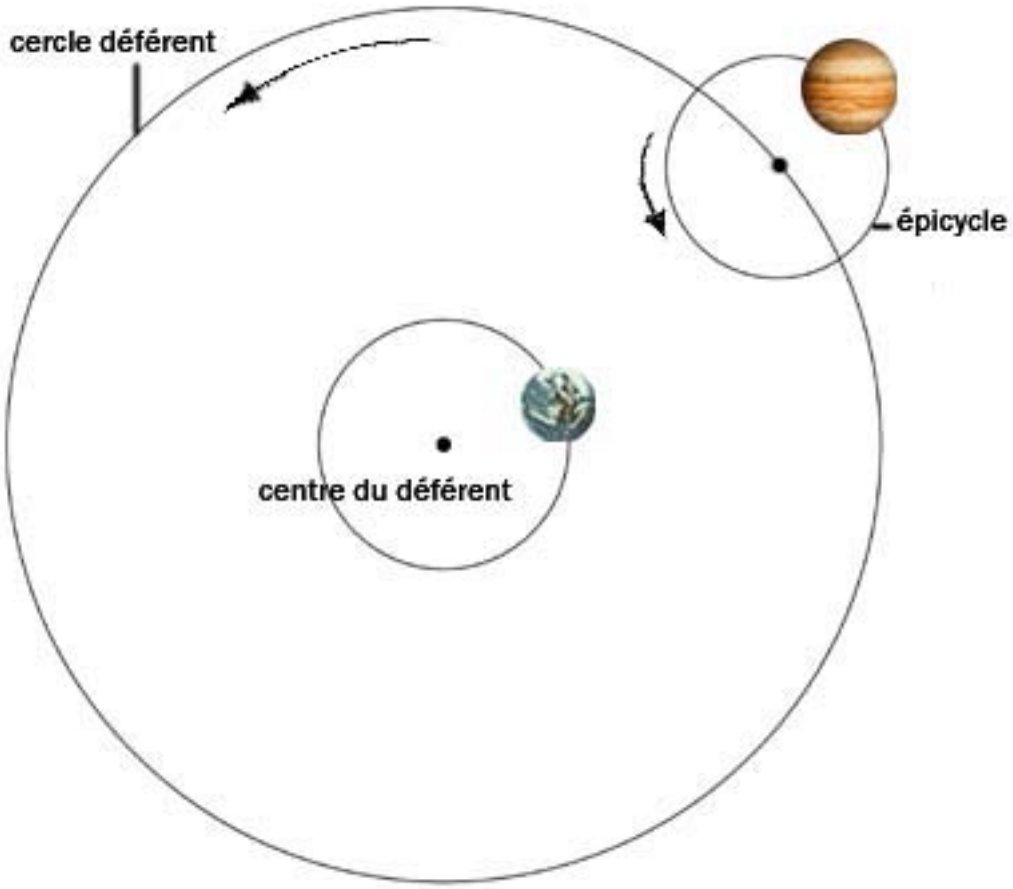
...retour à la frise...

## Ptolémée (100 - 170)

De la vie de Ptolémée, on ne connaît presque rien. Vraisemblablement né dans la ville grecque de Ptolémaïs d'Hermias dans la province de Thébaïde en haute Egypte, il aurait passé la plus grande partie de sa vie à Alexandrie.

Son nom est resté dans l'histoire des sciences grâce à son œuvre, *l'Almageste* (c'est son nom le plus connu, qui lui a été donné par les Arabes. Le titre original est *La grande syntaxe mathématique* ). Successeur spirituel d'Hipparque (il aurait même été son exécuteur testamentaire), Ptolémée reprend nombre de ses travaux pour constituer son ouvrage. L'Almageste est constitué de treize livres. Le premier pose les bases de la trigonométrie ; les suivants sont plus axés sur l'astronomie et la structure de l'Univers. Ils contiennent un catalogue d'étoiles et de constellations, des observations détaillées de la Lune, et un modèle de système solaire géocentrique (centré sur la Terre), reprenant le principe des sphères homocentriques d'Eudoxe, en y ajoutant une subtilité : l'utilisation d'un cercle déférent dans le calcul des trajectoires célestes des astres (voir ci-dessous). Le traité pose aussi les bases de la trigonométrie.

L'œuvre de Ptolémée restera la référence mondiale en matière de conception de l'Univers, et ce jusqu'à la Renaissance (elle reçut implicitement le soutien de l'église catholique, qui devint rapidement extrêmement puissante, cette dernière étant ravie de pouvoir présenter un système où la Terre, œuvre de Dieu, se trouve en position centrale dans l'Univers), où d'audacieux savants, tels que Copernic ou Képler, commenceront d'ébranler l'énorme édifice auquel personne n'osait toucher depuis douze siècles.




Comme dans le système d'Eudoxe, les astres sont portés par des sphères concentriques. Cependant, chaque astre décrit sur sa trajectoire principale (le cercle déférent) un autre cercle (l'épicycle). Ce système souvent emprunté par les Grecs permet, grâce à de complexes calculs, de pouvoir expliquer les trajectoires parfois irrégulières des astres en conservant des orbites circulaires (le cercle étant considéré comme la forme parfaite ; on sait aujourd'hui que les planètes décrivent des orbites elliptiques). Il est à noter que les sphères ne sont pas centrées sur la Terre, elle-même décrit un épicycle autour du centre de l'Univers.

...retour à la frise...

## Galien (131 - 201)

Galien est né à Pergame, en Asie mineure, issu d'une riche famille (son père est sénateur). Rapidement orienté par son père vers des études de médecine, il part voyager très jeune pour sa formation. De retour chez lui, il devient chirurgien à l'école de gladiateurs, où il perfectionne sa science. Profondément inspiré par Hippocrate et Aristote, il reprend nombre de leurs concepts. Personnage ambitieux, il s'installe ensuite à Rome où ses talents le font rapidement connaître, à tel point qu'il devient médecin de la famille de l'empereur Marc-Aurèle. Il a notamment pratiqué en anatomie mais s'est parfois trompé (il place le foie au centre du système de circulation sanguine), il a étudié avec succès le système nerveux et à découvert que l'influx nerveux provient du cerveau.

Son schéma de physiologie humaine est proche de celui d'Hippocrate : 4 éléments qui, combinés aux 4 qualités physiques, influent sur les quatre humeurs. Il y inclut les quatre tempéraments, sorte de classification des hommes en sanguins (chaleureux et aimables), flegmatiques (lents et apathique), mélancoliques (tristes et déprimés) et colériques (emportés et prompts à réagir). Cependant, il ajoute un aspect mystique en attribuant les phénomènes physiologiques à des forces occultes s'exprimant aux travers des pneumas (ou esprits). Il existe trois formes d'esprits : les esprits naturels qui se forment dans le foie, les esprits vitaux qui se forment dans le cœur et les artères, et les esprits animaux, formés dans le cerveau. Les fonctions sont alors également au nombre de trois : naturelles comme la nutrition, vitales comme les pulsations cardiaques et les passions ou encore animales comme l'intelligence et les sensations.

Ce schéma physiologique restera la base de toute la médecine médiévale, aussi bien musulmane qu'occidentale, et sera notamment lourdement appuyé par la doctrine catholique. Les erreurs de Galien ne seront ainsi contestées que bien plus tard, quand le dogme religieux relâchera son étreinte sur la science.

## Alexandrie : le Musée et la Grande Bibliothèque

Fondée en 332 av. JC par Alexandre le Grand, la ville d'Alexandrie a été pendant l'Antiquité un haut lieu de la connaissance et un phare culturel pour le monde entier.

Après la mort d'Alexandre, en 323 av. JC, sous la dynastie des rois Ptolémée, la ville connut un important essor et son rayonnement culturel s'étendit tout autour de la Méditerranée.

Le musée fut crée par le premier de ces rois, Ptolémée 1 er Sôter (365 – 282), au tout début du 3 ème siècle av. JC. C'était à l'origine un centre culturel et religieux dédié au culte des Muses (les Muses de la mythologie sont au nombre de 9, correspondant à différents domaines des arts : Clio (l'histoire), Euterpe (la poésie lyrique), Thalie (la comédie), Melpomène (la tragédie), Terpsichore (la danse), Eratô (la poésie érotique), Polymnie (l'hymne), Uranie (l'astronomie) et Calliope (la poésie épique)).

Le musée était une sorte de gigantesque lieu d'études littéraires et scientifiques, où les savants pouvaient avoir accès à toutes sortes d'instruments (pour la médecine, la physique, l'astronomie) dans un environnement propice, au calme, loin des rumeurs de la ville.

Très rapidement, la décision fut prise d'adjoindre une bibliothèque au musée, rassemblant tous les écrits dont

ses membres pouvaient avoir besoin pour leurs études, ainsi que leurs propres travaux.

Les savants étaient nourris gratuitement et exemptés d'impôts. Ces dispositions étaient faites pour attirer à Alexandrie les hommes de valeur de toutes les parties du monde grec et ainsi pouvoir supplanter Athènes, rivale intellectuelle d'Alexandrie

La vie y était communautaire mais il existait un président des études qui portait le titre de Prêtre des Muses. La charge de bibliothécaire, bientôt instituée pour faire face à la tâche, sera occupée par de grands érudits. Le bibliothécaire en chef fut, souvent, choisi par le souverain régnant pour être le précepteur de son fils, le prince héritier.

Mais non content de la considérable masse de connaissances dont ils disposaient, les rois d'Alexandrie mirent tout en œuvre pour en ajouter encore. Ainsi, chaque bateau accostant à Alexandrie devaient remettre à la bibliothèque tous les textes qu'il s transportait, de façon à ce qu'ils soient recopiés et aille enrichir les rayons de l'illustre bâtiment. Des émissaires étaient envoyés dans tout le royaume pour chercher les écrits rares qui manquaient au catalogue. Il est même arrivé qu'un roi demande des exemplaires rares à d'autres grands centres culturels, tel Athènes, et ne rende que les copies des œuvres, gardant pour sa bibliothèque les originaux des précieux manuscrits.

On estime que la bibliothèque a comporté à son apogée environ 700000 rouleaux de papyrus, dont il ne reste quasiment rien.

En effet, la bibliothèque brûla une première fois en 48 av. JC lorsque César mit le feu à la flotte égyptienne pour éviter d'être pris à revers ; l'incendie se propagea et la moitié des œuvres fut détruite. Plus tard, à la fin des 3 ème et 4 ème siècle de notre ère, des révoltes endommageront encore gravement les ouvrages et les œuvres.

La ville tomba aux mains des Arabes en 645 et les derniers ouvrages restants furent détruits ou emportés.

Hommage au rayonnement sans égal que ce lieu a pu avoir dans l'histoire du monde, la nouvelle bibliothèque d'Alexandrie a ouvert ses portes le 16 octobre 2002.

**Séquence 1**

# Découvrir les observations d'Ératosthène et tenter de les reproduire

## Introduction

Cette séquence est fondamentale puisqu'il s'agit du lancement du projet qui s'étendra sur toute l'année jusqu'au 21 juin. Nous vous suggérons de suivre l'enchaînement décrit ci-dessous, commençant par une expérimentation au soleil. Cependant, nous avons vu l'an passé que le soleil peut disparaître derrière les nuages pendant plusieurs semaines d'affilée. Donc, si après deux semaines vous n'avez toujours pas pu démarrer pour cause de mauvais temps, vous pouvez intervertir les séances 1 et 3 (expérimentation en classe avec des lampes électriques) et revenir plus tard aux travaux en extérieur.

Nous souhaitons attirer votre attention sur l'importance des traces écrites, qui constituent l'un des grands principes de La main à la pâte. Nous vous suggérons par exemple de demander à chaque élève de tenir un cahier d'expériences comme on tient un journal de bord. Chacun y notera au fil des activités ce qu'il a compris, découvert, ce qui l'interroge, les hypothèses formulées pour répondre aux nombreuses questions qui se poseront. Ce cahier rassemblera également les dessins et schémas concernant les expériences réalisées. Vous pourrez ainsi vérifier ce que l'enfant a compris et suivre son évolution au cours de cette année.

Séance préparatoire en option : Elle comprend des activités liées aux relations entre une source lumineuse, des objets et leur ombre projetée sur un support. Si, après la lecture de ces expériences, vous pensez que vos élèves ont besoin d'une séance de préparation sur ces notions, nous vous recommandons de vous reporter à la fiche optionnelle sur la formation des ombres et leur rapport à la source lumineuse.

## Notions abordées :

Formation des ombres, propagation rectiligne de la lumière. Relation entre la longueur de l'ombre et la hauteur de la source lumineuse. Rayons parallèles et rayons divergents.

*Lien avec les programmes de l'école primaire (BO N° 1 du 14/02/02) du cycle 3 :*

- Histoire :
    - L'Antiquité.
- Mathématiques :
    - Espace et géométrie :
        - l'utilisation de plans et de cartes
        - les relations et propriétés géométriques : alignement, perpendicularité, parallélisme.
- Géographie :
    - Regards sur le monde : comparaison de représentations globales de la Terre (globes, planisphères) et du monde (cartes).
- Sciences expérimentales et technologiques :
    - La matière : plan horizontal et vertical : intérêt dans quelques dispositifs techniques.
    - Le ciel et la Terre : la lumière et les ombres

*Lien avec les fiches connaissances :*

Fiche de connaissance N° 17 : Lumière et ombres.

*Extrait du document d'application des nouveaux programmes en sciences expérimentales et technologiques :*
*Compétences spécifiques :*
*- Être capable de constater qu'un objet opaque éclairé par une source de lumière présente une partie lumineuse et une partie sombre (ombre propre), et que la partie éclairée se présente sous différentes formes en fonction de la perspective sous laquelle elle est observée.*
*- Lire et comprendre un ouvrage documentaire, de niveau adapté, portant sur l'un des thèmes du programme. Prendre des notes lors d'une observation, d'une expérience.*

## Préliminaire : Les observations d'Ératosthène

**Durée :** entre 30 et 45 minutes de présentation (travail sur le texte)

Distribuez et faites lire le texte suivant en classe, accompagné de photocopies de la carte d'Égypte :

" En Égypte, il y a environ 2200 ans, un papyrus attira un jour l'attention d'un certain Ératosthène, alors directeur de la Grande Bibliothèque d'Alexandrie (ville située au bord de la Méditerranée) : il y était question d'un bâton vertical qui, le premier jour de l'été (c'est-à-dire le 21 juin), et à l'heure de midi au soleil, ne projetait aucune ombre sur le sol (les rayons du Soleil pénétraient jusqu'au fond des puits). Cela se passait très loin d'Alexandrie, droit vers le sud, dans une ville appelée Syène (aujourd'hui Assouan). Or, Ératosthène remarqua de son côté qu'à Alexandrie, le 21 juin également et à la même heure, un bâton planté verticalement projetait une ombre, même si celle-ci était relativement courte.
Quel était donc ce mystère ?
Nous vous invitons à le découvrir par vous-mêmes. Cela vous mènera très loin puisque, comme le montra Ératosthène, la clef de ce mystère vous permettra ni plus ni moins de mesurer le tour de la Terre… "

Dans un premier temps, les enfants notent attentivement les mots-clefs du texte: personnage, lieux, date, l'expérience (objets, heures,...). Après avoir localisé le pays sur une carte murale (planisphère ou carte d'Europe et de la Méditerranée), demandez-leur de repérer sur les cartes d'Égypte photocopiées les lieux cités dans le texte. Les activités suivantes consisteront à reproduire les observations d'Ératosthène.

Tanis
Avaris-Piramsès
DELTA
Héliopolis
Giza
Le Caire
Saqqara
Memphis
FAYOUM
Licht
SINAÏ
DESERT LIBYQUE
GOLFE DE SUEZ
Oasis Bahariya
DESERT ARABIQUE
Amarna
Assiout
This
Abydos
Dendéra
Nagada
Thèbes (Karnak, Louxor)
Tôd
Médamoud
Oasis de Dakhleh
Oasis de Khargeh
Edfou
Ile d'Eléphantine
Assouan
PREMIERE CATARACTE

---

**Sommaire de la séquence:**

1) Reproduire les observations au soleil
2) Interpréter les observations à l'aide de schémas
3) Reproduire les observations avec une lampe de poche

---

## 1) Reproduire les observations au soleil

**Durée :** au moins 30 à 45 min d'expérimentation dans la cour au soleil

---

---

**Matériel :**

**Pour chaque groupe de 3 à 5 élèves :**
1 carte d'Égypte photocopiée sur une feuille A4 (ou 2 feuilles collées) en bristol
2 allumettes ou crayons courts ou vis à tête plate
1 capuchon de stylo
Gomme adhésive, adhésif simple ou à double face ou colle
une demi-heure de beau temps !

---

---

Les élèves doivent tout d'abord reproduire en miniature les lieux et objets mentionnés dans le texte. Pour les "bâtons" , ils utilisent divers objets ( cf matériel) fixés sur la carte . Il faudra bien sûr s'assurer que ces faux bâtons sont bien plantés verticalement, mais ne donnez pas d'instructions préalables et laissez les enfants tâtonner. Il suffit de leur préciser que leur expérience devra être en tout point identique à celle qui

est relatée dans le texte. A Syène (Assouan) , ils peuvent au choix représenter un bâton ou un puits en utilisant pour ce dernier un capuchon de stylo "encastré" dans la carte (en faisant d'abord une fente en forme de croix dans la feuille; on peut de même encastrer un crayon).

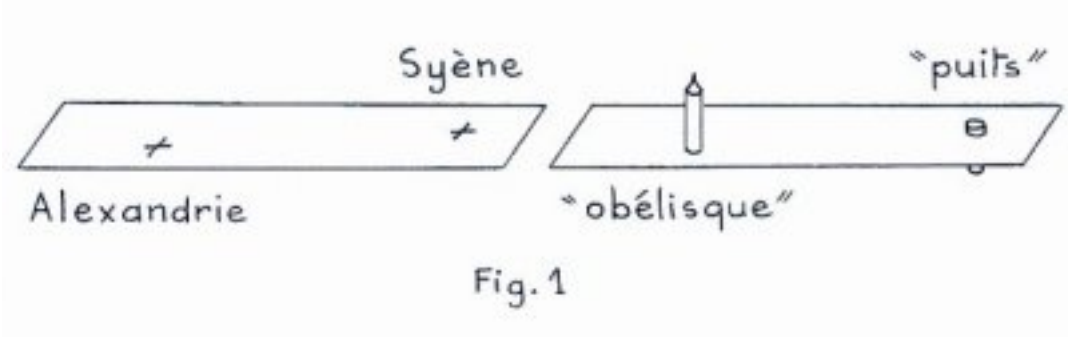


Fig. 1

L'idéal sera de désigner un rapporteur dans chaque groupe. Celui-ci notera sur une feuille les choix adoptés par le groupe et la démarche suivie (c'est-à-dire les différents essais successifs et les raisons des éventuels échecs). Cette feuille pourra être photocopiée pour servir de première trace écrite dans les cahiers d'expériences des enfants de chaque groupe concerné.

1er défi : Obtenir une ombre à Alexandrie et annuler simultanément l'ombre à Syène si on y a planté un "bâton" (ou éclairer le fond du capuchon-puits si on a choisi la seconde option). Au besoin, faites remarquer pendant les manipulations que les bâtons ne doivent pas pencher sur la carte mais rester bien droits...

Les élèves verront d'abord qu'il faut présenter la carte face au Soleil pour que disparaisse l'ombre du bâton à Syene (ou que le fond du puits soit éclairé); Mais, ils constatent alors qu'il n'y a pas d'ombre non plus à Alexandrie ! Problème...

Après quelques tâtonnements, les élèves découvriront qu'ils doivent incurver la carte et ils s'étonneront presque de ne pas avoir pensé plus tôt que la Terre n'est pas plate ! Même si sa rotondité leur apparaît aujourd'hui comme une évidence, ils auront dès lors le sentiment d'avoir trouvé des arguments en sa faveur.

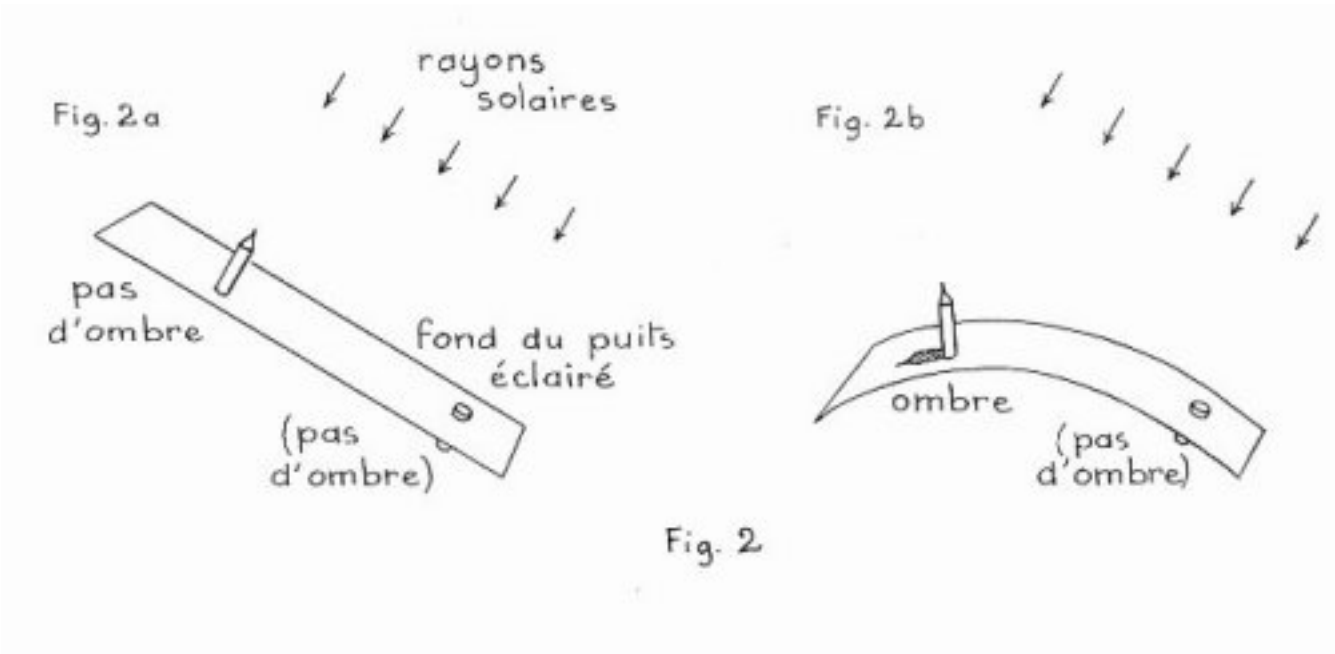


Fig. 2

2ème défi : Faire varier la longueur de l'ombre à Alexandrie sans faire apparaître d'ombre à Syène.

Pour cela, les enfants devront incurver plus ou moins la carte, ils verront ainsi que la longueur de l'ombre à Alexandrie dépend de la courbure de la carte et donc de celle de la surface terrestre.

3ème défi : Faire encore varier la longueur de l'ombre à Alexandrie mais cette fois-ci en appliquant toujours la même courbure à la carte. Les élèves devront alors éloigner ou rapprocher le "bâton" planté à Alexandrie et comprendront ainsi que la longueur de l'ombre dépend aussi de la distance entre les villes.

Lors de chaque défi, chaque rapporteur note toutes les idées et les découvertes sur leur feuille.

---

## 2) Interpéter les observations à l'aide de schémas

Note : le faire si possible juste après la séance précédente pour que les élèves n'oublient pas les résultats ! Vous pouvez également placer ici les activités sur la formation des ombres si les manipulations au soleil ont posé des problèmes de compréhension aux enfants. N'hésitez pas à leur faire recommencer rapidement ces premières expérimentations avant de poursuivre afin de vous assurer qu'ils les ont bien mémorisées et assimilées. Enfin, si cette activité de schématisation vous paraît difficile, vous pouvez intervertir les séances 2 et 3, insistant ainsi sur les manipulations avec les lampes avant de passer aux dessins.

**Durée :** Prévoir de 30 à 45 min en classe

---

**Matériel :**

**Pour chaque groupe de 3 à 5 élèves :**
la feuille avec les dessins, notes et remarques que l'élève rapporteur aura consignées pendant l'expérience.

---

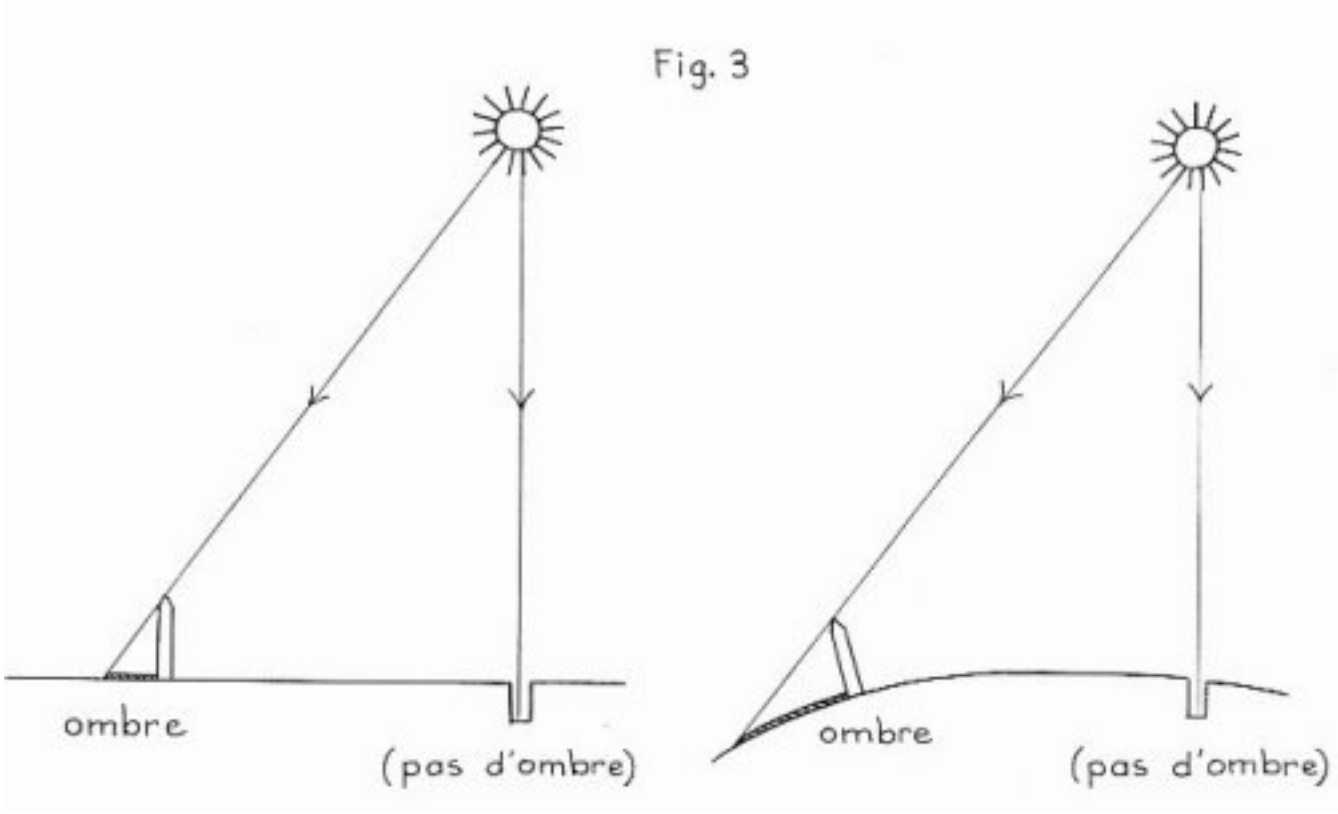
De retour en classe, chaque groupe fait part de sa démarche à l'ensemble des élèves, ce qui permet de comparer les divers cheminements suivis par les équipes.

La classe entière conclut que cette expérience a permis de montrer que la Terre n'est pas plate et que l'ombre des bâtons peut varier selon la courbure de la surface terrestre mais aussi selon la distance entre les deux villes.

Demandez maintenant à chacun d'effectuer deux dessins de "l'expérience au soleil" en représentant les deux bâtons (ou le bâton et le puits) et la carte de profil :

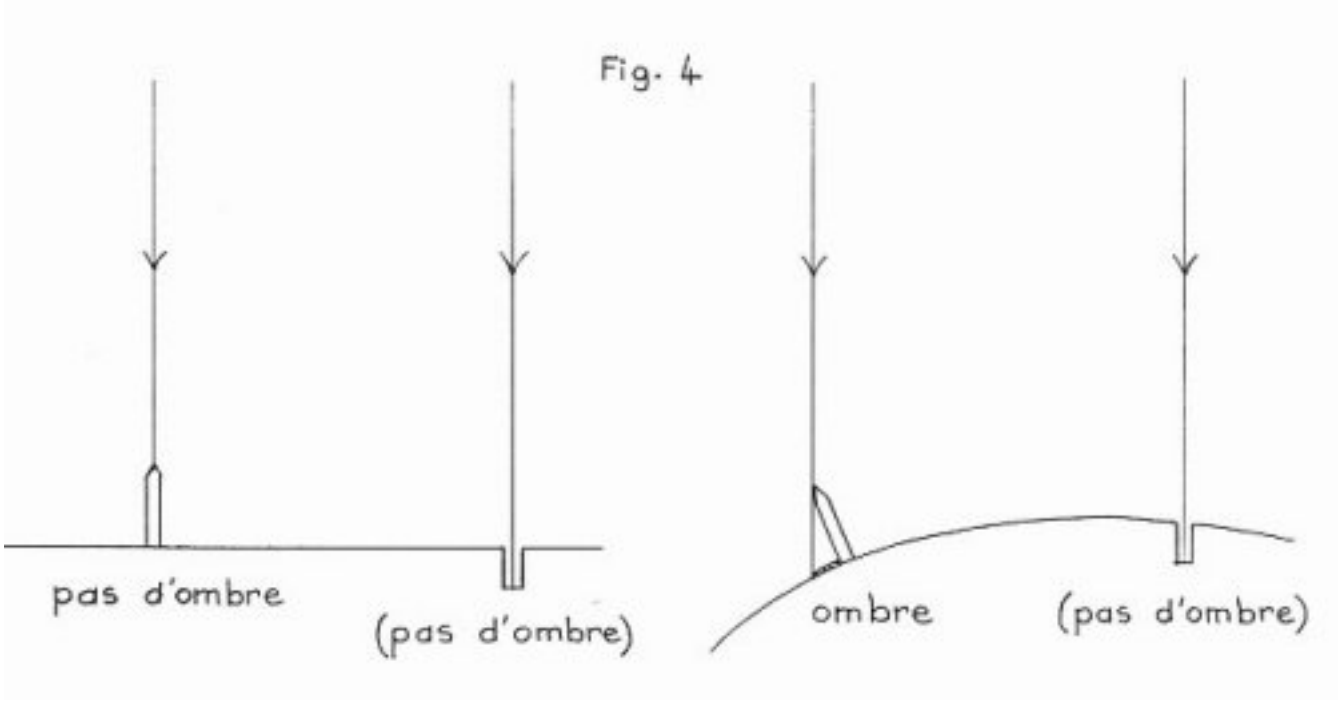
- le premier avec une Terre plate,
- le second avec une surface terrestre courbe (carte incurvée).

Dites que les rayons du Soleil doivent clairement apparaître sur les schémas et qu'ils doivent être dessinés à la règle. Si cela soulève des questions ou des doutes dans la classe, vous pouvez vous reporter aux activités facultatives sur la propagation de la lumière (voir fiche séparée). La majorité de vos élèves dessineront le Soleil sur leur feuille, et ses rayons seront sûrement divergents (rayonnant en couronne). Dans ce cas, ils seront contraints de dessiner une ombre à Alexandrie dans les deux cas ! (ce qui ne correspond pas à ce qu'ils ont observé… puisqu'il n'y avait pas d'ombre ni à Alexandrie ni à Syène lorsque la carte était plate).




Nouveau défi : "Cherchez lorsque la carte est à plat comment doit être dessiné le rayon tombant sur le bâton pour qu'il n'y ait plus d'ombre."
Les élèves s'apercevront qu'il faut "redresser" ce rayon jusqu'à ce qu'il soit dans le prolongement du bâton. Que remarqueront-ils alors en regardant les deux rayons du soleil ? Qu'ils ont tous deux la même direction si bien que l'écart entre les deux restera toujours constant. Voilà ce qu'on appelle des rayons parallèles, les enfants auront probablement déjà entendu ce mot.

Ils referont donc leurs deux croquis avec cette fois les deux rayons parallèles et sans le disque solaire, traduisant correctement cette fois les observations faites au soleil avec leur carte.




Mais une vérification expérimentale du parallèlisme des rayons solaires est nécessaire ?

Si vous avez encore 15 min de beau temps, vous pourrez finir la séance avec l'activité décrite à la fin de cette séquence. Vous pouvez également choisir de la placer en introduction à la prochaine séance.

Enfin, s'il vous reste du temps, vous pouvez faire dessiner les dernières expérimentations lorsque les élèves devaient courber plus ou moins la carte, les bâtons conservant le même écartement puis l'inverse (courbure fixée, ils faisaient varier la distance entre les deux bâtons). Vous pouvez par exemple préparer des croquis vierges sur lesquels ils n'auront plus qu'à tracer les deux rayons solaires (bien parallèles cette fois mais à un rayon de référence en pointillé, le plus simple étant qu'il soit verttical) et à reporter les ombres. Vous pourrez ainsi vérifier rapidement que chacun a bien compris les manipulations faites au soleil. Gardez précieusement les dessins, et envoyez-nous les meilleurs !

Fig. 5

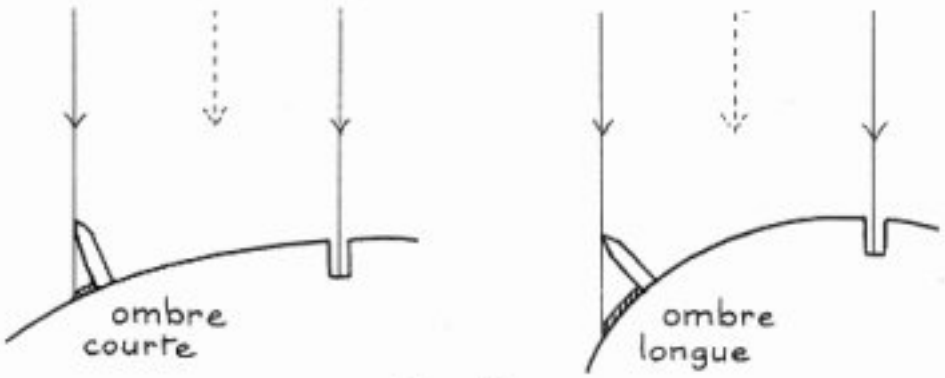



Fig. 5 a
courbure différente
même distance entre les lieux

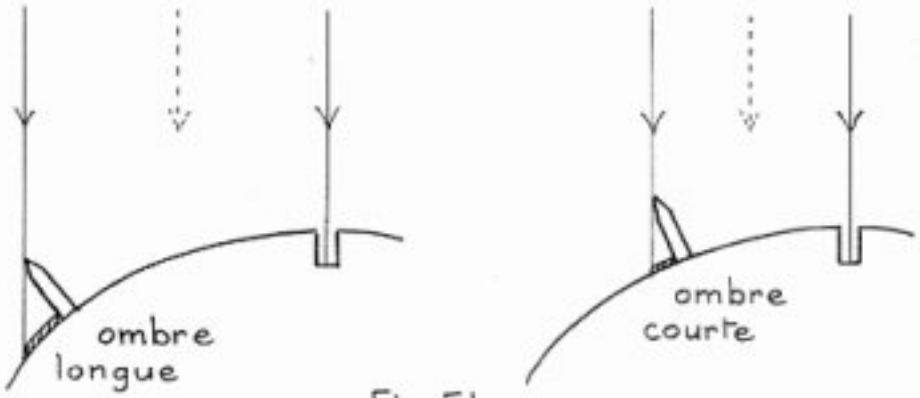



Fig. 5b
même courbure
distance différente

---

## 3) Reproduire les observations avec une lampe de poche

Cette simulation va permettre aux élèves d'être confrontés cette fois aux effets de rayons lumineux divergents. Ils découvriront ensuite comment faire évoluer ces derniers vers un "parallélisme" progressif.

**Durée :** environ 45 min.

**Lieu :** classe ( lieu assombri) puis en extérieur

---

## Matériel :

**Pour chaque groupe de 3 à 5 élèves :**
Une lampe de poche, si possible en otant le reflecteur pour améliorer la netteté des ombres
La carte d'Egypte et les deux "bâtons" (ou le capuchon de stylo)

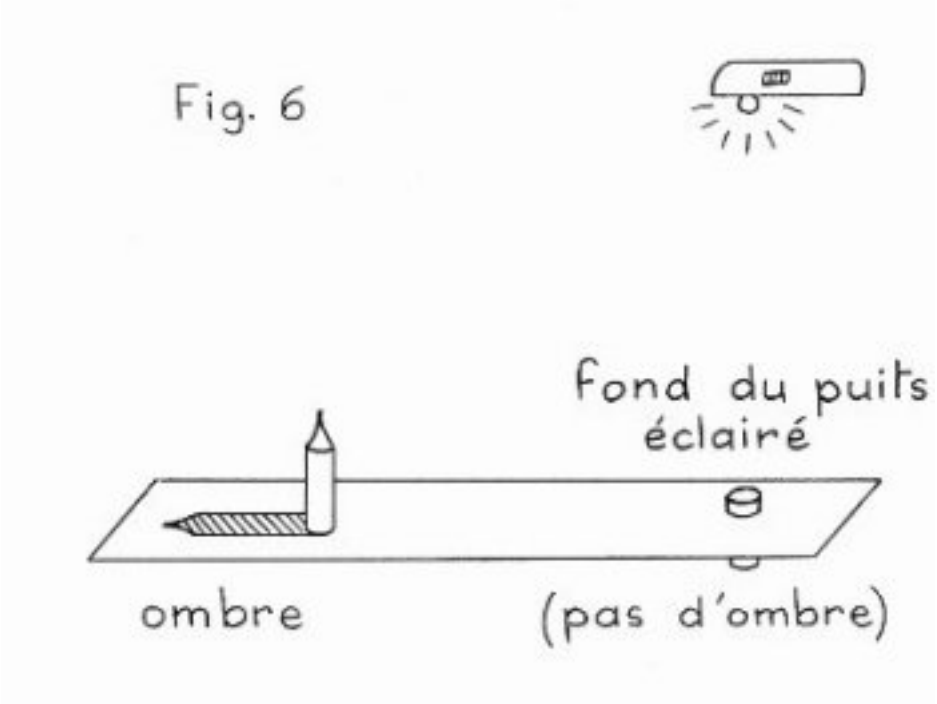
Ensuite pour l'expérience qui suivra:
3 vis à tête plate pas trop petites.
Une feuille de papier quadrillé.

---

Il s'agit cette fois-ci de refaire les observations d'Ératosthène mais en utilisant une lampe de poche à la place du Soleil. Vous pouvez aussi démarrer le projet par cette séance si le beau temps fait vraiment défaut. Comme lors de la 1ère séance, vous "planterez" dans la photocopie de la carte d'Égypte sur bristol un bâton ou crayon à l'emplacement des deux villes. Vous pouvez aussi utiliser un capuchon de stylo pour représenter le puits à Syène ou tout autre objet proposé par vos élèves ( revoir la figure 1).

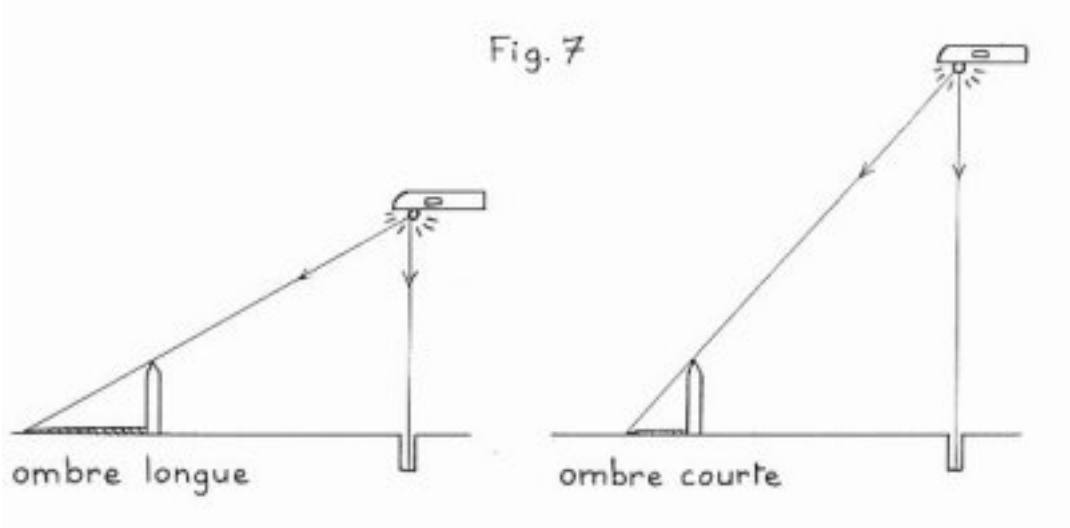
Le défi est le suivant : retrouver les observations d'Ératosthène, étape par étape, donc d'abord avec la carte remise a plat. Il faudra ainsi positionner la lampe de poche de telle sorte qu'elle éclaire le fond du puits (ou qu'elle ne projette aucune ombre à Syène si on a mis un "bâton"( vous pouvez d'ailleurs vérifier que c'est équivalent en glissant le stylo dans son capuchon au moment où la lampe est correctement positionnée). Que se passe-t-il lors de cette première étape lorsque la carte est bien plate ?

Les enfants observent alors que le bâton vertical projette une ombre. Exactement comme sur le premier dessin qu'ils avaient fait lorsque les rayons du soleil n'étaient pas parallèles ! Donc cela ne correspond pas du tout à ce qu'ils avaient vu dehors au soleil…Mais alors cela suppose que les rayons de la lampe ne sont pas parallèles....



Nouveau défi : Peut on positionner la lampe pour que l'ombre du stylo diminue voire disparaisse ? Après plusieurs tentatives infructueuses, l'un des manipulateurs remarque qu'en élevant la lampe au-dessus de la carte, tout en la maintenant bien au-dessus du capuchon à Syène, l'ombre du stylo diminue à Alexandrie. Si la lampe est rapprochée, l'ombre s'allonge au contraire. "Et si on faisait monter la lampe jusqu'au plafond, on pourrait peut-être faire disparaître complètement l'ombre ?!!"Les enfants essaient alors, dans la limite du possible, d'éloigner la lampe de la carte, comprenant que la source de lumière doit être très très loin de la carte pour que ses rayons arrivent de façon parallèles. C'est donc bien ce qui se passe avec le Soleil : il faudra s'en assurer ultérieurement.

Schématisation de la simulation : A partir de cette expérience les élèves vont montrer à l'aide d'un double croquis la relation entre la longueur de l'ombre et la hauteur de la source lumineuse: ils utiliseront éventuellement une photocopie préparée par le Maître sur laquelle ils auront à dessiner les deux lampes et les deux paires de rayons.




Pour que les élèves soient définitevement convaincus du parallélisme des rayons du soleil, vous pouvez terminer la séquence par l'activité suivante ou la leur rappeler s'ils l'ont déjà faite.

Photo: Huguette Farges , Compiègne

Expérience à l'extérieur : vérification du parallélisme des rayons solaires arrivant à la surface de notre planète

Les enfants constatent tout d'abord que les lignes d'un papier quadrillé forment des couloirs parallèles. Il faut alors vérifier que les ombres des objets posés sur la feuille suivent bien les lignes du papier et sont donc elles aussi parallèles. Ceci indiquera que les rayons qui forment ces ombres sont eux-mêmes parallèles.

Demandez aux élèves ce qui va se passer si on utilise une lampe électrique à la place du Soleil. Ils vérifient leurs hypothèses: les ombres divergent, mais elles se rapprochent des lignes du quadrillage si on éloigne la lampe. Conclusion : le Soleil est vraiment très loin de la Terre, si loin que ses rayons nous arrivent parfaitement parallèles ! Il est tellement loin qu'on ne peut pas le dessiner sur les croquis si on veut représenter ses rayons !

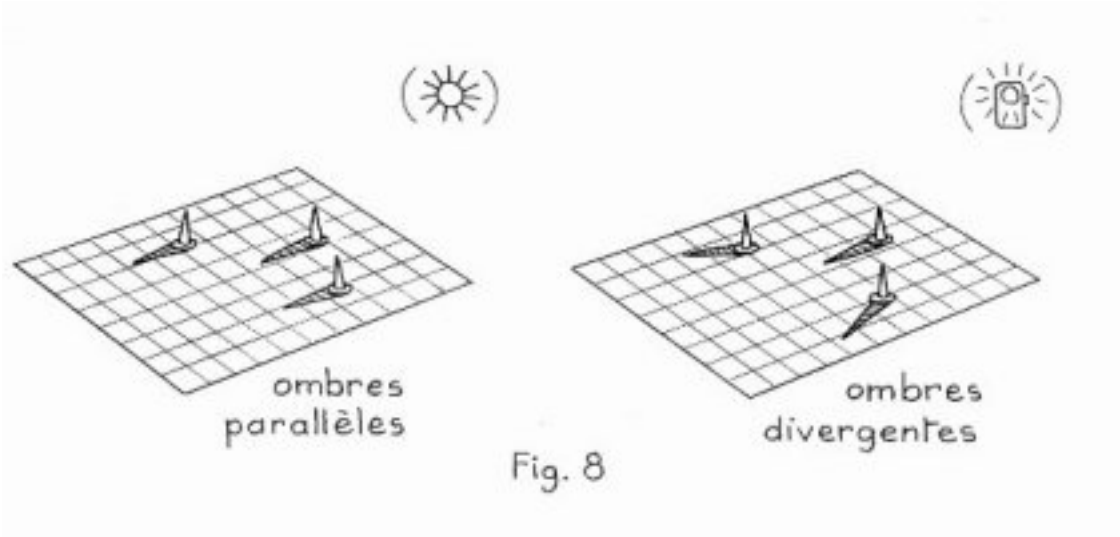


Fig. 8

Vous pouvez prolonger cette séance avec les activités facultatives sur la notion de parallélisme.

Enfin, n'hésitez pas à refaire l'expérience proposée au début de cette séquence aboutissant à la redécouverte de la courbure terrestre et permettant aux enfants de retrouver les observations d'Ératosthène. Cela vous permettra de vérifier que chacun d'eux a bien compris l'expérience au soleil.

Vous pourrez ensuite leur faire réaliser un grand panneau mural expliquant les observations d'Ératosthène et reprenant les deux hypothèses sur la forme de la Terre, en dessinant cette fois-ci des rayons bien parallèles, puis conclure que la surface terrestre est bien courbe et non plate.

Remarque : Au cours de cette séquence, des élèves objecteront peut-être qu'ils savaient déjà que la Terre est ronde ! Certes… mais grâce à ces expériences, même s'ils n'ont pu prouver que la Terre est ronde, ils ont au moins mis en évidence que sa surface est courbe. Profitez-en pour faire le tour des indices qui permettaient, il y a plus de 2000 ans, de supposer que la Terre est ronde : disparition progressive du mât des bateaux à l'horizon, forme de l'ombre de la Terre sur la Lune pendant une éclipse de Lune… Si certains de vos élèves ont déjà observé le ciel la nuit, vous pouvez évoquer la cartographie du ciel et le fait que certaines constellations (ensembles d'étoiles formant une figure, comme la Grande Ourse) ne sont observables que dans un hémisphère à la fois : le ciel étoilé évolue quand on se déplace à la surface de la Terre ! Par exemple, on remarque facilement que la hauteur de l'étoile polaire au-dessus de l'horizon diminue lorsqu'on se dirige vers le Sud (et augmente lorsqu'on va vers le Nord).

Complément : il serait dommage de ne pas profiter de cette séquence pour lancer des recherches bibliographiques (encyclopédies, bibliothèque ou sur Internet) sur ce grand savant qu'était Ératosthène, sur la Grande Bibliothèque d'Alexandrie, sur l'Égypte et son histoire passionnante… Ce ne sont pas les sujets qui manquent !

.

**Séances optionnelles (Séquence 1)**

# Expérimenter la formation des ombres

---

## Notions abordées

La première notion à aborder dans le *Projet Eratosthène* est bien sûr celle de la propagation rectiligne de la lumière puisqu'elle concerne directement la formation des ombres. Ensuite, la notion d'ombre portée, puis de rayons divergents. Ensuite, la notion de parallélisme, celle-ci en liaison avec les rayons solaires puisque c'est grâce à cette particularité qu'Eratosthène a pu faire sa mesure du méridien terrestre. Enfin la notion de corrélation entre l'évolution d'une ombre (longueur et orientation) et le mouvement de la source lumineuse.

Si vous souhaitez en savoir plus sur les notions abordées dans cette fiche, consultez notre fiche d'"assistance technique"

## Découpage de la séquence

Cette séquence se découpe en quatre parties. Chacune fait l'objet de plusieurs séances de travail d'une durée très variable : vous pourrez donc fragmenter celles-ci ou les regrouper selon les circonstances. Notez que le temps devant être consacré aux " traces écrites " des élèves dans leurs cahiers d'expériences ne sera pas pris en compte.
(Précisons également que les activités proposées dans les parties 2 et 4 s'inspirent de l'ouvrage *L'Astronomie est un jeu d'enfant*, Le Pommier/Fayard).

---

**Sommaire de la séquence:**


**1) Travail sur la propagation rectiligne de la lumière**
**2) Travail sur les ombres et leurs relations avec la source lumineuse**
**3) Notion de rayons divergents et de rayons parallèles**
**4) Observation de l'évolution des ombres au cours de la journée**


---

## 1) Travail sur la propagation rectiligne de la lumière

**Durée :** 1 séance d'une heure, ou deux séances de 40 min, selon l'entraînement des élèves.

**Lieu :** d'une part une pièce partiellement ensoleillée, d'autre part, une pièce pouvant s'assombrir.

---

---

**Matériel :**

**Pour chaque groupe de 3 à 5 élèves :**
deux petits miroirs,
une lampe-torche,
un crayon noir,
une feuille de papier blanc.
Prévoir ensuite un projecteur de diapos et un chiffon contenant de la poussière de craie.

---

## Enquête préalable.

En général, les enfants ne s'interrogent guère sur la propagation de la lumière, qu'il s'agisse de celle du Soleil ou de celle d'une ampoule électrique (celle d'un plafonnier par exemple) : ils ont l'intuition que la lumière se diffuse autour de sa source dans toutes les directions puisqu'ils " baignent " dedans, et cela leur suffit. Par contre, ils reconnaissent qu'avec une lampe-torche, c'est différent, cela à cause du réflecteur *" qui n'envoie sa lumière que vers l'objet que l'on veut éclairer "* : ils précisent alors que sa lumière *" part tout droit "* vers l'objet en question. D'autre part, si vous les interrogez sur la possibilité d'envoyer *" tout droit "* la lumière du Soleil quelque part, certains penseront sûrement aux jeux utilisant un petit miroir : *" on peut envoyer comme ça le soleil dans l'œil d'un copain ! "*

## Dessins avant expérimentations.

Proposez aux élèves de montrer par des dessins ce qui vient d'être dit.
Certains auront peut-être l'idée de représenter leurs rayons lumineux (rectilignes ou non, fléchés ou non). Leur demander s'ils voient réellement cette partie de leur dessin. Convenir alors avec les élèves que si cela peut les aider, ils peuvent les représenter. Mais comme ils ne se voient pas, on décide de les dessiner en pointillés...
Adopter ensuite systématiquement la même représentation.
Si les élèves représentent massivement les rayons de manière rectiligne, il faut alors leur demander s'ils en sont surs... Si les avis sont partagés, il faut de toutes façons chercher à savoir qui a raison. Cela introduit la problématique du paragraphe suivant.

## Expérimentations

Un premier moment d'expérimentations – assez court – peut avoir lieu par rotation des groupes : d'une part, dans un endroit ensoleillé de la classe, les enfants, à l'aide de miroirs, " renvoient le soleil " dans une partie plus sombre de la pièce, sur un mur ou au plafond, et observent le déplacement de la tache lumineuse en fonction de l'orientation de leur miroir ; d'autre part, dans une pièce assombrie, les élèves observent la position des objets éclairés avec leur torche par rapport à celle-ci, tout en évaluant la forme et l'étendue de la zone éclairée. Mais ils pourront également expérimenter le " renvoi " de la lumière de la torche avec un miroir.

Les rapporteurs de chaque groupe viendront sans doute confirmer que la lumière a bien quelque chose à voir avec des trajets rectilignes. Mais comment faire pour essayer de vérifier cela, par exemple avec les torches ?

Deuxième moment d'expérimentation : les élèves qui ont une idée se chargent de l'exécuter après avoir rassemblé le matériel nécessaire. Pour les autres, proposez une feuille de papier blanc, à tenir d'abord contre un mur, dans la partie éclairée par une torche, de façon à ce que le petit " rond " central très lumineux - dont on va tracer le contour au crayon sur la feuille - se trouve au centre de celle-ci (figure 1). Il s'agit ensuite de ramener lentement la feuille vers la torche (immobile !) en maintenant le petit rond

lumineux dans le tracé : les élèves remarquent que c'est par un mouvement rectiligne vers la source lumineuse que l'on peut obtenir cela.

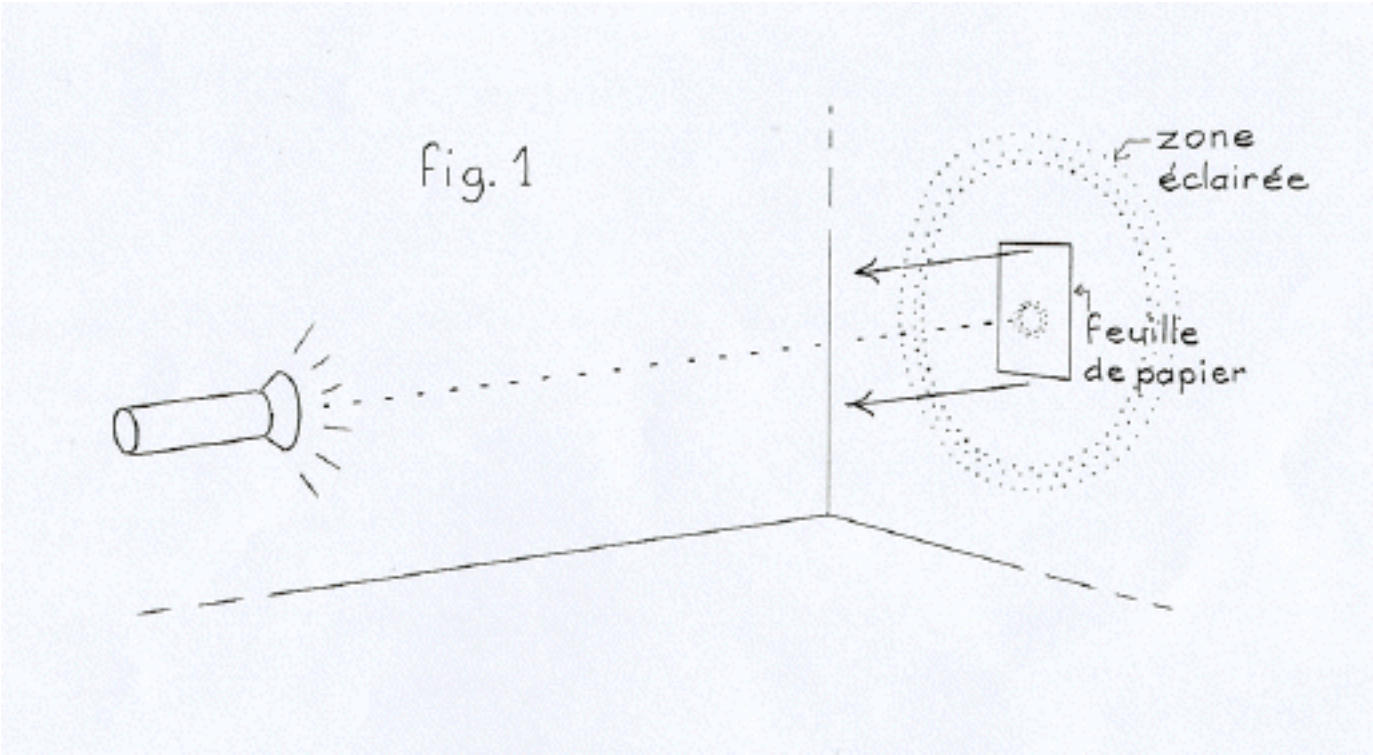


Photo Huguette Farges ( Compiègne)

## Dessins après expérimentations.

Les élèves font de nouveaux dessins, lesquels seront sans doute plus complets et plus précis que les premiers. Ils les accompagnent d'une courte légende explicative.

## Pour aller plus loin.

Les enfants auront constaté que les rayons lumineux à la sortie des torches ne sont pas visibles : il faut qu'un objet s'interpose devant, et donc " coupe " leur trajet, pour que l'œil voie l'objet éclairé, ce dernier renvoyant la lumière dans notre oeil (l'idéal serait de refaire la " manip " dans un local très vaste et dans l'obscurité complète). Il s'agira alors de faire appel à la mémoire des élèves pour qu'ils recherchent dans quelles occasions ils ont pu percevoir un ou plusieurs faisceaux lumineux : rais de lumière passant par un trou de volet dans une pièce où de fines poussières se trouvent en suspension, rais de soleil à travers des feuillages par temps de brume, phares de voiture par temps de brouillard, fumée de cigarette dans le faisceau d'un projecteur… : on leur fera remarquer qu'à chaque fois il y avait la présence de fines particules : en effet, celles-ci reçoivent la lumière de la source et réémettent de la lumière de tous côtés ( comme la Lune) : on dit que ces particules diffusent la lumière. . On peut mettre cela en évidence dans un endroit très sombre : on produit par exemple un petit nuage de poussière de craie en secouant un chiffon à tableau au-dessus du faisceau d'un projecteur de diapos.

---

## 2) Travail sur les ombres et leurs relations avec la source lumineuse

**Durée :** plusieurs moments d'observation à l'extérieur, en fonction de la météo ; une séance de 20 min de tracés d'ombres à l'extérieur ; une autre pour des simulations à l'intérieur.

**Lieu :** endroit ensoleillé avec sol bitumé ; lieu pouvant s'assombrir.

---

---

**Matériel :**

**Pour chaque groupe de 3 à 5 élèves :**

bâton de craie,
ruban de couturière ou mètre à enrouleur,
calculette,
lampe de poche,
crayon ou objet allongé,
pâte à modeler,
feuille blanche,
crayon,
papier millimétré.

---

---

## Enquête préalable

Après l'avoir exprimé par le dessin " d'un bâton au soleil " (dans le questionnaire-test), les élèves disent ce

qu’ils savent des ombres en général et de la façon dont elles se forment. On leur propose ensuite de se dessiner eux-mêmes “ au soleil ”, à côté d’un arbre et d’une maison, selon leur propre opinion par rapport à ce qui vient d’être dit.

## Confrontation des dessins

Les élèves, lors du pré-test, ont produit des dessins qui, nécessairement, comporteront des divergences. L'enseignant reproduit ceux qui présentent des caractéristiques contradictoires et demande d'abord aux élèves, en groupes, de réfléchir aux erreurs qu'ils comportent.
L'observation du paragraphe suivant est davantage problématisée.

## Observations

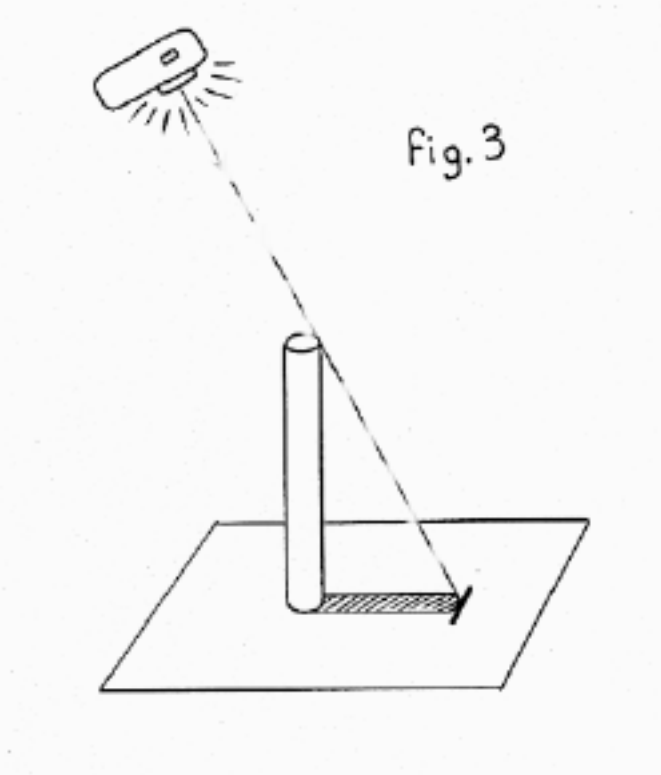
Celles-ci se font par temps ensoleillé mais aussi quand le Soleil est légèrement voilé, de façon à pouvoir constater que les ombres sont plus ou moins nettes, plus ou moins contrastées, et qu’elles peuvent bien sûr disparaître dès qu’un nuage passe devant le Soleil. Leur forme est mise en relation avec la forme de l’objet lui-même selon la face présentée au Soleil (face, profil, trois-quarts, dessus…).

## Expériences

Les enfants vont découvrir que l’ombre, en réalité, ne se borne pas aux deux dimensions qu’on lui attribue généralement : en passant leur main derrière un objet placé au soleil, ou mieux, derrière un camarade, ils constatent que leur main s’assombrit et cela, quelle que soit sa distance entre l’enfant-objet et l’écran sur lequel se projette son ombre (mur ou sol) : ils réalisent que l’ombre a en réalité trois dimensions mais qu’elle n’a pas de consistance propre , c'est une région de l'espace dans laquelle la lumière venant du Soleil n'arrive pas. Quand un objet s’interpose entre une source de lumière et un écran, on voit alors sur l'écran une "ombre" que l'on appelle ombre portée. (Comme il ne sera question que de cette dernière dans toutes les activités qui vont suivre, il ne sera plus nécessaire d’apporter cette précision).

### Interprétation de tracés d’ombre.

Des élèves s’aperçoivent que leur ombre n’a pas la même “ *grandeur* ” qu’eux-mêmes : comment le vérifier ? En effectuant des comparaisons à l’aide de mesures de tracés. Les enfants se mettent en binôme : tandis que l’un se présente de face par rapport au Soleil, l’autre trace le contour de son ombre à la craie sur un sol bitumé, cela, en incluant les pieds puisque nous "marchons" sur notre ombre.
Comment vérifier maintenant si les tracés sont de taille identique, supérieure ou inférieure à la stature des élèves ?. Chaque binôme choisit son procédé et l’exécute (le plus simple étant de s’allonger sur son propre tracé !).




## Expérimentations avec une lampe électrique

Entre temps, les élèves se seront interrogés sur la cause de cette différence entre leur stature et la longueur de leur ombre, et ils auront compris que la hauteur du Soleil au dessus de l'horizon y était pour quelque chose. Afin de pouvoir maîtriser le phénomène, ils vont effectuer des simulations par petits groupes, avec une lampe électrique et un objet quelconque (un crayon planté sur une boule de pâte à modeler étant l'idéal) : ils auront tôt fait de constater le lien existant entre la hauteur de la lampe et la longueur de l'ombre de l'objet.

Mais il se peut qu'un petit malin fasse une trouvaille venant contredire ce fait : il va mettre au défi ses camarades de trouver le moyen d'abaisser ou d'élever leur lampe sans que l'ombre obtenue au départ varie en longueur (on tracera un repère sur une feuille de papier supportant l'objet). La figure 3 montre que l'angle formé par le faisceau lumineux et la feuille-support doit rester constant : pour cela, la lampe doit être abaissée, dans un mouvement rectiligne, vers le sommet de l'objet (le plus simple étant, bien sûr, que cet angle soit égal à 90° : dans ce cas, la lampe, durant sa descente, reste à l'aplomb de l'objet dont l'ombre " disparaît " alors, comme dans l'histoire d 'Eratosthène !

Et il se peut fort également que d'autres élèves découvrent que, lorsque la lampe est déplacée latéralement, l'ombre fait de même *" mais à l'envers ! "* Ils retrouveront cela un peu plus tard…

## Dessins avec légendes

Les élèves consignent leurs observations liées à cette partie par des croquis accompagnés de légendes. On peut leur demander aussi de reproduire à l'échelle de 1/10$^{ème}$, sur du papier millimétré, un personnage vu de profil ayant leur stature, avec son ombre devant lui (donc apparaissant à gauche ou à droite comme sur la figure 3), et dont la longueur correspondra à leur propre relevé ; ils chercheront comment placer le Soleil de la façon la plus exacte possible : certains penseront à tracer le rayon solaire oblique passant par le haut de la tête et aboutissant à l'extrémité de l'ombre, et ils le prolongeront vers le haut pour y placer le Soleil. Note : Si les élèves représentent les rayons, il faudrait qu'ils le fassent en pointillés...

## Pour aller plus loin

Il est possible que les élèves s'interrogent sur le fait que les contours des ombres apparaissent plus ou moins flous : ils peuvent, par des expériences très simples, être amenés à découvrir que ce flou constitue ce qu'on appelle la pénombre, et que la formation de celle-ci est liée à la dimension, ponctuelle ou non, de la source lumineuse. Nous ne détaillerons pas ici ces expériences puisque le phénomène impliqué n'intervient pas – ou très peu – dans le projet Eratosthène. Pour les enseignants intéressés néanmoins, signalons qu'ils trouveront tous les détails nécessaires dans le dossier *Eclipses* du site, séquence s'initier à l'éclipse de Lune et séquence faire apparaître la pénombre.

## Évaluation intermédiaire

On peut prévoir une évaluation intermédiaire, complètement formative, pour voir si, à ce stade, les élèves ont acquis les notions sur lesquelles il faudra s'appuyer plus tard.

L'enseignant peut leur proposer  un dessin très simple.
1. En coupe, une chaussée bordée de deux trottoirs et un poteau électrique sur un des trottoirs (NE PAS DESSINER LE SOLEIL !). Question : Positionne le Soleil pour  que l'ombre du poteau atteigne  le trottoir d'en face ?

---

## 3) Notion de rayons divergents et de rayons parallèles

**Durée :** simulation de 15 min environ ; expérimentations et mesures en extérieur de 20mn.

**Lieu :** local pouvant s'assombrir ; endroit ensoleillé à l'extérieur.

---

---

**Matériel :**

**Pour chaque groupe de 3 à 5 élèves :**
une lampe de poche,
trois ou quatre crayons,
de la pâte à modeler,
une grande feuille de papier,
une règle graduée,
de la ficelle fine,
du papier calque.

---

---

## Simulation

L'enseignant expose la situation : plusieurs crayons vont être  dressés en ligne sur la table et une lampe de poche va les éclairer par derrière , puis demande aux élèves d'anticiper : que va-t-il se passer lorsque vous allumerez la lampe ? (les lampes n'ont pas encore été distribuées).

*Note : Ce moment d'anticipation permet au maître d'évaluer où en sont ses élèves du point de vue de la propagation rectiligne, et aux élèves de bien prendre conscience de leur manière de raisonner. Si, après vérification, l'expérience invalide la prévision, les élèves comprendront sans doute mieux l'origine de leur erreur.*

On distribue à chaque groupe d'élèves les  lampes de poche.  Cette fois, avec leur lampe électrique, les élèves éclairent plusieurs crayons  installés comme sur la figure 4  mais sur une grande feuille de papier. Ils notent ce qu'ils remarquent de particulier : les enfants qui ont à peu près aligné leurs crayons, en les écartant plus ou moins et en les éclairant par derrière, notent tout de suite que les ombres " *s'écartent vers le bout* ", cela d'autant plus que la lampe se rapproche des crayons (figure 4a). Ils voient aussi qu'en éloignant la lampe, les ombres " *se redressent* " mais sans pouvoir " *y arriver tout à fait, parce que la*

*lampe n’est pas assez forte et qu’on n’a pas assez de place pour reculer encore ”*. Demandez-leur quelle source de lumière pourrait être assez puissante et assez éloignée pour vérifier si les ombres vont pouvoir se *“ redresser tout à fait ”* : il y en aura bien un qui finira par penser au Soleil !

Note: *Il est possible (mais pas certain) que les élèves remarquent qu'en éloignant la lampe, les ombres se redressent. De la même manière, on peut demander aux élèves s'il est possible d'obtenir des ombres parallèles. Là encore, une phase d'anticipation est intéressante avant expérimentation (il faudrait momentanément retirer les lampes de poche).*
*Si l'idée du Soleil apparaît, tant mieux, mais ne pas la valider. La garder comme hypothèse. "Certains pensent qu'avec le Soleil, on obtiendra des ombres parallèles, qu'en pensent les autres ?..." Si l'idée n'apparaît pas, le maître posera la question : "comment pensez-vous que seront les ombres avec le Soleil ?". Cela permettra d'introduire l'expérimentation suivante.*

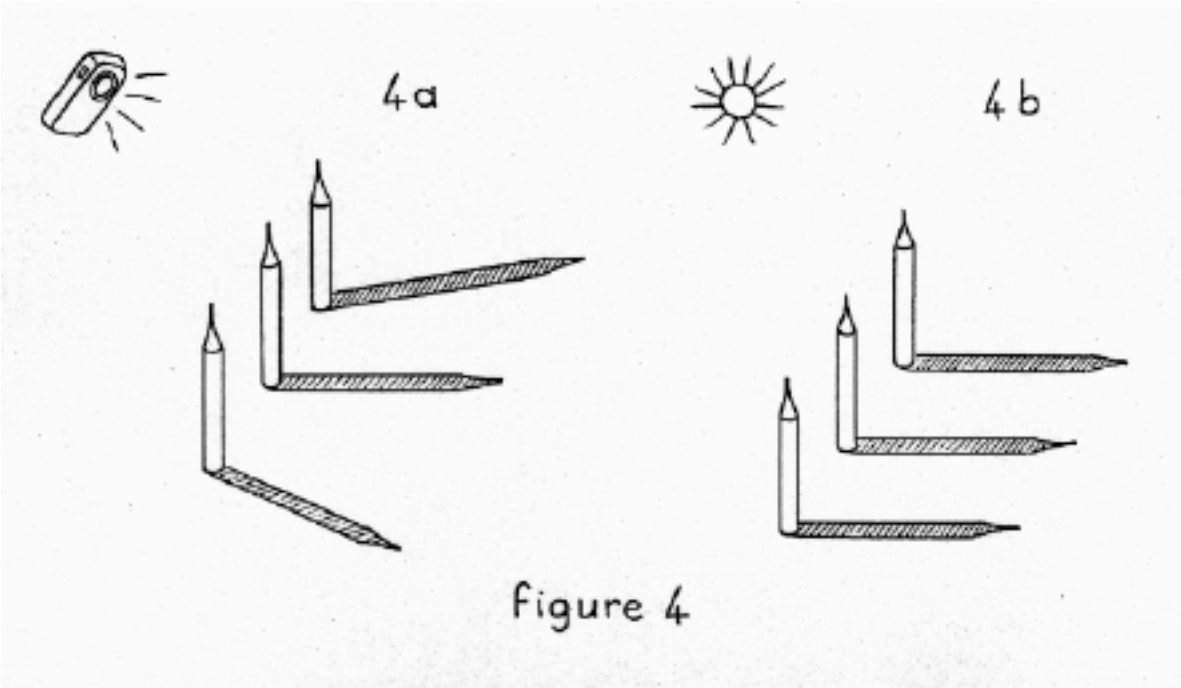


Figure 4

## Expérimentation à l’extérieur

Les élèves réinstallent leurs crayons au soleil. A condition que les objets soient quasiment parallèles entre eux (mais pas forcément verticaux), et que le sol soit plan à cet endroit (mais pas forcément horizontal) ils constatent que les ombres ont l’air de s’être *“ tout à fait redressées ”* (figue 4b). Les enfants ayant bien répondu à la question n°4 du questionnaire-test se souviendront peut-être du mot “ parallèle ”. Comment vérifier ce parallélisme ? Certains proposeront de mesurer l’écartement des ombres à leur base et à leur extrémité, *“ mais seulement si les crayons ont bien la même hauteur ”*, conditions que l’on cherchera à obtenir du mieux possible, de même que le parallélisme des crayons entre eux. L’installation se fera sur une grande feuille de papier sur laquelle on tracera soigneusement l’ombre des crayons, afin de procéder aux mesures une fois revenus en classe.

### Mesures et interprétations

Les mesures une fois effectuées et comparées, en admettant des différences n’excédant pas le demi centimètre par excès ou par défaut, les élèves concluront au parallélisme probable des ombres. Avant qu’ils

ne puissent en déduire le parallélisme des rayons solaires, ils devront faire certaines observations lors de deux autres simulations, d'abord avec une lampe électrique, puis au soleil..

## Nouvelles observations

Tout d'abord, comment voir pourquoi les ombres divergent avec une lampe électrique ? Se souvenant du croquis exécuté sur le papier millimétré, des élèves proposeront sans doute de matérialiser avec de la ficelle le trajet des rayons lumineux partant de la lampe, passant sur la pointe de chaque crayon, et aboutissant à l'extrémité de leur ombre (côté pratique, il faudra chercher le moyen de réduire au minimum les ombres parasites crées par les ficelles au niveau du verre de la lampe et à l'extrémité des ombres). Les enfants constateront que *" c'est parce que les ficelles s'écartent que les ombres s'écartent aussi "* (figure 5a).

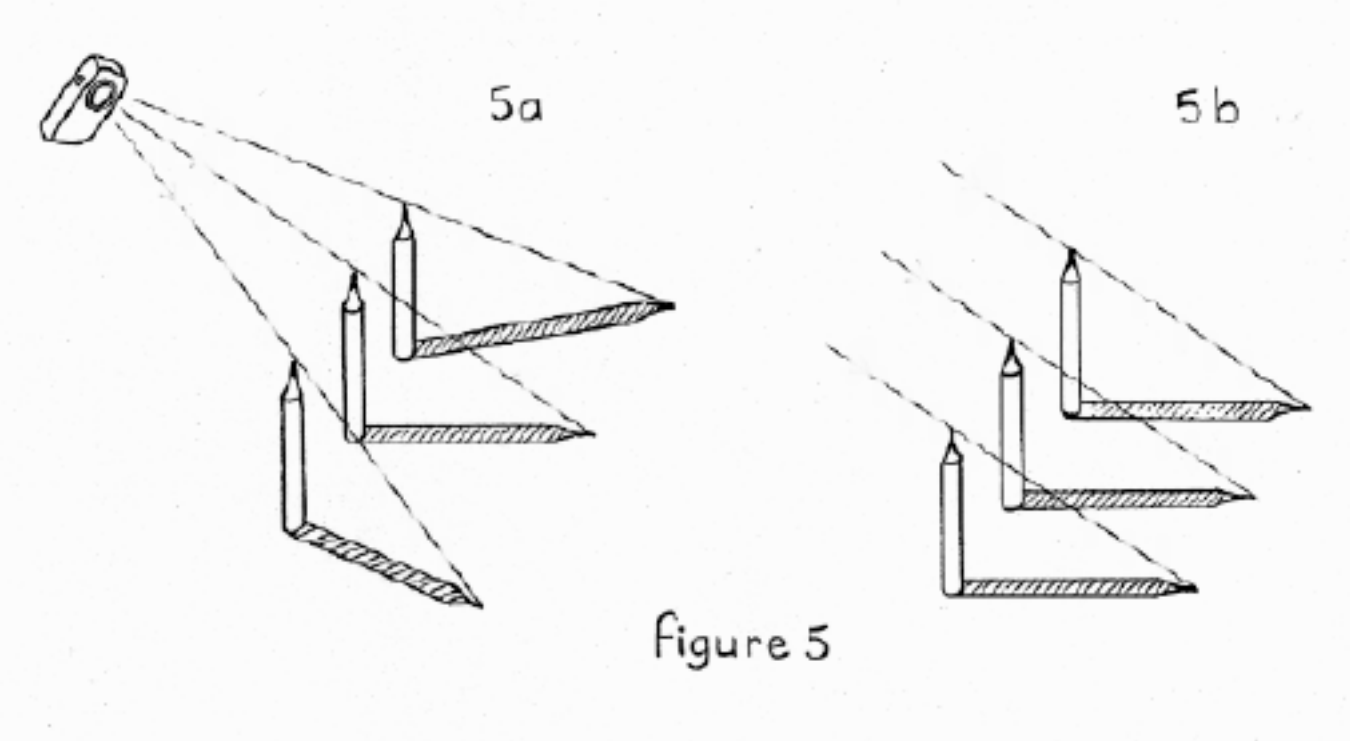


Figure 5

Des petits malins ajouteront certainement : " *" Mais alors, avec le Soleil, les ficelles devraient être parallèles ! "* (figure 5b). Ils iront bien sûr vérifier cela sur place et en déduiront que les rayons solaires doivent eux-mêmes être parallèles.

## Traces écrites

Les enfants illustreront ces dernières trouvailles par des dessins et des légendes..

## Pour aller plus loin

L'enseignant propose d'essayer de tracer des droites les plus parallèles possible, à vue d'œil, puis de vérifier leur parallélisme de différentes manières, dont celles-ci :
Les élèves reproduisent sur du papier calque un réseau de droites réellement parallèles, cela grâce aux réglures de feuilles de copies : ce réseau, assez serré, est posé ensuite sur les droites prétendues parallèles : en faisant coïncider l'une de celles-ci avec l'une du réseau, cela permet de vérifier le parallélisme de toutes les autres (figure 6a)

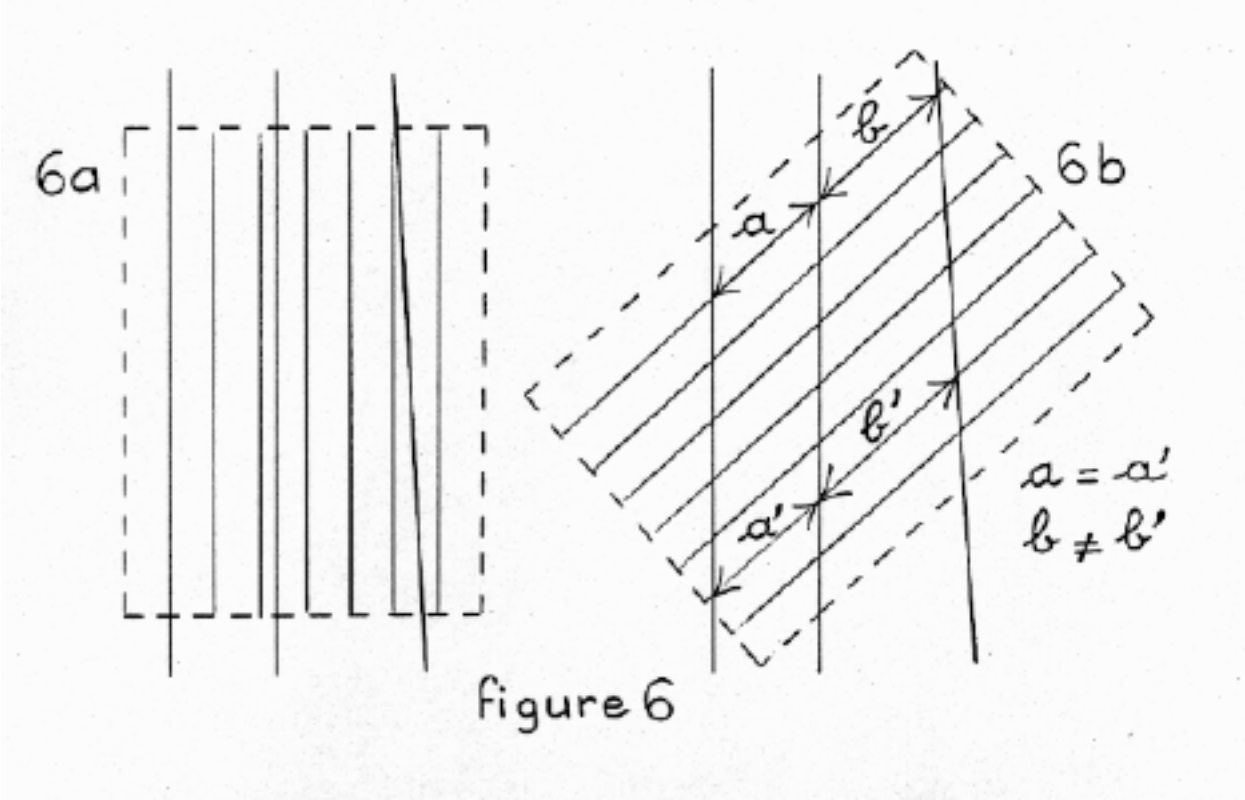


figure 6

En posant ce réseau, mais cette fois de façon quelconque sur les droites en questions, puis en procédant pour chacune à la mesures d'un couple de segments obtenus, ils comparent les résultats (figure 6b). D'autre part, les élèves verront qu'il est facile de tracer des parallèles obliques sur du papier quadrillé.

---

## 4) Observation de l'évolution des ombres au cours de la journée

**Durée :** moments d'observations et de tracés assez courts mais renouvelés au cours d'une journée ; séance de simulation de 30 à 45 min.

**Lieu :** endroit ensoleillé toute la journée, avec sol bitumé ; lieu pouvant s'assombrir.

---

---

**Matériel :**

**Pour chaque groupe de 3 à 5 élèves :**
un objet de 10 à 15 cm de long pouvant tenir debout ou sur un socle de pâte à modeler,
des bâtons de craie,
une grande feuille de papier calque,
un marqueur,
une lampe de poche,
une grande feuille de papier blanc.

---

## Enquête préalable

Interrogés sur les variations des ombres au cours d'une journée, les élèves sont unanimes pour dire qu'elles vont s'allonger vers le soir *" puisque le Soleil va aller se coucher "*. Ils en déduisent que le matin, elles doivent être très longues aussi *" puisque le Soleil vient de se lever "*. Quant au restant de la journée, ils pensent qu'elles se raccourcissent d'abord jusqu'au moment *" d'aller manger à la cantine puisque le Soleil est tout en haut dans le ciel "*, pour s'allonger ensuite. Si on leur demande de se dessiner à ces différents moments, ils se bornent en général à traduire les variations de longueur de leur ombre, avec le Soleil derrière eux à différentes hauteurs, sans traduire un quelconque déplacement de l'astre et donc des ombres.

## Observations

Pour en savoir plus, les élèves vont observer l'ombre d'éléments situés dehors, au soleil, cela, une fois dans la matinée, une autre dans l'intervalle de midi et deux fois dans l'après-midi. Si les variations de longueur prévues s'avèrent exactes globalement, le fait que les ombres changent en même temps de direction, les surprend dans un premier temps. Mais ils en comprennent vite la cause : *" C'est parce que le Soleil change de place dans le ciel ! "*.

## Tracés d'ombres

Comment alors, repérer avec précision l'évolution des ombres au cours d'une journée, et en garder la trace ? En dessinant l'ombre d'un même objet à différents moments ! Les élèves, par petits groupes, choisissent un objet quelconque (mais n'excédant pas une vingtaine de cm de hauteur) et le posent sur le sol d'un endroit ensoleillé tout au long de la journée : si l'objet ne peut rester en place, ils dessinent à la craie le contour de sa base afin de pouvoir le replacer exactement au même endroit ultérieurement et avec la même orientation.

Environ toutes les heures, et à tour de rôle, un membre de chaque groupe vient exécuter le nouveau tracé d'ombre. A la fin de la journée, tous les élèves reviennent sur le site pour constater que les ombres ont " tourné " autour du socle des objets, tout en changeant de longueur. Quelques-uns sont chargés alors de décalquer, sur de grandes feuilles de papier calque, leur série de tracés d'ombre en vue d'une prochaine utilisation.

Attention : Après le départ des élèves, l'enseignant, à l'aide d'une boussole, va repérer discrètement la direction nord/sud sur l'une des séries tracées sur le sol, puis il fait de même sur le calque correspondant, nous verrons pourquoi dans les séquences suivantes.

## Dessins avec légende

Les enfants essaient de traduire au mieux le phénomène observé. Certains ont l'idée de dessiner autant de petits soleils que de tracés d'ombre, en essayant de les placer chacun en opposition : cela, grâce à des

tracés de rayons passant par le sommet de l'objet et aboutissant à l'extrémité de l'ombre, prouvant ainsi qu'ils ont bien saisi le mécanisme impliqué.

## Simulation

Il s'agit maintenant de reproduire le phénomène observé dans sa double composante : variation de longueur des ombres mais aussi, et conjointement, rotation de ces ombres. Dans un lieu assombri, les objets ayant servi précédemment pour les tracés ombres sont installés sur une grande feuille de papier blanc. Dans chaque groupe, on s'évertue à retrouver le mouvement de la lampe permettant de simuler, en accéléré, le mouvement apparent du Soleil ! cela, afin d'arriver à reproduire à la fois le mouvement de l'ombre de l'objet et l'évolution de sa longueur. Certains élèves, se souvenant de l'effet produit par le déplacement latéral de leur lampe derrière un objet, trouvent la manière d'incurver ce déplacement pour obtenir les effets désirés (figure 7)

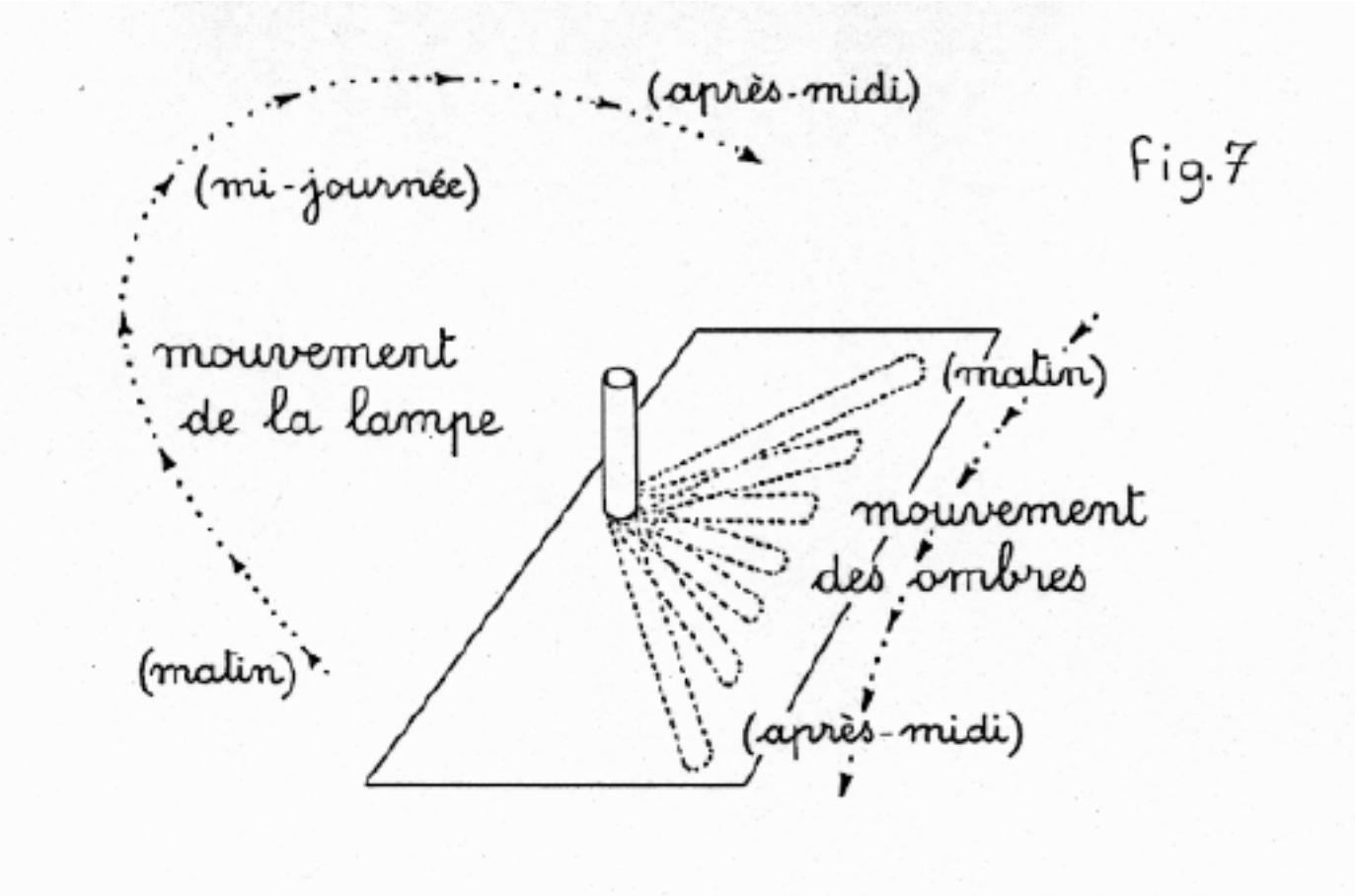


Fig. 7

Ensuite, en plaçant cette fois leur objet sur la feuille de papier calque reproduisant les tracés de son ombre au cours d'une journée, chaque élève, à tour de rôle, tente de replacer l'ombre de l'objet successivement dans chaque tracé : cela, de façon discontinue d'abord, en tâtonnant plus ou moins, puis de façon continue, ce qui demande une bonne coordination du geste et du regard. Certains y parviennent assez bien et se vantent alors d'avoir réussi à imiter *" le vrai Soleil ! "*

L'étape suivante consistera donc à repérer avec plus de précision le mouvement apparent du Soleil.

**Séquence 1**

# Complément historique de la séquence 1

## La lumière et l'optique au temps des savants grecs

L'optique antique et la théorie de la vision qui lui serait associée n'ont pas du tout le même sens que celui, physique, qu'on lui donnerait volontiers à l'heure actuelle.

D'une façon générale, les savants grecs ne mentionnent pas la lumière comme l'entité à laquelle les organes visuels sont sensibles, mais s'attachent à l'étude des « rayons visuels ». La lumière est considérée comme le phénomène qui permet au regard de fonctionner, partant du fait qu'on ne voit rien en pleine obscurité.

L'optique antique est en fait un mélange de plusieurs sciences, chacune apportant un éclairage sur la question de la vision. Ainsi on retrouvera dans les textes antiques des références à la biologie, la mécanique, la psychologie et bien évidemment la philosophie, omniprésente à l'époque.

Des textes antiques, on peut retenir trois théories qui ont eu chacune leurs admirateurs et leurs détracteurs : les théories intromissionistes, les théories extramissionistes et la théorie aristotélicienne.

Les théories intromissionistes reposent sur le fait que chaque objet disperse dans toutes les directions des répliques, appelées *eidola* . Ces images répliquées traversent l'espace pour atteindre l'œil, qui peut alors voir l'objet.

Les théories extramissionnistes expliquent le phénomène de vision par l'émission, depuis l'œil, d'un flux de rayons visuels. Ces rayons se dispersent dans l'espace sous la forme d'un cône issu de l'œil qui, lorsqu'il rencontre un objet quelconque, déclenche la sensation visuelle. Dans l'esprit de ces théories, l'œil « projette » une sorte d'excroissance sensible qui touche les objets et communique ainsi leur nature à l'observateur ; on trouve aussi le concept de *pneuma* , matière invisible emplissant le milieu entre l'œil et l'objet qu'il regarde : en présence de lumière, le *pneuma* se tend sous la forme d'un cône issu de l'œil et par interaction avec les objets croisés par le cône, la perception des images se produit.

Ces deux théories reposent sur des interactions mécaniques de contact entre rayons visuels et objets observés. Aristote propose une théorie alternative, ne faisant ni référence aux rayons visuels ni aux répliques des objets (les simulacres), qu'il fonde sur un processus passif : les organes visuels sont excités par une impression, qu'il appelle le « sensible propre » (dans le cas de la vision, c'est la couleur). Ce « sensible propre » met en mouvement le milieu intermédiaire entre l'œil et l'objet (qu'il appelle le diaphane), mouvement transmis à l'œil qui perçoit alors l'image.

**Séquence 1**

# Assistance technique de la séquence 1

---

## Fiat lux !

L'ensemble des séquences, et la première en particulier, mettent en jeu un ensemble de notions liées aux phénomènes lumineux (propagation de la lumière, réflexion, diffusion et réfraction des rayons, formation des ombres et parallélisme des rayons lumineux,...). Nous n'entrerons pas ici dans la nature même de la lumière, mais nous vous conseillons de bien noter les points ci-dessous afin d'éviter les écueils qui vous guettent...

## Perception de la lumière

Contrairement à ce que croient de nombreux enfants, on voit les objets parce que des rayons lumineux ont quitté la surface de ces objets et sont arrivés au fond de notre oeil, et non l'inverse ! Il est difficile pour eux d'imaginer qu'un objet autre qu'une lampe ou le Soleil puisse lui-même "envoyer" de la lumière.

Il faut pour le comprendre distinguer deux types de sources : celles qui produisent de la lumière (bougie, filament d'une ampoule électrique, Soleil) et celles qui renvoient la lumière qu'elles ont reçu (tous les objets ou êtres vivants qui nous entourent et que nous pouvons voir). Ainsi, un objet usuel qui ne produit pas de lumière ne peut être vu que s'il est lui-même éclairé et que les rayons qu'il renvoie nous atteignent. Si les mécanismes de la vision vous intéressent, vous pouvez vous reporter a la fiche décrivant la structure de l'oeil.

## Propagation de la lumière

Pour comprendre comment la lumière se propage, il faut bien connaître le milieu qu'elle traverse (vide, air, liquide ou cube de verre,...). Le cas le plus simple est celui d'un milieu homogène, c'est à dire dont les proprietés (température, pression, composition) sont les mêmes en tout point. Dans un tel milieu, la lumière se propage en ligne droite tant qu'elle ne rencontre pas d'obstacle, c'est à dire qu'elle suit le chemin qui correspond au temps de parcours le plus court.

Si le milieu n'est pas homogène (par exemple lorsqu'il y a de grandes différences de température d'un bout à l'autre de ce milieu), alors le chemin le plus court (au sens du temps de parcours) n'est plus la ligne droite, mais une trajectoire plus ou moins incurvée. C'est ce qui explique par exemple la formation des mirages. De même, lorsqu'un rayon lumineux passe d'un milieu à un autre (interface entre l'air et l'eau par exemple), il est dévié. On peut facilement s'en rendre compte en plongeant un bâton dans un bassin : le bâton semble "cassé" parce que les rayons qui nous parviennent de sa partie immergée sont tous brusquement déviés lorsqu'ils passent dans l'air pour finir au fond de nos yeux. C'est cette expérience très simple qui a inspiré au physicien Descartes ses célèbres lois régissant la réflexion et la réfraction (passage d'un milieu a un autre).

On distinguera désormais les milieux transparents (air, verre) qui laissent passer au moins une partie de la lumière et les milieux opaques (un morceau de bois ou de métal) qui l'arrêtent.

## Rencontre d'un obstacle et formation des ombres

### Diffusion de la lumière

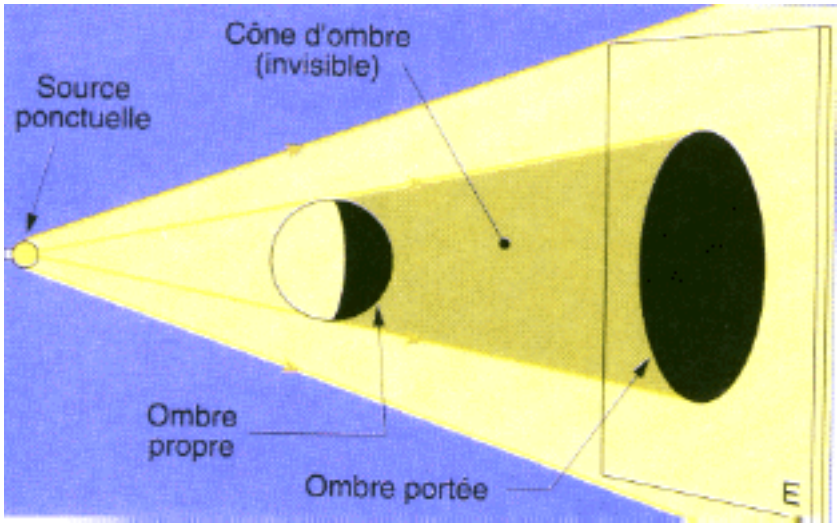
Lorsqu'un faisceau lumineux rencontre un objet opaque, il est en partie réfléchi par sa surface. Prenons le cas d'un miroir, placé dans une immense pièce totalement obscure et éclairé par une simple lampe de poche. Le faisceau qui frappe le miroir semble réfléchi dans une seule direction qui dépend de l'inclinaison du miroir par rapport au faisceau lumineux (il suffit de faire pivoter le miroir pour s'en convaincre). C'est l'application simple d'une des lois de Descartes qui se vérifie alors sous nos yeux.

Regardons de plus près : la surface du miroir n'est pas parfaitement plane, elle est constituée d'un ensemble de facettes qui elles-mêmes réfléchissent la lumière. En moyenne , si le miroir est bien poli, ces facettes ont presque toutes la même direction, mais un certain nombre d'entre elles sont inclinées aléatoirement et renvoient la lumière dans d'autres directions. Quelque soit notre place dans la pièce (en restant du côté de la surface argentée), le miroir reste visible. C'est bien la preuve que des faisceaux lumineux venant de sa surface ont été réfléchis dans toutes les directions, même s'ils ne sont pas majoritaires.

Ce phénomène est appelé **la diffusion** : lorsqu'un faisceau lumineux atteint un point d'un objet (opaque ou transparent), ce point devient à son tour source de lumière en renvoyant des faisceaux lumineux dans toutes les directions, ce qui nous permet de le voir depuis la région située du côté de la source de lumière. Voyons maintenant ce qui se passe de l'autre coté de notre objet opaque.

## Formation des ombres

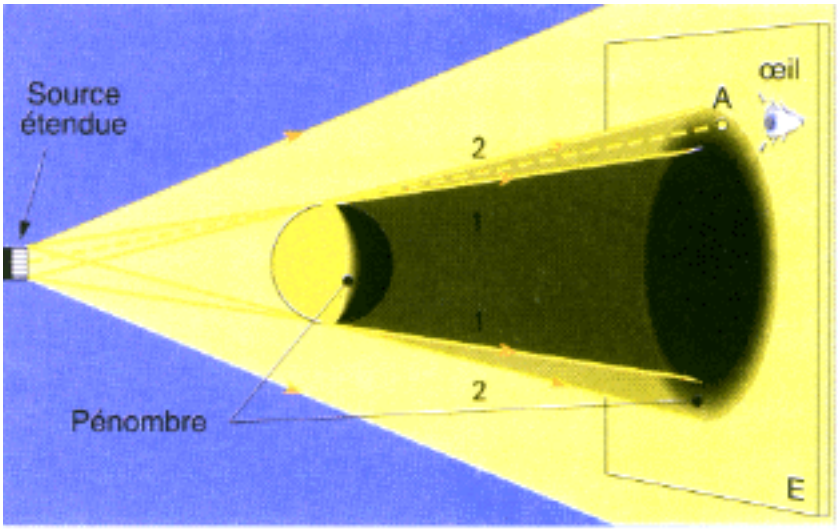
Faisons l'expérience suivante : on éclaire une balle de tennis avec une source lumineuse dite **ponctuelle**. Une source parfaitement ponctuelle n'existant pas dans la nature, on utilise une simple ampoule de lampe de poche. Le filament de l'ampoule étant très fin et très petit, on peut considérer que cette source est ponctuelle.




Si on se place derrière la balle, dans la zone où la lumière issue de l'ampoule n'arrive pas, on ne voit pas l'ampoule. Toute cette zone située derrière la balle, est appelée zone d'ombre ou encore **ombre propre**. La balle empêche la lumière issue de l'ampoule d'y parvenir. Sur l'écran, on voit une tâche sombre que l'on appelle **ombre portée** de la balle (car elle est "portée" par l'écran). Entre la balle et l'écran, on localise une zone de l'espace où ne pénètrent pas les rayons lumineux issus de l'ampoule. Dans le cas présent, du fait de la forme ronde de la balle, ce volume de l'espace est particulier : c'est un **cône d'ombre**.

Lorsque la source de lumière est **étendue**, ce qui est quasiment toujours le cas (Soleil, réverbères, etc...), il apparaît sur l'écran une zone frontière entre la partie éclairée et la partie dans l'ombre : c'est la

pénombre. L'œil ne peut distinguer la ligne qui sépare ombre et pénombre. Si on se place dans la zone de pénombre et que l'on regarde dans la direction de la source, on voit une partie de la source étendue (faites l'expérience!).




Pour obtenir graphiquement les zones d'ombre et de pénombre, il suffit de tracer des droites entre les points extrêmes de l'ampoule et les points de l'objet (cf figure). Aucune droite quittant un point de l'ampoule ne peut atteindre la zone d'ombre puisqu'il y a entre les deux l'objet. De la même façon, vous ne verrez un objet éclairé que s'il existe une droite qui va de l'objet à votre œil sans rencontrer d'obstacles : mettez-vous sous une table et vous ne verrez pas les objets se trouvant dessus. En revanche, quelques rayons issus de la source atteignent la zone de pénombre. Si l'on place son œil (récepteur) dans le cône d'ombre, celui-ci ne voit pas la source lumineuse.

Remplaçons l'ampoule de l'expérience par le Soleil, la balle de tennis par la Terre et introduisons un troisième acteur, la Lune. Si la Terre entre dans le cône d'ombre de la Lune ou réciproquement, il apparaît un phénomène bien connu : les éclipses.

La taille et l'orientation d'une ombre peuvent également nous renseigner sur la position de la source lumineuse. C'est ainsi que l'ombre d'un gnomon indique avec précision la course régulière du Soleil pendant la journée. C'est en utilisant ce concept que sont fabriqués les cadrans solaires.

## Quelques écueils à éviter !

L'affirmation "l'ombre est la zone qui ne reçoit pas de lumière" est en général incorrecte car imprécise : dans les cas courants, il y a toujours une surface (un mur, le sol, d'autres objets proches,...) qui réfléchit une partie de la lumière vers l'objet que l'on observe. Ainsi, notre objet possède des ombres multiples même si elles ne sont pas toutes facilement visibles ! En revanche, si on considère une pièce noire infinie sans murs ( on garantit ainsi une véritable obscurité) et que l'on éclaire un bâton avec une lampe, l'ombre de ce bâton ne recevra pas de lumière.
Dans la vie courante, la région d'ombre créée par la source primaire n'est donc pas forcément une zone d'absence de lumière, il est plus précis de dire que c'est la région depuis laquelle on ne peut pas voir la source de lumière parce qu'elle est totalement cachée par l'objet. La pénombre correspond donc à la région depuis laquelle on ne voit qu'une partie de la source étendue occultée par l'objet.

## Parallélisme et divergence

Un point essentiel de l'expérience d'Ératosthène : le parallélisme des rayons solaires. Comment le comprendre simplement ?

On considère que les faisceaux lumineux émis par une source sont parallèles si elle est située à une distance infinie de son observateur. En pratique, et sans philosopher sur la notion d'infini, on admettra qu'il existe une distance (dépendant des dimensions de cette source) au-delà de laquelle on peut faire l'approximation que les rayons qui nous parviennent sont parallèles entre eux.
Examinons le cas du Soleil.
Choisissons deux rayons émis d'un même point de la surface du Soleil et qui atteignent les deux extrémités d'un mur de 2 m de hauteur. On peut facilement estimer l'angle entre ces deux rayons en calculant le rapport suivant :hauteur du mur (2 mètres) divisée par distance du point de la surface du Soleil (environ 150 millions de km, soit 150 milliards de mètres !), on trouve un angle (dans un unité qu'on appelle "radian") extrêmement petit (comme vous pouvez vous en douter) et on ne pas le voir à l'oeil. On peut donc faire l'approximation que ces deux rayons sont parallèles.

En est-il de même à l'échelle d'un département, d'une région, d'un pays ou de la Terre elle-même ? Remplacez donc la hauteur du mur par la distance qui vous intéresse (entre deux villes ou entre le pole Nord et le pôle Sud) et refaites le calcul : dans tous les cas, vous trouverez un angle extrêmement faible. On peut donc considérer que les rayons qui nous parviennent sur Terre d'un même point de la surface du Soleil sont parallèles.

Mais le Soleil ne se réduit pas à un point : c'est une source étendue, et même très entendue. Son diamètre ne mesure pas moins de 1,4 millions de km ! La lumière qui nous arrive du Soleil est donc contenue dans un faisceau lumineux, un cône dont la surface solaire est la base et notre oeil est le sommet (la pointe). Tous les rayons contenus dans ce cône ne sont pas strictement parallèles entre eux, mais font un petit angle. L'angle maximum est celui qui sépare les rayons provenant des bords opposes du disque solaire. On peut de la même façon que précédemment évaluer cet angle en calculant le rapport suivant diamètre du Soleil divise par sa distance ~ 1/100.
Cet angle (égal a 0.5 degré) est presque négligeable et on peut considérer en première approximation que tous ces rayons sont parallèles. Mais ce n'est qu'une approximation : il vous suffit d'observer l'ombre d'un crayon pose sur une table pour comprendre que le "flou" au niveau de l'ombre de sa pointe n'est autre que la trace des différents rayons légèrement divergents qui proviennent du disque solaire. Si ces rayons étaient parfaitement parallèles entre eux, l'ombre serait parfaitement nette et le Soleil nous apparaîtrait comme un point dans le ciel. C'est exactement le cas des étoiles qu'on observe la nuit : ce sont des soleils tellement éloignés de nous que leur disque se réduit a un point, leurs rayons nous arrivent tous parallèles (ou presque !).

## Attention danger !

Regarder le Soleil en face est extrêmement dangereux, il faut impérativement utiliser des filtres spéciaux (Lunettes distribuées pour les éclipses ou verre de soudeur de grade 14 au moins). Des lésions indolores et définitives se produisent au niveau de vos yeux, mais ne se révèlent qu'au bout de quelques heures ou jours. Prévenez les enfants de ces risques : il est formellement deconseillé de regarder le Soleil sans protection. Des lunettes spéciales vous permettent d'admirer le disque solaire et d'apprécier son diamètre en toute sécurite.

## Un écueil à éviter

Les enfants dessinent les rayons du Soleil comme une couronne autour du disque, représentant ainsi implicitement des rayons fortement divergents. Est-ce une erreur ? Oui et non. La surface du Soleil émet des rayons dans toutes les directions (on peut donc le voir quel que soit l'endroit de l'espace où on se trouve), donc les rayons dessinés existent bien, mais ils n'arrivent pas jusqu'a nous ! La quasi totalité de ces faisceaux lumineux parte dans l'espace vers les étoiles lointaines, seule une toute petite fraction

d'entre eux nous parviennent (contenus dans le cône mentionné ci-dessus). Pour représenter correctement les rayons qui atteignent la surface de la Terre, il ne faut donc pas dessiner le disque du Soleil, mais les rayons parallèles qui arrivent jusqu'à nous. (Si on voulait être très précis, on dessinerait autour de chacun des rayons parallèles un petit cône lumineux rappelant que le Soleil n'est pas une source ponctuelle !). Il suffit de faire un dessin du Soleil et de la Terre a l'échelle pour comprendre les distances énormes mises en jeu. A vos stylos !

---

**Séquence 2**

# Réaliser et utiliser des gnomons

## Introduction

Au cours de cette séquence, les enfants vont découvrir que l'ombre d'un bâton tourne et change de longueur au cours d'une journée. Ils mettront ensuite au soleil des " obélisques " miniatures de leur fabrication, c'est-à-dire des gnomons, différents d'abord, puis semblables. Ils traceront et mesureront les ombres à cinq ou six moments de la journée. En comparant les résultats avec ceux de leurs camarades. Devant la disparité de leur mesures, ils comprendront la nécessité de régler leurs gnomons de manière identique afin d'obtenir des ombres semblables. Cela les conduira à planter ces gnomons bien verticalement sur un support lui-même bien horizontal.

## Notions

Evolution globale des ombres au cours d'une journée. Premiers tracés et mesures. Premiers repérages de la direction de ces ombres par rapport au nord donné par une boussole. Premières comparaisons. Notion de verticalité et d'horizontalité.

*Lien avec les programmes de l'école primaire (BO N° 1 du 14/02/02) du cycle 3 :*

- Géographie :
    - Regards sur le monde : comparaison de représentations globales de la Terre (globes, planisphères) et du monde (cartes).
- Mathématiques :
    - Espace et géométrie
        - les relations et propriétés géométriques : alignement, perpendicularité, parallélisme.
        - l'utilisation d'instruments (règle, équerre) et de techniques (pliages, calque, papier quadrillé).
    - Grandeurs et mesures : le repérage du temps et des durées (année, mois, semaine, jour, heure, minute, seconde) et leurs relations.
- Sciences expérimentales et technologiques :
    - Le ciel et la Terre :
        - la lumière et les ombres
        - les points cardinaux et la boussole.
        - le mouvement apparent du Soleil..

*Lien avec les fiches connaissances :*

Fiche de connaissance N° 17 : Lumière et ombres.

Fiche de connaissance N° 18 : Points cardinaux et boussole.

Fiche de connaissance N° 19 : Mouvement apparent du Soleil.

*Extrait du document d'application des nouveaux programmes en sciences expérimentales et technologiques :*

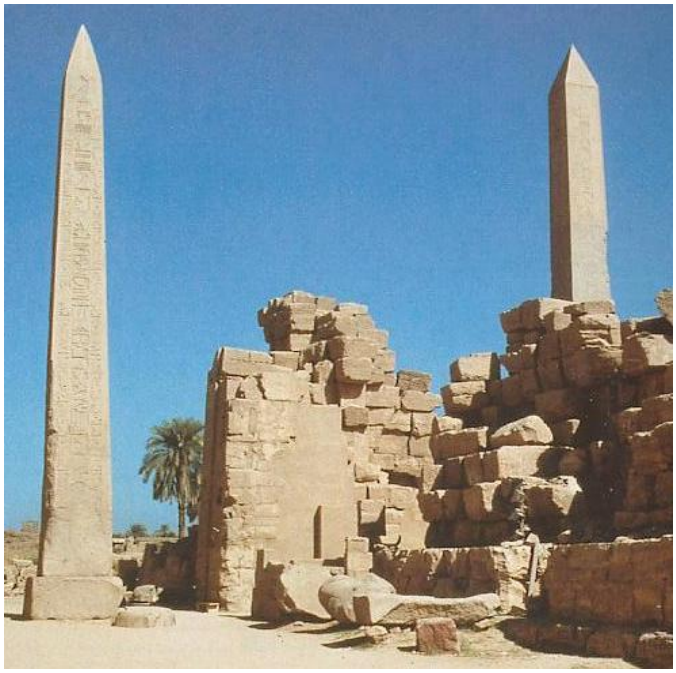
*Compétences spécifiques :*

- *Être capable de constater qu'un objet opaque éclairé par une source de lumière présente une partie lumineuse et une partie sombre (ombre propre), et que la partie éclairée se présente sous différentes formes en fonction de la perspective sous laquelle elle est observée.*
- *Être capable d'utiliser les points cardinaux pour repérer*

*une direction à partir d'un lieu sur terre. Savoir utiliser une boussole pour repérer une direction ou pour progresser dans une direction donnée.*

## Préliminaire : l'obélisque d'Alexandrie

Lors de la première séquence de ce projet, vous avez résolu une partie du mystère d'Eratosthène. Voici la suite de cette histoire.
" Eratosthène ayant appris grâce au papyrus que le bâton planté à Syène n'avait pas d'ombre décida de comprendre ce phénomène surprenant. Pour cela, il planta lui aussi un bâton au soleil et l'observa pendant de longues heures. Comme ce bâton n'etait pas bien droit et que son ombre était toute petite, il décida d'observer l'ombre d'une grande aiguille de granit qui était dressée à l'entrée d'un des temples d'Alexandrie. Cette aiguille était plantée bien droit dans le sol, elle mesurait près de 20 mètres de hauteur et projetait une ombre bien plus grande que son baton, on l'appelait un obélisque. Son sommet en forme de petite pyramide était recouvert d'or, si bien qu'il brillait au soleil et qu'on pouvait le voir de très loin ! Les obélisques décoraient souvent l'entrée des temples égyptiens et des tombeaux des pharaons, Eratosthène n'eut aucun mal à en trouver un près de sa bibliothèque. Il l'observa pendant de longues heures au cours de la journée et ses observations lui permirent de saisir une partie du mystère ... "



Qu'a-t-il bien pu remarquer en observant l'ombre de cet obélisque toute une journée ? A vous de le découvrir en faisant au soleil la même expérience qu'Eratosthene !

Les élèves seront donc amenés à reproduire cette nouvelle expérience d'Eratosthène. Ils chercheront ensuite quels objets peuvent représenter un obélisque en modèle réduit et en apporteront en classe. Mais avant qu'ils ne puissent réaliser des gnomons en toute connaissance de cause, ils devront mettre un bâton au soleil et observer à leur tour l'étrange ballet des ombres.

Alors que cela n'avait pas encore été précisé dans le texte lu par les enfants lors du démarrage du projet, racontez que l'ombre observée et mesurée soigneusement par Eratosthène était celle d'un obélisque. Quelques documents seront les bienvenus pour montrer à quoi ressemblait cette " grande aiguille de granit " érigée à l'entrée des temples égyptiens.

Les élèvent chercheront ensuite quels objets peuvent représenter un obélisque en modèle réduit et en apporteront en classe. Mais avant qu'ils ne puissent réaliser des gnomons en toute connaissance de cause, ils devront mettre un bâton au soleil, non plus le temps d'une observation ponctuelle de son ombre, mais pour répondre à la question suscitée par une étrange précision donnée dans le texte: c'était à un moment particulier, le midi solaire, que les observations et les mesures avaient été faites… Cela voudrait-il dire que les ombres diffèrent au cours de la journée ?

**Durée :** Cette séquence se compose de quatre parties, chacune pouvant faire l'objet d'une ou deux séances, ou de simples moments d'activité ponctuelle au cours d'une journée ensoleillée.

---

**Sommaire de la séquence:**


**1) Repérer les variations de l'ombre d'un bâton à différents moments d'une journée de classe.**
**2) Réaliser et utiliser divers gnomons.**
**3) Réaliser et utiliser quelques gnomons semblables.**
**4) Utiliser la notion de verticalité et d'horizontalité pour régler les gnomons.**


---

## 1) Repérer les variations de l'ombre d'un bâton à différents moments d'une journée de classe.

**Durée :** 5 ou 6 moments de 5 à 10 minutes au cours d'une journée ensoleillée pour effectuer des relevés d'ombre dehors

**Lieu :** endroit dégagé et bien exposé car devant rester ensoleillé toute la journée.

---

**Matériel :**

**Pour la classe :**
:un bâton (de 30cm minimum) " planté " dans
un pot rempli de terre ou de sable humide,
une craie,
un mètre à enrouleur,
deux boussoles,
une feuille de papier calque,
quelques objets rectilignes dont une vis,
une feuille pour prise de notes.

---

**Débat.**
Les enfants discutent tout d'abord de cette expérience et essaient d'imaginer ce qu'Eratosthène a bien pu observer de si remarquable. Chacun émet ses propres hypothèses et fait part de ses idées à ses camarades, puis note le tout sur son cahier d'expérience. Certains se souviendront peut-être des manipulations de la lampe électrique au-dessus de la carte d'Egypte et supposeront que les ombres aussi bougent lorsque le soleil se déplace dans le ciel. Pour vérifier toutes les idées qui auront fleuri et départager les candidats, une seule solution , faire soi-même l'expérience au soleil !

Installer un bâton au soleil. Dès le matin, on place le bâton dans son pot dans un endroit restant ensoleillé pendant le temps scolaire. Il s'agira donc de mesurer son ombre plusieurs fois dans la journée. Mais une question se pose : si l'ombre " bouge " comment fera-t-on pour noter son déplacement ? " Il faudra dessiner l'ombre par terre ! " Donc, on placera le pot sur un sol bitumé (s'il ne peut rester en place toute la journée, on prendra la précaution de dessiner le contour de sa base).
On discute pour convenir des moments où se feront les observations de l'ombre sans perturber la vie de la classe : par exemple, dès le début de la récréation du matin, puis juste avant l'heure de la sortie de midi ; ensuite, à l'heure de la

reprise des classes, puis pendant la récréation de l'après-midi ; enfin, juste avant l'heure de la sortie du soir. De plus, si la sortie de midi se fait à 11h 30, les élèves qui déjeunent à l'école insisteront sûrement pour une observation supplémentaire de l'ombre du bâton " à midi pile ".

Observer, tracer et mesurer l'ombre du bâton. Lors de la première observation sur le terrain, après qu'on ait noté la date et l'heure précise, un élève est chargé de tracer l'ombre du bâton par un simple trait rectiligne partant de la base du pot jusqu'à l'extrémité de l'ombre.
Un autre mesure ensuite le tracé à l'aide d'un mètre à enrouleur, et on note le chiffre trouvé tandis que certains remarquent une chose importante : la précision de la mesure est toute relative car l'ombre (pot compris), très nette au niveau de sa base, présente ensuite un flou qui augmente vers son extrémité (d'autant plus si la longueur du bâton est importante : cela est dû à l'effet de pénombre). Et si cette extrémité est très " pointue " (pour cela, mettez-y provisoirement une vis, pointe en l'air), les élèvent s'aperçoivent - contre toute attente - que l'imprécision à ce niveau est encore plus grande ! (Aussi, en revenant la fois suivante sur le terrain, ils apporteront quelques objets rectilignes de longueurs différentes et de formes diverses à leur extrémité : en les tenant bien droit sur le sol, ils constateront que la meilleure précision de l'ombre est obtenue avec les objets les plus courts et à bout plat, ce dont ils se souviendront quand ils réaliseront leurs gnomons).
Lors du second moment d'observation (avant lequel vous aurez glissé deux boussoles dans votre poche), les remarques fusent : " L'ombre a tourné ! ", " Et elle a raccourci ! ". Les enfants discutent alors pour interpréter le phénomène : ils se mettent rapidement d'accord sur le fait que le Soleil a dû se déplacer dans le ciel et qu'il est aussi plus haut que tout à l'heure.

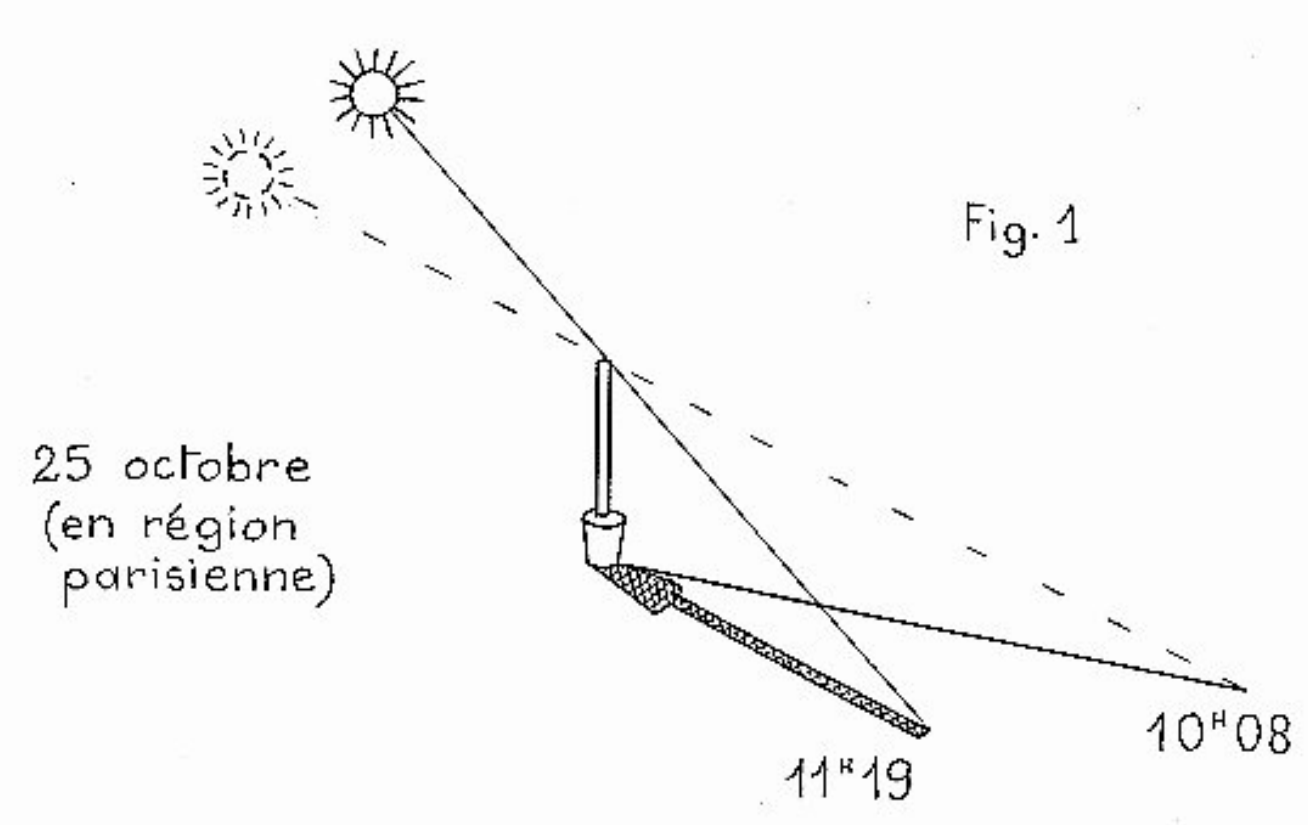


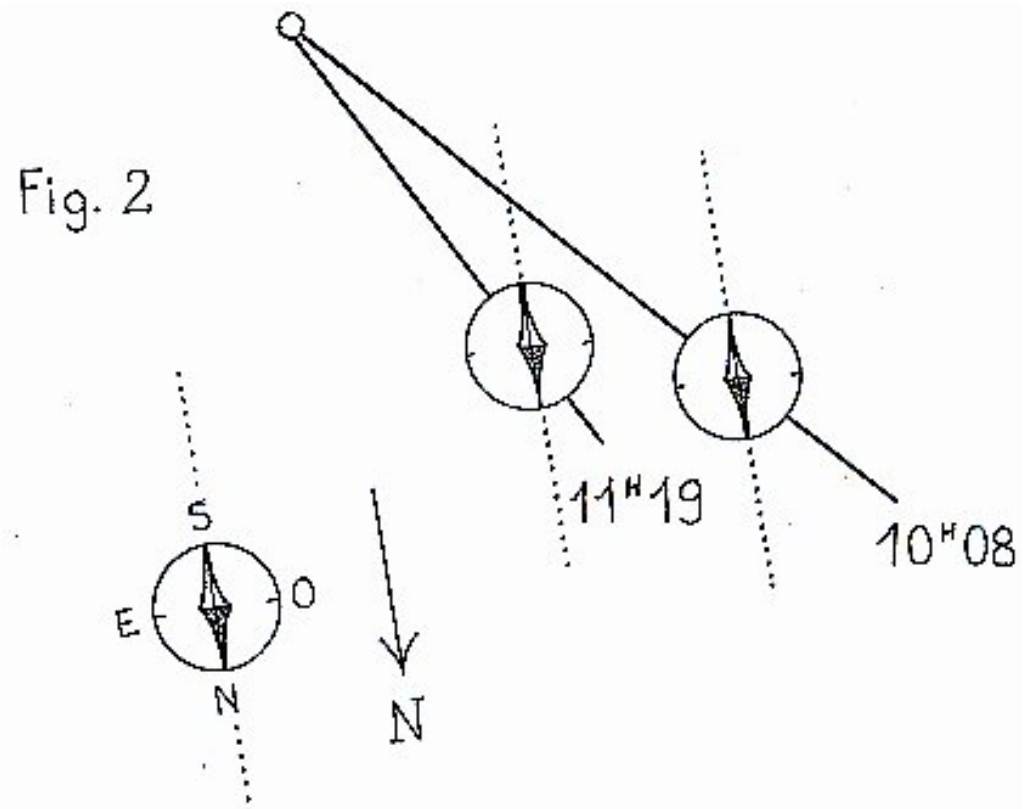
Fig. 1

Ils essaient, dans la foulée, de prédire comment sera l'ombre lors du prochain moment d'observation : si c'est " à midi pile ", ils vont supposer que l'ombre sera plus courte mais qu'elle rallongera sans doute après, jusqu'au soir ; quant à son déplacement, ils sont sûrs qu'il va se faire dans le même sens " puisque le Soleil ne va pas se mettre à reculer ! "

Garder en mémoire l'orientation des deux premiers tracés d'ombre, puis des suivants. Une question va sans doute émerger dès le deuxième moment d'observation ou lors des suivants : s'il est simple de noter à chaque fois la longueur des tracés, comment faire pour garder en mémoire " leur écartement ", c'est à dire, la façon dont l'ombre a " tourné " ? les élèvent pensent d'abord à repérer un objet se trouvant dans le prolongement de chaque tracé (un arbre, une porte…), mais cela est aléatoire et pas très précis ! D'autres proposent de poser une grande feuille de papier calque sous le pot, de façon à reproduire le départ des tracés. Nouveau problème : quand la pluie aura tout effacé, comment repositionner

le calque si on veut refaire la manip pour des comparaisons ultérieures ? D'où la nécessité de repérer sur le terrain, puis sur le calque, une direction précise et immuable, comme le nord, par exemple, que l'on retrouve d'ailleurs sur les cartes… " Il nous faudrait une boussole ! "
Faites alors une enquête rapide à propos des connaissances qu'ont vos élèves sur cet instrument, puis prévoyez quelques activités pour les familiariser avec son emploi (voir les activités sur la boussole).
Tandis que les enfants remarquent que l'ombre a déjà tourné légèrement pendant qu'ils discutaient, sortez l'une des boussoles de votre poche. Demandez qu'un élève vienne montrer comment on utilise cet instrument, posé au sol : une fois l'aiguille stabilisée, l'élève fait coïncider sa " pointe bleue " avec la lettre N pour que les quatre lettres des points cardinaux montrent bien les quatre directions. Celle du nord est ensuite matérialisée par une flèche (comme sur la figure 2).

Remarque . Si vous êtes dans l'hémisphère sud en dehors de la zone intertropicale, remplacez " nord " par " sud " dans la suite du texte car le soleil culminera au nord dans votre cas et l'ombre du baton pointera vers le sud. Si vous êtes dans la zone intertropicale, ce sera l'un ou l'autre de ces cas, selon l'époque à laquelle vous réaliserez l'expérience. De même, les indications d'heure dans la suite de la séance correspondent uniquement à ce qu'on observerait en France àl'heure d'hiver. Il vous faut adapter selon l'heure de culmination du soleil dans votre région.

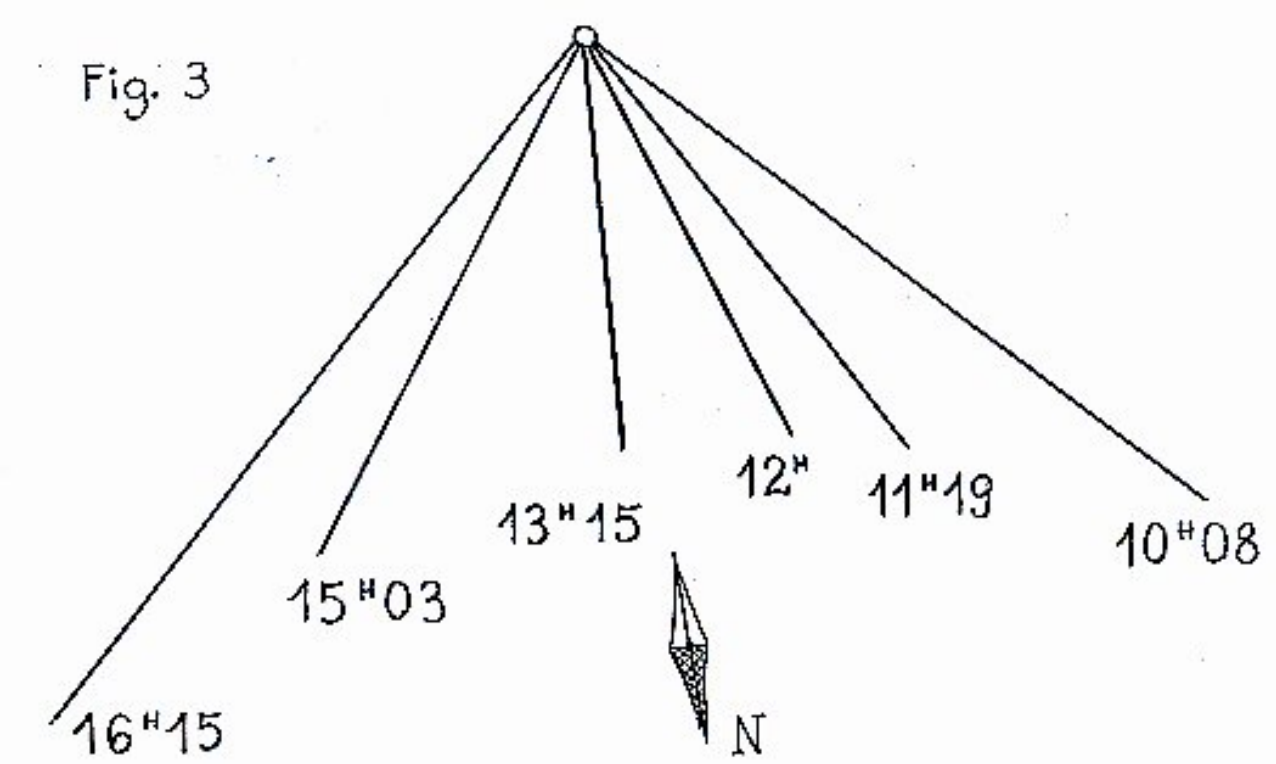



Les enfants remarquent que les deux tracés d'ombre ne suivent pas la direction du nord : ils proposent de placer la boussole (et la deuxième que vous aurez sortie) sur chacun d'eux pour voir " comment ils s'en écartent ". Il se peut alors que certains précisent que les tracés s'orientent vers le nord-est : notons à ce propos qu'il ne s'agit pas ici de faire déterminer avec exactitude l'orientation des tracés - opération très délicate au demeurant pour des élèves n'ayant pas encore acquis la notion d'angle - mais de repérer comment l'ombre tourne par rapport à la direction nord (laquelle restera au centre des observations ultérieures). Effectivement, les enfants vont prédire que le tracé suivant s'approchera de cette direction, ce qui, bien sûr, pourra être vérifié.

Les relevés suivants. Rappelons que le troisième moment d'observation a lieu, soit pendant l'heure du déjeuner, soit à la reprise des classes : on procède donc au tracé de l'ombre sur le sol puis on commente sa longueur et son orientation par rapport aux deux tracés voisins et à la direction nord. Si ce relevé a lieu " à midi pile " comme ont pu le souhaiter les enfants, ces derniers remarquent que l'ombre a encore raccourci mais qu'elle ne coïncide pas encore avec la direction nord de la boussole.Les élèves supposent alors que l'ombre franchira plus tard la direction nord. Jusqu'à quand va-t-elle raccourcir ? Finira-t-elle par disparaîitre ? A quelle heure ? Que se passera-t-il plus tard dans l'après-midi ? L'ombre va-t-elle de nouveau grandir ?

Les élèves feront alors part de leurs intuitions, ils écriront dans leur cahier leurs observations et leurs réponses à toutes ces questions et s'empresseront de faire de nouveaux relevés pour vérifier toutes leurs hypothèses.

Si le relevé suivant est effectué un peu après 13h, il montrera bien que l'ombre a franchi la direction nord mais, en revanche, il révélera qu'elle est légèrement plus courte que lors du " midi pile " mais pas nulle (sauf cas très particulier où votre école se situerait dans la zone intertropicale lorsque le soleil passe au zénith)! Ensuite, les deux derniers tracés confirmeront bien l'hypothèse des enfants, ils verront l'ombre s'allonger de nouveau jusqu'à atteindre des proportions gigantesques à l'approche du coucher du soleil.




Avant de quitter l'école, on reproduira sur un papier calque " ce drôle d'éventail qui s'ouvre vers le nord ", ou tout du moins le départ de ses tracés, y compris la flèche montrant le nord (ou l'aiguille de la boussole) : les enfants pourront s'y référer pour schématiser sur leurs cahiers d'expériences les relevés effectués.
Pensez à réserver dix minutes en fin de journée pour faire le point sur les conclusions de leur expérience. Ils ont découvert ce qu'Eratosthène avait lui-meme réalisé en observant l'obélisque : les ombres tournent et changent de longueur en fonction de l'heure. Certains élèves feront peut-être référence aux cadrans solaires basés sur le principe de rotation des ombres. Précisez-leur alors que ces obélisques servaient très probablement de cadran solaire aux Egyptiens. Enfin, ils noteront soigneusement toutes les nouvelles questions que cette expérience aura suscitées. Par la suite, ils auront sûrement envie de refaire la manip avec des " obélisques " miniatures plantés cette fois sur un large socle pouvant contenir les grandes ombres du matin et de l'après-midi. C'est l'objet de la suite de cette séquence.

---

## 2) Réaliser et utiliser divers gnomons

**Durée :** moment de concertation, courte séance de bricolage, puis, au cours d'une journée ensoleillée, 5 ou 6 moments de relevés d'ombre ; moment d'échange et de discussion.

**Lieu :** classe ; ensuite, pour les relevés, local ensoleillé toute la journée (donc orienté au sud) ou lieu bien dégagé à l'extérieur.

**Matériel :**

**Pour la classe :**
objets apportés en classe pour réaliser des gnomons, c'est-à-dire des " obélisques " miniatures (à raison d'un par groupe de 3 à 5 enfants), fixés sur des planches-supports ;
outils adaptés ; quelques gnomons déjà réalisés à la maison ;
une boussole et une feuille de papier-calque par groupe.

Tandis que les enfants apporteront de la maison divers objets pour servir de tiges et de surfaces planes, certains seront fiers d'arriver en classe avec un gnomon tout prêt sous le bras ! (A ce propos, vous encouragerez vos élèves à avoir chez eux un gnomon de leur fabrication afin de refaire, pendant les week-end et les périodes de vacances, les manips pratiquées en classe : les familles pourront ainsi participer à l'aventure !).

### Concertation.
Répartis en groupes, les élèves se concertent pour choisir, parmi les objets apportés, ceux qui leur semblent les mieux adaptés pour réaliser un ou deux gnomons. (On aura pu décider également que chaque enfant construise le sien, mais attention ensuite à tout l'espace qui sera nécessaire pour exposer au soleil une trentaine de planches d'une surface non négligeable !) Construction des gnomons : Certains groupes choisissent de planter une baguette dans une plaque de polystyrène, ou de coller un grand rivet sur une planchette de contre-plaqué ; d'autres fixent simplement, à l'aide d'un anneau de pâte adhésive, un crayon (qu'ils pensent on non à épointer au préalable) ou un morceau de tube, sur du carton d'emballage, etc.
Se souvenant d'une part, que les ombres sont très longues en cette fin d'automne et que, d'autre part, le " flou " de leur contour augmente " vers le bout ", les petits malins prendront soin de choisir un gnomon assez court, c'est-à-dire d'une dizaine de centimètres tout au plus, pour éviter que " la planche " ne soit trop encombrante ; néanmoins, s'ils ne prévoient pas un support assez vaste ni ne prennent la précaution de fixer leur gnomon près d'un bord, ils risquent de voir l'ombre déborder plus ou moins… (En effet, sous nos latitudes, au moment du solstice d'hiver et lors du midi solaire local, les ombres, bien qu'à leur plus courte dimension, atteignent néanmoins plus de deux fois et demie la hauteur des objets !)

### Traces écrites.
Chaque élève va décrire l'instrument réalisé par le groupe (ou par lui-même) en notant les dimensions de la tige et du support, mais également ce qui a justifié les choix : pourquoi ces matériaux plutôt que d'autres ? Pourquoi ces dimensions ? A-t-on choisi volontairement une extrémité arrondie ou plate plutôt qu'en pointe ?

### Installation des gnomons.
L'idéal, bien sûr, serait d'avoir un local exposé plus ou moins au sud avec suffisamment de place pas trop loin des fenêtres pour pouvoir installer tous les gnomons " au soleil " ! (Notons en passant qu'à cette époque de l'année et durant tout l'hiver aux latitudes de la France, le Soleil fait pénétrer largement ses rayons dans les locaux bien orientés). Mais, que ce soit à l'intérieur ou à l'extérieur, la première chose à faire sera de procéder à l'orientation de tous les gnomons car, même ceux pouvant rester en place risqueront fort d'être bousculés. Chaque groupe testera ensuite son procédé d'orientation en déplaçant après coup son gnomon puis en essayant de le replacer correctement. Une feuille de papier calque destinée à recevoir les tracés d'ombre sera fixée provisoirement sur les socles. La direction nord y sera matérialisée par une flèche.

Concertation puis relevés des longueurs d'ombre. On se met d'accord pour que les horaires des relevés soient à peu près les mêmes que ceux de l'autre jour avec le bâton au soleil. Néanmoins, pour pouvoir comparer ensuite les résultats des tracés, un enfant, montre en main, sera chargé de donner le signal d'exécution des relevés. D'autre part, des élèves peuvent proposer de voir ce qui se passe entre midi et l'heure du relevé suivant : ils retarderont le tracé de l'ombre effectué au " midi pile " - jugé non intéressant - et avanceront un peu celui du début de l'après-midi dans le but d'obtenir peut-être que l'un des deux nouveaux tracés coïncide avec la fameuse direction nord…
Au cours d'une nouvelle journée ensoleillée, les élèves exécutent au sein de chaque groupe les consignes prévues en faisant alterner les tâches entre les participants. Peut-être vont-ils rencontrer ça et là quelques problèmes : ombres longues coupées (tige trop haute par rapport à la surface du socle, ou mal placée, direction nord trop décalée par rapport à l'axe du socle), difficulté de repérer avec précision l'axe de l'ombre (tige trop large ou irrégulière), manque de précision pour la mesure (tige encore trop pointue)…

### Confrontation des résultats.

En superposant deux à deux les papiers calques des relevés complets, les élèves voient bien sûr que les ombres des gnomons les plus hauts donnent les tracés les plus longs. Mais, tout en remarquant que ces " éventails " très divers montrent globalement que les ombres ont bien tourné de la même façon, ils admettent que des décalages non négligeables remettent en question l'orientation précise de certaines ombres : en particulier celles de la mi-journée, susceptibles de s'approcher le plus de la direction nord…
Ils débattent de ce problème et comprennent que les comparaisons seraient facilitées si tous les gnomons étaient identiques… A la question : " Pensez-vous que si vous recommencez la manip avec des gnomons semblables et en prenant toutes les précautions requises, vous obtiendrez des résultats identiques ? ", ils vont répondre d'une seule voix par l'affirmative ! Mettez-les au défi de le vérifier…

---

## 3) Réaliser et utiliser quelques gnomons semblables

**Durée :** courte séance de bricolage, puis, au cours d'une journée ensoleillée, 5 ou 6 moments de relevés d'ombre ; moment d'échange et de discussion.

**Lieu :** classe ; ensuite, pour les relevés, local ensoleillé toute la journée (donc orienté au sud) ou lieu bien dégagé à l'extérieur.

---

**Matériel :**

**Pour chaque groupe de 3 à 5 élèves :**
un cure-dent,
une plaque de carton d'emballage (ou de " carton-plume ") d'environ 18 sur 25 cm,
une réglette de mesure (d'une dizaine de cm) faite en papier millimétré collé sur du bristol,
une feuille de papier-calque,
une boussole.

---

Proposez la réalisation rapide et simple d'un petit gnomon : la tige consistera en un simple cure-dent, mais épointé à une extrémité (laquelle servira pour les repérages) pour obtenir par exemple une longueur de 5,5 cm. L'extrémité

pointue sera plantée, " à fond ", dans une plaque de carton ondulé rigide de 5mm d'épaisseur (ou mieux encore, dans une plaque de " carton-plume " de 5 mm : matériau disponible dans les magasins de fournitures pour artistes) : cela donnera, dans notre exemple, une hauteur de 5 cm à tous les gnomons. Le support pourra donc avoir des dimensions réduites, c'est-à-dire, 18 x 25 cm. Avant d'y planter le cure-dent, on y fixera, mais de façon provisoire, une feuille de papier calque.
Avant et pendant les relevés, on prendra toutes les précautions qui seront décidées en commun : vérification de la hauteur du cure-dent (avec une réglette de papier millimétré pour avoir le zéro coïncidant avec le support), relevé précis de l'orientation du support, top sonore au moment des relevés, tracés très soigneux (au crayon noir bien taillé) de la base du cure-dent jusqu'à l'extrémité de son ombre (plate et non pointue comme nous l'avons vu).

Confrontation des nouveaux résultats. On superposera les calques deux à deux en faisant bien coïncider les repères de la direction nord. Ô (mauvaise) surprise : à quelques exceptions près, les tracés ne coïncideront pas vraiment, à la fois du côté des angles et du côté des longueurs…
Les enfants en rechercheront les causes. Après avoir soupçonné le manque de rigueur des exécutants des calques particulièrement " bizarres ", ils examineront de près les gnomons concernés, et s'écrieront : " Mais bien sûr ! ce cure-dent-là n'est pas bien droit ! ". Ils pourront vérifier qu'en faisant osciller même très légèrement un gnomon sur sa base, la longueur de son ombre et son orientation évoluent sensiblement. Mais peut-être qu'un autre gnomon montré du doigt ne présentera pas ce défaut… Alors, il faudra rechercher une autre raison, peut-être du côté du support : " Tiens, on dirait que ce carton-là n'est pas bien posé à plat… Bah, oui, y'a une règle plate qu'est restée en dessous ! ". En faisant osciller cette fois le support " en long et en large et en travers ", les élèves remarqueront que l'ombre du cure-dent se met aussitôt à fluctuer de diverses façons.
Ainsi, ils vont comprendre que, pour obtenir des mesures d'ombre semblables, il est nécessaire, en plus de toutes les précautions déjà prises, que les gnomons soient " tous bien droits " et les supports " tous bien à plat ".

*En fait, le vrai critère est que les gnomons (en un même lieu géographique) soient tous parallèles entre eux, et que les supports soient tous parallèles entre eux également : des " manips " supplémentaires montreraient qu'on peut obtenir une égalité de longueur d'ombre à partir de gnomons (de hauteur identique) et de supports (bien plan), qui seraient, les uns par rapport aux autres, inclinés de la même façon. La verticalité des uns et l'horizontalité des autres (que les élèves vont maintenant s'efforcer d'obtenir), sont en fait un cas particulier, une pure convention, mais bien commode pour notre projet Eratosthène !*

---

## 4) Utiliser la notion de verticalité et d'horizontalité pour régler les gnomons.

**Durée :** 2 séances préparatoires de 30 minutes environ ; courts moments ensuite pour le réglage des gnomons avant les relevés ultérieurs.

**Lieu :** classe puis lieu des relevés.

---

---

**Matériel :**

**Pour groupe de 4/5 élèves :**
:une équerre ordinaire (provisoire) ;
un rectangle de bristol (pour faire une " équerre double "),
règle,
crayon,
paire de ciseaux ;
la réglette de papier millimétré ;
un niveau à bulle du commerce (ou bricolé) ;
une feuille de papier calque pour les nouveaux relevés.

---

## Faire le point.

Les réponses au questionnaire-test vous auront déjà fourni quelques éléments quant aux connaissances des enfants sur la notion de verticalité et d'horizontalité (ajoutons ici " en un lieu donné " car vos élèves verront plus tard que le parallélisme de deux verticales en deux lieux différents à la surface du globe, n'est plus effectif, de même pour deux horizontales).
En fonction de ce bilan (et du temps dont vous disposerez ensuite), vous pouvez faire travailler les enfants de manière expérimentale sur la verticalité et l'horizontalité, mais aussi sur l'angle droit formé par ces deux directions : consultez la page verticalité et horizontalité (vous y trouverez notamment comment réaliser de façon simple des fils à plomb et des niveaux à bulle, puis comment s'en servir).
Les élèvent doivent prendre le temps de manipuler des niveaux à bulle lesquels, associés à des équerres, donnent la verticale. Ils comprennent alors que le plus simple, pour régler les gnomons, sera de commencer par mettre les cure-dents à angle droit par rapport aux supports car, une fois que ces derniers seront réglés à l'horizontale, les cure-dents seront forcément bien verticaux !

## Réglage avec des équerres.

Auparavant, une nouvelle feuille de papier calque est fixée provisoirement sur chaque support.
En maintenant leur équerre posée (sur la tranche de sa base) sur le support et contre leur gnomon pour vérifier que celui-ci est correctement planté, les élèves se rendent compte que l'équerre peut elle-même osciller plus ou moins sur sa base, et donc coïncider avec un gnomon qui serait légèrement " penché " !. Ils proposent alors de déplacer l'équerre à deux ou trois reprises autour du cure-dent pour s'assurer que celui-ci va bien coïncider à chaque fois, ce qui prouvera qu'il est vraiment perpendiculaire au support.
A ce propos, un pliage très simple permet d'obtenir une " équerre double " qui, elle, sera parfaitement stable, permettant ainsi un réglage immédiat et fiable : les enfants la réaliseront dans un rectangle de bristol d'environ 32 x 12 cm (figure 4) : attention à la base du rectangle qui doit être parfaitement rectiligne, et à son pliage très soigneux " bord sur bord ". On écrasera le pli avec le dos de l'ongle.

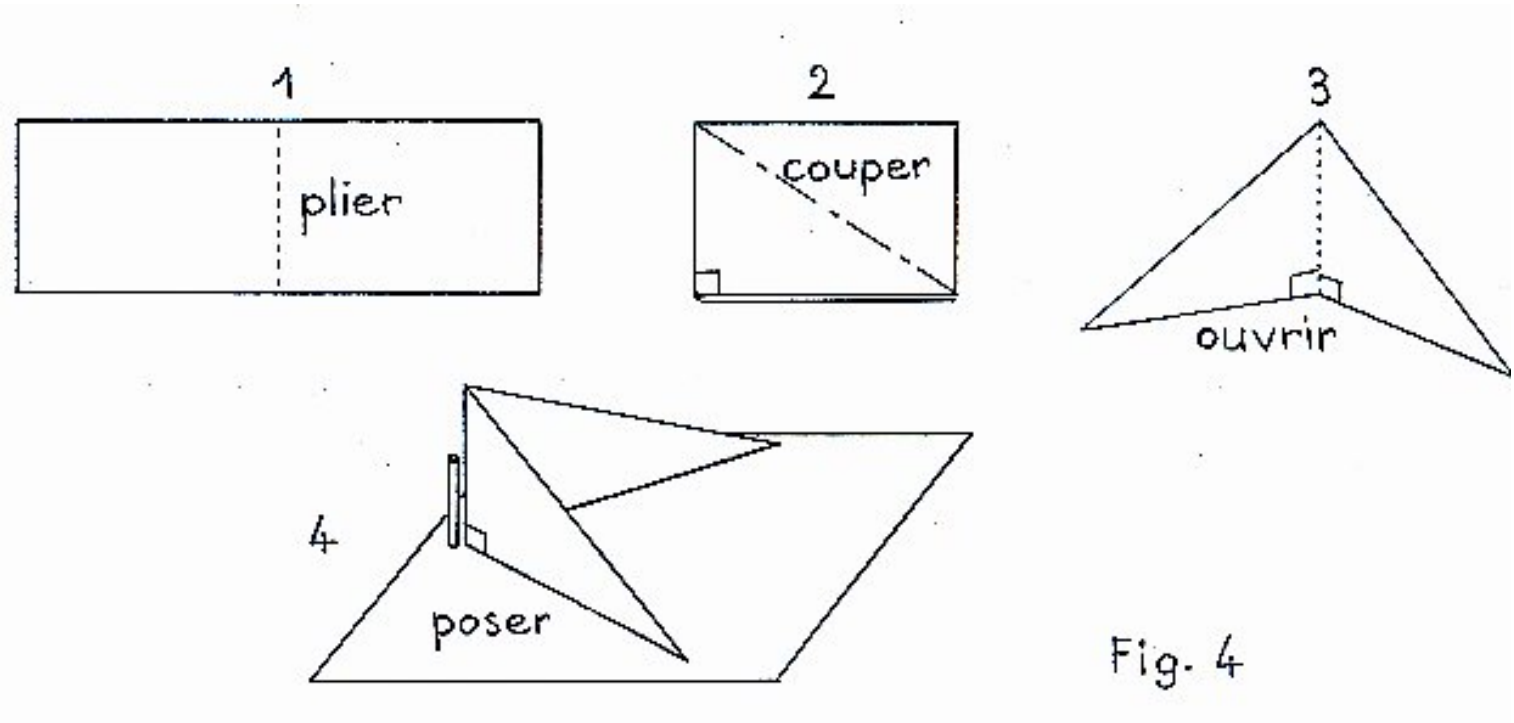


Fig. 4

Il faudra penser également à vérifier la hauteur commune des cure-dents à l'aide des réglettes en papier millimétré (revoir, dans la partie 3 de la séquence, les quelques lignes juste avant le paragraphe intitulé " Confrontation des nouveaux résultats ".

Réglage avec les niveaux à bulles. Une fois leur gnomon bien à angle droit (dans plusieurs directions) par rapport au support, les élèves n'auront plus qu'à régler l'horizontalité de ce dernier : soit avec un niveau à bulle unique qu'ils orienteront de plusieurs manières sur le support, soit avec deux niveaux (bien " d'accord " entre eux) formant un angle très ouvert devant le gnomon, comme l'équerre double.

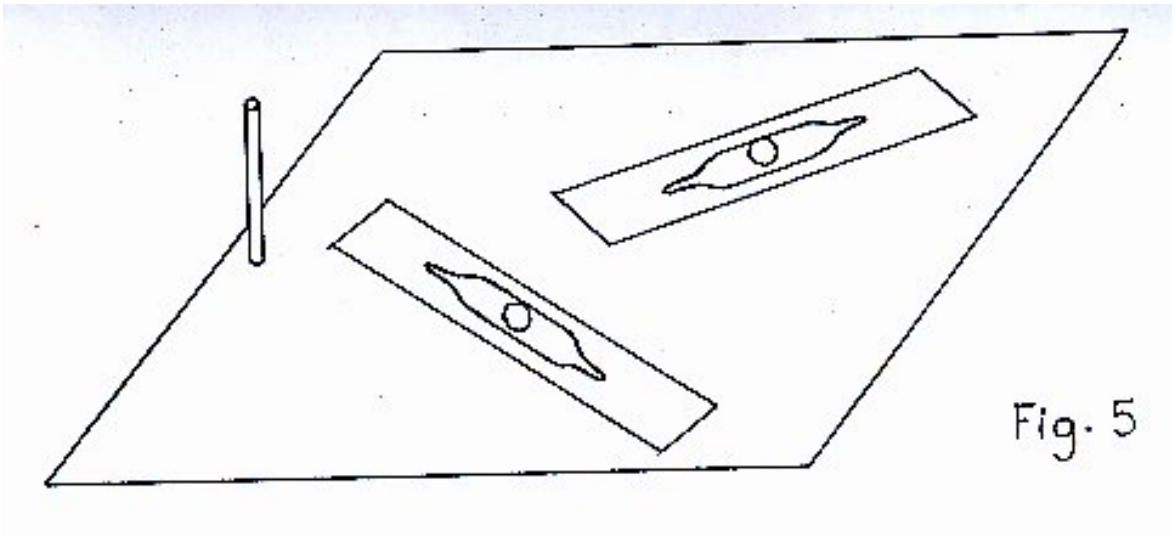


Fig. 5

Nouveaux relevés. Tout fiers de leurs gnomons bien réglés (mais devant s'en assurer avant chaque utilisation si leur instrument ne peut demeurer en place ou s'il reste sans surveillance), les enfants procéderont à de nouveaux relevés : parions cette fois que les résultats seront à la hauteur de leur attente, c'est-à-dire qu'ils concorderont !

**Séances optionnelles (Séquence 2)**

# Verticalité et horizontalité

## 1)Travaux sur la verticalité

**Durée :** une séance de 45 min environ pour l'ensemble des activités

**Lieu :** la classe, le couloir, la salle polyvalente ou autre, et un moment dehors.

**Matériel**

### Pour la classe

Pour confectionner des fils à plomb:
fils et ficelles diverses,
petits objets divers à suspendre, dont rondelles pour bricolage (en deux ou trois tailles différentes)

### Enquête préalable

Les élèves font part de ce qu'ils savent à propos de ce qu'on appelle la verticalité et nomment des objets qu'ils pensent être verticaux : les questionnaires-test peuvent être consultés à cette occasion et commentés.

### Comment vérifier la verticalité d'un objet ?

#### Expérimentation-jeu

Certains proposeront peut-être de faire une vérification amusante *de visu*, non pas pour un objet isolé mais conjointement pour deux objets différents mais censés être verticaux.
Par exemple, on se place à côté de l'arête " verticale " d'une porte ouverte et on vise – en fermant un œil – le montant " vertical " d'une fenêtre sur le mur d'en face : si, en déplaçant légèrement la tête de côté on voit l'arête et le montant se rapprocher et que, peu à peu, ils semblent être bien parallèles jusqu'à coïncider sur toute leur longueur, c'est sans doute parce qu'ils sont tout deux réellement verticaux (ou que, par le plus grand des hasards, ils " penchent " de la même façon, soit réellement, soit par un effet de perspective !) Cette méthode est très intéressante à faire lorsqu'on est en présence de deux bâtiments très hauts (tours de nos cités modernes) : la précision de leur verticalité est vraiment impressionnante !

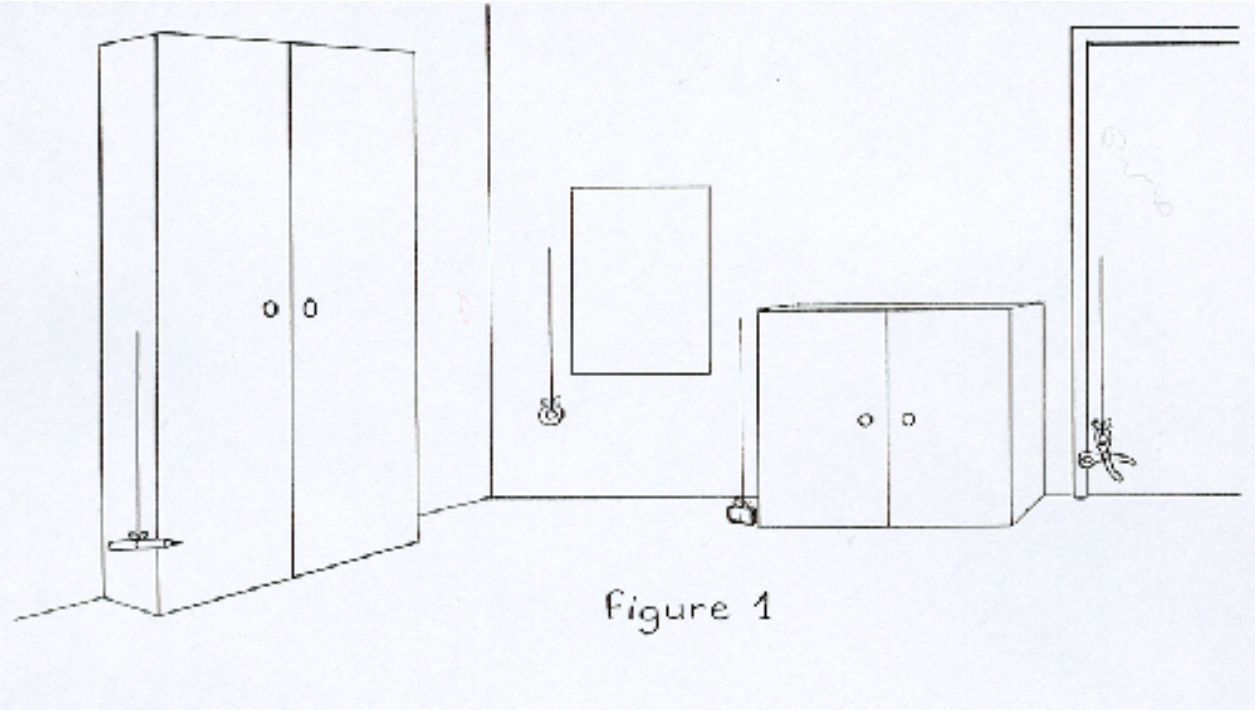
Les élèves peuvent donc s'amuser à expérimenter cette méthode. Lorsqu'ils perçoivent une " anomalie ", ils doivent détecter lequel des deux objets n'est pas vertical (ou les deux !) en faisant pour chacun une nouvelle " visée " par rapport à un troisième objet déjà " étalonné ".

#### Réaliser et utiliser des fils à plomb

Ayant compris qu'il faut forcément se référer à un objet lui-même vertical, les enfants peuvent se poser la question : comment faire pour vérifier la verticalité d'un objet isolé ?

Quelques uns auront vu des niveaux à bulle sophistiqués dont *“ l’un des trois tuyaux à bulle ”* permet de vérifier la verticalité d’un objet (les deux autres indiquant, l’un, l’horizontalité bien sûr, et l’autre, l’angle de 45°). D’autres auront sans doute entendu parler du fil à plomb, si bien qu’il sera intéressant d’en confectionner à partir de différentes sortes de “ fils ” et de “ plombs ” : on constatera que la ficelle fine convient mieux pour les “ plombs ” relativement légers, plutôt que la grosse ficelle qui se tend plus difficilement. Les rondelles de métal seront particulièrement appréciées pour leur facilité d’attache et par le fait qu’étant plates, elles permettent d’approcher le “ fil ” au maximum de l’objet à tester.

Une fois les fils à plomb terminés, les élèves les utiliseront pour vérifier la verticalité de divers objets dans la classe et à l’extérieur (figure 1)




---

## 2) Travaux sur l’horizontalité

**Durée:** trois séances de 30 à 45 min.

**Lieu :** classe.

---

**Matériel :**

## Pour la classe

*."Manip "avec les récipients contenant de l'eau :*
8 à 10 grandes feuilles de papier blanc ordinaire (50 x 65 cm),
une douzaine de récipients en plastique (voir plus loin lesquels) avec un peu d'eau légèrement colorées (prévoir une éponge!),
des crayons noirs,
quelques grandes règles plates ou des morceaux de baguette électrique bien rectilignes,
un niveau à eau du commerce
*"Manip" pour découvrir l'angle droit :*
Les feuilles de la première expérience toujours affichées,
des fils à plomb,
quelques feuilles de couleur coupées (très soigneusement) en quatre,
trois ou quatre équerres (mises de côté dans un premier temps).

## Pour chaque groupe de 2 élèves :

*Réalisation des niveaux à bulle :*
une ampoule de sérum physiologique (produit vendu en pharmacie pour l'hygiène des bébés),
20 cm de baguette couvre-joint de 40 mm,
ruban adhésif

.

---

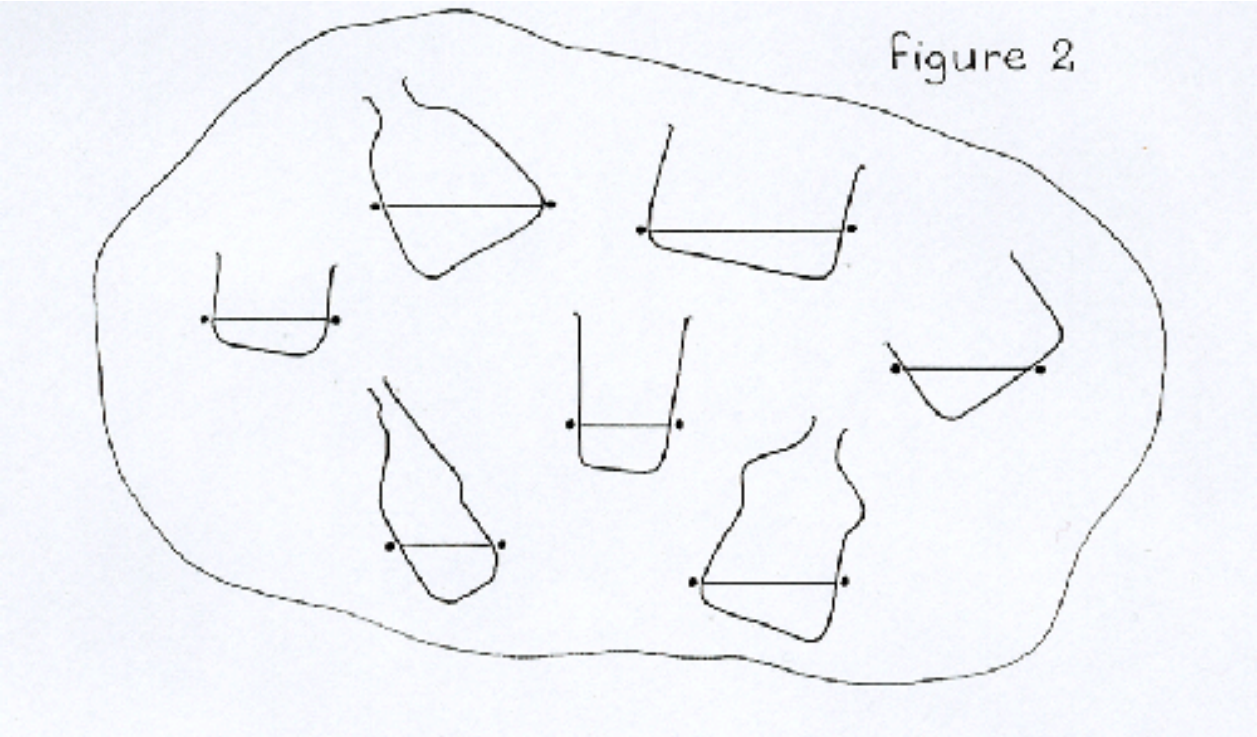
## Enquête préalable

En général, les enfants définissent l'horizontalité en citant divers objets de la vie quotidienne, par exemple, le sol des locaux : *"c'est toujours bien plat, mais si parfois ça monte un peu, on le sent tout de suite "*, ou le dessus d'une table : *" c'est bien plat aussi mais, si c'est un tout petit peu penché, une bille va rouler et tomber par terre "*. L'horizontalité est donc pour eux synonyme de stabilité, comme la verticalité est synonyme d'équilibre. C'est peut-être la raison pour laquelle ils ne pensent pas à citer l'eau au repos, sa nature même étant d'être instable : Demandez-leur de dessiner du liquide dans un récipient : beaucoup traceront une ligne ondulée en guise de surface. Et s'il s'agit d'une bouteille sur le point de verser de l'eau dans un verre, le niveau du liquide sera franchement oblique.

## Expérience

Voici une petite " manip " pour découvrir l'horizontalité de la surface libre d'un liquide, les élèves se mettant par groupes de 3 à 5 mais disposant d'un matériel commun.
Plusieurs grandes feuilles de papier, retaillées pour avoir une forme irrégulière quelconque, sont affichées sur les murs et sur le tableau, à raison d'une par groupe. Une douzaine de récipients différents en plastique transparent (ou translucide) sont posés sur une table centrale. Ce sont des boites de congélation, des barquettes alimentaires, des flacons de produits d'entretien (le tout bien propre !) : leur section est de préférence carrée, rectangulaire ou oblongue ; ils contiennent chacun de l'eau légèrement colorée jusqu'à environ un quart de leur hauteur.

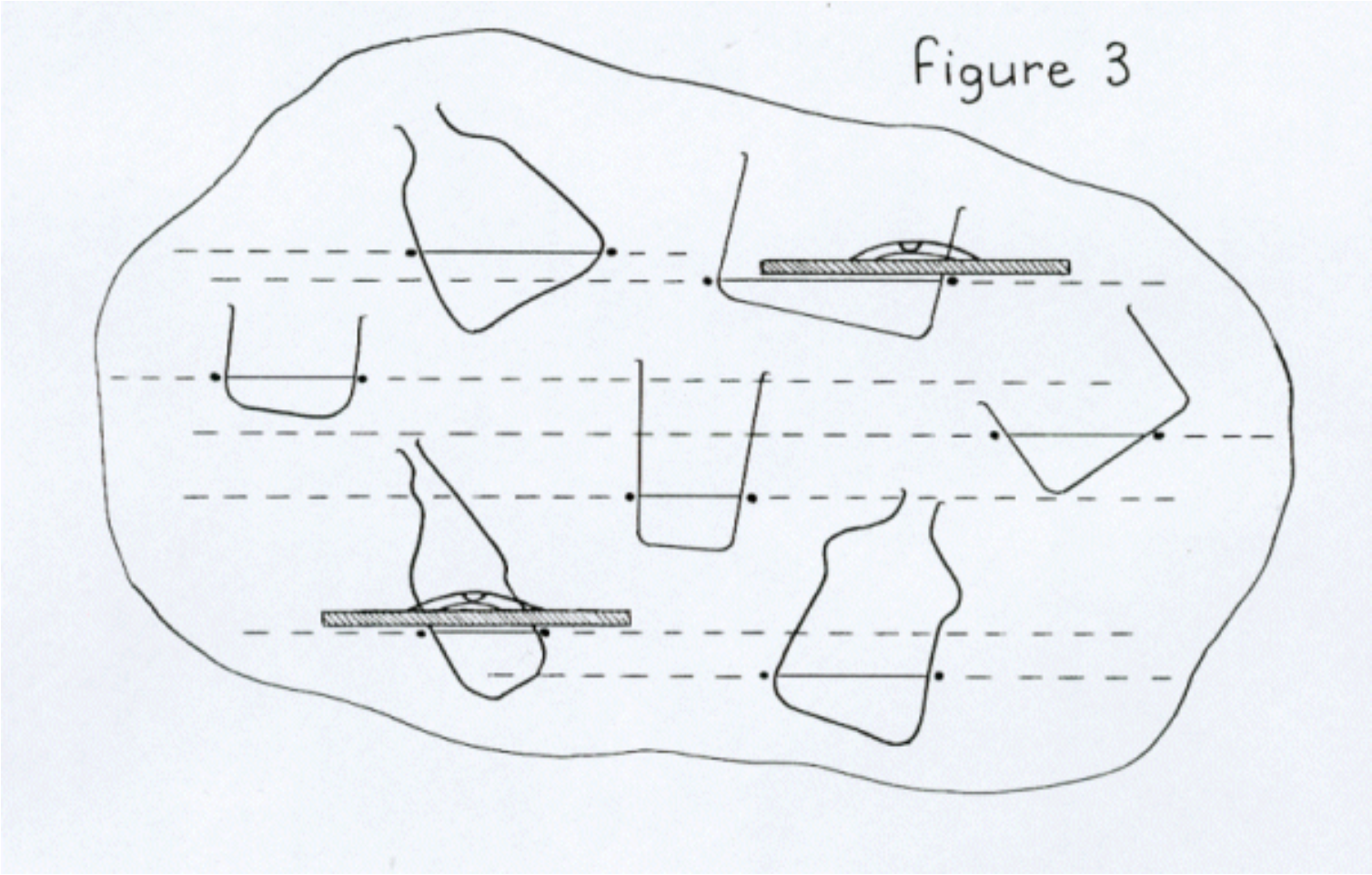
Un enfant par groupe prend l'un des récipients, l'approche du mur et le " plaque " avec précaution contre l'une des feuilles, mais sans chercher à le mettre " bien droit ", plutôt même en l'inclinant un peu, et le maintient immobile. Un camarade en " décalque " le contour puis, lorsque l'eau contenue est au repos, il fait une petite marque de part et d'autre du récipient pour repérer le niveau du liquide. L'opération est refaite plusieurs fois avec des récipients variés et inclinés différemment. Ensuite, dans chaque silhouette dessinée, on joint les deux repères, certains élèves utilisant spontanément une règle (figure 2).




Les enfants constatent que *" tous les traits ont l'air d'être bien à plat "*. Comment le vérifier ? *" On peut les agrandir de chaque côté avec une grande règle, pour mieux voir "*. Cela amène la remarque : *" Ça fait des lignes parallèles : on peut le vérifier comme on a fait l'autre jour avec nos calques "* (revoir la figure 6 de la séquence 1). Autre remarque : *" Ça fait bien à plat, comme par terre, c'est horizontal "*. Comment le vérifier ?

Les enfants dont les parents sont bricoleurs ou amateurs de camping-caravaning, citeront sûrement le niveau à bulle et proposeront d'en apporter un en classe. Une fois que l'objet aura été observé, testé, il permettra de vérifier, sur les feuilles encore affichées, l'horizontalité des tracés représentant les niveaux de l'eau dans les différents dessins de récipients (figure 3).

(Vous veillerez à ce que ces feuilles restent affichées **dans leur position d'origine** pour permettre la découverte de l'angle droit, expliquée plus loin).




## Réaliser et utiliser des niveaux à bulle

Voici une façon simple et rapide pour  faire réaliser par vos élèves quelques niveaux à bulle très astucieux : cela, à partir d'ampoules de sérum physiologique fixées sur des morceaux de baguette couvre-joint de 40 mm, à raison de 20 cm par niveau. L'ampoule, posée à plat dans le creux de la baguette, est maintenue en place avec de l'adhésif. Il faut maintenant tester l'ensemble sur une surface dont l'horizontalité aura été reconnue avec un " vrai " niveau : cela, afin de rectifier plus ou moins, avec des " cales " de papier, la position de l'ampoule sur son support. Les élèves vont chercher à ce que la bulle (ou plutôt le groupe de petites bulles) se stabilise juste au centre. Ils verront qu'il n'est pas nécessaire de mettre un repère de chaque côté (comme dans les niveaux du commerce dont le tube est légèrement "en pont") car, à la moindre inclinaison, la "bulle" repart à l'une des extrémités de l'ampoule.

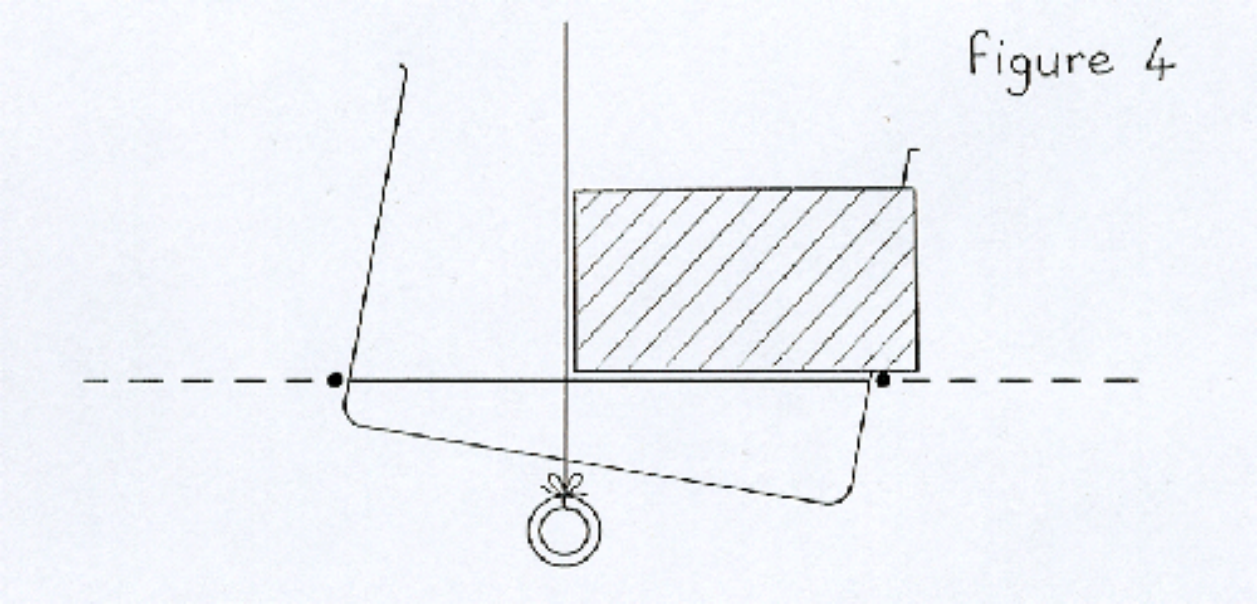
Les élèves vont ensuite utiliser leurs niveaux spontanément sur des tables, des étagères, des bancs, etc., pour en vérifier l'horizontalité. Mais ils se contenteront souvent de les placer dans une seule position, souvent parallèle à un bord : mettez-les alors au défi d'obtenir le centrage de la bulle sur une table dont vous aurez légèrement soulevé un pied (lequel reposera sur un livre par exemple). Ils y parviendront après quelques tâtonnements, et ils comprendront alors qu'il est nécessaire de placer leurs niveaux dans au moins deux positions très différentes sur un même objet pour s'assurer de l'horizontalité de celui-ci.

## Découvrir l'angle droit de façon expérimentale

Les grandes feuilles avec les tracés des récipients contenant de l'eau étant encore en place, suggérez aux enfants, si certains n'y ont pas déjà pensé, de reprendre leurs fils à plombs et de les approcher des dessins pour voir s'il n'y aurait pas quelque chose d'intéressant à remarquer… *" Le fil à plomb fait avec le trait de la surface de l'eau un croisement qui ressemble au signe + d'une addition "*.

Donnez une petite feuille de papier de couleur à chaque groupe et demandez si on ne pourrait pas insérer celle-ci

dans le *“ croisement ”*. Les élèves voient tout de suite que la feuille peut non seulement coïncider avec chacun des quatre secteurs de leurs *“ croisements ”*, mais aussi, qu’en la faisant pivoter, chacun de ses *“ coins ”* va pouvoir convenir (figure 4). *“ On pourrait aussi placer dans un croisement quatre équerres comme celle de mon grand frère ! Avec la sienne, il trace des angles droits comme ceux qu’on nous demandait de repérer dans notre questionnaire ”*.




Les élèves vont bien sûr rechercher autour d'eux des objets, fort nombreux, qui présentent des angles droits. D'autre part, ils s'entraîneront à tracer des angles droits à l'aide d'une équerre, tout en constatant que celle-ci peut être superflue quand on utilise du papier millimétré ou à carreaux (mais seulement lorsque l'un des côtés de l'angle droit coïncide, ou est parallèle, avec une réglure).

Ainsi, ayant découvert que ce qui est *“ bien droit ”* est vertical, que ce qui est *“ bien à plat ”* est horizontal, et que le *“ croisement ”* des deux donne l’angle droit de l’équerre, les enfants comprennent que les gnomons sur leurs supports doivent avoir ces caractéristiques pour être vraiment fiables entre eux.

**Séance optionnelle (Séquence 2)**

# Activités sur la boussole

---

**Durée :** une séance de 30 à 45 mn

**Lieu :** classe puis endroit à l'extérieur.

---

---

## Matériel

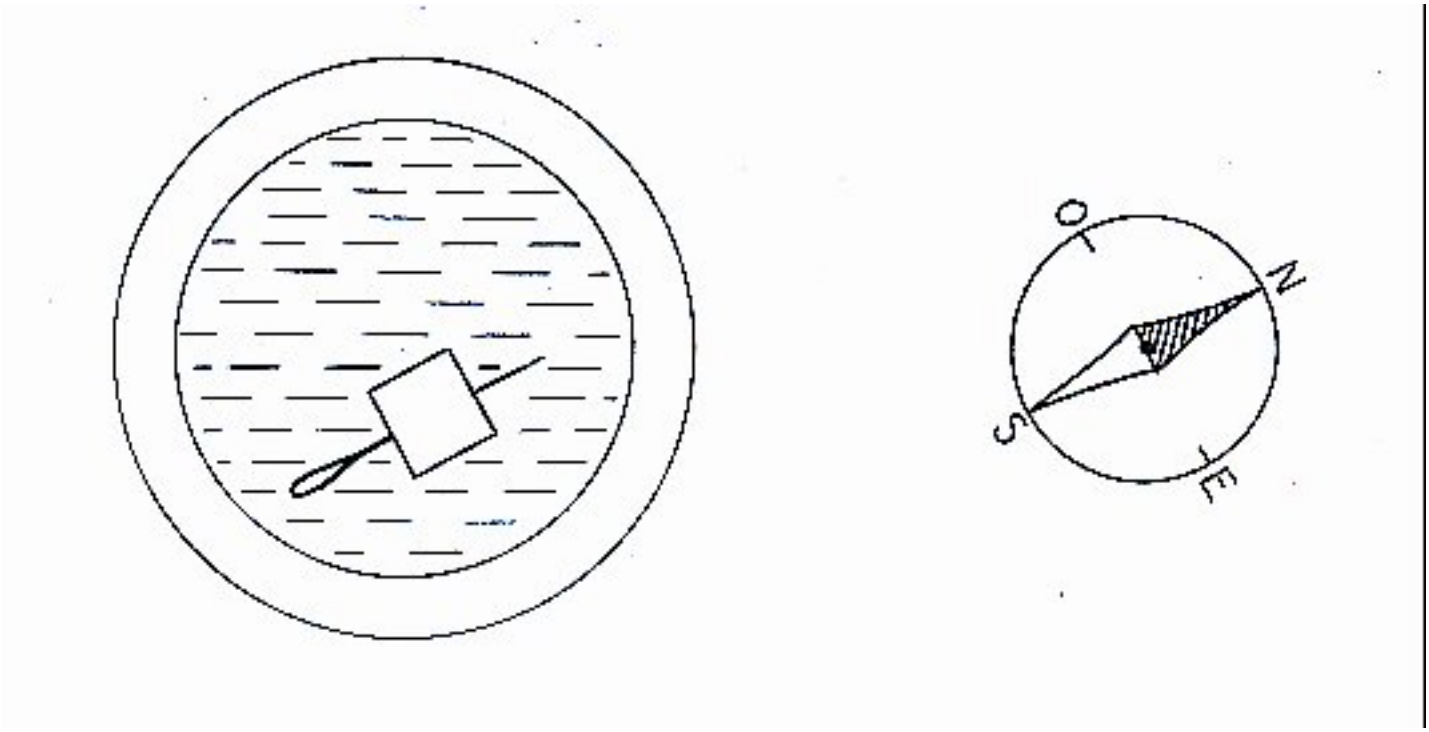
**Pour chaque groupe de 4/5 élèves :**
une petite boussole ordinaire
Pour réaliser une " boussole flottante " :
une grosse aiguille à repriser,
un aimant,
un carré de polystyrène,
une assiette en plastique avec de l'eau.
(éponge ou serpillière !)

---

---

## Réalisation expérimentale

Une fois qu'ils ont en main les 3 éléments leur permettant d'obtenir une boussole flottante, les élèves cherchent d'abord à faire flotter leur aimant en le posant sur le carré de polystyrène : il est vrai qu'en essayant de le poser successivement sur toutes ses faces, notamment sur la tranche, ils voient à un moment l'aimant pivoter puis s'orienter avec insistance dans une certaine direction : une boussole témoin (mais pas trop proche de l'assiette avec l'aimant, sinon elle en perdra le nord !) confirme que cette orientation a bien quelque chose à voir avec la direction nord-sud. Il suffit alors de faire adhérer l'aiguille sur l'aimant de façon à ce que sa pointe indique le nord.
Seulement voilà : cet assemblage est des plus instables. Il faut donc lancer le défi suivant : utiliser l'aimant mais sans le poser sur le flotteur ! Un vrai casse-tête… On précise alors qu'il est nécessaire de communiquer à l'aiguille le magnétisme de l'aimant… Les élèves finissent par essayer de frotter celui-ci sur l'aiguille, mais sans trop savoir de quelle manière : en fait, il faut toujours aller dans le même sens (surtout pas d'allers et retours !) et cela, au moins une vingtaine de fois. Ensuite, une fois " magnétisée " on fait passer l'aiguille dans la tranche du carré de polystyrène en la perçant de part en part, et la boussole flottante est prête !




Remarque : il se peut que les élèves constatent quelque chose d'étrange lorsque leurs aiguilles aimantées seront posées sur l'eau : certaines présenteront effectivement leur pointe vers le nord, mais les autres, leur chas… Pourquoi ?Cela tient au fait que les deux faces d'un aimant ont une polarité opposée (l'une est négative alors que l'autre est positive). Donc, si des aiguilles ont été frottées avec une face positive et les autres avec une face négative, elles se présenteront " tête-bêche " par rapport au nord.
Cette double polarité est très simple à mettre en évidence. On tient deux aimants (" nus " de préférence) et on les approche face à face ; selon les faces présentées, ils vont s'attirer (polarités opposées) ou se repousser (polarités identiques). On peut ensuite s'amuser à tester cette double polarité en frottant des aiguilles avec une face, d'autres avec la face opposée, puis on fait des prédictions que l'on vérifie après.

## Autres activités.

On complétera cette approche par une étude des 4 points cardinaux et des directions intermédiaires (celles données par la " Rose des vents " : nord-est, nord-ouest, sud-est, sud-ouest, mais aussi nord-nord-est, nord-est-est, etc.).
Puis on proposera des activités d'orientation au cours desquelles les élèves essaieront de définir le mieux possible l'orientation d'un élément du paysage (bâtiment, portail, arbre, colline…) sans toutefois chercher à l'évaluer de façon angulaire avant d'avoir acquis la notion d'angle et appris à se servir d'un rapporteur.
Enfin, les élèves apprendront à se repérer sur une carte, en commençant par orienter celle-ci convenablement par rapport au nord donné par leur boussole, puis en déterminant la direction d'un lieu par rapport à un autre.

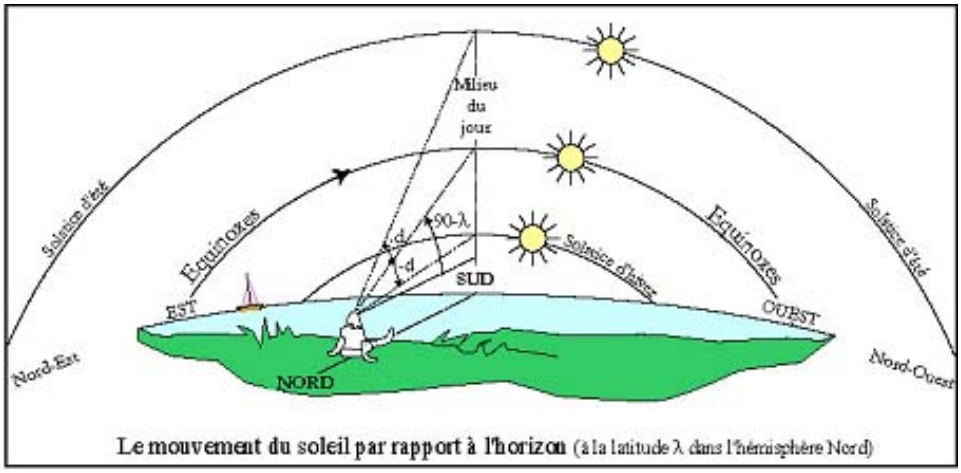
**Séquence 2**

# Complément historique de la séquence 2

## La mesure du temps

### Le gnomon et le cadran solaire

Le premier des instruments de mesure du temps inventé par les hommes est lié à un phénomène naturel essentiel dans leur vie qui donne une unité de temps : le Soleil et son mouvement par rapport à l'horizon. Tous les peuples utilisèrent ainsi le gnomon pour visualiser et utiliser ce mouvement. Le gnomon (indicateur en grec) est une simple tige plantée verticalement dans le sol qui permet de suivre la course du Soleil : la lumière de l'astre projette l'ombre de la tige sur le sol ; l'observation du déplacement de cette ombre permet de déterminer des moments caractéristiques de la journée et de l'année :

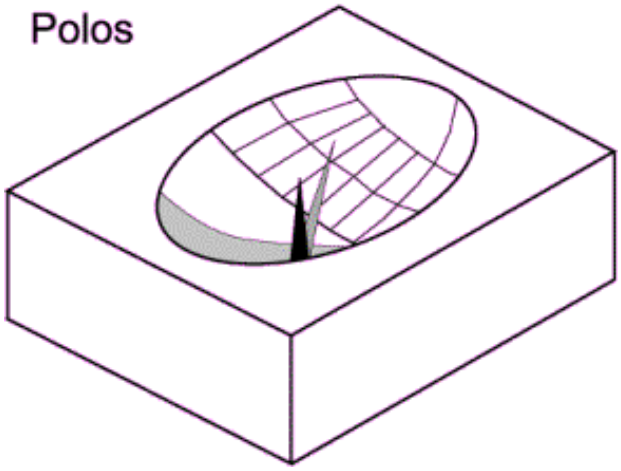


Le mouvement du soleil par rapport à l'horizon (à la latitude λ dans l'hémisphère Nord)

• l'ombre est la plus courte au milieu de la journée, le Soleil est alors au plus haut dans le ciel : on appelle cet instant midi solaire mais cela ne correspond pas avec le midi de l'heure légale donnée par nos horloges. L'heure légale dépend du fuseau horaire auquel on est rattaché. En France, il y a en moyenne, suivant le lieu et la date environ une heure (printemps-été) ou environ deux heures (automne-hiver) de décalage entre le midi d'heure légale et le midi solaire.

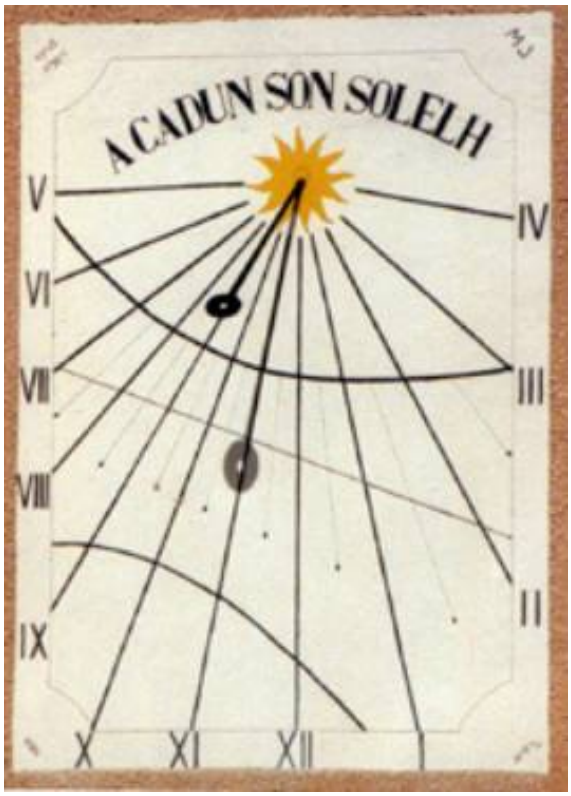
• à midi solaire, l'ombre portée est la plus longue le jour du *solstice d'hiver* (21 décembre dans l'hémisphère Nord) et la plus courte le jour du *solstice d'été* (21 décembre dans l'hémisphère Nord), lorsque le Soleil est au plus bas (21 décembre) ou au plus haut (21 juin).

On attribue l'introduction du gnomon en Occident au savant grec Anaximandre (6 ème siècle avant J.C.). C'est cet outil rudimentaire qui permit à Eratosthène, par un raisonnement génial, sa mesure du rayon terrestre.




Différentes sortes de surfaces de projections de l'ombre du gnomon furent utilisées (plan horizontal, plan vertical...) et des graduations horaires furent portées sur ces surfaces. La surface sphérique est particulièrement intéressante car elle permet de voir à l'envers la trajectoire du Soleil sur la voûte céleste. D'après Hérodote, les Grecs héritèrent des Babyloniens cet instrument qui leur permit d'élaborer des modèles géométriques du cosmos et ils l'appelèrent le « polos ».

Beaucoup plus tard, les Arabes inventèrent les cadrans à style polaire qu'ils transmirent à l'Occident latin. Sur un tel cadran, c'est toute l'ombre du style qui indique l'heure et pas seulement l'extrémité.



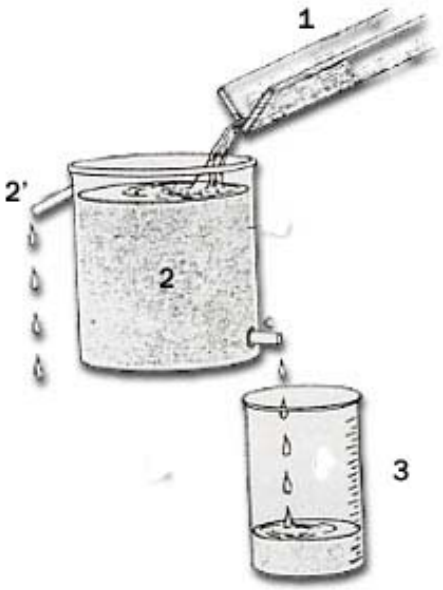

## La clepsydre

En parallèle avec le cadran solaire qui permet de mesurer un temps absolu, ou plus simplement qui donne l'heure, se développait un instrument de mesure des durées indépendant du Soleil : la clepsydre.

Le fonctionnement de la clepsydre est très simple. Le temps est évalué par l'écoulement régulier d'un liquide dans un récipient gradué (c'est l'ancêtre du sablier). Elle est constituée d'un récipient, percé à sa base et dont la surface interne est graduée. Le récipient peut être évasé (plus large en haut qu'en bas) ce qui permet d'avoir des graduations équidistantes car le débit de l'eau est plus important quand le niveau d'eau est plus élevé. Ce type de clepsydre était en usage chez les Egyptiens puis chez les Grecs.

Cependant, les lois physiques régissant l'hydrostatique (c'est Archimède qui en posera la loi) et l'hydrodynamique n'étaient pas encore connues et il était alors très difficile de garder un débit constant, ce qui jouait bien évidemment sur l'exactitude.

Le Grec Ctésibios , vers 270 av. JC, invente donc un système permettant de maintenir ce débit constant (voir schéma), ce qui permit par la suite d'y adjoindre des systèmes mécaniques pour déclencher des automates ou bien, bien plus tard, faire tourner les aiguilles d'une horloge (le nom d'horloge à eau prend alors tout son sens).

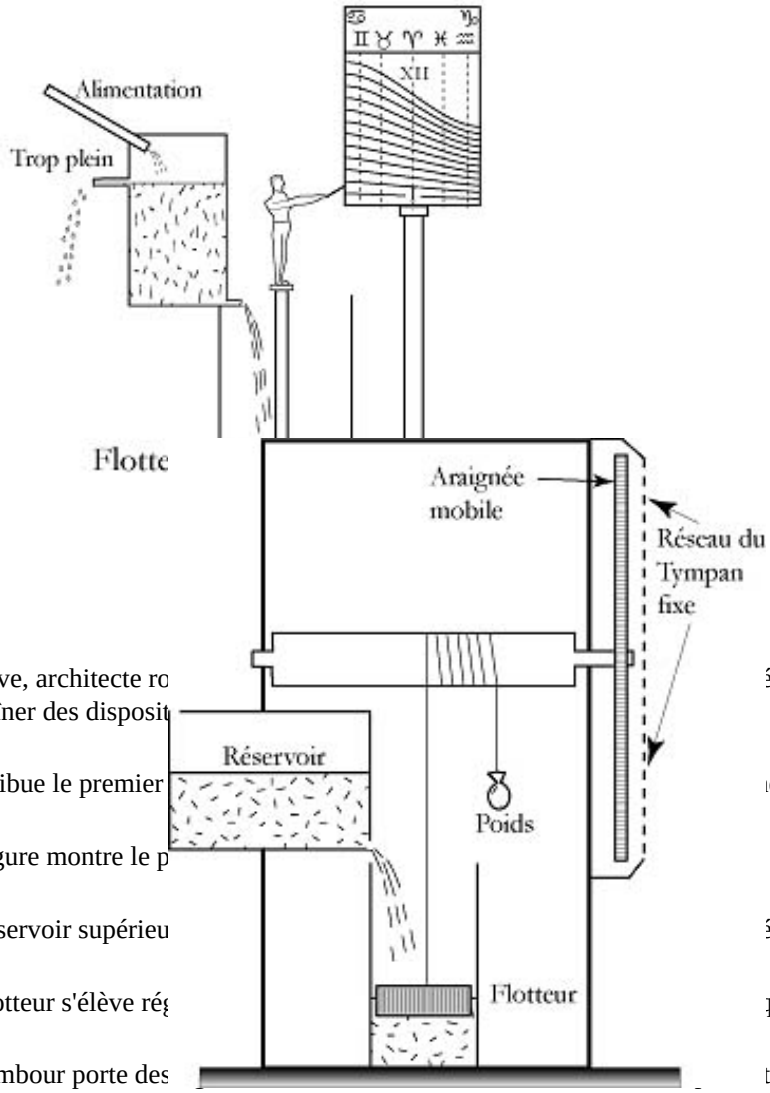


**1** : un réservoir empli continuellement (par l'eau de pluie ou par un robinet), avec un débit important, laisse écouler le liquide dans le deuxième récipient.

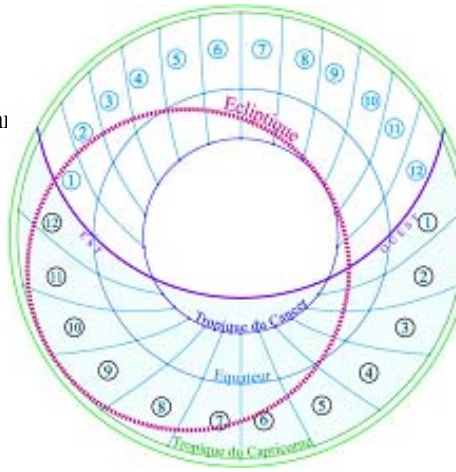
**2** : le récipient 2, dont le débit est inférieur à celui du réservoir 1, laisse s'écouler le liquide dans le récipient 3. Puisque le débit 1 est supérieur au débit 2, le récipient 2 est toujours empli au même niveau, le trop plein étant évacué par une conduite au sommet du récipient (2'), et le liquide s'écoule donc dans le récipient 3 à débit constant.

**3** : puisque l'eau s'écoule à débit contant dans le récipient 3, le niveau de l'eau y monte régulièrement. Il suffit de placer une échelle de graduation (ou une règle) dans le récipient pour avoir une mesure de l'écoulement du temps.

## Les horloges à eau




Horloge anaphorique décrite par Vitruve




Cadran mobile représentant la voûte céle

Vitruve, architecte ro écaniques originaux utilisa
entraîner des disposit

Il attribue le premier drie.

La figure montre le p

Le réservoir supérieu éservoir inférieur.

Le flotteur s'élève ré que l'heure sur le tambour.

Le tambour porte des t même de donner les heures antiques variables suivant la saison (dans l'Antiquité la durée du jour est divisée en 12 parties égales un même jour mais plus longues en été qu'en hiver).

## L'horloge anaphorique

Vitruve appelle le deuxième dispositif « horloge anaphorique ». Il est composé d'un disque mobile, représentant la sphère céleste, tournant par rapport à un disque fixe gradué en heure. La trajectoire annuelle du Soleil sur la voûte céleste est représentée sur le disque mobile par un cercle (cercle écliptique), cercle percé de 365 trous. Un jour donné, on insère un « index-soleil » dans le trou correspondant à la position du Soleil à la date où l'on se trouve.

Le disque céleste, faisant un tour par jour, est entraîné à vitesse constante par le système que l'on voit sur la figure : le flotteur s'élève à vitesse constante grâce au système de trop-plein décrit précédemment et le poids entraîne alors le tambour sur lequel est fixé le disque céleste. L'index représentant le Soleil fait office d'aiguille dont la position par rapport au cadran fixe donne l'heure.

Cette horloge annonce les nombreuses horloges hydrauliques que les Arabes construisirent et son cadran est tout à fait semblable aux cadrans des horloges astronomiques qui se construisirent dans toute l'Europe à partir des années 1300. Le dispositif d'entraînement sera alors tout autre : l'énergie sera fournie par un poids dont la chute sera régulée par un système tout nouveau appelé le foliot. Mais c'est toute l'histoire de l'horlogerie moderne qui commence....

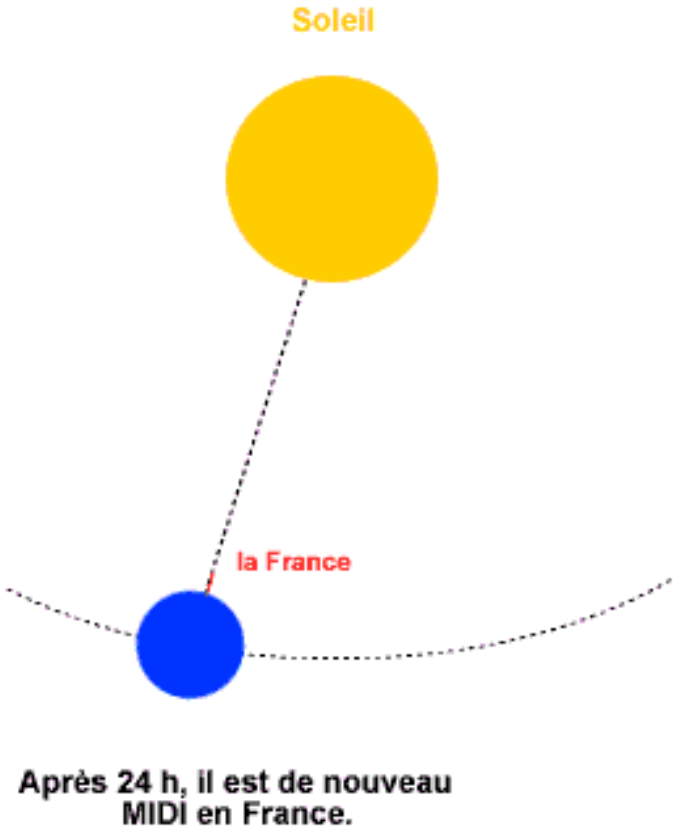
**Séquence 2**

# Assistance technique de la séquence 2

La deuxième séquence vous invite à l'observation journalière de la course du Soleil dans le ciel. La trajectoire de l'astre du jour au-dessus de nos têtes est due à la rotation de la Terre autour de son axe Nord/Sud en 24 heures ; la variation de cette trajectoire au cours d'une année voit son origine dans l'inclinaison de cet axe de rotation sur le plan de l'orbite terrestre et à la révolution de la Terre autour du Soleil en ~365 jours. Détaillons maintenant ces notions.

## Rotation de la Terre

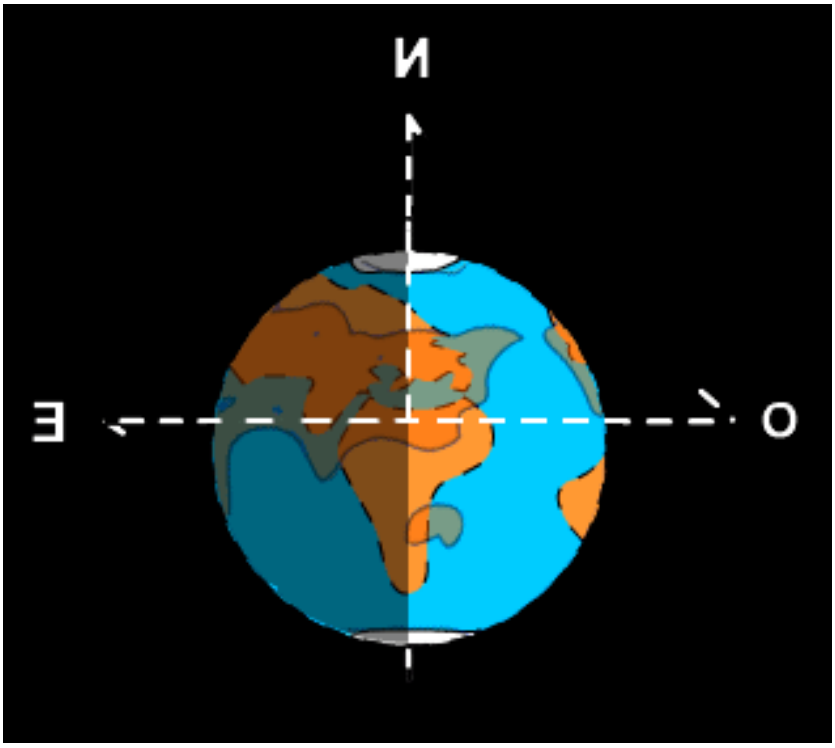
L'alternance des jours et des nuits est probablement le phénomène astronomique le plus évident et le plus marquant pour les êtres vivants. La Terre tourne sur elle-même d'Ouest en Est en 23h56 min par rapport aux étoiles lointaines (quasiment fixes). En une journée, elle tourne également autour du Soleil d'un peu moins d'un degré, ce qui allonge légèrement la durée du jour solaire qui vaut en moyenne 24 h. C'est l'intervalle de temps qui sépare deux passages du Soleil au méridien.




On a longtemps cru que la Terre était immobile au centre de l'Univers et que l'ensemble des astres tournait autour d'elle. C'est Aristarque de Samos (310-230 av. JC) qui jeta les bases de la cosmologie actuelle en faisant tourner la Terre autour du Soleil en un an et sur elle-même "comme une toupie" en une journée. Son système nous est parvenu grâce aux écrits des historiens grecs et à ceux de ses contemporains (comme Archimède). Il fut repris par le polonais Nicolas Copernic (1473-1543), qui le premier osa faire de la Terre une planète comme les autres, révolutionnant ainsi non seulement l'astronomie mais l'ensemble de la pensée humaine.

## Trajectoire du Soleil dans le ciel au cours d'une journée

C'est ce mouvement de rotation autour de l'axe Nord/Sud qui nous donne l'impression que le Soleil (et les étoiles) tourne au-dessus de nos têtes dans le sens inverse : se levant du côté de l'Est, culminant à midi dans la direction du Sud (pour l'hémisphère Nord) et se couchant finalement vers l'Ouest.




Il nous faut ici attirer votre attention sur la notion de "midi solaire". C'est le moment précis où le Soleil est au plus haut dans le ciel, donc celui où les ombres qu'il projette sont les plus courtes. Sa trajectoire dans le ciel est parfaitement symétrique par rapport à sa position à midi solaire : étymologiquement, "midi" signifie milieu de la journée, donc milieu de la durée d'ensoleillement. Attention : il ne s'agit pas du midi de nos horloges ! Qui plus est, cet instant varie de plusieurs dizaines de minutes sur toute l'année, mais nous en reparlerons au cours des séquences a venir.

## Idées reçues !

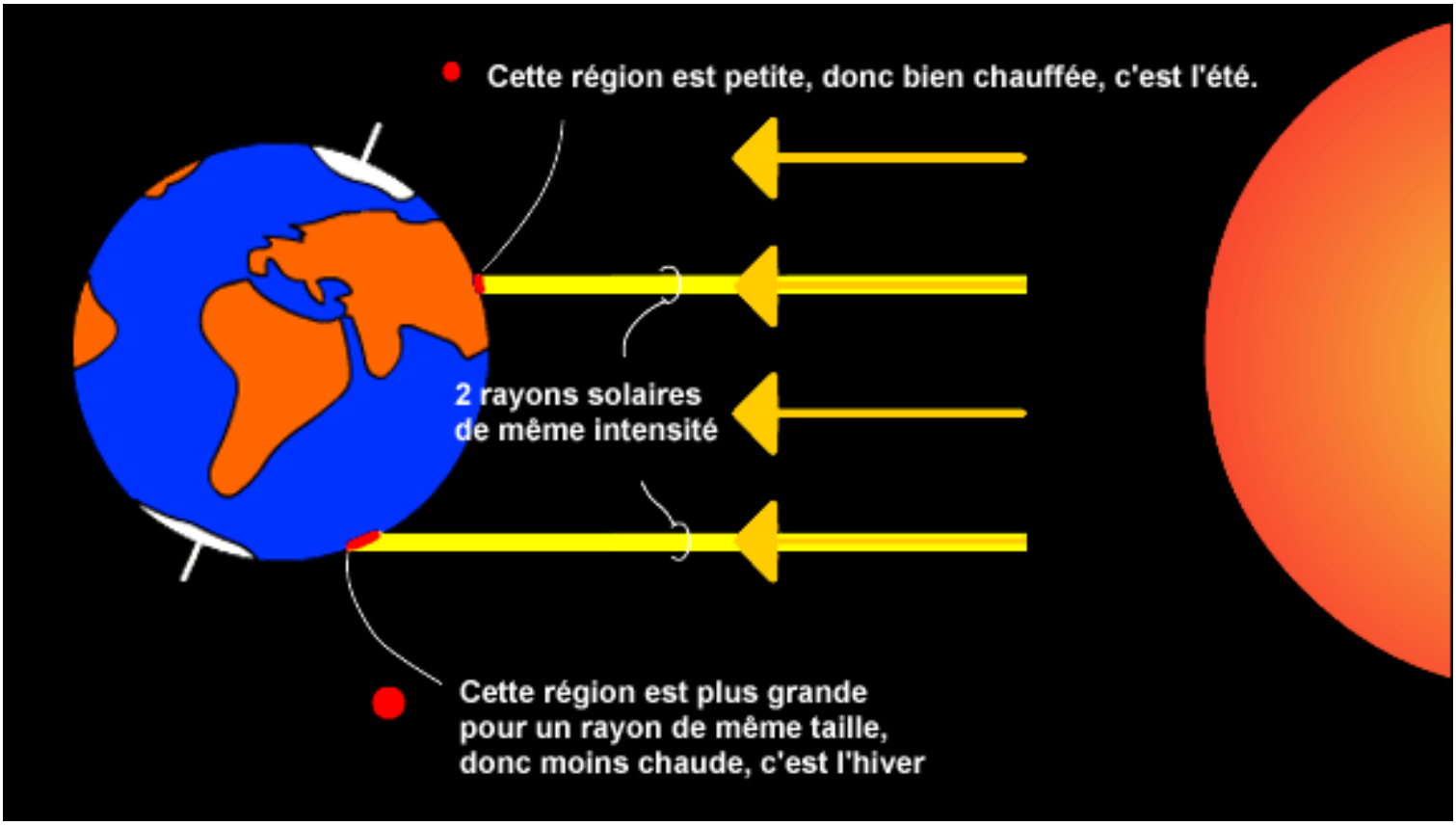
On croit souvent à tort que le Soleil se lève exactement à l'Est et se couche à l'Ouest, c'est faux ! Ou plutôt, ce n'est strictement vrai que deux jours par an : aux équinoxes (dates où la durée du jour est égale à celle de la nuit). En hiver, il se lève dans la direction Sud-Est et se couche dans la direction Sud-Ouest, raccourcissant ainsi son parcours dans le ciel (de l'hémisphère Nord). En été, c'est vers le Nord qu'il étend sa trajectoire, allongeant ainsi la durée journalière d'ensoleillement (c'est bien sur l'inverse dans l'hémisphère Sud). D'ou viennent donc ces variations ???

### Inclinaison de l'axe de rotation

La Terre effectue un tour autour du Soleil en un an (365.25 j) en décrivant une trajectoire (que l'on appelle orbite) inscrite dans un plan qu'on nomme écliptique. A la manière d'une toupie en rotation, elle glisse sur un cercle (plus précisément une ellipse) d'environ 150 millions de km de rayon. Sa particularité est d'avoir un axe de rotation incliné sur le plan de l'écliptique : l'axe reliant les pôles est incliné de 23.5 degrés et il pointe toujours dans la même direction par rapport aux étoiles (vers la célèbre "Etoile polaire").

Le phénomène des saisons est lié à cette inclinaison et non à la variation de la distance Terre-Soleil. Ainsi, lorsque l'hémisphère boréal se réchauffe sous le soleil estival, l'hémisphère austral subit les rigueurs de l'hiver.

C'est pour cette raison que le pôle Nord est éclairé continûment pendant l'été tandis que le pôle Sud est plongé dans l'obscurité, la Terre présentant alors aux rayons solaires son hémisphère boréal. L'axe de rotation Nord-Sud restant toujours orienté dans la même direction, c'est la situation inverse qu'on observe six mois plus tard.




## Attention à la notion de nord et de sud !

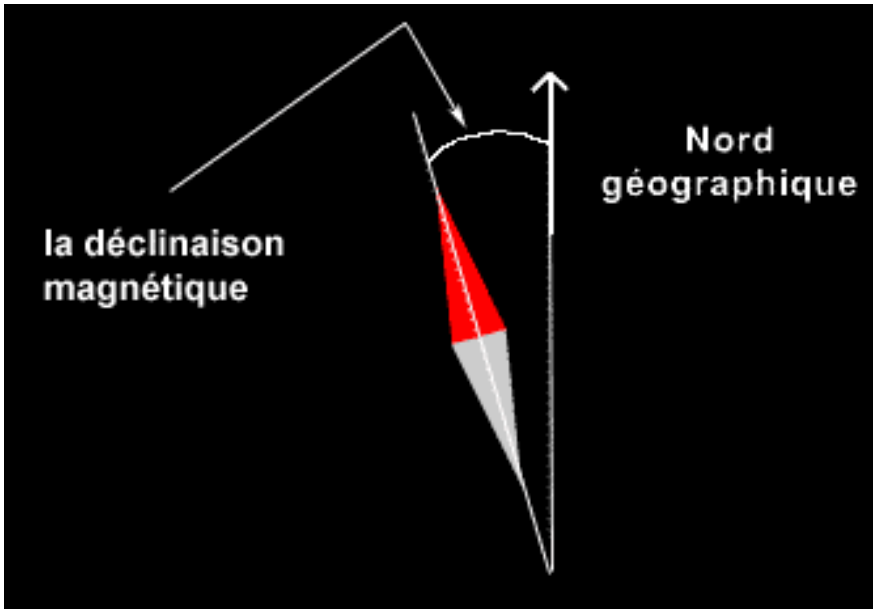
Jusqu'ici, nous avons exclusivement utilisé le nord géographique, c'est-à-dire la direction du pôle Nord depuis le point d'observation. Ce pôle Nord n'est autre que le point où l'axe de rotation traverse la surface terrestre. Pour trouver précisément le nord, on utilise généralement une boussole.

Mais comment fonctionne donc une boussole ?

"L'usage de la boussole peut susciter des curiosités sur le magnétisme, mais il faudra être prudent dans les explications et se contenter d'un petit nombre de
constatations dans ce domaine complexe.
L'aiguille d'une boussole est un aimant qui comporte un pôle nord et un pôle sud (l'usage du mot "pôle" est ici une extension par analogie avec la Terre). Deux
aimants peuvent s'attirer ou se repousser selon les positions relatives des pôles, c'est pourquoi, il faut placer une boussole loin de tout matériau magnétique ou aimant. Des substances en fer non aimantées s'aimantent à l'approche d'un aimant (exemples: épingles, clous). Certaines pièces de monnaie, en circulation encore en 2001, sont attirées par un aimant car elles contiennent du nickel. Enfin, une bobine de fil électrique conducteur se comporte comme un aimant lorsqu'elle est parcourue par un courant." ( extrait de la fiche connaissance N°15 du ministère de l'éducation nationale disponible sur le site http://www.eduscol.education.fr/ )

Cependant, les deux pôles magnétiques (Nord et Sud) ne coïncident pas exactement avec les pôles géographiques. De plus, ils se déplacent lentement au fil des années. Il faut ainsi appliquer une correction (appelée déclinaison magnétique) a la direction indiquée par la boussole pour trouver le nord géographique, correction qui dépend de notre position sur la Terre et de la date. ( cet aspect du magnétisme ne sera pas

expliqué aux élèves)




Sachez donc que la direction Nord-Sud indiquée par votre boussole s'écarte légèrement (de quelques degrés) de la direction des pôles géographiques qui vous sera donnée plus précisément par la direction des ombres à midi solaire. Amusez-vous donc à mesurer cet angle avec vos élèves !

---

**Séquence 2**

# Assistance technique de la séquence 2

---

La séquence 2 aborde les notions de verticale et d'horizontale. Localement, ces notions sont très intuitives, mais à l'échelle de notre planète leur compréhension nécessite des explications approfondies.

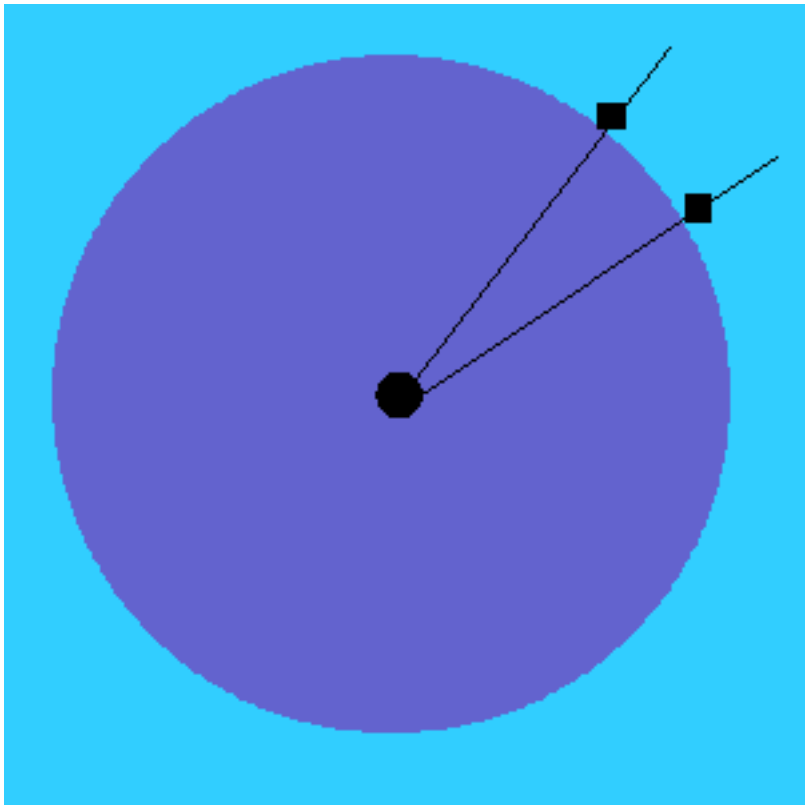
## Se représenter la verticale et l'horizontale

La verticale en un point est la direction donnée par un fil à plomb. Une masse quelconque accrochée à l'extrémité d'un fil assure la tension du fil selon une droite dont la direction se confond avec la verticale du lieu.
L'horizontale est représentée par toute droite contenue dans le plan de la surface d'un liquide au repos, on obtient généralement ce plan avec un "niveau à bulle". C'est une règle plate, la plus longue possible, portant un petit récipient clos avec de l'eau et une bulle d'air. Lorsque le niveau est horizontal, la bulle est parfaitement centrée sur la surface supérieure du récipient, sinon, elle s'échappe vers un de ses bords.

Il existe une verticale et une infinité d'horizontales en chaque point donné. Dans la cour de l'école, toutes les verticales sont parallèles entre elles et perpendiculaires aux horizontales. En revanche, à la surface de la Terre les verticales (comme les horizontales) ne sont pas toutes parallèles entre elles. Elles sont concourantes au centre de la Terre.

Pour s'en convaincre, on pourrait mesurer les variations de l'orientation d'un fil à plomb :
Si on mesure l'angle entre 2 fils à plomb distants de 111 km (ce qui correspond à 1° de latitude), on trouverait une différence de 1°.
Pour 2 fils à plomb distants de 1 km, on mesurerait une différence de 1/100 de degré soit 36 secondes.
Sur les 10 m d'une salle de classe, ce sera 0.36 seconde, ce qui est plus petit que la précision de notre rapporteur.
L'angle entre les verticales est mesurable en des points distants de plusieurs centaines de kilomètres.

On sait que la Terre est ronde, mais à notre échelle elle paraît plutôt plate. Comment concilier ces deux visions ?
Notre environnement proche (les rues, le mur de la cour de recréation ...) se situe sur une portion de sphère terrestre si petite qu'on peut la considérer comme plane.
A l'échelle de la planète, la verticale de notre lieu n'est rien d'autre que le prolongement du rayon qui joint le centre de la sphère à notre position (ponctuelle) à sa surface. Ainsi, quand on passe d'un lieu à un autre (de Lille à Marseille), les rayons changent de direction définissant à chaque fois une verticale.
Bien sûr, si ce déplacement est restreint (d'un bout à l'autre de la cour de recréation), les rayons sont pratiquement confondus.



A l'échelle de la planète, l'horizontale est simplement (localement) contenu dans le plan tangent à la surface terrestre (sphérique). Sur de faibles distances, les plans tangents sont confondus et deux planches horizontales situées aux extrémités de votre classe ne sembleront pas inclinées l'une par rapport à l'autre. Non parce que l'angle entre ces planches est nul, mais parce qu'il est trop petit pour que vous puissiez le mesurer ! Souvenez-vous que le rayon de la Terre est d'environ 6370 km, il faut donc des dimensions horizontales suffisamment grandes (au moins quelques dizaines de kilomètres) pour que la courbure puisse s'observer ( un horizon dégagé de bord de mer par exemple).

## Comprendre la verticale et l'horizontale

Quel est donc "le dénominateur" commun qui permet de comprendre la nature physique de ces deux notions ? La gravitation bien sûr ! C'est bien la force de gravitation qui "attire" le poids qui tend le fil à plomb. C'est encore elle qui attire l'eau et fait que la surface du liquide est horizontale.

### Mais qu'est-ce que la gravitation précisément ?

On peut la considérer comme une propriété de la matière : "la matiere attire la matière". Deux corps s'attirent mutuellement d'autant plus qu'ils sont plus massifs et que leur distance est faible. Par exemple, si vous lâchez un morceau de craie, il tombe par terre. Pourquoi ? Parce que la Terre et la craie s'attirent mutuellement.

### Dans quelle direction ?

En fait, chaque point, chaque particule constituant la Terre attire la craie mais à cause de sa sphéricité (et également pour des raisons d'homogénéité de la répartition des masses dans les différentes couches qui constituent la structure interne de la Terre.), on peut considérer que la masse de la Terre est concentrée en son centre de masse( que l'on peut prendre dans une première approximation comme étant le centre de la Terre). L'attraction de la Terre sur la craie sera donc dirigée vers le centre de la Terre. C'est pourquoi le fil à plomb est dirigé vers le centre de la Terre et matérialise la verticale en un point: il se tend en indiquant le "centre des masses terrestres". Ainsi, en tombant (si vous le lâchez sans le lancer), le morceau de craie suit lui aussi la verticale !

### Qu'en est-il maintenant de l'horizontale ?

Il se produit exactement le même phénomène avec toutes les particules d'une quantité d'eau : elles sont toutes attirées vers le centre de la Terre. A l'équilibre (au repos), toutes les parties de la surface d'un récipient d'eau seront à la même distance du centre de la Terre. C'est pourquoi la surface d'un liquide dans un récipient est parallèle à la surface terrestre : à notre échelle, elle dessine un plan horizontal, à l'échelle de la planète, elle épouse la courbure terrestre. Localement, la surface de l'océan (sans vagues !) est plane, mais à l'échelle du globe, c'est une sphère.

## Pour aller plus loin...

La verticale passe-t-elle vraiment par le centre de la Terre? La réponse serait affirmative si la Terre était parfaitement sphérique et si la répartition des masses qui la composent était parfaitement symétrique par rapport au centre de cette sphère. En réalité, il a été démontré que la Terre est plutôt un ellipsoïde qu'une sphère. Plus précisément, elle est légèrement aplatie aux pôles. C'est un peu comme si la Terre était entourée d'un "bourrelet" autour de l'équateur. Cette dissymétrie morphologique entraîne une légère déviation de la résultante des forces d'attraction gravitationnelle qui agissent sur le fil a plomb. Celui-ci se trouve donc faiblement incliné vers l'équateur et n'indique pas exactement la direction du centre de la Terre mais la direction du "centre des masses" constitutives de notre planète.

**Séquence 3**

# Découvrir le midi solaire

## Introduction

Au cours de cette séquence, les enfants vont devoir trouver à quel moment a lieu le mystérieux midi solaire, puis ils reproduiront celui-ci au cours d'une simulation avec une lampe retraçant la course du Soleil au-dessus de leur gnomon. Ensuite, en éclairant cette fois deux mini-gnomons fixés sur un ballon, ils retrouveront, de façon inattendue, les observations d'Eratosthène lors du midi solaire à Alexandrie et à Syène.

Rappelons que le midi solaire correspond au moment où le Soleil se trouve au milieu de sa course journalière dans le ciel, atteignant à cet instant sa hauteur maximale au dessus de l'horizon plein sud ( ou nord suivant sa position géographique, cf remarque). Les ombres sont alors à leur minimum de longueur et orientées vers le nord ( ou sud) : précisons en passant qu'il s'agit du nord ( ou sud ) géographique (le pôle Nord), lequel est légèrement différent du nord ( ou sud) magnétique donné par la boussole. Si cet écart n'est pas perçu par vos élèves lors de leurs relevés, le mot " nord ", signifiera indistinctement l'une ou l'autre de ces directions. Rappelons également que les lieux ayant une même longitude (donc situés sur le même méridien terrestre) voient le Soleil culminer au même moment dans le ciel.

Remarque : pour les régions de l'hémisphère Nord situées au-dessus du tropique du Cancer, l'ombre au midi solaire pointe toute l'année vers le nord. C'est l'inverse dans l'hémisphère Sud pour les régions situées sous le tropique du Capricorne : l'ombre pointe vers le sud. Et les régions situées dans la zone intertropicale ? C'est moins simple car elles voient le Soleil passer par la verticale (le zénith) au cours de l'année : selon leur situation, l'ombre commence par pointer vers le nord pendant un semestre, puis vers le sud pendant l'autre, ou l'inverse. Pour ne pas alourdir le texte, nous avons choisi de nous placer dans la situation des classes localisées au dessus du tropique du Cancer. Les écoles situées au sud du tropique du Capricorne et suivant la période de l'année celles situées dans la zone intertropicale auront simplement à " inverser " Nord et Sud pour pouvoir suivre la progression.

## Notions

Forme de la trajectoire du Soleil. Évolution de sa hauteur au fil des mois. Notion de midi solaire. Sens de la rotation de la Terre. Première approche de la notion de méridien terrestre.

*Lien avec les programmes de l'école primaire (BO N° 1 du 14/02/02) du cycle 3 :*

- Sciences expérimentales et technologiques :
    - Le ciel et la Terre :
        - la lumière et les ombres
        - les points cardinaux et la boussole.
        - le mouvement apparent du Soleil..
        - la rotation de la Terre sur elle-même et ses conséquences.
- Mathématiques :
    - Espace et géométrie :
        - l'utilisation d'instruments (règle, équerre, compas) et de techniques (pliages, calque, papier quadrillé).
    - Grandeurs et mesures : o le repérage du temps et des durées (année, mois, semaine, jour, heure, minute,

seconde) et leurs relations.

*Lien avec les fiches connaissances :*

Fiche de connaissance N° 17 : Lumière et ombres.

Fiche de connaissance N° 18 : Points cardinaux et boussole.

Fiche de connaissance N° 19 : Mouvement apparent du Soleil.

Fiche de connaissance N° 20 : Rotation de la Terre sur elle-même.

*Extrait du document d'application des nouveaux programmes en sciences expérimentales et technologiques :*

*Compétences spécifiques :*

*- Être capable d'utiliser les points cardinaux pour repérer une direction à partir d'un lieu sur Terre. Savoir utiliser une boussole pour repérer une direction ou pour progresser dans une direction donnée.*

*- Être capable de représenter qualitativement la trajectoire apparente du Soleil dans le ciel et son évolution au fil de l'année. Savoir que, dans l'hémisphère Nord, elle est parcourue de gauche à droite pour un observateur tourné vers le Soleil. Être capable de mettre en évidence, par une observation directe, que le soleil n'apparaît pas et ne disparaît pas tous les jours à la même heure ; mettre en relation cette évolution avec celle du mouvement apparent du Soleil*

*Commentaires :*

*- Tout en étant attentif aux dangers pour la rétine de l'observation directe du Soleil, il est toutefois possible de se rendre compte des évolutions du mouvement apparent du Soleil, lequel peut être représenté sur une feuille plane comportant le profil de l'horizon du lieu d'observation. L'étude est utilement complétée par celle de l'évolution, au fil de l'année, des ombres portées sur les sols par un bâton vertical (gnomon).*

*- si l'on a réalisé le relevé de l'ombre d'un gnomon, il est utile de montrer qu'au fil des saisons les gradations ne coïncident pas. Cela permet de prendre conscience des limites du gnomon en tant qu'instrument de mesure de l'heure.*

## Préliminaire : relancer l'énigme à propos du midi solaire.

Nous avons vu dans la séquence précédente que les enfants ont déjà été confrontés à l'énigme du midi solaire tandis qu'ils observaient l'ombre de leurs gnomons évoluer au fil des heures : l'ombre tournait, se raccourcissant jusque vers la mi-journée pour se rallonger ensuite. Les tracés obtenus s'ouvraient en éventail vers le nord, direction que l'ombre franchissait à un moment donné, non encore repéré.
Pour aiguiser encore un peu plus la curiosité des élèves, donnez-leur à lire ce complément de texte :

*Depuis longtemps déjà, bien avant Eratosthène, on regardait évoluer l'ombre d'un bâton (ou d'un obélisque) pour suivre la course du Soleil tout au long de la journée, mais aussi de l'année. En effet, grâce à des repères tracés à la pointe de l'ombre, celle-ci pouvait servir de pendule d'un jour à l'autre, et de calendrier d'une saison à l'autre… Mais le plus étonnant était que l'ombre à un moment très précis de la journée pouvait servir à la fois de pendule et de calendrier ! C'était le moment où sa taille était la plus petite. On l'appelle le midi solaire : chacun le guettait, Eratosthène pour faire ses mesures mais également les caravaniers et même les bâtisseurs de pyramides pour une raison supplémentaire que vous découvrirez en même temps que le moment du mystérieux midi du Soleil…*

A partir des commentaires et des débats qui vont suivre, il semblera évident que la première des priorités sera de découvrir à quoi correspond le midi solaire. Nous verrons qu'une nouvelle séance de relevés permettra de le faire et qu'elle apportera en même des temps des éclaircissements sur les points obscurs de ce récit, soit dans l'immédiat, soit un peu plus tard dans l'année à l'aide de 2 ou 3 autres relevés.

---

**Sommaire de la séquence:**


**1) Découverte du midi solaire à partir de nouveaux relevés**
**2) Utilisation de l'ombre comme *" pendule "* puis comme *" calendrier ".***
**3) Simulation de la course du Soleil culminant lors du midi solaire.**
**4) Simulation du midi solaire à l'aide d'un ballon.**


---

## 1) Découverte du midi solaire à partir de nouveaux relevés

**Durée :** Activité ponctuelle se renouvelant toutes les heures (si possible) lors d'une journée ensoleillée, avec une fréquence accrue pendant l'heure du déjeuner.

**Lieu :** Lieu ensoleillé toute la journée.

---

---

**Matériel :**

**Par groupe de 3 à 5 élèves :**

un gnomon de la série des gnomons identiques (voir la séquence 2, partie 3), plus le matériel pour le régler (séquence 2, partie 4).

une boussole,
un compas,
une règle,
une réglette de mesure en papier millimétré,
une feuille de papier calque.

---

## Débats à propos du midi solaire.

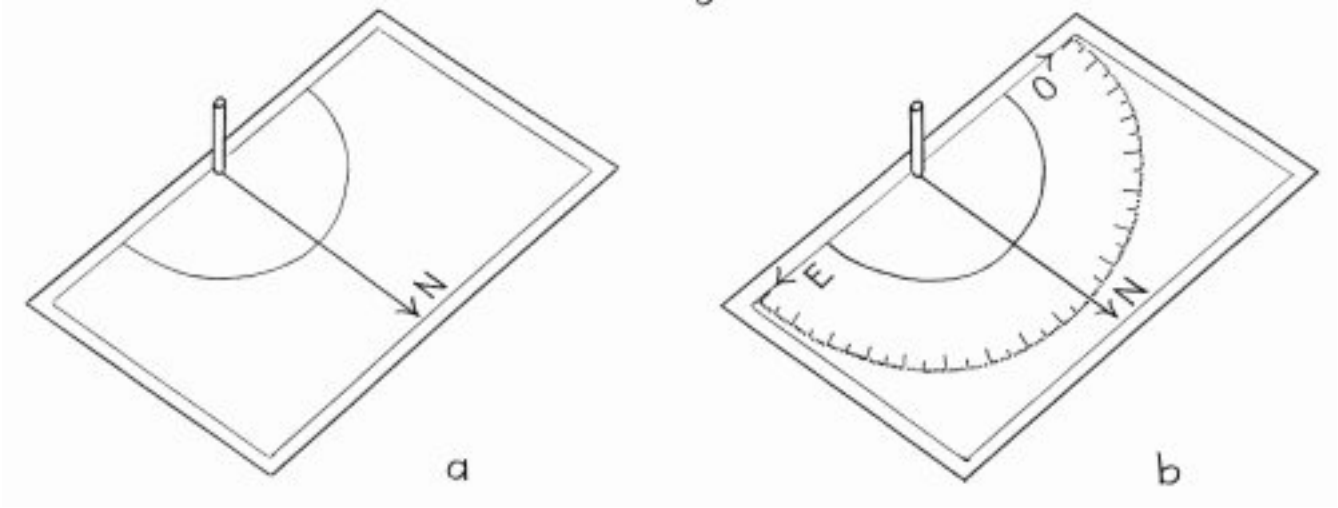
Lors des précédents relevés, les élèves ont constaté que celui du " midi pile " (12 h) n'offrait rien de particulier du fait que l'ombre avait continué à raccourcir ensuite, et que sa direction semblait quelconque à ce moment-là. Par contre, ils sont maintenant curieux de voir à quelle heure l'ombre coïncidera avec la direction nord et à quelle heure elle sera la plus courte : ils formulent différentes hypothèses et les consignent dans leurs cahiers d'expériences. A l'issue des débats, les enfants sont convaincus que le seul moyen de trancher la question est de remettre les gnomons au soleil….

## Préparer la " traque " du midi solaire.

Tout le monde est bien d'accord sur le fait que les observations doivent être très rapprochées durant la période présumée où va avoir lieu le midi solaire. Comme celle-ci correspond à l'interclasse de midi, espérons que la majorité des élèves déjeunent à l'école ! (Ils prévoiront de se relayer pour ne pas perturber le service). Durant cette période, chaque groupe de 3 à 5 enfants sera autonome, choisissant le moment du début des opérations et le rythme des relevés.

Afin de pouvoir mieux surveiller le moment où, d'une part, l'ombre coïncidera avec la direction nord indiquée par la boussole et, d'autre part, où elle sera la plus courte, faites tracer sur une feuille (à mettre sous le calque) un demi-cercle au compas dont le rayon avoisinera la longueur de l'ombre la plus courte obtenue lors des précédents relevés. La feuille sera ensuite centrée sur la base du cure-dent, à partir de laquelle on tracera une demi-droite (partageant en deux le demi-cercle) qui sera alignée avec la direction nord magnétique lors les relevés (Fig. 1a). Ainsi, les élèves pourront visualiser d'un coup oeil à la fois la variation de la longueur des tracés de l'ombre courte par rapport au demi-cercle, et la direction de ces tracés par rapport à la demi-droite (qui devra aussi figurer sur le calque).

Fig. 1



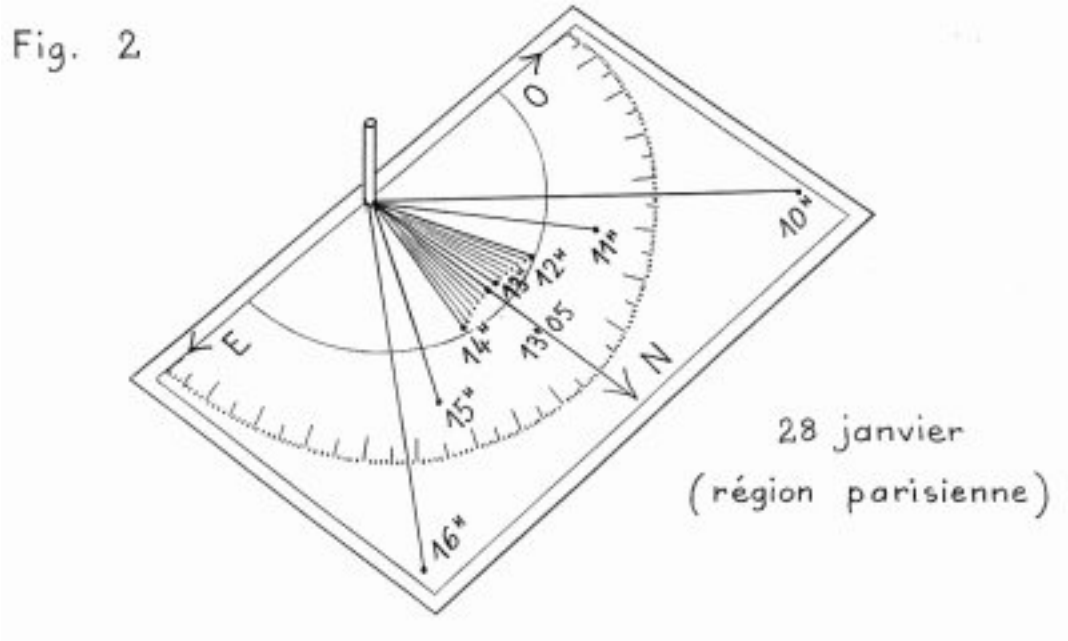

Si vos élèves sont passionnés par les mesures, ils pourront même, en mesurant l'ombre à chaque relevé, évaluer l'angle qu'elle fait avec la direction nord (ou avec l'est ou l'ouest pour les tracés du matin et de l'après-midi) : cela en agrandissant par photocopie un rapporteur en Plexiglas, puis en ne gardant, par découpage, que l'arc externe des graduations, sans les chiffres. On photocopiera ensuite cet arc pour qu'il avoisine un format assez grand (Fig. 1b) Sur une feuille A4 par exemple, les degrés seront espacés d'environ 2 mm, ce qui permettra une précision d'un tiers de degré !

## Procéder aux relevés.

Afin de tenter, dans la foulée, d'éclaircir le mystère de " l'ombre-pendule " et de " l'ombre-calendrier ", les élèves vont comprendre la nécessité de faire des relevés toutes les heures en plus des relevés rapprochés durant l'interclasse de midi. Pour ne pas désorganiser la vie de la classe, on décide que tous les groupes procéderont en même temps à ces relevés supplémentaires, au " top " de chaque heure entière. Mais si toutefois cette cadence est trop contraignante, on reprendra le rythme plus souple des anciens relevés (voir séquence 2, partie 1) en notant soigneusement l'heure et les minutes pour chacun.

Dès la première journée de beau temps, après avoir réglé les gnomons, orienté soigneusement la demi-droite du calque vers le nord et inscrit la date, les élèves exécutent les relevés d'ombre à chaque heure de la matinée, midi compris. Certains ont l'idée d'évaluer l'angle de ces tracés par rapport à la direction ouest afin d'en déduire, à l'opposé, l'orientation du Soleil.

Ensuite, par roulement au sein de chaque groupe pendant l'interclasse et après avoir réglé toutes les montres, on procède aux relevés plus rapprochés selon la fréquence choisie, sans oublier de faire un relevé à 13 h juste. A chaque fois, on note l'heure, la longueur du tracé d'ombre avec la réglette de papier millimétré, voire son écart en degrés avec la direction nord, et bien sûr le moment où l'ombre coïncide avec la demi-droite. On reprend ensuite les relevés toutes les heures jusqu'à 16 h (ou 17 h).




## Interpréter les relevés faits pendant l'interclasse.

Dès la reprise des classes en début d'après-midi, donc juste après la période présumée du midi solaire, on se réunit pour examiner les calques (qui seront ensuite replacés sur les socles des gnomons pour les derniers relevés).

Chaque groupe a déjà constaté sur le terrain que la longueur de l'ombre variait très peu aux alentours de la demi-droite indiquant le nord, et que le léger flou à l'extrémité de l'ombre constituait une difficulté pour des comparaisons précises. Néanmoins, tout le monde est maintenant persuadé que le moment où l'ombre a été la plus courte, même si cela n'a pas été repéré de façon certaine, a bien quelque chose à voir avec l'instant où l'ombre a franchi la direction nord. Mais comment en être sûr ?

Le fait que chaque groupe ait effectué ses relevés à différents moments durant la période présumée du midi solaire va permettre, en superposant deux ou trois calques, de " densifier " par transparence l'éventail des tracés dans la zone impliquée : donc, on y cherchera la meilleure " candidate " possible parmi les ombres pouvant être déclarées " ombre la plus courte ". Et il apparaîtra effectivement que celle qui coïncide avec la demi-droite mérite bien cette appellation, à la satisfaction générale !

Toutefois il se peut que, de façon paradoxale, des relevés particulièrement soigneux mettent en évidence un léger décalage entre cette ombre et la direction nord : il faudra alors expliquer que le nord indiqué par la boussole n'est pas le même que le " vrai " nord pointé par l'ombre, le nord géographique correspondant au pôle Nord, et qu'il existe un moyen de déterminer celui-ci comme on le verra bientôt (voir l'activité du tracé de la méridienne du lieu mentionnée à la fin de la séquence).

## Entériner la découverte du midi solaire.

Demandez ensuite aux élèves de décrire la position du Soleil à ce moment-là : parions qu'ils vont répondre sans hésitation : *" le Soleil est au plus haut dans le ciel et juste dans la direction du sud ( ou du nord selon votre position géographique, cf. remarque en début de séquence)"*. C'est là en effet une bonne définition de ce mystérieux midi au Soleil, clef fondamentale dans l'expérience d'Eratosthène.

Affichez au tableau l'heure accompagnant le tracé d'ombre correspondant : comme les enfants vont s'interroger sur le fait que ce moment ne coïncide pas avec le midi de nos pendules, dites que c'est pour des raisons d'ordre pratique que l'on ne vit plus à l'heure du Soleil, et qu'ils comprendront pourquoi lors d'une simulation ultérieure (voir à la fin de la séquence).

A l'issue de cette journée mémorable, photocopiez la partie du calque ayant servi à déterminer l'heure du midi solaire afin que vos élèves l'insèrent dans leur cahier d'expérience : ils surligneront en couleur le tracé d'ombre concerné et l'heure du relevé, puis commenteront les résultats obtenus. Ils constateront par la suite que l'heure du midi solaire *donnée par nos montres* varie au fil des semaines, dans une fourchette

de 20 minutes environ (plus une heure si le pays passe à l'heure d'été).
Nous verrons, à la fin de la séquence, comment connaître cette heure avec précision chaque jour et en tous lieux, de façon rapide et simple. En France métropolitaine, elle se situe aux alentours de 13 h à l'heure d'hiver, et de 14 h à l'heure d'été. Néanmoins, pour les régions situées les plus à l'est (qui voient donc le Soleil se lever avant les autres) ce sera avec une avance d'environ une demi-heure, tandis qu'à l'opposé, vers l'extrême ouest, ce sera avec presque 20 mn de retard.

---

## 2) Utilisation de l'ombre comme *" pendule "* puis comme *" calendrier "*

**Durée :** Le lendemain de l'activité précédente (ou dans les 8 jours au plus) observation ponctuelle à faire chaque heure (si possible) lors d'une journée ensoleillée, puis renouvellement de l'activité plusieurs fois dans l'année.

**Lieu :** Lieu ensoleillé toute la journée.

---

---

**Matériel :**

**Par groupe de 3 à 5 élèves :**
un gnomon de la série des gnomons identiques (voir la séquence 2, partie 3), plus le matériel pour le régler et l'orienter (séquence 2, partie 4),
le calque des relevés précédents,
un calque supplémentaire.

---

---

Dans les jours puis les semaines qui suivent, tandis qu'on avancera dans le projet, les élèves pourront éclaircir les points obscurs du petit texte en début de séquence. Nous verrons qu'ensuite les simulations décrites plus loin s'en trouveront approfondies et complétées.

### Découvrir comment l'ombre peut servir de *" pendule ".*

S'il fait encore beau le lendemain de la mémorable découverte du midi solaire (ou, espérons-le, dans les huit jours qui suivent) les élèves vont remettre leurs gnomons au soleil avec la feuille des derniers relevés. La plupart pensent déjà que l'ombre va se replacer à l'heure dite sur chaque tracé, et les nouvelles observations leur donneront raison : *" L'ombre qui tourne, ça fait comme l'aiguille d'une pendule : ça nous redonne l'heure le lendemain "*. (Faites remarquer en passant que l'ombre tourne justement dans le même sens que l'aiguille de nos montres : ce sens aurait-il été choisi pour cette raison lors de la construction des premières horloges ?)
Demandez ensuite si l'ombre va continuer de remplir sa fonction de *" pendule "* dans les jours puis les semaines qui viennent : les enfants noteront leurs hypothèses et leurs arguments dans leur cahier

d'expériences. La vérification se fera ultérieurement, permettant dans la foulée d'élucider le mystère de l'ombre servant de *" calendrier "*.

### Découvrir comment l'ombre peut servir de " calendrier ".

L'idéal serait de refaire, à différentes périodes de l'année, de nouvelles séances de relevés pour observer l'évolution des éventails de tracés d'ombre. Pour cela, reportez-vous à la fiche d'activités optionnelles : Un *" calendrier solaire "* à partir d'éventails de tracés d'ombre.
Sinon, voici ce qu'il conviendra de faire. A l'issue de plusieurs relevés de l'ombre au moment du midi solaire, il suffira que vos élèves comparent les mesures obtenues pour s'apercevoir que la longueur de l'ombre évolue au fil des jours (elle raccourcit du 21 décembre au 21 juin et rallonge ensuite jusqu'au 21 décembre) : ils comprendront ainsi pourquoi, d'une saison à l'autre, cette ombre peut servir de calendrier.
D'autre part, un relevé très précis à l'heure dite du midi solaire peut mettre en évidence un léger décalage du tracé d'une semaine à l'autre, révélant que, *par rapport à nos montres*, le moment du midi solaire n'est plus tout à fait le même qu'il y a une huitaine de jours. D'autres relevés montreront que ce décalage fluctue tout au long de l'année, entraînant des variations de l'heure du midi solaire à nos montres. La cause en est que ces dernières ne tiennent pas compte de certaines irrégularités des mouvements de la Terre dues au fait que l'axe des pôles n'est pas perpendiculaire au plan de la trajectoire de notre planète autour du Soleil, et que cette trajectoire n'est pas circulaire mais légèrement elliptique.
A l'issue de ces activités, les élèves auront éclairci les points obscurs du petit texte : ils savent maintenant pourquoi les repères de l'ombre d'un bâton peuvent indiquer l'heure qu'il est au soleil avec une relative précision durant quelques jours, mais aussi pourquoi le fait que ceci ne soit plus valable sur le long terme permet, en revanche, de se repérer dans l'année au fil des saisons. Ils auront compris également pourquoi l'ombre au midi solaire peut assurer ces deux fonctions au fil des semaines puisque sa longueur évolue. Et ils auront vu bien sûr, dès leur découverte du midi solaire, l'intérêt supplémentaire qu'offre cette ombre pour les *" caravaniers et les bâtisseurs de pyramides "* : la direction du nord permet aux uns de s'orienter durant leurs déplacements, et aux autres, d'orienter leurs édifices.
A ce propos, en se documentant sur les pyramides égyptiennes, les enfants vont découvrir que leur plan au sol, un carré, est orienté avec précision à partir des quatre points cardinaux, chaque face étant prévue pour regarder dans l'une de quatre directions. De même, les petits curieux verront que certaines pyramides sont entourées d'un mur d'enceinte rectangulaire orienté est-ouest, et que le célèbre sphinx de Gizeh regarde droit vers l'est, du côté où se lève Amon-Râ, le dieu Soleil, tournant ainsi le dos à l'ouest, là où sont bâtis les tombeaux et les temples funéraires.

---

## 3) Simulation de la course du Soleil culminant lors du midi solaire.

**Durée :** 30 à 40 mn (sans les schémas)

**Lieu :** Salle de classe légèrement assombrie (ou tout autre lieu).

---

---

**Matériel :**

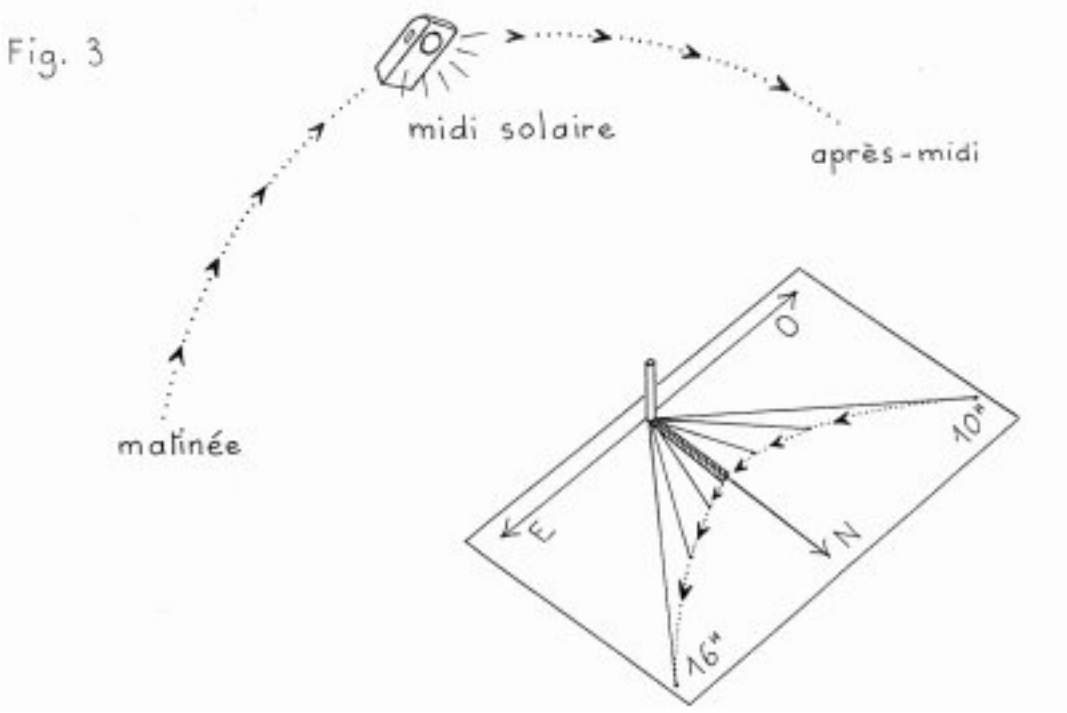
**Par groupe de 3 à 5 élèves :**
le gnomon ayant servi pour la découverte du midi solaire,
le calque des relevés correspondants,
une grande feuille de papier blanc,
une lampe de poche.

---

Voici une activité qui va passionner vos élèves (à laquelle certains auront peut-être déjà pensé). Il s'agira de reproduire avec une lampe le mouvement -en accéléré - du Soleil à l'aide des tracés d'ombre de la mémorable journée de leur découverte du midi solaire. Chaque groupe installe donc son gnomon sur une table après avoir posé sur le socle la feuille des relevés concernés.

## Replacer l'ombre dans ses tracés successifs.

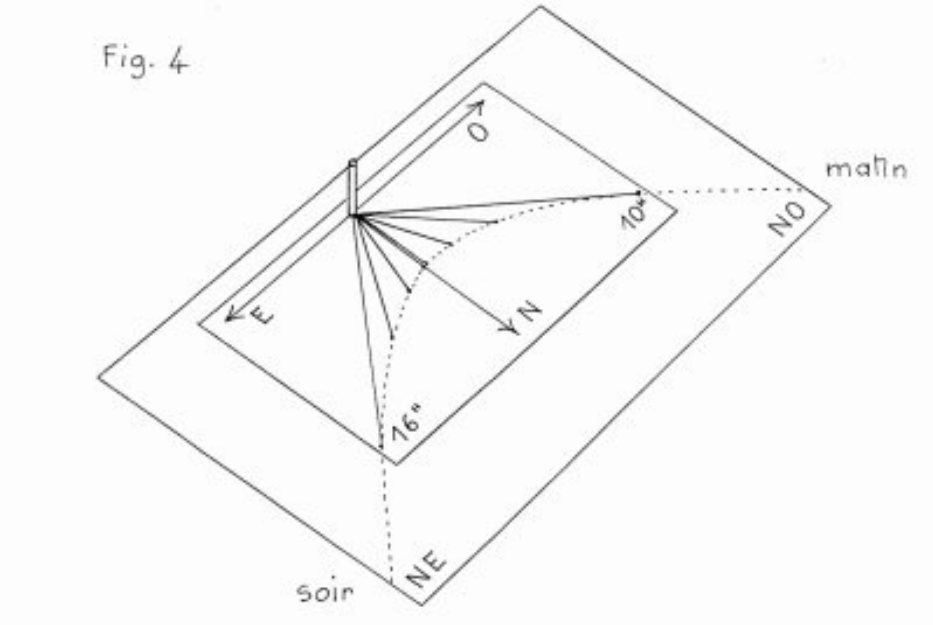
Tour à tour, en éclairant le gnomon avec une lampe de poche, les enfants s'évertuent à faire glisser l'ombre sur les tracés successifs, tout en essayant de faire coïncider également sa longueur avec chacun d'eux. Leurs camarades observent attentivement le mouvement de la lampe dans sa double composante : rotation " à l'arrière " du gnomon et variation de hauteur, laquelle va effectivement être maximale au moment du midi solaire (salué comme il se doit). En tâtonnant au début et en marquant une légère pause sur chaque tracé, les élèves parviennent ensuite à manier leur lampe de façon continue.




## Simuler la course du Soleil de son lever à son coucher.

Proposez, à partir des tracés du calque, d'en déduire puis de simuler le trajet *complet* du Soleil dans le ciel du matin jusqu'au soir. Des élèves essaient spontanément de prolonger le mouvement de leur lampe de part et d'autre, tandis que d'autres analysent la direction et la longueur des tracés, essayant d'en déduire ceux en avant et en aval : ils ressentent alors la nécessité de relier les extrémités des tracés existants et de prolonger la courbe obtenue des deux côtés. Ils réclament pour cela une grande feuille de papier blanc qu'ils placent sous leur calque, puis prolongent la courbe à droite et à gauche de l'éventail. En reprenant

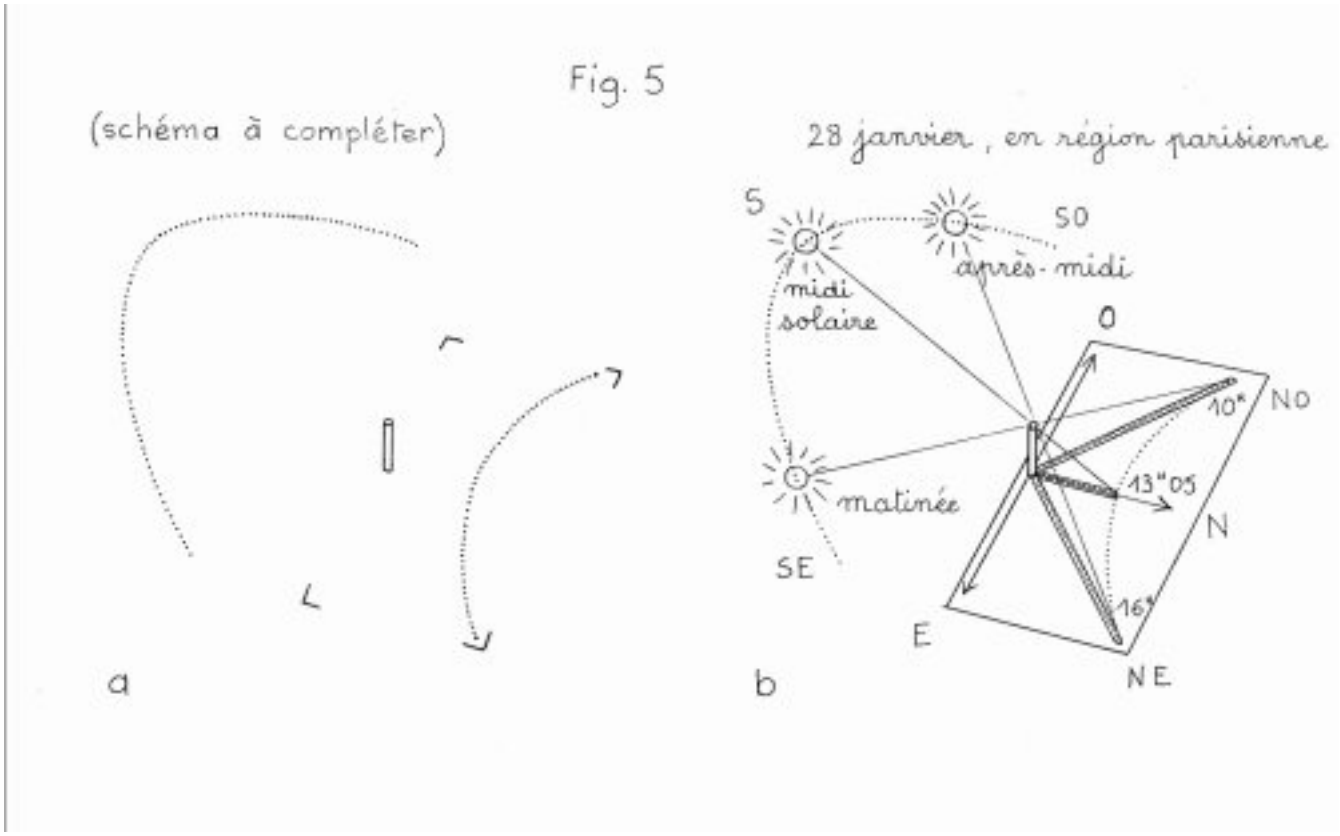
leur lampe, ils font décrire à la pointe de l'ombre le trajet de la courbe obtenue : ceux qui y parviennent dans un mouvement continu se vantent alors d'avoir réussi *" à imiter le vrai Soleil ! "*




Profitez-en pour demander de définir, à partir de cette courbe, la direction approximative du Soleil levant et couchant. Plus tard, si la simulation est reprise à l'issue de nouveaux relevés, les élèves constateront que ces directions évoluent elles aussi : après le solstice d'hiver où il apparaît vers le nord-est, le Soleil se lève de plus en plus vers l'est, qu'il atteint au moment de l'équinoxe de printemps ; puis son lever se décale vers le sud-est jusqu'au solstice d'été, après quoi, la tendance s'inverse jusqu'au solstice d'hiver.

## Schématiser la simulation.

Après divers essais, les enfants se rendent compte qu'il est difficile de traduire de manière satisfaisante cette simulation sans avoir recours à des effets de perspective, ce qui n'est guère évident pour la plupart d'entre eux. Vous pouvez alors leur distribuer des photocopies reproduisant juste la tige du gnomon ( le cure-dent), les deux courbes en pointillés, et les quatre coins du socle. (Fig. 5a). A partir de ce qui ce qui figure sur leur calque de relevés, les élèves devront compléter le schéma. Mais afin de ne pas surcharger la partie centrale de celui-ci, ils ne matérialiseront que les trois principaux rayons lumineux et les trois ombres correspondantes (Fig. 5b).




Pour aller plus loin, nous proposons une activité optionnelle dans la fiche : " Simuler les variations saisonnières de l'ombre d'un gnomon ".

---

## 4) Simulation du midi solaire à à l'aide d'un ballon.

**Durée :** Deux séances d'environ 30 minutes chacune (hors traces écrites).

**Lieu :** Salle de classe légèrement assombrie (ou tout autre lieu).

---

---

**Matériel :**

**Par groupe de 3 à 5 élèves :**

:1ère séance : un ballon pas trop petit (lisse et uni si possible),
un cylindre de bristol plus large que haut pour poser le ballon de façon stable,
de quoi faire 5 ou 6 " mini-gnomons " identiques, pas plus hauts que 1 cm (clous de tapissier, semences, petites vis, rivets, morceaux d'allumettes ou bâtonnets de pâte à modeler),
de la gomme adhésive,
une lampe de poche.

2ème séance : matériel identique avec en plus une " mini-carte " d'Egypte (réduction par photocopie) : la distance Alexandrie-Syène fera à peu près 1/7ème du tour du ballon (mesuré avec une ficelle), ce qui est volontairement plus grand que sur une mappemonde ; on recoupera la " mini-carte " en largeur pour ne garder que la partie utile : le delta et la vallée du Nil jusqu'à Syène.

---

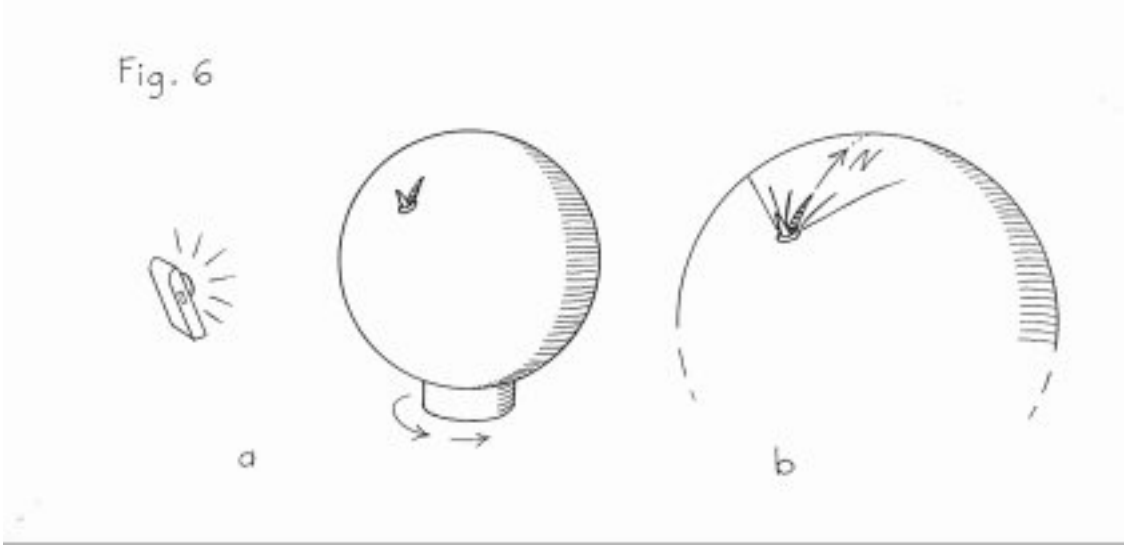
Si vos élèves ont été passionnés par la simulation précédente, ils vont l'être encore plus par celles qui suivent. Il s'agira ni plus ni moins d'observer, depuis " l'espace " les effets de la rotation d'un " ballon-Terre " sur lui-même, sur lequel on aura placé des " mini-gnomons ", le tout éclairé par une " lampe-Soleil ", immobile cette fois. Notez que les conditions seront inversées par rapport aux simulations précédentes où c'était la " lampe-Soleil " que l'on déplaçait par rapport à une " surface-Terre " immobile et plane.

1ère séance :

a) retrouver sur le ballon les observations faites avec le gnomon au soleil.

Chaque groupe fixe un " mini-gnomon " (disons une petite vis) à un endroit quelconque du ballon , pose celui-ci sur le cylindre, installe le tout sur une table et, pour maintenir le cylindre en place, répartit quatre " butées " en pâte à modeler autour de sa base. Lancez alors le défi suivant : *" Retrouvez, avec la lampe immobile éclairant la vis sur le ballon en rotation, le mouvement et les variations de longueur de l'ombre observés l'autre jour avec le gnomon au soleil. "*.
Un certain nombre de problèmes - très intéressants - vont se poser : où doit se trouver la lampe par rapport au ballon? Dans quel sens faire tourner celui-ci ? Comment repérer le moment du midi solaire ? Que faire si, à ce moment-là, l'ombre est trop longue ou trop courte par rapport à la hauteur de la vis ? Que de discussions et de tâtonnements en perspective ! Mais les enfants finiront par résoudre tous ces problèmes et, ravis, verront l'ombre de leur petite vis se comporter comme celle de leur gnomon, l'autre jour *"avec le vrai Soleil "*. Pour y parvenir, ils auront dû comprendre plein de choses, notamment que le ballon devait tourner *" dans l'autre sens que celui des ombres "* observé précédemment, donc dans le sens

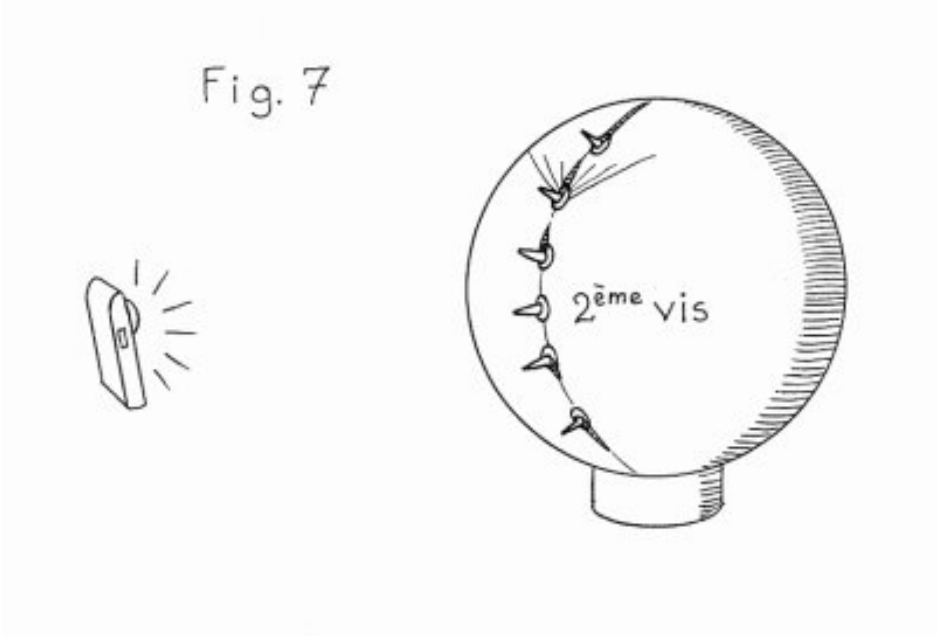
inverse des aiguilles d'une montre.



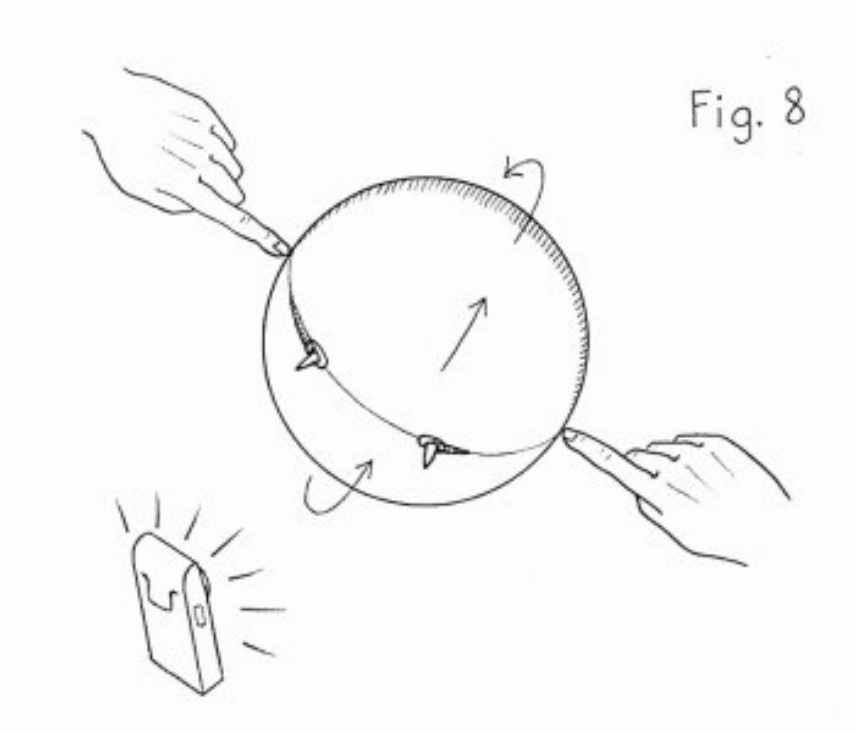

Dans certains groupes on aura dessiné au stylo l'éventail des " mini-tracés " d'ombre de la vis, et il se peut même qu'on ait eu l'excellente idée de matérialiser la direction du " pôle Nord " par une ligne fléchée atteignant le sommet du ballon (nous y reviendrons). Tous les enfants auront, bien sûr, observé les deux faces du ballon, l'une côté " jour ", l'autre côté " nuit ", et la façon dont la vis passait de l'une à l'autre lors du " matin " et du " soir ".

## b) placer plusieurs " mini-gnomons " pour qu'ils aient leur midi solaire au même moment.

C'est ici que vos élèves vont faire une approche expérimentale de la notion de méridien.
Sur chaque ballon la vis étant en " position midi solaire " devant la lampe allumée, lancez un second défi : *" Prenez une deuxième vis et, sans faire tourner le ballon et sans bouger la lampe, trouvez à quel endroit il faut la placer pour qu'elle n'ait pas d'ombre du tout. Ajoutez ensuite deux ou trois autre vis pour qu'elles soient elles aussi au midi solaire. Ensuite, faites tourner le ballon pour le vérifier ".*
Les élèves comprennent que la 2ème vis va jouer par rapport à la 1ère le rôle du bâton de Syène par rapport à celui d'Alexandrie. Aussi trouvent-ils rapidement sa place " au sud " de la 1ère vis. Ceux qui ont eu l'idée tout à l'heure de tracer une ligne jusqu'au " pôle Nord " du ballon voient tout de suite que la 2ème vis doit être placée quelque part dans le prolongement de cette ligne. Aussi n'ont-ils aucun mal ensuite à trouver la position des autres vis qu'ils relient de la même façon, tout en remarquant des choses intéressantes pour la suite du projet : que les ombres coïncident avec la ligne, que leur longueur s'accroît progressivement vers les " pôles ", que les vis " au sud " de la 2ème ont leur ombre pointant vers le " pôle Sud "




Demandez alors ce que va faire la ligne qui relie toutes les vis si on la prolonge des deux côtés : *" Elle va faire le tour du ballon ! "*. Les élèves prédisent ensuite qu'en y mettant des vis *" par derrière "* et en faisant tourner le ballon, elles se trouveront elles aussi toutes en même temps au moment du midi solaire, ce qu'ils vont bien sûr vérifier.
D'autre part, faisant référence à une mappemonde ou à des schémas aperçus dans des livres, certains vont se demander ce qui se passe avec *" une Terre penchée "* : ils auront du mal à admettre que les ombres au midi solaire puissent pointer vers les pôles comme avec le ballon " bien droit " sur son socle. Mais comment le savoir ? Le plus simple - et le plus amusant - est de tenir le ballon entre les deux index au niveau des " pôles ", de l'incliner plus ou moins et de le faire tourner à l'aide des pouces : les enfants constatent que, quelle que soit son inclinaison - y compris l'horizontale - les ombres au midi solaire continuent de s'aligner sur le méridien !




## Deuxième séance

### a) Reproduire le midi solaire à Alexandrie et à Syène.

Du fait que les deux villes ne se trouvent pas sur le même méridien (environ 3°,5 de longitude les séparent comme c'est le cas en France, par exemple, entre Le Havre et Auxerre), les élèves vont avoir de nouveaux problèmes à résoudre… Distribuez à chaque groupe la " mini-carte " d'Egypte retaillée (voir la rubrique *Matériel*) et lancez le troisième défi : *" Positionnez la carte sur le ballon de façon à retrouver les observations d'Eratosthène, c'est-à-dire le midi solaire à Alexandrie et à Syène ".*
Une fois les deux vis placées sur la " mini-carte ", les élèves posent celle-ci verticalement sur le ballon, face à la lampe, et la font glisser jusqu'à annuler l'ombre à Syène, puis ils la fixent aux quatre coins. Mais, problème : l'ombre à Alexandrie *" ne s'est pas redressée tout à fait "*, et donc, ne pointe pas vers le " pôle Nord ". (Cela est bien visible, même si les objets sont de taille réduite, pour une question de rapport entre la largeur de la bande et la courbure du ballon).

Fig. 9

Cherchant à y remédier, les enfants font légèrement tourner le ballon : en effet, l'ombre *" se redresse "* - et raccourcit un peu - mais problème à nouveau puisqu'une petite ombre est apparue à Syène !
Se souvenant de la simulation précédente, certains vont vouloir aligner les deux villes sur le méridien tracé sur le ballon. Ils obtiennent effectivement que l'ombre à Alexandrie pointe vers le " pôle Nord ", tandis que celle à Syène disparaît. Mais problème cependant puisque *" la carte est maintenant de travers ! "* Suggérez alors de remettre la carte " droite " et d'observer attentivement le mouvement des deux ombres depuis le " lever du Soleil " jusqu'à la " mi-journée "…
Les enfants vont découvrir qu'à Syène *" on a le midi solaire un peu avant Alexandrie "* et qu'une fois encore il y a problème puisque ça ne correspond plus avec le texte disant que les observations d'Eratosthène avaient été faites à la même heure… Mais au fait, de quelle sorte d'heure s'agissait-il ? Pas de celle donnée par nos montres, non encore inventées, mais de celle donnée par le Soleil bien sûr, donc différente d'un lieu à un autre tout autour de la Terre comme tout autour du ballon ! Ils comprennent également que les deux villes sont situées sur des méridiens différents, et que l'on pourrait tracer une quasi infinité de méridiens sur une sphère. Nous y reviendrons.

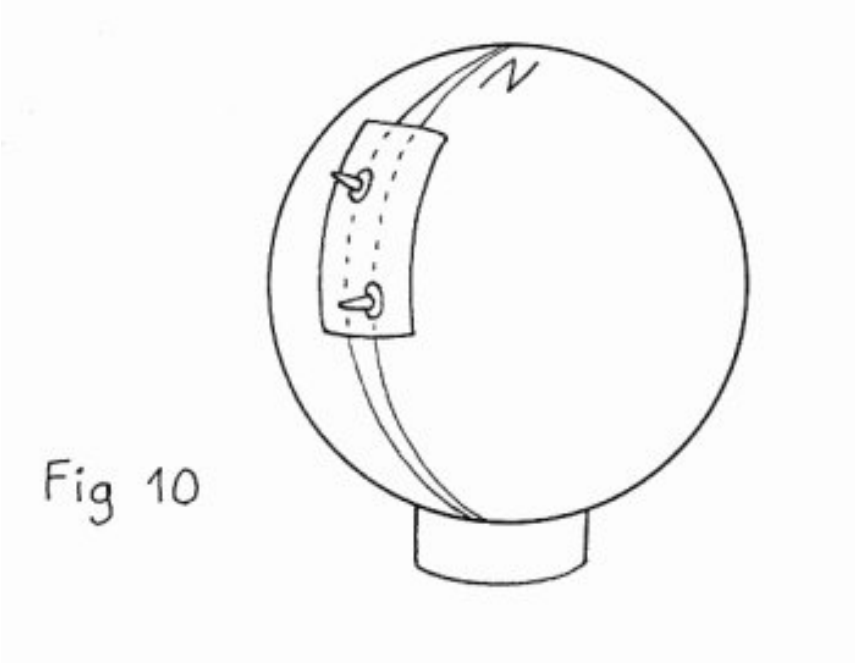


Fig 10

Note : Précisez si nécessaire (ou faites-le calculer plus tard par vos élèves) qu'il y a presque un quart d'heure de décalage entre le moment du midi solaire à Syène et celui à Alexandrie, mais que cet écart relativement faible n'a guère gêné Eratosthène dans son évaluation du méridien terrestre…

A la suite de cela, les élèves se rendront compte que, dans notre monde moderne, il n'est plus possible de vivre à l'heure du Soleil : il faut qu'une nation ait la même heure sur tout son territoire, et que tous les pays du monde s'entendent pour définir un système d'attribution d'heure dite légale (sujet qui sera repris plus tard).

D'autre part, l'utilisation d'un ballon éclairé par une lampe de poche permet également de simuler de façon amusante l'évolution de l'ombre d'un " mini-gnomon " au fil des saisons (voir la fiche déjà mentionnée : " Simuler les variations saisonnières de l'ombre d'un gnomon ").

## b) Connaître l'heure du midi solaire en tous lieux et tout au long de l'année.

Comment se simplifier la tâche, dans la suite du projet, pour connaître l'heure exacte du midi solaire local et donc, n'avoir à faire qu'un seul relevé d'ombre ? Plusieurs solutions sont possibles :
1. Se contenter du tracé de la direction nord donnée par une boussole, tout en sachant qu'elle est légèrement différente du nord géographique, ce qui entraînera une petite "erreur " au départ. On guettera ensuite le moment où l'ombre du gnomon franchit cette direction.
2. Tracer sur le socle du gnomon (repéré soigneusement sur le sol) ce qu'on appelle une méridienne, c'est-à-dire un fragment du méridien du lieu, ce qui donnera le nord géographique. C'est une activité très intéressante, à faire une fois pour toutes, proposée en option (voir la fiche : " tracé de la méridienne ")
3. Se connecter sur le site du B. D. L. (Bureau des longitudes) qui, en fonction de votre localité et de la date choisie, vous fournira l'heure du midi solaire, mais en Temps Universel . En France, vous aurez à ajouter1 h si c'est l'heure d'hiver, et 2 h après le passage à l'heure d'été.

(Notez que dès le premier relevé fait à l'heure précise indiquée par le B.D.L., vous pourrez tracer la méridienne du lieu puisque celle-ci coïncidera avec le tracé de l'ombre)
Enfin, vous pouvez aussi prolonger cette séquence en suivant les activités ludiques proposées par J. Carole en 2001 : elle montre comment matérialiser la trajectoire du Soleil sur une demi-sphère

transparente (un saladier retourné ou une passoire très fine). Cette activité peut se pratiquer à n'importe quel moment de l'année pourvu que le ciel s'y prête !

Dans la séquence suivante, les enfants aborderont la notion d'angle des rayons solaires : ils apprendront à les tracer, à les mesurer et à les interpréter.

**Séances optionnelles (Séquence 3)**

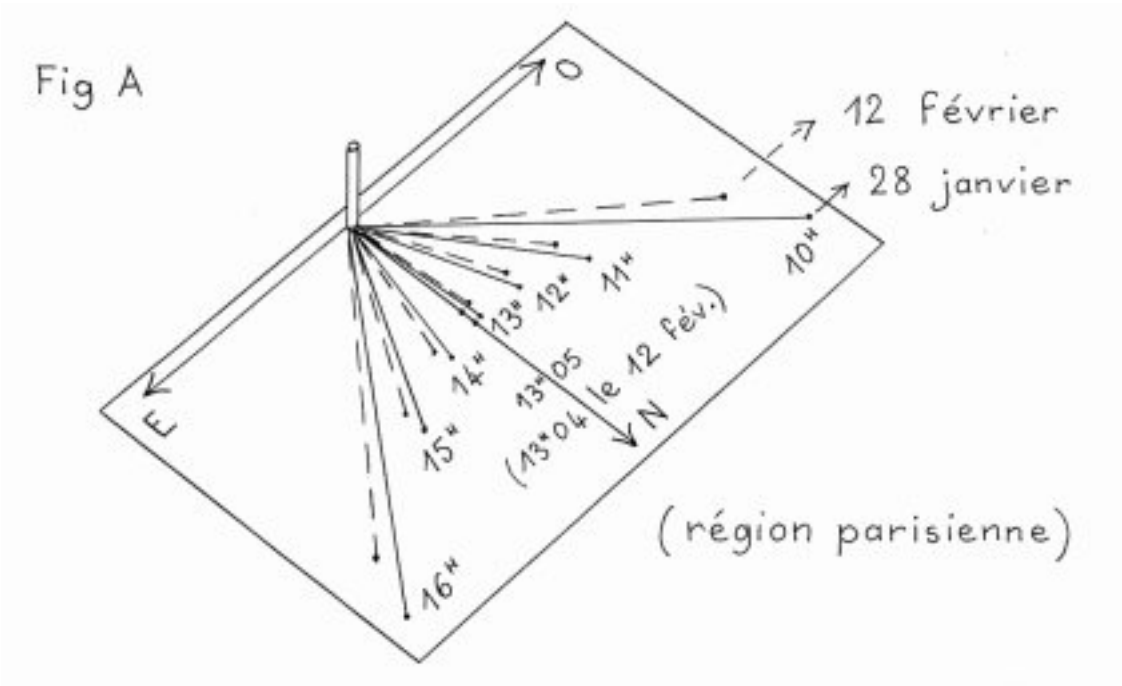
# Un "calendrier solaire" à partir d'éventails de traces d'ombre

---

## Découvrir comment l'ombre peut servir de *" calendrier "*.

Au moins une dizaine de jours (et même plus) après la date mémorable du dernier relevé d'ombre, les élèves réinstallent leurs gnomons au soleil avec la feuille des tracés correspondants pour voir si, comme la dernière fois, l'ombre va se replacer à l'heure dite sur les tracés. Eh bien, non ! En effet, dès la première observation du matin un décalage est bien visible, comme si l'ombre était " en retard " (si cela se passe après le 21 décembre, ou l'inverse si c'est avant). On se dépêche alors de placer une nouvelle feuille de calque par-dessus l'autre, et, tandis que l'on trace l'ombre, on s'aperçoit qu'elle est aussi un peu plus petite ! (ou plus longue). L'orientation du gnomon mise rapidement hors de cause, on en déduit que *" le Soleil n'est plus tout à fait au même endroit que l'autre jour ! "*. Les observations faites aux autres heures de la journée vont confirmer le phénomène, à une exception près néanmoins concernant l'ombre du midi solaire : elle est la seule à ne s'être pas décalée, ayant juste raccourci (ou rallongé) un peu.
Là aussi cependant, un relevé très précis à l'heure dite du midi solaire peut mettre en évidence un léger décalage révélant que, *par rapport à nos montres*, le moment du midi solaire n'est plus tout à fait le même qu'il y a une dizaine de jours. D'autres relevés montreront que ce décalage fluctue tout au long de l'année, entraînant des variations de l'heure du midi solaire à nos montres. La cause en est que ces dernières ne tiennent pas compte de certaines irrégularités des mouvements de la Terre dues au fait que l'axe des pôles n'est pas perpendiculaire au plan de la trajectoire de notre planète autour du Soleil, et que cette trajectoire n'est pas circulaire mais légèrement elliptique.
Note : on peut également observer ces fluctuations à partir d'un calendrier indiquant l'heure du levée et l'heure du coucher du Soleil et étudier à l'aide d'un graphique les variation de l'heure de la mi-journée ( heure du coucher moins heure du levée divisée par 2) au cours de l'année.

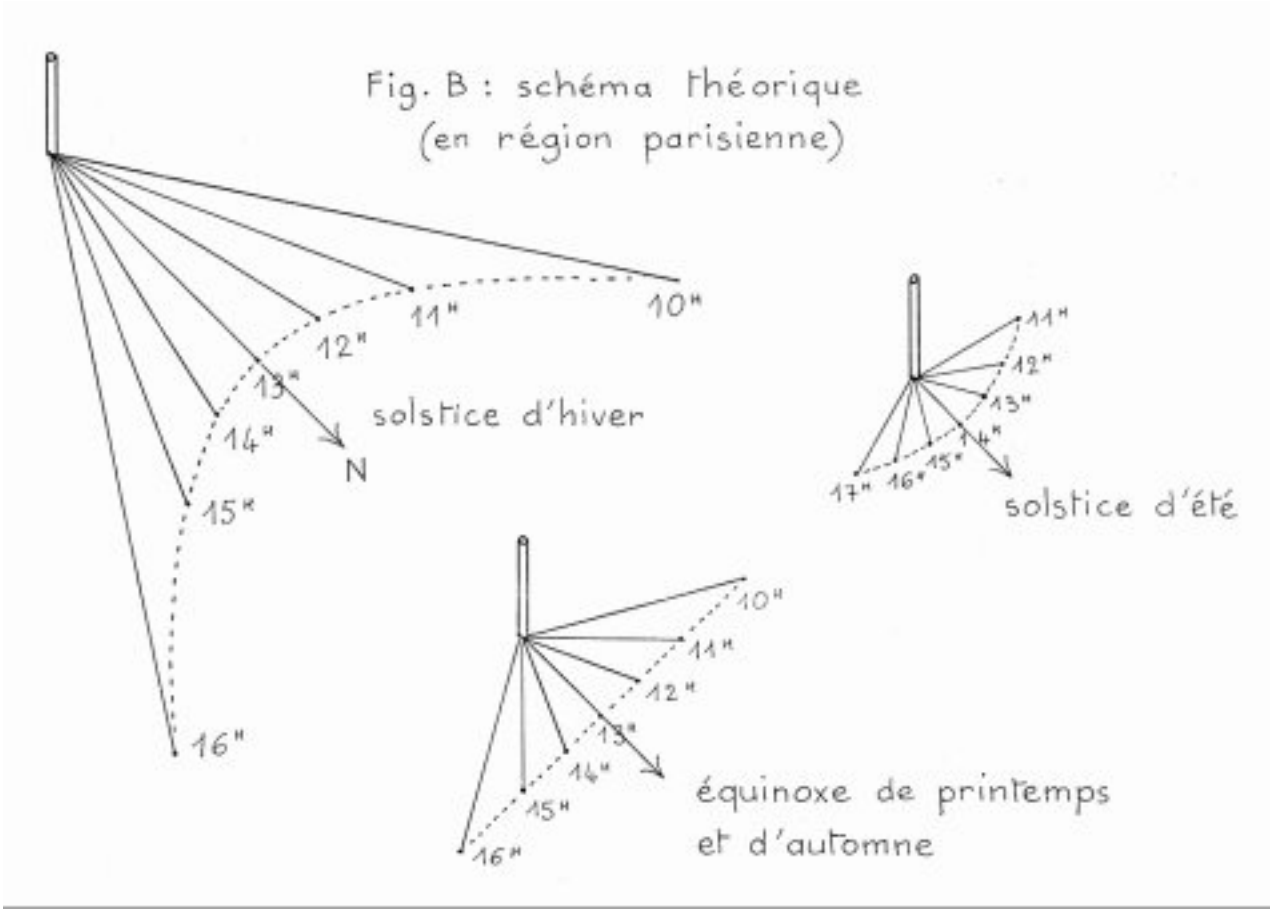
Les élèves remarquent ensuite que les décalages des nouveaux tracés sont symétriques par rapport au tracé du midi solaire, leur éventail s'étant un peu " ouvert " (ou " fermé ").



S'ils savent expliquer la cause du changement de longueur des tracés de l'éventail, ils sont bien embarrassés pour trouver une explication à son "ouverture " ( ou à sa " fermeture "). En effet, cela relève d'un domaine de la géométrie dans l'espace (la section des coniques) : l'extrémité de l'ombre décrit durant la journée une courbe appelée hyperbole, laquelle évolue et s'inverse d'un solstice à l'autre, devenant une simple droite au moment de la phase intermédiaire que représentent les deux équinoxes. D'où l'intérêt de refaire des tracés plusieurs fois dans l'année pour suivre cette évolution.

## Remarques utiles à propos des " calendriers " solaires.

La figure ci-dessous montre, de façon théorique, les éventails des tracés d'ombres d'un même gnomon (sous nos latitudes) lors des solstices et des équinoxes. On voit que l'axe de symétrie correspond à l'ombre au midi solaire, moment que l'on a fait coïncider, pour simplifier, avec l'heure entière de la mi-journée. Il en résulte que les deux tracés symétriques formant chaque paire ont une longueur égale. Or, comme n'auront pas manqué de le constater vos élèves, il y a généralement une différence de longueur entre les deux, entraînant une dissymétrie globale de l'éventail plus ou moins accusée : pourquoi cela ? C'est parce que les relevés ont été faits à chaque heure entière et que le moment réel du midi solaire, comme nous l'avons vu, ne coïncide pas avec celui de 13 h (ou 14 h) en un lieu donné : le relevé de 13 h (ou 14 h) ne peut donc pas être l'axe de symétrie. Autre remarque concernant cette fois les angles formés par les tracés d'un même éventail : ils ne sont pas égaux dans la réalité, affichant un minimum tôt le matin et tard l'après-midi, et un maximum autour du midi solaire, cela pour une question de géométrie dans l'espace, qui n'est pas à la portée des élèves (mais qui n'aura pas d'incidence pour la poursuite du projet !)



**Séances optionnelles (Séquence 3)**

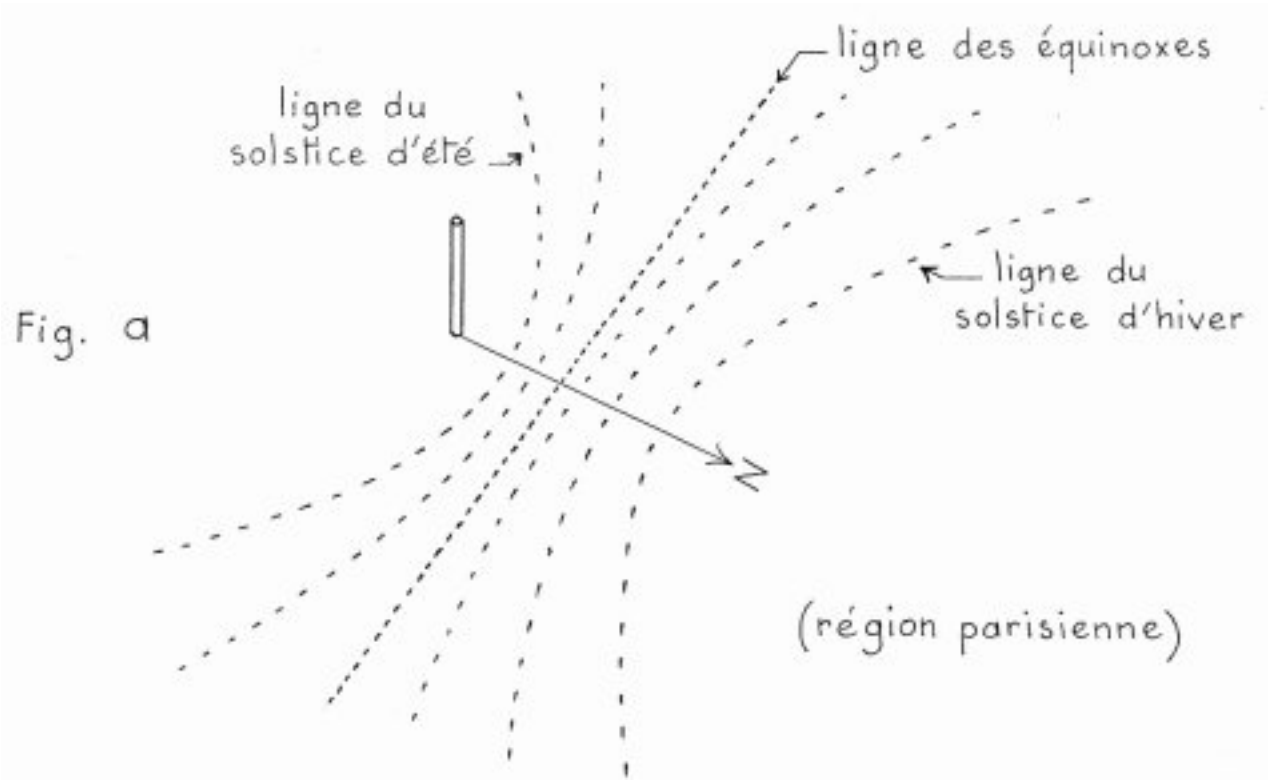
# Simuler les variations saisonnières de l'ombre d'un gnomon.

---

Les simulations proposées ici concernent l'évolution de la ligne que décrit l'extrémité de l'ombre d'un gnomon au cours de la journée, au fil des saisons. Elles devront être précédées d'une séance de relevés plusieurs fois durant l'année scolaire (deux par trimestre au minimum).

## Simulation au moment de l'équinoxe de printemps (ou d'automne !)

Au vu des relevés faits en automne ou en hiver et des simulations qui ont suivi, vos élèves penseront peut-être que la forme de la courbe décrite par la pointe de l'ombre est le reflet inversé de celle décrite par le Soleil (ou par leur lampe). Cette nouvelle simulation leur prouvera qu'il n'en est rien. L'idéal est de faire auparavant une nouvelle séance de relevés très proche de l'équinoxe (à défaut du jour même), succédant à une autre faite deux semaines auparavant, cela afin que vos élèves constatent déjà que la courbe est devenue peu à peu… une droite ! (Le cas échéant, préparez des feuilles avec un simple trait rectiligne assez long, en avant de la base des gnomon). En manipulant leur lampe comme précédemment, les enfants se rendront compte que celle-ci est " bien obligée " de décrire une courbe ! (Et ils auront l'intuition que la géométrie régissant le phénomène n'est pas si simple qu'il l'y parait…).
D'autre part, si une nouvelle séance de relevés a lieu peu après l'équinoxe, les élèves verront s'amorcer la nouvelle tendance de la ligne reliant l'extrémité des tracés : demandez-leur d'anticiper ce qu'elle va devenir, de noter leurs hypothèses, et bien sûr de les vérifier sur le terrain le moment venu. Il est fort probable que, vers la fin du projet, certains élèves puissent prédire avec justesse ce que va faire la courbe durant l'été puis durant l'automne : mais ils ne pourront le vérifier que grâce à un gnomon réalisé à la maison ! (La figure ci-dessous est à mettre en parallèle avec la figure B de la fiche d'activités optionnelles " Un calendrier solaire à partir d'éventails de tracés d'ombre ".)

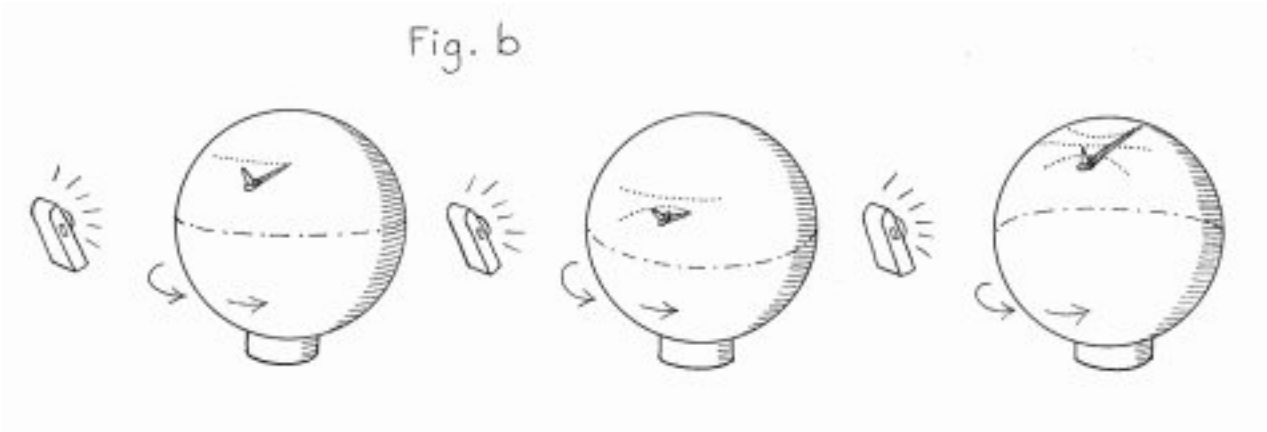



Les deux équinoxes présentent aussi un autre intérêt, en relation avec l'angle des rayons solaires au

moment du midi du Soleil, et… de la latitude du lieu. Si vos élèves ont déjà abordé ces deux notions et qu'ils ont commencé à faire quelques mesures de l'angle concerné, ils s'apercevront qu'un jour d'équinoxe, la valeur de cet angle correspond à la latitude de leur école !
En effet, ce jour-là, le Soleil éclaire la Terre d'une façon particulière. Notre planète étant éclairée par moitié, le bord circulaire de sa moitié " jour " passe exactement par les deux pôles : un gnomon - sur la " vraie " Terre - que l'on planterait en ces deux endroits aurait donc une ombre infiniment longue puisque l'angle des rayons solaires arrivant à l'horizontale ferait 90° (c'est bien la latitude des deux pôles). Inversement, au niveau de l'équateur, les rayons tombant à la verticale sur le gnomon (où il n'y aurait pas d'ombre), l'angle serait nul ( (latitude 0° à l'équateur). De la même façon, tous les autres lieux sur Terre ont aussi ce jour-là la valeur de leur angle au midi solaire égale à celle de leur latitude.

## Simulation sur les variations saisonnières à l'aide d'un ballon

*(Se reporter auparavant à la partie 4 de la séquence 3)*
Un minuscule gnomon de pâte à modeler étant fixé sur le ballon éclairé par une lampe de poche, les enfants s'amusent à repérer avec un stylo le déplacement de la pointe de l'ombre tandis que le ballon tourne lentement (entraîné par le socle qui doit bien rester en place tandis qu'on le met en rotation). Ils comparent ensuite la ligne obtenue (1) avec celles qu'ils ont pu déjà obtenir sur leurs calques (relevés d'ombre en extérieur) et réfléchissent au moyen de reproduire l'une de ces lignes…
La consigne étant de laisser la lampe immobile et de ne pas déplacer le gnomon, les élèves finissent par comprendre qu'il faut, en position de midi solaire, basculer légèrement le ballon par rapport à la lampe. Cela, soit vers l'avant pour obtenir une " courbe été " (2), soit vers l'arrière pour obtenir une " courbe hiver " (3). Sur la figure ci-dessous, la ligne de l'équateur permet de visualiser ce basculement :




Mais, au fait… la Terre bascule-t-elle vraiment dans l'espace au cours d'une année ?
Voici une question très intéressante que les enfants pourront résoudre mais cette fois en faisant graviter une mappemonde autour de quelques lampes (en cercle) représentant le Soleil : ils verront, par exemple au niveau de la France, que pour obtenir le même effet tandis que la mappemonde accomplira son périple, son axe devra toujours rester parallèle à lui-même : quand l'axe semblera s'incliner vers le " Soleil ", ce sera l'été en France, et quand, à l'opposé, il semblera, se " pencher en arrière ", ce sera l'hiver. Les enfants en déduiront bien sûr la position de la mappemonde au printemps et à l'automne.

**Séances optionnelles (Séquence 3)**

# Matérialisation de la trajectoire apparente du Soleil sur une « demie sphère »

---

## Découpage de la séquence :

Cette séquence se découpe en 3 parties. Dans une première séance, les enfants à l'aide d'un simple morceau de carton percé d'un trou et d'un viseur découvrent ou redécouvrent la propagation rectiligne de la lumière. Le morceau de carton sera l'élément essentiel permettant de matérialiser la trajectoire apparente du soleil. Cette séance est donc un complément à la séquence 1 proposée par le projet Eratos. Dans un deuxième temps , à intervalles réguliers au cours d'une journée, ils matérialiseront la trajectoire apparente du soleil sur une demie sphère (simple saladier) . Cela peut se faire en même temps que les mesures continues de l'évolution des ombres et des hauteurs du soleil. Dans un troisième temps : (- pour la métropole lors des équinoxes et des solstices par exemple - pour les zones intertropicales lors du passage au zénith en complément) de nouveaux relevés sont effectués sur la même demie sphère afin d'étudier le phénomène des saisons astronomiques et des climats à l'échelle mondiale.

## Objectifs :

La matérialisation de la trajectoire apparente du soleil permet de modéliser un vécu observé tout au long de la journée et de re-situer les mesures effectées de longueur des ombres et de hauteurs du soleil par rapport à des positions du soleil « sur la voûte céleste ». Elle permet de comprendre la différence entre culminer et passer au zénith . Elle montre que les saisons astronomiques sont liées à la hauteur du soleil dans le ciel. Elle permet ainsi de comprendre le « pourquoi » des climats .

**Notions abordées :** parallélisme (des rayons du Soleil). Horizontalité, propagation rectiligne de la lumière, orientation par rapport à une direction privilégiée, saisons astronomiques , durées du jour, climat (températures) mesures , rectangles, diagonales …

---

**Sommaire de la séquence:**


.1) La lumière se déplace en ligne droite : expérimentation

2) Représentation de la trajectoire apparente du soleil au cours de la journée

3) Représentation de la trajectoire apparente du soleil au cours de l'année


---

## 1) La lumière se déplace en ligne droite : expérimentation

**Durée :** 60 minutes environ

---

**Matériel :**

**Pour chaque élève : 1ère et 2 ème expérimentation**

Un morceau de carton de 4 cm sur 4 cm environ percé d'un trou à l'aide d'une aiguille en son centre
Une demi-heure de beau temps !

**Pour chaque élève : 3 ème expérimentation**

Un carton de 16 cm sur 4 cm
Une aiguille
Une règle et un crayon

---

## Première expérimentation :

A l'extérieur lorsque le soleil est visible, distribuez le morceau de carton préalablement fabriqué par les élèves. S'assurez que le petit trou ne s'est pas « refermé ».
Donnez la consigne suivante : « Que pouvez-vous observer en utilisant la lumière du soleil ? » Laissez les enfants observer et expérimenter pendant 5 mn environ puis recueillez leurs observations. Elles peuvent être de type « Il y a un point lumineux , je peux voir ce point sur ma main , sur le sol , il faut placer la main de telle manière etc…. »

## Deuxième expérimentation :

Recherche des conditions nécessaires pour que le point lumineux se projette au creux de la main. Expérimentation pendant 5 min environ puis recueil des analyses effectuées : « Il faut placer le carton dans la direction du soleil.»

Dessins après expérimentations :
Ils permettent de matérialiser le rayon lumineux qui « part du soleil » , traverse le carton à travers le petit trou et arrive sur la main. La notion de déplacement en ligne droite est plus ou moins prise en compte par les élèves dans leurs représentations. Un deuxième type d'expérimentation va leur permettre de concrétiser ce déplacement.

## Fabrication d'un viseur pour la 3ème expérimentation ( cette fabrication peut s'effectuer en géométrie par exemple)

Découpez un rectangle de 16 cm sur 4 cm. Repliez les extrémités à une distance de 3 cm de telle manière qu'elles se fassent face. Ce sont donc 2 rectangles de 4 cm sur 3 cm qui se font face. Tracez les diagonales afin de trouver le centre de chacun des rectangles. Percez le centre d'un des rectangles à l'aide d'une aiguille . Le centre de l'autre rectangle servira de cible

## Troisième expérimentation :

A l'extérieur lorsque le soleil est visible, distribuez le viseur préalablement fabriqué par les élèves. S'assurez que le petit trou ne s'est pas « refermé ». Donnez la consigne suivante : « Trouvez dans quelle position il faut placer le viseur pour que le point lumineux se projette au centre de la cible ? ». Laissez les enfants observer et expérimenter pendant 5 mn environ puis recueillez leurs observations.

Dessins après expérimentations :

Ils permettent de matérialiser le déplacement rectiligne de la lumière.

Remarque : le principe du viseur peut être repris afin de construire une alidade permettant de mesurer la hauteur du soleil (sujet traité dans la séquence 4 du projet Eratos : 4ème séance). Vous trouverez ci-dessus une alidade que j'ai conçue avec du matériel de récupération des plus adaptés à l'école !

---

## 2) Représentation de la trajectoire apparente du soleil au cours de la journée

**Durée :** Moments de tracés renouvelés à intervalles réguliers au cours de la journée (toutes les heures par exemple) . Ces tracés peuvent se faire en même temps que les relevés de longueur d'ombre et de hauteurs du soleil.

---

---

**Matériel :**

## Pour la classe :

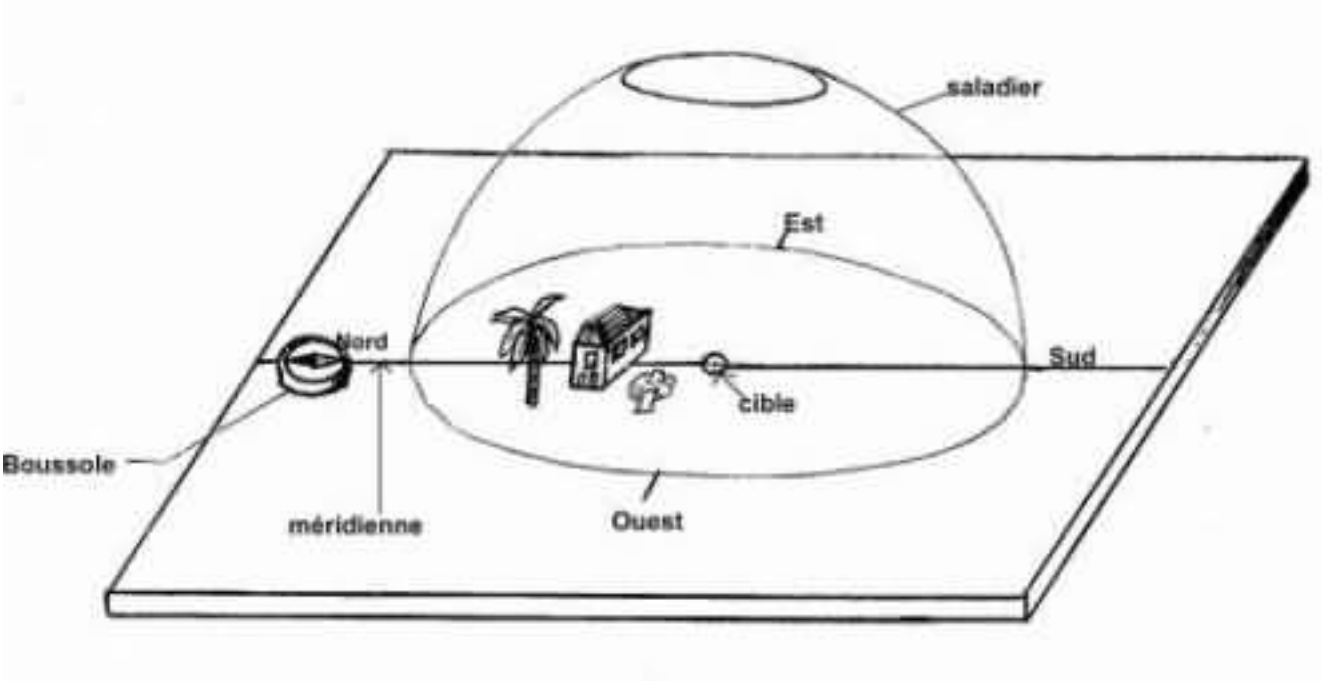
Un saladier transparent en plastique ayant au maximum la forme d'une demie  sphère. On en trouve couramment dans les grandes surfaces pour un prix modique
Un feutre indélébile
Un morceau de carton de 4 cm sur 4 cm percé d'un petit trou en son centre
Une planche en boite rectangulaire de dimension supérieure au saladier
Un disque en papier blanc de 1,5 cm de diamètre dont le centre est matérialisé à l'aide du tracé de 2 diamètres (ce sera la cible)
De la colle
Une boussole
Un niveau
Du soleil

Éventuellement : de petits éléments miniatures figurant l'école, des arbres , des personnes, ou des maisons

---

## Fabrication de la maquette:

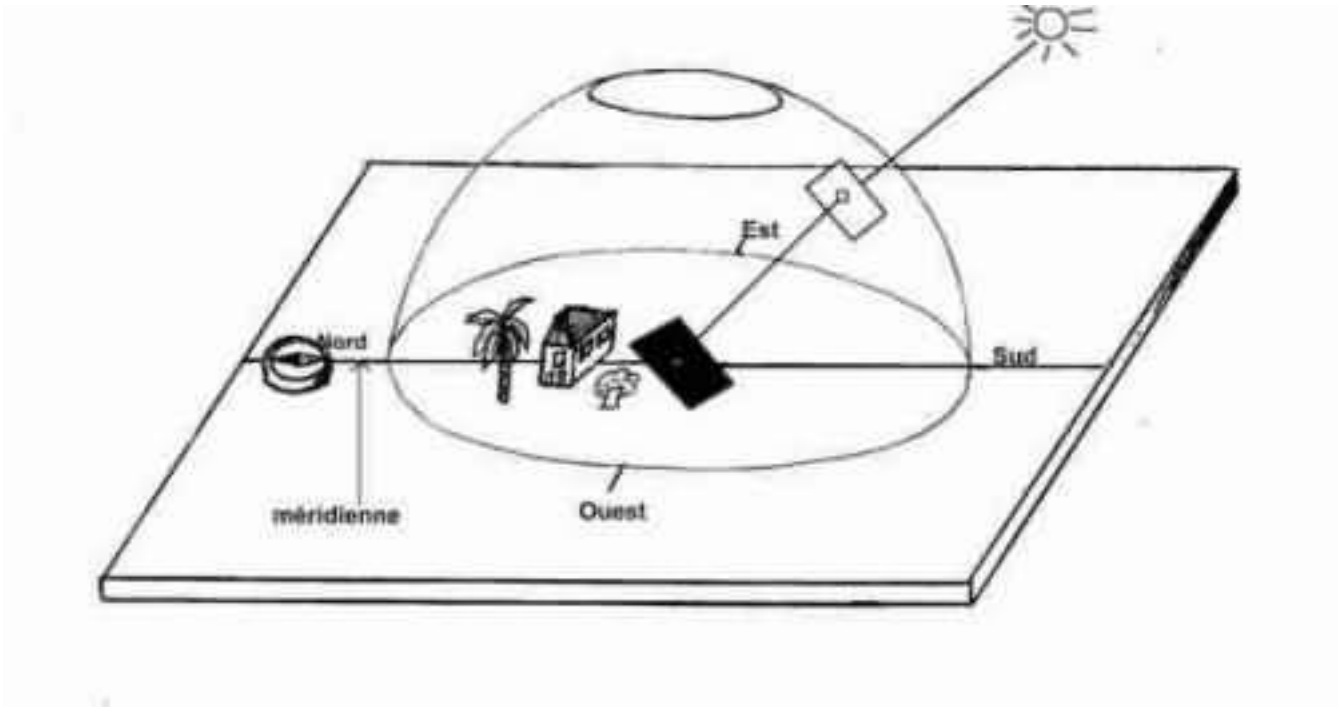
Elle représente l'école à l'échelle réduite.  Placez le saladier qui représente la voûte céleste au centre de la planche en bois. A l'aide d'un crayon matérialisez le tour du saladier. Vous obtenez un cercle qui représente le cercle horizon. Retirez le saladier. Exactement au centre du cercle collez le petit disque de papier blanc dont le centre est matérialisé par 2 diamètres. Ce sera la cible. Tracer exactement un diamètre de cercle qui figurera la méridienne du lieu ; prolongez-le pour qu'il traverse la planche en bois. Marquez le Nord et le Sud ainsi que l'Est et L'Ouest. Ceci est très important car c'est à l'aide de cette méridienne que sera  repositionnée la maquette lorsque des relevés seront effectués au cours de l'année ou en cas de pluie. Coller les petits éléments miniatures éventuellement de telle sorte qu'ils ne feront pas d'ombre sur la cible (vers le Nord pour la métropole). Coller le saladier exactement sur le cercle qui avait été tracé au début de la construction.




## Relevés de la course du soleil au cours de la journée:

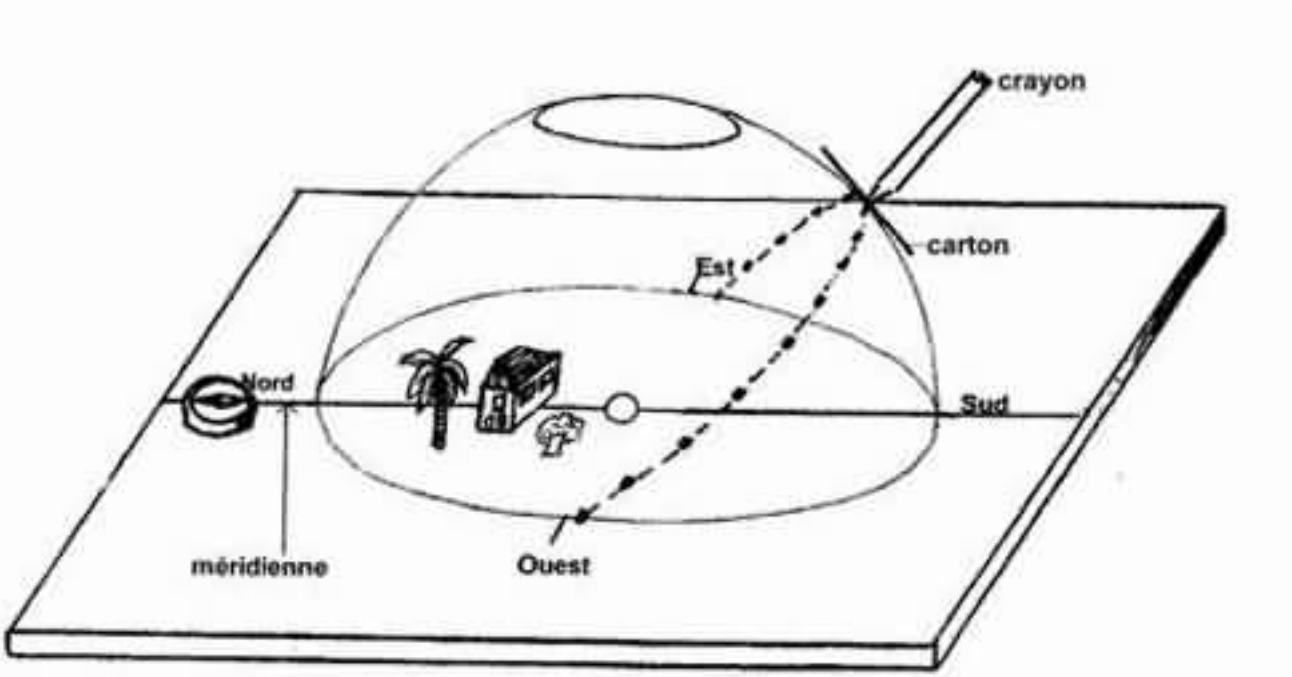
Placez la maquette horizontalement (à l'aide du niveau) dans un endroit ensoleillé toute la journée. Le méridien tracé sur la planche en bois sera orienté exactement dans la direction Sud-Nord à l'aide d'une boussole.

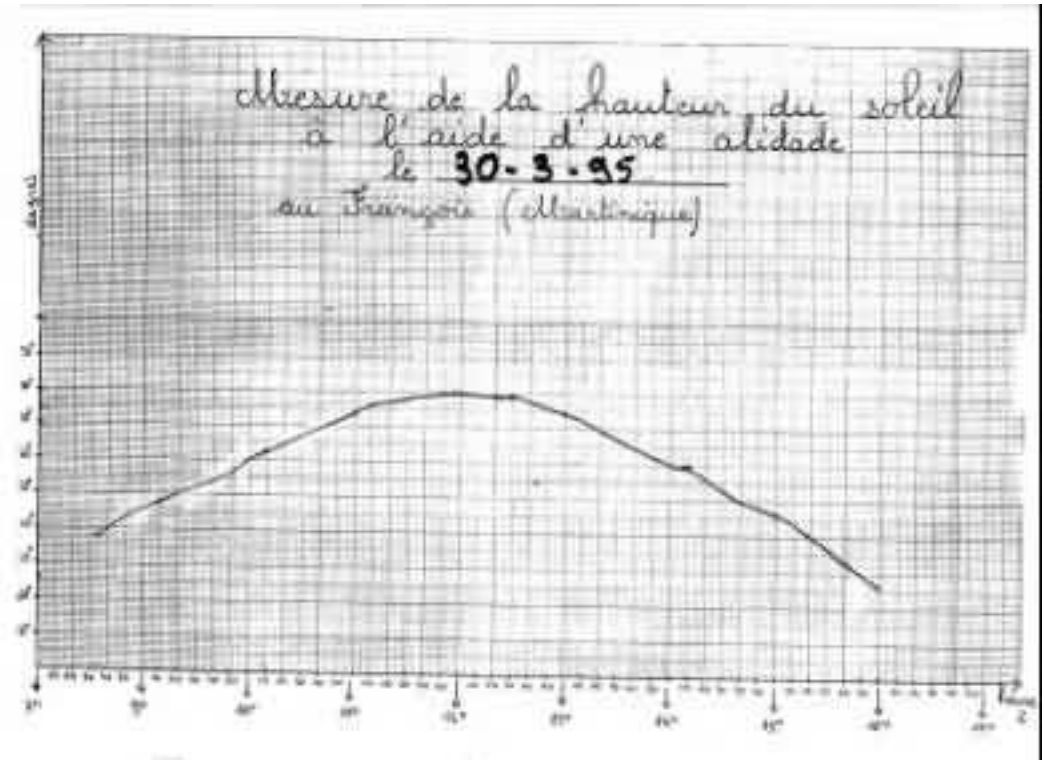
Vous allez maintenant réinvestir l'acquis de la séance 1 en réutilisant le carton décrit dans les 2 premières expérimentations. Placez le carton sur la surface extérieure du saladier dans la direction approximative du soleil. Son ombre se projette sur le « sol » de la maquette mais cette ombre contient en son centre une petite tâche lumineuse. Il suffit de déplacer le carton à la surface du saladier jusqu'à ce que la tâche tombe au milieu de la cible. Positionner alors le feutre indélébile sur le trou du carton. L'encre traversera le petit trou et laissera une trace sur le saladier. Noter l'instant du relevé effectué.

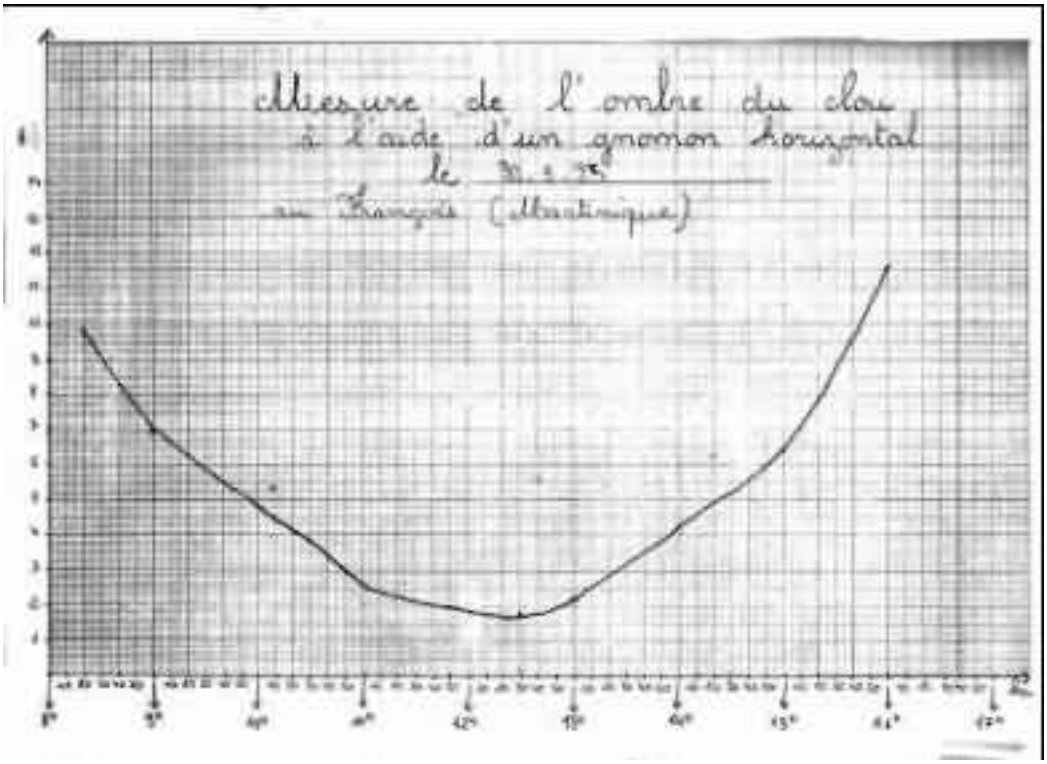



Procédez de la même manière à intervalles réguliers au cours de la journée.

A la fin de la journée,  joignez les points au stylo feutre et prolongez la courbe ainsi obtenue. La course du soleil est ainsi matérialisée. L'enfant doit s'imaginer placé au centre de la maquette et observant la course du soleil tout au long de la journée. Si en parallèle des mesures de longueur d'ombres et de hauteurs ont été effectuées , il pourra pour chaque relevé établir la relation avec la position du soleil.






---

## 3) Représentation de la trajectoire apparente du soleil au cours de l'année

Le même type de relevé sera effectué à des moments différents de l'année. La seule condition est, outre le soleil , que la méridienne matérialisée sur la maquette à l'aide de la direction Sud/Nord soit correctement orientée. Les équinoxes et les solstices sont des dates privilégiées mais pas forcément obligatoires.  Procédez de la même manière à intervalles réguliers au cours de la journée.

Ces relevés sont une ouverture sur le monde car ils permettent de comprendre les différences existants en différents pays du monde et même celles du territoire français puisqu'il comprend les pays d'Outre-mer.

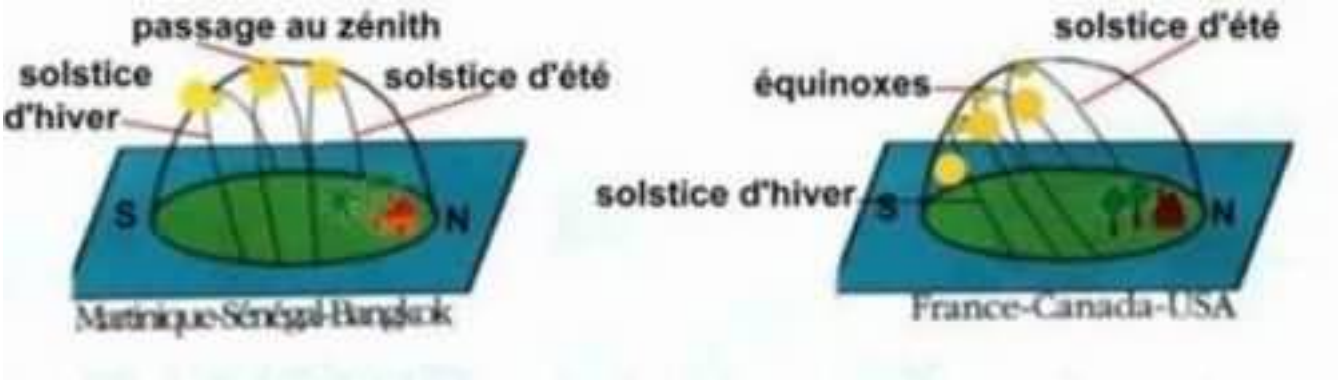
L'exemple ci-dessous permettra d'illustrer cette remarque
Exemple de trajectoires du soleil relevées à trois dates différentes de l'année par une classe de CM de l'école de Chopotte-Bonny du François en Martinique

Les relevés ont été effectué le 30/03/95 , le 17/04/95 et le 23/06/95.
Les trajectoires montrent la particularité de la situation géographique de la Martinique. Située à une latitude de 14°27 donc dans la zone inter-tropicale Nord ; le soleil culmine une partie de l'année au Nord et une autre partie de l'année au sud

| | |
|---|---|
| Culmination au Nord | Du 28 ou 29 Avril  jusqu'au  12 ou 13 Août |
| Passage du soleil au zénith | Le 29 ou 30 Avril |
| Culmination au Sud | Du 14 ou 15 Août jusqu'au 28 ou 29 Avril |
| Passage du soleil au zénith | Le 13 ou 14 Août |

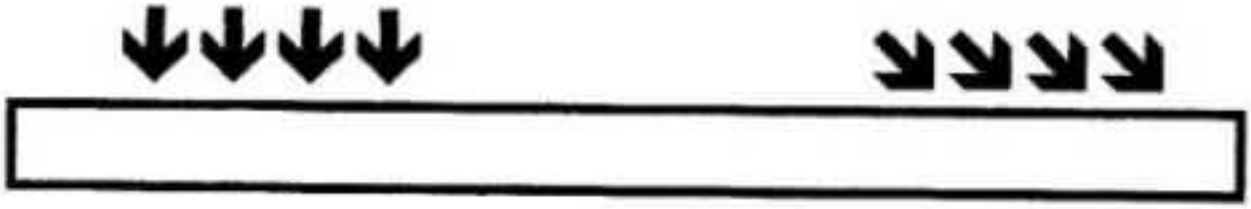
Lors du passage du soleil au zénith, la trajectoire sera perpendiculaire au support c'est à dire qu'à midi elle passera au « centre » du saladier

Dans les pays comme le canada, la France et les U.S.A, il culmine toujours en direction du Sud puisque qu 'il ne passe jamais au zénith, ces pays étant situés au-dessus du tropique du Cancer comme le montre les deux schémas ci-dessous.




## Les climats

Le soleil occupe dans le ciel des positions différentes selon les moments de l'année. La variation de la hauteur du soleil et donc la variation de l'inclinaison des rayons solaires par rapport au sol détermine la quantité de chaleur reçue par le sol. En inclinant plus ou moins une lampe de poche, la surface éclairée est plus ou moins petite donc plus ou moins échauffée .



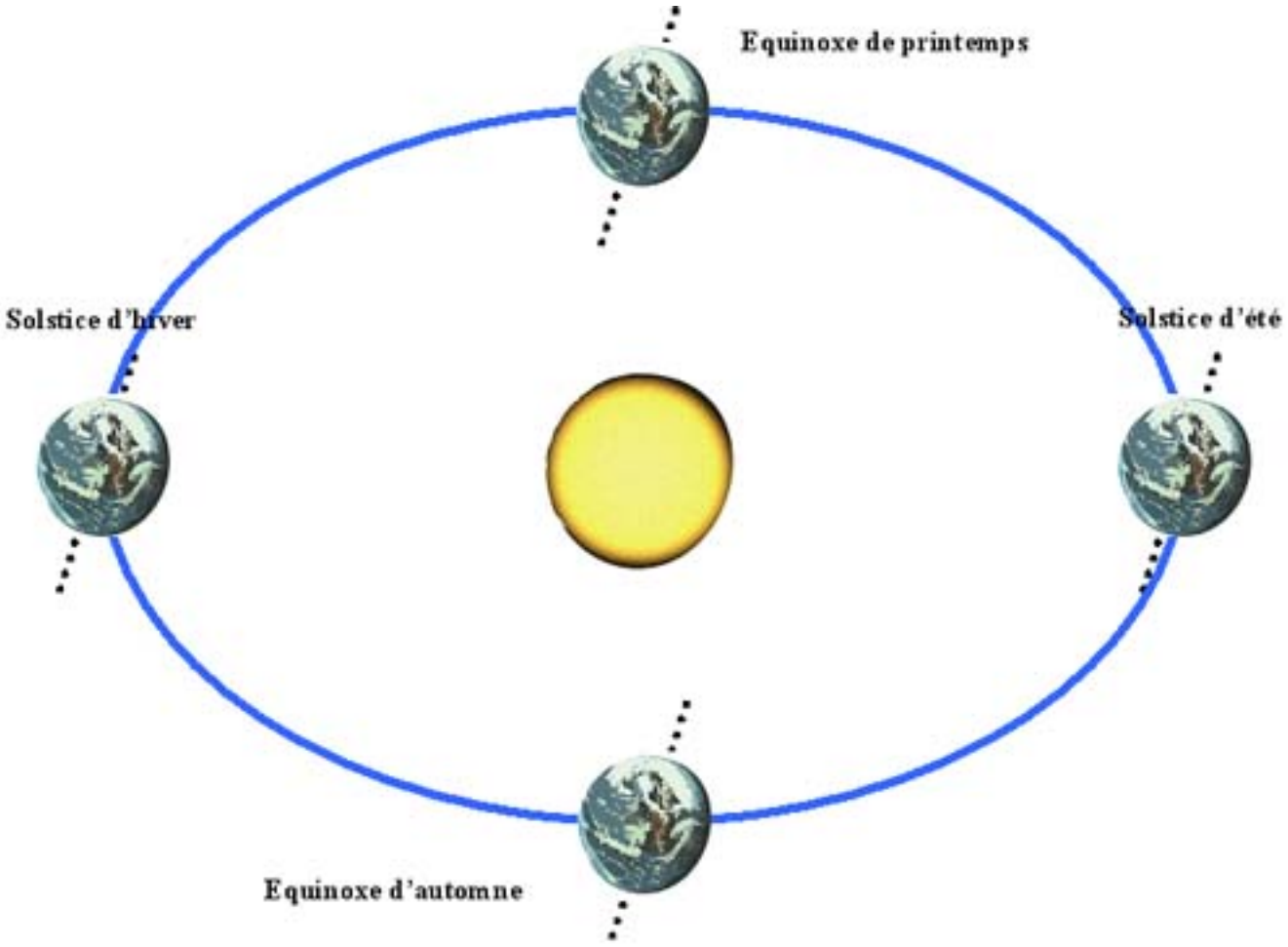
Il fait chaud sous les tropiques parce que le soleil est toujours haut dans le ciel.
Le soleil passe même au zénith, ses rayons sont alors perpendiculaires au sol, il fait alors vraiment très chaud ! Mais entre nous en Martinique nous avons les alizés qui adoucissent tout cela.

**Séquence 3**

# Complément historique de la séquence 3

## La course céleste du Soleil

Il est facile d'observer que le Soleil bouge dans le ciel. On s'aperçoit même que sa course n'est pas la même en hiver et en été. Ceci est dû au fait que la Terre, tout au long de l'année, tourne autour du Soleil ; étant incliné selon un axe qui lui est toujours identique, la Terre ne se présente pas de la même façon au Soleil en hiver ou en été.



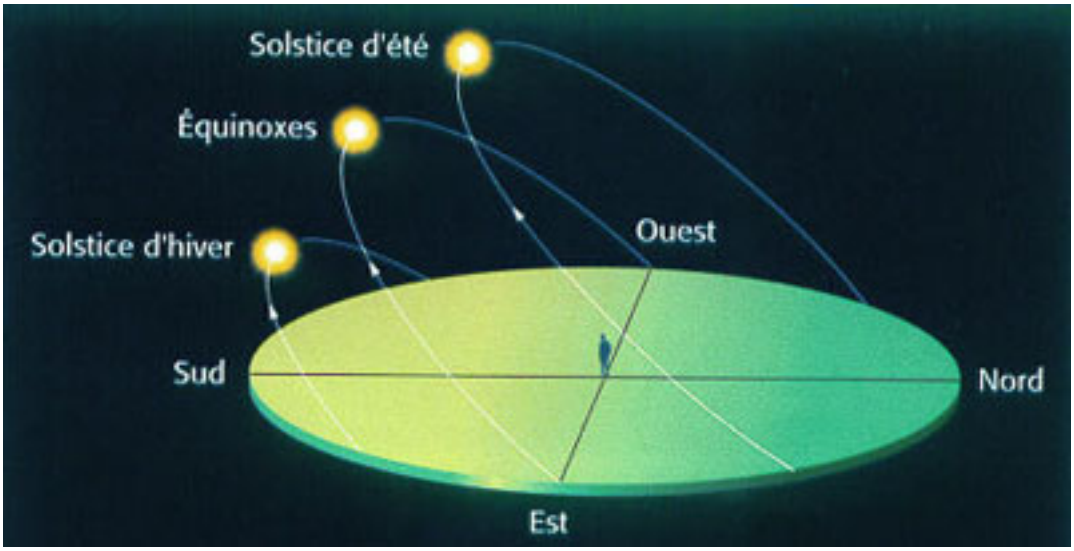

Solstice d'hiver : 21-22 décembre

Equinoxe de printemps : 20-21 mars

Solstice d'été : 21-22 juin

Equinoxe d'automne : 22-23 septembre

Dans l'hémisphère nord, le solstice d'été est le jour le plus long de l'année (Soleil au-dessus du tropique nord, au plus haut dans le ciel), le solstice d'hiver est lui le plus court (Soleil au-dessus du tropique sud, au plus bas dans le ciel). Le jour des équinoxes, le jour et la nuit ont la même durée (Soleil au-dessus de l'équateur).




Bien évidemment, la situation est inverse dans l'hémisphère sud.

**Séquence 4**

# Mesurer l'angle entre les rayons solaires et la verticale

## Introduction

Au cours de cette séquence, les enfants auront l'occasion de se familiariser avec la notion d'angle. Ils construiront ensuite un gnomon collectif qui sera l'emblème du projet, et feront leurs premières mesures de l'angle compris entre les rayons solaires et la verticale, comme le fit notre savant Ératosthène.

Au cours de cette séquence, vous allez réaliser vos premières mesures avec le gnomon Eratosthène. Nous vous conseillons de lire attentivement l'assistance technique N° 4 afin d' évaluer et d'améliorer la précision de celles-ci.

## Notions abordées

Notion d'angle, d'égalité d'angle. Schématisation de l'angle des rayons solaires par rapport à la verticale. Approche de la notion de proportion. Usage du rapporteur. Utilisation d'un tableau de mesures. Comparaison et interprétation de ces mesures. Evolution de l'angle des rayons solaires au cours de l'année.

*Lien avec les programmes de l'école primaire (BO N° 1 du 14/02/02) du cycle 3 :*

- Sciences expérimentales et technologiques :
    - La matière : plan horizontal et vertical : intérêt dans quelques dispositifs techniques.
    - Le ciel et la Terre :
        - la lumière et les ombres
        - le mouvement apparent du Soleil..
- Mathématiques :
    - Espace et géométrie :
        - l'utilisation de plans et de cartes.
        - l'utilisation d'instruments (règle, équerre, compas) et de techniques (pliages, calque, papier quadrillé).
    - Grandeurs et mesures :
        - le repérage du temps et des durées (année, mois, semaine, jour, heure, minute, seconde) et leurs relations.
        - les angles : comparaison, reproduction.
    - Exploitation des données numériques :
        - problèmes relevant de la proportionnalité.
        - utilisation de données organisées en listes, en tableaux.

*Lien avec les fiches connaissances :*

Fiche de connaissance N° 17 : Lumière et ombres.

Fiche de connaissance N° 19 : Mouvement apparent du Soleil.

Fiche de connaissance N° 20 : Rotation de la Terre sur elle-

même.

*Extrait du document d'application des nouveaux programmes en sciences expérimentales et technologiques :*

*Compétences spécifiques :*

*- Être capable d'utiliser les points cardinaux pour repérer une direction à partir d'un lieu sur Terre . Savoir utiliser une boussole pour repérer une direction ou pour progresser dans une direction donnée.*

*- Être capable de représenter qualitativement la trajectoire apparente du Soleil dans le ciel et son évolution au fil de l'année. Savoir qu'elle est la plus courte à la date du solstice d'hiver (le soleil est alors bas sur l'horizon) et la plus longue à la date du solstice d'été (le soleil est alors haut dans le ciel).*

*- fabriquer et manipuler quelques dispositifs représentant un intérêt historique : gnomon, sablier, clepsydre, pendule…*

*Commentaires :*

*- La réalisation de mesures effectuées par des groupes d'élèves donne l'occasion de comparer les résultats et d'aborder la précision d'une mesure. Il n'est pas nécessaire d'introduire le terme d'incertitude et exclu d'utiliser le formalisme correspondant. On se contente, en liaison avec la rubrique mathématique sur les décimaux, de faire réfléchir au nombre de chiffres qu'il est raisonnable d'utiliser pour exprimer un résultat expérimental.*

## Préliminaire : les mesures d'Eratosthène.

Après avoir découvert avec Eratosthène le moment du midi solaire, les enfants vont se plonger dans les premières mesures spécifiques au projet lui-même... Proposez-leur de lire le court texte ci-dessous qui va les inviter à découvrir la notion d'angles :

*" Eratosthène ayant choisi, un 21 juin, d'observer au midi solaire l'ombre d'un obélisque situé aux alentours de sa bibliothèque, voulut en savoir un peu plus… Il décida d'évaluer avec précision l'angle compris entre les rayons du Soleil et l'obélisque (dont il connaissait la hauteur : 8 mètres environ). Il attendit que le Soleil soit au plus haut dans le ciel pour mesurer l'ombre projetée sur le sol : il trouva 1 m exactement. Après être retourné dans sa bibliothèque pour interpréter ses observations, il en conclut que les rayons du Soleil faisaient à ce moment précis un angle de 7,2 degrés avec la grande aiguille de granit… "*

Saurez-vous découvrir comment Ératosthène s'y est pris pour trouver la valeur de cet angle, puis le mesurer à votre tour ? "

**Sommaire de la séquence:**

Cette séquence se compose de quatre parties, chacune pouvant faire l'objet d'une ou deux séances, ou d'une simple activité ponctuelle durant l'intervalle du déjeuner (ou plutôt en début d'après-midi puisque l'on vient de passer à l'heure d'été !).


**1) Travaux d'approche sur les mesures d'angles**
**2) Retrouver la mesure d'angle faite par Eratosthène.**
**3) Réalisation du gnomon "Ératos" pour la classe.**
**4) Mesures angulaires à partir de nouveaux relevés, et communication des résultats .**


## 1) Travaux d'approche sur les mesures d'angles

**Durée :** 1 heure, soit avec la classe entière, soit en petits groupes.

**Lieu :** classe

**Matériel :**

**Par groupe de 3 à 5 élèves :**
papier calque,
feuilles à petits carreaux,
bristol de couleur,
photocopies agrandies d'un rapporteur en Plexiglas,
règles,
rapporteurs et ciseaux.

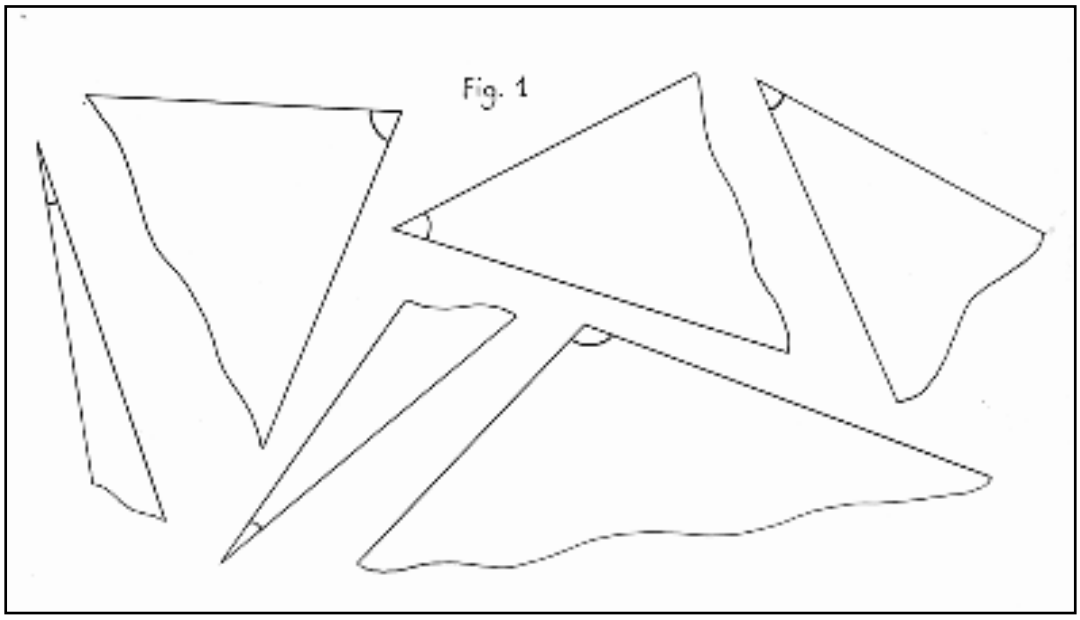
Remarque sur les difficultés liées au concept d'angle par Valérie Munier, laboratoire de didactique des sciences physiques de Paris 7.

Au cours de cette séquence, les élèves seront amenés à manipuler le concept d'angle. Or, ils ont souvent tendance à définir un angle comme une figure composée de deux segments de même longueur et origine. Ainsi, deux figures différant par la seule longueur des côtés leur apparaissent comme représentant deux angles différents. Il sera donc intéressant d'insister sur le fait que l'angle se définit plutôt comme la mesure de l'écart entre deux directions matérialisées par des droites ou des segments de longueur quelconque.

et activités pour y remédier :

Pour cela, donnez par exemple des photocopies montrant des paires d'angles égaux mais dont l'un aura ses côtés plus courts que l'autre : en les découpant et en les superposant (ou en reproduisant un angle de chaque paire sur du calque) les enfants verront que l'écartement des côtés est le même.

Si vous souhaitez faire matérialiser différents angles pour des mises en ordre (par exemple du plus ouvert au plus fermé), les élèves utiliseront du bristol pour confectionner des secteurs angulaires, puis ils marqueront par un petit arc de cercle l'angle à considérer. Ils s'amuseront à comparer ces angles en superposant les secteurs angulaires (tout en prenant bien soin de faire coïncider les sommets des angles).




Ils peuvent également rechercher autour d'eux, dans la classe, la présence d'angles divers : mais ils constateront que les livres, cahiers, meubles, murs, fenêtres, etc. ont des angles tous égaux, quelle que soient la longueur de leurs côtés, puisque ce sont des angles droits ! (preuve éclatante que la valeur d'un angle n'a rien à voir avec la longueur de ses côtés…)

## Concertation.

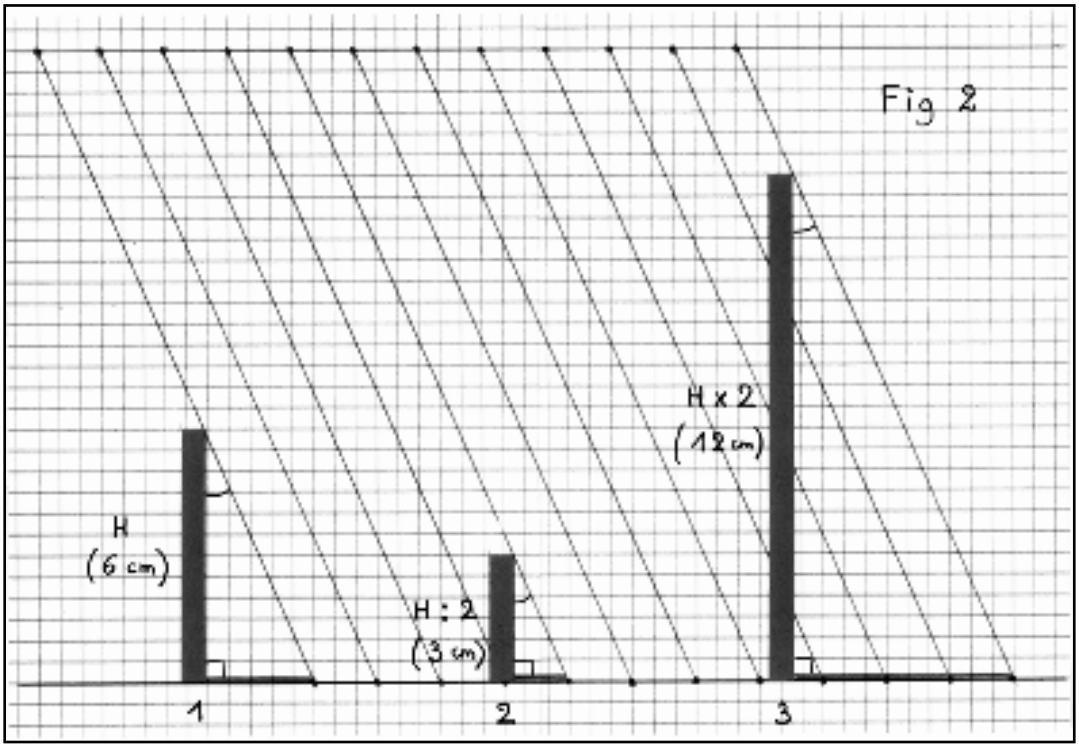
Les enfants s'interrogent sur le défi lancé à la fin du texte: : proposez-leur de faire un schéma représentant l'obélisque et son ombre, en convenant avec eux d'une échelle de réduction, et en prévoyant d'utiliser des feuilles de papier quadrillé ou millimétré.

Seulement, une question risque de se poser : comment être sûr que l'inclinaison des rayons sera la même dans cette représentation réduite ? En d'autres termes, l'angle entre les rayons et l'obélisque est-il conservé lorsqu'on change d'échelle ou bien est-il lui aussi divisé de la même façon ? Les enfants débattent alors de cette question qu'ils se posent de la façon suivante : " Est-ce qu'un gnomon deux fois plus haut fera (à la même heure) une ombre deux fois plus longue ? Et l'angle, sera-t-il aussi doublé ? " (La réponse est bien sûr " oui " pour la première interrogation, mais " non " pour la seconde !) Notant leurs hypothèses sur leurs cahiers d'expériences, les élèves répondront probablement : " oui, l'ombre fera sûrement le double " : ils pourront le vérifier sur le papier (voir plus loin) et bien sûr sur le terrain. La recherche des réponses à ces questions permettra d'aborder en toute simplicité la notion de proportion…

Faire apparaître par un schéma l'angle des rayons solaires

Sur leur papier quadrillé, les enfants commencent par tracer à la règle une ligne horizontale figurant le sol, puis ils choisissent la pente des rayons solaires (en comptant un certain nombre de petits carreaux décalés vers le bas comme le montre la Figure 2 ci-dessous), et tracent à la règle un réseau de rayons

parallèles. Ensuite, ils dessinent (ou découpent dans une bandelette de papier de couleur) un premier gnomon, par exemple de 6 cm, de façon à ce que son extrémité touche l'un des rayons, tout en veillant à ce que sa base touche bien le sol.




Ils obtiennent donc un triangle rectangle puisque l'angle entre le gnomon et le sol est un angle droit. La longueur de l'ombre est définie par le rayon passant à l'extrémité du gnomon et atteignant le sol : ils épaississent le trait de l'ombre et notent soigneusement sa mesure. Ils placent ensuite, de la même manière, un 2ème gnomon deux fois plus petit que le 1er (donc de 3 cm), puis un 3ème deux fois plus grand (de 12 cm) et mesurent leurs ombres respectives. En faisant le rapport de chaque valeur obtenue avec celle de l'ombre du 1er gnomon, ils trouvent en effet la moitié pour la 2ème ombre et le double pour la 3ème : leur hypothèse se trouve donc vérifiée.

## Faire une découverte fondamentale.

Faire une découverte fondamentale
Mais, qu'en est-il de l'angle des rayons solaires ? A-t-il varié d'un gnomon à l'autre ? " On dirait bien que l'angle est resté le même ! " Après vérification à l'aide d'un calque, cela s'avère exact. Mais que se passerait-il si on recommençait l'expérience avec un gnomon 3 ou 5 fois plus grand ou plus petit ? Réponse unanime : " Les ombres seraient 3 ou 5 fois plus grandes ou plus petites, mais l'angle resterait encore le même ! ".

Et si on changeait maintenant l'inclinaison des rayons et qu'on recommence le schéma ? Les élèves s'apercevront que cela ne va rien changer aux conclusions, puisque les rayons du Soleil qui atteignent les gnomons sont parallèles. Quelle découverte ! Ainsi, quelle que soit la hauteur d'un gnomon, l'angle des rayons, à un moment précis, est invariable. " Donc, l'obélisque d'Eratosthène aurait pu être plus grande ou plus petite, il aurait trouvé le même angle ! "

Conclusion : on va pouvoir choisir l'échelle de réduction que l'on désire pour dessiner l'obélisque d'Alexandrie et son ombre, car ce n'est qu'une question de convention puisque la valeur de l'angle sera conservée. Il s'agira ensuite de mesurer l'angle du rayon solaire sur le schéma obtenu.

### S'initier au préalable à l'usage du rapporteur.

Si vos élèves n'ont pas encore la maîtrise du rapporteur, pas de problème : un procédé très simple va leur permettre de s'initier en douceur à ce procédé de mesure.

Donnez-leur des photocopies plus ou moins agrandies d'un rapporteur en Plexiglas, et différents angles tracés sur des morceaux de papier calque. Après avoir découvert que le sommet de l'angle doit coïncider avec " le petit trou " central du rapporteur, et que l'un des deux côtés de l'angle doit coïncider avec la graduation zéro de l'un des deux arcs gradués, ils s'entraîneront à l'évaluation de tous ces angles. Faites-leur constater au passage que la précision de la mesure augmente quand, sur la photocopie, le rayon de l'arc gradué est plus grand, et qu'on a donc tout intérêt à utiliser des photocopies très agrandies.

---

## 2) Retrouver la mesure d'angle faite par Ératosthène

**Durée :** 15 à 20 à minutes pour le schéma et la mesure de l'angle ; 45 mn à 1h pour l'exploitation du tableau de mesures.

**Lieu :** classe

---

---

**Matériel :**

feuilles de papier millimétré ou quadrillé,
papier calque,
photocopies agrandies d'un rapporteur,
crayons bien taillés,
règles,
ciseaux,
rapporteurs.
Ensuite, photocopies du tableau de mesures
(voir plus loin).
Pour la simulation,
une mappemonde (ou un ballon-Terre),
deux minuscules gnomons identiques,
lampe torche.

---

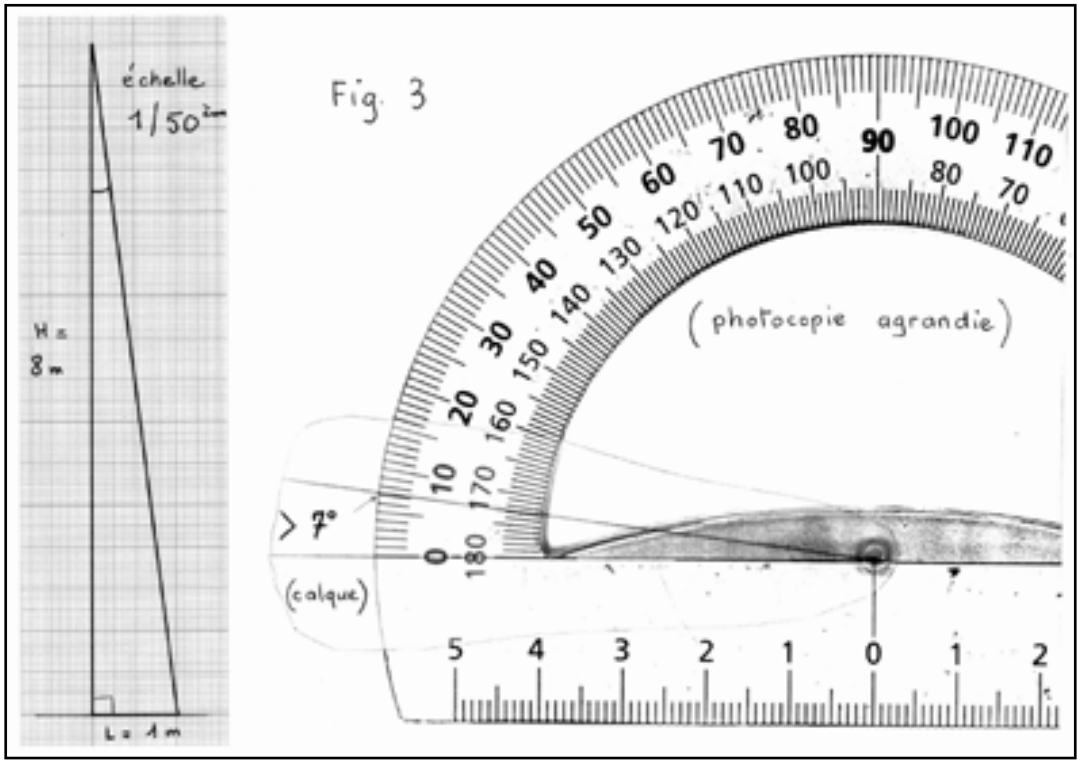
---

### Schématiser les mesures d'Eratosthène.

Répartissez les élèves en binômes et distribuez le matériel nécessaire. Sur leur feuille de papier quadrillé ou millimétré, les élèves dessinent le sol puis l'obélisque et son ombre selon l'échelle convenue : si c'est au 1/100ème, 1 cm représentera 1 mètre dans la réalité ; si c'est au 1/50ème, 2 cm représenteront 1 mètre. Les enfants tracent ensuite l'hypoténuse du triangle obtenu pour matérialiser le rayon solaire et faire

apparaître l'angle à mesurer.

Ils reproduisent alors cet angle sur du calque et le découpent en laissant tout autour une bordure quelconque, puis ils le positionnent sur la photocopie agrandie d'un rapporteur : s'ils ont été soigneux et rigoureux, ils doivent trouver un angle légèrement supérieur à 7°, ce qui correspond bien à la valeur de 7,2° trouvée par Eratosthène. Si toutefois l'écart est important avec ce résultat, ils devront se demander pourquoi et en rechercher les causes.




Les enfants remarqueront qu'avec une photocopie assez grande, la précision pourra atteindre le quart de degré, et donc atteindre celle de la mesure du savant grec ! Mais ils comprendront aussi que - de façon paradoxale - cette précision ne pourra être obtenue avec un " vrai " rapporteur, ce qu'ils vérifieront ensuite…
Ils colleront leur schéma dans leur cahier d'expériences, avec, à côté, le calque positionné sur la partie utile de la photocopie du rapporteur, et ils ajouteront quelques commentaires.

## En option : Un peu d'entraînement !

Il sera intéressant que vos élèves s'entraînent au maniement du rapporteur en exécutant le jeu suivant présenté ainsi :
" Nous avons retrouvé les mesures que notre génial savant avait pu faire tout au long de l'année à Alexandrie, à partir de l'ombre du même obélisque qui, rappelons-le, faisait 8 m de haut. Ces mesures vous sont présentées dans le tableau ci-dessous, mais certaines d'entre elles ont été effacées mystérieusement… Saurez-vous les retrouver ? "

Commencez par reproduire le tableau de données ci-dessous, puis " effacez " avec du blanc couvrant quelques valeurs d'angles et d'ombres, mais en veillant à ce que, pour une même date, l'une des deux données subsiste : en effet, celle-ci sera indispensable pour trouver l'autre. Rephotocopiez ensuite le tableau, distribuez-en un exemplaire à vos élèves et faites préciser oralement la marche à suivre.

| Mois | 21 janvier | 21 février | 21 mars | 21 avril | 21 mai | 21 juin | 21 juillet | 21 août | 21 septembre | 21 octobre | 21 novembre | 21 décembre |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Longueur de l'ombre de l'obélisque en mètres | 9.9 | 7.2 | 4.8 | 2.8 | 1.6 | 1 | 1.5 | 2.8 | 4.7 | 7.2 | 9.9 | 11.3 |
| Angle des rayons avec l'obélisque en degrés | 51.1 | 41.8 | 31 | 19.3 | 11.1 | 7.2 | 10.8 | 19.2 | 30.6 | 42.0 | 51.2 | 54.7 |

Vos élèves auront ainsi l'occasion de s'entraîner à faire des schémas en réduction, et de manipuler le rapporteur afin de pouvoir remplir les cases vides : ce sera un bon entraînement pour évaluer les angles découlant de leurs propres relevés, ceux déjà faits et ceux à venir (voir plus loin).

## Exploiter le tableau de données

Une fois les données manquantes retrouvées, les enfants vont remarquer que la longueur de l'ombre à midi, d'une part, et l'inclinaison des rayons solaires, d'autre part, varient - mais en sens inverse - tout au long de l'année (l'angle évolue d'un maximum le 21 décembre à un minimum le 21 juin). Ils auront probablement déjà remarqué cette évolution au cours de leurs relevés depuis le début du projet. Mais si ce n'est pas le cas, cette découverte va forcément les intriguer et ils voudront en savoir plus. Pour vérifier par eux-mêmes si c'est aussi le cas dans leur localité, il leur faudra faire de nouveaux relevés dans les semaines à venir pour en déduire l'angle des rayons solaires et voir leur évolution jusqu'à la fin de l'année scolaire….

En attendant, ils vont pouvoir exploiter les relevés déjà effectués en les schématisant pour en évaluer l'angle avec un rapporteur, puis comparer cette valeur avec celle trouvée à Alexandrie à la date la plus proche. Ils noteront la différence, tenteront de l'expliquer, puis feront une simulation pour vérifier.

## Simulation avec une mappemonde (ou un " ballon-Terre ")

Rappelez-leur les simulations avec le "ballon-Terre" (voir la partie 4 de la séquence 3). Ils se souviendront sûrement que les ombres des gnomons étaient de plus en plus grandes en s'éloignant de Syène vers le Nord ou vers le Sud. Dans le premier cas, elles pointaient vers le nord, dans le second cas, vers le sud.

Ils vérifieront cela de nouveau sur une mappemonde (ou un ballon-Terre) et deux minuscules gnomons identiques, en prenant cette fois Alexandrie pour référence : en s'aidant d'un Atlas, ils situeront (à peu près sur le ballon) leur propre localité par rapport à cette ville où ils feront apparaître une ombre très courte en position midi solaire. Ensuite, ils feront tourner la mappemonde pour obtenir l'ombre la plus courte au niveau de leur localité, et compareront les deux. Selon la situation géographique de votre pays, la conclusion de cette modélisation sera variable, les enfants observant selon les cas une ombre plus grande (au nord du tropique du Cancer et au sud du Tropique du Capricorne), ou plus courte (dans la zone intertropicale).

## 3) Réalisation du gnomon " Eratos ".

**Durée :** une ou deux séances pour la réalisation et le réglage du gnomon.

**Lieu :** classe puis lieu ensoleillé.

**Matériel :**

**Pour le groupe-classe :**
matériaux choisis pour construire le gnomon et son support,
outils,
matériel pour le régler (" équerre double ", niveau à bulle, boussole).

### Concertation

Une séance plénière se tiendra pour établir le cahier des charges de la réalisation du gnomon " Eratos ". Tout en tenant compte des contraintes matérielles (notamment celle des dimensions du support qui ne devra pas excéder un mètre carré), chacun exprimera ses idées sur la question.
Sachant que le flou augmente vers la pointe de l'ombre, certains élèves opteront pour une tige assez courte, 15 cm leur paraissant raisonnable. Prévoyant que les ombres vont raccourcir jusqu'au 21 juin (dans l'hémisphère nord mais inversement au sud) voudront un instrument moins modeste pour le simple plaisir de pouvoir le décorer " comme un petit totem " : ils n'hésiteront pas à proposer une hauteur de 30 cm.
Un consensus pourra donc s'établir pour un gnomon faisant entre 10 et 20 cm de hauteur, de section cylindrique mais de faible diamètre, ayant un bout plat, et fixé sur un support rectangulaire d'environ 60 x 40 cm. Attention, sous certaines latitudes, aux tiges métalliques qui vont chauffer au soleil et qui risquent de se dilater si elles sont exposées longuement.

### Réalisation du gnomon.

Les élèves ayant été largement entraînés à ce genre de tâche et fourmillant d'idées plus originales les unes que les autres (lesquelles seront rigoureusement soupesées avant toute exécution !) nous ne nous étendrons pas sur ce sujet. Néanmoins, une certaine sobriété sera de mise en ce qui concerne le support : pas de traitement qui puisse faire gondoler sa surface ni de décorations qui puissent gêner les relevés d'ombre ! ***Méfiez-vous également du rayonnement solaire qui risque de dilater ou de déformer les matériaux que vous utiliserez si la température au moment des mesures atteint les 30 degrés. Il ne faut pas que le support se gondole car il doit rester absolument plan pour la fiabilité des relevés.***

### Orientation et réglage.

En ce qui concerne l'orientation du support, puis le réglage de son horizontalité et de la perpendicularité de la tige, voir la partie Réglage des gnomons tout à la fin de la séquence 2. Il va de soi que le plus grand soin sera apporté à cette triple opération, laquelle devra être vérifiée et renouvelée si besoin est, avant chaque relevé.

### Témoignage de M. Pouyet de l'école de Rocquigny (08), sur la fabrication du gnomon (projet 2001) :

*"Voici comment nous avons construit nos gnomons :*
*Les enfants ont d'abord construit un gnomon individuel :*
*-une plaque de carton épais plantée d'une tige (bâton, grand cure-dents) et avec lequel ils ont effectué les premiers relevés....peu fiables. Très vite, il a fallu tenir compte de divers paramètres (horizontalité et verticalité) et pour finir notre gnomon se compose :*
*-d'une plaque de contreplaqué (2cm d'épaisseur) de 50cmx30cm percée d'un trou sur un des côtés,*
*-d'une tige filetée de 15cm fixée perpendiculairement à la plaque avec écrou et contre-écrou.*
*Ensuite, nous avons convenu d'un endroit dans la cour ensoleillé pendant le temps de midi, nous avons vérifié son horizontalité avec le niveau et les mesures se font toujours à cet endroit.*
*Nous marquons donc la longueur de l'ombre du gnomon sur la plaque et de retour en classe nous reproduisons à l'échelle 1/2 sur papier millimétré le triangle formé par les rayons solaires, l'ombre du gnomon et le gnomon lui-même. Nous mesurons l'angle obtenu.*
*Le tout ne prend guère plus de 10 minutes."*

---

## 4) Mesures angulaires spécifiques au projet avec le gnomon " Ératos "

**Durée :** pendant plusieurs semaines, en fonction de la météo, 10 mn quotidiennes de relevés d'ombre lors du midi solaire, suivies d'une courte séance pour déterminer l'angle des rayons.

**Lieu :** lieu ensoleillé, classe.

---

---

**Matériel :**

**Pour le groupe-classe :**
:le gnomon " Eratos ",
des feuilles de papier millimétré,
crayons bien taillés,
règles,
rapporteurs,
du fil de couture.

---

Voici, enfin, le véritable départ de l'opération Eratosthène !

Les relevés de mesures que vous allez maintenant effectuer devront avoir lieu au midi solaire exactement. Le dernier paragraphe de la séquence 3 vous proposait plusieurs solutions pour évaluer, tout au long de l'année, l'heure à vos montres (heure civile) du midi solaire. Nous vous les rappelons ici :

1. Se contenter du tracé de la direction nord donnée par une boussole, tout en sachant qu'elle est légèrement différente du nord géographique, ce qui entraînera une petite " erreur " au départ. On guettera ensuite le moment où l'ombre du gnomon franchit cette direction.
2. Tracer sur le socle du gnomon (repéré soigneusement sur le sol) ce qu'on appelle une méridienne, c'est-à-dire un fragment du méridien du lieu, ce qui donnera le nord géographique. C'est une activité très intéressante, à faire une fois pour toutes, proposée en option (voir la fiche : " tracé de la méridienne ")
Se connecter sur le site du B. D. L. (Bureau des longitudes) qui, en fonction de votre localité et de la date choisie, vous fournira l'heure du midi solaire, mais en Temps Universel . En France, vous aurez à ajouter1 h si c'est l'heure d'hiver, et 2 h après le passage à l'heure d'été (pensez à régler vos montres sur l'horloge parlante). Voici l'adresse du site Internet : http://www.bdl.fr/cgi-bin/levcou.cgi

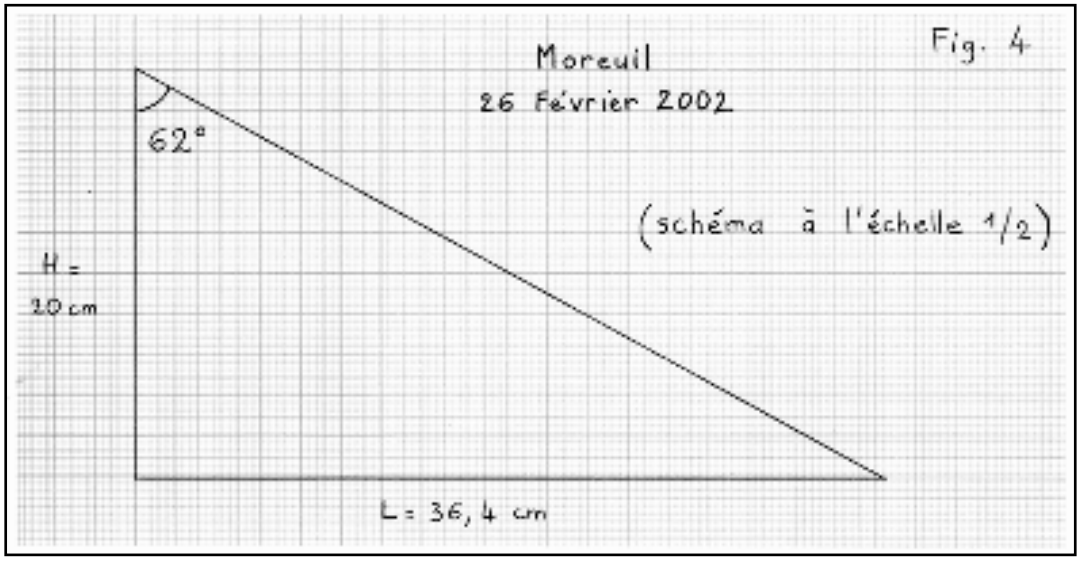
(Notez que dès le premier relevé fait à l'heure précise indiquée par le B.D.L., vous pourrez tracer la méridienne du lieu puisque celle-ci coïncidera avec le tracé de l'ombre.

## "Manip"

Chaque jour, quand le soleil brille à la mi-journée et que l'ombre du gnomon " Eratos " peut honorer son rendez-vous avec la méridienne, un élève vient faire un repère très précis au crayon à l'extrémité de l'ombre, puis mesure sa longueur soigneusement.

## Schéma.

Avec un crayon à pointe très fine, il reporte sur une feuille de papier millimétré, en grandeur réelle ou à l'échelle 1/2, la hauteur du gnomon et la longueur de l'ombre (mesurées au millimètre près, c'est très important), puis il trace le rayon solaire par une droite joignant les deux extrémités.



## Mesure de l'angle.

Il ne reste plus qu'à mesurer l'angle à l'aide d'un rapporteur, avec toute la précision possible, c'est-à-dire à un degré ou un demi degré près ! Pour avoir une précision encore plus grande, on peut reprendre la technique du report de l'angle sur un calque puis de son positionnement sur la photocopie agrandie d'un rapporteur (revoir la figure 3).

On aura intérêt à ce que trois élèves fassent ce travail en parallèle, à partir bien sûr du même repère initial (d'où l'importance de celui-ci) : si deux ou trois des résultats concordent de façon très " serrée ", cela permettra de valider l'un ou l'autre, sinon il faudra recommencer les schémas.

## Variante en option.

Des élèves voudront essayer de mesurer l'angle sur le terrain, c'est-à-dire en tendant un fil (très fin, de type fil de couture) de l'extrémité du gnomon jusqu'à celle de l'ombre, et en utilisant un rapporteur : ils verront que la " manip " est très délicate, surtout pour la tenue du fil et l'ajustement du rapporteur par rapport à la tige du gnomon ! Néanmoins ils pourront comparer leurs résultats avec ceux obtenus à l'aide des schémas et en tirer des conclusions.

On peut également faire une autre mesure de l'angle sur le terrain par une technique très simple et rapide : il s'agit de la visée directe de l'ombre minimale de ce qu'on appelle un quadrant (cela nous a été suggéré l'an dernier par Gérard Corbet, enseignant) : voir la fiche d'activités correspondante.

## Remarques:

Au fil des jours, on remarquera que les repères sur la méridienne se déplacent lentement sur celle-ci : dès le 22 décembre, ils sembleront " reculer " vers la base du gnomon. Les enfants en déduiront que la trajectoire du Soleil, après avoir atteint son plus bas niveau dans le ciel de décembre, est en train de remonter (jusqu'au 21 juin). Pensez alors à faire référence aux mesures du tableau des ombres à Alexandrie, et analysez avec eux les similitudes dans les variations de " l'ombre-calendrier " au fil de l'année.

Et si un jour l'ombre du gnomon affiche la même longueur que le gnomon lui-même, vos élèves verront que l'angle fait la moitié de l'angle droit, " comme quand on plie en deux le coin d'une feuille ". Ajoutons à ce propos qu'une localité ayant justement une latitude de 45° (comme c'est le cas pour Bordeaux), verra cela se produire le 21 mars, jour d'équinoxe (et le 21 septembre) : en effet, au moment de l'équinoxe, l'angle des rayons solaires correspond à la latitude du lieu (et donc, chaque école, où qu'elle se trouve, verra ce jour-là s'afficher également l'angle de sa propre latitude !).

## Communications et échanges:

Pour chaque relevé fait au moment du midi solaire, la valeur trouvée pour l'angle sera notée soigneusement sur le schéma, ainsi que la date (et l'heure civile, mais seulement à titre indicatif puisque cette heure-là ne sera pas prise en compte lors des calculs ultérieurs).

***Ces informations seront à reporter dans le tableau que nous avons créé sur le site Internet dédié au projet, dans le but que vous puissiez communiquer - et donc partager - vos mesures avec les écoles partenaires réparties dans le monde entier.***

http://www.mapmonde.org/eratos/measures.php?lang=fr

Pensez à publier régulièrement vos mesures et observez bien les résultats des autres écoles : la comparaison des mesures entre les classes fera l'objet de la prochaine séquence, et elle vous permettra d'introduire la notion de coordonnées géographiques. À bientôt sur le site !

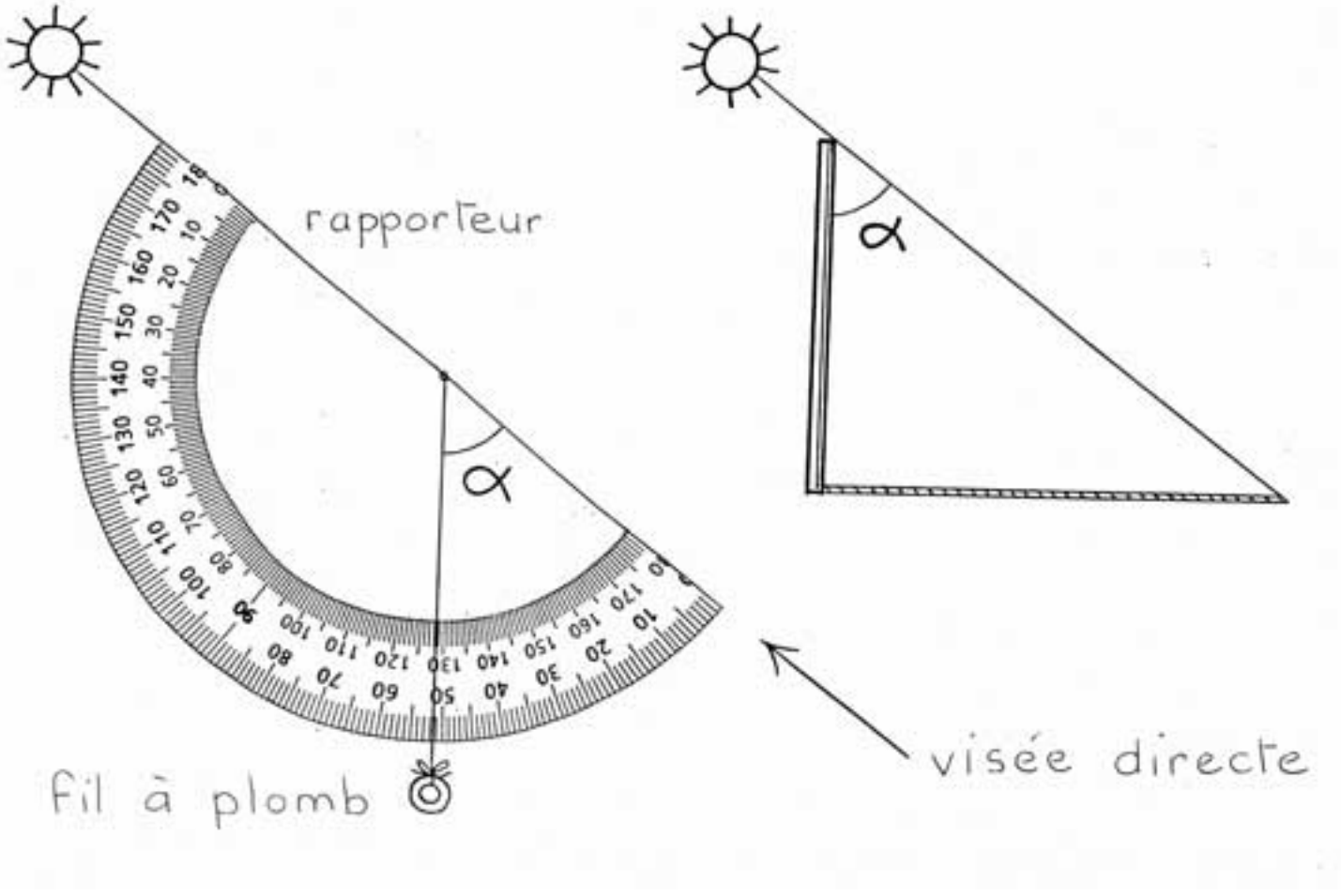
**Séance complémentaire (Séquence 4)**

# Mesurer l'angle des rayons solaires à l'aide d'un quadrant

(Visée directe par ombre minimale d'un quadrant)

---

Voici une autre méthode pour mesurer l'angle des rayons solaires, rapide et simple, que vos élèves seront ravis de pratiquer en parallèle avec celle utilisant le gnomon Eratos. S'inspirant du principe de la visée directe du sextant de marine, elle permet de faire une lecture immédiate de l'angle (que nous appellerons a) grâce à un instrument appelé quadrant, donc, sans avoir recours à un gnomon. La figure ci-dessous illustre ce principe mais notez dès à présent que le pointage de l'instrument vers le Soleil se fera par la projection de son ombre minimale sur un écran et non par une visée oculaire - très dangereuse pour les yeux s'ils ne sont pas protégés par des filtres spéciaux.



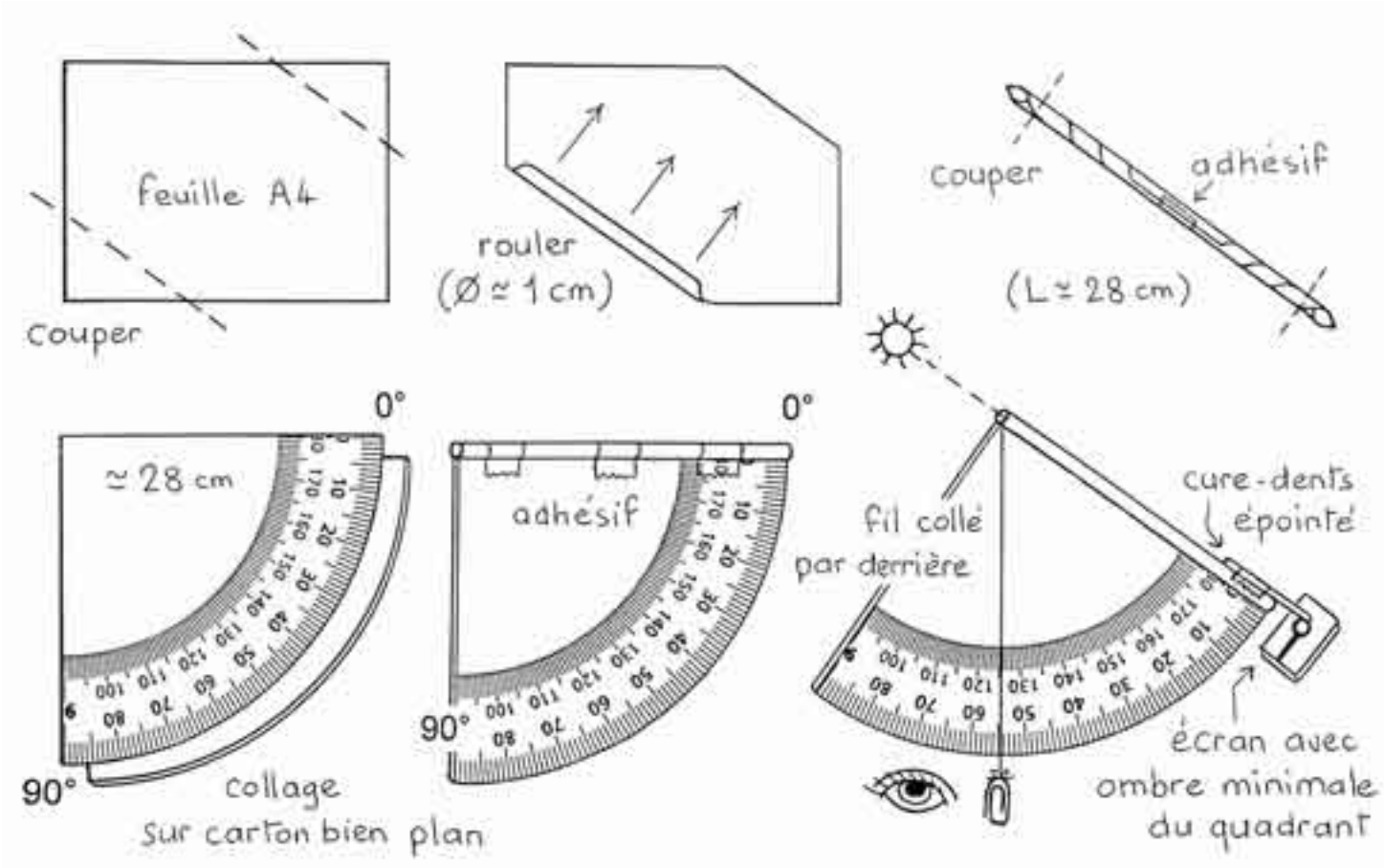

## Matériel

- Une feuille de papier A4
- Un carré de carton rigide d'environ 30 cm de côté, un autre d'environ 8 cm ;
- La photocopie très agrandie d'un (demi) rapporteur
- Un cure-dents épointé
- Du fil ordinaire
- Un trombone

- De l'adhésif.

## Réaliser un quadrant collectif

Comme pour le gnomon Eratos, le quadrant doit être réalisé avec un soin tout particulier pour obtenir une mesure très précise de l'angle a (théoriquement au quart de degré !). La figure ci-dessous en décrit le processus auquel nous ajoutons quelques compléments :
En roulant la feuille de papier, veillez à ce que le tube soit bien cylindrique. Photocopiez la partie utile d'un rapporteur d'écolier en deux agrandissements successifs, le dernier sur une feuille A3, mais vérifiez ensuite que l'angle droit fait bien 90° : en effet, certains copieurs engendrent des déformations. Le fil à plomb doit très peu dépasser du quadrant pour se stabiliser plus vite (par de légers contacts répétés avec le quadrant).
Quant à l'écran, vous aurez remarqué qu'il est solidaire du tube et qu'il se réduit à un petit rectangle (ou carré) placé à 2 cm environ en arrière de celui-ci (vous en découvrirez vite les avantages par rapport à un écran plus grand que l'on tiendrait derrière le quadrant). Avant chaque mesure, vous vérifierez, en le regardant de profil et par au-dessus, que cet écran est bien perpendiculaire au tube.
Attention, le quadrant offrira une certaine prise au vent : essayez alors de trouver un endroit abrité, sinon renoncez à ce procédé (de toute façon, chaque résultat sera confronté à celui obtenu avec le gnomon par un autre enfant).




## Mesurer l'angle α sur le quadrant

Quelques minutes avant le moment du midi solaire, l'enfant-manipulateur va se mettre au soleil pour positionner le quadrant de la façon suivante : il présente le profil de l'instrument face au Soleil, mais sans s'occuper du fil à plomb dans un premier temps. Une fois l'ombre minimale obtenue sur l'écran, il regarde le fil : est-il trop décollé du quadrant ou, au contraire, s'appuie-t-il trop dessus ?
*Dans les deux cas*, il va falloir rectifier un peu la position de l'instrument pour obtenir un léger contact du fil. Sans s'occuper de l'ombre cette fois, l'enfant redresse doucement le quadrant pour obtenir ce contact. Mais voilà : l'ombre n'est plus tout à fait minimale… Considérant alors le fil comme un axe vertical autour duquel peut pivoter l'instrument, il rectifie doucement l'orientation de celui-ci pour voir réapparaître son ombre minimale.
Après avoir stabilisé le fil juste avant l'instant du midi solaire et avoir jeté un dernier coup d'œil sur l'ombre, il lit la valeur de l'angle a, au quart de degré près… L'opération n'aura duré qu'une minute ou deux ! Le résultat sera bien sûr confronté à celui obtenu en parallèle avec le gnomon.

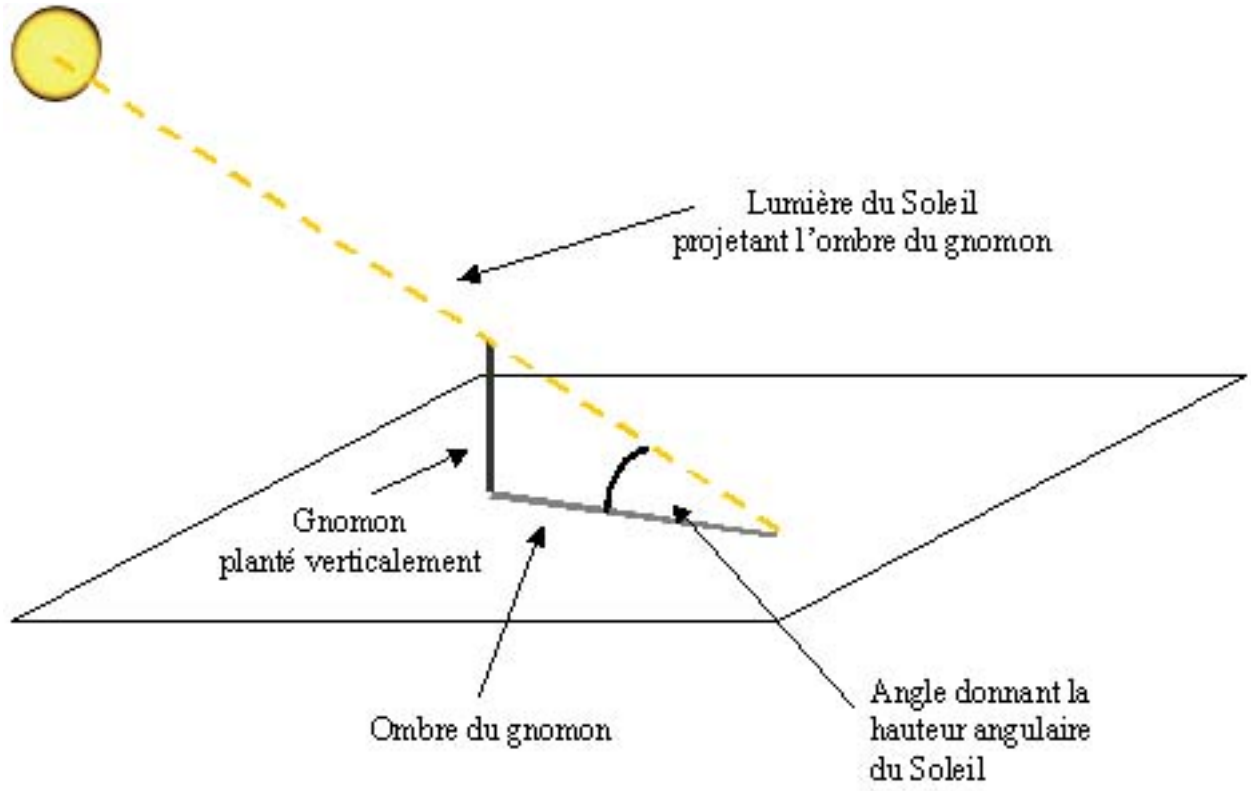
**Séquence 4**

# Complément historique de la séquence 4

## Mesurer la hauteur du Soleil dans le ciel

### Méthode du gnomon

Le principe découle simplement de l'observation de l'ombre du gnomon. Il suffit simplement de noter la longueur de l'ombre ainsi que sa direction, plusieurs fois dans une même journée. Avec un simple dessin et un rapide calcul d'angle, on peut trouver la hauteur angulaire du Soleil, et même tracer au sol une représentation de la trajectoire du Soleil.




### Méthode du dioptre

Le dioptre fut inventé par Archimède. Il s'agit d'un cercle gradué (comme un rapporteur de 360°), portant une tige mobile sur son axe central (voir schéma). Avant toute mesure, il est important de s'assurer de la bonne horizontalité de l'appareil (et bien évidemment de protéger ses yeux contre les rayons du Soleil avec des lunettes spéciales, comme pour regarder une éclipse).
L'observateur place son œil au bas de la tige et vise vers le Soleil, de façon à ce que les rayons lumineux viennent éclairer l'œilleton (c'est à dire quand les rayons du Soleil sont parallèles à l'axe de la tige). On note l'angle que fait la tige avec le 0 du cercle gradué., obtenant ainsi l'angle que font les rayons du Soleil avec l'horizon terrestre.

En faisant plusieurs mesures par jour, plusieurs fois dans l'année, on peut donc reconstituer la trajectoire du

Soleil au cours du temps.

Il est facile de fabriquer un dioptre soi-même : il suffit d'avoir une base (stable et horizontale, ce que l'on peut obtenir avec un trépied pour appareil photo et un simple niveau à bulle), un rapporteur (qui peut n'être que de 180°, comme sur l'image ci dessous), une tige rectiligne portant un oeilleton et un peu de motivation

**Séquence 4**

# Assistance technique de la séquence 4 : améliorer et évaluer la précision de vos mesures

Afin de faciliter les échanges entre les écoles, tous les participants à l'opération ont été répartis dans 8 groupes à peu près homogènes (plus un groupe pour les écoles égyptiennes). Compte tenu de la répartition en latitude de l'ensemble des écoles sur le territoire français, nous nous sommes efforcés de garantir un écart de latitude minimum entre les écoles d'un même groupe. C'est-à-dire que, quel que soit votre groupe, nous avons essayé de vous associer au moins un partenaire dont la latitude diffère de la vôtre d'au moins 3 ou 4 degrés.

Pourquoi ? Parce qu'un correspondant situé à 4 degrés au sud de votre ville mesurera un angle inférieur de 4 degrés à celui que vous mesurerez le même jour. Malheureusement, les mesures que vous faites ou allez faire avec vos élèves ne sont qu'une estimation de l'angle réel entre le Soleil et la verticale. Comme vous vous en doutez, cette estimation est nécessairement entachée d'erreur. Tantôt, vous mesurerez un angle supérieur à la réalité, tantôt inférieur. Cet écart, cette erreur dépend à la fois de la qualité de votre gnomon (longueur et “perpendicularité” du stylet), et de la qualité de sa mise en station (horizontalité de la planche, tracé du méridien local). Vous aurez bien sûr compris que votre objectif est de faire une mesure aussi précise que possible.

Si l'erreur que vous commettez sur chaque mesure est de 3 à 4 degrés, il est évident que votre calcul du tour de la Terre sera très éloigné de la réalité puisque cette erreur est justement égale à la différence entre votre mesure et celle de votre partenaire. Si vous arrivez à faire une mesure fiable à 2 degrés près, c'est mieux mais votre partenaire ayant à peu près la même précision, il y a encore un fort risque que la différence de vos mesures s'annule ! En conclusion, il est donc nécessaire que votre gnomon soit suffisamment bien réglé et bien installé pour vous permettre de faire des mesures avec une précision de (au moins) 1 degré.

Cette fiche technique devrait vous  aider à contrôler et améliorer votre instrument de mesure afin de publier rapidement des mesures aussi précises que possible. Parmi les écoles qui ont déjà publié quelques mesures, certaines remplissent déjà ce critère de précision. Vous pouvez donc tous y arriver ! Nous avons voulu regrouper dans cette fiche un ensemble de conseils et d'idées pour vous assister. Bien évidemment, ce ne sont que des suggestions, et leur liste n'est pas exhaustive... N'hésitez pas à contacter par courrier électronique les écoles de votre groupe et à échanger vos astuces techniques , les listes de diffusion sont faites pour cela !

## Des erreurs à répétition !

À chaque fois que vous assemblez deux parties de votre instrument ou que vous installez votre instrument avant une mesure, vous commettez inexorablement de petites erreurs qui, mises bout à bout, pourraient bien fausser votre mesure. Parfois celles-ci se compensent par chance, parfois elles s'ajoutent et nuisent gravement à vos relevés, alors il est bon de contrôler toutes les étapes avec la plus grande minutie.

Faites donc avec vos élèves la liste des différentes étapes qui ont mené à chaque mesure, depuis l'assemblage de votre gnomon : choix et mesure de la longueur du stylet, fixation de cette tige perpendiculairement à la planche qui est elle-même censée être parfaitement plane, installation de la planche et vérification de son horizontalité, tracé du méridien et repérage du passage de l'ombre du stylet sur la ligne méridienne, mesure de cette ombre, tracé du secteur angulaire grâce aux longueurs de l'ombre

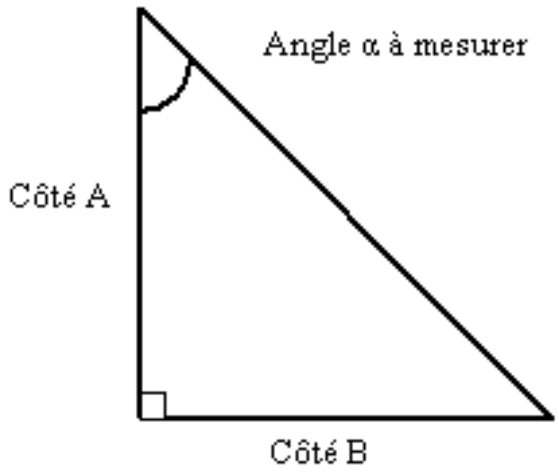
et du stylet et enfin mesure de cet angle.

Il vous faut maintenant admettre qu'à chacune de ces étapes, vous avez fait une faible erreur. Vous comprenez que la mesure finale et donc le calcul du diamètre terrestre peuvent être très éloignés de la réalité ! Voyons maintenant ensemble quelques idées et astuces pour évaluer et minimiser ces erreurs.

## Règle de base

Comment réduire au maximum l'erreur de mesure sur un angle ? En augmentant au maximum les longueurs des côtés que vous tracez pour mesurer cet angle (voir la figure 1). En effet, on ne peut jamais connaître exactement une longueur, mais on la mesure avec une certaine précision (donnez un double décimètre à 3 élèves successivement et demandez-leur de mesurer la taille de votre bureau au demi-millimètre près : ils trouveront à coup sûr 3 mesures différentes !).

Supposons maintenant que vous souhaitiez mesurer l'angle alpha représenté sur la figure 1 ci-dessous à partir de la connaissance des longueurs des segments A et B. Supposons (ce qui est raisonnable) que les longueurs de A et B ont été mesurées à ± 1 mm. La figure vous montre que ces incertitudes sur les longueurs A et B entraînent une incertitude sur la connaissance de l'angle alpha lui-même.



**Séquence 5**

# Mesurer la taille de la Terre

## Introduction

Vous voici arrivés au bout du chemin ! Cette ultime étape couronnera les efforts et la persévérance qui ont été les vôtres tout au long du projet et dont nous vous félicitons. Le moment est bientôt venu d'utiliser les données que vous aurez soigneusement récoltées soit par vos propres relevés soit en communiquant avec d'autres classes via Internet. Mesurons maintenant ensemble la longueur de votre méridien et calculons enfin la taille de notre planète.

**Remarque** : cette dernière étape est la plus délicate du projet, c'est pourquoi nous avons délibérément choisi une démarche progressive qui vous permettra de guider vos élèves vers le calcul final.

*Lien avec les programmes de l'école primaire (BO N° 1 du 14/02/02) du cycle 3 :*

- Sciences expérimentales et technologiques :
    - La matière : plan horizontal et vertical : intérêt dans quelques dispositifs techniques.
    - Le ciel et la Terre :
        - la lumière et les ombres
        - le mouvement apparent du Soleil..
- Mathématiques :
    - Espace et géométrie :
        - l'utilisation de plans et de cartes.
        - l'utilisation d'instruments (règle, équerre, compas) et de techniques (pliages, calque, papier quadrillé).
        - les relations et propriétés géométriques : alignement, perpendicularité, parallélisme
    - Grandeurs et mesures :
        - le repérage du temps et des durées (année, mois, semaine, jour, heure, minute, seconde) et leurs relations.
        - les angles : comparaison, reproduction.
    - Exploitation des données numériques :
        - problèmes relevant de la proportionnalité.
        - utilisation de données organisées en listes, en tableaux.
- Géographie :
    - Regards sur le monde : comparaison de représentations globales de la Terre (globes, planisphères) et du monde (cartes).

*Lien avec les fiches connaissances :*

Fiche de connaissance N° 17 : Lumière et ombres.

Fiche de connaissance N° 19 : Mouvement apparent du Soleil.

*Extrait du document d'application des nouveaux programmes en sciences expérimentales et technologiques :*

*Compétences spécifiques :*

*? Savoir que les repérages sont relatifs : tel lieu est à l'est (ou au nord) de tel autre mais à l'ouest (ou au sud) d'un troisième.*

*? Être capable de représenter qualitativement la trajectoire apparente du Soleil dans le ciel et son évolution au fil de l'année. Savoir qu'elle est la plus courte à la date du solstice d'hiver (le soleil est alors bas sur l'horizon) et la plus longue à la date du solstice d'été (le soleil est alors haut dans le ciel).Être capable d'exploiter un calendrier pour déterminer les caractéristiques de chaque saison et les dates qui marquent le début de chacune d'entre elles.*
*(maths)? utiliser un plan ou une carte pour situer un objet, anticiper ou réaliser un déplacement, évaluer une distance*

*Commentaires :*
*La réalisation de mesures effectuées par des groupes d'élèves donne l'occasion de comparer les résultats et d'aborder la précision d'une mesure. Il n'est pas nécessaire d'introduire le terme d'incertitude et exclu d'utiliser le formalisme correspondant. On se contente, en liaison avec la rubrique mathématique sur les décimaux, de faire réfléchir au nombre de chiffres qu'il est raisonnable d'utiliser pour exprimer un résultat expérimental.*

---

**Sommaire de la séquence:**


- 1- Comment Eratosthène mesura la circonférence de la Terre
  - a- Notion de verticale à l'échelle de la Terre
  - b- Découvrir le secret d'Eratosthène
  - c- Mesurer la longueur du méridien
- 2- Utiliser les relevés d'une autre école pour mesurer son propre méridien
  - a- Choisir votre partenaire
  - b- Réaliser votre propre figure d'Ératosthène
  - c- Mesurer la distance entre les villes partenaires
  - d- Calculer la longueur de votre méridien
  - e- Calculer le diamètre de la Terre
  - f- Publier vos mesures dans le tableau centralisant les résultats
  - g- Envoyer une carte postale à tous les participants via notre site
- 3- Refaire l'expérience historique avec une école égyptienne le 21 juin


---

## Préliminaire : la mesure d'Eratosthène

Voici notre savant grec arrivé au bout de ses réflexions et qui nous livre enfin les résultats de son expérience. Donnez à lire le texte suivant à vos élèves :

> "Ayant mesuré l'angle entre les rayons solaires et la verticale représentée par l'obélisque dans sa ville d'Alexandrie, Ératosthène dessina sur le sol une coupe de la Terre selon un méridien. Il y figura les villes de Syène et d'Alexandrie et traça les rayons du Soleil arrivant à ces deux villes. C'est en comparant les angles de ces rayons avec la verticale en chacune de ces villes et en prolongeant le rayon du soleil à Syène jusqu'au centre de la Terre que lui vint l'idée géniale de

mesurer le tour de notre planète.

Il comprit vite qu'une seule donnée lui manquait : la distance entre Alexandrie et Syène. Il savait que les caravanes qui traversaient le désert étaient utilisées pour mesurer les distances entre les villes. En effet, des hommes qu'on appelait "bématistes" marchaient à côté des chameaux en comptant leurs pas. Connaissant la longueur moyenne d'un pas, ils calculaient les distances parcourues en multipliant cette longueur par le nombre de pas effectués durant le voyage ! On disait qu'il y avait près d'un million de pas entre Alexandrie et Syène ... Cela faisait environ 5 000 stades égyptiens (l'unité de longueur utilisée à cette époque).

Ératosthène trouva rapidement après quelques calculs simples que la circonférence de la Terre valait exactement 250 000 stades. Il s'empressa de communiquer son résultat à ses collègues scientifiques et géographes et la nouvelle se répandit vite dans tout le monde grec qu'un savant nommé Ératosthène venait pour la première fois de mesurer la taille de notre planète."

À vous de jouer ! Essayez de reproduire la figure qui rendit Ératosthène célèbre dans le monde entier et découvrez comment il a mesuré le tour de la terre. Puis utilisez vos propres mesures et celles d'une école partenaire pour calculer par vous-même la taille de notre planète.

## 1- Comment Eratosthène mesura la circonférence de la Terre

### a - notion de verticale à l'échelle de la Terre

Les enfants discutant du texte lu devant la classe sont amenés à se poser de nombreuses questions. La première chose à comprendre est la notion de verticale dans les deux villes de Syène et d'Alexandrie. S'ils ont suivi les activités sur les notions de verticalité et d'horizontalité, ils auront certainement une bonne intuition de la verticale locale. Mais que se passe-t-il à l'échelle de notre planète ?

Posez-leur la question suivante :

"Lorsque les gnomons sont bien réglés (revoir cette activité si nécessaire et les notes qu'ils avaient prises dans leur cahier d'expérience), comment se présentent-ils par rapport au support horizontal ?" Ils n'hésiteront pas à répondre qu'ils sont bien verticaux et donc perpendiculaires au sol horizontal. "Que se passe-t-il alors pour des gnomons disséminés à la surface de la Terre ?"

Ils débattront alors sur ce point et noteront dans leur cahier leurs hypothèses qu'ils tenteront de vérifier par une expérience. Pour cela, ils peuvent partir d'une simple bande de papier rigide sur laquelle ils collent des bâtonnets ou des punaises, bien perpendiculaires à la feuille posée à plat. Voici les gnomons tels qu'ils les observent autour d'eux lorsqu'ils sont réglés. Puisqu'ils sont convaincus que la Terre n'est pas plate, ils courbent alors la bande et observent que les gnomons ne sont plus parallèles mais que les directions dans lesquelles ils pointent s'écartent petit à petit. En refermant la bande sur elle-même, ils voient les gnomons rayonner à la surface de la Terre. Ils dessinent alors sur leur cahier cette étrange figure de la Terre couverte de pics comme un hérisson.

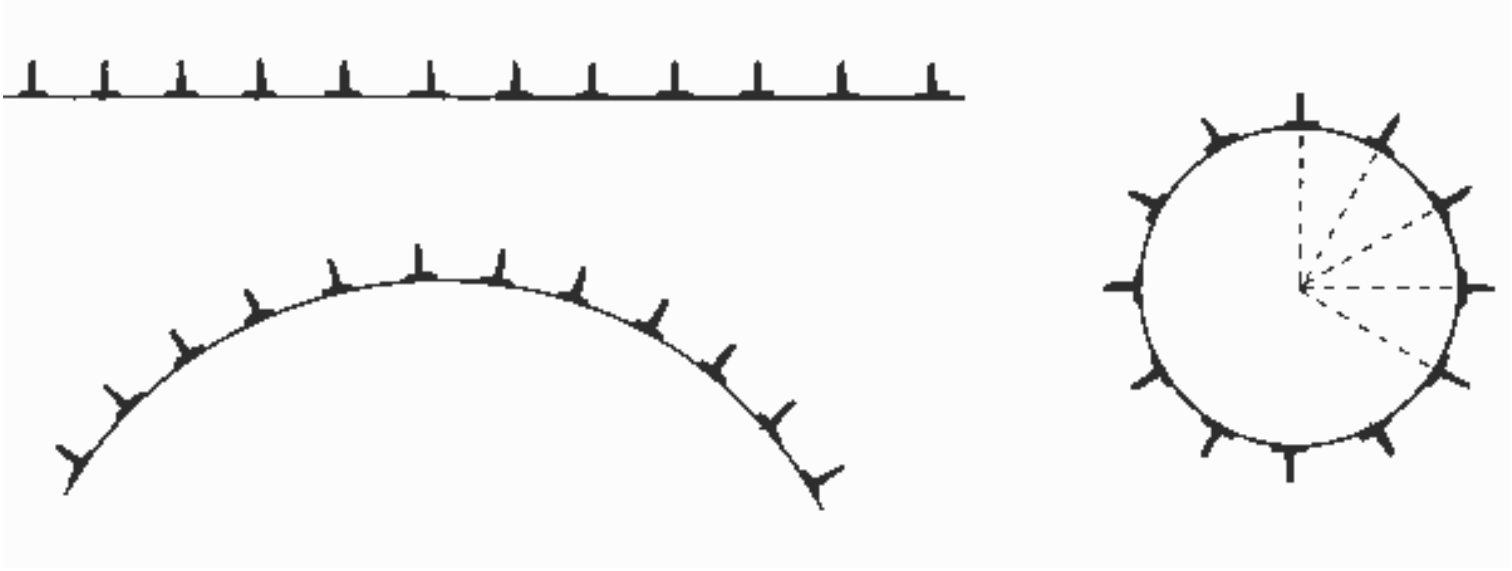


Figure 1

Remarquant que tous ces gnomons représentent la direction de la verticale en chaque point de la Terre, demandez-leur ce qui se passe lorsqu'ils prolongent par la pensée les pics à l'intérieur de la Terre ? Ils convergent tous vers le centre de la Terre ! On peut le vérifier en reprenant l'expérience précédente et en remplaçant les bâtonnets par des aiguilles à tricoter ou de pics à brochette.

Ils en concluent que la direction de la verticale en chaque point de la Terre pointe vers le centre de notre planète, et donc que les gnomons en deux villes éloignées l'une de l'autre ne sont pas parallèles mais que leurs directions font un angle entre elles.

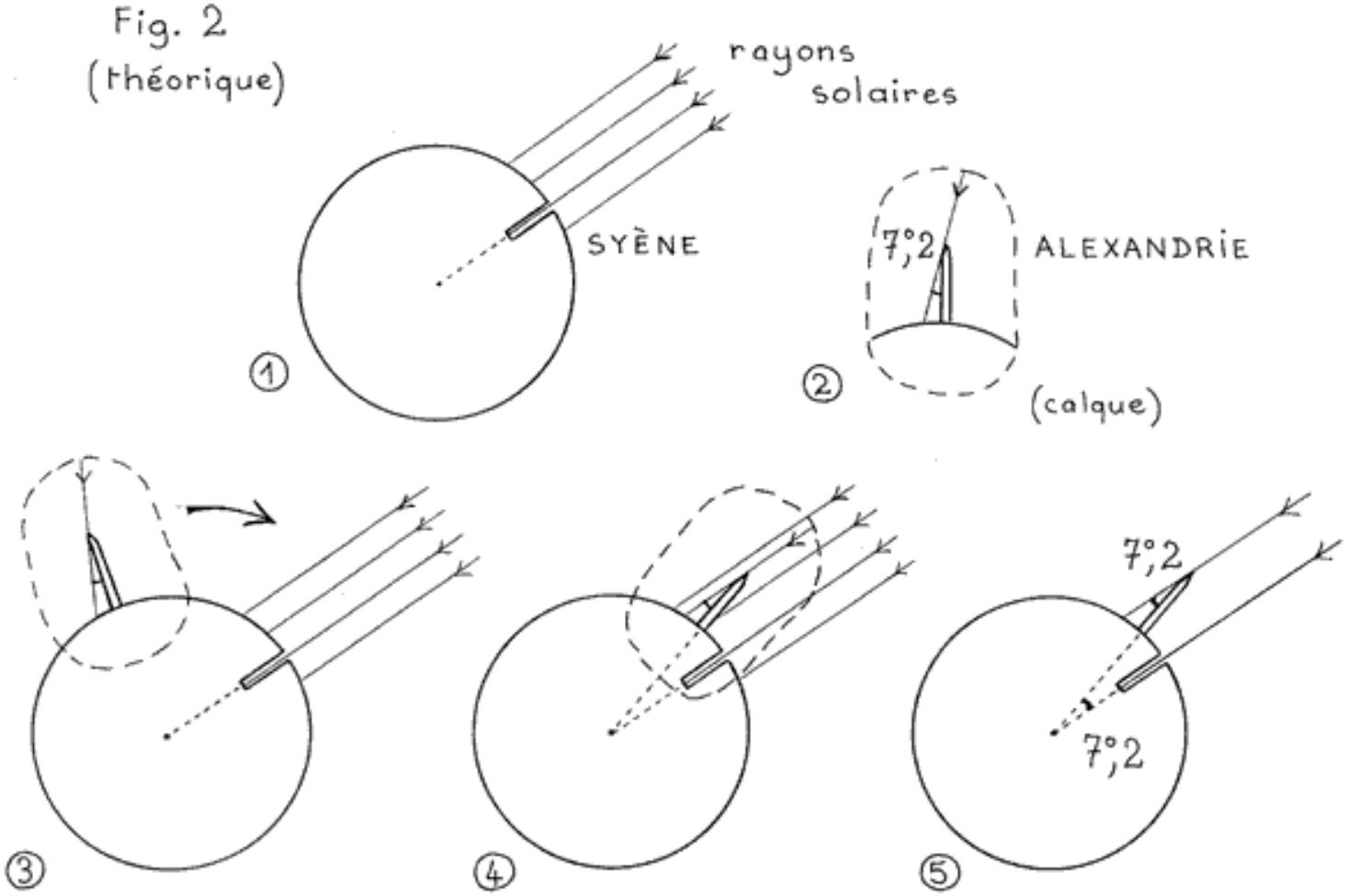
Dessinez alors au tableau le cercle-Terre et demandez-leur alors comment placer sur cette dernière figure les villes de Syène et d'Alexandrie en utilisant ce qu'ils savent sur les mesures d'Eratosthène.

### b - Découvrir le secret d'Eratosthène

La question est difficile et vous les aiderez à trouver la réponse qui les conduira à la célèbre figure d'Eratosthène !

Les petits textes historiques nous ont raconté qu'à Syène, le 21 juin à midi, les rayons du soleil atteignaient le fond des puits et que les objets verticaux n'avaient pas d'ombre. Ils suivaient donc précisément la verticale ! Sur une grande feuille format A4 ou A3, ils redessinent le cercle-Terre comme sur le premier croquis de la figure 2. Ils tracent plusieurs rayons du soleil (bien parallèles entre eux !) dont l'un suit exactement cette verticale.
(on peut commencer par tracer sur une grande feuille les rayons solaires parallèles et découper dans un canson de couleur un cercle-Terre, le fixer sur la feuille en le perçant en son centre d'une attache parisienne, on fait alors tourner la Terre jusqu'à ce que les rayons du Soleil tombent verticalement à Syène).

Comment placer Alexandrie maintenant ? Demandez-leur ce qu'Eratosthène a mesuré ce même jour et à la même heure ? "l'angle entre les rayons du soleil et son obélisque... donc l'angle que font ces rayons avec la verticale !" Il ne reste plus qu'à retrouver la valeur de cet angle (7.2 degrés) et à faire un schéma comme l'explique la figure 2. Les enfants vont utiliser un calque sur lequel ils traceront l'angle d'Alexandrie et qu'ils feront glisser ensuite sur leurs figures jusqu'à ce que le rayon tombant sur l'obélisque soit parallèle aux autres.




Le secret d'Eratosthène :
Après avoir noté au crayon noir la position d'Alexandrie, ils tracent la verticale passant par cette ville et rejoignant le centre de la Terre. Demandez-leur ce qu'ils pensent alors de l'angle entre cette verticale et celle de Syène ? "Il ressemble drôlement à celui du secteur angulaire et donc à celui mesuré par Eratosthène"

Ils s'empressent alors de le vérifier en retournant le calque et en superposant l'angle à celui au centre de la Terre. Ça marche ! C'est donc cela le secret d'Eratosthène ! Faites-leur vérifier que pour une autre valeur d'angle (le double par exemple), ils obtiennent le même résultat. Ils placent la nouvelle Alexandrie pour un angle de 14 deg, tracent la verticale et mesurent le nouvel angle au centre de la Terre. Ils peuvent également utiliser le rapporteur pour ces vérifications.

Ils reproduiront alors sur leur cahier d'expériences la figure débarrassée des tracés inutiles, fiers de l'avoir redécouverte par eux-mêmes. Ils noteront également la conclusion qui constitue le fameux secret d'Eratosthène : l'angle mesuré entre les rayons solaires et la verticale à Alexandrie est exactement l'angle entre Alexandrie et Syène mesuré au centre de la Terre. Ils verront alors apparaître sur leur figure le "Z de Zorro" qui, n'en doutons pas, les aidera à mémoriser cet incroyable résultat !

Question subsidiaire : que se passerait-il pour ces deux angles si on faisait tourner la Terre de manière à ce que les rayons solaires ne soient plus verticaux à Syène ? (faire légèrement tourner le cercle-Terre dans le sens inverse des aiguilles d'une montre)

Ils font alors l'expérience, retracent les angles et les comparent, ils vérifient alors que les angles ne sont plus

égaux !!! En effet, un angle supplémentaire vient d'apparaître à Syène et change la donne.

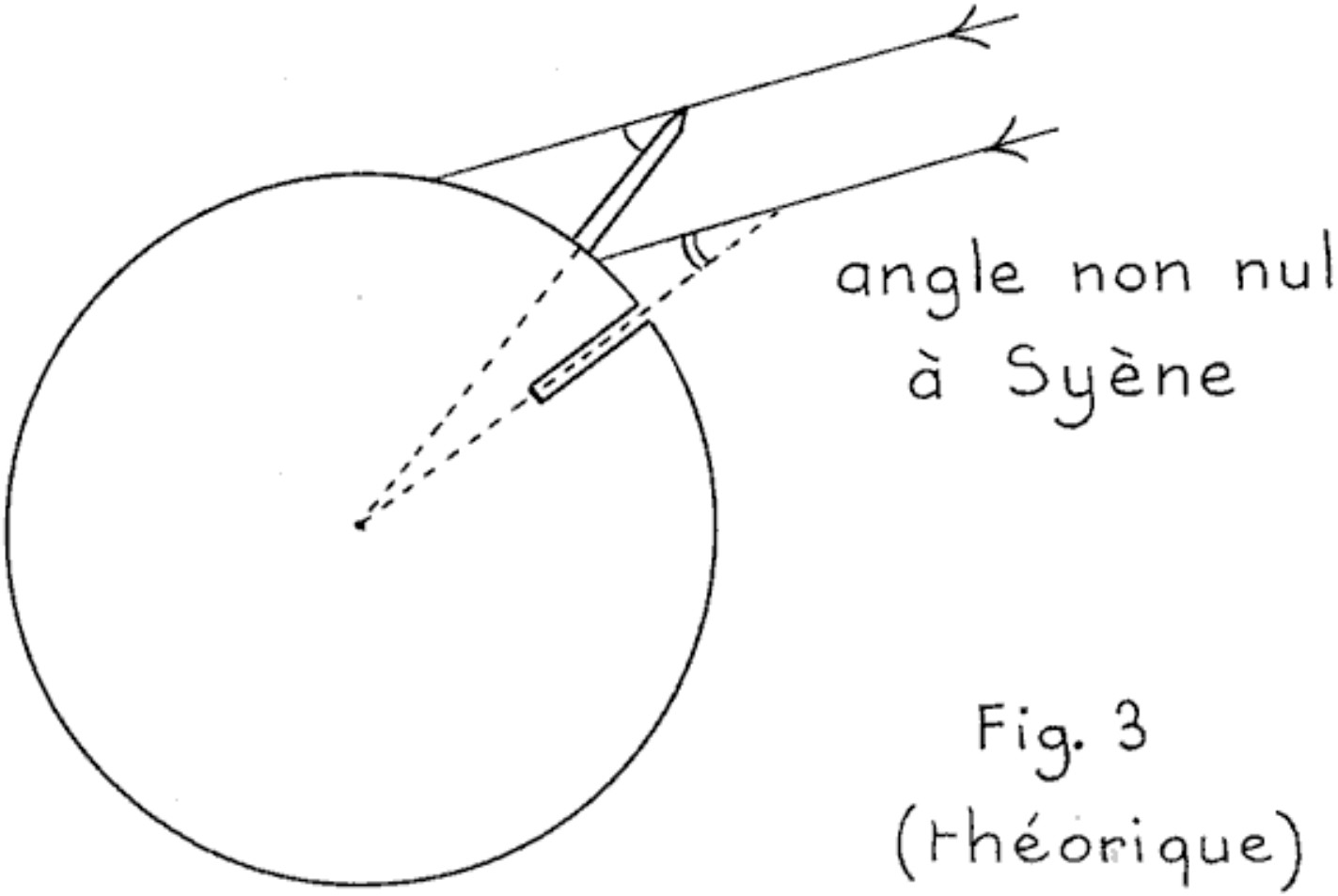



Fig. 3
(théorique)

En décalquant les nouveaux angles apparus à Syène et Alexandrie entre les rayons et la verticale, ils découvriront peut-être après quelques manipulations que l'angle entre les deux villes au centre de la Terre (matérialisé par le tout premier gabarit) est égal à la différence des angles mesurés dans les deux villes entre rayons solaires et verticale (ils peuvent aussi les mesurer au rapporteur et chercher la relation entre les trois angles : à Syène, à Alexandrie et au centre de la Terre entre les deux villes). Cela se remarque aussi très facilement à l'aide des calques.

Ils ont ainsi simplement généralisé la conclusion aux cas (majoritaires !) où les rayons solaires ne tombent pas selon la verticale. Ils s'empresseront alors de noter cette découverte sur leur cahier, elle leur sera bien utile pour reproduire la figure d'Eratosthène à partir de leurs propres mesures. (Remarquez que cette dernière conclusion s'applique également le 21 juin entre Syène et Alexandrie, mais que l'un des angles est nul... la différence est donc égale à l'angle mesuré à Alexandrie tout simplement.)

Voilà maintenant vos élèves armés pour mesurer le tour de la Terre dans tous les cas de figure !

### c- Mesurer la longueur du méridien passant par Syène et Alexandrie

Pour faciliter l'apparition de la règle de trois (ou règles des proportions) indispensable au calcul du méridien,

proposez-leur de réfléchir au scénario suivant :

Imaginez qu'Eratosthène ait mesuré un angle différent à Alexandrie. Imaginez que Syène et Alexandrie soient en fait situées sur une Terre semblable à une tarte découpée par exemple en 8 parts égales, les deux villes étant situées comme sur la figure 4. Si on connaît la longueur du bord d'une tarte, comment trouver la longueur du tour complet de cette tarte ?

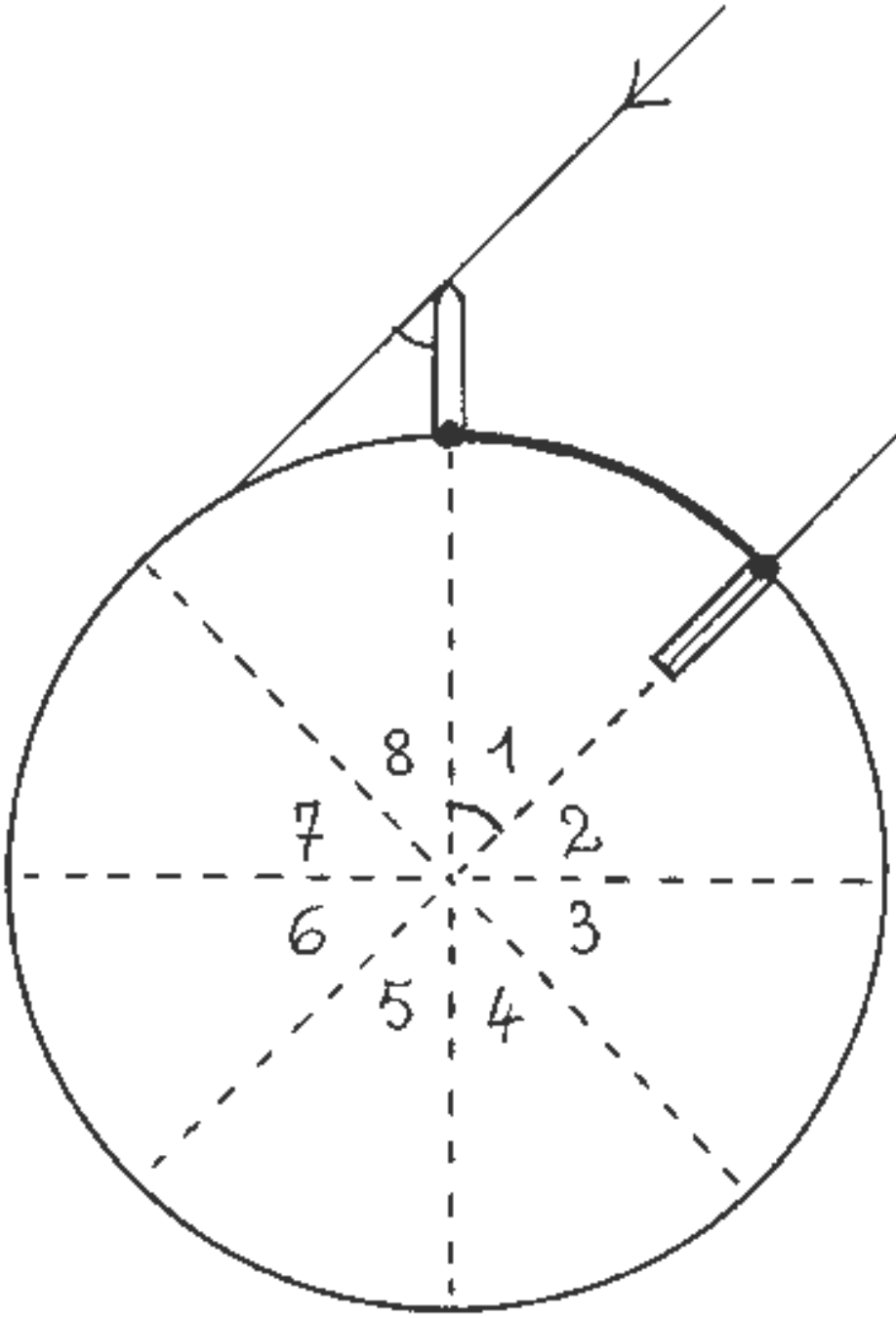



Fig. 4
(théorique)

"C'est facile, il suffit de multiplier la longueur par 8 !" répondront-ils. En êtes-vous sûrs ? Vous pouvez leur proposer de le vérifier en faisant un grand cercle partagé en 8 sections égales et mesurant avec deux ficelles la longueur du bord d'une part et la longueur du périmètre entier. Ils

trouveront alors un rapport 8 entre les longueurs des deux ficelles.

C'est exactement ce que se disait Eratosthène, mais combien de "parts de tarte" y a-t-il en réalité ?

Ils peuvent proposer plusieurs expériences pour tenter de le découvrir. Vous pouvez former des groupes pour tester les différentes propositions :
- on peut utiliser le gabarit d'angle de 7,2 degrés et le faire tourner autour du centre de la Terre pour voir combien de part on doit faire pour remplir la Terre (ou la moitié de la terre et on multipliera par 2 le résultat)
- on peut utiliser de la ficelle et comparer la longueur du bord de la "part" Syène-Alexandrie (sur la vraie figure réalisée précédemment) et comparer à la longueur du tour complet de la Terre
- ceux qui préfèrent le calcul diviseront 360 degrés (le tour complet du cercle) par 7,2 degrés (l'angle au centre)

Ils trouveront un facteur 50 exactement (par le calcul au moins !).
Il ne reste donc plus qu'à appliquer les règles de proportionnalité puisque Eratosthène nous dit que la distance entre Syène et Alexandrie vaut 5 000 stades égyptiens. On multiplie par 50 et on trouve... 250 000 exactement !!! Comme le grand savant grec. Voilà enfin l'énigme résolue.

Mais au fait, que valait donc le stade égyptien ? Ultime quête qui les emmènera dans les encyclopédies ou sur les moteurs de recherche d'Internet. ils trouveront l'équivalence suivante :
1 stade égyptien = 157,5 m, ce qui porte à 39375 km le tour de la Terre ! Comparez-le vite aux valeurs trouvées dans les dictionnaires et vous vous apercevrez de l'incroyable précision de cette mesure.

## 2- Utiliser les relevés d'une autre école pour mesurer son propre méridien

*Remarque préliminaire : nous vous invitons, si vous en avez le temps, à jeter un oeil aux activités optionnelles permettant d'introduire les notions de parallèles et méridiens à la surface du globe, notamment en comparant vos mesures d'angles avec celles publiées par les autres écoles. Si le temps vous est compté, vous pourrez choisir de définir en classe ces notions en vous aidant d'une mappemonde et d'un planisphère*. (Séance optionelle : Se repérer à la surface de la Terre )

### a- Choisir votre partenaire

Nous vous rappelons tout d'abord en quelques lignes les impératifs pour que cette dernière étape soit un succès :

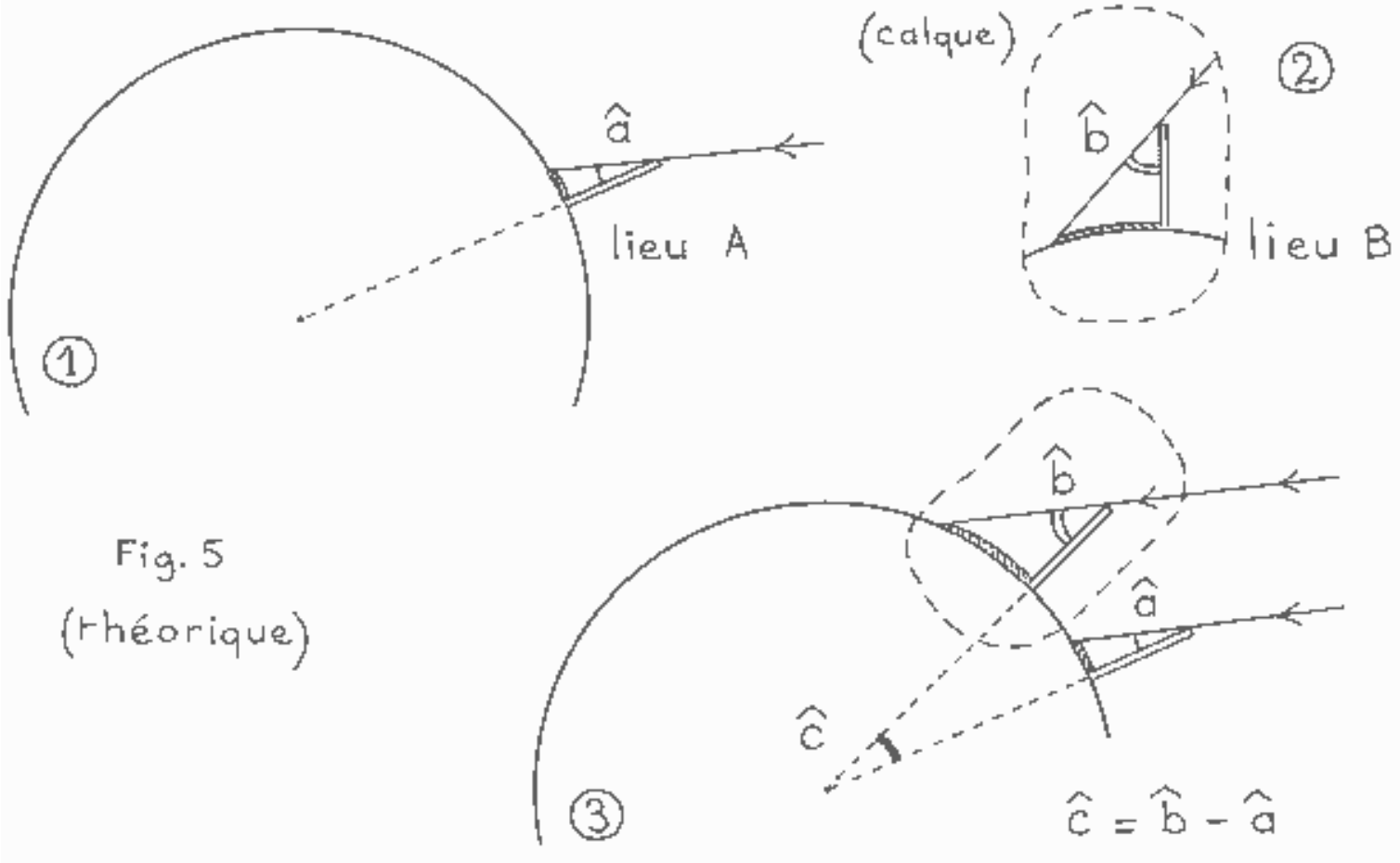
Vous devez avoir mesuré l'ombre de votre gnomon à midi solaire exactement (un écart de 10 minutes est toléré mais pas plus !) et avoir déduit de cette mesure la valeur précise de l'angle des rayons solaires avec la verticale de votre lieu.

Vous devez avoir publié votre (vos) mesure(s) d'angle dans le tableau que nous avons mis à votre disposition sur le site de La main à la pâte (http://www.mapmonde.org/eratos/measures.php?lang=fr) afin que les autres classes puissent aussi profiter de vos indispensables relevés.

Vous devez choisir avec les élèves une école partenaire qui a effectué sa propre mesure le même jour au midi solaire (deux jours de décalage sont tolérés à l'approche du mois juin). Ce partenaire doit avoir au moins 3 ou 4 degrés de latitude de différence avec vous. Notez bien la direction des ombres car certaines écoles voient le Soleil culminer au Nord à midi et donc l'ombre pointer vers le Sud contrairement à la majorité des classes qui se trouvent sur le territoire français.

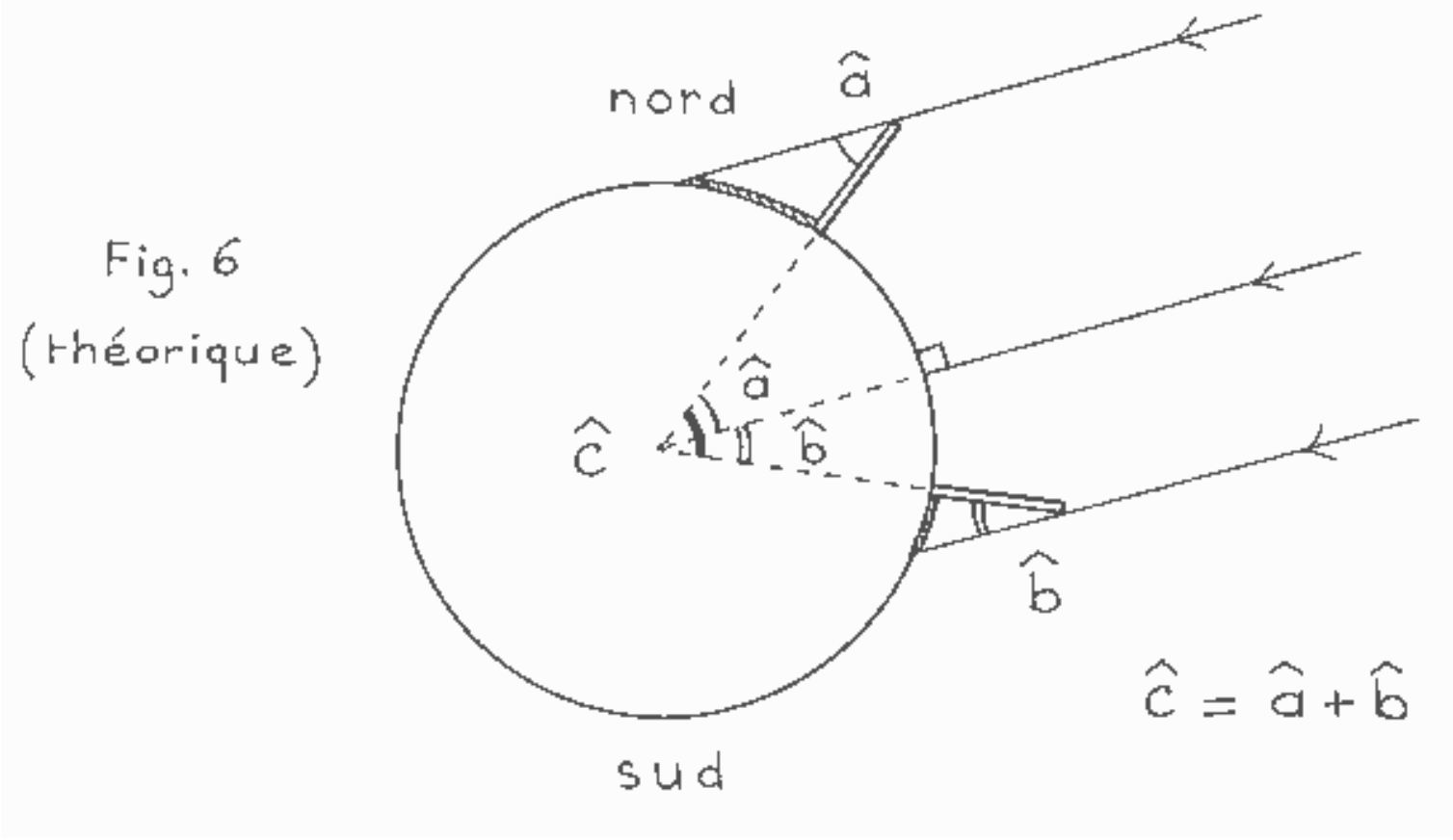
### b- Réaliser votre propre " figure d'Ératosthène "

Il s'agit maintenant de reproduire la figure d'Ératosthène avec votre propre ville et celle de l'école partenaire choisie en fonction des données publiées dans le tableau. Les enfants réalisent pour un jour donné le schéma de la figure 5 selon le même principe que précédemment.




Demandez leur de faire glisser le calque sur la coupe de la Terre. Il est important que celle-ci soit représentée par un très grand cercle (ou demi-cercle) car les deux angles ne différeront que de quelques degrés si les deux partenaires sont situés en France métropolitaine.

Attention ! Certaines écoles situées dans la zone intertropicale ou dans l'hémisphère Sud verront l'ombre pointer vers le sud et donc le soleil culminer au nord au midi solaire. Dans ce cas, ils devront impérativement préciser dans le tableau la direction dans laquelle pointait l'ombre car cela change le calcul : reprenez les dernières réflexions sur la figure d'Eratosthène et placez une ville dans l'hémisphère sud sur le même méridien qu'Alexandrie. L'ombre étant inversée, demandez aux élèves de tracer l'angle entre les rayons du soleil et la verticale en cette ville (ou de le mesurer) et celui entre cette ville et Alexandrie compté depuis le centre de la Terre. Le but du jeu est une fois de plus de trouver la relation entre ces angles : il faut cette fois-ci additionner les valeurs des angles pour retrouver l'angle entre les deux villes au centre de la Terre.




On peut, pour s'en assurer, tracer le rayon solaire qui tombe entre ces deux villes et passe par le centre de la Terre : il joue le rôle d'Assouan puisque les rayons suivent la verticale. Il sépare en deux portions l'angle au centre de la Terre entre les deux villes. Si on applique le principe d'égalité des angles découvert avec le couple Alexandrie et Assouan sur ces deux " sous-angles ", on trouve que le premier angle (supérieur) est égal à celui mesuré dans la ville au Nord et le second à l'angle mesuré dans la ville au Sud. Il faut bien ajouter ces deux " sous-angles " pour retrouver l'angle entier.

Résumons : si les ombres des écoles partenaires pointent dans la même direction (toutes deux au Nord ou toutes deux au Sud), il faut soustraire les angles mesurés entre les rayons du soleil et les verticales pour obtenir l'angle au centre de la Terre. Si les ombres pointent dans des directions opposées, il faut les additionner.

### c- Mesurer la distance entre les villes partenaires

Comme dans le cas d'Ératosthène traité précédemment, il ne reste plus qu'à appliquer la règle des proportions pour trouver la longueur du grand cercle-Terre à partir de la distance entre les villes. Il vous faut donc connaître cette distance. Ératosthène avait choisi deux villes situées sur le même méridien (à peu de choses près) mais dans votre cas, votre partenaire a peu de chance de se trouver sur le même méridien que vous (c'est-à-dire à la même longitude). Les enfants devront admettre cette fois qu'il faut mesurer la distance entre les parallèles des villes partenaires et non la distance directe entre les villes.

(Pour s'en convaincre, demandez-vous quelle ville imaginaire située sur votre méridien mesurera le même angle que votre partenaire : il s'agit de la ville située sur le même parallèle. La différence ? Elle verra le soleil passer à son midi à la même heure que vous et vous avez le droit de la placer sur votre figure puisque nous vous rappelons qu'il s'agit d'une coupe de la Terre selon un méridien (le vôtre en l'occurrence).)

Aidez-vous d'une carte routière ou d'un atlas pour estimer à partire de leur échelle la distance entre les deux parallèles. Les cartes des atlas et certaines cartes de l'IGN ont le bon goût de présenter quelques tracés de parallèles et méridiens, elles vous seront très utiles. Prenez garde aux projections qui, sur les planisphères, déforment les

continents en ne respectant pas les échelles selon les zones du globe !

### d - Calculer la longueur de votre méridien

Vous avez dès lors tous les ingrédients pour réussir votre calcul, il ne reste plus qu'à trouver le facteur multiplicatif qui vous permettra de passer de la distance entre les parallèles à la circonférence totale du méridien. Vous pouvez si vous le souhaiter reprendre les méthodes développées dans la partie 1 pour retrouver les résultats d'Ératosthène ou faire une simple règle de trois (ou règle des proportions, ou " produit en croix ") si vos élèves ont bien compris le principe de la méthode.

### e - Calculer le diamètre de la Terre.

Rien de plus facile, vous avez mesuré la circonférence de notre planète, il ne reste plus qu'à diviser par le fameux nombre PI pour trouver le diamètre de notre Terre, et le tour est joué !

En son temps, Eratosthène avait trouvé 250 000 stades exactement pour la circonférence. Ce chiffre " bien rond " montre de toute évidence qu'il ne cherchait pas la précision mais plutôt à obtenir un bon ordre de grandeur. Et ce fut un coup de maître puisque cela correspond à un peu plus de 39 000 km et donne donc un diamètre terrestre de l'ordre de 12 500 km.

Les enfants pourront comparer leurs résultats à celui d'Ératosthène et rechercher dans les dictionnaires ou sur Internet les valeurs récemment mesurées par les scientifiques (vous découvrirez d'ailleurs que la Terre n'est pas parfaitement ronde comme une boule de pétanque mais qu'elle est aplatie aux pôles et que son diamètre polaire est légèrement plus faible que son diamètre à l'Équateur). Ils pourront également communiquer avec l'école partenaire par le biais du courrier électronique pour discuter avec leurs camarades de leurs résultats et de leurs savants calculs.

Vous pouvez recommencez cette opération autant de fois que vous disposez de mesures synchrones avec d'autres écoles. Si aucune mesure n'a été publiée aux mêmes dates que les vôtres, vous pouvez utiliser à la rigueur des mesures effectuées la veille ou le lendemain de vos relevés (entre mai et juin) car l'angle que vous avez mesuré varie très peu d'un jour à l'autre.

Si de grandes différences existent entre votre résultat et la réalité, recherchez avec vos élèves l'origine possible de cette(ces) erreur(s) :
mesures d'angles imprécises, mesure de la distance entre les partenaires imprécise, etc. Publiez alors vos résultats sur notre site et discutez-en via Internet avec vos partenaires et nous-mêmes.

### f- Publier vos mesures dans le tableau centralisant les résultats

Le tableau de mesures réservé à votre école dans l'espace de travail Eratosthène (http://www.mapmonde.org/eratos/measures.php?lang=fr) dispose dorénavant d'une colonne pour la mesure du méridien (en km). Il vous suffit d'inscrire le résultat de votre calcul dans cette colonne pour le faire apparaître dans le tableau de mesures et le rendre ainsi disponible aux autres classes du projet.
Vous pouvez vous reporter au guide d'utilisation de l'espace de travail (http://www.mapmonde.org/eratos/help.php?lang=fr) pour obtenir plus de détails sur les modalités de publication.

### g- Envoyer une carte postale à tous les participants via notre site

A l'instar d'Emmanuel di Folco lors de son voyage en Egypte, les classes sont invitées à publier sur le site Eratosthène une ou plusieurs cartes postales électroniques en souvenir du projet. Une fois imprimées, ces cartes peuvent être découpées et collées de manière à obtenir une vraie carte

postale. Cette activité offre l'opportunité aux élèves de laisser une trace de leur périple sur les pas d'Eratosthène et de communiquer aux autres classes les moments marquants de leurs découvertes.

Mode d'emploi :
La carte postale est composée de quatre éléments qu'il vous faudra préparer avant de vous connecter au site :
Un texte ( maximum 10 lignes et 100 mots)
Une image ( jpg ou gif, maximum 450 pixels de large et 400 de haut)
Un date : jour/ mois/ année
Une légende ( maximum 7 mots)

Une fois ces documents prêts , rendez vous sur l'espace de travail Eratosthène.
Trois options s'offrent à vous :
Ajouter une carte postale
Consulter ou modifier des cartes postales
Mode d'emploi

La première entrée donne accès à un formulaire pour publier vos cartes postales. Copiez le texte, la date et la légende dans les cadres ad-hoc et sélectionnez l'emplacement de l'image sur votre ordinateur à l'aide du bouton Parcourir. Il ne vous reste plus qu'à cliquer sur " envoyer " pour enregistrer votre travail et le rendre accessible au grand public ! Le nom de votre classe apparaîtra automatiquement dans la signature de la carte postale.
Pour visualiser le résultat de votre travail, utilisez la deuxième entrée. Les cartes postales dont votre classe est l'auteur apparaissent accompagnées d'un lien " supprimer " et " modifier " . Ces liens ne sont visibles que pour votre mot de passe et votre login. Attention, vous ne pouvez modifier que le texte de la carte postale. Si vous souhaitez changer son illustration, vous devez supprimer la carte postale et en ajouter une nouvelle.

Conseil :
A l'affichage, la carte postale se divise en deux parties, l'une pour le texte , l'autre pour l'image et la légende. Incitez vos élèves à illustrer leur carte postale avec une photo du groupe
classe en présence du gnomon ou des photos d'activités particulières qui leur ont plu.

Précautions :
Toute mise en ligne sur Internet est juridiquement une publication. Elle engage donc la responsabilité de l'auteur, de l'éditeur et du diffuseur. Les photos où des enfants sont reconnaissables doivent par exemple faire l'objet d'une autorisation écrite des parents. Nous vous prions donc d'entreprendre les démarches nécessaires auprès des parents d'élèves figurant sur vos photos ou plus simple encore éviter les plans où les enfants sont facilement identifiables.

## 3- Dernière mesure le 21 juin

Le 21 juin est un jour très particulier puisque c'est celui où Ératosthène effectua sa propre mesure. De plus, nous savons qu'en ce jour de solstice d'été dans l'hémisphère Nord, le Soleil passe exactement au zénith à Assouan au midi solaire, Assouan étant située sur le Tropique du Cancer. Comme Ératosthène, nous vous encourageons à terminer ce projet en
effectuant une mesure le 21 juin (si le Soleil veut bien jouer le jeu !). De nombreuses kermesses ont lieu à cette époque, c'est l'occasion d'organiser un stand " Mesure en direct de la taille de la Terre " !

Comme vous l'aurez sans doute remarqué ces jours-ci lors de vos relevés, l'angle varie de plus en plus faiblement d'un jour à l'autre tandis que nous nous approchons du solstice. Dans la semaine encadrant celui-ci, cette variation

sera tout à fait négligeable, ce qui veut dire que des mesures effectuées entre le lundi 17 juin et le mardi 25 seront tout à fait valables ! Donc, pour ne pas risquer une grosse déception le jour même du solstice si le relevé ne peut se faire à cause de la météo, prévoyez un relevé dès le 18 et 19 juin (et jusqu'au 25 le cas échéant).

Voilà qui devrait permettre à toutes les classes engagées de participer àcette mesure historique !

Vous serez alors tous assurés d'avoir un partenaire de choix, puisque l'angle des rayons solaires avec la verticale à Assouan est nul ce jour-là. Nos partenaire égyptiens à Alexandrie et Assouan nous ont d'ailleurs promis de se joindre à la fête en réalisant de leur côté une mesure simultanée. C'est donc l'occasion de refaire cette observation historique avec vos élèves. Il vous suffira d'estimer la distance entre votre ville et le parallèle sur lequel est situé Assouan, c'est-à-dire votre distance au Tropique du Cancer. De plus, votre écart angulaire au tropique (qui correspond à l'angle que vous mesurerez ce jour-là) est suffisamment élevé pour que la précision de vos mesures vous permettre d'obtenir facilement une bonne estimation du diamètre terrestre. Ne manquez pas l'occasion de refaire cette fabuleuse expérience le 21 juin !

**Séance optionelle (Séquence 5)**

# Se repérer à la surface de la Terre

---

Nouvelle étape sur la route d'Eratosthène : une fois vos premières mesures "sérieuses" et précises accomplies, vous allez pouvoir comparer vos résultats avec ceux des écoles partenaires. Auparavant, il faudra vous familiariser avec les coordonnées géographiques qui vous permettront notamment de localiser les autres écoles sur le territoire.

**Durée :** 2 séances

**Notions abordées :** notions de cartographie, latitude et longitude, fuseaux horaires.

---

---

**Matériel :**

**Pour le groupe classe :**
Une carte de France murale
Une carte routière de votre région
Une feuille A3
Une feuille en plastique transparent

**Pour un groupe de 4 élèves :**
Une carte de votre territoire ( pays , île) sur une feuille A4
Une feuille A4 avec un quadrillage.
Un objet sphérique ( globe, balle de tennis, boule de pétanque, orange..)
Un secteur angulaire

---

---

## Introduction

Vous pouvez lancer cette séance en rappelant à vos élèves le principe de l'opération. Près de 70 classes (http://www.mapmonde.org/eratos/schools.php?lang=fr ) réparties dans 13 pays réalisent les mêmes mesures que vous. A partir de plusieurs mesures d'angle et de la distance qui nous sépare de vos partenaires, vous allez bientôt, comme Eratosthène, calculer le diamètre de la Terre. Face à cette liste de noms pour la plupart inconnus, le premier objectif est de localiser ces partenaires.

---

**Sommaire de la séquence:**


**1) Repérage dans le plan : votre voisinage**
**2) Espace courbe : du local au global**

## 1) Repérage dans le plan : votre voisinage

### Classe entière

Pour familiariser vos élèves avec les notions de repérage, commencez par localiser avec eux les villages, villes , sommets ou monuments proches de votre école qu'ils connaissent bien. Établissez en la liste et proposez leur ainsi de réaliser une carte de votre environnement proche (Vous pourrez vous aider d'une carte routière par exemple).

Placez votre école au centre d'une feuille A3 et demandez leur comment placer sur cette nouvelle carte les éléments de la liste qu'ils auront établie. Comment dessiner une carte aussi fidèle que possible à la réalité ?

Après avoir décidé d'une échelle avec eux, demandez leur ce qu'il faut connaître sur chaque site pour le placer sur votre carte ? Quelle est pour eux la manière la plus simple et la plus rapide de placer l'ensemble des sites sur la nouvelle carte ?

Deux stratégies différentes peuvent apparaître :

- pour les uns, la connaissance de la distance qui les sépare de votre école sera sûrement la première étape. Ils chercheront ensuite la direction dans laquelle se situe le point à placer sur la carte.
- d'autres auront peut-être envie de faire un quadrillage et de placer simplement les sites comme des pions sur un jeu d'échecs ou de dames.

### En groupes de 4-5 élèves

Vous pourrez ainsi diviser votre classe en groupes, chacun testant une de ces stratégies.

- Première stratégie :

Comme ils ne connaissent pas toutes les distances mises en jeu, bien qu'ils en aient souvent une vague idée du fait de leurs déplacements quotidiens, vous vous aiderez de votre carte routière locale et calculerez grâce à votre facteur d'échelle les distances correspondantes sur votre feuille. Forcement, cela ne suffit pas. Il faut aussi savoir dans quelle direction se trouve le site. Pour une localisation d'abord approximative, ils pourront placer les 4 points cardinaux. Savoir si un village proche se trouve au nord ou au sud est une première étape. Mais comment faire pour être encore plus précis ? Peut-être certains se souviendront d'expériences qu'ils ont réalisées avec des secteurs angulaires.
Il suffit en effet de découper un secteur dont l'un des côtés sera une direction fixe qui servira de repère (direction NS ou EO) et l'autre sera la ligne qui joint votre école à l'un des sites. A partir de la carte routière, les élèves peuvent maintenant découper autant de secteurs angulaires que de sites recensés, en choisissant comme direction de référence l'un des points cardinaux (qui peut bien sûr être différent pour chaque site). Ils prendront soin de noter sur chacun des deux côtés du secteur le nom du site, son éloignement de votre école et la direction choisie comme référence. Il suffit alors de reporter ces secteurs sur leur feuille.

- Deuxième stratégie :

Ils devront eux aussi déterminer deux coordonnées qui ne seront plus la distance et la direction, mais deux distances : l'une "horizontale" et l'autre "verticale", correspondant au nombre de carreaux dans les deux directions de leur quadrillage. Ils devront donc faire deux quadrillages : l'un sur la carte routière et l'autre sur leur feuille avec une correspondance d'échelle. Ils pourront alors placer plus ou moins précisément les sites selon la taille de leurs carreaux.

Ainsi, vous représenterez, à l'échelle de votre choix , l'environnement de votre école et pourrez même orienter cette nouvelle carte dans votre classe, avec une boussole !

### Choix de la meilleure méthode :

Demandez-leur quelle est la meilleure méthode pour réaliser ces cartes, du point de vue de la facilite et de la rapidité. Laissez les débattre. Demandez-leur maintenant de se placer par la pensée dans l'un des sites qu'ils ont représente sur leur carte (autre que votre école). Demandez à un enfant d'expliquer à l'un de ses camarades le chemin à suivre sur sa carte (et avec sa méthode) pour aller de ce nouveau point à un troisième site. Quelle est maintenant la meilleure carte pour trouver facilement ce chemin ?

Avec la première stratégie, il faut recommencer : mesurer la distance entre ces deux nouveaux emplacements et mesurer précisément la direction. Il faut donc refaire tout le travail ! Alors qu'avec la deuxième méthode, il suffit d'indiquer le nombre de carreaux dont on doit se déplacer horizontalement et verticalement, c'est vraiment beaucoup plus facile ! Ils seront vite convaincus de l'efficacité de ce système de coordonnées que l'on appelle "cartésiennes" (les autres étant dites "polaires")

### A l'échelle du pays :

Affichez au tableau une carte murale de la France ( de votre pays ou de votre île) et préparez une feuille de plastique transparent (couverture pour les livres, papier d'emballage de fleuriste,...) de même taille. Distribuez à chaque groupe une feuille A4 sur laquelle ne figurent que les contours du territoire représenté au tableau (carte vierge).

Commencez par inscrire les 4 points cardinaux sur les cartes.
A partir de la carte murale, listez et repérez avec eux les villes les plus connues et placez une gommette à l'endroit de votre propre ville ou village.
Demandez leur de trouver maintenant un moyen aisé de repérer ces villes sur la carte. Comment définir leur position ?
Aucune hésitation : le quadrillage sera plébiscité , c'est l'occasion de faire de la bataille navale un outil pédagogique (ce n'est pas si fréquent !!!). Chaque case pourra être repérée par une lettre et un chiffre. Ainsi, dans un premier temps, vous dessinerez avec eux un quadrillage que vous superposerez à la carte murale afin de repérer la position des principales villes ou sommets des chaînes de montagnes. Ils seront amenés à s'interroger sur la taille de ce maillage. Ils décideront eux-mêmes des paramètres à adopter, puis devront reproduire sur la feuille de groupe ce quadrillage afin de placer les points de la carte aussi précisément que possible.

Combien de carreaux en hauteur ? En largeur ? Ou quelle taille pour un carreau ?
Quelle forme : carrée ou rectangulaire ? Quelle numérotation utiliser ? Dans quel sens ? Quelle origine choisir ? Comment faire correspondre les deux quadrillages ? Vous les laisserez débattre sur chacun de ces points à mesure que les interrogations apparaîtront, les groupes ayant opté pour la première méthode seront bien sur avantagés et pourront aider les autres dans leurs choix.

Remarques : Comment se coupent les lignes qui forment ce quadrillage ? quelles sont leur direction ?

---

## 2-Espace courbe : du local au global

## En groupes

Dans cette seconde partie, vous tacherez d'aboutir progressivement à la construction du réseau de méridiens et parallèles qui définissent les coordonnées géographiques utilisées pour se repérer à la surface de la Terre.

Comment appliquer maintenant au globe terrestre ce qu'ils viennent de mettre en place ? Distribuez des photocopies du quadrillage que vous aurez préparé et des objets sphériques : balles de tennis, boules de pétanque, oranges, ... Demandez-leur d'essayer d'appliquer ce quadrillage sur les sphères. Quelles sont les difficultés ?

Comment inventer un quadrillage adapté à cette nouvelle géométrie ? Quelles formes prennent les lignes du quadrillage plan lorsqu'elles s'enroulent sur une boule ?

Vers un nouveau repère.

Chaque groupe va enrouler le papier quadrillé autour d'une sphère. D'abord en formant un cylindre, ils remarquent alors que les lignes qui étaient parallèles deviennent des cercles. Pour appliquer l'ensemble du quadrillage sur la boule, ils doivent replier ce cylindre aux deux extrémités comme l'emballage d'un bonbon ou d'une papillote. Ils observent alors que les lignes qui étaient verticales se resserrent et convergent toutes vers deux points diamétralement opposés.

Comme il est impossible d'appliquer parfaitement la surface de la feuille sur la sphère, ils prennent maintenant une autre boule sur laquelle ils s'entraîneront à dessiner au feutre cet étrange réseau de lignes, créant ainsi un tout nouveau quadrillage qu'ils tenteront de dessiner le plus régulier possible.

Le maillage plan se referme sur lui-même sur la sphère. Toutes les lignes droites sur le papier deviennent des cercles ; cercles de diamètre variable et parallèles entre eux pour les anciennes lignes horizontales, cercles de même diamètre que celui de la sphère et se coupant tous en deux points pour les lignes verticales. Vous pouvez interpréter avec eux ce nouveau tracé, en découpant par exemple une de ces boules (ce sera facile si vous utiliser des fruits, la pelure d'une orange se prête particulièrement bien à ce jeu !). Découpage en tranches ou quartiers pour les cercles de même diamètre, découpage en couronnes ou rondelles pour les cercles parallèles.

Enfin, attribuez avec eux une numérotation aux tranches et aux cercles comme pour le quadrillage plan, ils peuvent maintenant faire une bataille navale à l'échelle de la planète ! Si le manque de Soleil vous a retardé dans la mise en place des séquences, contentez-vous de leur présenter le maillage utilisé pour la Terre à partir d'une mappemonde. Les deux points de convergence des lignes verticales correspondent aux pôles nord et sud. Notez que la numérotation des cases sur la mappemonde y a été remplacée par une graduation des cercles en degrés (comme sur un rapporteur). Prenez soin également de leur faire remarquer les nouvelles origines : le zéro de l'échelle "verticale" sur l'équateur et celui de l'échelle "horizontale" sur une ligne qu'on appelle "méridien de Greenwich", qui traverse la France en passant non loin de Paris.

Vous pourrez introduire le vocabulaire associé à ce nouveau quadrillage dès que ces notions seront assez claires pour eux : méridien, parallèle, équateur, longitude et latitude. Afin de les familiariser plus encore avec celles-ci, faites-leur placer sur une carte de France votre école (si vous êtes en France métropolitaine !) et les écoles avec qui vous allez réaliser votre mesure en vous servant de la latitude et de la longitude qui sont données dans le tableau sur le site de La main a la pâte ( nouveau lien : http://www.mapmonde.org/eratos/schools.php?lang=fr). Cet exercice appliqué à votre région peut évidemment se décliner à l'infini selon vos envies et le temps dont vous disposerez. Pour une fois, il ne nécessite pas la présence du soleil !

Vous êtes maintenant suffisamment armés pour vous attaquer à la comparaison de vos mesures avec celles de vos partenaires et pour mesurer enfin le diamètre terrestre. Si vous disposez de plus de temps, nous vous proposerons d'approfondir ces notions de latitude/longitude en réfléchissant avec eux à la notion d'heure tout autour de notre planète.

**Séquence 5**

# Complément historique de la séquence 5

## La géographie antique

La géographie au 3 ème siècle avant Jésus Christ n'existe pas vraiment. Elle se compose de ce que racontent les poètes dans leurs œuvres (notamment Homère (L'Illiade, L'Odyssée) et Apollonios (Les Argonautes)) et des premiers balbutiements d'une recherche scientifique : la géométrie de la sphère est connue (on peut donc l'appliquer à la Terre, que les Grecs savaient sphérique, grâce à Aristote) et des hypothèses sur l'histoire géologiques de la Terre ont été faites (Straton de Lampsaque).

La géographie antique suit deux courants différents. D'abord un courant historique, représenté par Hérodote (484 – 425), qui laissera une œuvre colossale, sa *Géographie* en 17 volumes.

Le deuxième courant, mené par Eratosthène, essayera d'appuyer ses observations et ses déductions sur des bases scientifiques (circonférence de la Terre, méridiens).

Originaire d'Halicarnasse, en Asie Mineure, Hérodote est considéré comme le père de l'histoire, en tant que récit structuré de l'œuvre humaine. De ses nombreux voyages en Afrique (notamment Egypte et Nubie), en Asie et en Europe, il puise la matière qui lui permettra d'écrire son œuvre gigantesque.

Plus tard, les limites du monde connu vont être repoussées grâce aux grandes expéditions militaires et à la soif d'exploration des hommes. On peut retenir deux exemples, qui sont les plus importants à cette époque : Alexandre le Grand et Pythéas.

Alexandre (356 – 323) a étendu sont empire jusqu'à l'orée de l'Inde, en emportant avec lui un bataillon de scientifiques pour noter et observer toutes les choses qui pouvaient être vues dans un si long périple.

Pythéas, navigateur grec, explorant les côtes septentrionales de l'Europe au début du 4 ème siècle avant notre ère, monta jusqu'au cercle polaire. Il utilisa des gnomons (comme Eratosthène) pour calculer les latitudes des villes.

Quelques décennies plus tard, Eratosthène a). Il fait passer la géographie d'une expression poétique qui vise « à captiver, sans aucun souci d'instruire », à une méthodologie scientifique plus rigoureuse (il aurait vraisemblablement inventé le terme géographie, de geo-grapheîn : terre / tracer des signes pour écrire ou dessiner) ; ainsi il établit la première carte du monde (connu) à l'échelle.

En tant que directeur de la Grande Bibliothèque d'Alexandrie, il va mener ses recherches qui le conduiront à calculer la circonférence de la Terre. Son calcul aboutit à 250000 stades (1 stade = 157,50 m) soit 39375 km, arrondi à 252000 stades soit 39690 km, pour être facilement divisible par 60 (le système sexagésimal primait dans les explications physiques).

En conséquence il devient possible, avec cette méthode, de calculer les latitudes des villes et les longueurs des parallèles. De plus, la connaissance de la taille du monde permit de pressentir l'immensité de ce qu'il restait à découvrir.

## Historique de la mesure de la circonférence terrestre

Avant de calculer la circonférence de la Terre, il a fallu aux hommes de l'antiquité quelques siècles pour d'abord deviner qu'elle est sphérique. Les premières hypothèses de la sphéricité de la Terre remonte à Parménide (son hypothèse repose sur le fait que la sphère est le volume parfait) puis à Aristote (qui déduit l'hypothèse de rotondité de la Terre d'une manière plus scientifique, par l'observation des éclipses)

Le premier calcul précis de la circonférence de la Terre a été effectué par Eratosthène de Cyrène et dont la méthode doit désormais vous être familière.

Quelques décennies plus tard, un géographe du nom de Posidonios de Rhodes reprend les travaux d'Eratosthène pour refaire ce calcul de circonférence mais omet un détail. L'unité de longueur utilisée par Eratosthène était le stade d'Alexandrie, plus long que les autres stades habituellement utilisés. En utilisant la même méthode que son prédécesseur, Posidonios trouvera un résultat de 29000 km pour la circonférence terrestre (un tiers de moins que la réalité).

Vraisemblablement pour des raisons d'influence, les travaux d'Eratosthène ont été à l'époque oubliés, le calcul de Posidonios devenant la référence. Transmis par les Arabes aux Occidentaux, cette erreur va se perpétuer pendant des siècles et est une des conséquences de la découverte des Amériques par Christophe Colomb. En effet, celui-ci a cherché à trouver une route plus courte pour rejoindre les Indes par l'Ouest, pensant qu'il était impossible qu'un autre continent se trouve dans le peu de place qu'il restait sur la Terre, selon les références alors utilisées.

A la fin du 17 ème siècle, l'abbé Jean Picard détermine la longueur d'un degré de méridien, par la méthode de triangulation plane du Hollandais Snellius.

En 1672, Jean Richer observe le dérèglement d'une horloge astronomique apportée à Cayenne et en conclut que l'attraction gravitationnelle de la Terre est moins forte au niveau de l'Equateur, et donc qu'on doit s'y trouver plus loin du centre de la Terre qu'en Europe.

Au 18 ème siècle la famille Cassini, alors en charge de l'Observatoire à Paris, poursuivent ces travaux et mesurent le méridien de Paris.

Enfin, deux expéditions menées conjointement sous la tutelle de l'Académie des Sciences de France, au Pérou (Bouguer et La Condamine ; 1735-1743) et en Laponie (Maupertuis et Clairaut ; 1736-1737) vérifient l'hypothèse de Newton sur l'aplatissement de la Terre à ses pôles.

A partir de 1957 et de la conquête de l'espace, la circonférence de la Terre a été mesurée par satellite, de façon extrêmement précise ; elle vaut en moyenne 40074 km.

**Projet**

# Post-test : questionnaire pour les élèves

## Préliminaires

L'opération Ératosthène arrive à son terme... Nous espérons que vos élèves auront pleinement profité de toutes ces activités passionnantes qui les ont amenés à "mesurer la Terre" à partir de l'ombre d'un simple bâton vertical !

Afin d'évaluer leurs acquis par rapport à "l'état des lieux" initial établi à partir du pré-test, nous vous proposons un post-test : celui-ci reprend simplement le contenu du pré-test auquel nous avons ajouté deux questions concernant, l'une, la célèbre figure d'Ératosthène, l'autre, la notion de coordonnées géographiques.

## Modalités pratiques

*Durée prévue : selon l'entraînement de vos élèves, une séance de 45 mn, ou deux séances de 30 mn environ (mais il faudra que les élèves très lents puissent terminer ultérieurement)*

**Matériel :**

**Pour chaque élève :**
les feuilles du questionnaire et quelques feuilles blanches pour les dessins demandés dans certaines questions ;
crayon noir, gomme, pochette de crayons de couleur ou de feutres.

PROJET : " SUR LES PAS D'ERATOSTHENE "

17 questions pour faire le point sur tes connaissances dans certains domaines
*Avant de répondre à une question, commence par la lire jusqu'au bout.*
*Lorsque tu dois choisir une réponse proposée, **entoure** la réponse choisie au crayon noir.*
*Lorsque tu dois répondre par un **dessin**, fais celui-ci sur une feuille à part en écrivant d'abord le **numéro** de la question sur cette feuille.*

### *1 – Mettons-nous à l'ombre !*

As-tu déjà observé des ombres ? Essaie de dessiner l'ombre d' un bâton au soleil (ce bâton est planté dans le sol).
Fais de même ensuite, pour trois bâtons assez écartés les uns des autres.

### *2 – Le tableau noir est-il de travers ?*

Vertical, horizontal : fais un dessin pour illustrer ces deux mots. Trace d'abord une ligne pour représenter le sol ; ensuite, dessine, comme s'il était posé dessus, un objet vertical, puis un autre à côté, mais

horizontal.

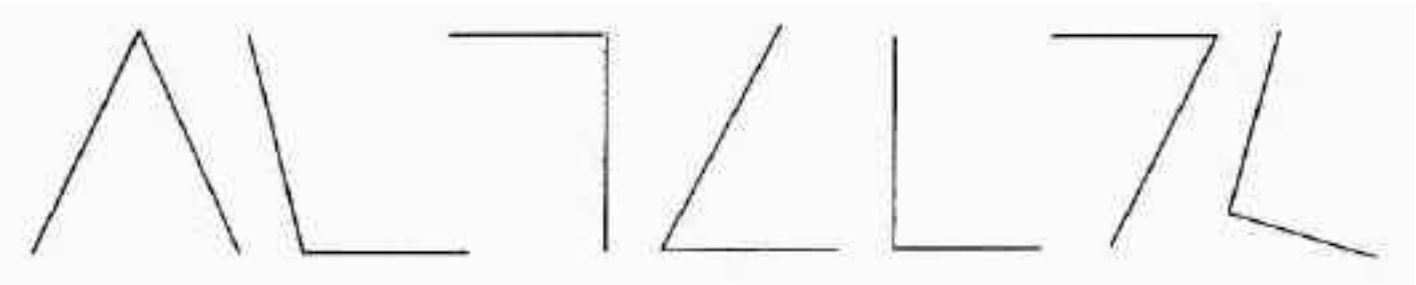
Peux-tu nommer (et dessiner ?) deux instruments permettant de vérifier :

- la verticalité du premier objet : _____

- l'horizontalité du deuxième objet : _____

### *3 – A l'angle de ma rue*

Peut-être sais-tu déjà ce qu'est un angle, et peut-être aussi, un angle droit ? Parmi les angles ci-dessous, entoure ceux que tu reconnais être des angles droits.



Sais-tu comment s'appelle un angle "moins ouvert " que l'angle droit ?

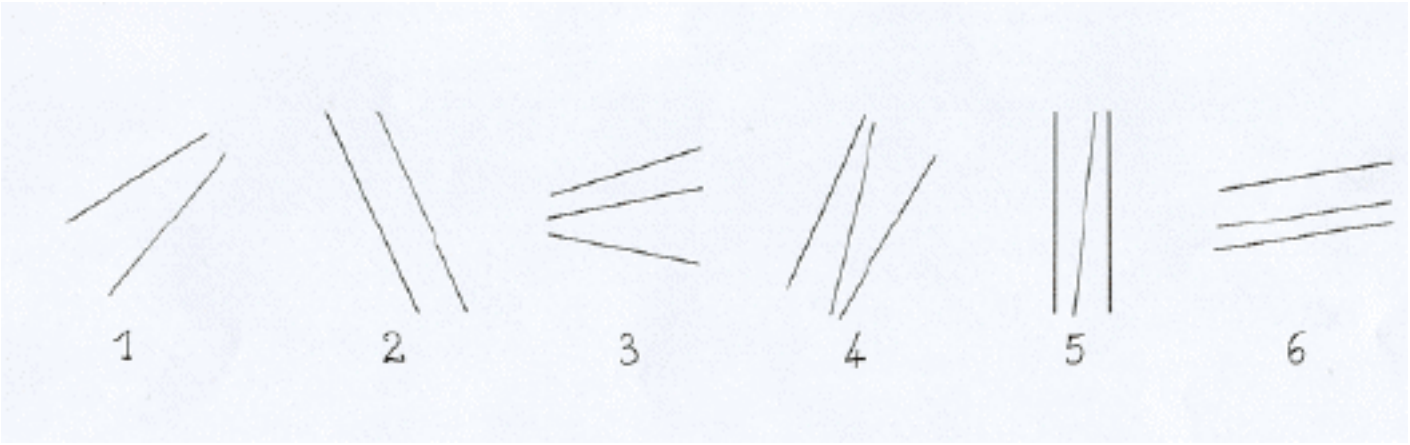
On dit que c'est un angle_____

Connais-tu l'instrument qui sert à mesurer " l'ouverture " d'un angle ?

On l'appelle un_____

### *4 – Prenons une rue parallèle à la tienne...*

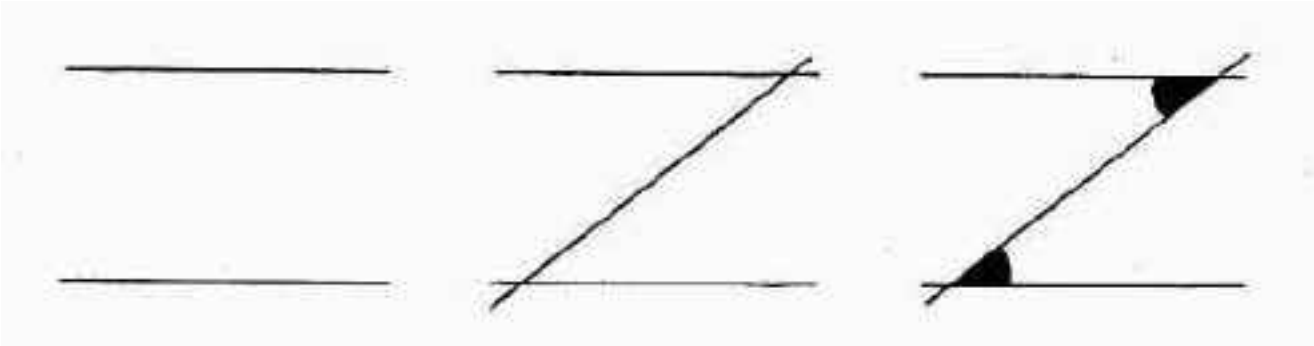
As-tu entendu parler de " droites parallèles " ? Même si ça n'est pas le cas, tu pourras peut-être trouver de quoi il s'agit en regardant bien ces "groupes" de droites :




Si tu penses avoir trouvé, entoure les "groupes" de droites parallèles figurant sur le dessin

### *5 – Z comme Zorro*

Regarde les trois étapes de la construction de ce drôle de “ Z ” :



Les deux angles coloriés en noir

ont une particularité : laquelle ? _____

On pourrait la vérifier, comment ? _____

### *6 – Bonjour la Terre !*

Quelle forme a la Terre ? (Dessine-la sur une feuille)

Comment le sais-tu ?_____A quel objet te fait-elle penser ? _____

### *7 – Encore des bâtons !*

Reprends le dessin de la Terre que tu viens de faire, et ajoute, sur le pourtour, trois petits bâtons plantés dans le sol comme des piquets, mais très éloignés les uns des autres.

### *8 – La Terre s’est mise au soleil*

Dessine la Terre comme tu imagines qu’on peut la voir dans l’espace, avec des continents par exemple, mais aussi avec le Soleil qui l’éclaire. Si tu veux montrer qu’il fait nuit quelque part sur ta planète, colorie

soigneusement cette partie en noir.

## *9 – C'est le jour et la nuit !*

Parmi ces 4 phrases, entoure celle (ou celles) qui explique (expiquent) de façon correcte, à ton avis, pourquoi il fait tantôt jour et tantôt nuit pour les Terriens : ( tu peux entourer plusieurs réponses )

1) La Terre tourne autour du Soleil

2) Le Soleil  tourne autour de la Terre

3) La Terre tourne sur elle-même

4) La Terre tourne sur elle-même et autour du Soleil

## *10 – Un petit vent d'ouest*

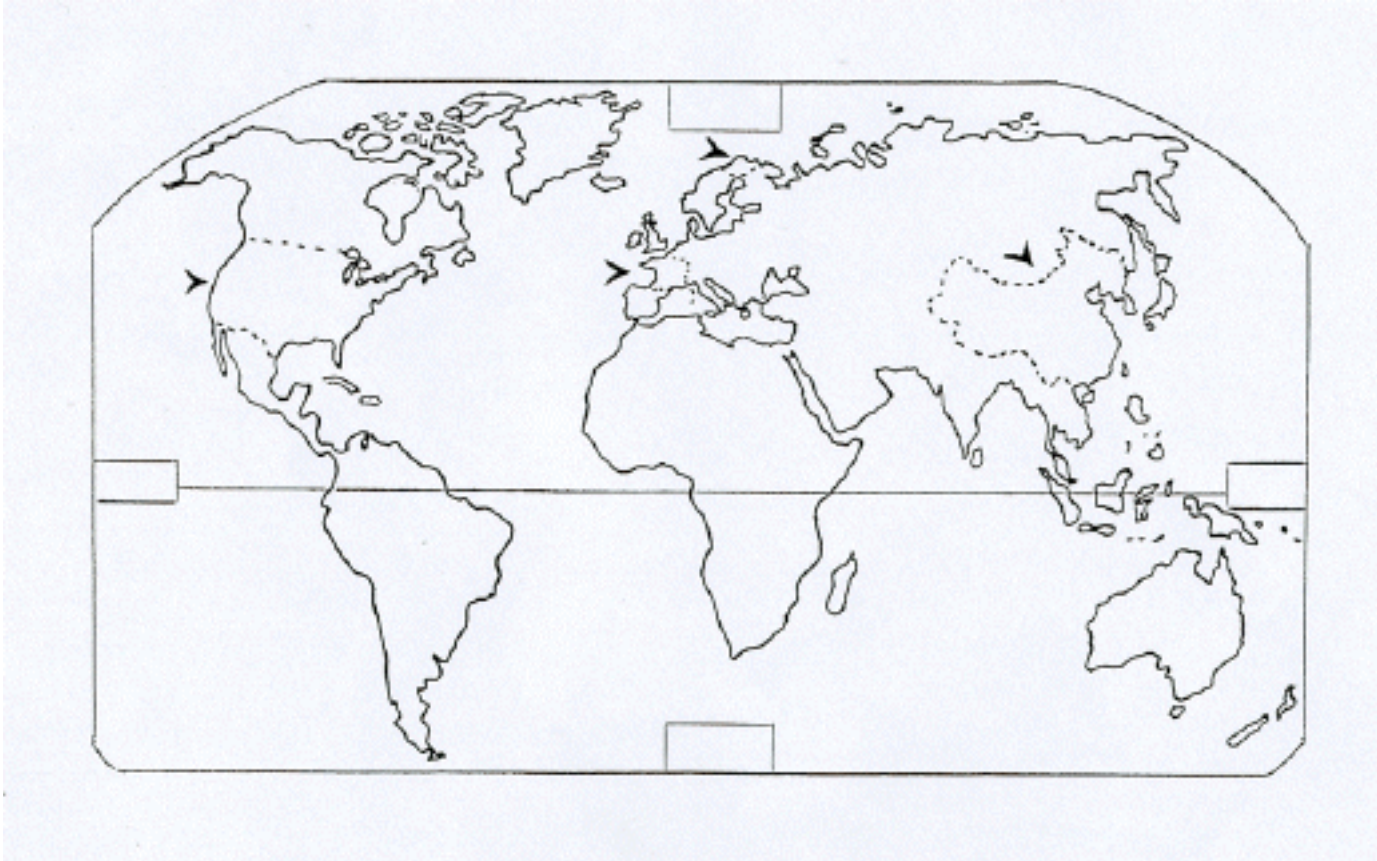
Voici la carte de la France avec, à côté, ce qu'on appelle une  rose des vents : elle indique la direction des quatre points cardinaux qui sont :

le nord (N)  le sud (S)  l'est (E)  l'ouest (O)

Écris l'initiale de chacun (sa lettre majuscule) bien à sa place à l'extrémité d'une pointe de la rose des vents.
Sur la carte, est repéré le lieu où se trouve l'école : choisis une région plus au nord de ce lieu et écris nord, une région plus au sud et écris sud, etc.

## *11 – Parcourir le vaste monde*

Voici une carte représentant les cinq continents : on l'appelle un planisphère. Ecris le nom des quatre points cardinaux dans les quatre petits rectangles. Repère la France, les Etats-Unis, la Chine, le Laponie en les coloriant avec une couleur différente pour chacun.



A ton avis, les Etats-Unis sont :

- à l'ouest de la France

- à l'est de la France

A ton avis, la France est :

- à l'ouest de la Chine
- à l'est de la Chine

## *12 –Est-ce l'heure de se lever ou de se coucher ?*

S'il fait nuit dans certains pays alors qu'il fait jour dans les autres, c'est donc que l'heure n'est pas partout la même sur la Terre. Quand les petits Français se lèvent le matin, d'autres enfants dans le monde vont se

coucher :

Peux-tu dire lesquels ?
Ce sont les petits Américains qui vont se coucher
Ce sont les petits Chinois qui vont se coucher
Ce sont les petits esquimaux de Laponie (Europe du Nord) qui vont se coucher.

### *13 – Le Soleil se lève aussi !*

Sais-tu dans quelle direction on voit le Soleil se lever ?

au nord  au sud  à l'est  à  l'ouest

Sais-tu dans quelle direction on voit le Soleil se coucher ?

au nord  au sud  à l'est  à l'ouest

### *14 – J'ai le soleil dans l'œil !*

Imagine-toi maintenant debout, face à la mer (ou face à une vaste plaine), avec le Soleil devant toi, haut dans le ciel. A quel moment de la journée peux-tu le voir ainsi ? _____

Dans quelle direction peut-il être à ce moment là ? _____

Dessine une ligne figurant l'horizon, puis, au milieu et en hauteur, le Soleil dans le ciel.

Trace le trajet du Soleil depuis le matin, à son lever, jusqu'au soir, à son coucher.
D'après tes réponses aux questions 13 et 14, essaie de placer les quatre points cardinaux.
Pour terminer, mets des flèches sur le trajet du Soleil .

### *15 – Au fil des jours, des nuits et des saisons*

Sais-tu pourquoi, en France, les nuits sont plus longues en hiver qu'en été ?_____

_____

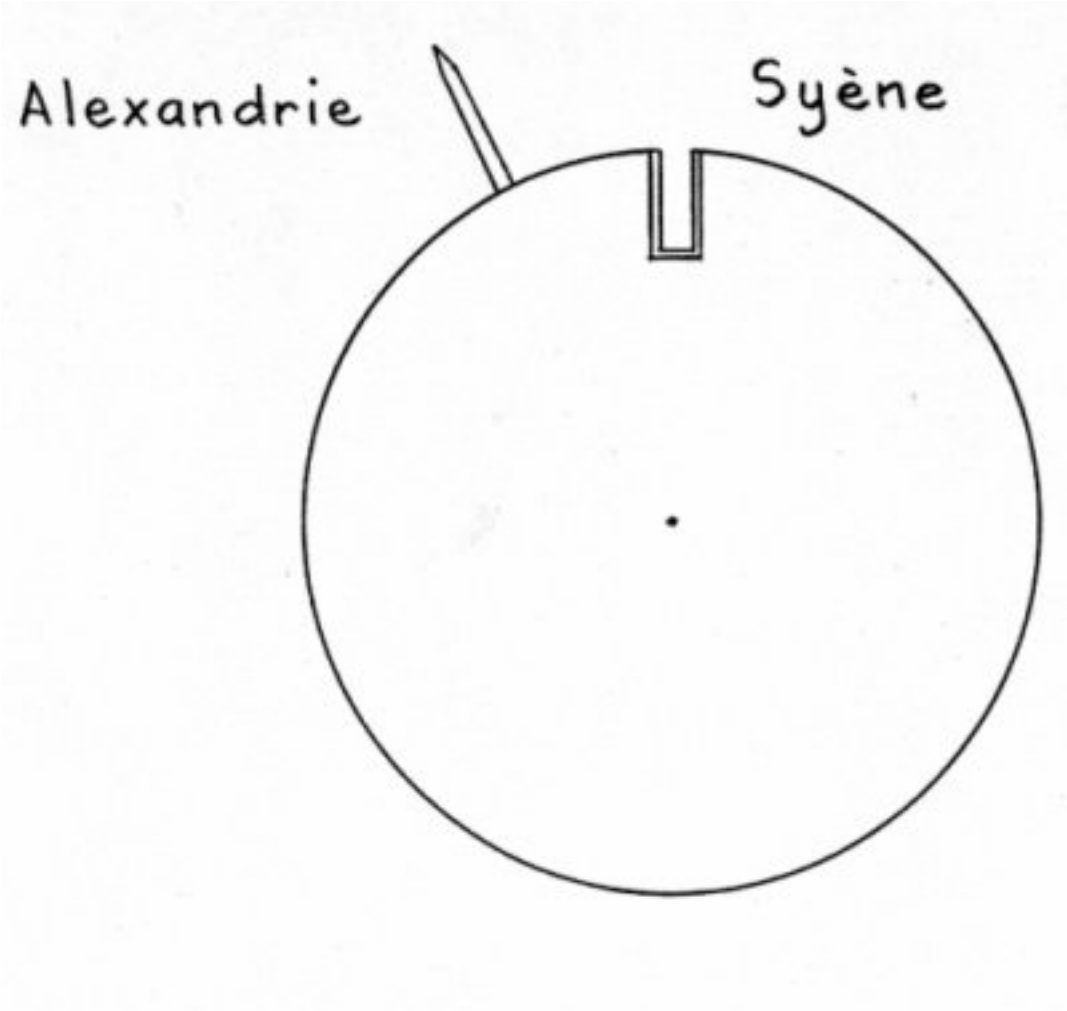
Sais-tu pourquoi il y fait froid l'hiver et chaud l'été ? _____

_____

### *16 - L'idée géniale d'Ératosthène*

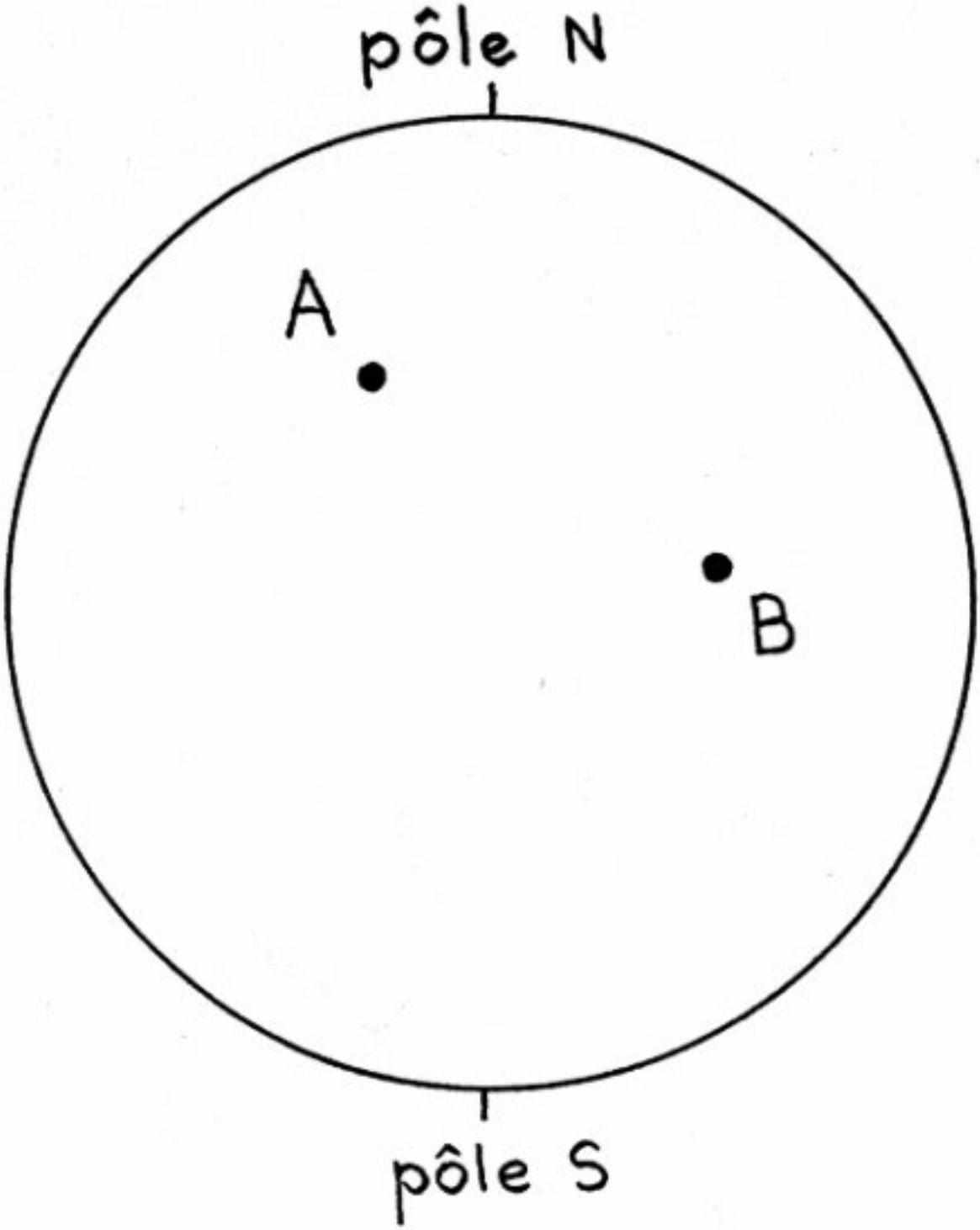
Sauras-tu compléter la célèbre figure d'Ératosthène ? Commence par ajouter à ce schéma deux rayons solaires : l'un arrivant au fond du puits, l'autre sur l'obélisque, jusqu'au sol (et même un peu au-delà par quelques pointillés). Prolonge ensuite, jusqu'au centre de la Terre, la verticale de Syène et celle d'Alexandrie. Pour terminer, colorie les deux angles égaux (du " Z de Zorro ") qui ont permis à

Ératosthène de mesurer le méridien terrestre.




### *17 - Méridiens et parallèles*

Voici un autre schéma du globe terrestre avec deux villes A et B. Trace le méridien puis le parallèle passant tous deux par la ville A. Fais de même pour la ville B. Montre, à l'aide de pointillés, la distance qui doit être prise en compte - dans l'opération Ératosthène - dans le calcul de la longueur du méridien terrestre.




Bonne fin d'année scolaire, bonnes vacances, et rendez-vous sur le site en septembre prochain pour de nouvelles aventures scientifiques selon La main à la pâte.