

MESURE DU TEMPS

Cycle 1 – Cycle 2 – Cycle 3

Rappel de l'énigme

Enigme cycle 1 : Je vous mets au défi de fabriquer un objet pour mesurer le temps d'utilisation de la patinette en récréation.

Enigme cycle 2 : Je vous mets au défi de fabriquer un objet pour mesurer le temps de course de chacun des élèves de la classe sur au moins 50 mètres.

Enigme cycle 3 : Construire trois objets différents qui vont permettre de mesurer le temps.

Connaissances pour le maître

Le premier outil qui a été utilisé pour estimer l'heure ou ponctuer la journée est le gnomon. Le gnomon est un simple bâton planté dans le sol. Il permet d'observer les mouvements de l'ombre du Soleil.

Puis il se perfectionne avec l'apparition des graduations et prend le nom de cadran solaire.

Le cadran solaire est constitué d'un style- parallèle à l'axe de rotation de la Terre- et d'un cadran gradué. Mais les mesures ne sont pas possibles en l'absence de Soleil.



<http://www.lagardesse.fr/temps/cadsol.htm>

Très tôt, presque toutes les civilisations ont développé des instruments qui pouvaient alors prendre le relais du cadran solaire, en particulier la **clepsydre** dont le premier modèle connu remonte à -1400 av JC. Elle permet également de mesurer des durées plus courtes.

Clepsydre Musée de l'agora Athènes

Les premières clepsydes sont constituées d'un récipient conique percé d'un trou à sa base et rempli d'eau : lors de l'écoulement de l'eau le niveau de sa surface s'abaisse. L'intérieur du récipient est gradué en unités de temps.



L'inconvénient majeur de la clepsydre simple est que son débit d'eau n'est pas constant. Pour palier cet inconvénient des systèmes plus perfectionnés ont été élaborés (voir plus loin).

Autre inconvénient de la clepsydre : elle n'est pas transportable.

http://artic.ac-besancon.fr/sciences_physiques/physique_chimie/olympiades/2000/T/images/image005.png

Parallèlement à la clepsydre se développe **le sablier**. Le sablier est lui aussi basé sur un écoulement mais son écoulement est constant et il a le mérite d'être transportable. Il est bien adapté à la délimitation de durées. Il était utilisé par exemple pour délimiter les quarts des marins sur les navires.

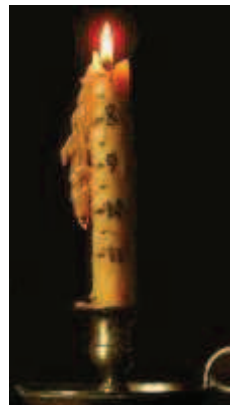
Par contre il n'est pas adapté à l'estimation de l'heure, il faut le retourner au moment précis où il se termine.



D'autres outils voient le jour : certains basés sur la combustion et d'autres sur des phénomènes mécaniques.

La bougie est utilisée la nuit pour estimer l'heure, elle est graduée et pour être précise il faut que la combustion de la bougie soit régulière. On l'utilise encore aujourd'hui pour limiter la durée d'une enchère.

La lampe à huile joue le même rôle. Les graduations de temps sont peintes ou gravées sur le réservoir.

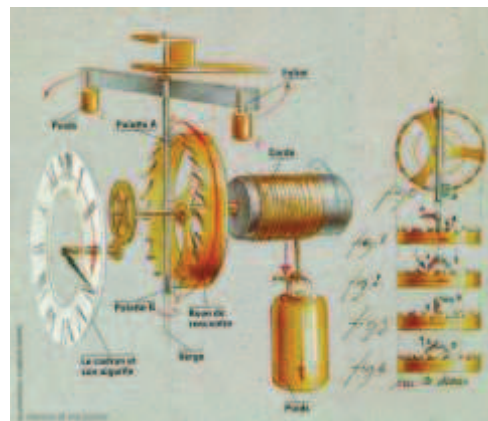


<http://www.lagardesse.fr/temps/sablier.htm>

L'horloge à poids (XIV^{ème} siècle)

Un poids est accroché à une corde qui est enroulée autour d'un axe horizontal. Quand le poids est lâché il fait tourner l'axe qui lui même fait tourner une aiguille.

Pour que ce système fonctionne il ne faut pas que le poids accélère. Pour cela, un mécanisme de régulation, appelé "échappement", bloque la chute du poids un bref instant à des intervalles de temps réguliers.



http://xxi.ac-reims.fr/bayen/tpe/phys_maths/Instruments/verge_et_foliot.htm

C'est pour les besoins de la navigation que la mesure du temps va se perfectionner. Déterminer la latitude du navire est chose facile depuis longtemps à partir de la position du Soleil à midi ou de l'étoile polaire la nuit. Trouver la longitude est plus délicat : il faut comparer l'heure solaire locale à l'heure solaire du port de départ. Ce qui implique de «conserver» l'heure du point de départ avec précision : une erreur de 1 minute entraîne une erreur de 27km. A l'époque de Christophe Colomb c'est un sablier qui est utilisé. Il devait être retourné régulièrement et ceci depuis le départ. Pour améliorer la navigation il était indispensable de perfectionner les outils de mesure du temps.

A la fin du 16^{ème} siècle, Galilée étudie le pendule et note que le pendule simple oscille de façon périodique.

C'est ce principe qui est utilisé pour mettre au point les premières horloges à balancier (XVII^{ème} siècle) avec des solutions technologiques sophistiquées pour entretenir les oscillations.

Les dimensions de ces horloges restent imposantes. L'apparition quelques années plus tard du ressort-spiral va permettre de les réduire : les premières montres mécaniques font leur apparition.

http://fr.wikipedia.org/wiki/Horloge_comtoise



http://culturesciencesphysique.ens-lyon.fr/XML/db/csp physique/metadata/LOM_CSP_Horloges.xml

Dans les années 1970 apparaissent les montres bracelets à quartz : le quartz est un cristal qui vibre s'il est soumis à la tension électrique d'une pile. Ses vibrations sont très régulières : après six ans le décalage n'est que de 1 seconde.

Aujourd'hui c'est l'horloge atomique qui sert de référence. La plus précise au monde se trouve à Londres, avec une marge d'erreur d'une seconde toutes les 138 millions d'années.

Ces outils de mesures sont basés sur un principe simple, pour limiter une durée, on la compare avec un phénomène qui a une durée déterminée : l'écoulement de sable ou d'eau, l'oscillation d'un pendule ou d'un cristal de quartz. Si on veut comparer des durées entre elles, il faut en plus que le phénomène soit proportionnel au temps, c'est à dire que l'écoulement ou le nombre d'oscillations par seconde soient constants.

Quelques outils de mesure : point de vue technologique

Le cadran solaire

Le cadran solaire est basé sur le mouvement apparent du Soleil dans le ciel. L'ombre la plus courte de la journée correspond à l'instant où le Soleil est au plus haut dans le ciel.

Le style est parallèle à l'axe de rotation de la Terre. Si ce n'est pas le cas, la durée des « heures » indiquées par le cadran varie au cours de l'année.

Lire l'heure avec un cadran solaire

Le cadran solaire permet de lire l'heure solaire locale. Pour lire l'heure civile avec un cadran solaire il faut appliquer plusieurs corrections.

Ajouter 1h en hiver et 2h en été.

Appliquer la correction de la longitude : décalage par rapport au méridien de Greenwich.

Appliquer la correction de l'équation du temps qui tient compte :

du fait que la durée du jour n'est pas constante au cours de l'année (surtout à nos latitudes).

du fait que la Terre a un mouvement elliptique autour du Soleil.

Si on ne tient pas compte de l'équation du temps, on a, au pire, 16 minutes de décalage.

Déterminer une durée avec un cadran solaire

Le mouvement de l'ombre étant lent, le cadran solaire ne convient pas pour mesurer des durées courtes. Par contre on n'a pas besoin d'appliquer de corrections.

Le sablier

<http://www.lagardesse.fr/temps/sablier.htm>

Du sable ou un autre solide en grains s'écoule par un trou d'un premier contenant vers un second. La quantité de solide en grains écoulee est proportionnelle à la durée écoulee.

Qu'est ce qu'on peut mettre dans un sablier?

- du sable tamisé
- des lentilles
- de la semoule
- du riz...

Attention à ne pas mettre des grains qui peuvent coller entre eux ou aux parois du sablier (surtout si l'air est humide) comme : sel, sucre, farine, sable mouillé....

Les récipients aussi doivent être bien secs.



De quels paramètres dépend la durée de l'écoulement?

- de la taille des grains
- de la quantité de solide en grains
- de la taille du trou par lequel s'écoule le solide en grains

Pour augmenter la durée que peut mesurer un sablier on peut donc : augmenter la quantité de solide en grains (attention toutefois à la stabilité du sablier), diminuer la taille du trou ou augmenter la taille des grains (ex : lentilles plutôt que semoule).

La taille du trou doit être adaptée à la taille des grains. On prend au minimum un diamètre de trou de l'ordre de 10 fois la taille d'un grain.

Pourquoi n'existe-t-il pas de sablier gradué?

Parce que la surface libre des solides en grains n'est pas plane et horizontale : en s'écoulant ils forment un tas, ce qui rend impossible une lecture de niveau.

La clepsydre

De l'eau contenue dans un premier récipient s'écoule par un trou percé à la base de ce récipient. L'eau peut être recueillie dans un second récipient qui peut être gradué.

Pour que l'eau s'écoule il faut que le récipient soit ouvert.

De quels paramètres dépend la durée de l'écoulement?

-De la quantité d'eau dans le premier récipient : plus il y a d'eau dans le premier récipient et plus il faudra de temps pour que toute l'eau coule dans le second.

-De la taille du trou : plus le trou a un diamètre important et plus le récipient se videra rapidement.

-de la nature du liquide : on peut ajouter du sucre pour «épaissir l'eau» (mais le mélange est collant)

-Mais aussi de la hauteur d'eau dans le récipient!



<http://www.lagardesse.fr/temps/clepsydre.gif>

<http://p2sampereg5.blogspot.com/>

L'eau ne s'écoule pas de façon linéaire parce que le débit de l'eau dépend de la pression. Quand la hauteur d'eau diminue, la pression aussi diminue (Pression = poids de la colonne d'eau qui s'exerce par unité de surface). L'eau coule moins vite quand la hauteur d'eau diminue dans le premier récipient.

On peut le visualiser facilement : le jet d'eau à la sortie « va moins loin ».

Conséquence : la quantité d'eau qui s'est écoulée n'est pas proportionnelle au temps qui s'est écoulé.

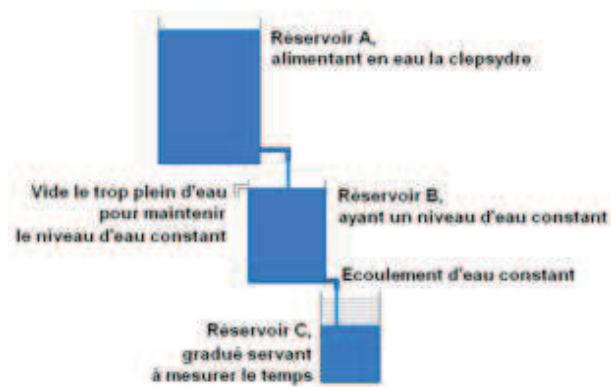
Si il faut 6 minutes pour que toute l'eau contenue dans le premier récipient se vide alors il faudra moins de 3 minutes pour que la première moitié de l'eau s'écoule et plus de 3 minutes pour la seconde moitié.



Plusieurs améliorations ont été apportées :

Le récipient a une forme évasée (type saladier) ce qui modère la variation du débit.

Un autre récipient est ajouté dont la fonction est de maintenir une hauteur d'eau constante dans le récipient principal.



http://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/thumb/d/d7/Clepsydre_fr.png/310px-Clepsydre_fr.png

Si la clepsydre est utilisée pour limiter une durée qui correspond à celle pour que toute l'eau s'écoule, il n'y a pas besoin de se préoccuper de ce problème de variation du débit avec la hauteur d'eau.

Par contre si on veut mesurer des temps intermédiaires et donc utiliser des graduations c'est préférable.

Le sachant, on peut aussi choisir d'utiliser des graduations qui ne sont pas régulièrement espacées.

Pour que le débit ne varie pas trop on peut aussi limiter la variation de hauteur de l'eau en prenant un récipient plus large que haut et percé d'un petit trou.

Pour ne pas introduire des erreurs de lecture trop importantes il faut que les graduations soient suffisamment espacées : on peut utiliser un récipient gradué étroit.

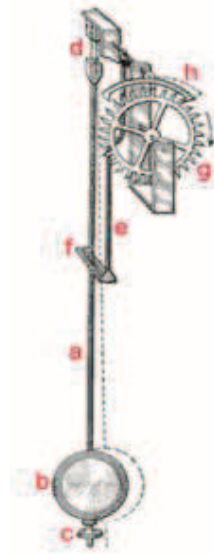
Le pendule

C'est le principe du balancier des horloges que l'on trouve dans les horloges comtoises. Un objet suspendu à un fil, ou un axe rigide, oscille.

La période du pendule est (quasiment) constante, ce qui veut dire que la durée nécessaire à un aller-retour du balancier est (quasiment) la même.

Même si l'amplitude du mouvement s'amortit, la période ne change pas : le balancier fait des déplacements plus petits mais la durée nécessaire à un aller-retour du balancier est toujours la même.

Bien sûr le balancier finit par s'arrêter à cause des frottements s'il n'y a pas un système pour entretenir les oscillations. C'est pourquoi il y a un système que l'on remonte dans toutes ces horloges.



De quoi dépend la durée d'un battement?

Elle ne dépend pas de la masse de l'objet qui est attaché au bout du fil.

Elle ne dépend pas de l'angle dont on a écarté le balancier au moment de le lâcher. (Si on ne le lâche pas d'un angle dépassant 45° par rapport à la verticale.)

Cette durée dépend uniquement de la longueur du fil.

Plus le fil est long et plus la durée nécessaire pour un aller-retour est élevée.

Pour avoir une idée de la période on peut utiliser cette formule:

$$T = 2\pi \sqrt{\frac{l}{g}}$$

Pour un fil de 1mètre la période est de 2 secondes.

Mais le mieux est encore de l'estimer par la mesure.

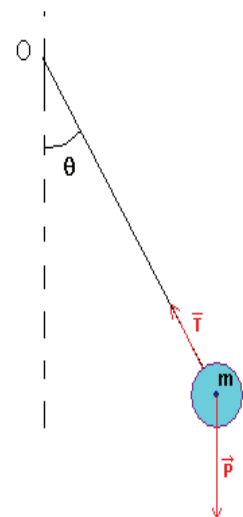
Précautions à prendre:

Le «fil» ne doit pas être élastique pour qu'il ne se déforme pas au cours du mouvement.

Pour limiter l'effet des frottements l'objet doit être dense. On peut prendre par exemple un «poids» de balance à plateaux, une boîte de pellicule photo remplie de sable.

La précision du pendule comme outil de mesure de durée dépend de **la précision avec laquelle on détermine la durée d'un aller-retour (ou période).**

Pour déterminer la durée d'un aller-retour avec précision: mesurer la durée d'un grand nombre d'aller-retours (20 ou plus) et la diviser ensuite par le nombre d'aller-retours.



Fiche pas à pas pour la construction d'une clepsydre

<http://www.montpellier.iufm.fr/technoprimaire/clepsydre/principe.htm>

ou sur le site de la main à la pâte

http://www.lamap.fr/?Page_Id=4&DomainScienceType_Id=13&ThemeType_Id=28

[histoire des outils de mesure](#)

<http://www.lagardesse.fr/temps/clepsydre.gif>

<http://artic.ac->

besancon.fr/sciences_physiques/physique_chimie/olympiades/2000/T/images/image005.png

Notions à construire par les élèves

Al En référence aux programmes 2008 : Les connaissances et les compétences sont acquises dans le cadre d'une démarche d'investigation qui développe la curiosité, la créativité, l'esprit critique, l'intérêt pour le progrès scientifique et technique. (extrait des programmes 2008)

Cycle 1 :

Découvrir le monde :

Découvrir les objets : Les enfants découvrent les objets techniques usuels, comprennent leur usage et leur fonctionnement. Ils fabriquent des objets en utilisant des matériaux divers, choisissent des outils et des techniques adaptés au projet.

Se repérer dans le temps : dès la petite section, les enfants utilisent les calendriers, des horloges, des sabliers pour se repérer dans la chronologie et mesurer des durées.

S'approprier le langage :

Formuler en se faisant comprendre une description ou une question.

Prendre l'initiative de poser des questions ou d'exprimer son point de vue.

Cycle 2,

Découverte du monde :

Se repérer dans l'espace et le temps : Les élèves utilisent des outils de repérage et de mesure du temps et de longueur.

Découvrir le monde de la matière et des objets :

Les élèves distinguent les solides et les liquides. Ils réalisent des maquettes élémentaires [...] pour comprendre le fonctionnement d'un appareil.

Mathématiques : Organisation et gestion des données

- Lire ou compléter un tableau dans des situations concrètes simples.
- Utiliser un tableau, un graphique.
- Organiser les informations.

Français : Langue orale, lecture, écriture

- Acquérir un vocabulaire spécifique pour décrire les caractéristiques des objets réalisés.
- Dire de quoi parle le texte lu, trouver dans le texte ou son illustration la réponse aux questions que l'on se pose.
- Concevoir et écrire de manière autonome une phrase simple, cohérente, puis plusieurs, puis un court texte explicatif.

Cycle 3 :

Sciences expérimentales et technologie :

Ombres et lumière :

Les élèves construisent des objets techniques (gnomon, cadran solaire) en s'appuyant sur les connaissances acquises. L'élève sait qu'un objet a une ombre s'il est placé entre une source lumineuse et un écran.

objets techniques : Suite à une démarche de fabrication en classe ou à l'étude d'un objet technique, les élèves sont capables d'en décrire son utilisation concrète.

(sablier, clepsydre, pendule)

Mathématiques : Organisation et gestion des données

- Lire ou compléter un tableau dans des situations concrètes simples.
- Utiliser un tableau, un graphique.
- Organiser les informations.

Français : Langue orale, lecture, écriture

- Acquérir un vocabulaire spécifique pour décrire les caractéristiques des objets réalisés.
- Dire de quoi parle le texte lu, trouver dans le texte ou son illustration la réponse aux questions que l'on se pose.
- Concevoir et écrire de manière autonome une phrase simple, cohérente, puis plusieurs, puis un court texte explicatif.

B/ En référence au socle commun, aux grilles de référence du livret personnel de compétences

Palier 1 : Compétence 3 :

Observer et décrire pour mener des investigations
Utiliser les unités usuelles de mesure, estimer une mesure.

Palier 2 : Compétence 3 :

Pratiquer une démarche d'investigation, observer, questionner
Manipuler, expérimenter, formuler une hypothèse, argumenter
Exprimer les résultats d'une mesure
Mobiliser ses connaissances dans un contexte scientifique
Exercer des habiletés manuelles

2. Activités dans le cadre de la démarche d'investigation

Conduire une telle séquence d'apprentissage au sein de la classe amène à penser un dispositif qui s'inscrit naturellement dans le cadre de la démarche d'investigation et par conséquent qui s'articule autour d'activités respectant la chronologie suivante :

a) Une situation de départ et un questionnement

Le défi doit susciter l'intérêt indispensable pour apprendre et doit déboucher sur le questionnement des élèves. Les débats organisés en classe permettront de parvenir à la formulation d'un questionnement précis. Parfois, celui-ci évoluera au cours de la démarche pour devenir de plus en plus ciblé, dans la perspective d'apporter la réponse la plus pertinente possible.

Ainsi, du défi naîtra un questionnement qui, s'il ne vient pas naturellement, fera suite à des recherches documentaires.

Exemple de questionnements issus des défis :

Aux cycles 1 et 2 :

Comment fabriquer un sablier ?

Pourquoi les sabliers n'ont-ils pas tous la même durée ?

Comment fabriquer un sablier qui permettra de mesurer le temps mis par chaque élève à la course de vitesse ?

Au cycle 3 :

Comment fabriquer un sablier qui mesure une durée courte, une durée plus longue, une durée très longue ?

Comment fabriquer une clepsydre dont le débit reste toujours le même ?

Comment fabriquer un pendule qui fait « un aller retour en 2 secondes ?

Comment mesurer des durées longues avec un cadran solaire ?

Comment mesurer une durée avec un objet qui coule ?

Dans le cahier de l'élève on trouvera le défi Sciences en Jeux et le questionnement qu'il suscite.

b) L'émission d'hypothèses par et avec les élèves

Après le questionnement, toutes les représentations sont écrites au tableau, sans commentaire du professeur et sans « censure ». Le rôle du maître est alors de les classer par catégories et de permettre l'émission d'hypothèses. Certaines représentations « farfelues » peuvent à ce stade être écartées par le débat, si l'argumentaire développé le permet ...

Un choix d'hypothèses à valider ou à invalider est ensuite réalisé.

Les hypothèses à tester apparaissent clairement dans le cahier de l'élève.

c) Les investigations conduites par les élèves.

Elles relèvent des formes suivantes : expérimentation, modélisation, observation, enquête, visite, recherche documentaire.

C'est autour de la mesure et la comparaison des durées que les défis se situent.

Il conviendra donc de recenser des instruments pour mesurer des durées. Les instruments recensés pourront être utilisés, comparés (mode d'affichage, précision, ...) puis viendra le temps de la fabrication d'instruments de mesure. Aux cycles 1 et 2, il semble judicieux d'envisager la réalisation de sabliers et/ou de clepsydres...

Au cycle des approfondissements, la référence à la mesure du temps et des durées relève avant tout du programme de mathématiques. Par ailleurs, la confrontation nécessaire des élèves à des problèmes concrets revêt une réelle importance pour les apprentissages.

La fabrication de trois objets différents est attendue. Sans que cela présente un caractère obligatoire, les réalisations les plus probables sont le sablier, la clepsydre, le cadran solaire, le pendule ou encore le bol coulant, chacune de ces solutions admettant quantité de variantes. Bien évidemment, il est possible d'envisager d'autres solutions.

Obstacles ou difficultés prévisibles

La fabrication de clepsydres se heurtera au problème de la variation de débit.

Pour le sablier, certains matériaux utilisés entraîneront des variations d'écoulement, la grosseur du trou. Pour le pendule, la période d'une oscillation n'est pas liée à la masse pour une longueur de fil donnée.

d) La mise en commun, les confrontations

Un secrétaire et un rapporteur auront préalablement été désignés par l'enseignant qui pourra, dans le cadre de la démarche d'investigation, mener une observation et une évaluation des compétences langagières des élèves.

Les travaux des différents groupes sont présentés, comparés à partir de critères d'analyse définis au préalable.

e) La conclusion, la validation, l'institutionnalisation des connaissances

La trace finale produite est constitué d'une phrase ou d'un texte « à hauteur d'élève ».

Le texte est accompagné de tableaux, dessins, schémas ou photos des réalisations.

Produit en dictée à l'adulte aux cycles 1 et 2, il sera progressivement rédigé par les élèves eux-mêmes à l'issue du cycle 3.

Remarques :

Penser à présenter sur le site « Sciences en Jeux » un exemple de trace écrite d'élève correspondant à chacune des phases de la démarche d'investigation.

Rappeler brièvement (*en italique*) l'organisation qui a permis d'aboutir à une trace écrite, un schéma un dessin.

La trace finale fera l'objet d'une correction syntaxique et orthographique attentive de la part des élèves et de l'enseignant.