

Séquence de classe

Cycles 2, 3 et 4

Découvrir les observations d'Ératosthène et tenter de les reproduire

Résumé

Cette séquence d'activités a pour objectif de découvrir les observations d'Ératosthène, du savant grec Eratosthène qui, il y a plus de 2 200 ans, fut le premier à proposer une méthode simple et originale pour mesurer la taille de notre planète, et tenter de les reproduire.

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 :



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.





DELTA

Avaris-Piramsès

Héliopolis

Giza

Le Caire

Saqqara

Memphis

FAYOUM

Licht

SINAÏ

DESERT LIBYQUE

Oasis Bahariya

DESERT ARABIQUE

GOLFE DE SUEZ

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



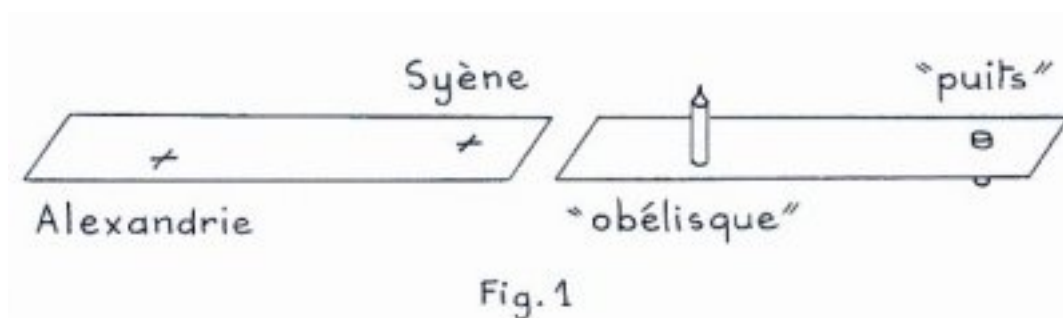
Matériel :

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).



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 Syène (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.

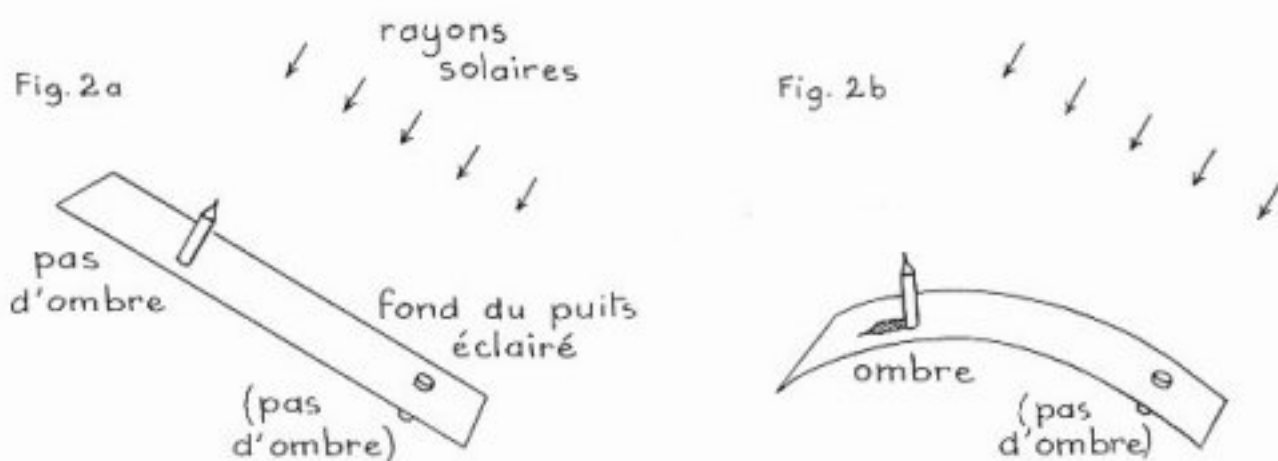


Fig. 2

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) Interpréter 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.

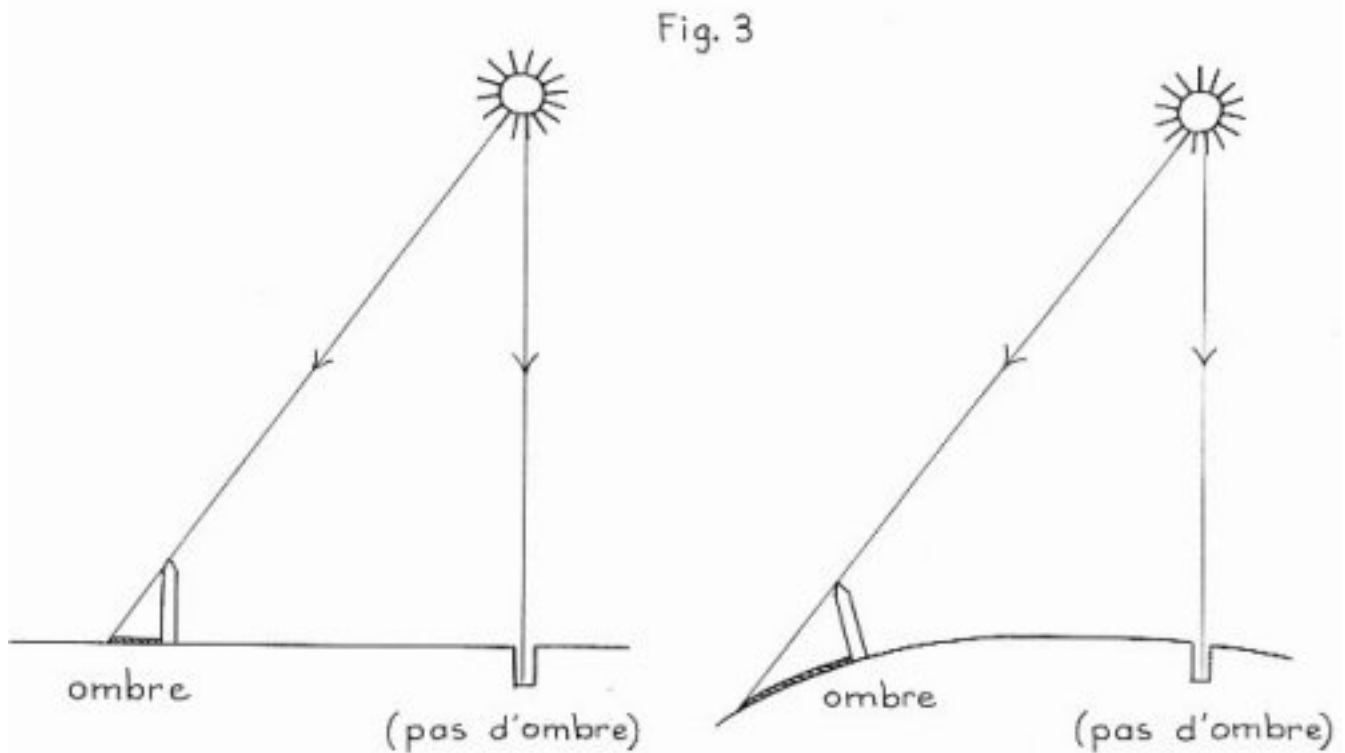
De retour en classe, chaque groupe fait part de sa démarche à l'ensemble des élèves, ce qui permet de comparer les divers cheminements suivis par les équipes.

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).

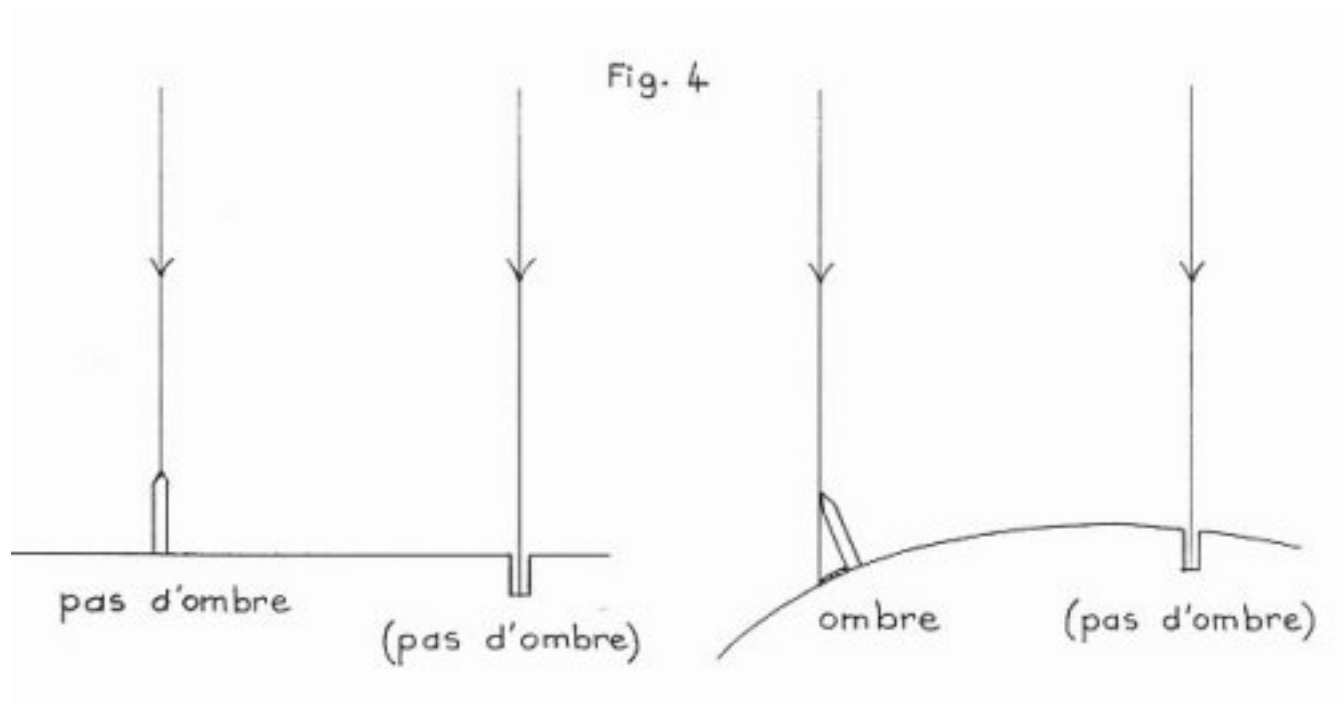
Dites que les rayons du Soleil doivent clairement apparaître sur les schémas et qu'ils doivent être dessinés à la règle. Si cela soulève des questions ou des doutes dans la classe, vous pouvez vous reporter aux activités facultatives sur la propagation de la lumière (voir fiche séparée). La majorité 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 parallélisme 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 vertical) 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

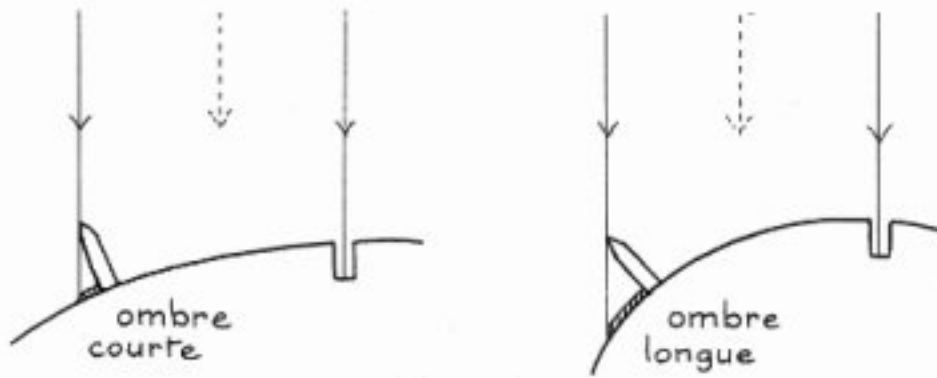


Fig. 5 a
courbure différente
même distance entre les lieux

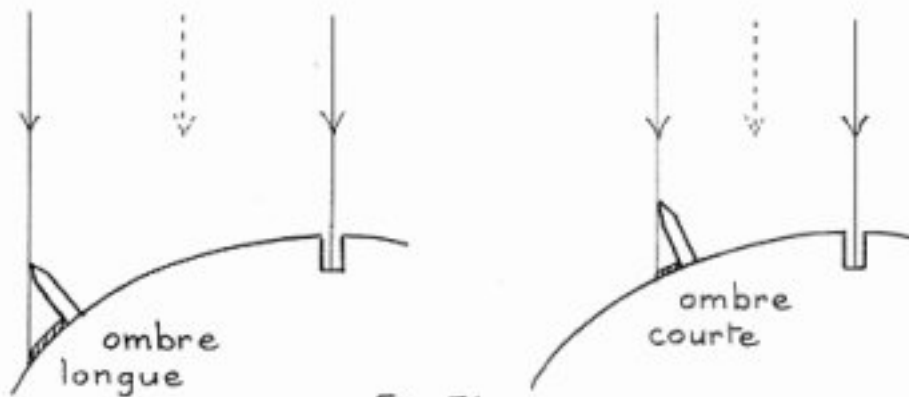


Fig. 5 b
même courbure
distance différente

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)

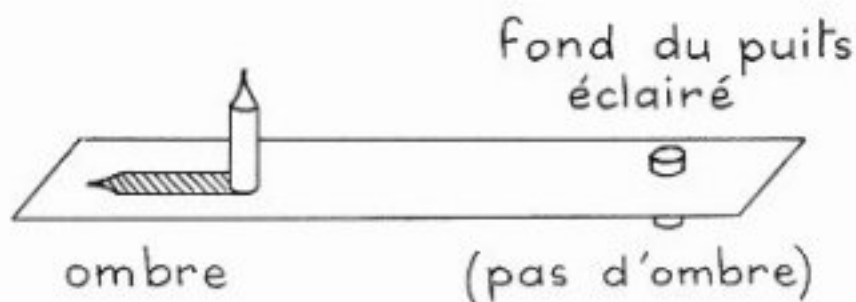
Ensuite pour l'expérience qui suivra:
3 vis à tête plate pas trop petites.
Une feuille de papier quadrillé.

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 ?

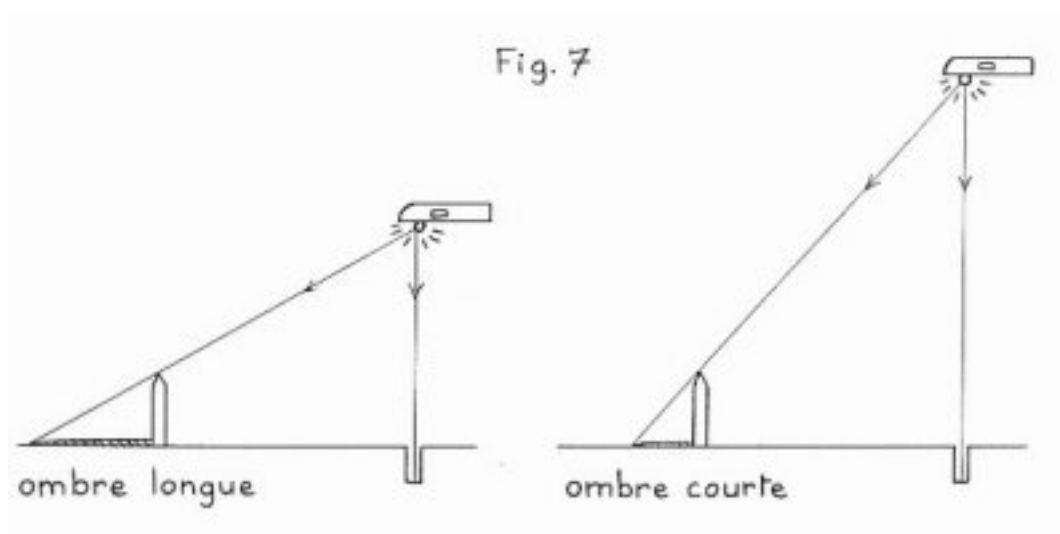
Les enfants observent alors que le bâton vertical projette une ombre. Exactement comme sur le premier dessin qu'ils avaient fait lorsque les rayons du soleil n'étaient pas parallèles ! Donc cela ne correspond pas du tout à ce qu'ils avaient vu dehors au soleil...Mais alors cela suppose que les rayons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

Fig. 6



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 définitivement 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.

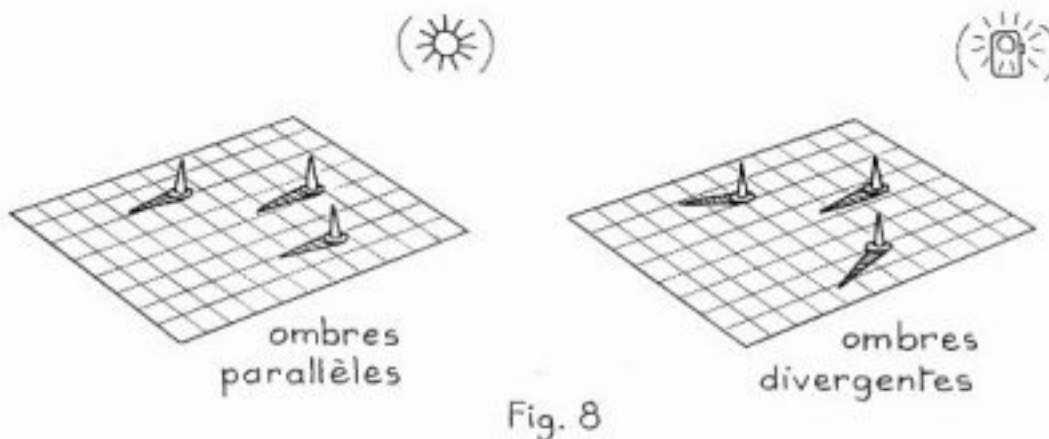


Photo: Huguette Farges , Compiègne

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 !



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 sûrs... 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.

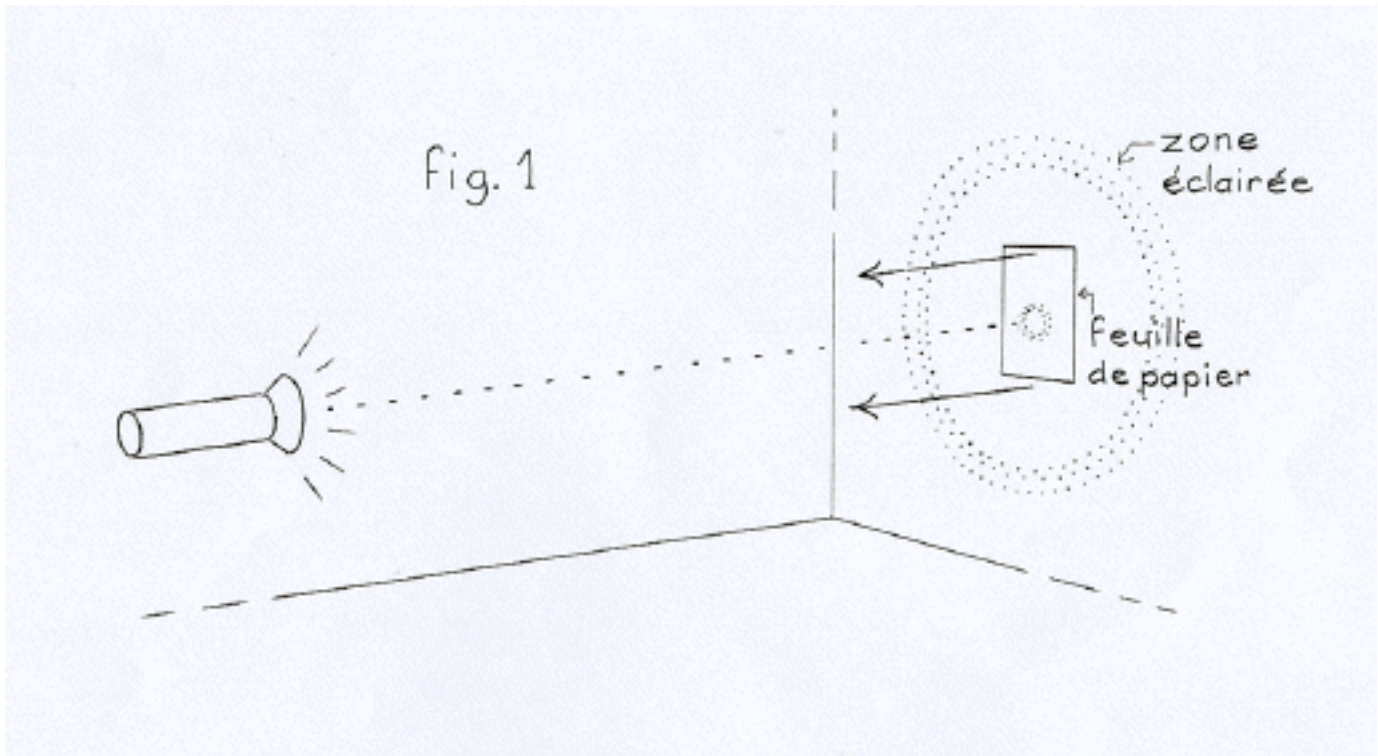


Photo Huguette Farges (Compiègne)

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 œil (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,
calculatrice,
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

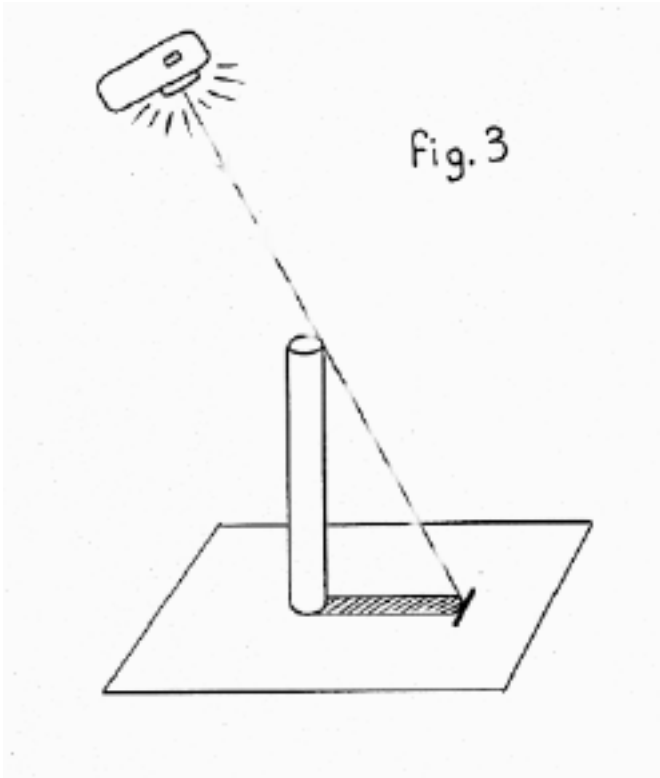
Les élèves consignent leurs observations liées à cette partie par des croquis accompagnés de légendes. On peut leur demander aussi de reproduire à l'échelle de $1/10^{\text{ème}}$, sur du papier millimétré, un personnage vu de profil ayant leur stature, avec son ombre devant lui (donc apparaissant à 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).

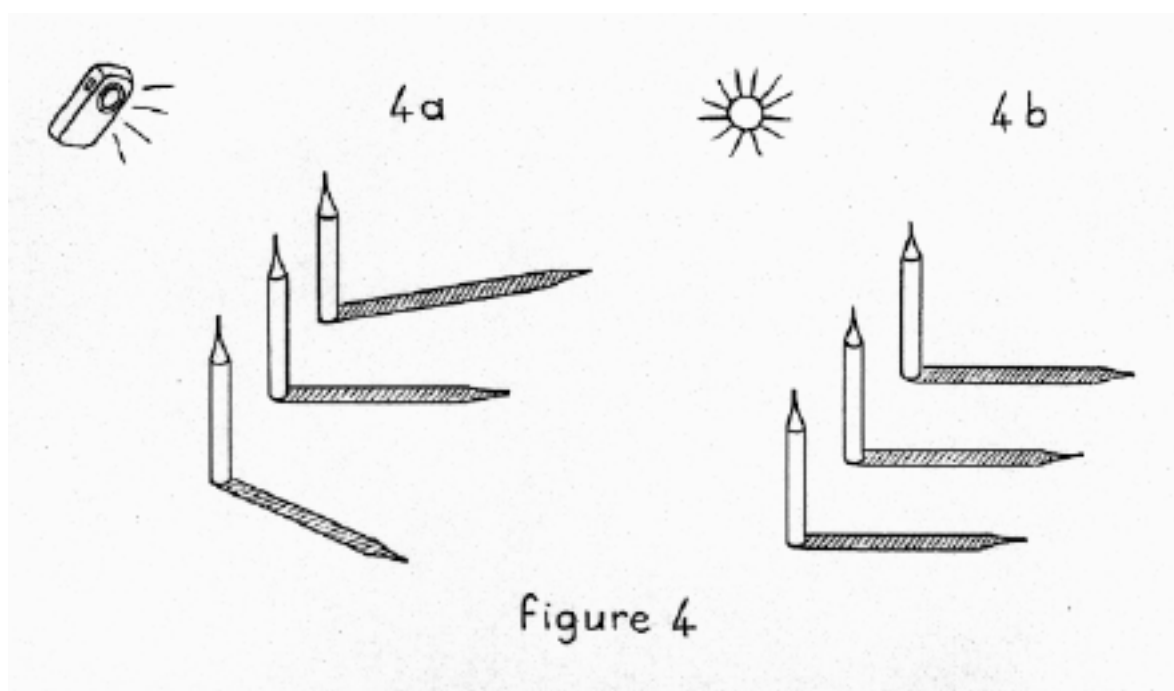
Note : Ce moment d'anticipation permet au maître d'évaluer où en sont ses élèves du point de vue de la propagation rectiligne, et aux élèves de bien prendre conscience de leur manière de raisonner. Si, après vérification, l'expérience invalide la prévision, les élèves comprendront sans doute mieux l'origine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



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 " (figure 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.

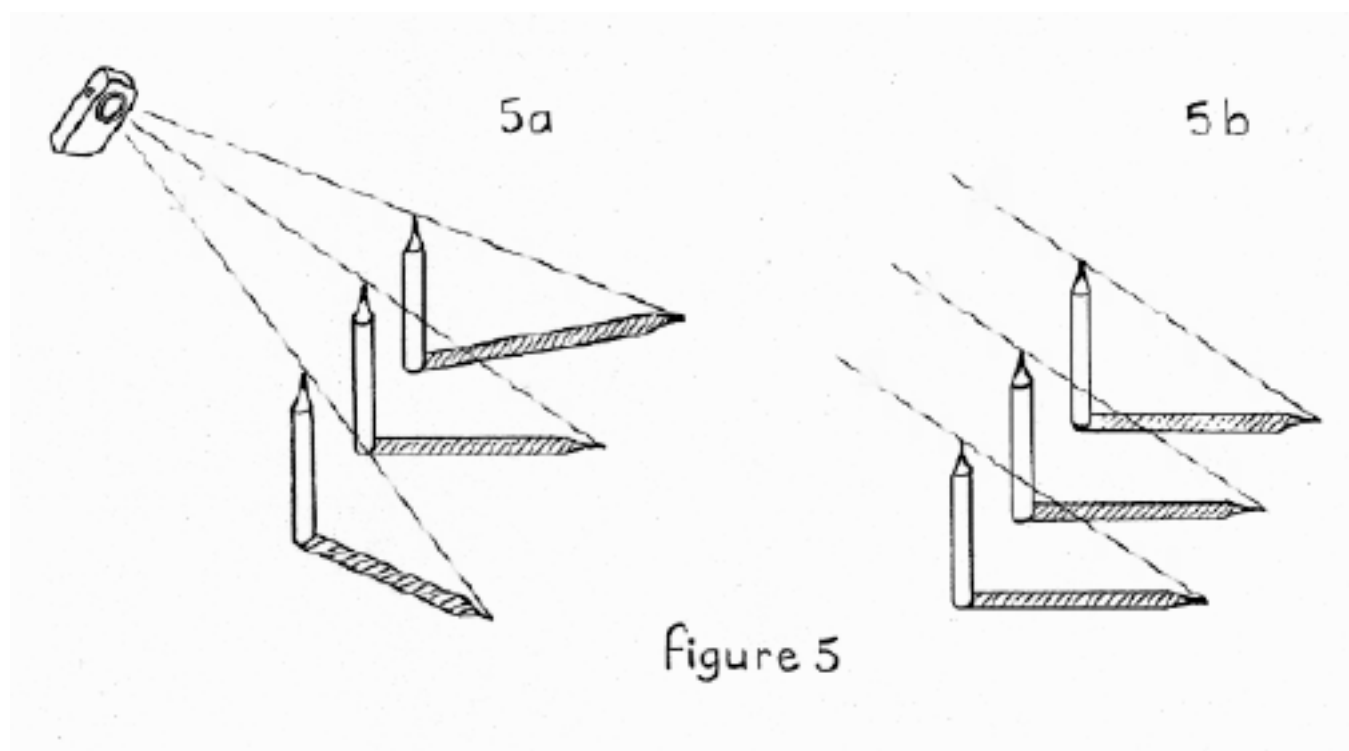
Mesures et interprétations

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 créées 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).



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.

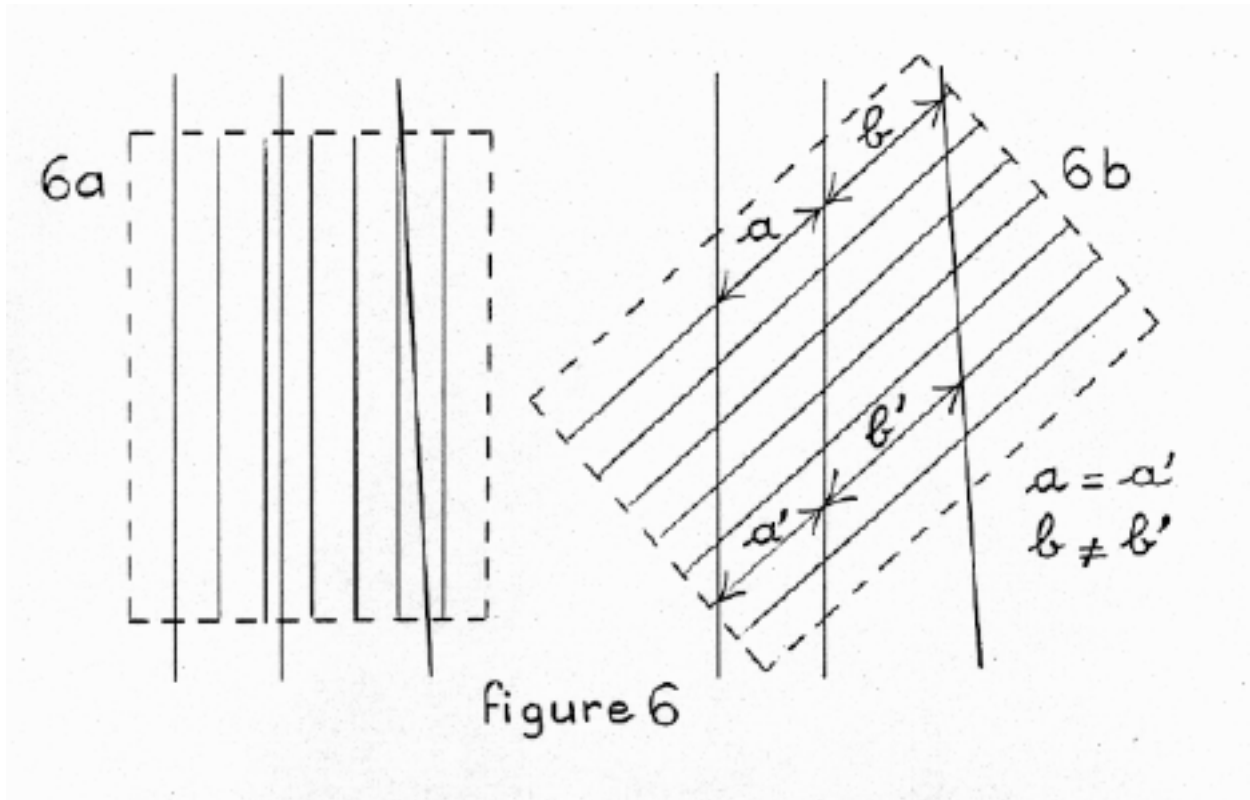
Traces écrites

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)



En posant ce réseau, mais cette fois de façon quelconque sur les droites en questions, puis en procédant pour chacune à la mesure 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.

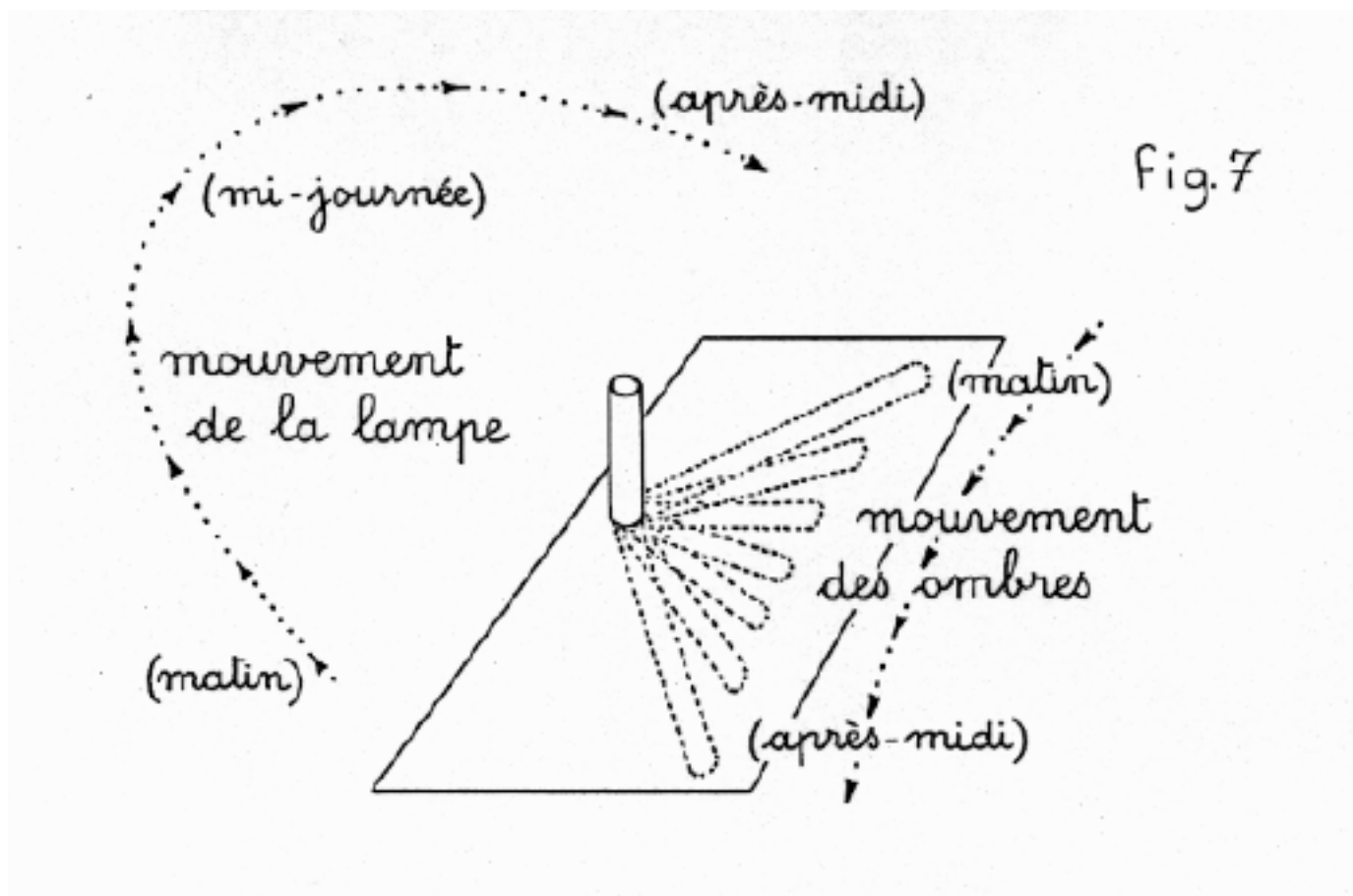
Dessins avec légende

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)



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.

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 intramissionnistes, les théories extramissionnistes et la théorie aristotélicienne.

Les théories intramissionnistes 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 à 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 propriétés (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 à 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

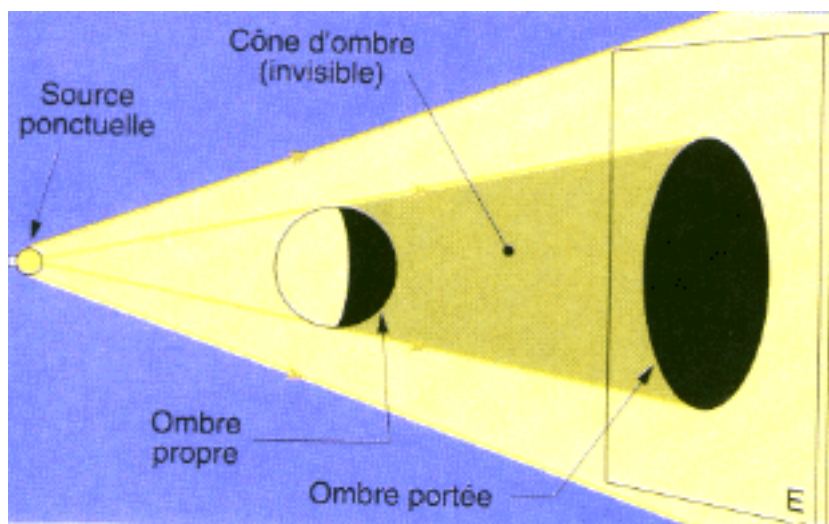
Lorsqu'un faisceau lumineux rencontre un objet opaque, il est en partie réfléchi par sa surface. Prenons le cas d'un miroir, placé dans une immense pièce totalement obscure et éclairé par une simple lampe de poche. Le faisceau qui frappe le miroir semble réfléchi dans une seule direction qui dépend de 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 côté de notre objet opaque.

Formation des ombres

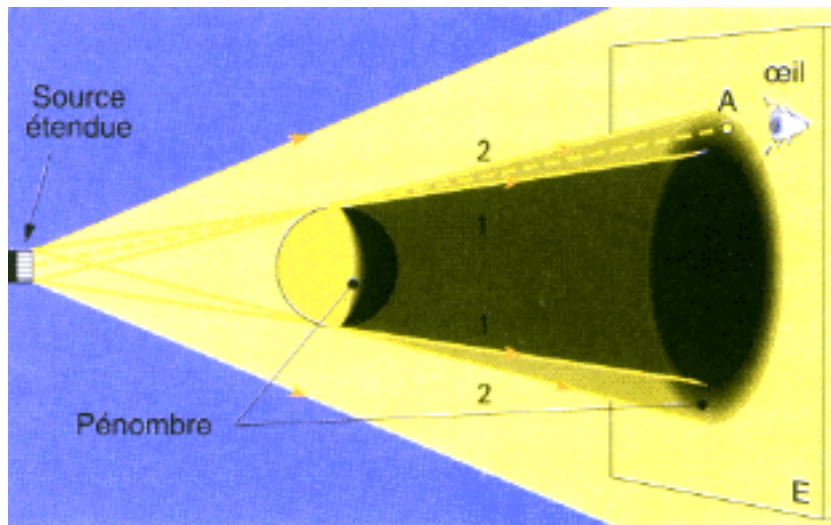
Faisons l'expérience suivante : on éclaire une balle de tennis avec une source lumineuse dite **ponctuelle**. Une source parfaitement ponctuelle n'existant pas dans la nature, on utilise une simple ampoule de lampe de poche. Le filament de l'ampoule étant très fin et très petit, on peut considérer que 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 une unité qu'on appelle "radian") extrêmement petit (comme vous pouvez vous en douter) et on ne peut 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 pôle 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 étendue. 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 opposés du disque solaire. On peut de la même façon que précédemment évaluer cet angle en calculant le rapport suivant : diamètre du Soleil divisé par sa distance $\sim 1/100$.

Cet angle (égal à 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 posé 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 à 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 déconseillé de regarder le Soleil sans protection. Des lunettes spéciales vous permettent d'admirer le disque solaire et d'apprécier son diamètre en toute sécurité.

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'à 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 à l'échelle pour comprendre les distances énormes mises en jeu. A vos stylos !

Auteurs

Travail collectif (équipe *La main à la pâte*)

Licence

Ce document a été publié par la Fondation *La main à la pâte* sous la licence Creative Commons suivante : Attribution + Pas d'Utilisation Commerciale + Partage dans les mêmes conditions.



Le titulaire des droits autorise l'exploitation de l'œuvre originale à des fins non commerciales, ainsi que la création d'œuvres dérivées, à condition qu'elles soient distribuées sous une licence identique à celle qui régit l'œuvre originale.

Fondation *La main à la pâte*

43 rue de Rennes

75 006 Paris

01 85 08 71 79

contact@fondation-lamap.org

Site : www.fondation-lamap.org

