

Séquence de classe

Cycles 2, 3 et 4

Mesurer l'angle entre les rayons solaires et la verticale

Résumé

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 le savant Ératosthène 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.

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.

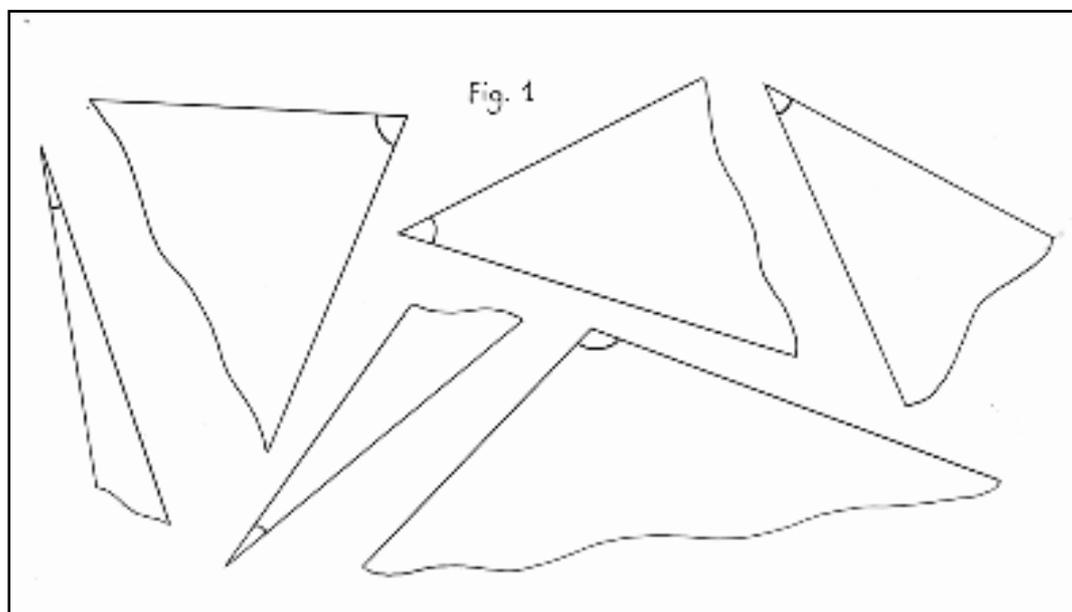
Remarque sur les difficultés liées au concept d'angle par Valérie Munier, laboratoire de didactique des sciences physiques de Paris 7.

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.

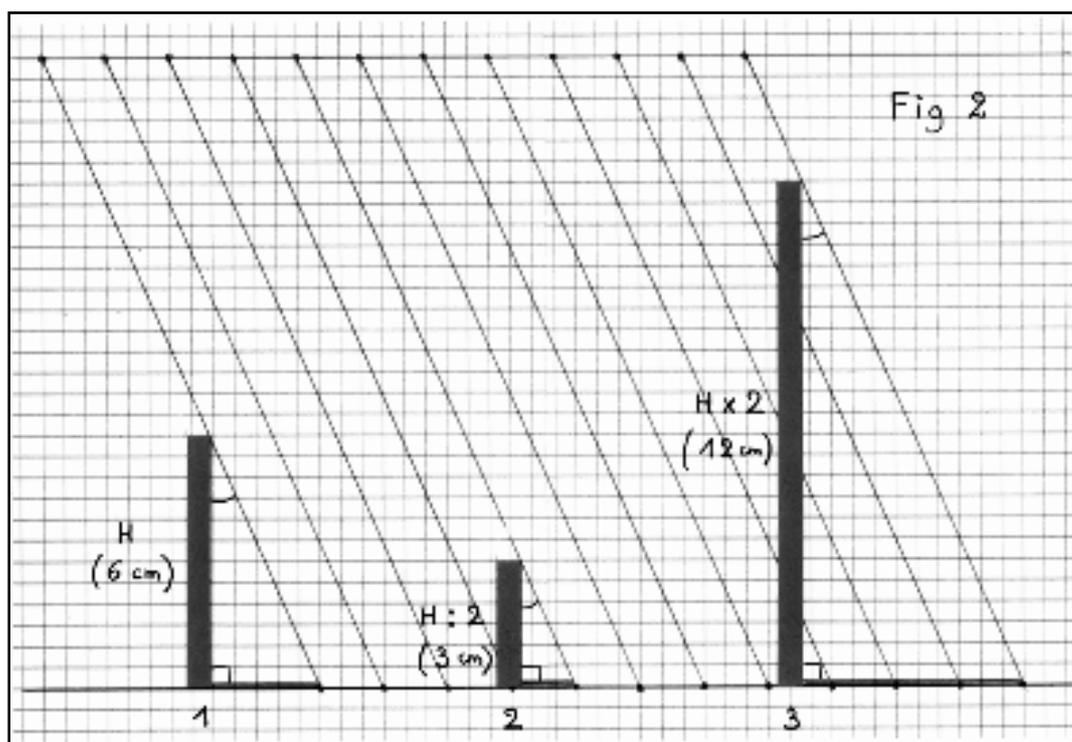
Les enfants s'interrogent sur le défi lancé à la fin du texte : : proposez-leur de faire un schéma représentant l'obélisque et son ombre, en convenant avec eux d'une échelle de réduction, et en prévoyant d'utiliser des feuilles de papier quadrillé ou millimétré.

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 :

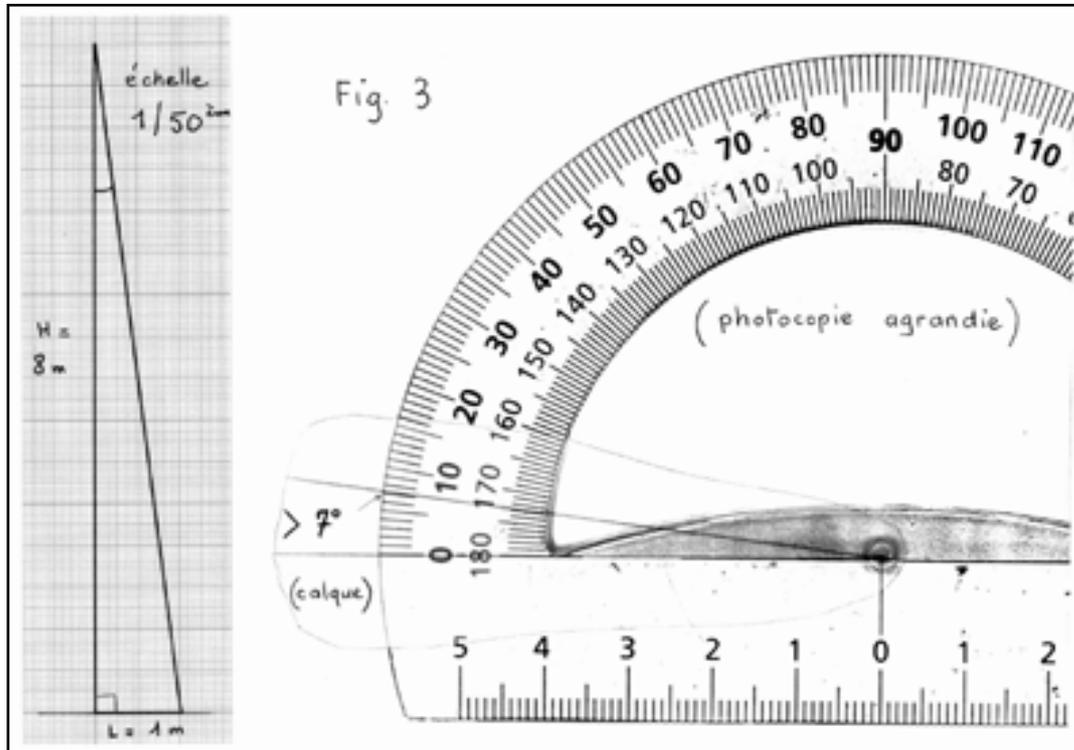
feuilles de papier millimétré ou quadrillé,
papier calque,
photocopies agrandies d'un rapporteur,
crayons bien taillés,
règles,
ciseaux,
rapporteurs.
Ensuite, photocopies du tableau de mesures
(voir plus loin).
Pour la simulation,
une mappemonde (ou un ballon-Terre),
deux minuscules gnomons identiques,
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 $7,2^\circ$ 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 ajouter 1 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>

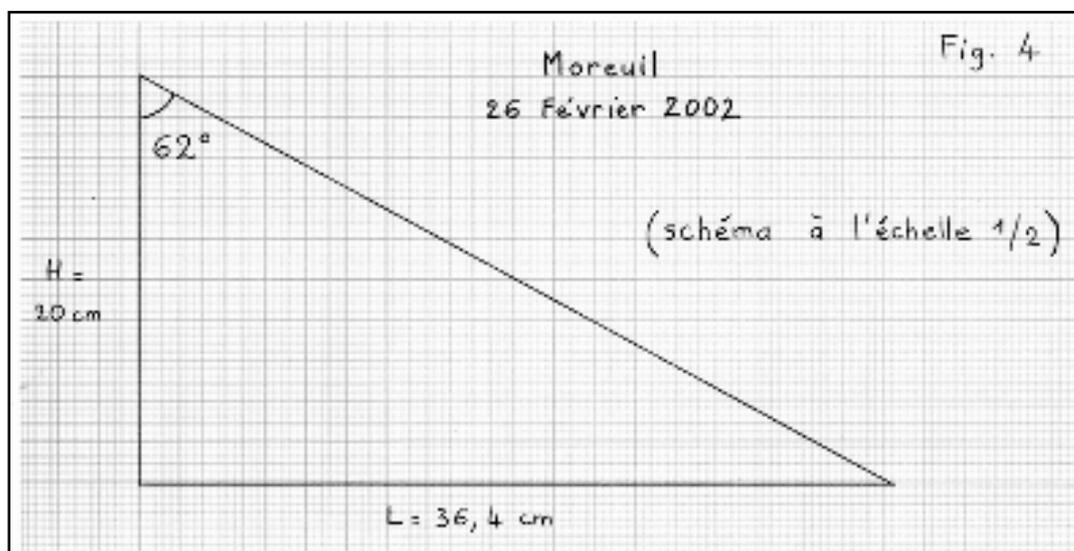
(Notez que dès le premier relevé fait à l'heure précise indiquée par le B.D.L., vous pourrez tracer la méridienne du lieu puisque celle-ci coïncidera avec le tracé de l'ombre.

"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>

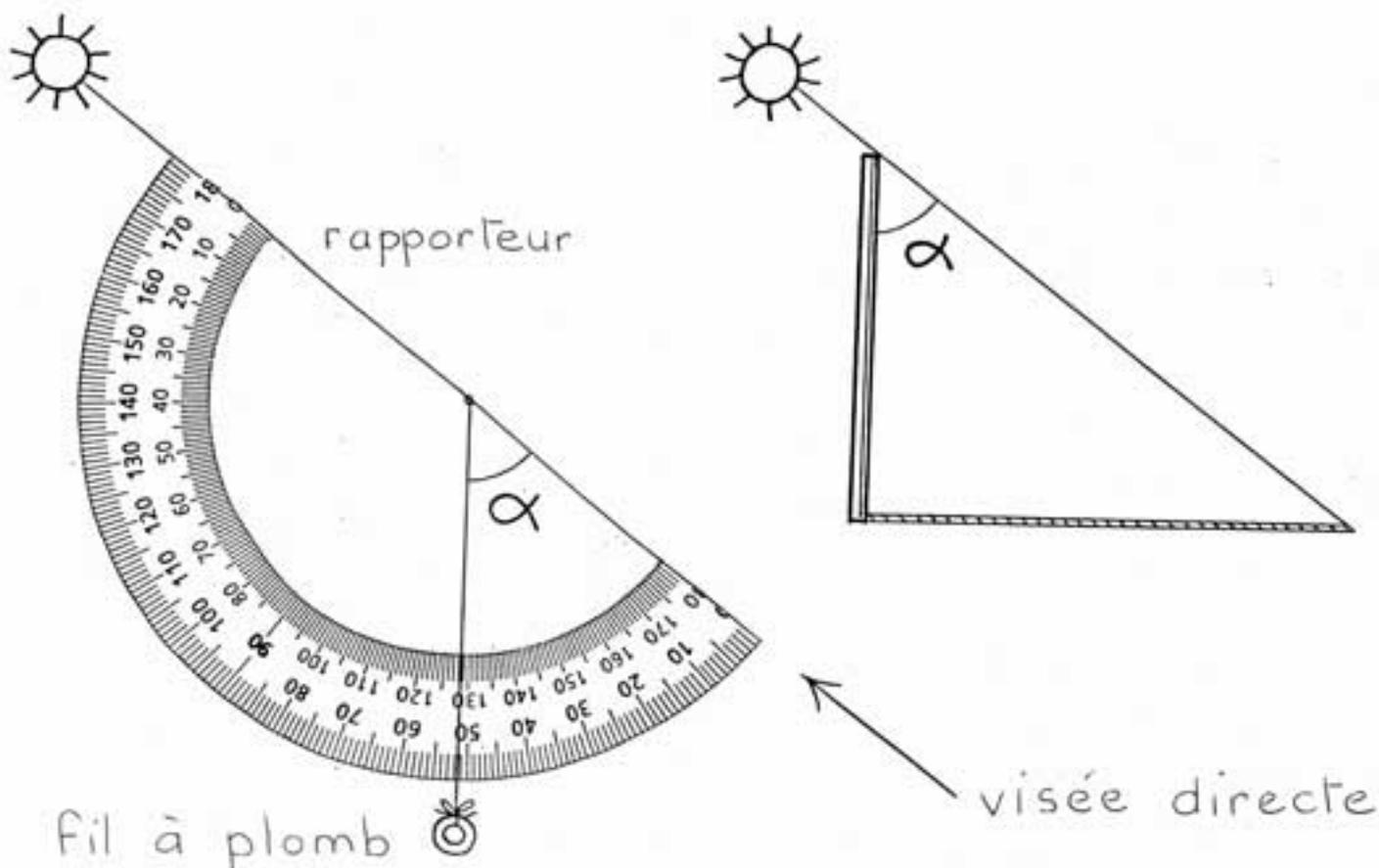
Pensez à publier régulièrement vos mesures et observez bien les résultats des autres écoles : la comparaison des mesures entre les classes fera l'objet de la prochaine séquence, et elle vous permettra d'introduire la notion de coordonnées géographiques. À bientôt sur le site !

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 α) 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

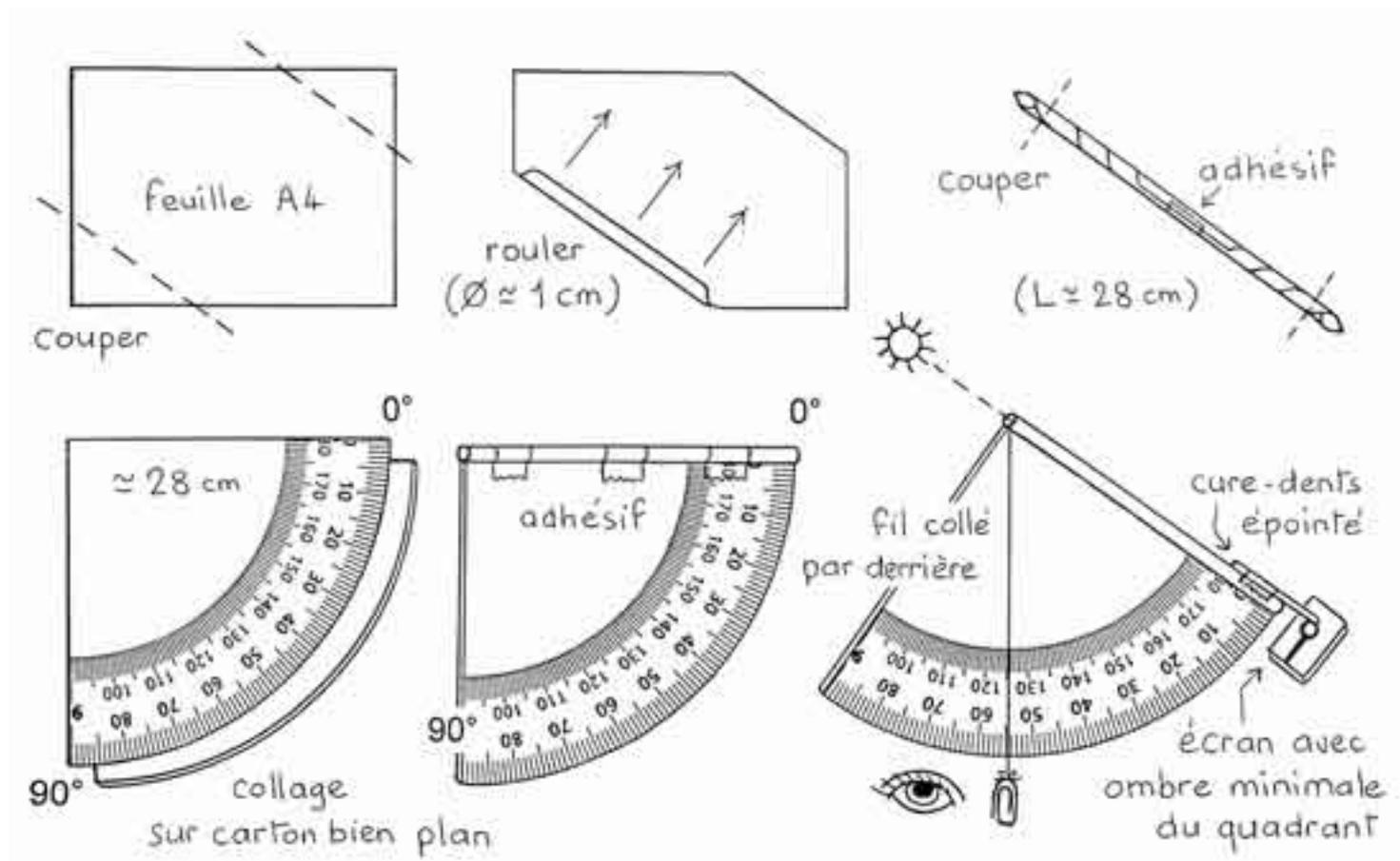
Réaliser un quadrant collectif

Comme pour le gnomon Eratos, le quadrant doit être réalisé avec un soin tout particulier pour obtenir une mesure très précise de l'angle α (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.

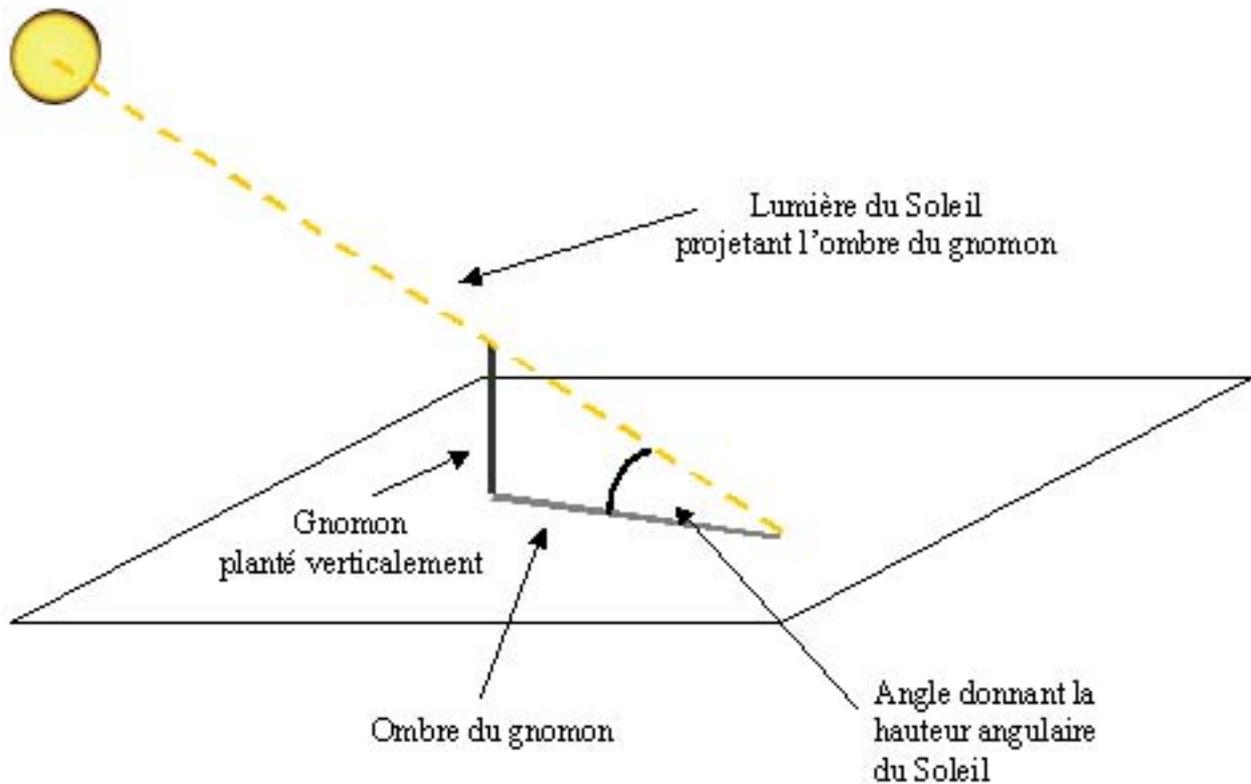
Séquence 4

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 dioptré

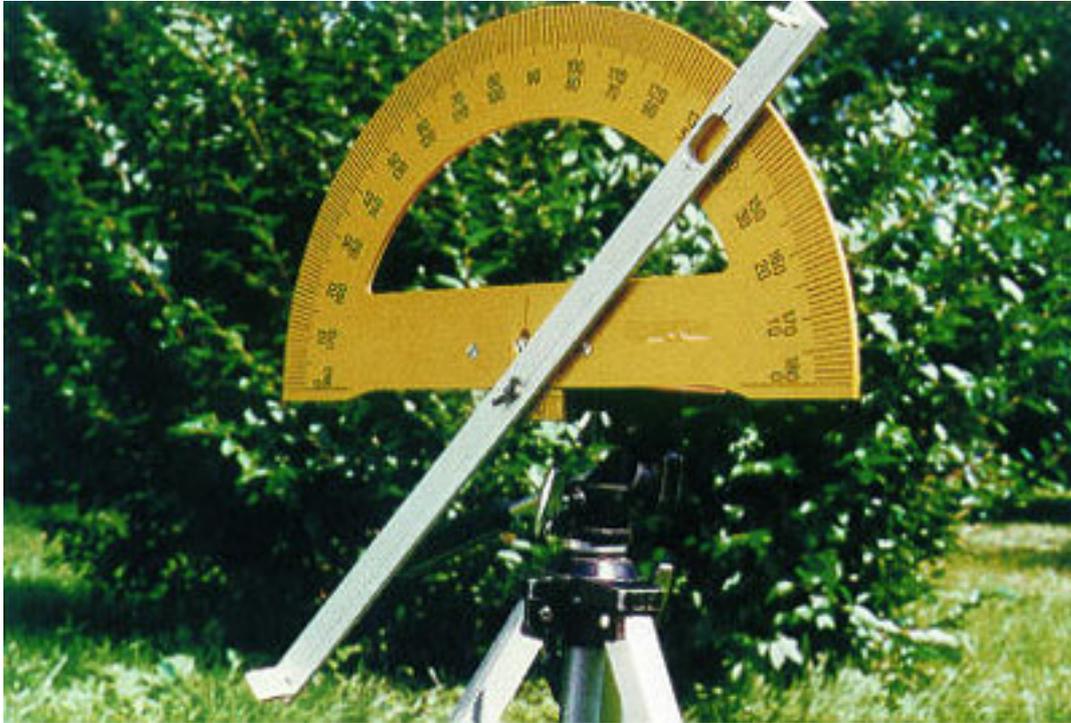
Le dioptré fut inventé par Archimède. Il s'agit d'un cercle gradué (comme un rapporteur de 360°), portant une tige mobile sur son axe central (voir schéma). Avant toute mesure, il est important de s'assurer de la bonne horizontalité de l'appareil (et bien évidemment de protéger ses yeux contre les rayons 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 dioptré 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

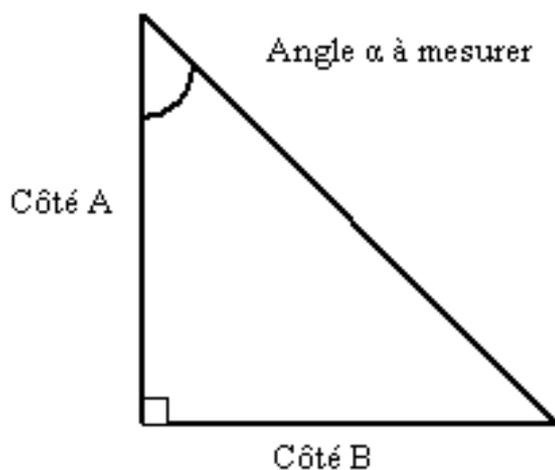
et du stylet et enfin mesure de cet angle.

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.



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

