

## MACHINES SIMPLES, ÉNERGIE CONSERVÉE !

### LISTE DU MATÉRIEL

- Un support et une planche (dimensions au choix et fonction du matériel disponible)
- Des poulies
- Une charge (par exemple une bouteille d'un litre) de masse 1kg.
- Un filin
- Des crochets (il est aussi possible de poser les charges sur la planche)
- Un dynamomètre (adapté à la charge)
- Un -double mètre et/ou un décimètre

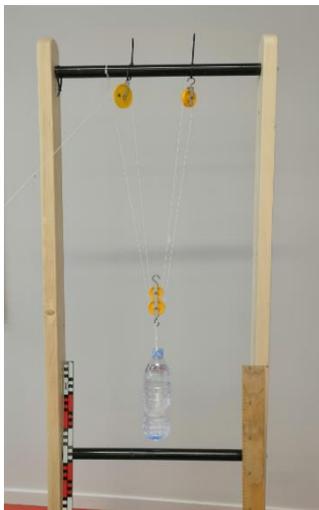
### MONTAGE

La réalisation de cette expérience demande 3 montages différents :

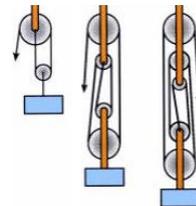
- Le plan incliné (on inclinera de 3 façons différentes lors de l'expérience) :

La planche est placée en appui sur le support. Un crochet à l'extrémité supérieure de la planche permet de soutenir la charge par l'intermédiaire d'un filin. On effectue 3 mesures :

- ✓ Une mesure de la force motrice en plaçant un dynamomètre entre le filin et la charge.
- ✓ Une mesure de la hauteur en plaçant un mètre en appui verticalement contre la planche.
- ✓ Une mesure de la distance à parcourir sur le plan incliné grâce à un mètre placé sur le plan incliné.



- Le palan (on fabriquera plusieurs palans lors de l'expérience) :
  - ✓ Un palan (1) avec 1 poulie fixe
  - ✓ Un palan (2) avec 1 poulie fixe et 1 mobile
  - ✓ Un palan (3) avec 2 poulies fixes et 2 mobiles
  - ✓ Un palan (4) avec 3 fixes et 2 mobiles



[http://www.zpag.net/Machines\\_Simples/Palan\\_Avanage\\_Accrus.htm](http://www.zpag.net/Machines_Simples/Palan_Avanage_Accrus.htm)

- Le levier :

On place la planche en équilibre sur le point d'appui. On placera la charge à 3 distances différentes du point d'appui tandis que le dynamomètre qui représente la force motrice reste au même endroit.



## MODE OPÉRATOIRE

### LE PLAN INCLINÉ

- Mesurer à l'aide d'un dynamomètre la force motrice nécessaire pour soulever une charge d'un kilogramme sur une hauteur de 1 mètre à vitesse constante sans machine simple.
- Mesurer à l'aide d'un dynamomètre la force motrice nécessaire pour soulever une charge d'un kilogramme sur une hauteur d'1 mètre à vitesse constante sur chaque machine simple.
- Mesurer également à chaque fois le déplacement du point d'application de la force motrice qui soulève la charge.

### LE PALAN

- Mesurer à l'aide d'un dynamomètre la force motrice nécessaire pour soulever une charge d'un kilogramme sur une hauteur de 1 mètre à vitesse constante sans machine simple.
- Mesurer à l'aide d'un dynamomètre la force motrice nécessaire pour soulever une charge d'un kilogramme sur une hauteur d'1 mètre à vitesse constante avec le palan ; le dynamomètre sera accroché par un nœud au filin.
- Mesurer également à chaque fois le déplacement du point d'application de la force motrice qui soulève la charge. (On observe de quelle distance le nœud réalisé pour tenir le dynamomètre doit être déplacé pour que la charge monte d'un mètre.)

### LE LEVIER

- Mesurer à l'aide d'un dynamomètre la force motrice nécessaire pour soulever une charge d'un kilogramme quand la distance entre la charge et le point d'appui est la même que la distance entre la force motrice et le point d'appui ; puis diminuer cette distance.
- Observer à chaque fois le déplacement du point d'application de la force motrice qui soulève la charge et comparer celui-ci au déplacement de la charge elle-même.
- On mesure également les bras de levier résistants et moteur.

## RÉSULTATS EXPÉRIMENTAUX

Sans machine, quand on souhaite soulever une charge de 1 kg d'une hauteur de 1 m, le travail, c'est-à-dire l'énergie nécessaire pour déplacer le point d'application de cette force sera de :

$$W_F = F_M \cdot d = 10\text{N} \cdot 1\text{m} \approx 10\text{J}$$

On observe que le choix de travailler avec une charge de 1kg sur une hauteur de 1 m simplifie les calculs et permet de se concentrer sur la compréhension des notions théoriques, à savoir les machines simples et la conservation de l'énergie.

Suivant la même logique, on travaille toujours avec des forces colinéaires au déplacement.

### LE PLAN INCLINÉ

	Force motrice	Déplacement du point d'application de la force motrice	Travail effectué (en joules) $W_F = F_M \cdot d$
Plan incliné 1	$F_M = 8,85\text{N}$	$d = 1,13\text{ m}$	$W_F \approx 10\text{J}$
Plan incliné 2	$F_M = 6,10\text{N}$	$d = 1,63\text{m}$	$W_F \approx 10\text{J}$
Plan incliné 3	$F_M = 5,00\text{N}$	$d = 2,00\text{m}$	$W_F \approx 10\text{J}$

### LE PALAN

	Force motrice	Déplacement du point d'application de la force motrice	Travail effectué (en joules) $W_F = F_M \cdot d$
Palan 1	$F_M = 10\text{N}$	$d = 1\text{ m}$	$W_F \approx 10\text{J}$
Palan 2	$F_M = 5\text{N}$	$d = 2\text{m}$	$W_F \approx 10\text{J}$
Palan 3	$F_M = 2,5\text{N}$	$d = 4\text{m}$	$W_F \approx 10\text{J}$
Palan 4	$F_M = 2\text{N}$	$d = 5\text{m}$	$W_F \approx 10\text{J}$

### LE LEVIER

	Bras de levier moteur $l_M$ et résistant $l_R$	Force motrice	Déplacement du point d'application de la charge	Travail effectué (en joules) $W_F = F_M \cdot d$
Levier 1	$l_M = 1,1\text{m}$ et $l_R = 1,1\text{m}$	$F_M = 10\text{N}$	$d = 1\text{ m}$	$W_F \approx 10\text{J}$
Levier 2	$l_M = 1,1\text{m}$ et $l_R = 0,82\text{m}$	$F_M = 7,5\text{N}$	$d = 1,33\text{m}^*$	$W_F \approx 10\text{J}^*$
Levier 3	$l_M = 1,1\text{m}$ et $l_R = 0,19\text{m}$	$F_M = 1,7\text{N}$	$d = 5,88\text{m}^*$	$W_F \approx 10\text{J}^*$

\*valeurs non mesurées dans le laboratoire mais calculées.

## EXPLICATIONS THÉORIQUES

### LE PLAN INCLINÉ

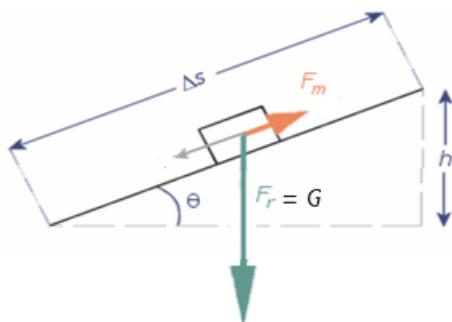
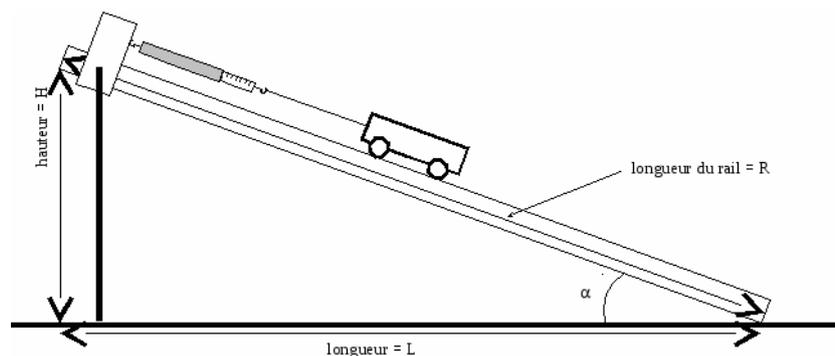
Les résultats montrent que le travail sera à chaque fois de 10 joules. Cela signifie que l'énergie transférée à la charge sera la même qu'on utilise ou non le plan incliné.

L'avantage mécanique ( $\gamma$ ) d'une machine simple est une grandeur permettant d'indiquer dans quelle proportion la force motrice est augmentée ou diminuée. C'est le rapport entre la force résistante et la force motrice.

$$\gamma = \frac{F_R}{F_M}$$

Si l'AM est supérieur à 1, cela signifie que la machine permet de réduire la force à appliquer. La force résistance correspond ici au poids de la charge ( $F_G = 10 \text{ N}$ ).

On peut observer que les plans inclinés ont bien un avantage mécanique ; ils diminuent la force à exercer mais cela entraîne que le déplacement augmente du même facteur.



On voit que le poids est une force résistante  $F_R$  tandis que la force exercée est une force motrice  $F_M$ . Si le bloc se déplace à vitesse constante, on sait que la somme des forces doit valoir zéro et que donc, la force motrice doit uniquement compenser la composante du poids parallèle à la pente (s'il n'y a pas de frottement). L'avantage mécanique pourrait donc être calculé à partir de l'inclinaison du plan par rapport à l'horizontale.

$$\gamma = \frac{F_R}{F_M} = \frac{G}{G \cdot \sin\theta} = \frac{1}{\sin\theta}$$

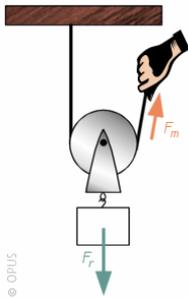
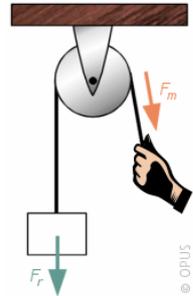
L'utilisation du plan incliné diminue donc la grandeur de la force à fournir pour soulever un objet, mais en contrepartie, elle augmente la distance sur laquelle cette force doit être appliquée. L'exemple le plus courant du plan incliné n'est autre que l'escalier !

## LE PALAN

Les résultats montrent que le travail sera à chaque fois de 10 joules. Cela signifie que l'énergie transférée à la charge sera la même qu'on utilise ou non un palan.

La poulie peut être utilisée de deux façons pour déplacer une masse.

De la première façon, la poulie est fixe et la masse à déplacer est attachée à une extrémité de la corde. On tire sur l'autre extrémité de la corde pour soulever la masse.



De la seconde façon, la masse est plutôt fixée à la chape de la poulie, alors que la corde est fixée par l'une de ses extrémités à un support fixe. La corde est passée dans la poulie, qui est ainsi mobile.

Un palan est une machine simple composée de plusieurs poulies mobiles et fixes. Idéalement, il permet de diviser la force à appliquer par le nombre de portions de corde qui soutiennent les poulies mobiles ou la charge elle-même. Le déplacement de la corde à l'endroit où on exerce la force est

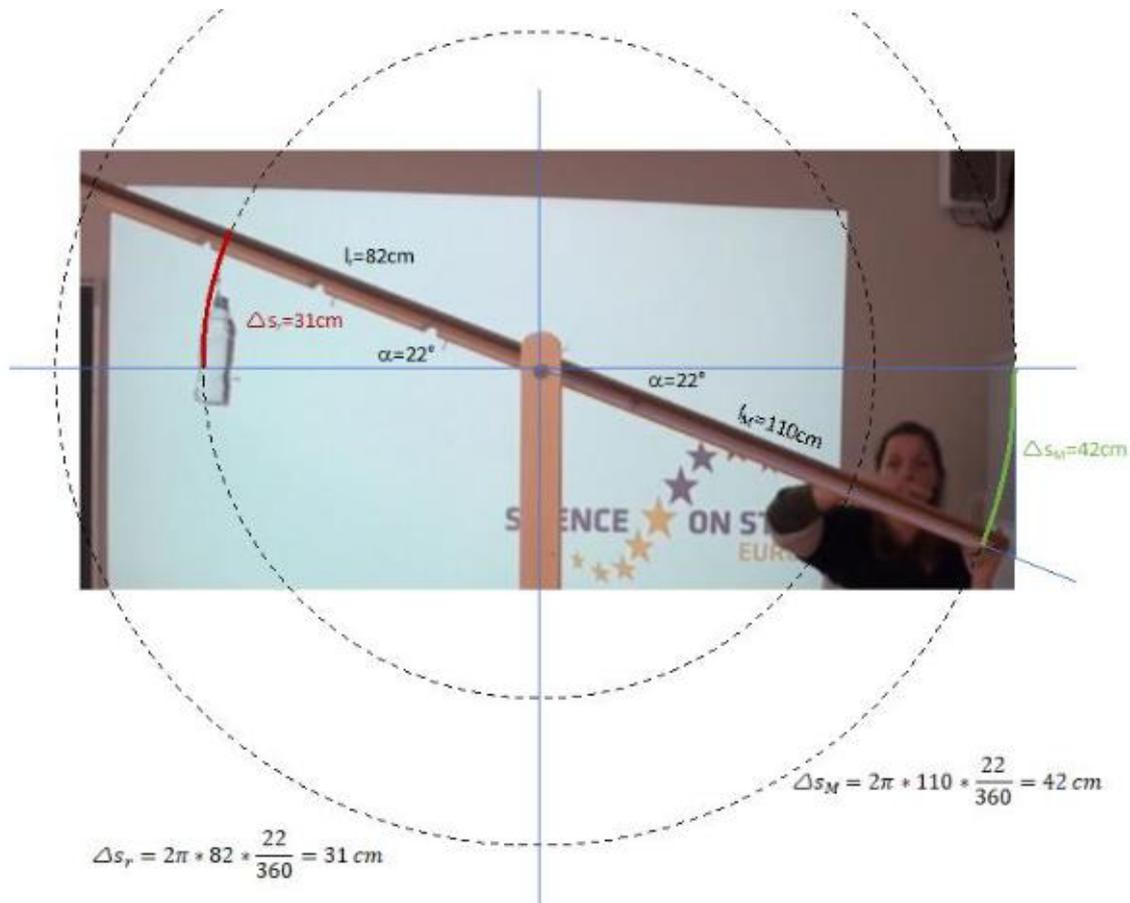
multiplié par le même facteur.

## LE LEVIER

On observe que plus la charge est proche du point d'appui, plus elle est facile à soulever ; plus la force motrice diminue. Cela demande à nouveau un déplacement beaucoup plus grand du point d'application de cette force.

Ici, on ne sait pas montrer que le travail se conserve ( $W = 10J$ ) car, dans le dernier cas, par exemple, il faudrait déplacer le point d'application sur une distance de 6m pour soulever la charge d'1 m !

Il est difficile ici de montrer que la charge monte d'un mètre... En effet, plus la charge est proche du point d'appui moins elle monte. Le schéma suivant montre qu'on peut malgré tout trouver le rapport des déplacements résistants et moteurs.



Il est malgré tout plus simple d'utiliser les bras de levier pour calculer l'avantage mécanique et le comparer à l'avantage mécanique calculé à partir des forces résistantes et motrices.

On appelle bras de levier ( $l$ ), la distance mesurée perpendiculairement entre la droite d'action de la force et l'axe de rotation.

L'avantage mécanique correspond au rapport entre la force résistante et la force motrice...

$$\gamma = \frac{F_R}{F_M}$$

...Mais se calcule aussi par le rapport :  $\gamma = \frac{l_M}{l_R}$

...où  $l_M$  est le bras de levier moteur et  $l_R$  est le bras de levier résistant.

Cela permet de déterminer de combien la force motrice va être diminuée. En effet, on peut calculer la force motrice :

$$F_M = \frac{l_R \cdot F_R}{l_M}$$

Par exemple pour le 3<sup>ème</sup> levier...

$$F_M = \frac{0,19 \cdot 10}{1,1} = 1,72N$$

... Ce qui est bien la valeur mesurée en laboratoire.

## CONCLUSIONS

La manifestation d'un phénomène tel le mouvement sous l'action d'une force implique, non seulement que le système considéré possède de l'énergie intrinsèque, mais qu'il y a transfert d'énergie. Ainsi, ce que l'on mesure n'est pas l'énergie en elle-même, mais sa variation !

$$W = \Delta E$$

L'énergie transférée à un corps pour le déplacer correspond au travail fourni par cette force.

$$\Delta E = E_{\text{finale}} - E_{\text{initiale}} = \mathbf{W}(\vec{F})$$

L'expérience permet de démontrer expérimentalement que l'énergie se conserve. En effet, pour effectuer le même travail (déplacer une charge de 1kg sur une hauteur d'1 mètre), l'énergie déployée sera à chaque fois de 10 joules. Les machines simples sont des objets très pratiques et très utilisés dans la vie de tous les jours car elles permettent de diminuer (de façon importante quelques fois !) la force motrice à exercer pour soulever la charge. Mais on observe alors que le déplacement du point d'application de cette force augmentera du même facteur.

Une **machine simple** est un dispositif composé d'une seule pièce qui permet de diminuer ou augmenter la force à exercer en conservant le travail et qui sert à soulever des charges ou à les déplacer.

Si la force diminue, le déplacement augmente ! Le travail reste le même !

Pour le physicien, le travail d'une force est l'énergie fournie par cette force lorsque son point d'application se déplace. (L'objet subissant la force se déplace ou se déforme sous l'action de cette force.) Le travail est exprimé en joule [J] et est noté W (de l'anglais *work*) :

$$W [J] = F[N] \cdot d[m]$$

Les vecteurs force et déplacement ont la même direction et le même sens.

Les mesures sont réalisées au repos et non à vitesse constante car on a dans les 2 cas un équilibre de translation. Pour rappel :

**Principe d'inertie** : Un objet garde son état de repos ou de mouvement en ligne droite et à vitesse constante si et seulement si la résultante de toutes les forces qu'il subit est nulle.

$$\vec{R} = \vec{0} \Leftrightarrow \text{Objet en MRU ou au repos !}$$

Où  $\vec{R}$  est la résultante de toutes les forces s'exerçant sur l'objet.

Réciproquement, si la force résultante agissant sur un corps vaut zéro, alors ce corps est soit immobile, soit en MRU (il avance donc en ligne droite à vitesse constante).

Selon les situations, l'objet peut donc être :

- en **équilibre de translation statique = repos**
- en **équilibre de translation dynamique = MRU**

## SUGGESTIONS DE QUESTIONNEMENT

Dans chaque cas de machine simple, on a fait le choix de présenter 3-4 expériences mais il est possible d'en faire davantage. L'étude de chaque machine simple peut être approfondie avec par exemple, l'étude d'autres palans, d'autres leviers (inter-résistants, inter-moteurs) ou encore par l'analyse de l'avantage mécanique par l'angle d'inclinaison d'un plan incliné.

La taille du montage permet d'exploiter facilement en classe les différentes machines simples mais des montages individuels pourraient avoir l'avantage de faire manipuler les élèves eux-mêmes.

Dans le cas des leviers, il serait intéressant de travailler dans l'autre sens, avec une charge en bout de levier et une force motrice appliquée à différentes distances du point d'appui... On verrait alors que plus la force est appliquée près du point d'appui plus elle augmente. Pour avoir de la force en utilisant un levier (un pied de biche, une hache, ...), plus on a intérêt à placer sa main loin de l'axe de rotation ! La question pourrait même leur être posée... « Où faut-il placer sa main sur le pied de biche pour réussir à ouvrir la caisse ? » ou « Quelle clé faut-il prendre pour déboulonner la roue d'un camion ? » ou « Quel système de poulies permettra d'exercer la plus petite force pour soulever une charge ? » ...

On pourrait également demander aux élèves de repérer différentes machines simples de leur quotidien...

En conclusion, il y a de nombreuses façons d'exploiter ce thème et cela assez facilement avec les moyens dont on dispose !