Simples, mais très utiles, ces machines !

par
Soizic Mélin

Promoteurs :
Pierre Gillis
Xavier de Tercelin de Joigny
et Pol Dupont

Physique expérimentale et biologique
Eurêkalia
Centre de Didactique des Sciences

UMH
UNIVERSITE DE MONS-HAINAUT

Document réalisé dans le cadre de la recherche en pédagogie CF/042/02/A
« Eveil à l'observation et à la pratique expérimentale en physique »

Direction de recherche en pédagogie
Ministère de la Communauté Française
Site internet http://www.agers.cfwb.be
2003

Simples, mais très utiles, ces machines !

II. Organisation des séances

2.1. Organisation générale

Pour ce nouveau thème, les deux précédents étant « *L'électricité à la maison* » et « *L'air et la pression atmosphérique* », il a été parfois un peu plus difficile de trouver le matériel adéquat.

Nous vous proposons donc deux organisations différentes suivant vos disponibilités en matériel :

- Si vous possédez du matériel en suffisance pour que tous les groupes d'élèves puissent travailler en même temps, alors il vous suffit de suivre l'ordre des séances tel qu'il est proposé.

- Si vous ne possédez pas suffisamment de matériel pour tous les groupes d'élèves, vous pouvez, pendant une même séance, faire travailler des groupes sur deux ou trois thèmes différents. Vous permuterez ensuite les groupes pendant les séances suivantes de sorte qu'à la fin de toutes les séances, chaque groupe ait pu travailler chaque thème.

Cependant, la première et la dernière séance ne peuvent pas être déplacées.
En effet, la première séance présente le thème général et propose de faire le bilan des préconceptions des enfants. Si vous n'avez pas assez de matériel pour cette première séance, vous pouvez le compléter avec des photographies ou demander du matériel classique à prêter à vos collègues (décapsuleur, essoreuse à salade, pied de biche, chignole, cric de voiture…). La dernière séance propose de faire une synthèse des connaissances concernant tous les outils étudiés et d'analyser avec les enfants l'évolution de leurs conceptions.

2.2. Première séance : Classement des outils

(C1 → C4 – C6 – C12 – C14)[1]

2.2.1. Le défi (proposé aux enfants)

Classez, en différentes catégories, les outils qui vous sont proposés.

2.2.2. L'objectif (visé par les enseignants)

Etudier les différents critères de classement proposés par les enfants et arriver au classement par familles : les leviers, les poulies, les engrenages, le plan incliné et la roue.

2.2.3. Le matériel proposé

- Un décapsuleur, une essoreuse à salade, un pied de biche, une chignole, un cric de voiture, différentes pinces (électricien, à sucre, à épiler, …), des ciseaux, une brouette, une bicyclette, …
- Des photographies d'outils trop encombrants ou trop onéreux (grues, treuils, moulin à vent, à eau …)…

2.2.4. Résultats

Si vous ne donnez pas de critères de départ, les enfants vont imaginer différents classements : « ce qui est métallique – ce qui est en plastique », « ce qui sert dans la cuisine – ce qui sert dans le jardin – ce qui sert dans le garage » , « ce qui est grand – ce qui est petit » , « ce qui est rond - ce qui est allongé » , « ce qui tourne – ce qui ne tourne pas »… Tous ces classements sont corrects puisque vous n'avez pas donné de consignes particulières, mais après avoir discuté avec les enfants et leur avoir montré que certains critères choisis sont subjectifs, vous arriverez ensemble à un autre classement possible : certains outils contiennent une tige métallique très résistante (le levier), d'autres contiennent une ou plusieurs roues dentées (les engrenages), d'autres encore contiennent une roue qui tourne autour d'un axe (la roue ou la poulie), finalement, sur certaines photographies (ou à l'entrée d'un bâtiment) vous avez peut-être la chance d'avoir une rampe d'accès (plan incliné). Et le classement est terminé, vous avez passé en revue toutes les machines simples existantes.

Voici donc un exemple de classement (celui-ci dépend du matériel que vous avez pu rassembler) :

[1] Chaque symbole (C1…C17) que vous trouverez pour la préparation de chaque séance vous renvoie à une compétence particulière des socles de compétences – voir § VII « Compétences »

Simples, mais très utiles, ces machines !

Famille des leviers	Famille des engrenages	Famille des poulies	Famille du plan incliné	Familles des roues
• Pied-de-biche • Cric de voiture • Décapsuleur • Toutes les pinces • Ciseaux • Brouette • …	• Essoreuse à salade • Chignole • Batteur à œuf mécanique • Plateaux et pignons de bicyclette • …	• Systèmes de palans • Système de levage de la grue • …	• Rampe d'accès pour handicapés • Planche inclinée pour monter une brouette • …	• Roues de bicyclette • Moulin à vent, à eau • …

Remarque : si, pour des raisons de facilité, vous avez inséré des photographies dans le matériel, veuillez à ce que les enfants les reconnaissent en tant que photographie de l'outil (exemple : un grue, une rampe d'accès à un bâtiment) et non comme étant une feuille de papier, au même titre que le pied-de biche…!

2.2.5. Conclusion

Il existe cinq grandes familles de **machines simples** :

Les leviers
Les poulies
Les engrenages
Le plan incliné
La roue

2.3. Deuxième séance : Les leviers

(C1 → C6 – C12 → 16)

2.3.1. Les défis (proposés aux enfants)

1. Choisir l'outil le mieux adapté pour :

    1. Arracher des clous enfoncés profondément dans une planche.
    2. Enlever le couvercle d'un pot de peinture fermé hermétiquement.
    3. Soulever une masse lourde (un petit meuble)

2. Utiliser l'outil correctement.

    Pour relever ces défis, les élèves sont en possession du matériel suivant : un arrache-clou, une pince d'électricien, un couteau, un tournevis, une paire de ciseaux, une cuillère en métal, un balai, une pièce de monnaie, un livre (pivot pour le levier), une grosse planche

2.3.2. Les objectifs (visés par les enseignants)

Il faudrait qu'à la fin de cette séance, les enfants :

- comprennent l'utilité du levier ;
- comprennent le concept de force (éventuellement , force motrice et force résistante) ;
- entrevoient le concept de levier, de point d'appui (ou pivot).

2.3.3. Questions qui peuvent aider les enfants à atteindre ces objectifs

- Quel est l'outil le mieux adapté dans chacun des cas ?
- Dans chaque cas, où est le pivot (ou point d'appui) ? (proposez aux enfants de réaliser un dessin)
- Dans chaque cas, où faut-il pousser ? (proposez aux enfants de réaliser un dessin)
- Dans chaque cas, comment obtenir le meilleur résultat ?

2.3.4. Qu'est-ce qu'une force ? Qu'est-ce qu'un levier ?

Il nous semble important de répondre, le plus complètement possible, à ces deux questions :

Qu'est-ce qu'une force ?
Qu'est-ce qu'un levier ?

Qu'est-ce qu'une force ?

Nous ne pouvons pas voir une **force** comme nous voyons une personne, un animal ou un objet ; nous pouvons seulement voir ses **effets**. La notion de force est donc un **concept** que les physiciens ont inventé pour rendre compte de ces effets.
Voyons quels sont ces effets et pour cela prenons quelques exemples :

- Shooter dans un ballon, initialement immobile, permet de mettre ce ballon en mouvement (le ballon passe alors de l'état de repos à l'état de mouvement).
- Coincer, avec le pied, un ballon qui roule permet de l'arrêter (le ballon passe alors de l'état de mouvement à l'état de repos).
- Taper dans un ballon qui roule permet de le dévier (le ballon change de direction)
- Faire tourner avec la main un caillou attaché au bout d'une ficelle ;

Il est possible de résumer cela en disant qu'une force permet donc de **modifier** (augmenter, ou diminuer) **la vitesse** du corps sur lequel elle s'exerce ou de **faire tourner** ce corps (à condition que celui-ci ne soit pas attaché).

Il faut aussi savoir, mais nous n'entrerons pas dans les détails, que les forces n'existent jamais seules mais apparaissent toujours par paires. Par exemple, un livre posé sur une table pousse sur celle-ci mais, et cela est plus surprenant, la table pousse, elle aussi, sur le livre (dans le cas contraire, le livre s'enfoncerait dans la table).

Pour caractériser une force (notée $\vec{F}$), il faut :
- un support [2] : la force agit (suivant la verticale, l'horizontale, en oblique ...)
- un sens : la force s'exerce (du bas vers le haut, du haut vers le bas, de la droite vers la gauche…)
- un point d'application : la force s'exerce (au centre de gravité de l'objet, au point de contact …)
- une valeur (une intensité) : la force s'exprime avec une unité spéciale : le newton.
  ex : F = 100 N (tout comme la masse, la température … s'expriment avec des unités spécifiques le kilogramme, le degré Celsius …)
  Toutes ces caractéristiques sont celles d'un vecteur (raison pour laquelle, nous avons l'avons noté $\vec{F}$).

Par exemple, la force de pesanteur est caractérisée par :

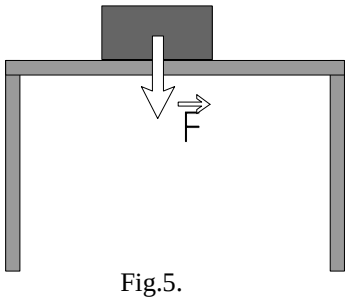


Fig.5.

- Un support : la verticale
- un sens : du haut vers le bas
- un point d'application : le centre de gravité de l'objet
- une valeur : par exemple :10 N

[2] Le mot « support » est utilisé ici dans le sens abstrait (l'axe du vecteur) et non avec le sens matériel, palpable (le support du cadre).

Il existe deux types de forces :

- les « forces de contact » (vous poussez avec la main sur un objet : vous exercez une force et il y a contact entre l'objet et votre main).
- les « forces à distance » (la force de pesanteur exercée par la Terre sur tous les corps qui se trouvent dans son voisinage existe sans qu'il y ait contact entre la Terre et le corps ; de même l'aimant attire un objet contenant du fer même si l'objet ne touche pas l'aimant).

Qu'est-ce qu'un levier ?

Description

Le levier est un corps rigide de forme quelconque qui peut pivoter autour d'un point d'appui lorsqu'une ou plusieurs forces lui sont appliquées.
Il est utilisé pour déplacer sur des petites distances une charge importante, impossible à soulever à mains nues.
La pince du carrier, par exemple, est introduite en dessous du rocher à déplacer. S'il est possible de lui faire prendre appui sur un objet (autre caillou) qui sert de pivot et d'exercer une force sur l'extrémité supérieure de la barre, alors le rocher se met à rouler.

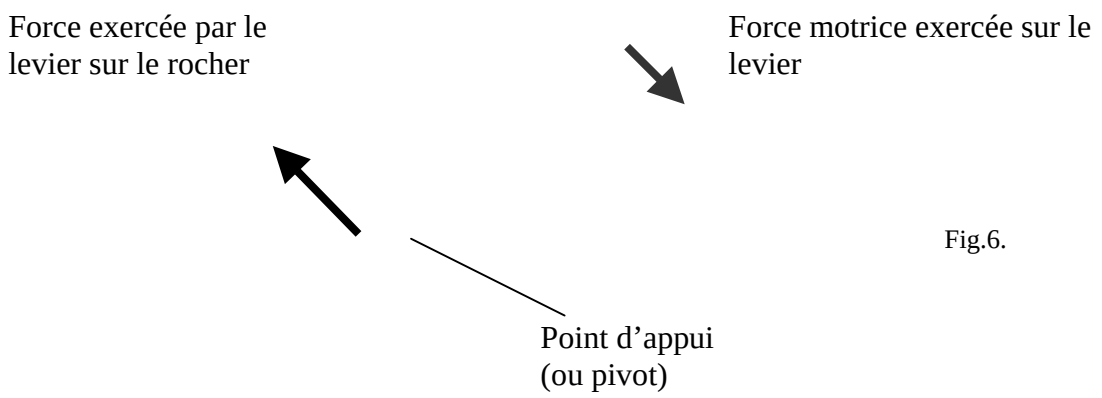


Fig.6.

La force exercée par la personne sur le levier, est appelée « <u>force motrice</u> » (c'est elle qui permet de déplacer la charge), elle est représentée en bleu sur le dessin ci-dessus.
La « » exercée sur le levier (qui s'oppose au déplacement), représentée en rouge, dépend du poids du rocher à déplacer.
Le <u>point d'appui</u> (ou pivot) sert d'appui au levier.

Suivant les positions relatives du point d'application de la force motrice, de la force résistante, et du pivot, il est possible de classer les leviers suivant trois grandes classes :

- <u>Les leviers de la classe I :</u> nous vous proposons d'étudier uniquement cette catégorie de leviers pendant les séances d'éveil.

  ex : le pied de biche – l'arrache-clou – le frein à main de la voiture …

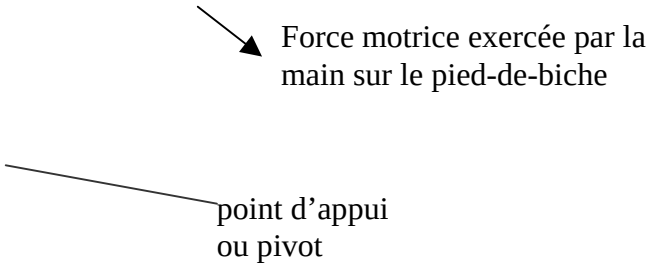


Fig.7.

Le point d'appui est situé entre le point d'application (endroit où s'exerce la force) de la force motrice et le point d'application de la force résistante. Pour cette raison, ces leviers sont appelés aussi leviers « inter-appui ». La force motrice est plus petite mais doit s'exercer sur une distance plus grande (le long de l'arc de cercle décrit par le bout du manche pendant le mouvement).

Les tenailles, les ciseaux, les pinces d'électriciens, les pinces à linge, les rames font partie de cette catégorie, la balance de Roberval (mais sont constituées de deux leviers).

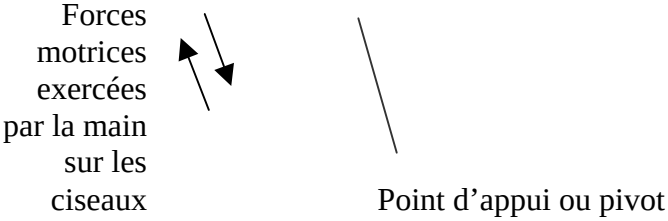


Fig.8.

Avantages et inconvénients

La force motrice à appliquer est, en première approche, d'autant plus petite que la distance entre le point d'appui et le point d'application de cette force est grande. Nous avons donc intérêt à tenir le manche du pied-de-biche le plus loin possible. Cependant, il faut exercer cette force sur une plus grande distance (l'arc de cercle décrit par l'extrémité - de droite - du pied-de-biche pendant le mouvement est plus grand que celui décrit par le point d'application de la force résistante).

- <u>Les leviers de classe II :</u>

ex : la brouette, …

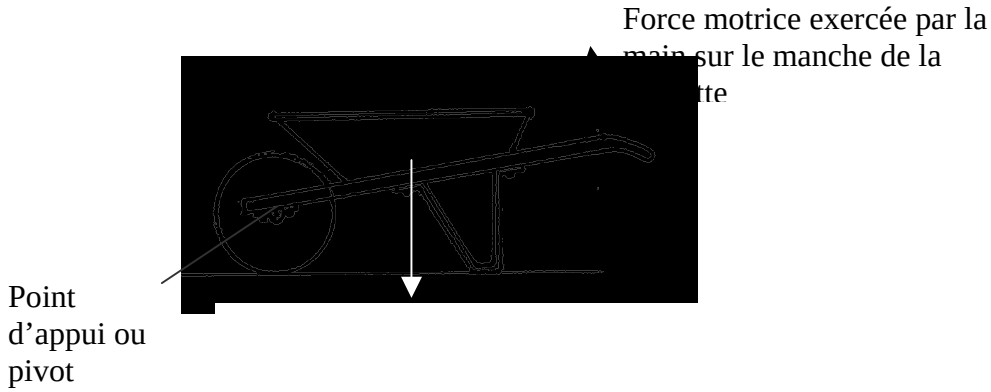


Fig.9.

Le point d'application de la est situé entre le pivot et le point d'application de la force motrice. Pour cette raison, ces leviers sont aussi appelés leviers « inter-résistants ».

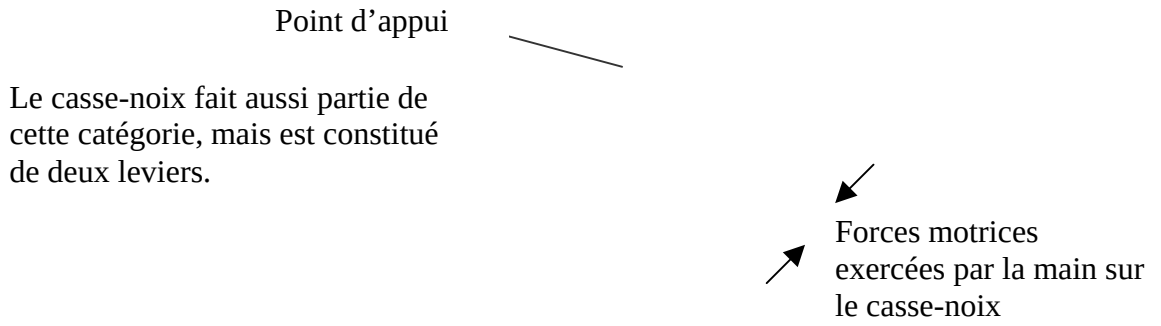


Fig.10.

Avantages et inconvénients

La force motrice est plus petite que la force résistante mais doit être exercée sur une plus grande distance (l'arc de cercle décrit par le manche de la brouette ou du bout du manche du casse-noix pendant le mouvement).

- <u>Les leviers de classe III :</u>

ex : l'articulation du coude, …

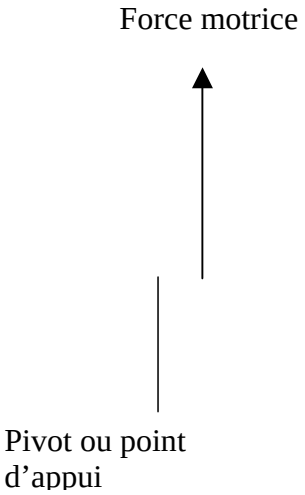


Fig.11.

Le point d'application de la force motrice est situé entre le pivot et le point d'application de la force résistante. Pour cette raison, ces leviers sont aussi appelés leviers « inter-moteur » .
Dans ce cas, la force motrice est plus grande que la force résistante.

La pince à sucre,
la pince à glaçons,
la pince à barbecue,
l'étau
font aussi partie de cette catégorie.

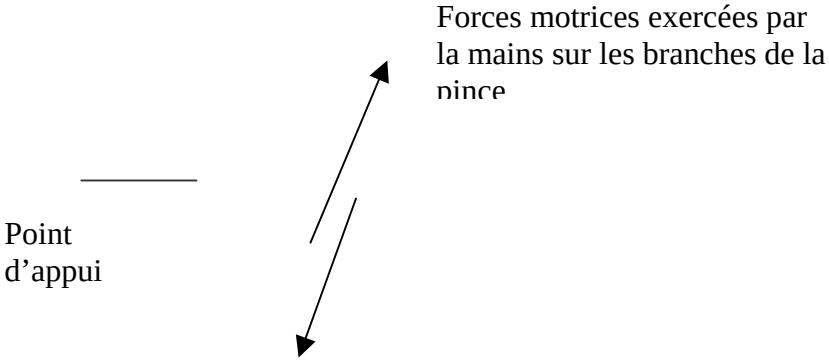


Fig.12.

Avantages et inconvénients

Ces leviers permettent d'effectuer certains travaux délicats comme le maniement d'objets fragiles, que la pression directe des doigts pourrait endommager.
Dans de nombreux cas relevant du fonctionnement de l'organisme humain, comme l'articulation du coude, de la mâchoire, nous n'avons pas le choix, la nature est ainsi faite et l'on n'y peut rien…

2.3.5. Présentation des résultats :

Il est primordial de mettre les enfants en garde contre les dangers éventuels et de leur expliquer qu'ils vont manipuler des outils qui peuvent s'avérer dangereux s'ils sont mal utilisés (marteau, pied-de-biche …) et donc d'être prudents vis-à-vis d'eux-mêmes mais aussi vis-à-vis des autres.

Vous pouvez regrouper toute la classe autour du tableau et proposer de rassembler les résultats sous la forme d'un tableau. Nous pensons qu'il est important de laisser suffisamment de temps pour que chaque enfant puisse s'approprier les données des autres enfants.

Tâche à effectuer	*Le meilleur outil*	*Point d'appui*	*Endroit où la force motrice est exercée*
Enlever le clou	Le marteau de menuisier	Le point de contact entre le morceau de bois et le marteau	Le plus près possible de l'extrémité mobile du manche[3]
Enlever le couvercle du pot de peinture	Le tournevis	Le point de contact entre le bord du pot et le tournevis	Le plus près possible de l'extrémité mobile du manche[3]
Soulever un objet lourd	Le pied-de-biche	Le point de contact entre le sol et le pied-de-biche	Le plus près possible de l'extrémité mobile du manche[3]

Ces trois opérations ne posent pas de problème. Assurez-vous simplement que les enfants placent leur main à différents endroits sur le manche de l'outil et en tirent les conclusions qui s'imposent.

2.3.6. Conclusion

Nous utilisons souvent les **leviers** dans notre vie quotidienne.

Le **choix** du levier adéquat dépend de la tâche à effectuer.

Pour avoir une meilleure **efficacité**, il faut actionner le levier le plus loin possible de son point d'appui.

[3] Voir § 4.3 au IV « Pour en savoir plus »

2.4. Troisième séance : Les poulies

C1 → C4 – C5 → C8 – C12 → C17

2.4.1. Le défi (proposé aux enfants)

Soulevez une masse assez lourde (ex : un seau rempli de sable…) avec une ou un assemblage de plusieurs poulies.

2.4.2. Les objectifs (visés par les enseignants)

Il faudrait, qu'à la fin de la séance, les enfants
- comprennent l'utilité des poulies ;
- maîtrisent la notion de force (éventuellement force motrice et de force résistante) ;
- maîtrisent la mesure de masses et de longueurs ;
- prennent conscience de la relation entre ces deux grandeurs.

2.4.3. Questions qui peuvent aider les enfants à atteindre ces objectifs

- Quel système utiliserez-vous pour soulever le plus facilement une masse importante ?[4]
- Dans chaque cas, où faut-il tirer ? (proposez aux enfants de réaliser un dessin) [4]
- Dans chaque cas, comment (dans quelle direction, dans quel sens,…) est la force à exercer ? (proposez aux enfants de réaliser un dessin) [4]
- Dans chaque cas, de quelle hauteur est monté le seau ? (proposez aux enfants de réaliser un dessin) [4]
- Pour quel système faut-il tirer la plus grande longueur de corde ? [4]
- Si l'on veut monter la charge d'une hauteur de 60 cm, par exemple, quelle longueur de corde faudra-t-il tirer ? [2]
- Quels sont les avantages et les inconvénients de chacun des couplages ? [4]

Nous vous proposons aussi, en *annexe n°1*, un questionnaire plus complet qui permettra aux enfants d'appréhender l'utilité des poulies.

2.4.4. Qu'est-ce qu'une poulie ?

Qui a inventé la poulie ?
Il semble que ce soit Archimède qui, voulant répondre à un défi du roi Hiéron, inventa un système de poulies pour tirer un navire hors de l'eau.

[4] Toutes les réponses à ces questions se trouvent § 4.4. au IV « Pour en savoir plus »

Une poulie est un disque libre de tourner autour d'un axe passant par son centre et supporté par une fourche appelée « chape ». La poulie présente sur sa tranche une rainure appelée «gorge ». Les poulies permettent de soulever plus facilement une masse importante (un sac de blé, un bloc en pierre…).

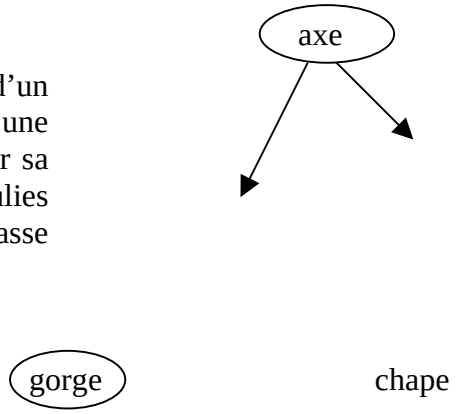


Fig. 14.

La poulie peut être « fixe » ou mobile.

2.4.4.1. Poulie appelée « fixe » (toujours à la même distance de son point d'attache)

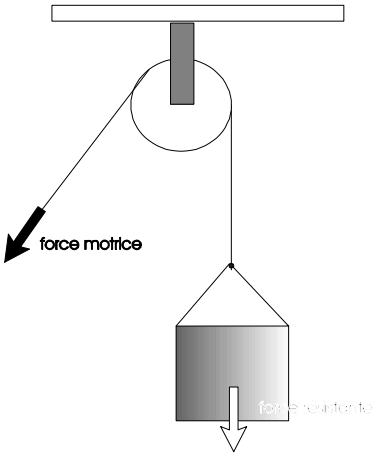


Fig.15.

Sur le dessin ci-contre, la masse à soulever est à droite (en vert), elle a un certain poids qui s'exerce vers le bas et que l'on appelle « force résistante » (représentée par la flèche rouge dirigée suivant la verticale et vers le bas).
C'est contre cette force qu'il faut lutter pour hisser la masse.
La force nécessaire pour soulever la masse s'exerce sur la partie libre de la corde. Nous l'appelons « force motrice » (représentée par la flèche bleue).

Avantages et inconvénients

Une telle poulie ne diminue pas la force que doit exercer la personne pour soulever l'objet.
Son seul avantage est de modifier la direction de cette force : il nous est plus facile de tirer vers le bas car nous pouvons nous aider de notre propre poids que de soulever vers le haut (voir § 4.4 au IV « *Pour en savoir plus* »).

2.4.4.2. Poulie mobile (qui peut monter et descendre le long de la corde)

Description :

La charge à soulever est alors attachée à la chape de la poulie. L'une des extrémités de la corde est fixée à un point fixe et l'autre permet d'exercer la force motrice.

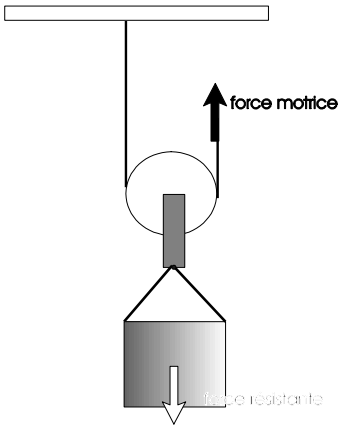


Fig.16.

Avantages et inconvénients

Pour soulever la charge d'une hauteur d, il suffit d'exercer une force motrice deux fois plus petite que dans le cas de la poulie fixe, mais il faut tirer sur la corde sur une distance deux fois plus longue (voir § 4.4 au IV « *Pour en savoir plus* »).

2.4.4.3. Combinaison de poulies :

L'homme découvre qu'en combinant les poulies, il parvient à réduire considérablement la force nécessaire pour soulever une charge : c'est le principe du palan. Il est toujours utilisé même si le moteur a remplacé la force humaine.

Palan à deux poulies

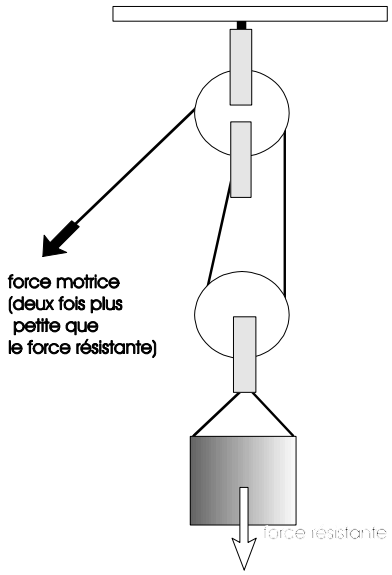


Fig.17.

Palan à trois poulies

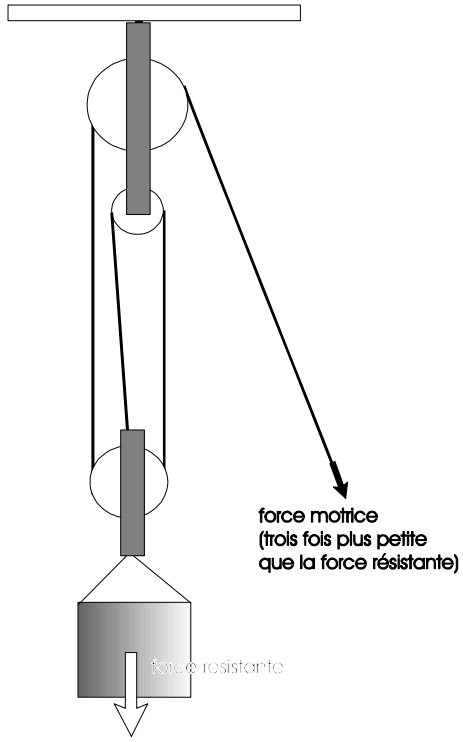


Fig.18.

Dans le cas du palan à trois poulies, pour soulever la masse sur une hauteur d,

- il suffit de développer une force qui sera trois fois plus petite que dans le cas de la poulie fixe (voir § 4.4 au IV « *Pour en savoir plus* »).

mais

- il faudra tirer la ficelle sur une distance égale à 3 d (car il faut remonter chacun des trois brins de la corde reliant la poulie mobile aux poulies fixes sur une distance égale à d) (voir § 4.4 au IV « *Pour en savoir plus* »).

Avantages et inconvénients :

Dans le cas du palan, l'effort global est distribué de manière plus favorable (il faut exercer une force moins importante) mais il faut l'exercer sur une longueur de corde plus grande.

2.4.5. Le matériel

D'une manière générale, il est important de faire attention à certains détails, les frottements notamment, qui peuvent empoisonner la vie…

- Il est donc préférable d'acheter des poulies de bonne qualité (ou se faire prêter un matériel de bonne qualité et propre, dans le cas contraire vous devrez passer votre temps à poncer, décoincer, décaler, dégripper…)

- Les cordes ont aussi leur importance : il est préférable de prendre des cordes d'alpinisme ni trop grosses (elles ne coulisseront pas dans la gorge de la poulie) ni trop minces (elles «navigueront» dans la gorge) donc bien adaptées à la largeur de la gorge. De plus ces cordes sont de bonne qualité et ne se détendent pas.

- Toujours pour les mêmes raisons, veillez à ce que les cordes ne se croisent pas, elles frotteraient entre elles et cela entacherait vos mesures.

- Les résultats seront plus probants si vous mettez une lourde charge à soulever (nous avions choisi 6 kg).
  A ce propos, n'oubliez pas de tenir compte de la masse de la poulie (ou du groupe de poulies) mobile(s) à (aux) laquelle(s) est attaché votre seau pour remplir celui ci.
  Exemple : si votre poulie a une masse de 200 g, enlevez ces 200 g de la masse de sable à mettre dans le seau . En effet, vous aurez alors une valeur simple 6 kg (5800 g de seau et de sable + 200 g de poulie) à comparer avec la masse qui soulève.

Pour suspendre vos assemblages de poulies, vous pouvez :

- soit fabriquer une « patère » (crochet un peu spécial) que vous accrocherez au-dessus de la porte de la classe, vous y accrocherez vos assemblages de poulies ;

- soit mettre deux chaises dos à dos, déposer un manche de brosse sur les deux dossiers, vous accrocherez alors vos assemblages de poulies au manche de brosse.

2.4.6. Présentation des résultats

Cette séance permet d'insister sur la notion de **compromis** : le système de poulies diminue la force à exercer mais augmente la longueur de corde à tirer (ce que l'on gagne d'un côté, on le perd d'un autre).

Le **principe de base** est le suivant : quel que soit le système de poulie(s) choisi, la charge à soulever est un seau rempli de sable.
L'anse de ce seau est attachée à une extrémité de la corde, la corde passe dans le système de poulie(s) et à l'autre extrémité de la corde nous attachons une bouteille en plastique vide.

Fig.19 et 19'

Pour étudier l'utilité des poulies, il faut normalement comparer des forces : la force résistante (le poids du seau et du sable) et la force motrice (celle que nous exerçons avec le bras pour soulever le seau).
Malheureusement, pour mesurer des forces il faut un « dynamomètre », appareil de mesure qui est assez coûteux et vraiment très peu répandu dans les écoles.

Aussi nous proposons de contourner la difficulté en comparant des masses : la masse « résistante » (le seau - ici la bouteille remplie de sable) d'un côté et la masse « motrice » (la bouteille contenant peu de sable) de l'autre. Cela ne pose pas de problème au niveau de l'exactitude de l'explication.

Les résultats obtenus lors les séances d'éveil sont assez cohérents. Nous les avons regroupés dans le tableau (page suivante):

- La première colonne reprend les différentes combinaisons de poulies étudiées.
- La deuxième colonne reprend le nombre de brins de corde attachés directement à la poulie elle-même attachée à la masse à soulever.
- La troisième colonne reprend la masse à soulever (notée « M »).
- La quatrième colonne reprend la masse nécessaire pour soulever (notée « M'»).

- La cinquième colonne reprend la longueur de corde (notée L) que nous devons tirer pour soulever M d'une hauteur (h) égale à 60 cm.

- La sixième colonne reprend le numéro du groupe qui a obtenu ces résultats.

- Et les deux dernières colonnes permettent de tirer les conclusions quant à la longueur de ficelle à tirer et la masse à suspendre dans chacun des cas.

Poulies	Nombre de brins de cordes	M (kg)	M'(kg)	L(m)	N° du groupe	Conclusions : aux difficultés de mesures près * …	
1 poulie « fixe »	1	5,4	5,2	0 ,60	2	L = h	M' ≈ M
1 poulie « fixe » et 1 poulie mobile	2	5,8	3,2	1,10	3	L ≈ 2h	M' ≈ M/2
2 poulies « fixes » et 2 poulies mobiles	4	6	1,6	2,60	1	L = 4h	M' ≈ M/4
3 poulies « fixes » et 3 poulies mobiles	6	6	1,2	3,60	4	L = 6h	M' ≈ M/6

N°1 : Simon, Marine et Justine
N°2 : Margaux, Boris et Noémie
N°3 : Loïc, Aura et Alyssa
N°4 : Aurélie, Noémie et Justin

* Les enfants effectuent les mesures de longueur de corde sans difficulté. La mesure des masses peut, par contre, poser des problèmes : l'équilibre est atteint dès que le seau est très légèrement soulevé, certains groupes d'enfants s'en rendent compte aussitôt et font donc une mesure correcte, d'autres s'en rendent compte un peu trop tard et obtiennent une valeur un peu trop grande.

Les conclusions sont importantes et coïncident avec la théorie, il existe :

- Une relation entre : le nombre de brins de corde directement attachés à la masse à soulever, la masse à soulever et la masse « qui soulève »

  Cette relation est : $\textit{la masse « qui soulève »} = \dfrac{\textit{la masse « à soulever »}}{\textit{le nombre de brins de corde}}$

- Une relation entre : le nombre de brins de corde, la longueur de corde à tirer et la hauteur dont est soulevée la masse :

  Cette relation est : *la longueur de corde à tirer = (la hauteur dont est soulevée la masse) x (le nombre de brins de corde).*

2.4.7. Conclusion

Une **poulie fixe** seule n'est utile que parce qu'elle modifie le support de la force à exercer : elle rend la situation plus ergonomique (nous pouvons alors utiliser notre propre poids pour faciliter la tâche). Mais l'utilisation de cette poulie ne modifie pas la **valeur** de la force.

L'utilisation du **palan** (couplage de plusieurs poulies) permet de réduire **la valeur** de la force à exercer : plus le nombre de brins de corde passant par la poulie attachée à la masse à soulever est important, plus la force à exercer est petite.
Mais la **longueur** de corde à tirer est alors plus importante. Il faut donc faire des compromis : ce que l'on gagne d'un côté (en force à exercer), on le perd d'un autre (en longueur de corde à tirer).

2.5. Quatrième séance : Les engrenages

C1 → C4 - C6 - C12 → C14

2.5.1. L'énigme (proposée aux enfants)

Comment fonctionnent l'essoreuse à salade et le batteur à œufs ?

2.5.2. Les objectifs (visés par les enseignants)

A la fin de cette séance, il faudrait que les enfants :
- comprennent l'utilité des engrenages ;
- puissent définir les axes de rotation ; la vitesse (de rotation) et nombre de tours de rotation ;
- éventuellement, introduisent les notions d'inertie et de force centripète (sans les nommer).

2.5.3. Questions qui peuvent aider les enfants à atteindre ces objectifs

Vous pouvez proposer aux enfants de démonter l'essoreuse à salade, de répondre à quelques unes des questions proposées ci-dessous et de la remonter ensuite.

- Combien de tours fait le panier pendant que la manivelle ne fait qu'un tour ? [5]
- Dans quel(s) sens tournent les deux engrenages ? [5]
- Pourquoi est-ce difficile d'amorcer et ensuite d'arrêter la rotation du panier? [5]
- Pourquoi la salade est-elle plus sèche après ?[5]

Nous vous proposons aussi, en *annexe n°2*, un questionnaire plus complet qui permettra aux enfants d'appréhender l'utilité des engrenages.

2.5.4. Qu'est-ce qu'un engrenage ?

Les engrenages existent dés le IIIe millénaire avant J.-C. (en Chine).
Ce ne serait donc pas Léonard de Vinci (1452-1519) qui invente les roues dentées mais c'est lui qui tire parti de leurs avantages en mettant au point le cric qui permet de soulever les carrosses.

[5] Toutes les réponses à ces questions se trouvent § 4.5 au IV « Pour en savoir plus »

Simples, mais très utiles, ces machines !

Description

Les engrenages sont des assemblages de roues dentées qui s'imbriquent les unes dans les autres.
La taille et donc le nombre de dents jouent un rôle important dans l'association des engrenages.

Fig.23.

Il est important de repérer :

- le nombre de dents de chacune des roues ;
- la roue motrice (qui impose le mouvement) et la roue entraînée (qui subit le mouvement) ;
- les sens de rotation des roues (deux roues en contact tournent dans des sens opposés) ;
- le nombre de tours effectués pour chacune des roues.

Ainsi dans le cas suivant, imaginons que nous fassions tourner la grande roue dans le sens des aiguilles d'une montre …

- la roue motrice est la grande roue
- la roue entraînée est la petite roue
- la petite roue tourne dans l'autre sens
- la grande roue comporte 24 dents
- la petite roue comporte 8 dents
- pendant que la grande roue fait 1 tour, la petite roue fait 3 tours

Fig.21.

Dans le cas de l'horloge ci-contre, la roue motrice est liée au mouvement du balancier et la roue entraînée est liée au mouvement des aiguilles.
En couplant des roues dentées ayant des nombres de dents appropriés, il est possible de faire tourner les aiguilles d'une horloge à la bonne vitesse.

Fig.22.

Les différentes combinaisons des plateaux du pédalier et du pignon de la bicyclette permettent de modifier la cadence du cycliste et de l'adapter au relief du terrain.

Fig.23.

Il est intéressant de remarquer que les engrenages peuvent,

a) augmenter la vitesse de rotation :

L'essoreuse à salade, le batteur à œufs, la chignole ne sont efficaces que parce que la vitesse de rotation obtenue est plus importante que celle imprimée par la main. Lorsque nous tournons doucement la manivelle, le panier à salade, ou les pales du batteur tournent très vite. Cependant pour obtenir cette rotation rapide du panier, il faut exercer une force relativement importante sur la manivelle.

Fig. 24.

b) diminuer la vitesse de rotation :

Le treuil est une autre machine simple dont il existe un très grand nombre de variantes.
Sous sa forme primitive il se compose d'un cylindre (appelé arbre ou tambour) susceptible d'être mis en rotation grâce à une manivelle.
L'objet à déplacer est attaché à une extrémité d'une corde qui s'enroule progressivement autour du tambour.

Fig.25.

Simples, mais très utiles, ces machines !

Avantages et inconvénients

Il faut exercer une force relativement importante pour faire tourner le panier à salade mais celui-ci tourne alors très rapidement.
Il faut effectuer beaucoup de tours de manivelle pour hisser le bateau sur sa remorque mais la force à développer est très faible.

2.5.5. Le matériel

Où trouver des engrenages ?

- Vous pouvez construire des roues dentées avec du matériel disponible dans les magasins de dessin ou d'artisanat : des plaques de « carton mousse » (qui existent en différentes épaisseurs) mais ces roues dentées sont un peu difficile à découper, et surtout assez fragiles.

- Vous pouvez trouver des roues dentées d'occasion et de bonne qualité dans les magasins vendant des tondeuses à gazon. Cela vous permettra de faire une étude qualitative (distinguer la roue motrice, la roue entraînée, déterminer le sens de rotation, estimer des vitesses…) mais rarement de mesures quantitatives, le rapport des nombres de dents étant rarement un nombre entier.

- Vous pouvez aussi obtenir de vieux pignons et de vieux plateaux de bicyclette dans les magasins vendant des bicyclettes. Cela vous permettra d'expliquer l'utilité des plateaux et des pignons de la bicyclette.

- Il existe une boîte de jeux (pour les enfants de plus de 5 ans) contenant des roues dentées de la marque « Quercetti » (http://www.quercetti.com). Vous pourrez faire réfléchir les enfants à partir de nombreux petits défis (faire tourner une roue sans la toucher, dans le même plan, dans un plan perpendiculaire, réaliser des modèles, simplifiés, d'essoreuse à salade ou de batteur à œufs, …) mais, il n'est pas possible de faire des mesures.

- Si vous voulez construire des engrenages servant réellement (horloge, batteur à œufs …par exemple) vous pouvez prendre contact avec deux firmes françaises construisant du matériel technologique pour les enfants :
  - Editions Celda (http://www.celda.fr ; contact en Belgique : vragen@edutoy.be)
  - Bourrelier (http://www.bourreleir.fr ; contact Belgique : context@swing.be)

  Le seul inconvénient étant que ces boîtes, très complètes, coûtent cher : de 14,00 EUR jusqu'à parfois 200,00 EUR.

2.5.6. Présentation des résultats

- Nous pensons que cette séance est l'occasion rêvée, pour les enfants, d'éveiller, ou de développer leur sens de l'observation. En effet, lors de cette manipulation, les enfants ne feront pas, ou peu, de mesures quantitatives, mais plutôt des observations qualitatives : distinguer la roue motrice, la roue entraînée, déterminer les sens de rotation de chaque roue, estimer des vitesses...
- Nous avons remarqué que, d'une manière générale, la plupart des enfants ont des difficultés à distinguer la roue motrice de la roue entraînée ; de repérer les plans de rotation, les axes de rotation ; de repérer les vitesses de rotation des roues. Nous vous conseillons donc de prévoir le temps nécessaire pour faire ces mises au point.
- Comme nous l'avons déjà signalé, la difficulté est de trouver des roues dont le rapport des nombres de dents est un nombre entier. Dans le cas où ce nombre n'est pas un nombre entier, les explications deviennent vite plus compliquées.

Cette séance peut permettre d'introduire le vocabulaire suivant : dent, roue dentée, sens de rotation, engrenage, axe de rotation, plan de rotation …

Fig.26.

Réponses à quelques questions :

Lorsque nous formons une chaîne avec plusieurs roues dentées, toutes dans le même plan,

- la première et la dernière roue tournent dans le même sens quand il y a un nombre impair de roues entre les roues extérieures ;

- la première et la dernière roue tournent dans des sens opposés quand il y a zéro ou un nombre pair de roues entre les roues extérieures ;

- la première et la dernière roue tournent à la même vitesse quand elles sont identiques, et cela quelles que soient les roues intermédiaires ;

Simples, mais très utiles, ces machines !

La règle générale qui lie les nombres de dents de chacune des roues aux nombres de tours complets effectués est :

$$\frac{\textit{Nombre de } \textbf{\textit{dents}} \textit{ de la roue motrice}}{\textit{Nombre de } \textbf{\textit{dents}} \textit{ de la roue entraînée}} = \frac{\textit{Nombre (entier) de } \textbf{\textit{tours}} \textit{ effectués par la roue entraînée}}{\textit{Nombre (entier) de } \textbf{\textit{tours}} \textit{ effectués par la roue motrice}}$$

2.5.7. Conclusion

Un **engrenage** est un assemblage de roues dentées.

Deux roues dentées en contact tournent avec des **sens** de rotation différents.

Les **vitesses** de rotation dépendent des nombres de dents des roues mises en contact : une même roue fera tourner rapidement une roue plus petite et fera tourner moins rapidement une plus grande roue.

2.6. Cinquième séance : Le plan incliné

C1 → C4 - C5 → C8 - C12 → C17

2.6.1. L'énigme (proposée aux enfants)

Pourquoi construit-on des plans inclinés ?

2.6.2. Les objectifs (visés par les enseignants)

A la fin de cette séance, il faudrait que les enfants :
- comprennent l'utilité du plan incliné ;
- constatent que la force à exercer pour monter un objet (petite voiture) sur un plan incliné dépend de l'inclinaison de ce plan.
- maîtrisent la mesure des masses et des longueurs

2.6.3. Questions qui peuvent aider les enfants à atteindre ces objectifs

Vous pouvez proposer aux enfants quelques unes des questions ci-dessous :

- Quelle définition donne-t-on de l'expression « plan incliné » dans le dictionnaire ?

- La photographie ci-contre propose plusieurs rampes d'accès :

  - comment les différentiez-vous ?
  - quels en sont les avantages ?
  - quels en sont les inconvénients ?

Fig.27.

2.6.4. Qu'est-ce qu'un plan incliné ?

Description

Le plan incliné constitue sans doute la plus rudimentaire des machines simples : c'est aussi bien la route en pente que la planche qui facilite le chargement des camions.

Fig.28.

Avantages et inconvénients

Le plan incliné augmente la longueur du trajet le long duquel il faut déplacer l'objet mais permet de mieux distribuer l'effort global : l'effort fourni à chaque pas est plus petit.
L'effort à exercer dépend de l'angle que fait le plan incliné avec le plan de l'horizontal.
L'avantage peut être important mais est au prix d'une augmentation de la distance parcourue.
De nouveau, ce que l'on gagne d'un côté (en force) on le perd d'un autre (en distance).

2.6.5. Matériel

Construction du plan incliné :

Réalisez une potence en bois (la nôtre fait +/- 0,50 m de haut) percée, en haut, et de part en part d'un trou. Ce trou permet le passage d'une tige métallique horizontale amovible (Fig. 29.).
En haut de la potence, fixez une poulie (ou deux poulies, cela dépendra de l'épaisseur de la potence et de l'inclinaison des plans inclinés) qui permet de faire coulisser une corde.

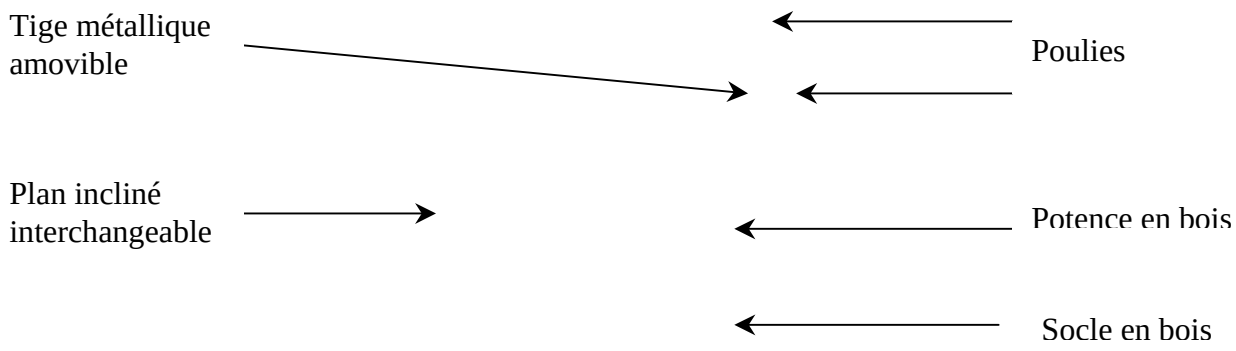


Fig.29.

Réalisez trois plans inclinés de longueurs différentes (nous avons choisis : 2 m, 1,5 m, et 1 m). A une extrémité de chacun de ces plans, fixez deux œillets métalliques (Fig. 30) qui permettront de fixer chaque planche à la potence (ces oeillets sont traversés par la tige métallique).
Il est important de remarquer dés maintenant que, ces trois plans ayant des longueurs différentes et étant attachés successivement à la même hauteur sur la potence, auront des inclinaisons différentes : le plan le plus petit (1 m) aura la plus grande inclinaison et le plan le plus long (2 m) aura l'inclinaison la plus petite.
Le but est de tracter une petite voiture avec un récipient rempli de sable.
A l'arrière de cette voiture, faites un petit trou (ou fixez un petit crochet) et faites-y passer une corde (Fig.31), qui passera aussi dans la gorge de la (les) poulie(s). Pour terminer, attachez un petit récipient à la deuxième extrémité de la corde. C'est ce récipient, plus ou moins rempli suivant l'inclinaison du plan, qui tractera la voiture.

Simples, mais très utiles, ces machines !

Fig. 30.

Fig.31.

2.6.6. Expérience

Remarque :

Comme nous l'avons déjà signalé, pour mesurer une force, il faut un appareil approprié : un dynamomètre, appareil relativement coûteux que l'on ne trouve pas dans les écoles de l'enseignement fondamental. Lors des expériences réalisées avec les poulies nous avions alors contourné la difficulté en mesurant et en comparant des masses. Nous allons procéder de la même manière ici.

Réalisation de l'expérience :

- Les enfants choisissent un plan incliné, …

- fixent ce plan incliné à la potence ;

- posent la voiture sur ce plan et remplissent peu à peu le seau pour que le système soit en équilibre ;

- déterminent la masse de sable nécessaire pour réaliser cet équilibre.

Fig.32.

- Les enfants recommencent ensuite l'expérience avec les deux autres plans inclinés.

- Vous pouvez ensuite présenter les résultats sous la forme d'un tableau (voir ci-dessous).

2.6.7. Présentation des résultats

Longueur du plan incliné (L) Mesurée en mètre (m)	Masse à suspendre (M) Mesurée en grammes (g)
1	246
1,5	167
2	128

Nous constatons donc que :

- Plus la pente du plan incliné est faible,
  - plus la masse à suspendre pour obtenir l'équilibre est petite. Autrement dit, plus la force à exercer est petite. Ceci est mis à profit dans la construction des rampes d'accès des bâtiments (rampes pour chaises roulantes des handicapés).
  - mais plus la distance (1 m, 1,5 m et 2 m) à parcourir sur le plan incliné est grande.

- Au contraire, plus la pente du plan incliné est importante,
  - plus la masse à suspendre est grande, donc plus la force à exercer est importante ;
  - mais plus la distance à parcourir sur le plan incliné est petite 2 m, 1,5 m et 1 m).

Il est alors de nouveau possible de revenir à la notion de compromis :

- plus la pente est faible, plus la force à exercer est faible mais plus la distance à parcourir est grande ;

- plus la pente est importante, plus la distance à parcourir est petite mais alors plus la force à exercer est importante.

Il est possible d'aller plus loin dans la démarche, mais c'est à vous enseignant(e)s de voir s'il est possible de le faire avec les enfants de votre classe. Il est en effet possible, de montrer qu'il existe une grandeur invariante, qui est le produit des deux grandeurs mesurées : la longueur du plan incliné par la masse suspendue.

Longueur du plan incliné (L) Mesurée en mètre	Masse à suspendre (M) Mesurée en grammes (g)	Produit des deux valeurs Exprimé en m.g*
1	246	1 x 246 = 246
1,5	167	1,5 x 167 = 250
2	128	2 x 128 = 256

Aux incertitudes de mesures près, nous pouvons considérer que les trois résultats de la dernière colonne sont équivalents.
Même si nous utilisons des masses en grammes au lieu de force en newton, nous ne sommes pas loin de la notion de travail qui est le produit de la longueur parcourue sur le plan incliné par la force exercée ce que l'on note [6] : W = L x F.

Remarques :

Les rampes d'accès aux bâtiments pour handicapés sont souvent de pente faible : de l'ordre de 1 : 5 (soit environ 11,5°) c'est-à-dire que pour monter 20 cm, il faut un plan incliné long de 1 mètre. Pour monter 50 cm il faut un plan incliné long de 2,5 m …

[6] La notion de travail en physique est introduite au § 4.8 au IV « Pour en savoir plus »

Il existe, chez nous en Belgique, un plan incliné fort connu et souvent visité par les enfants lors des excursions scolaires : le plan incliné de Ronquières. Ce plan incliné à 5%, construit en 1962 et inauguré 4 ans plus tard, sur le canal Charleroi-Bruxelles, permet aux péniches ou aux bateaux de passer une dénivellation 68 mètres en 40 minutes. L'ensemble de l'ouvrage s'étire sur 1432 mètres et fonctionne avec deux bacs pouvant contenir des bateaux de 1350 tonnes.

Fig.33.

2.6.8. Conclusion

La **pente** du plan incliné influence :

la **force** à exercer pour y faire monter une charge :

plus la pente est faible, plus la force à exercer est faible
plus la pente est importante, plus la force à exercer est importante

la **longueur** sur laquelle il faut faire monter la charge

plus la pente est faible, plus la longueur est importante
plus la pente est importante, plus la longueur est petite.

Il faut donc faire des choix…

2.7. Sixième séance : La bicyclette

Nous n'avons, malheureusement, pas eu le temps de réaliser cette séance avec les enfants, nous vous proposons donc uniquement quelques pistes à exploiter.

L'étude de la bicyclette est très intéressante car elle permet d'introduire de nombreuses notions de physique.

Ainsi :

En étudiant …	**vous pouvez introduire la notion …**
- le fonctionnement de l'ampoule	- de circuits électriques ouverts et fermés - d'isolants et conducteurs électriques
- le fonctionnement de la pompe	- de pression atmosphérique - de pression dans les gaz
- le fonctionnement des pédales, des manettes de freins	- de levier (bras, point d'application…)
- la roue	- de circonférence du cercle, la valeur de π
- les roues dentées du pédalier et du pignon	- d'engrenages - de rapport de transmission
- le vélo à l'arrêt et en mouvement	- d'équilibre - des forces de frottements
- le vélo qui grimpe ou descend une côte	- de conservation de l'énergie

Un peu de vocabulaire :

Le ***cadre*** est l'ossature de la bicyclette formée de tubes.

Le ***braquet*** (appelé aussi rapport de transmission) est le rapport entre le nombre de dents du pédalier et le nombre de dents du pignon.

Le ***dérailleur*** est un système de changement de vitesse élaboré : il positionne la chaîne sur les pignons de tailles différentes, situés sur les moyeux avant (les plateaux) et arrière (les pignons), offrant ainsi la possibilité de changer de braquet et par conséquent de vitesse.

Simples, mais très utiles, ces machines !

Le ***développement*** est la distance parcourue par le vélo lors d'un tour complet de pédalier (il dépend du diamètre de la roue arrière, du nombre de dents du plateau et du pignon).

Le développement se calcule de la manière suivante :

la circonférence de la roue motrice x (Nbre de dents du pédalier/ Nbre de dents du pignon).

Par exemple, pour une bicyclette ayant : une roue arrière de 70 cm de diamètre, 12 dents au pignon et 55 dents au plateau,

le développement sera = $(0{,}70 \times 3{,}14)\,\frac{55}{12}$ = 10,07 m (cette valeur correspond à un très grand développement, peu courant)

Le ***pignon*** est une (ou plusieurs) roue(s) dentée(s) située(s) sur l'axe de la roue arrière (par opposition au plateau).

Le ***plateau***, relié au pédalier, est constitué de plusieurs roues dentées servant à mouvoir, par l'intermédiaire d'une chaîne, la roue arrière de la bicyclette.

Si la bicyclette possède plusieurs vitesses, les changements de vitesses se trouvent, bien sûr, sur le guidon :

sur la partie gauche du guidon, vous choisissez le plateau du pédalier
sur la partie droite du guidon, vous choisissez le pignon arrière.

Les possibilités du plateau avant sont, pour la bicyclette que nous avons utilisée, au nombre de 3 : 1,2 et 3
le n°1 correspond au plus petit plateau,
le n°2 correspond au plateau intermédiaire,
le n°3 correspond au plus grand plateau.

Les possibilités du pignon arrière sont, pour la bicyclette que nous avons utilisée, au nombre de 7 : 1,2, 3 … 7
le n°7 correspond au plus petit pignon,
le n°4 correspond au pignon intermédiaire,
le n°1 correspond au plus grand pignon.

Cette numérotation est choisie de cette manière pour des raisons pratiques :

- la combinaison 1/1 (plateau / pignon) correspond à la situation la plus facile (petit plateau et grand pignon) ;

- la combinaison 3/7 (plateau / pignon) correspond à la situation la plus difficile (grand plateau et petit pignon).

Le pignon (arrière) et le plateau (pédalier) ont le même nombre de dents.

Chaque dent du pédalier fait avancer une dent du pignon.
Les deux roues dentées tournent donc à la même vitesse.

Fig.34.

Ce dispositif ne présente ni avantage, ni inconvénient directs.

Petit pignon et grand plateau

La roue dentée du pignon est plus petite (ici 16 *dents*) que celle du pédalier (ici 32 dents).
La roue dentée arrière tourne donc 2 fois plus vite que la roue dentée avant ($\frac{32}{16} = 2$).

Fig.35.

Les vitesses atteintes par le vélo sont élevées mais l'effort à fournir à chaque coup de pédale est important.
Plus le pédalier tourne lentement, plus l'effort à fournir est important.
On utilise ce genre de combinaison sur route horizontale ou en descente.
On parle alors de *grand développement*.

Grand pignon et petit plateau

La roue dentée arrière (pignon) est plus grande (ici 48 dents) que celle du plateau (16 dents).
En un tour de pédale, les 16 dents du pédalier entraînent 16 dents du plateau.
Il faudra donc 3 tours de pédalier ($\frac{48}{16} = 3$) pour que le plateau effectue un tour complet.

Fig.36.

Les vitesses atteintes par le vélo sont faibles mais l'effort fourni à chaque coup de pédale est faible aussi.
Plus le pédalier tourne vite, plus « c'est facile ».
Cette combinaison est utilisée pour monter une côte.
On parle alors de *petit développement.*

III. Conclusion

Dans certains cas, effectuer une tâche à mains nues est impossible parce que la force à exercer est trop importante.

Les machines simples (plans inclinés, leviers, poulies, engrenages) nous aident alors à effectuer cette tâche en diminuant la force à exercer.

Cependant, « ***Ce que l'on gagne d'un côté, on le perd de l'autre*** ».

Ainsi :

- Quand nous utilisons un *plan incliné*, nous exerçons une force moindre mais sur une distance (sur le plan incliné - hypoténuse du triangle) qui est plus longue que si nous portions cette charge à mains nues (à la même hauteur mais suivant la verticale).
- Quand nous utilisons un *levier*, nous exerçons une force moindre mais sur une distance (arc de cercle de l'extrémité du bras de levier) qui est plus longue que si nous avions soulevé l'objet à mains nues.
- Quand nous utilisons des *poulies*, nous exerçons une force moindre mais nous devons tirer une longueur de la corde qui est plus longue que la hauteur dont est soulevée la charge.
- Enfin, quand nous utilisons des engrenages (pédalier et pignon de la bicyclette par exemple), pour démultiplier la force, nous devons faire davantage de tours de pédalier.

IV. Pour en savoir plus

4.1. Attention au vocabulaire que nous utilisons …

Les enfants, et nous aussi, les adultes, faisons souvent un amalgame entre plusieurs mots qui ont des significations différentes pour le physicien et pour l'homme de la rue. Nous assimilons les termes : « effort », « fatigue physique » et le mot « travail ». L'effort et la fatigue physique font référence à la notion de fatigue musculaire.

Le travail, dans le sens commun, fait lui aussi référence à la dépense d'énergie dans le cas d'un exercice physique. Pour le physicien, le « travail » n'existe que dans certaines conditions.

Voici un exemple de cette différence d'interprétation : une personne qui marche et porte une valise à bout de bras se fatigue physiquement alors qu'elle n'effectue aucun travail du point de vue du physicien.
Par contre, une personne qui prend une valise sur le sol et la soulève se fatigue physiquement et exerce aussi un travail du point de vue de la physique.

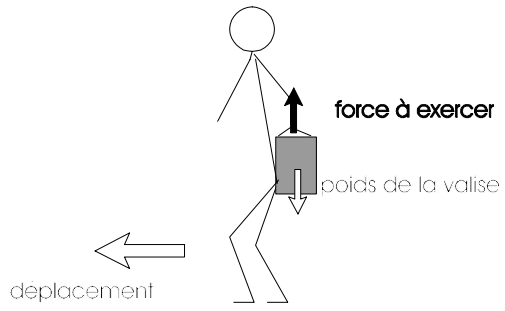


Fig.13

Cette personne se fatigue
mais
n'effectue aucun travail
(du point de vue de la mécanique).

La force est exercée suivant la verticale.
Le déplacement s'effectue suivant l'horizontale.
Ils sont donc perpendiculaires.

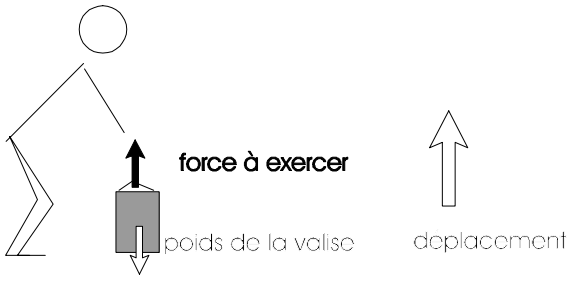


Fig.13'

Cette personne se fatigue
et
effectue un travail
(du point de vue de la mécanique).

La force s'exerce suivant la verticale.
Le déplacement s'effectue suivant la verticale aussi.
Ils sont donc sont parallèles.

Nous vous conseillons donc d'employer, dans un premier temps, les termes d' « effort », de « fatigue » ou les expressions de « tâche à accomplir », « se fatigue moins » ou de « force musculaire » qui sont valables dans tous les cas. Et d'éviter le terme de « travail » autant que possible ou d'essayer de faire la nuance entre le vocabulaire usuel et celui, plus spécifique, du physicien.

4.2. Quel est l'intérêt du plan incliné ?

Que se passe-t-il exactement le long d'un plan incliné ?

Imaginons tout d'abord que nous devions soulever une valise très lourde sans aucune aide.

Nous nous trouvons dans la situation suivante : la force que nous devons exercer (en bleu) est une force qui s'oppose au poids (en rouge).

Le poids de l'objet est représenté par la flèche (il vaut aussi 200 N, si c'est la même valise).

Cette force est caractérisée par :

- un support : la verticale
- un sens : du bas vers le haut
- un point d'application : la poignée de la valise
- une valeur : par exemple 200 N

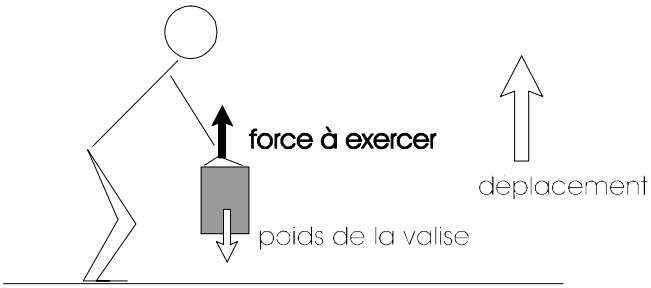


Fig.37.

Que se passe-t-il dans le cas où nous utilisons un plan incliné pour monter la valise à la même hauteur ?

Cette situation est représentée par le schéma ci-dessous :

Il est possible de décomposer le poids de la valise en deux composantes :

- une force perpendiculaire au plan incliné (représentée en **turquoise**) qui plaque la valise sur le plan incliné

et

- une force parallèle au plan incliné (représentée en) qui a tendance à faire glisser la valise vers le bas.

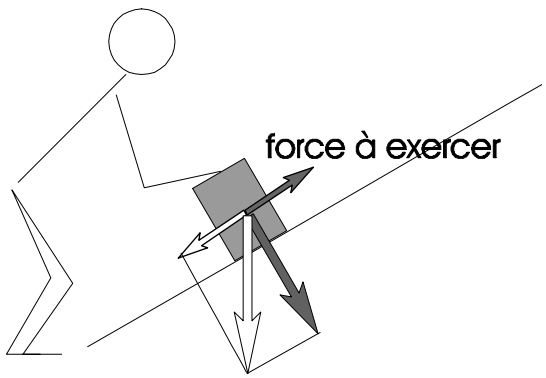


Fig.38.

- La force **turquoise** est équilibrée par l'action du plan incliné (c'est grâce à elle que l'objet ne s'enfonce pas dans le plan incliné).

- La composante représente la force à laquelle il faut s'opposer pour déplacer la masse (cette force est plus petite que 200 N, elle dépend de l'angle d'inclinaison du plan par rapport à la ligne de l'horizon).

Nous devrons donc exercer une force (**bleue**), au moins égale et opposée à cette composante, mais qui est plus petite que le poids de départ. La force à exercer est donc moins importante mais il faut l'appliquer sur une distance plus longue. Cette distance est à parcourir sur le plan incliné (qui est en fait l'hypoténuse du triangle formé par le plan incliné, le sol et la verticale). Elle est plus importante que la verticale (hauteur du triangle).

Remarque: Cette étude est une étude d'un système en équilibre, et vous pouvez vous limiter à cette explication. La suite du raisonnement est plus compliquée : on désire faire monter l'objet le long du plan incliné, il faudra alors, dans un premier temps, exercer une force (bleue) légèrement supérieure à la force qui tend à faire glisser l'objet vers le bas le long du plan incliné et ensuite, ce qui est paradoxal, lorsque le mouvement est amorcé, il suffira d'exercer une force légèrement plus petite (le coefficient de frottements dynamiques - lors du mouvement - étant plus petit que le coefficient de frottements statiques - au repos-). Vous avez peut-être déjà constaté que pour déplacer une armoire, il faut tout d'abord exercer une force importante pour mettre cette armoire en mouvement et qu'ensuite, il suffit d'exercer une force plus faible pour entretenir son mouvement.

4.3. Les leviers

Il nous semble important de signaler que le terme de « levier » ne sera pas forcément usuel pour les enfants. L'enfant comprend que le pied-de-biche est un levier car il sert à soulever la plaque d'égout mais le décapsuleur, le casse-noix, ou le pédalier de vélo ne seront peut-être pas d'emblée assimilés à des leviers.

Dans le cas des leviers, les notions importantes, sont les notions de *bras de levier* et de *point d'appui.*

Observons la situation suivante et demandons-nous sous quelles conditions, la balançoire est en équilibre :

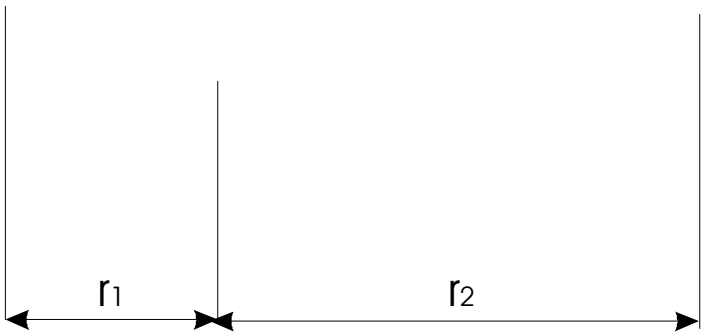


Fig.39.

Nous savons d'expérience que la balançoire sera en équilibre si chaque personne, ayant son propre poids, s'assoit à un endroit bien précis :

- l'adulte, plus lourd (ayant un poids = F_1), doit s'asseoir relativement près du point d'appui (à une distance r_1) : le bras de levier est petit
- l'enfant, plus léger (ayant un poids = F_2), doit s'asseoir relativement plus loin du point d'appui (à une distance r_2) : le bras de levier est grand.

La condition d'équilibre des leviers : $\boxed{F_1 \,.\, r_1 = F_2 \,.\, r_2}$ est vérifiée.

Il existe donc un lien important entre les longueurs des bras de leviers et les forces mises en jeu.

Dans le cas de la balançoire, le poids de l'adulte (F_1) est important et le poids de l'enfant (F_2) est petit. Pour que la relation d'équilibre soit vérifiée, il faut que r_1 soit petit et r_2 soit plus grand.

De même : dans les trois situations qui suivent, la caisse à soulever et le levier utilisé sont les mêmes, mais le point d'appui se trouve à des endroits différents : les bras de leviers sont donc à chaque fois différents.

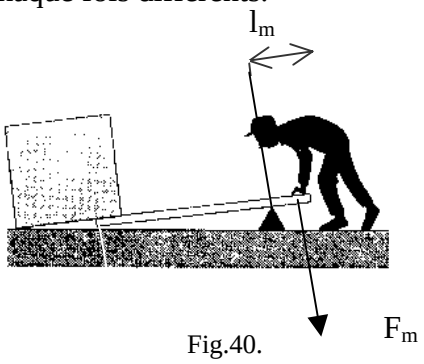


Fig.40.

Le bras résistant (l_r) est plus grand que le bras moteur ( ).
Pour que la relation d'équilibre (F_r . l_r = F_m . l_m) soit vérifiée, il faut que la force motrice (F_m) soit plus grande que la force résistante ( ).

Ce levier n'est pas avantageux !!!

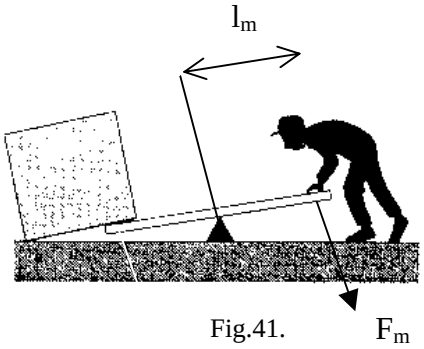


Fig.41.

Les bras de leviers ( ) et (l_m) sont égaux.

Pour que la relation d'équilibre (F_r . l_r = F_m . l_m) soit vérifiée, il faut que la force motrice (F_m) soit égale à la force résistante ( ).

Ce type de levier n'est pas non plus avantageux…

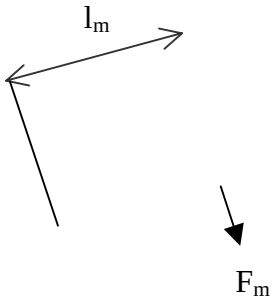


Fig.42.

Le bras moteur (l_m) est plus grand que le bras résistant ( ).
Pour que la relation d'équilibre (F_r . l_r = F_m . l_m) soit vérifiée, il suffit que la force motrice (F_m) soit plus petite que la force résistante ( ).

Ce type de levier nous facilite vraiment la tâche !!!

Lorsque nous utilisons une machine, le but est de se faciliter la tâche, donc d'exercer une force la plus petite possible. Voilà pourquoi, intuitivement, nous plaçons la main, le plus loin possible du point d'appui, sur le manche de la brouette, du pied-de-biche, de l'arrache-clou, du cric de voiture, du décapsuleur …

Remarque : Sachez que, comme pour l'étude du plan incliné, il s'agit ici aussi d'un système en équilibre. Il n'est pas possible d'aller plus loin dans le raisonnement, il faudrait tenir compte des déformations éventuelles, des liaisons avec le pivot… ce qui dépasserait largement le cadre de ce notre propos.

4.4. Les poulies

Dans le cas de la **poulie « fixe »** (qui se trouve toujours à la même distance du point d'attache):

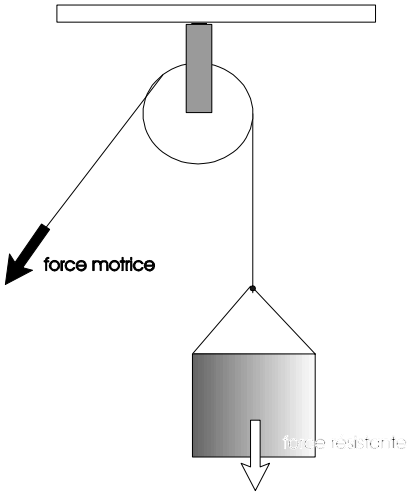


Fig. 43.

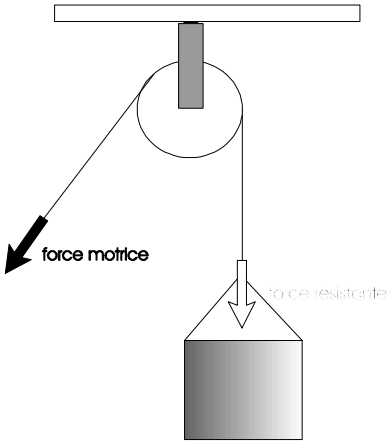


Fig. 44.

La force qu'il faut exercer pour soulever la masse (représentée en bleu et appelée : force motrice) dépend du poids de cette masse (représenté en rouge et appelé : force résistante) (Fig.43) .
La force résistante s'exerce au centre de gravité de l'objet (Fig.43) ou, ce qui revient au même résultat, sur le point de contact entre la corde et l'objet (Fig.44).

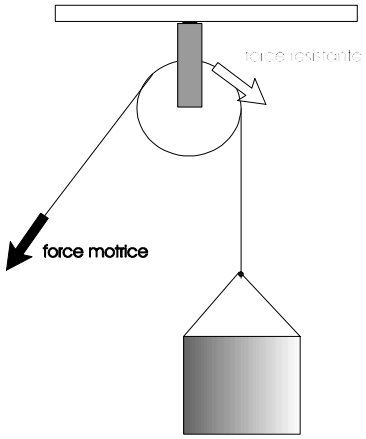


Fig. 45.

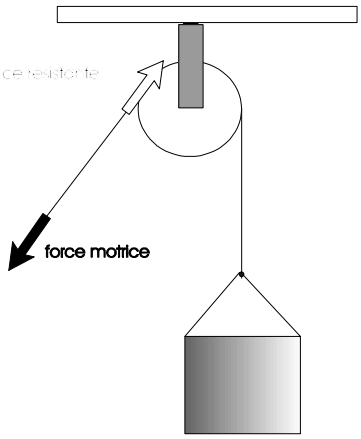
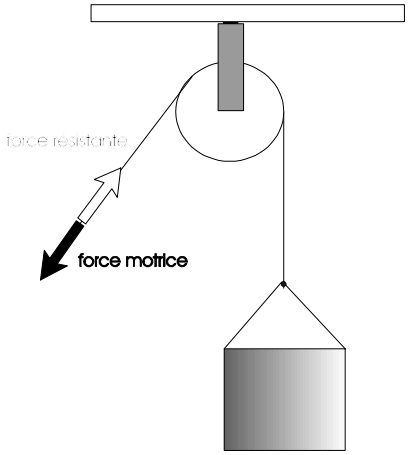


Fig. 46.

La corde sert de « fil conducteur » à cette force résistante. Nous pouvons donc considérer que tout se passe comme si la force résistante se « déplaçait » de proche en proche le long de la corde (Fig.45 et 46).



C'est pourquoi nous pouvons donc représenter cette force à l'autre bout de la corde (du côté de la main).

Ce système ne diminue pas la valeur de la force à exercer. Il ne permet donc aucun gain mécanique ; il ne fait que modifier la direction de la force à appliquer : il est plus facile de tirer vers le bas que de soulever vers le haut.

Remarque : Comme lors de l'étude du plan incliné et des leviers, il s'agit d'un système en équilibre.

Dans le cas d'une **poulie mobile** (qui peut « monter » et « descendre » le long de la corde): il est possible de décomposer le problème de la façon suivante :

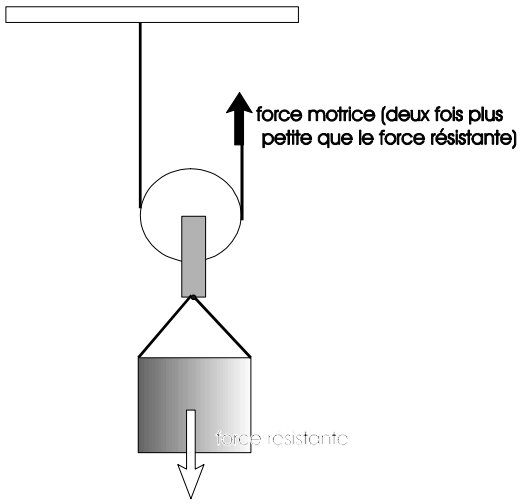


Fig.48.

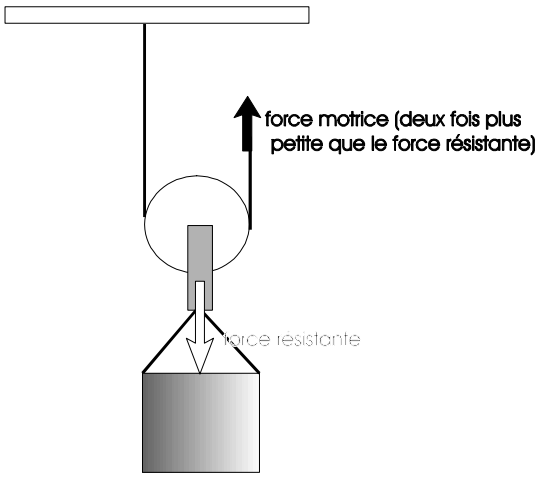


Fig.49.

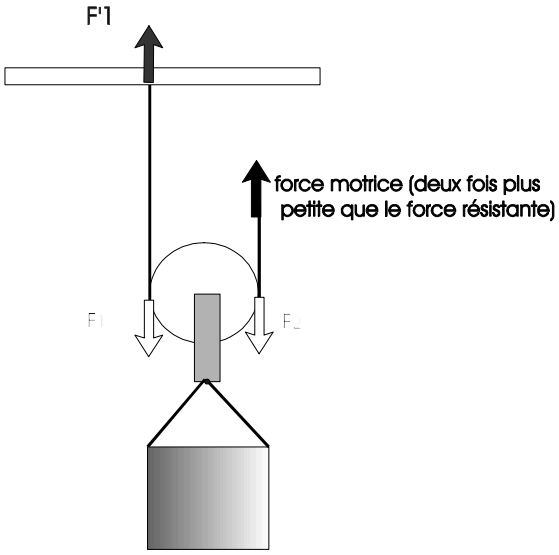


Fig.50.

La force résistante (le poids) s'applique au centre de gravité de l'objet (Fig.48) ou, ce qui revient à la même chose, sur la chape de la poulie (Fig.49).
Cette force peut se décomposer en deux forces F_1 et F_2 (ayant chacune la moitié de la valeur de la force initiale) sur chacun des brins de la corde.
La force F_1 est compensée par l'action du « plafond » notée F'_1 et coloriée en vert (Fig.50).
C'est donc la force F_2 qu'il faut vaincre .
La force motrice à développer pour faire monter la charge, dans ce cas, est donc légèrement plus grande que la moitié de la force initiale (on a bien compris pourquoi – voir remarques p 42 pour le plan incliné, p 44 pour les leviers et p 46 pour la poulie mobile).

Cependant, pour soulever la charge d'une hauteur d, il faut tirer sur la corde sur une distance 2 d . En effet, il faut raccourcir chaque brin de la corde d'une valeur d .

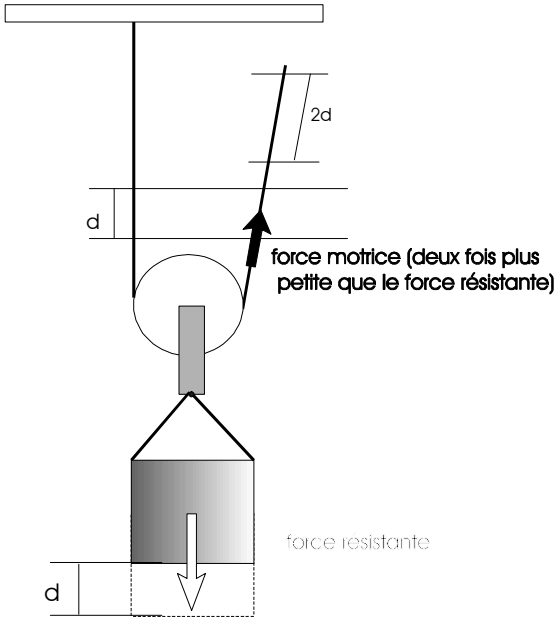


Fig.51.

Dans le cas du **palan à deux poulies**, le résultat est le même que dans le cas de la poulie mobile (la poulie fixe ne fait que modifier le support de la force à appliquer) :

- la grandeur de la force motrice vaut la moitié de la force résistante
- la longueur de corde à tirer, pour monter la charge de la même hauteur, est double.

Nous retrouvons toujours cette idée de compromis : la force à appliquer est réduite mais la distance sur laquelle il faut l'exercer est augmentée.

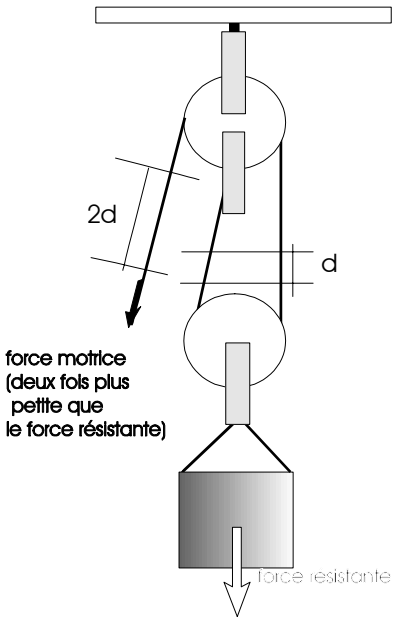


Fig.52

De nouveau, toujours pour les mêmes raisons, pour faire monter la charge il faudra exercer une force légèrement plus grande que la force motrice représentée sur le schéma.

Dans le cas du **palan à trois poulies** :

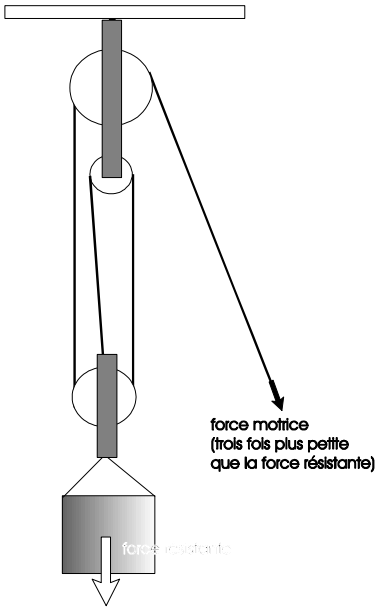


Fig.53.

- La force à exercer est plus petite.

Pour savoir combien de fois elle est plus petite, il suffit de « couper » et de compter le nombre de brins auxquels est attachée la poulie qui soutient la masse à soulever – ici 3. La valeur de la force à exercer est trois fois plus petite que la force résistante.

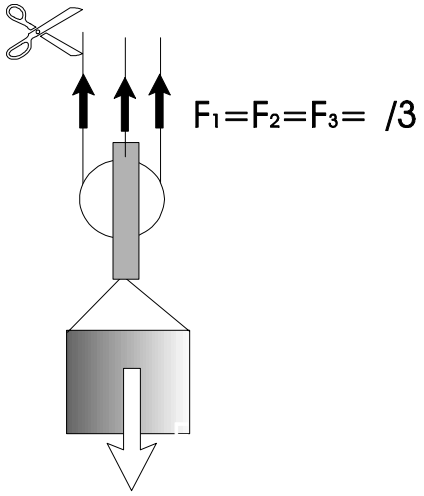


Fig.54.

- Pour monter la charge d'une hauteur d, il faut tirer la corde sur une distance 3 d (il faut relever chaque tronçon de corde d'une hauteur d).

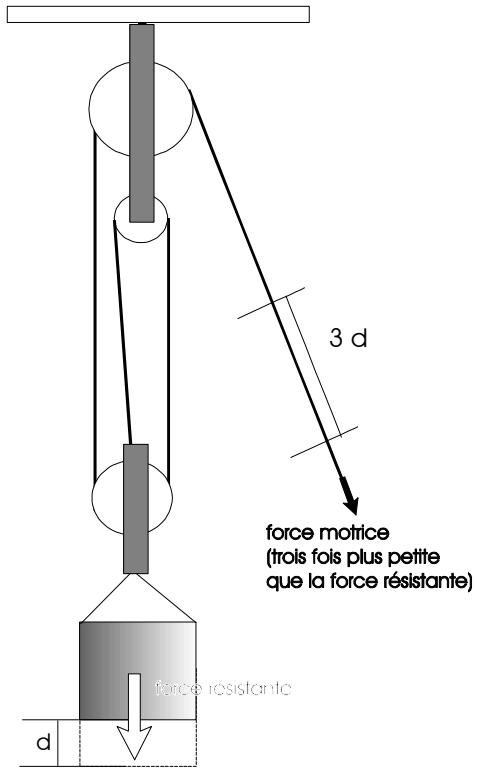


Fig.55.

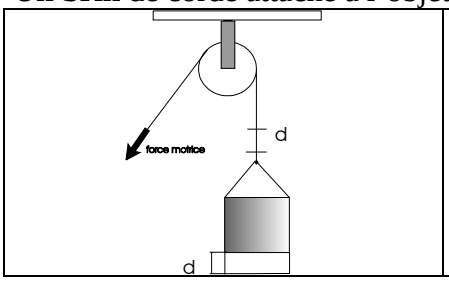
Comme dans les cas précédents, ce système est en équilibre, il faudra donc exercer une force légèrement plus grande que la force motrice représentée sur la fig.53, s'il on souhaite faire monter la charge.

Le palan joue le rôle de « démultiplicateur de force » : ce système permet de supporter une charge importante en exerçant une force plus faible, l'inconvénient étant qu'il faut tirer une longueur de corde plus grande.

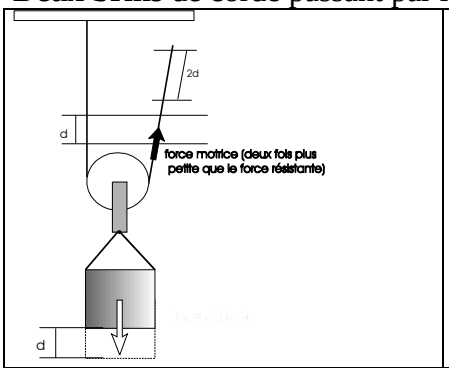
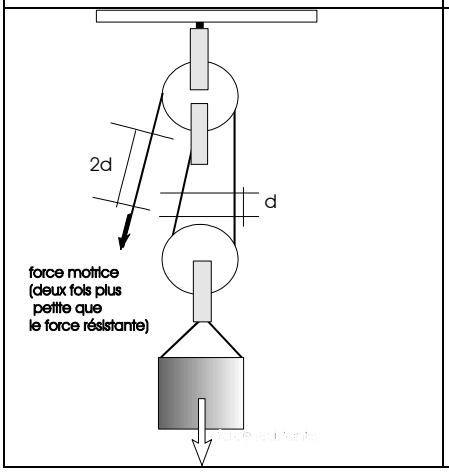
Vous pouvez résumer les différentes possibilités dans le tableau qui se trouve à la page suivante:

Simples, mais très utiles, ces machines !

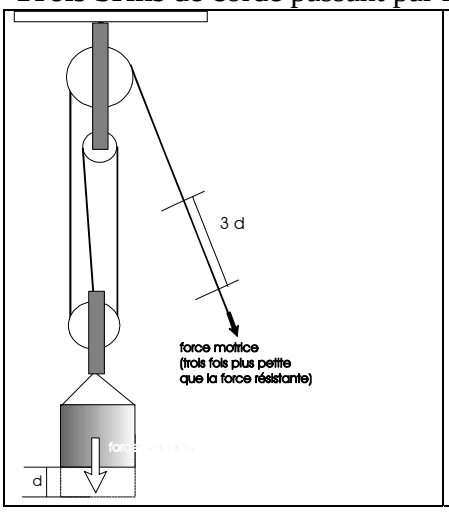
Un brin de corde attaché à l'objet à soulever :

	La **force** à exercer est F Si l'on veut monter l'objet d'une hauteur d, il faut tirer une **longueur de corde** égale à d	Le produit de la force exercée par la longueur de corde à tirer est, dans ce cas : <u>F.d</u>

Deux brins de corde passant par la poulie (attachée à l'objet à soulever)

	La **force** à exercer est $\frac{F}{2}$ Si l'on veut monter l'objet d'une hauteur d, il faut tirer une **longueur de corde** égale à 2.d	Le produit de la force exercée par la longueur de corde à tirer est dans ce cas : $\frac{F}{2} \cdot 2 \cdot d$ = **F.d**
	La **force** à exercer est $\frac{F}{2}$ Si l'on veut monter l'objet d'une hauteur d, il faut tirer une **longueur de corde** égale à 2.d	Le produit de la force exercée par la longueur de corde à tirer est, dans ce cas : $\frac{F}{2} \cdot 2 \cdot d$ = **F.d**

Trois brins de corde passant par la poulie (attachée à l'objet à soulever)

	La **force** à exercer est $\frac{F}{3}$ Si l'on veut monter l'objet d'une hauteur d, il faut tirer une **longueur de corde** égale à 3.d	Le produit de la force exercée par la longueur de corde à tirer est, dans ce cas : $\frac{F}{3} \cdot 3 \cdot d$ = **F.d**

Bien évidemment il est possible d'imaginer d'autres combinaisons de poulies, mais dans tous les cas, ce que l'on gagne en force, on le perd en longueur de corde à tirer.

4.5. Les engrenages

4.5.1. L'horloge (historique)

Dès la plus Haute Antiquité, l'homme ressent le besoin de mesurer le temps. Pour cela il utilise alors est le cadran solaire appelé aussi « gnomon » (système simple qui, ne fonctionne qu'en présence du Soleil).
En Egypte, sous Aménophis 1er, c'est la clepsydre (horloge à eau) qui sert à mesurer le temps en mesurant le volume écoulé. Son intérêt est de pouvoir donner l'heure la nuit …
Ensuite viennent les sabliers qui sont dotés d'une meilleure précision ; puis différents procédés basés sur la combustion apparaissent : des mèches à nœuds équidistants, des lampes à huile dans des récipients gradués… La précision obtenue par ces procédés est assez limitée et l'imprécision de lecture peut aller jusqu'à une heure …
Il faut attendre 725 de notre ère pour voir apparaître les premiers mécanismes à échappement, semble-t-il inventé par le chinois I Hing.
L'évolution de l'horloge se fait en même temps que celle du commerce, il faut attendre le XIIIe siècle pour que les premières horloges (sur les clochers ou sur les édifices publics) à poids apparaissent.

En 1657, poursuivant les travaux de Galilée, le mathématicien hollandais C. Huygens améliore le fonctionnement des horloges en utilisant le pendule qui permet de régulariser leur marche. Il charge S. Coster de construire la première horloge de ce type qui portera le nom de *pendule.* Notez que les premières horloges ne possèdent qu'une seule aiguille : celle des heures.

Au XVe siècle, Peter Henlein, serrurier allemand de Nuremberg, substitue au moteur à poids le moteur à ressort, ce qui lui permet de réduire la taille des rouages et de fabriquer les premières montres de poche, qui furent appelées, à cause d'une erreur de traduction, "œufs de Nuremberg".

A la fin du XVIIe siècle, l'aiguille des minutes apparaît enfin.

En 1933 la première montre à quartz (16384 oscillations par seconde) fait son apparition, en 1952 c'est au tour de la première montre électrique ; arrivent en 1968 la montre à quartz analogique et en 1970 la montre à quartz numérique à cristaux liquides, … Actuellement les montres peuvent être « radio pilotées », à télécommande, …

4.5.2. L’horloge à balancier

Le tic-tac

Le balancier entraîne, dan son mouvement, une pièce appelée « ancre » (elle ressemble un peu à l’ancre d’un bateau).

Les deux extrémités de cette ancre viennent successivement en contact avec les dents d’une première roue dentée.

Fig.56.

Cette roue est entraînée par l’action du « poids » qui, en descendant, fait tourner le « tambour ».
Le mouvement de la roue dentée est ensuite transmis aux aiguilles par les engrenages.

Quand le poids est complètement descendu, il faut le remonter avec une manivelle (d’où l’expression remonter une horloge ou une montre – dans ce cas on « bande » un ressort).

1. Par l’action du poids, la roue dentée aurait tendance à tourner dans le sens indiqué par la flèche. La dent bleue est bloquée par l’ancre, la roue ne tourne donc pas.

Fig.57.

2. Le balancier part vers la droite, l’ancre libère la dent bleue. La roue dentée peut alors tourner jusqu’à ce que la dent grise ne se trouve à son tour coincée par l’ancre.

Fig.58.

3. Lorsque le balancier arrive au bout de sa course à droite, il repart vers la gauche : l'ancre libère la dent grise et la roue tourne dans le sens indiqué par la flèche bleue.

Fig.59.

Entre 1 et 3 :
- le balancier a fait un aller et retour
- la roue dentée a tourné d'une dent
- le temps écoulé est de 2 secondes (pour les grandes horloges)

Comme l'ancre bloque pendant un laps de temps très court les dents de la roue et puis les laisse échapper à intervalles de temps très réguliers, on lui a donné le nom d'*échappement*.

Le temps que dure un aller et retour du balancier (que l'on appelle la période) est réglable à partir de la longueur de la tige du balancier. Il suffit de déplacer le disque (qui sert de contrepoids) sur la tige pour effectuer ce réglage (il est possible de faire monter ou descendre un petit écrou qui maintient le disque métallique à la hauteur voulue) : quand nous remontons le disque, la période diminue ; quand nous descendons le disque, la période augmente.

Les aiguilles

D'une manière générale, il existe un lien entre les nombres de tours effectués par les roues mises en contact et leurs nombres de dents.

Par exemple, pour un engrenage constitué de deux roues respectivement de 32 et 8 dents, on constate que si :

Fig.60.

	Nombre de tours			
La grande roue fait …	1	2	4	10
alors la petite roue en fait …	4	8	16	40

La relation qui existe entre les deux séries de nombres du tableau est :

$$\frac{\text{Nombre de tours de la petite roue}}{\text{Nombre de tours de la grande roue}} = 4$$

Or

le nombre de dents de la grande roue vaut 32
et le nombre de dents de la petite roue vaut 8

et donc

$$\frac{\text{Nombre de dents de la grande roue}}{\text{Nombre de dents de la petite roue}} = 4$$

Ce nombre a toujours la même valeur pour des mêmes engrenages et s'appelle rapport de démultiplication. Il varie d'un engrenage à l'autre.

Plus il est grand, plus la grande roue tourne lentement par rapport à la petite et plus le mouvement est démultiplié.

Dans le cas de la roue d'horloge : en une heure,

la grande aiguille fait un tour complet
la grande roue grise fait un tour complet
la petite roue grise fait $\frac{60}{6} = 10$ tours
la grande roue bleue fait donc 10 tours
la petite roue bleue fait $10 \cdot \frac{48}{8} = 60$ tours

Fig.61.

4.5.3. L’essoreuse à salade

Fig.62.

Fig.63.

Fig.64.

La main fait tourner la grande roue dentée (roue motrice) (Fig.64.).

Cette grande roue dentée est couplée à une petite roue dentée (roue entraînée) qui est elle-même solidaire du panier dans lequel se trouve la salade (Fig.63) .
A chaque tour de la grande roue, la petite roue fait plusieurs tours.

Les enfants vous demanderont peut-être pourquoi il est difficile de faire tourner la manivelle rapidement dès le départ et pourquoi le panier continue de tourner un bon moment après avoir lâché la manivelle.
Le démarrage peut être difficile pour plusieurs raisons : soit parce que le panier est mal placé sur son pivot, soit parce que les dents des deux engrenages (panier et manivelle) ne s’emboîtent pas bien les unes dans les autres, soit encore à cause de l’inertie du panier. L’inertie d’un corps peut être comparée à une sorte de « répugnance » qu’a ce corps à modifier son état de mouvement : s’il est en mouvement, il a tendance à continuer son mouvement ; s’il est au repos, il a tendance à y rester. Lorsque vous voulez pousser une personne assise sur une balançoire, il est difficile d’obtenir un balancement ample dès le début. Il faut vaincre l’inertie pour mettre, en mouvement, cette personne initialement au repos.
L’arrêt du panier est rendu aussi difficile par l’inertie. C’est l’inertie qui vous fait passer au dessus du guidon de votre bicyclette quand vous freinez brusquement. De nouveau, il faut vaincre cette inertie pour arrêter brusquement un objet qui est initialement en mouvement.

Les enfants vous demanderont peut-être aussi pourquoi la salade ressort sèche du panier.
Il s’agit du même phénomène que lorsque vous faites tourner un caillou attaché au bout d’une corde. Le caillou tourne parce que vous retenez la corde à laquelle il est attaché. Plus vous faites tourner rapidement le caillou, plus vous devez tirer sur cette corde. Les feuilles de salade sont souples, elles ne retiennent donc pas l’eau, le panier est percé de trous il ne retient pas l’eau non plus … Et la salade ressort sèche…

4.5.4. Le fouet mécanique

Le fouet mécanique est constitué de trois roues dentées.

La main fait tourner la manivelle dans le plan vertical (axe horizontal), celle-ci fait tourner une roue grande dentée verticale (roue motrice).

Cette roue est couplée à deux petites roues dentées horizontales (roues entraînées) qui sont solidaires des deux batteurs.

Donc, le mouvement de rotation vertical relativement lent est donc transformé en un mouvement de rotation horizontal beaucoup plus rapide.

Fig.65.

4.6. Le treuil

Le treuil : est constitué d'un tambour qui tourne, sur lequel s'enroule un câble. Il est actionné par une manivelle ou un mécanisme.

Fig. 66.

Les premiers treuils furent actionnés par des ouvriers qui gravissaient péniblement et sans fin les échelons d'une roue en bois, ils furent ensuite relayés au XIXe siècle par les chevaux.

Fig.67.

A partir du XIXe siècle, le moteur à vapeur fit son apparition et remplaça progressivement le cheval.

Fig.68.

Le treuil est fréquemment utilisé :

Fig.69.
pour dépanner des véhicules

Fig.70.
pour lever des charges lourdes

L'efficacité du treuil est déterminée par le rapport entre le diamètre du cylindre ou tambour (noté d_1) et celui (noté d_2) de la circonférence décrite par la manivelle.

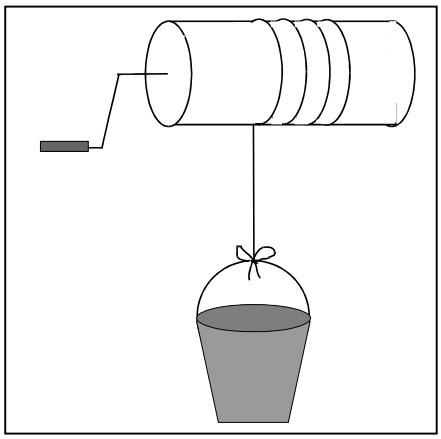


Fig.71.

4.7. L'avantage mécanique

Il se peut que les enfants aient entendu parler de « l'avantage mécanique » d'une machine. Cette expression dit bien ce qu'elle veut dire : il s'agit de l'avantage (ou gain) que vous offre la machine utilisée.

D'une manière générale, l'avantage mécanique (A.M.) se calcule en faisant le rapport entre la force résistante (qui s'oppose au mouvement) et la force motrice (qui impose le mouvement) :

$$\text{A.M.} = \frac{F_r}{F_m}$$

(ou ce qui est équivalent : A.M. = $\frac{l_m}{l_r}$ puisque $F_m \,.\, l_m = F_r \,.\, l_r$)

L'avantage mécanique du

- palan dépend du nombre de brins de corde passant par la poulie mobile attachée à l'objet à soulever,
- plan incliné dépend de l'inclinaison de celui-ci,
- levier dépend du rapport des longueurs des bras de leviers,
- treuil dépend du rapport des diamètres de la manivelle et du tambour.

Dans chacun des cas, l'avantage mécanique peut être :

> 1 (dans ce cas, la force motrice est inférieure à la force résistante)

ex : pour la poulie mobile, AM = 2 (car $F_m = \frac{F_r}{2}$),

pour le palan à 3 poulies, AM = 3 (car $F_m = \frac{F_r}{3}$),

pour l'arrache-clou, A.M. > 1 (car A.M. = $\frac{l_m}{l_r}$ or $l_m > l_r$)

= 1 (dans ce cas, la machine n'apporte aucun avantage mécanique mais seulement une facilité d'utilisation)

ex : la poulie fixe (car $F_m = F_r$)

< 1 (la force motrice est supérieure à la force résistante, c'est le cas des leviers inter-moteurs). Rappelons que ces leviers sont utilisés dans les tâches délicates, pour lesquelles, exercer une force trop grande abîmerait l'objet à saisir.

4.8. Travail mécanique, rendement et puissance mécanique

a) Le résultat du produit de la force par la distance (tableau page 34) correspond à la notion de ***travail mécanique***.

Nous ne pensons pas qu'il faille parler de cette notion comme telle car ce produit ne correspond pas à ce que les enfants appellent « produit ».
En effet, dans le cas du travail mécanique, le produit est un produit (appelé scalaire) de deux vecteurs et ce produit dépend de l'angle que font les deux vecteurs entre eux :

- quand les deux vecteurs sont perpendiculaires le produit est nul (voilà pourquoi la personne qui soulève une valise en marchant - page 40 - n'effectue pas de travail mécanique bien qu'elle se fatigue) ;
- quand les deux vecteurs sont parallèles le produit est maximal et vaut F . d ;
- quand les vecteurs font un angle entre eux, le produit est proportionnel au cosinus de cet angle.

La notion de travail n'est pas liée au temps, le travail global reste le même ; qu'il soit fourni rapidement ou plus lentement.

Le travail se mesure en Joule (Symbole : J) du nom du physicien britannique qui étudia la chaleur dégagée par les courants électriques circulant dans les conducteurs et qui énonça le principe de conservation de l'énergie.

b) Le ***rendement*** est le rapport entre le travail fourni par la machine et le travail consommé par cette machine multiplié par 100 %.

Il s'agit d'un rapport de deux grandeurs identiques, il n'a donc pas d'unité.
Le rendement est toujours inférieur à 100% car il y a toujours une perte de travail sous forme d'énergie calorifique

c) La ***puissance mécanique*** est liée à la notion de temps : si deux machines effectuent le même travail, la machine la plus rapide est la plus puissante.

La puissance se mesure en Watt (W) du nom du physicien écossais qui améliora la machine à vapeur de Newcomen et créa ainsi la machine à vapeur industrielle.

4.9. La petite histoire de la petite reine

La bicyclette est une invention récente.

En 1816, un allemand, le baron Carl Drais von Sauerbronn construit un véhicule, la draisienne, constitué d'un cadre en bois s'appuyant sur deux roues et muni d'un guidon pour le diriger. L'utilisateur se propulse en poussant alternativement sur chaque jambe.
Vu son maniement malaisé, la vogue de la draisienne sera de courte durée.

Fig.72.

En 1860, un serrurier français, Pierre Michaux, invente la pédale. En 1868 apparaissent les jantes spéciales, bandées de caoutchouc plein qui améliorent la suspension. En 1869, l'horloger André Guilmet fabrique une bicyclette d'aspect déjà assez moderne : le vélocipède constitué d'une roue directrice d'une roue arrière motrice (sensiblement de même diamètre), d'un pédalier et d'une transmission par chaîne.

Fig.73.

Des engins très particuliers apparaissent également, comme le bicycle ou « grand bi ». La roue avant est de très grand diamètre (elle pouvait atteindre jusqu'à 1,50 m) pour augmenter la vitesse de l'engin, la roue arrière ne servant que d'appui. La selle perchée sur la roue avant, rend l'engin dangereusement instable et son utilisation sur les chaussées de l'époque occasionne de nombreux accidents.

Fig.74.

En 1888, l'anglais John Dunlop propose des pneumatiques en caoutchouc. En 1896 la roue libre fait son apparition, en 1898 le frein par rétropédalage, en 1902 puis par câbles et patins (système Bowden), en 1905 le changement de vitesse par engrenage et en 1925 le dérailleur du type actuel.

La bicyclette de ville, à guidon plat, possède généralement trois ou cinq vitesses. Elle est relativement lourde (+/- 18 kg) et robuste, elle est surtout utilisée pour les petits trajets.
La bicyclette de cyclotourisme, à guidon recourbé, est plus légère (+/-13 kg) et d'une grande maniabilité, elle convient pour rouler à grande vitesse et sur de longs trajets. Elle possède 15 à 20 vitesses.

La bicyclette de course est allégée à l'extrême (+/- 9 kg). Certaines de ces bicyclettes possèdent un guidon « manta » en Kevlar-carbone qui permet au coureur de prendre une position « en œuf » plus aérodynamique. La section des tubes du cadre n'est pas circulaire mais en forme ovale, en « goutte d'eau ». Certaines machines sont équipées de roues pleines ou « lenticulaires » pour offrir un meilleur rendement, d'autres encore ont des roues à bâton de carbone qui évitent la prise au vent latéral garantissant ainsi une meilleure stabilité.

Le vélo tout terrain avec des pneus résistants, un guidon large et surtout des développements très faibles permet de parcourir des sentiers accidentés sans trop de peine. Il est possible de doser son effort, selon le terrain rencontré, avec les 24 vitesses disponibles.

Les enfants vous demanderont peut-être « pourquoi les rayons de la roue d'une bicyclette se croisent-ils ? »
Voilà la réponse :
Si les rayons occupaient effectivement la place des rayons géométriques du cercle dessiné par la roue, il y aurait un problème de résistance mécanique.
En effet, lorsque chaque rayon arrive à la position verticale, il supporterait, à lui seul (ou presque) tout l'effort : le poids du vélo et du cycliste réunis (force dirigée vers le bas) et la réaction du sol sur la roue (force dirigée vers le haut).

Fig.75.

Le rayon, de section faible, serait alors sollicité en compression, il « flamberait» (comme une latte que vous comprimez entre les paumes de vos deux mains), plierait et casserait.
On a pallié ce problème en « croisant » les rayons : au moment où le pied du rayon arrive au niveau du sol, la tête du rayon est décalée par rapport au rayon géométrique du cercle. Le rayon n'est plus alors sollicité par deux forces aussi grandes que dans le cas où il est disposé suivant le rayon géométrique. De plus la liaison entre la tête du rayon et le moyeu permet une légère rotation. L'ensemble des rayons croisés deux à deux et liés alternativement à gauche et à droite forment des structures triangulaires imbriquées et indéformables.

4.10. Combinaison de machines simples

La grue

La grue la plus élémentaire est la potence, simple poteau muni d'une poutre horizontale à laquelle on accroche une poulie, une corde passant dans la gorge de la poulie permet d'élever une charge. Aucun avantage mécanique n'est obtenu par ce système. Il est par contre possible d'obtenir des améliorations en combinant plusieurs machines simples : treuils, engrenages, palans…
Une vraie grue comprend un fût vertical, une cabine de pilotage et une flèche horizontale pivotant à l'extrémité du fût et sur laquelle se déplace un chariot supportant la charge. L'ensemble repose sur un socle lesté, parfois mobile sur des rails.

Fig.76.

Appareils de manutention

Dans les ateliers, pour déplacer des charges très lourdes, on utilise des ponts et des portiques roulants. Il s'agit d'une poutre transversale qui se déplace sur deux chemins de roulement placés sur deux murs parallèles. Un chariot se déplace alors le long de la poutre et emmène la charge à l'endroit voulu.
En plein air, la poutre transversale est fixée sur deux jambes (ou palées) mobiles sur deux rails. L'ensemble peut enjamber des obstacles comme des voies ferrées …
Les tapis roulants électriques, les chariots élévateurs, les palans électriques peuvent transporter des objets lourds d'un point à un autre.

Fig.77.

L'ascenseur

Les premiers ascenseurs non industriels fonctionnèrent d'abord grâce à la vapeur (Etats-Unis 1857) puis grâce à l'énergie hydraulique (France1867) et enfin grâce à l'énergie électrique (Allemagne 1880).

Simples, mais très utiles, ces machines !

La cabine qui se déplace dans une cage le long de guides est équilibrée par un contrepoids également guidé pour les modèles les plus anciens, ou par un système d'engrenages pour les modèles actuels. L'ensemble est relié par un ou plusieurs câbles sur lesquels le moteur agit par une poulie ou un treuil à adhérence qui permet d'atteindre des vitesses élevées. La manœuvre est commandée électroniquement, parfois par l'intermédiaire d'une mémoire, à partir de la cabine ou des paliers.
Les organes de sécurité sont :

- le parachute qui immobilise la cabine en cas de rupture de câble
- les contacts qui verrouillent les portes des paliers pendant la marche
- les arrêts d'étages qui immobilisent la cabine à l'étage voulu
- et les arrêts de fin de course.

V. Résultats des tests

L'année de la réalisation de ce travail, trente enfants, de 11 à 12 ans, provenant de deux classes de sixième année primaire de deux écoles de la région de Mons, sont venus manipuler et relever un certain nombre de défis.

Pour mesurer une éventuelle évolution dans la démarche cognitive des enfants, nous avons proposé à ces enfants un pré-test et un post-test. Pour ne pas influencer les résultats, le choix du thème n'a pas été divulgué avant le premier jour de l'expérience mais le hasard a voulu qu'une des deux classes ait visionné la cassette des châteaux-forts de l'émission « C'est pas sorcier ».

Nous avons posé trois questions au pré-test et les trois mêmes questions au post-test.

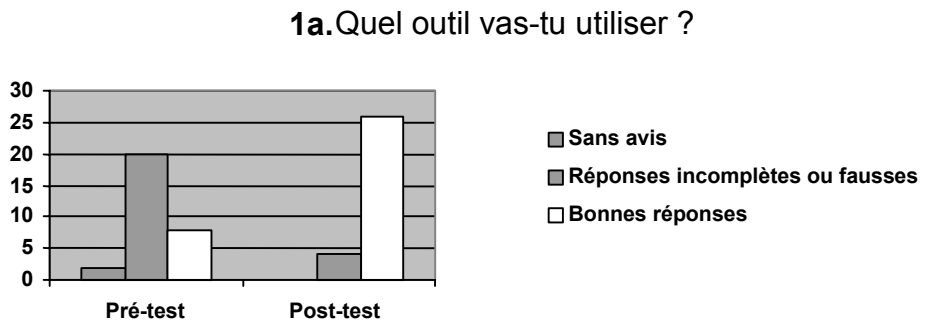
1. *Tu es dans le garage de ta maison et tu veux ouvrir un pot de peinture fermé hermétiquement.*
   Tu essaies de l'ouvrir avec la main et tu n'y parviens pas.
   Quel outil (ustensile ou machine) vas-tu utiliser ?
   Tiens-tu l'outil n'importe comment ?
   Si ta réponse est négative, comment le tiens-tu ?(Fais un dessin)

2. *Un ouvrier veut monter une charge très lourde au premier étage d'un immeuble. Il n'y a pas d'ascenseur mais l'ouvrier peut fixer un dispositif sur la façade de l'immeuble.*
   De quoi aura-t-il besoin pour construire son système ? (Fais un dessin)
   Pourquoi ce système est-il utile ?

3. *Connais-tu l'expression « machine simple » ?*
   Si oui, explique-la en quelques mots.

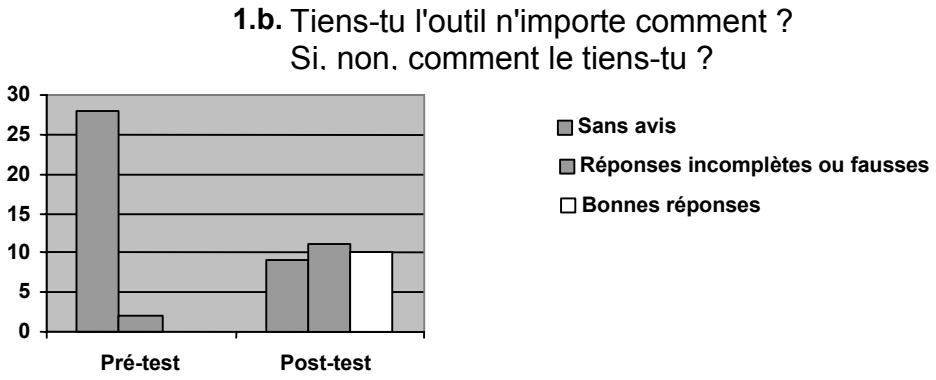
Voici une étude rapide des réponses données par les enfants :

Question n°1



- Avant les séances d'éveil, deux enfants sont sans avis, un nombre important (20/30) d'enfants proposent des solutions vagues ou mal choisies. La diversité des propositions est importante mais les exemples ne sont pas toujours choisis à bon escient : une fourchette, un ouvre-boîte de conserves, un décapsuleur... Seulement huit enfants préconisent l'emploi du tournevis.
- Après les séances, tous les enfants ont un avis, 26/30 enfants choisissent, dans cette situation, l'usage du tournevis.

Le concept « choix de l'outil adapté à une situation » semble être en bonne voie d'acquisition : 8 enfants le maîtrisaient avant les séances, 26 le maîtrisent après ces séances.

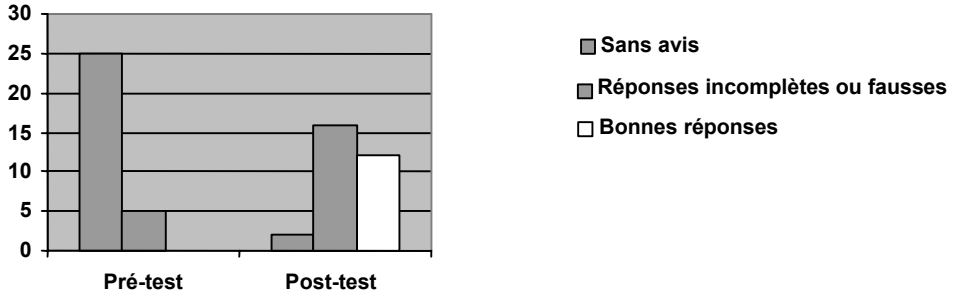


- Lors du pré-test, la majorité (28/30) des enfants est sans avis, seuls deux enfants font une tentative d'explication sur la manière dont va se dérouler l'opération mais ne disent pas comment tenir l'outil.
- Au post-test il n'y a plus que 9/30 enfants qui sont sans avis et 11/30 enfants proposent une explication incomplète ou fausse : « il faut bien le tenir », « pour ne pas se blesser ». Parmi les 10 élèves qui formulent une bonne réponse, 3/10 élèves disent qu'il faut tenir le tournevis par le bout du manche sans justifier ce choix, et 7/10 élèves ont remarqué qu'il est préférable de tenir l'outil par le bout du manche, en expliquant que dans ces conditions, l'effort à fournir, ou la force à développer, est moindre.

Après avoir réellement manipulé le pot de peinture et le tournevis, les enfants sans avis sont moins nombreux, davantage d'enfants s'aventurent à donner une explication, même si celle-ci n'est pas correcte et un tiers des enfants a pris conscience, même s'il ne le formule pas en ces termes, de l'importance de la longueur du bras de levier.

Question n°2

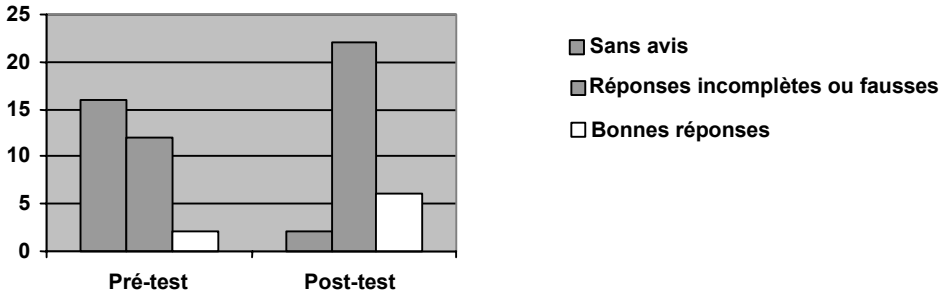
2. a. De quoi l'ouvrier aura-t-il besoin ?



- Au cours du pré-test, seuls 5/30 élèves s'aventurent à donner une solution, parmi eux, 4/5 proposent des éléments intéressants (poulie et corde).
- Après les séances de laboratoire, tous les élèves (sauf deux) proposent un dessin ou une solution plus ou moins complète. 16/28 proposent des solutions incomplètes - certains pensent qu'une corde suffira ; d'autres pensent au plan incliné (ou à la rampe pour handicapés) et à la brouette. D'autres encore (10/16) proposent comme solution une seule poulie. Ici aussi, plus d'un tiers (12/30) maîtrise la réponse et préconise l'utilisation de plusieurs poulies et même de deux palans.

Pour la plupart des enfants, la poulie est devenue un élément utile et nécessaire. Cependant la majorité des enfants la considère encore comme un élément suffisant, et ne pense pas à la coupler avec d'autres poulies. La notion de palan est acquise pour un tiers des enfants.

2. b. Pourquoi ce système est-il utile ?

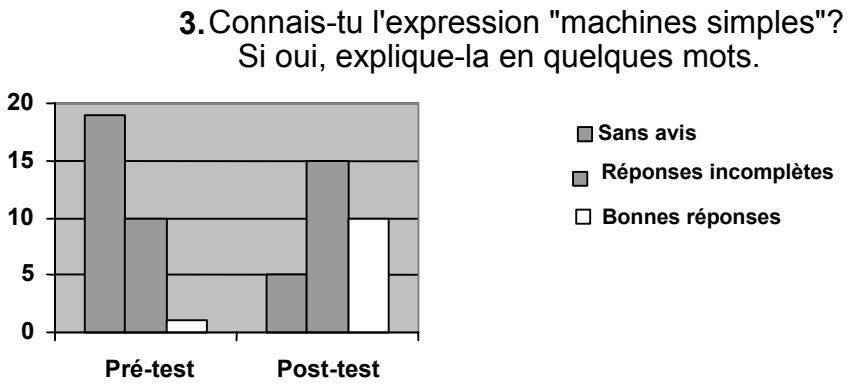


- Lors du pré-test, 16/30 élèves n'ont pas d'avis et 12/30 élèves proposent d'expliquer l'utilité (monter ou descendre une charge lourde) du système mais ne la justifient pas :

« car il ne devra pas porter la charge avec ses bras », « faire moins d'effort possible », « divise la charge ». Seuls 2 élèves approchent de la solution en expliquant, avec leurs mots, qu'un système de 3 poulies divise la force en 3.
- Lors du post-test, tous les élèves (sauf deux) ont une petite idée ; 22/30 élèves donnent l'utilité du système sans le justifier (à soulever des gros fardeaux …) ou évoquent la « facilité » ; et 6/30 élèves disent que le système permet de « diminuer la force que l'homme doit exercer » ou de « moins se fatiguer ».

L'évolution des réponses à cette question est notable mais il ne semble pas que les enfants aient mis les notions apprises dans le contexte de la question.
Il faut peut-être chercher les raisons de ce résultat décevant d'une part dans la difficulté qu'ont les enfants, et les adolescents par la suite, à exprimer leurs pensées par écrit, et d'autre part dans la réalité de notre quotidien : les ouvriers et les déménageurs utilisent des monte-charges électriques de nos jours !

Question n°3



- Lors du pré-test : 19/30 élèves ne connaissent pas l'expression « machines simples » ; 10/30 élèves disent qu'il s'agit d'une machine qui n'est pas compliquée, simple à faire fonctionner, à manipuler… ; 1/30 élève compare la machine simple (tournevis) et une machine complexe (moteur de voiture).
- Lors du post-test, 15/30 élèves identifient les machines simples comme étant des « machines qui sont faciles à utiliser » ; ou des machines ayant comme but de nous rendre « la vie plus facile » ; et finalement 10/30 des enfants expliquent qu'il s'agit de machines « sans moteur ». Parmi ces 10 enfants, 5 élèves font le détail des machines simples : leviers, poulies, engrenages, plan incliné et roues et lorsqu'ils parlent du levier expliquent « qu'il allonge le bras ».

Le nombre d'enfants connaissant maintenant l'expression « machines simples » est passé de 11 à 25, ce qui nous semble significatif.

Conclusion

Nous avons été confrontés, pour la première fois, aux sérieuses difficultés inhérentes à la rédaction des questions d'un pré-test et d'un post-test : poser des questions ouvertes permet des réponses personnelles et variées - mais la maîtrise de la langue joue un rôle important, un

enfant qui a des idées intéressantes pourrait être incapable de les formaliser. Par contre, poser des questions fermées permet d'obtenir des réponses plus précises, mais au détriment de la spontanéité – dans quelle mesure, ces réponses ne sont-elles pas induites par la manière d'exprimer la question elle-même ?

Un autre souci, dont nous avons déjà parlé, a été de gérer au mieux le temps que les institutrices pouvaient nous consacrer. Il est évident que le temps que nous avons pu consacrer à cette expérience, vu les circonstances, était insuffisant pour atteindre tous les objectifs que nous nous étions fixés.

Malgré les limites mentionnées ci-dessus, les résultats de nos tests témoignent d'une progression, certes incomplète, mais rapide et sensible des connaissances.

Les réponses à la première question montrent que le choix de l'outil approprié à une situation est maîtrisé par presque 9/10 des enfants et qu'un tiers des enfants sait comment l'utiliser.

Les réponses données à la deuxième question montrent qu'un peu plus d'un tiers des enfants sont convaincus de l'utilité de l'usage des poulies. Cette proportion tombe cependant à un sixième de la population si l'on demande pourquoi (ou en quoi) les poulies sont utiles.

Enfin, les résultats de la dernière question montrent qu'un tiers des enfants comprend la signification des termes « machines simples ».

Ces résultats nous rendent optimistes, à condition de surmonter ce qui apparaît comme la principale limitation de l'expérience menée en nos locaux : le manque de temps. Grosso modo, il faudrait doubler le temps que nous avons pu y consacrer, afin d'exploiter pleinement les acquis des séances d'exploration expérimentale. Moyennant ces conditions, nous sommes convaincus que les concepts qui sous-tendent les défis relevés par les enfants peuvent être appropriés de manière durable. On notera aussi que ce travail est riche de retombées potentielles en apprentissage de l'observation (qui est, à notre avis la première compétence visée), en lecture (déchiffrer les fiches et les comprendre n'est pas toujours évident), et en écriture (rédiger les conclusions est encore plus instructif).

VI. Quel matériel utiliser et où se le procurer ?

Le matériel repris dans la liste ci-dessous est un matériel qui est relativement facile à trouver et peu coûteux.
L'idéal serait que chaque groupe d'élèves possède ce matériel. Si c'est impossible, vous pouvez imaginer de faire des tournantes : un groupe commence par une manipulation, quand il l'a terminée, il échange son matériel avec le groupe voisin …
Une grande partie de ce matériel peut provenir de récupération et les élèves participeront volontiers à ce recyclage.

Pour l'étude des leviers

- un cric de voiture *(4,19 € chez « trafic »)*
- un pied-de-biche *(4,19 € chez « trafic »)*
- une planche épaisse
- des ciseaux
- une pince à barbecue *ou* pince à sucre *ou* pince à braises *ou* pince à épiler *ou* pince pour prendre des timbres
- une pince d'électricien
- une brouette
- décapsuleur *(1,61 € chez « trafic »)*
- des boîtes de peinture vides (*0,97 € chez APEA – accessoiriste voiture*)

Pour étudier les engrenages

- une essoreuse à salade (il en existe deux modèles) (*2,45 € chez « trafic »)*
- un batteur à œufs *ou* une chignole
- une vieille boîte à musique
- engrenages de montre, d'horloge ou de boîte de « lego » (les anciennes sont de meilleure qualité car les éléments sont métalliques)
- engrenages de tondeuses à gazon
- jeux et boîtes didactiques (proposés au paragraphe consacré aux engrenages)

Pour étudier les poulies

Il est possible d'acheter de la corde et des poulies, pour un prix relativement économique, dans le rayon « voile » des magasins de bricolage ou encore moins cher au « stock américain ». Il faut alors prévoir un budget d'environ 15 à 20 € pour pouvoir réaliser différentes combinaisons.

Simples, mais très utiles, ces machines !

Et pour terminer :

- un seau
- du sable
- un mètre ruban
- des bouteilles d'eau en plastique avec leurs bouchons
- un entonnoir
- un marteau (4,19 € chez « trafic »)

VII. Compétences visées lors de ces séances

Voici la liste reprenant des compétences qui devraient être acquises, au cours *d'éveil et initiation scientifique* pendant les trois dernières années du niveau primaire *(Socles de compétences – Communauté Française - mai 1999).*

Rencontrer et appréhender une réalité complexe

1. **Faire émerger l'énigme à résoudre**
   - Formuler des questions à partir de l'observation d'un phénomène. (C1)

2. **Identifier des indices et dégager des pistes de recherche propres à la situation**
   - Rechercher et identifier des indices (facteurs, des paramètres …) susceptibles d'influencer la situation envisagée. (C2)
   - Agencer des indices en vue de formuler au moins une question, une supposition ou une hypothèse. (C3)

3. **Confronter les pistes perçues, préciser les critères de sélection des pistes et sélectionner selon ces critères**
   - Différentier les faits établis des hypothèses de travail, des réactions affectives et des jugements de valeur. (C4)

Investiguer les pistes de recherche

1. Récolter des informations par : la recherche expérimentale, les observations, la mesure

- Concevoir et adapter une procédure expérimentale pour analyser la situation en regard de l'énigme. (C5)
- Recueillir des informations par observations qualitatives en utilisant les cinq sens et par des observations quantitatives. (C6)
- Identifier et estimer la grandeur à mesurer et l'associer à un instrument de mesure adéquat. (C7)
- Distinguer la grandeur repérée ou mesurée, de sa valeur et de l'unité dans laquelle elle s'exprime par son symbole. (C8)

2. Récolter informations par la recherche documentaire et la consultation de personnes ressources

- Repérer et noter une information issue d'un écrit à caractère scientifique. (C9)

- Repérer et noter une information issue d'un graphique, ou d'un tableau de données. (C10)
- Repérer et noter correctement une information issue d'un schéma, d'un croquis, d'une photographie ou d'un document audiovisuel. (C11)

Structurer les résultats, les communiquer, les valider, les synthétiser

1. Rassembler, organiser les informations sous une forme qui favorise la compréhension et la communication

- Comparer, trier des éléments en vue de les classer de manière scientifique. (C12)
- Mettre en évidence des relations entre deux variables. (C13)
- Rassembler des informations sous forme de tableau et les communiquer à l'aide d'un graphique. (C14)

2. S'interroger à propos des résultats d'une recherche, élaborer une synthèse et construire de nouvelles connaissances

- Valider les résultats de recherche, réfléchir aux pratiques mises en œuvre. (C15)
- Elaborer un concept, un principe, une loi … (C16)
- Réinvestir dans d'autres situations les connaissances acquises. (C17)

VIII. Bibliographie

- Antoine M. , Minguez R. , Ramond G. – *Sciences et Technologie* – Tournesol – Editions Hatier – Paris – 1997

- Ardley N. – *A la découverte de la science* – Editions Bordas Jeunesse – Paris 1995 *

- Arvieu Y. – Cantor M. – Laugier A. – Schneeberger P. – *Sciences et Technologie* – Collection Gulliver – Cahier d'activités – Cycle 3 niveau 3 – Nathan – Paris – 1996

- Arvieu Y. – Cantor M. – Laugier A. – Schneeberger P. – *Sciences et Technologie* – Collection Gulliver – Cahier d'activités - Cycle 3 niveau 2 – Nathan – Paris – 1996

- Arvieu Y. – Astolfi J.-P. – Cantor M. – Laugier A. – Pattyn X. – Schneeberger P. – *Sciences et Technologie* – Collection Gulliver – Cycle 3 niveau 1 – Nathan – Paris – 1995

- Arvieu Y. – Astolfi J.-P. – Cantor M. – Laugier A. – Pattyn X. – Schneeberger P. – *Sciences et Technologie* – Collection Gulliver – Cycle 3 niveaux 2 et 3 – Nathan - Paris – 1996

- Astolfi J.-P. – Arvieu Y. — Cantor M. – Laugier A. – Schneeberger P. – *Sciences et Technologie* – Collection Gulliver – Guide pédagogique – Cycle 3 niveau 1 – Nathan - Paris – 1995

- Astolfi J.-P. – Arvieu Y. – Cantor M. – Laugier A. – Schneeberger P. – *Sciences et Technologie* – Collection Gulliver – Guide pédagogique – Cycle 3 niveau 2 et 3 – Nathan - Paris – 1996

- Bertrand S. – Renauld – J. Mols – *Je construis mes apprentissages en sciences* – Manuel 1-2 ; Cahier 1ère ou 2ème année ; Guide pédagogique – Editions de Boeck *

- Bonan J.-P. – *Enseigner les sciences à l'école primaire* – Pédagogie pratique à l'école – Editions Hachette Education – Paris – 2001 **

- Boysen G. – Glunde H. – Heise H. – Muckenfub H. – Schepers H. – Schlichtin H.-J. – Wiesmann H.-J. – *Physique – Mécanique, optique, magnétisme, chaleur* – Edition Luxembourg – Cornelsen – Berlin – 1996 *

- Canal J.-L. – Margotin M. – Pierrard M.-A. – Tavernier R. – Cahier d'activités – CM1 – *Physique et technologie* – Nouvelles collections Tavernier – Editions Bordas – 1996 *

- Canal J.-L. – Margotin M. – Pierrard M.-A. – Tavernier R. – Cahier d'activités – CE2 - *Physique et technologie* – Nouvelles collections Tavernier – Editions Bordas – 1995 *

- Dessart A. , Jodogne J. – *Physique – chimie* – Editions Deboecke – Bruxelles – 1967

Organisation des séances

- Dupré J.-P. – *Méga Junior* – Encyclopédie vivante Nathan – Paris – 1996 *
- Guichard J. , Zana B. , Hébrard J. – *Sciences et technologie* – Les savoirs de l'école – Cahier d'expériences – CE2 cycle 3 – Editions Hachette éducation – 2002
- Hann J. – *La science* – Guides pratiques de la jeunesse – Editions du Seuil – 1991*
- Kane J. , Sternheim M – *Physique* – Editions Masson – Paris – 1997
- Meessen A. – *Mécanique* – Cabay – Louvain-La-Neuve – 1984
- Nouveau manuel de l'Unesco pour l'enseignement des sciences – Edition Unesco

Les revues :

- Tremplin – Fabrique des leviers – n°29 – 1995
- Tremplin – Les poulies ça facilite la vie ! – n°32 – 1997

Les sites :

- http://fr.encyclopedia.yahoo.com/
- http://www.inrp.fr/lamap/
- http://www.agers.cfwb.be/
- http://www.chambery.grenoble.iufm.fr/
- http://www.ac.nancy-metz.fr (site sur la préhistoire)

Pour trouver du matériel pédagogique concernant les engrenages, les poulies, … :
- http://www.celda.fr/

* Les références marquées de ce signe nous semblent particulièrement bien adaptées au niveau du primaire

** Ce livre nous semble mériter une attention particulière pour la préparation de nombreux thèmes.

IX. Table des matières

I. Introduction **3**

1.1 Motivation à l'étude de ce thème 3
1.2. Objectifs visés lors de cette étude 3
1.4. Un peu de vocabulaire 4
1.4. Un peu d'histoire : les premières machines 5

II. L'organisation des séances **6**

2.1. Organisation générale 6
2.2. Première séance : Classement des outils 7
2.3. Deuxième séance : Les leviers 9
2.4. Troisième séance : Les poulies 16
2.5. Quatrième séance : Les engrenages 25
2.6. Cinquième séance : Le plan incliné 30
2.7. Sixième séance : La bicyclette 36

III. Conclusion **39**

IV. Pour en savoir plus **40**

4.1. Attention au vocabulaire que nous utilisons 40
4.2. Le plan incliné 41
4.3. Les leviers 43
4.4. Les poulies 45
4.5. Les engrenages 52
4.6. Le treuil 58
4.7. L'avantage mécanique 60
4.8. Travail mécanique, rendement et puissance mécanique 61
4.9. La petite histoire de la petite reine 62
4.10. Combinaison de machines simples 64

V. Résultats des tests **66**

VI. Quel matériel utiliser et où se le procurer ? **71**

VII. Compétences visées lors de ces séances **73**

VIII. Bibliographie **75**

IX. Table des matières **77**