

Séquence de classe

Réaliser et utiliser des gnomons

Cycles 2, 3 et 4

Résumé

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

Réaliser et utiliser des gnomons

Introduction

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

Notions

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

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

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

Lien avec les fiches connaissances :

Fiche de connaissance N° 17 : [Lumière et ombres.](#) 

Fiche de connaissance N° 18 : [Points cardinaux et boussole.](#) 

Fiche de connaissance N° 19 : [Mouvement apparent du Soleil.](#) 

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

Compétences spécifiques :

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

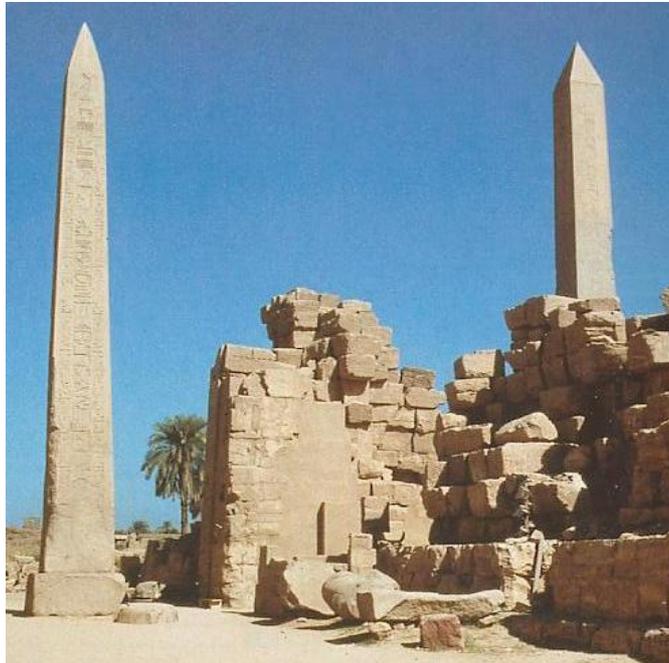
- Être capable d'utiliser les points cardinaux pour repérer

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

Préliminaire : l'obélisque d'Alexandrie

Lors de la première séquence de ce projet, vous avez résolu une partie du mystère d'Eratosthène. Voici la suite de cette histoire.

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



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

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

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

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

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

Sommaire de la séquence:

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

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

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

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



Matériel :

Pour la classe :

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

Débat.

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

Installer un bâton au soleil. Dès le matin, on place le bâton dans son pot dans un endroit restant ensoleillé pendant le temps scolaire. Il s'agira donc de mesurer son ombre plusieurs fois dans la journée. Mais une question se pose : si l'ombre " bouge " comment fera-t-on pour noter son déplacement ? " Il faudra dessiner l'ombre par terre ! " Donc, on placera le pot sur un sol bitumé (s'il ne peut rester en place toute la journée, on prendra la précaution de dessiner le contour de sa base).

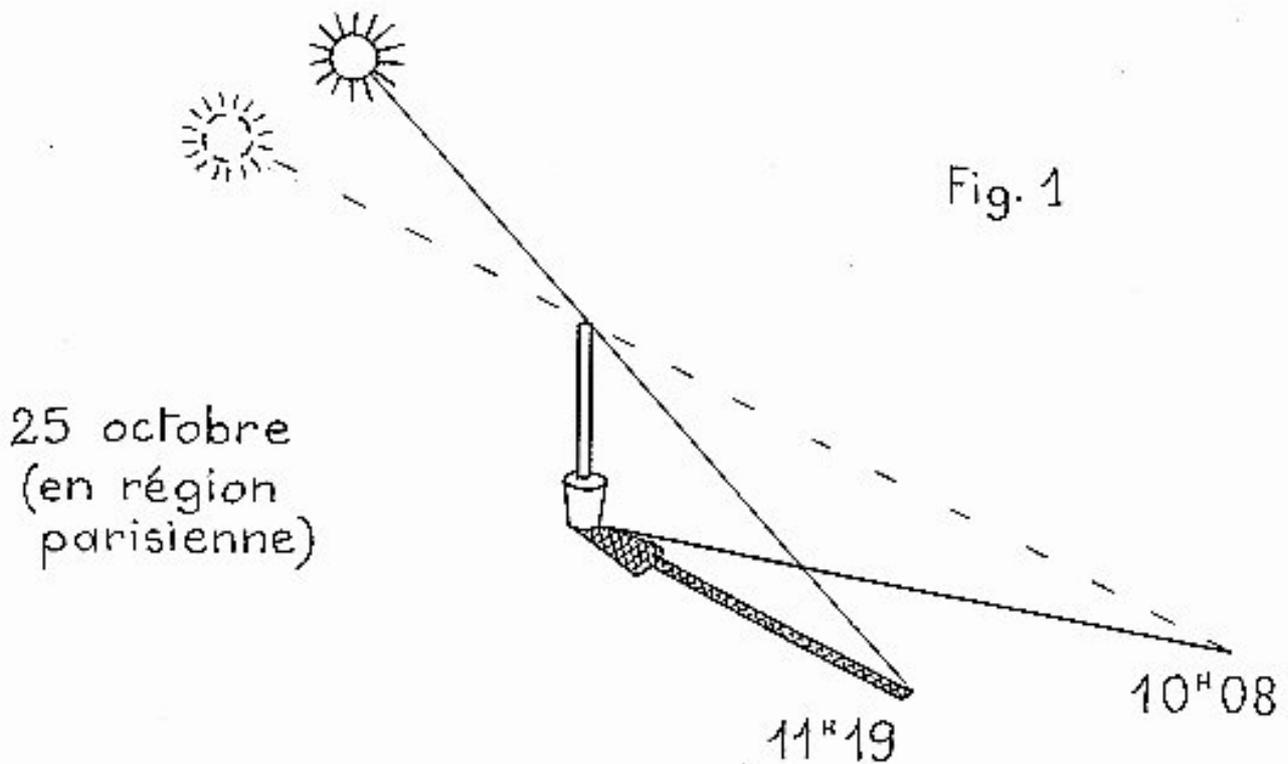
On discute pour convenir des moments où se feront les observations de l'ombre sans perturber la vie de la classe : par exemple, dès le début de la récréation du matin, puis juste avant l'heure de la sortie de midi ; ensuite, à l'heure de la

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

Observer, tracer et mesurer l'ombre du bâton. Lors de la première observation sur le terrain, après qu'on ait noté la date et l'heure précise, un élève est chargé de tracer l'ombre du bâton par un simple trait rectiligne partant de la base du pot jusqu'à l'extrémité de l'ombre.

Un autre mesure ensuite le tracé à l'aide d'un mètre à enrouleur, et on note le chiffre trouvé tandis que certains remarquent une chose importante : la précision de la mesure est toute relative car l'ombre (pot compris), très nette au niveau de sa base, présente ensuite un flou qui augmente vers son extrémité (d'autant plus si la longueur du bâton est importante : cela est dû à l'effet de pénombre). Et si cette extrémité est très " pointue " (pour cela, mettez-y provisoirement une vis, pointe en l'air), les élèves s'aperçoivent - contre toute attente - que l'imprécision à ce niveau est encore plus grande ! (Aussi, en revenant la fois suivante sur le terrain, ils apporteront quelques objets rectilignes de longueurs différentes et de formes diverses à leur extrémité : en les tenant bien droit sur le sol, ils constateront que la meilleure précision de l'ombre est obtenue avec les objets les plus courts et à bout plat, ce dont ils se souviendront quand ils réaliseront leurs gnomons).

Lors du second moment d'observation (avant lequel vous aurez glissé deux boussoles dans votre poche), les remarques fusent : " L'ombre a tourné ! ", " Et elle a raccourci ! ". Les enfants discutent alors pour interpréter le phénomène : ils se mettent rapidement d'accord sur le fait que le Soleil a dû se déplacer dans le ciel et qu'il est aussi plus haut que tout à l'heure.



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

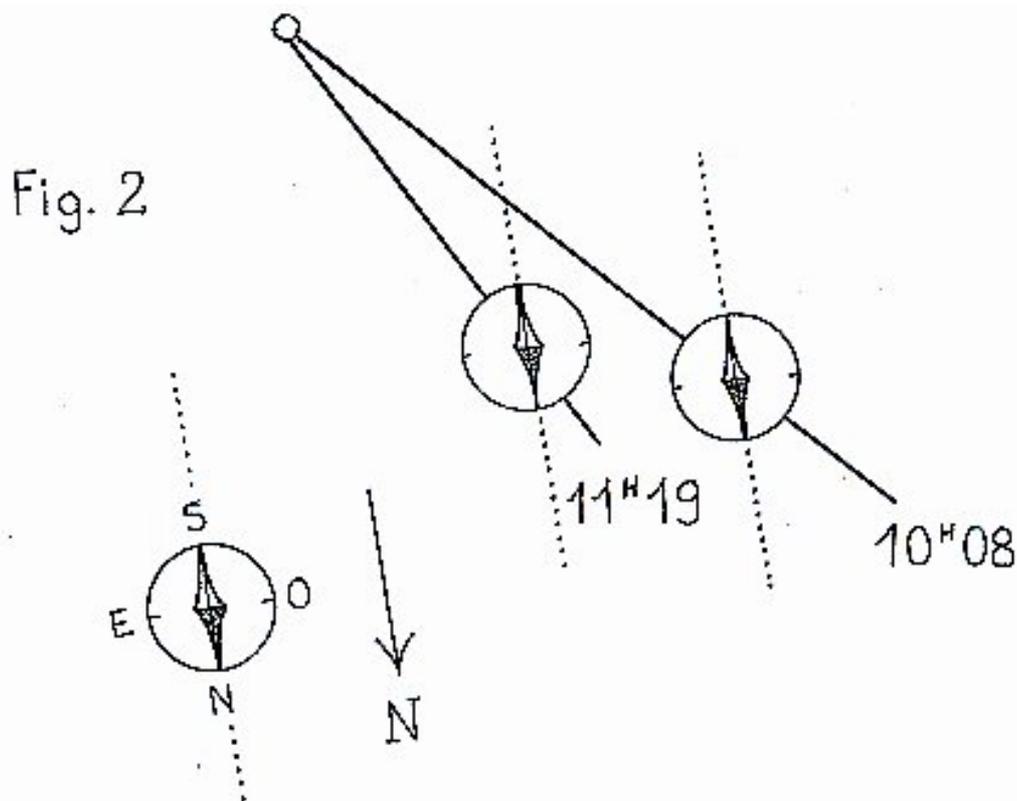
Garder en mémoire l'orientation des deux premiers tracés d'ombre, puis des suivants. Une question va sans doute émerger dès le deuxième moment d'observation ou lors des suivants : s'il est simple de noter à chaque fois la longueur des tracés, comment faire pour garder en mémoire " leur écartement ",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

le calque si on veut refaire la manip pour des comparaisons ultérieures ? D'où la nécessité de repérer sur le terrain, puis sur le calque, une direction précise et immuable, comme le nord, par exemple, que l'on retrouve d'ailleurs sur les cartes... " Il nous faudrait une boussole ! "

Faites alors une enquête rapide à propos des connaissances qu'ont vos élèves sur cet instrument, puis prévoyez quelques activités pour les familiariser avec son emploi ([voir les activités sur la boussole](#)).

Tandis que les enfants remarquent que l'ombre a déjà tourné légèrement pendant qu'ils discutaient, sortez l'une des boussoles de votre poche. Demandez qu'un élève vienne montrer comment on utilise cet instrument, posé au sol : une fois l'aiguille stabilisée, l'élève fait coïncider sa " pointe bleue " avec la lettre N pour que les quatre lettres des points cardinaux montrent bien les quatre directions. Celle du nord est ensuite matérialisée par une flèche (comme sur la figure 2).

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

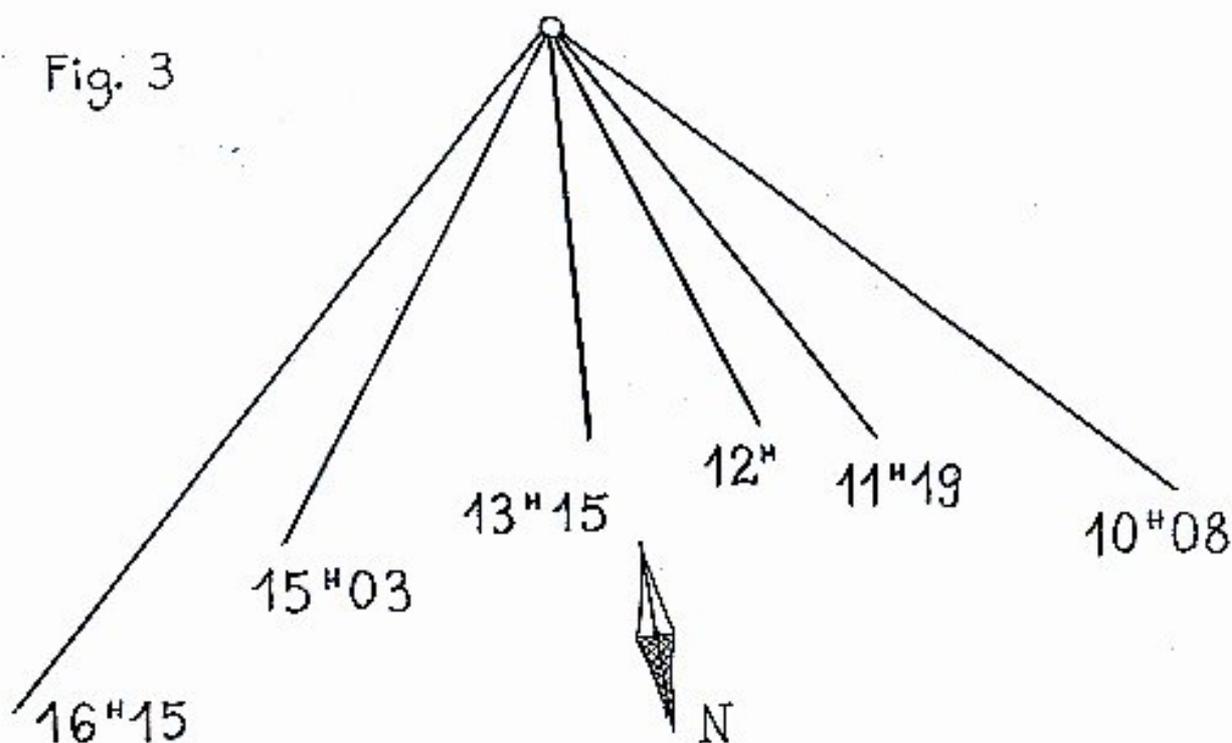


Les enfants remarquent que les deux tracés d'ombre ne suivent pas la direction du nord : ils proposent de placer la boussole (et la deuxième que vous aurez sortie) sur chacun d'eux pour voir " comment ils s'en écartent ". Il se peut alors que certains précisent que les tracés s'orientent vers le nord-est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

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

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

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



Avant de quitter l'école, on reproduira sur un papier calque " ce drôle d'éventail qui s'ouvre vers le nord ", ou tout du moins le départ de ses tracés, y compris la flèche montrant le nord (ou l'aiguille de la boussole) : les enfants pourront s'y référer pour schématiser sur leurs cahiers d'expériences les relevés effectués.

Pensez à réserver dix minutes en fin de journée pour faire le point sur les conclusions de leur expérience. Ils ont découvert ce qu'Eratosthène avait lui-même réalisé en observant l'obélisque : les ombres tournent et changent de longueur en fonction de l'heure. Certains élèves feront peut-être référence aux cadrans solaires basés sur le principe de rotation des ombres. Précisez-leur alors que ces obélisques servaient très probablement de cadran solaire aux Egyptiens. Enfin, ils noteront soigneusement toutes les nouvelles questions que cette expérience aura suscitées. Par la suite, ils auront sûrement envie de refaire la manip avec des " obélisques " miniatures plantés cette fois sur un large socle pouvant contenir les grandes ombres du matin et de l'après-midi. C'est l'objet de la suite de cette séquence.

2) Réaliser et utiliser divers gnomons

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

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



Matériel :

Pour la classe :

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

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

Concertation.

Répartis en groupes, les élèves se concertent pour choisir, parmi les objets apportés, ceux qui leur semblent les mieux adaptés pour réaliser un ou deux gnomons. (On aura pu décider également que chaque enfant construise le sien, mais attention ensuite à tout l'espace qui sera nécessaire pour exposer au soleil une trentaine de planches d'une surface non négligeable !) Construction des gnomons : Certains groupes choisissent de planter une baguette dans une plaque de polystyrène, ou de coller un grand rivet sur une planchette de contre-plaqué ; d'autres fixent simplement, à l'aide d'un anneau de pâte adhésive, un crayon (qu'ils pensent ou non à épouser au préalable) ou un morceau de tube, sur du carton d'emballage, etc.

Se souvenant d'une part, que les ombres sont très longues en cette fin d'automne et que, d'autre part, le " flou " de leur contour augmente " vers le bout ", les petits malins prendront soin de choisir un gnomon assez court, c'est-à-dire d'une dizaine de centimètres tout au plus, pour éviter que " la planche " ne soit trop encombrante ; néanmoins, s'ils ne prévoient pas un support assez vaste ni ne prennent la précaution de fixer leur gnomon près d'un bord, ils risquent de voir l'ombre déborder plus ou moins... (En effet, sous nos latitudes, au moment du solstice d'hiver et lors du midi solaire local, les ombres, bien qu'à leur plus courte dimension, atteignent néanmoins plus de deux fois et demie la hauteur des objets !)

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

Installation des gnomons.

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

Concertation puis relevés des longueurs d'ombre. On se met d'accord pour que les horaires des relevés soient à peu près les mêmes que ceux de l'autre jour avec le bâton au soleil. Néanmoins, pour pouvoir comparer ensuite les résultats des tracés, un enfant, montre en main, sera chargé de donner le signal d'exécution des relevés. D'autre part, des élèves peuvent proposer de voir ce qui se passe entre midi et l'heure du relevé suivant : ils retarderont le tracé de l'ombre effectué au " midi pile " - jugé non intéressant - et avanceront un peu celui du début de l'après-midi dans le but d'obtenir peut-être que l'un des deux nouveaux tracés coïncide avec la fameuse direction nord...

Au cours d'une nouvelle journée ensoleillée, les élèves exécutent au sein de chaque groupe les consignes prévues en faisant alterner les tâches entre les participants. Peut-être vont-ils rencontrer ça et là quelques problèmes : ombres longues coupées (tige trop haute par rapport à la surface du socle, ou mal placée, direction nord trop décalée par rapport à l'axe du socle), difficulté de repérer avec précision l'axe de l'ombre (tige trop large ou irrégulière), manque de précision pour la mesure (tige encore trop pointue)...

Confrontation des résultats.

En superposant deux à deux les papiers calques des relevés complets, les élèves voient bien sûr que les ombres des gnomons les plus hauts donnent les tracés les plus longs. Mais, tout en remarquant que ces " éventails " très divers montrent globalement que les ombres ont bien tourné de la même façon, ils admettent que des décalages non négligeables remettent en question l'orientation précise de certaines ombres : en particulier celles de la mi-journée, susceptibles de s'approcher le plus de la direction nord...

Ils débattent de ce problème et comprennent que les comparaisons seraient facilitées si tous les gnomons étaient identiques... A la question : " Pensez-vous que si vous recommencez la manip avec des gnomons semblables et en prenant toutes les précautions requises, vous obtiendrez des résultats identiques ? ", ils vont répondre d'une seule voix par l'affirmative ! Mettez-les au défi de le vérifier...

3) Réaliser et utiliser quelques gnomons semblables

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

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



Matériel :

Pour chaque groupe de 3 à 5 élèves :

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

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

pointue sera plantée, " à fond ", dans une plaque de carton ondulé rigide de 5mm d'épaisseur (ou mieux encore, dans une plaque de " carton-plume " de 5 mm : matériau disponible dans les magasins de fournitures pour artistes) : cela donnera, dans notre exemple, une hauteur de 5 cm à tous les gnomons. Le support pourra donc avoir des dimensions réduites, c'est-à-dire, 18 x 25 cm. Avant d'y planter le cure-dent, on y fixera, mais de façon provisoire, une feuille de papier calque.

Avant et pendant les relevés, on prendra toutes les précautions qui seront décidées en commun : vérification de la hauteur du cure-dent (avec une réglette de papier millimétré pour avoir le zéro coïncidant avec le support), relevé précis de l'orientation du support, top sonore au moment des relevés, tracés très soigneux (au crayon noir bien taillé) de la base du cure-dent jusqu'à l'extrémité de son ombre (plate et non pointue comme nous l'avons vu).

Confrontation des nouveaux résultats. On superposera les calques deux à deux en faisant bien coïncider les repères de la direction nord. Ô (mauvaise) surprise : à quelques exceptions près, les tracés ne coïncideront pas vraiment, à la fois du côté des angles et du côté des longueurs...

Les enfants en rechercheront les causes. Après avoir soupçonné le manque de rigueur des exécutants des calques particulièrement " bizarres ", ils examineront de près les gnomons concernés, et s'écrieront : " Mais bien sûr ! ce cure-dent-là n'est pas bien droit ! ". Ils pourront vérifier qu'en faisant osciller même très légèrement un gnomon sur sa base, la longueur de son ombre et son orientation évoluent sensiblement. Mais peut-être qu'un autre gnomon montré du doigt ne présentera pas ce défaut... Alors, il faudra rechercher une autre raison, peut-être du côté du support : " Tiens, on dirait que ce carton-là n'est pas bien posé à plat... Bah, oui, y'a une règle plate qu'est restée en dessous ! ". En faisant osciller cette fois le support " en long et en large et en travers ", les élèves remarqueront que l'ombre du cure-dent se met aussitôt à fluctuer de diverses façons.

Ainsi, ils vont comprendre que, pour obtenir des mesures d'ombre semblables, il est nécessaire, en plus de toutes les précautions déjà prises, que les gnomons soient " tous bien droits " et les supports " tous bien à plat ".

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

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

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

Lieu : classe puis lieu des relevés.



Matériel :

Pour groupe de 4/5 élèves :

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

Faire le point.

Les réponses [au questionnaire-test](#) vous auront déjà fourni quelques éléments quant aux connaissances des enfants sur la notion de verticalité et d'horizontalité (ajoutons ici " en un lieu donné " car vos élèves verront plus tard que le parallélisme de deux verticales en deux lieux différents à la surface du globe, n'est plus effectif, de même pour deux horizontales).

En fonction de ce bilan (et du temps dont vous disposerez ensuite), vous pouvez faire travailler les enfants de manière expérimentale sur la verticalité et l'horizontalité, mais aussi sur l'angle droit formé par ces deux directions : [consultez la page verticalité et horizontalité](#) (vous y trouverez notamment comment réaliser de façon simple des fils à plomb et des niveaux à bulle, puis comment s'en servir).

Les élèves doivent prendre le temps de manipuler des niveaux à bulle lesquels, associés à des équerres, donnent la verticale. Ils comprennent alors que le plus simple, pour régler les gnomons, sera de commencer par mettre les cure-dents à angle droit par rapport aux supports car, une fois que ces derniers seront réglés à l'horizontale, les cure-dents seront forcément bien verticaux !

Réglage avec des équerres.

Auparavant, une nouvelle feuille de papier calque est fixée provisoirement sur chaque support.

En maintenant leur équerre posée (sur la tranche de sa base) sur le support et contre leur gnomon pour vérifier que celui-ci est correctement planté, les élèves se rendent compte que l'équerre peut elle-même osciller plus ou moins sur sa base, et donc coïncider avec un gnomon qui serait légèrement " penché " !. Ils proposent alors de déplacer l'équerre à deux ou trois reprises autour du cure-dent pour s'assurer que celui-ci va bien coïncider à chaque fois, ce qui prouvera qu'il est vraiment perpendiculaire au support.

A ce propos, un pliage très simple permet d'obtenir une " équerre double " qui, elle, sera parfaitement stable, permettant ainsi un réglage immédiat et fiable : les enfants la réaliseront dans un rectangle de bristol d'environ 32 x 12 cm (figure 4) : attention à la base du rectangle qui doit être parfaitement rectiligne, et à son pliage très soigneux " bord sur bord ". On écrasera le pli avec le dos de l'ongle.

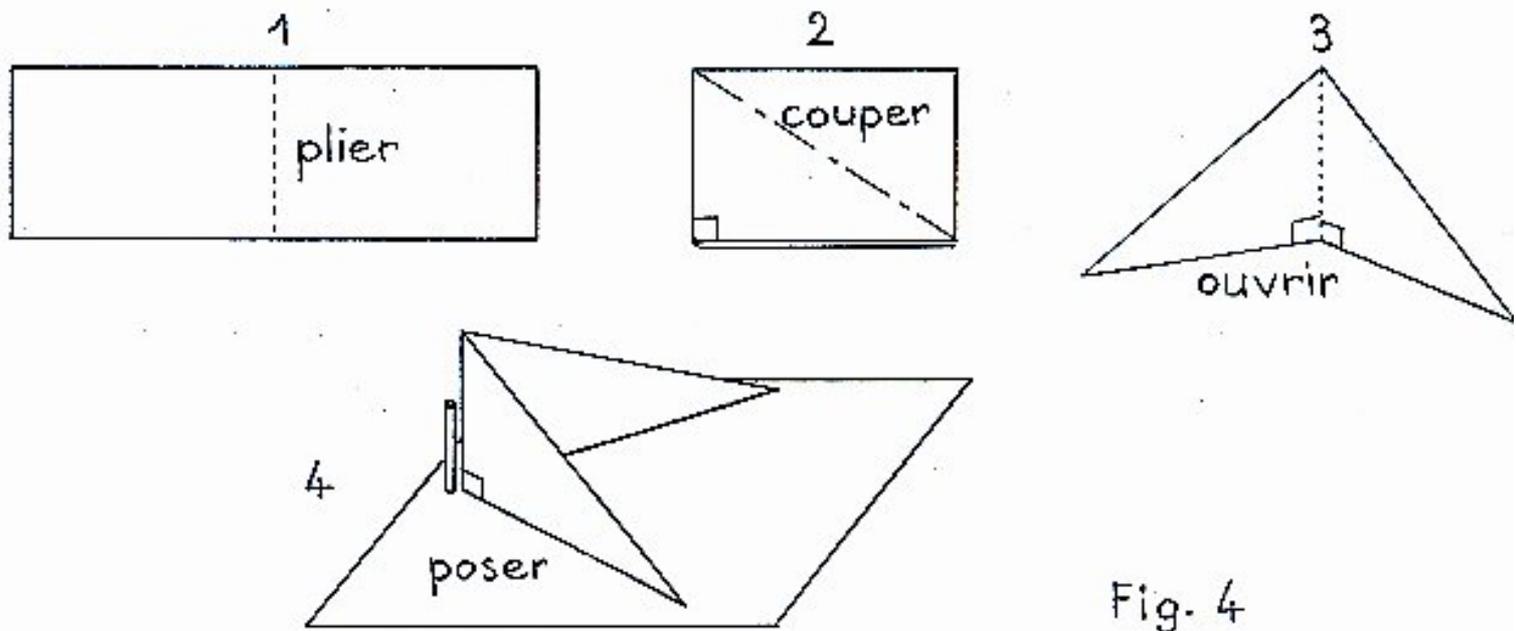


Fig. 4

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

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

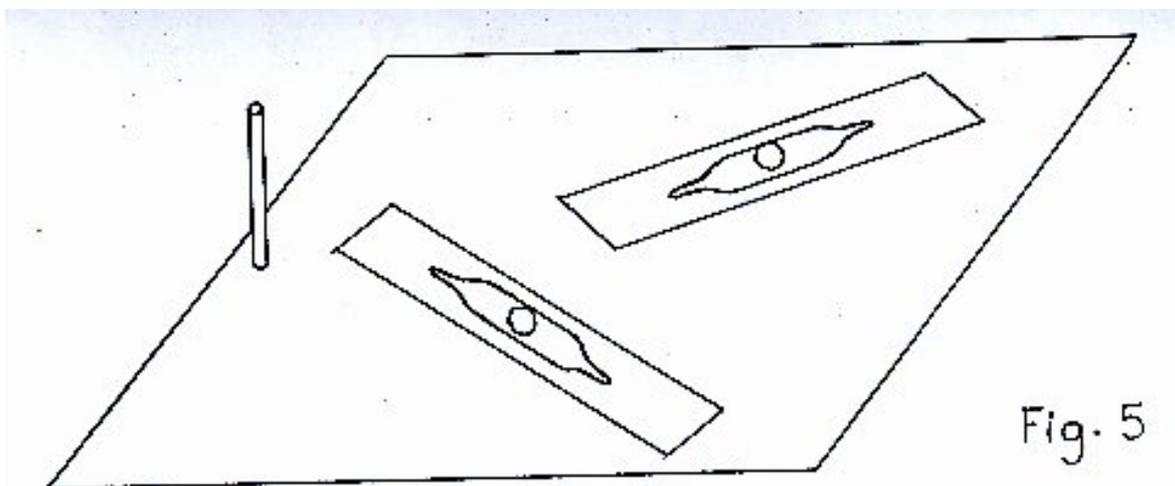


Fig. 5

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

Séances optionnelles (Séquence 2)

Verticalité et horizontalité

1) Travaux sur la verticalité

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

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



Matériel

Pour la classe

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

Enquête préalable

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

Comment vérifier la verticalité d'un objet ?

Expérimentation-jeu

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

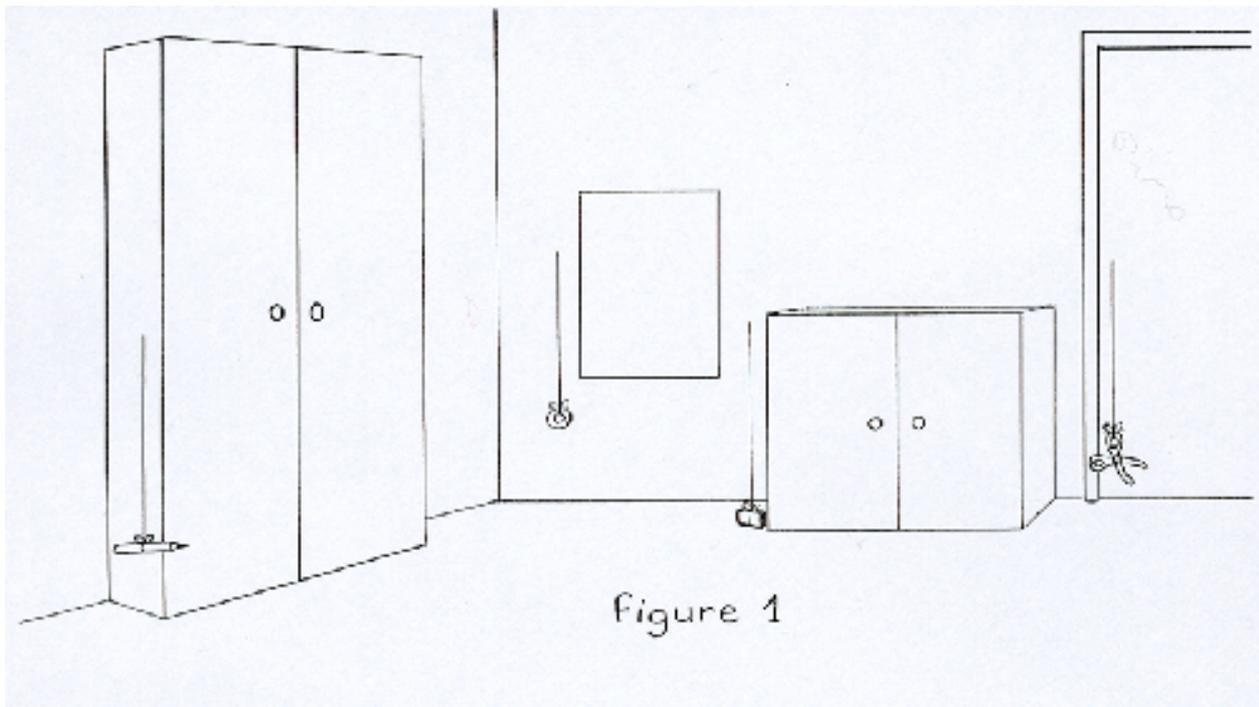
Les élèves peuvent donc s'amuser à expérimenter cette méthode. Lorsqu'ils perçoivent une " anomalie ", ils doivent détecter lequel des deux objets n'est pas vertical (ou les deux !) en faisant pour chacun une nouvelle " visée " par rapport à un troisième objet déjà " étalonné ".

Réaliser et utiliser des fils à plomb

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

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

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



2) Travaux sur l’horizontalité

Durée: trois séances de 30 à 45 min.

Lieu : classe.



Matériel :

Pour la classe

."Manip "avec les récipients contenant de l'eau :

8 à 10 grandes feuilles de papier blanc ordinaire (50 x 65 cm),
une douzaine de récipients en plastique (voir plus loin lesquels) avec un peu d'eau légèrement colorées (prévoir une éponge!),
des crayons noirs,
quelques grandes règles plates ou des morceaux de baguette électrique bien rectilignes,
un niveau à eau du commerce

"Manip" pour découvrir l'angle droit :

Les feuilles de la première expérience toujours affichées,
des fils à plomb,
quelques feuilles de couleur coupées (très soigneusement) en quatre,
trois ou quatre équerres (mises de côté dans un premier temps).

Pour chaque groupe de 2 élèves :

Réalisation des niveaux à bulle :

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

Enquête préalable

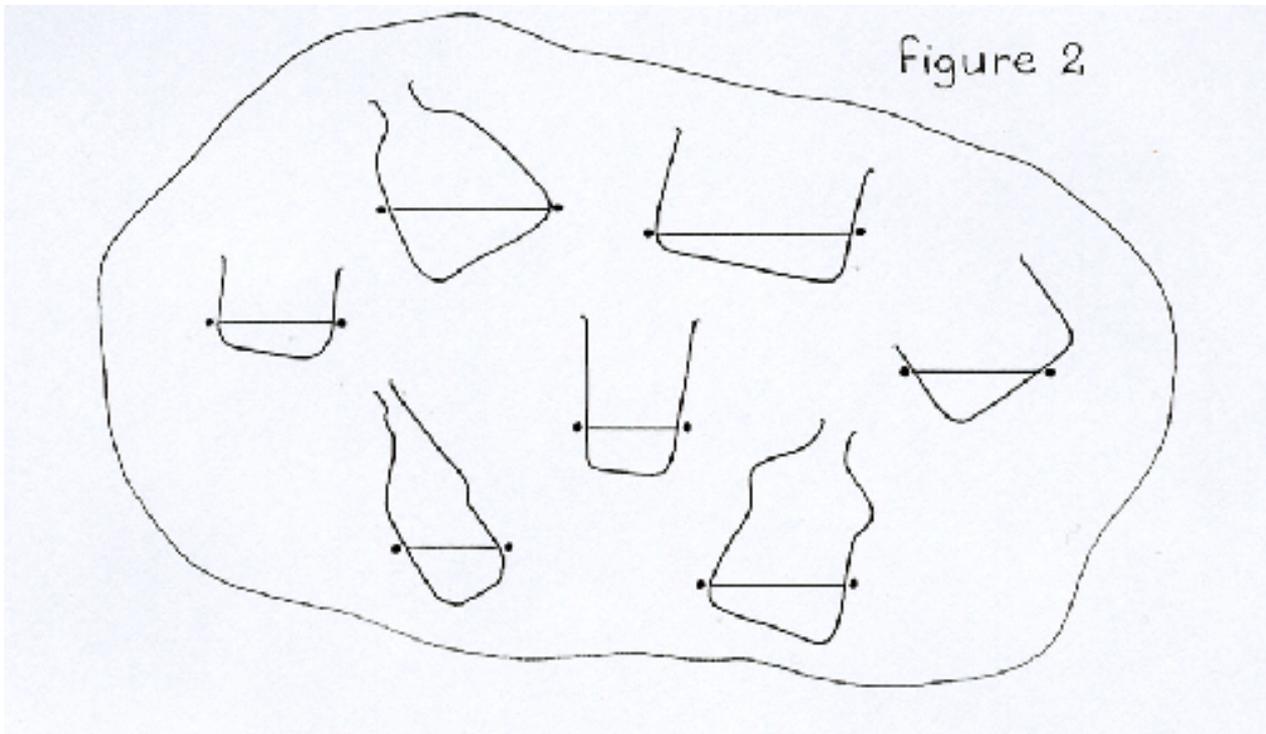
En général, les enfants définissent l'horizontalité en citant divers objets de la vie quotidienne, par exemple, le sol des locaux : *"c'est toujours bien plat, mais si parfois ça monte un peu, on le sent tout de suite "*, ou le dessus d'une table : *" c'est bien plat aussi mais, si c'est un tout petit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

Expérience

Voici une petite " manip " pour découvrir l'horizontalité de la surface libre d'un liquide, les élèves se mettant par groupes de 3 à 5 mais disposant d'un matériel commun.

Plusieurs grandes feuilles de papier, retaillées pour avoir une forme irrégulière quelconque, sont affichées sur les murs et sur le tableau, à raison d'une par groupe. Une douzaine de récipients différents en plastique transparent (ou translucide) sont posés sur une table centrale. Ce sont des boîtes de congélation, des barquettes alimentaires, des flacons de produits d'entretien (le tout bien propre !) : leur section est de préférence carrée, rectangulaire ou oblongue ; ils contiennent chacun de l'eau légèrement colorée jusqu'à environ un quart de leur hauteur.

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

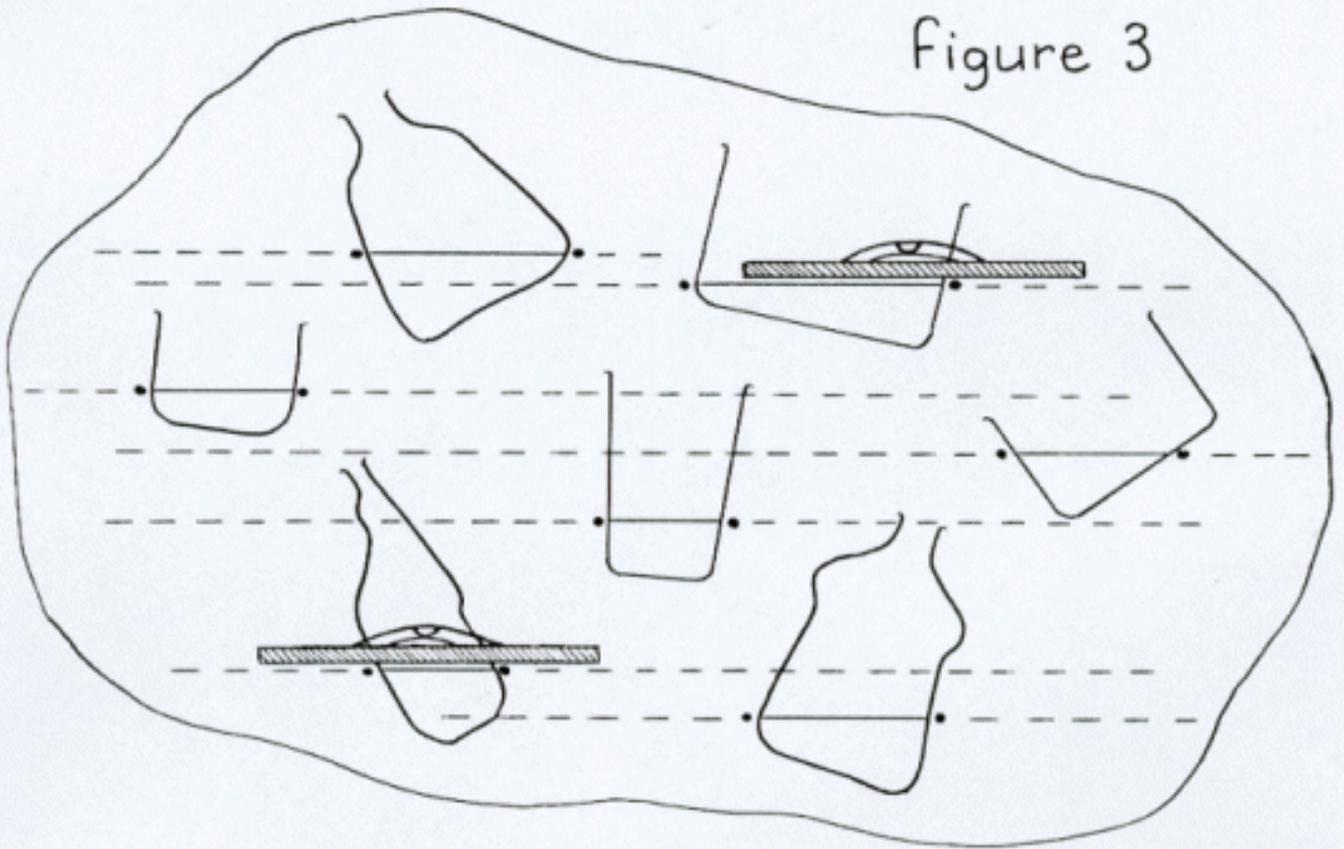


Les enfants constatent que " tous les traits ont l'air d'être bien à plat ". Comment le vérifier ? " On peut les agrandir de chaque côté avec une grande règle, pour mieux voir ". Cela amène la remarque : " Ça fait des lignes parallèles : on peut le vérifier comme on a fait l'autre jour avec nos calques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

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

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

Figure 3



Réaliser et utiliser des niveaux à bulle

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

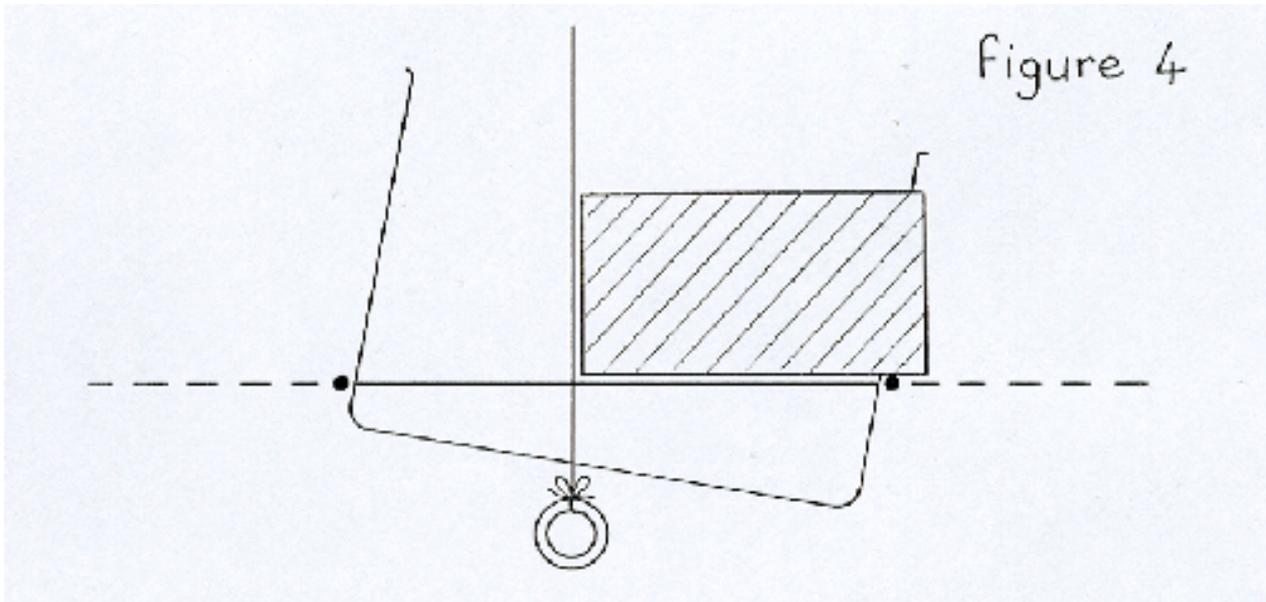
Les élèves vont ensuite utiliser leurs niveaux spontanément sur des tables, des étagères, des bancs, etc., pour en vérifier l'horizontalité. Mais ils se contenteront souvent de les placer dans une seule position, souvent parallèle à un bord : mettez-les alors au défi d'obtenir le centrage de la bulle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

Découvrir l'angle droit de façon expérimentale

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

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

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



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

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

Séance optionnelle (Séquence 2)

Activités sur la boussole

Durée : une séance de 30 à 45 mn

Lieu : classe puis endroit à l'extérieur.



Matériel

Pour chaque groupe de 4/5 élèves :

une petite boussole ordinaire

Pour réaliser une " boussole flottante " :

une grosse aiguille à reposer,

un aimant,

un carré de polystyrène,

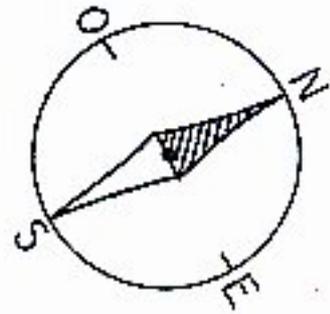
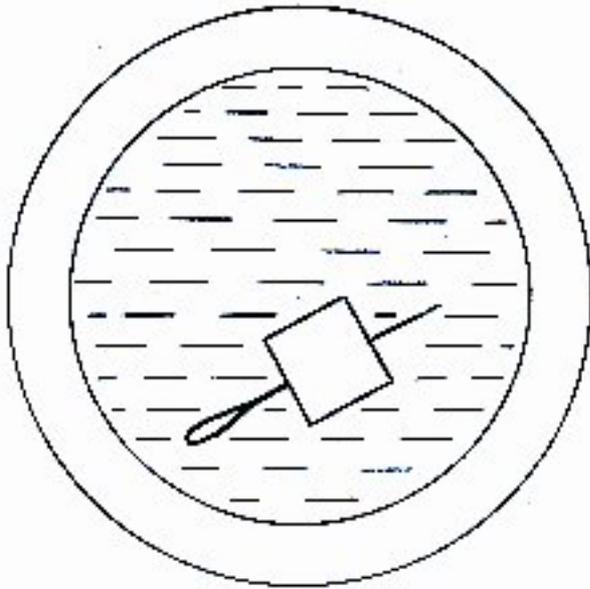
une assiette en plastique avec de l'eau.

(éponge ou serpillière !)

Réalisation expérimentale

Une fois qu'ils ont en main les 3 éléments leur permettant d'obtenir une boussole flottante, les élèves cherchent d'abord à faire flotter leur aimant en le posant sur le carré de polystyrène : il est vrai qu'en essayant de le poser successivement sur toutes ses faces, notamment sur la tranche, ils voient à un moment l'aimant pivoter puis s'orienter avec insistance dans une certaine direction : une boussole témoin (mais pas trop proche de l'assiette avec l'aimant, sinon elle en perdra le nord !) confirme que cette orientation a bien quelque chose à voir avec la direction nord-sud. Il suffit alors de faire adhérer l'aiguille sur l'aimant de façon à ce que sa pointe indique le nord.

Seulement voilà : cet assemblage est des plus instables. Il faut donc lancer le défi suivant : utiliser l'aimant mais sans le poser sur le flotteur ! Un vrai casse-tête... On précise alors qu'il est nécessaire de communiquer à l'aiguille le magnétisme de l'aimant... Les élèves finissent par essayer de frotter celui-ci sur l'aiguille, mais sans trop savoir de quelle manière : en fait, il faut toujours aller dans le même sens (surtout pas d'aller et retours !) et cela, au moins une vingtaine de fois. Ensuite, une fois " magnétisée " on fait passer l'aiguille dans la tranche du carré de polystyrène en la perçant de part en part, et la boussole flottante est prête !



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

Autres activités.

On complétera cette approche par une étude des 4 points cardinaux et des directions intermédiaires (celles données par la " Rose des vents " : nord-est, nord-ouest, sud-est, sud-ouest, mais aussi nord-nord-est, nord-est-est, etc.).

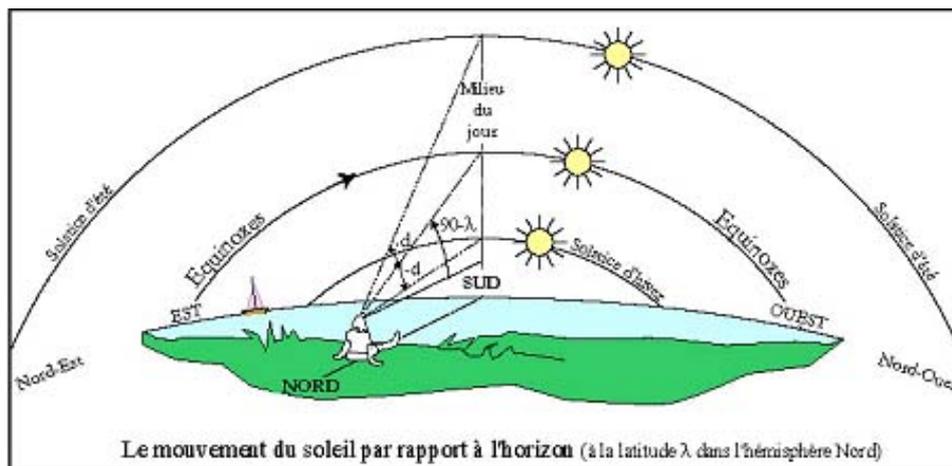
Puis on proposera des activités d'orientation au cours desquelles les élèves essaieront de définir le mieux possible l'orientation d'un élément du paysage (bâtiment, portail, arbre, colline...) sans toutefois chercher à l'évaluer de façon angulaire avant d'avoir acquis la notion d'angle et appris à se servir d'un rapporteur. Enfin, les élèves apprendront à se repérer sur une carte, en commençant par orienter celle-ci convenablement par rapport au nord donné par leur boussole, puis en déterminant la direction d'un lieu par rapport à un autre.

Complément historique de la séquence 2

La mesure du temps

Le gnomon et le cadran solaire

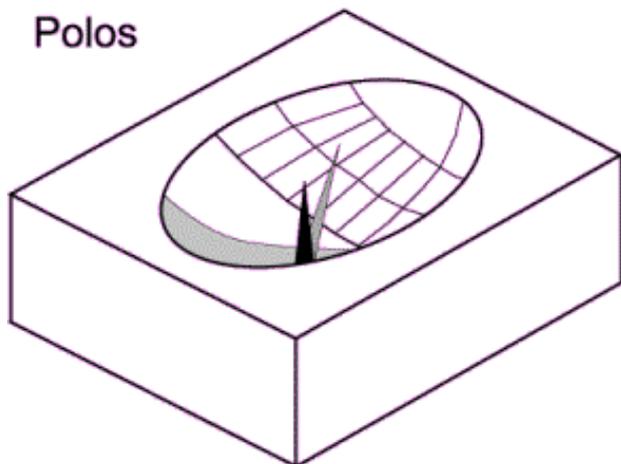
Le premier des instruments de mesure du temps inventé par les hommes est lié à un phénomène naturel essentiel dans leur vie qui donne une unité de temps : le Soleil et son mouvement par rapport à l'horizon. Tous les peuples utilisèrent ainsi le gnomon pour visualiser et utiliser ce mouvement. Le gnomon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



- l'ombre est la plus courte au milieu de la journée, le Soleil est alors au plus haut dans le ciel : on appelle cet instant midi solaire mais cela ne correspond pas avec le midi de l'heure légale donnée par nos horloges. L'heure légale dépend du fuseau horaire auquel on est rattaché. En France, il y a en moyenne, suivant le lieu et la date environ une heure (printemps-été) ou environ deux heures (automne-hiver) de décalage entre le midi d'heure légale et le midi solaire.
- à midi solaire, l'ombre portée est la plus longue le jour du *solstice d'hiver* (21 décembre dans l'hémisphère Nord) et la plus courte le jour du *solstice d'été* (21 juin dans l'hémisphère Nord), lorsque le Soleil est au plus bas (21 décembre) ou au plus haut (21 juin).

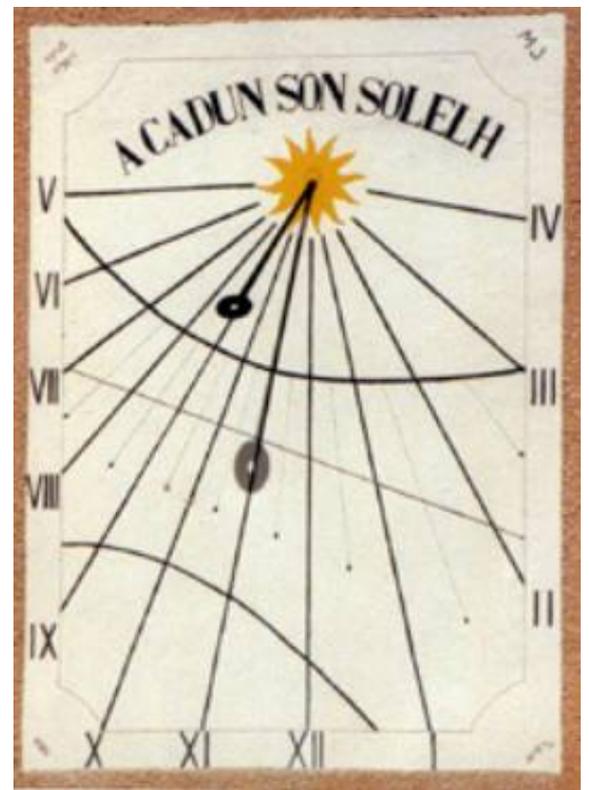
On attribue l'introduction du gnomon en Occident au savant grec Anaximandre (6^{ème} siècle avant J.C.). C'est cet outil rudimentaire qui permit à Eratosthène, par un raisonnement génial, sa mesure du rayon terrestre.

Polos



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

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



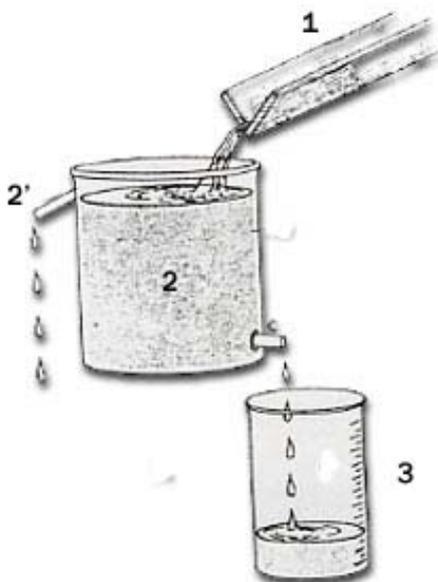
La clepsydre

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

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

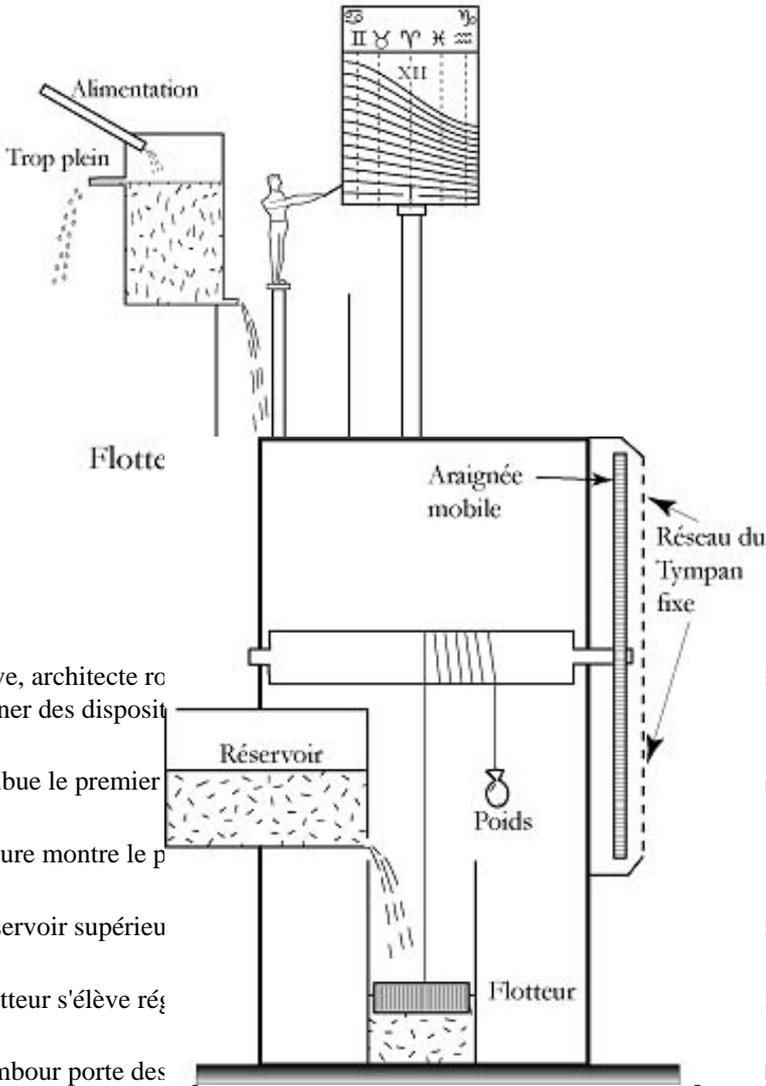
Cependant, les lois physiques régissant l'hydrostatique (c'est Archimède qui en posera la loi) et l'hydrodynamique n'étaient pas encore connues et il était alors très difficile de garder un débit constant, ce qui jouait bien évidemment sur l'exactitude.

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



- 1 : un réservoir rempli continuellement (par l'eau de pluie ou par un robinet), avec un débit important, laisse écouler le liquide dans le deuxième récipient.
- 2 : le récipient 2, dont le débit est inférieur à celui du réservoir 1, laisse s'écouler le liquide dans le récipient 3. Puisque le débit 1 est supérieur au débit 2, le récipient 2 est toujours rempli au même niveau, le trop plein étant évacué par une conduite au sommet du récipient (2'), et le liquide s'écoule donc dans le récipient 3 à débit constant.
- 3 : puisque l'eau s'écoule à débit constant dans le récipient 3, le niveau de l'eau y monte régulièrement. Il suffit de placer une échelle de graduation (ou une règle) dans le récipient pour avoir une mesure de l'écoulement du temps.

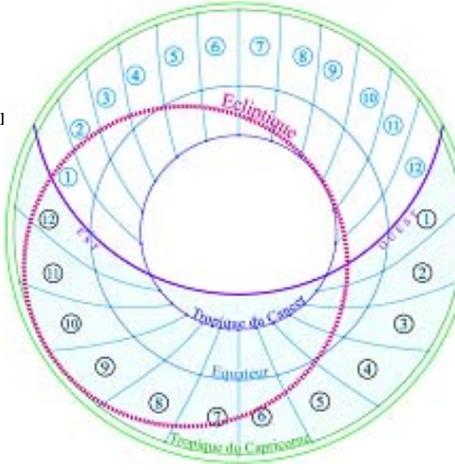
Les horloges à eau



Vitruve, architecte romain, a inventé des dispositifs pour mesurer le temps. Il attribue le premier modèle à un mécanisme à eau. La figure montre le principe de l'horloge à eau. Le réservoir supérieur alimente le réservoir inférieur. Le flotteur s'élève régulièrement à mesure que l'eau s'écoule. Le tambour porte des graduations pour mesurer le temps.

Horloge anaphorique décrite par Vitruve

Les mécanismes originaux utilisaient des poids et des leviers pour entraîner des dispositifs qui mesuraient le temps. Vitruve décrit un modèle à eau. Le réservoir supérieur alimente le réservoir inférieur. Le flotteur s'élève régulièrement à mesure que l'eau s'écoule. Le tambour porte des graduations pour mesurer le temps.



Le tambour porte des graduations pour mesurer le temps. Il permet même de donner les heures antiques variables suivant la saison (dans l'Antiquité la durée du jour est divisée en 12 parties égales un même jour mais plus longues en été qu'en hiver).

L'horloge anaphorique

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

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

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

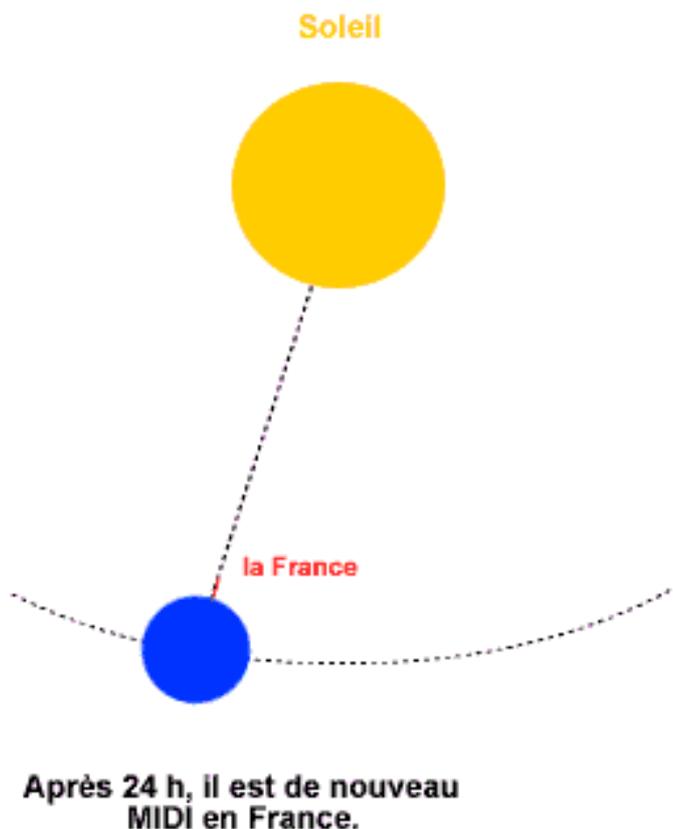
Séquence 2

Assistance technique de la séquence 2

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

Rotation de la Terre

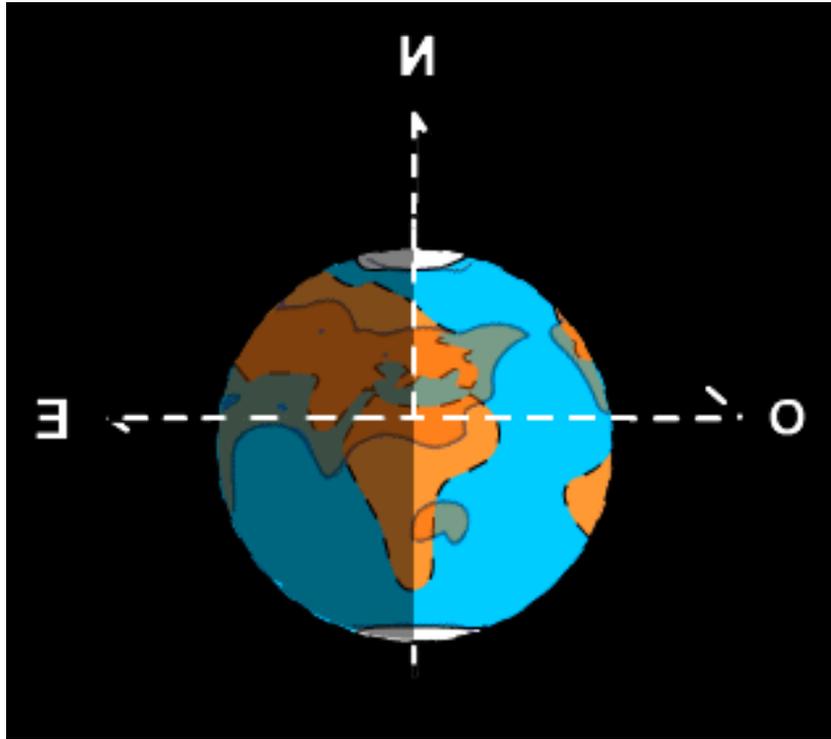
L'alternance des jours et des nuits est probablement le phénomène astronomique le plus évident et le plus marquant pour les êtres vivants. La Terre tourne sur elle-même d'Ouest en Est en 23h56 min par rapport aux étoiles lointaines (quasiment fixes). En une journée, elle tourne également autour du Soleil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



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

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

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



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

Idées reçues !

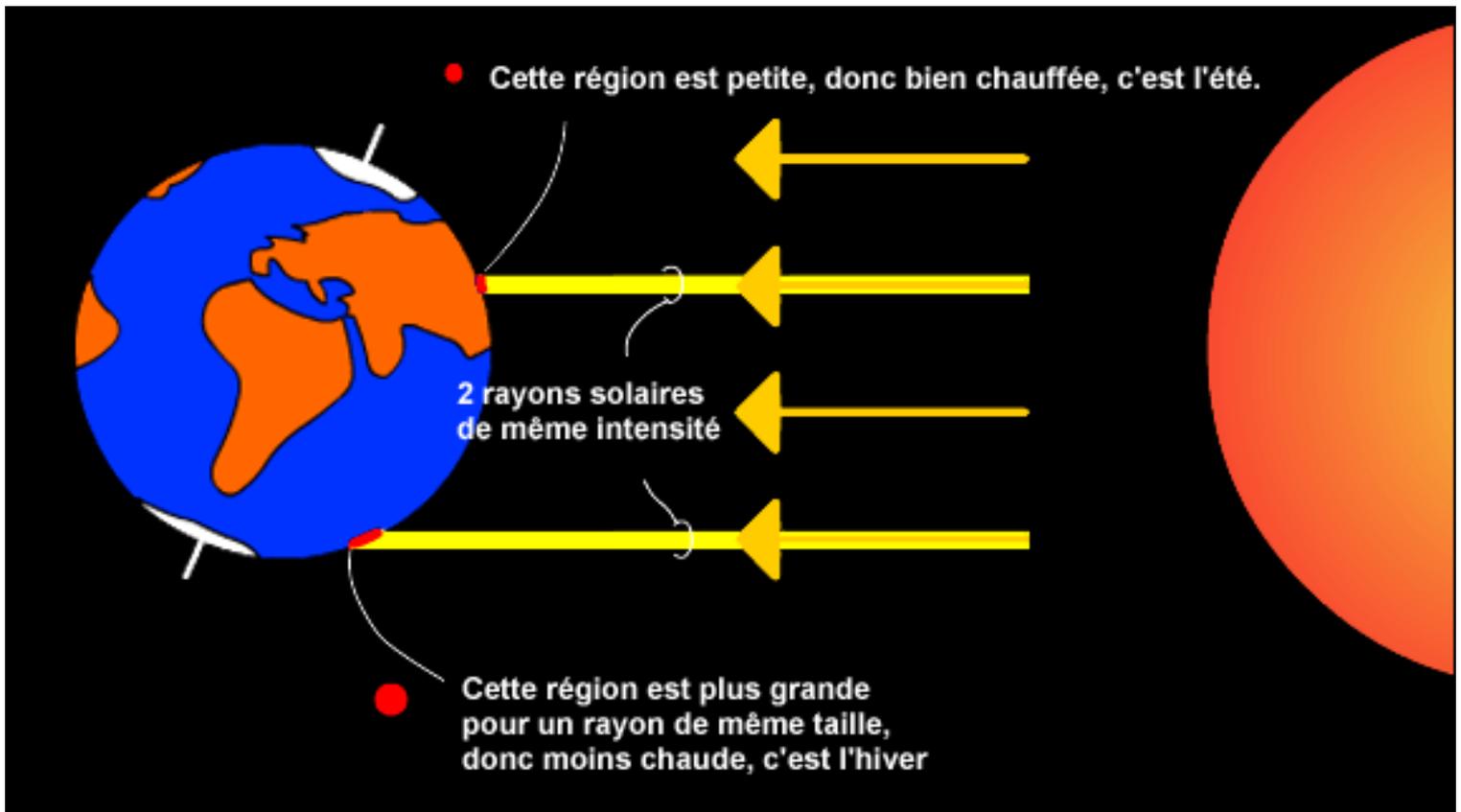
On croit souvent à tort que le Soleil se lève exactement à l'Est et se couche à l'Ouest, c'est faux ! Ou plutôt, ce n'est strictement vrai que deux jours par an : aux équinoxes (dates où la durée du jour est égale à celle de la nuit). En hiver, il se lève dans la direction Sud-Est et se couche dans la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

Inclinaison de l'axe de rotation

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

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

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



Attention à la notion de nord et de sud !

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

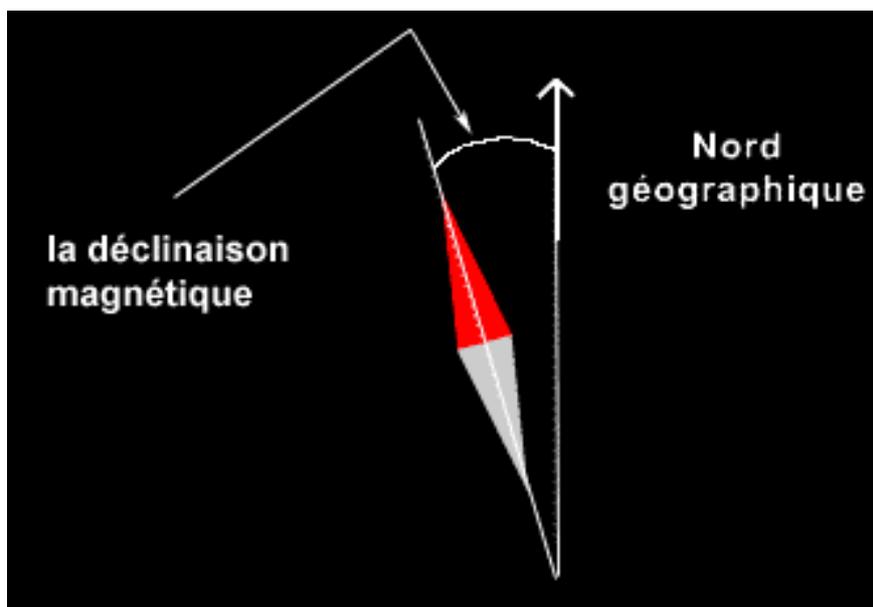
Mais comment fonctionne donc une boussole ?

"L'usage de la boussole peut susciter des curiosités sur le magnétisme, mais il faudra être prudent dans les explications et se contenter d'un petit nombre de constatations dans ce domaine complexe.

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

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

expliqué aux élèves)



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

Séquence 2

Assistance technique de la séquence 2

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

Se représenter la verticale et l'horizontale

La verticale en un point est la direction donnée par un fil à plomb. Une masse quelconque accrochée à l'extrémité d'un fil assure la tension du fil selon une droite dont la direction se confond avec la verticale du lieu.

L'horizontale est représentée par toute droite contenue dans le plan de la surface d'un liquide au repos, on obtient généralement ce plan avec un "niveau à bulle". C'est une règle plate, la plus longue possible, portant un petit récipient clos avec de l'eau et une bulle d'air. Lorsque le niveau est horizontal, la bulle est parfaitement centrée sur la surface supérieure du récipient, sinon, elle s'échappe vers un de ses bords.

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

Pour s'en convaincre, on pourrait mesurer les variations de l'orientation d'un fil à plomb :

Si on mesure l'angle entre 2 fils à plomb distants de 111 km (ce qui correspond à 1° de latitude), on trouverait une différence de 1° .

Pour 2 fils à plomb distants de 1 km, on mesurerait une différence de $1/100$ de degré soit 36 secondes.

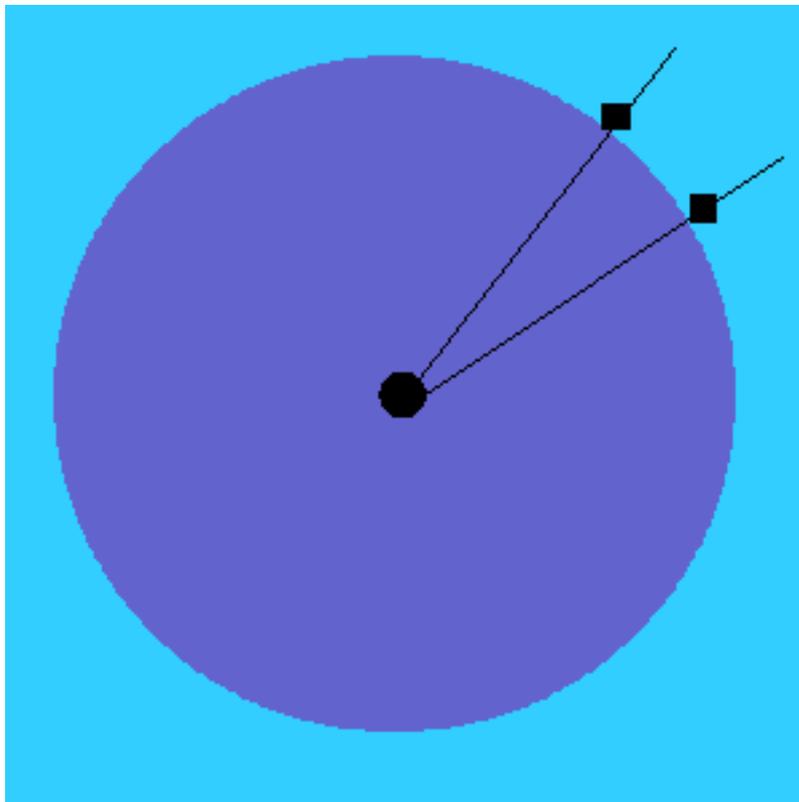
Sur les 10 m d'une salle de classe, ce sera 0.36 seconde, ce qui est plus petit que la précision de notre rapporteur.

L'angle entre les verticales est mesurable en des points distants de plusieurs centaines de kilomètres.

On sait que la Terre est ronde, mais à notre échelle elle paraît plutôt plate. Comment concilier ces deux visions ?

Notre environnement proche (les rues, le mur de la cour de récréation ...) se situe sur une portion de sphère terrestre si petite qu'on peut la considérer comme plane.

A l'échelle de la planète, la verticale de notre lieu n'est rien d'autre que le prolongement du rayon qui joint le centre de la sphère à notre position (ponctuelle) à sa surface. Ainsi, quand on passe d'un lieu à un autre (de Lille à Marseille), les rayons changent de direction définissant à chaque fois une verticale. Bien sûr, si ce déplacement est restreint (d'un bout à l'autre de la cour de récréation), les rayons sont pratiquement confondus.



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

Comprendre la verticale et l'horizontale

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

Mais qu'est-ce que la gravitation précisément ?

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

Dans quelle direction ?

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

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

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

Pour aller plus loin...

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

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

