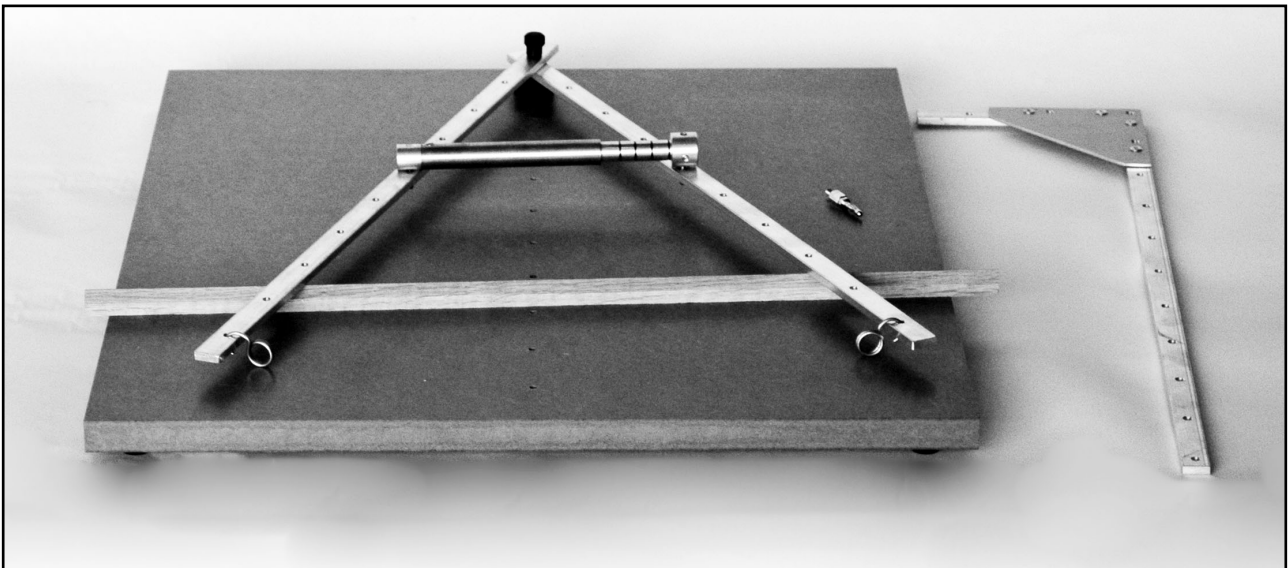


Ensemble pour l'étude des leviers et des engrenages

ME 3645 12401



ACTIVITÉS SCIENTIFIQUES

Premier degré

«Bien choisir sa machine»

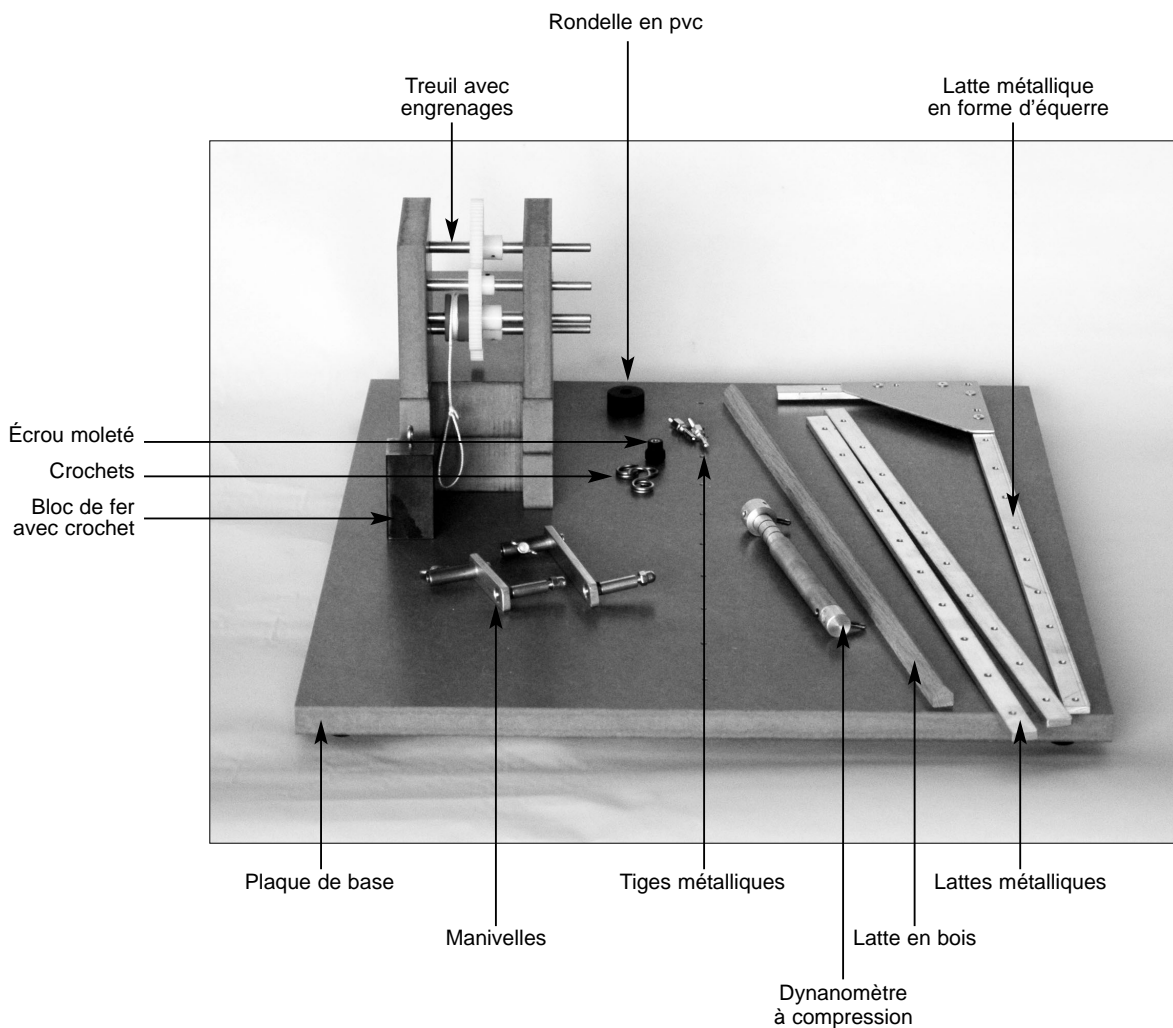


Centre technique et pédagogique
de l'Enseignement de la Communauté française

Liste du matériel

L'ensemble comprend:

| | |
|--|---------------|
| 1 plaque de base (46 cm × 53 cm) | ME 3645 12410 |
| 1 dynamomètre à compression 40 N | ME 3645 12411 |
| 1 treuil avec 4 engrenages, 1 ficelle et 2 manivelles | ME 3645 12421 |
| 1 bloc de fer avec crochet (≈ 4 N) | ME 3645 12420 |
| 2 lattes métalliques de 50 cm percées de trous équidistants | ME 3645 12412 |
| 1 latte métallique en forme d'équerre percée de trous équidistants | ME 3645 12413 |
| 2 crochets pour dynamomètre | ME 3645 12414 |
| 1 rondelle en pvc (épaisseur: 13 mm) | ME 3645 12415 |
| 1 latte en bois (longueur: 50 cm) | ME 3645 12416 |
| 1 tige métallique de fixation (longueur: 5 cm, diamètre: 4 mm) | ME 3645 12417 |
| 1 tige métallique de fixation (longueur: 4 cm, diamètre: 4 mm) | ME 3645 12418 |
| 1 écrou moleté (pour la tige métallique de fixation) | ME 3645 12419 |
| 1 boîte de rangement | |



1. Les leviers

1. Décapsuleur – Tire-bouchon

But

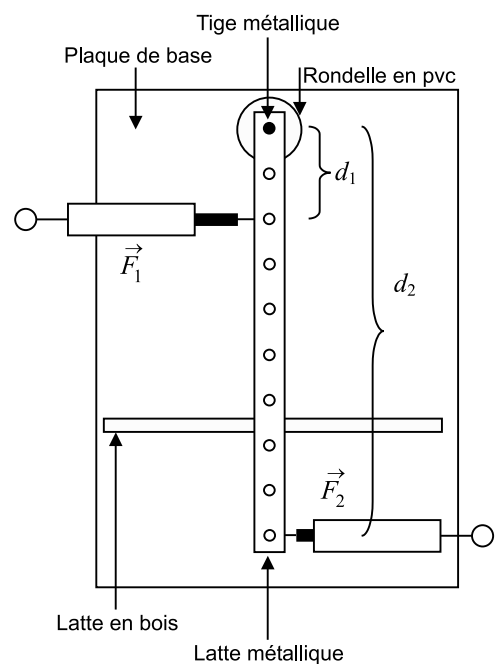
Montrer le principe de fonctionnement d'un décapsuleur (ou d'un tire-bouchon de sommelier), mesurer les forces et déduire le lien entre ces forces.

Matériel

- 1 plaque de base
- 1 latte métallique de 50 cm percée de trous équidistants
- 2 dynamomètres à traction 10 N
- 2 crochets pour dynamomètre
- 1 rondelle en pvc
- 1 latte en bois
- 1 tige métallique de fixation (longueur: 5 cm, diamètre: 4 mm)
- 1 écrou moleté

Manipulation

1. Enfoncer la tige métallique de fixation (point d'appui) dans la plaque de base, à proximité d'un bord. La plaque de base est placée horizontalement sur une table. Placer la rondelle en pvc dans la tige puis une extrémité de la latte métallique (voir schéma). Visser éventuellement l'écrou moleté sur la tige métallique (point d'appui) afin de limiter les mouvements verticaux de la latte (ne pas serrer!).
2. Placer, à l'aide d'un crochet, un des dynamomètres (force motrice \vec{F}_2) à l'autre extrémité de la latte métallique.
3. Placer, à l'aide de l'autre crochet, l'autre dynamomètre (force résistante \vec{F}_1) entre le point d'appui et la force motrice.
4. Placer la latte en bois sous la latte métallique afin de diminuer ses frottements sur la plaque de base.
5. Exercer différentes forces sur les dynamomètres en essayant de maintenir immobile la latte métallique. Veiller à ce que les forces soient parallèles. Noter les résultats obtenus dans un tableau tel celui ci-après où d_1 et d_2 sont respectivement les distances entre le point d'appui et les dynamomètres mesurant les forces \vec{F}_1 et \vec{F}_2 .



| d_1 (cm) | F_1 (N) | d_2 (cm) | F_2 (N) |
|---------------|--------------|---------------|--------------|
| 10 | | 20 | |
| 10 | | 30 | |
| 10 | | 40 | |
| 30 | | 20 | |
| 40 | | 20 | |
| ... | | ... | |
| ... | | ... | |
| ... | | ... | |
| ... | | ... | |

Les distances d_1 et d_2 seront mesurées en centimètres (la distance entre deux trous consécutifs étant de 5 cm), les forces seront en newtons.

6. Refaire l'expérience en modifiant la position des dynamomètres. Que peut-on déduire en observant le tableau?

Résultats

Les résultats obtenus dans une expérience sont rassemblés dans le tableau ci-après.

| d_1 (cm) | F_1 (N) | d_2 (cm) | F_2 (N) |
|---------------|--------------|---------------|--------------|
| 10 | 9 | 45 | 2 |
| 10 | 4 | 20 | 2 |
| 10 | 6 | 20 | 3 |
| 10 | 8 | 20 | 4 |
| 10 | 10 | 20 | 5 |
| 10 | 6 | 30 | 2 |
| 10 | 9 | 30 | 3 |
| 5 | 6 | 30 | 1 |
| 5 | 7 | 35 | 1 |
| 5 | 8 | 40 | 1 |
| 15 | 4 | 30 | 2 |
| 15 | 6 | 30 | 3 |
| 15 | 8 | 30 | 4 |
| 15 | 10 | 30 | 5 |
| 30 | 4 | 20 | 6 |
| 40 | 3 | 20 | 6 |
| 40 | 5 | 20 | 10 |

Conclusions

On constate que, pour chaque situation, on peut écrire: $F_1 \times d_1 = F_2 \times d_2$.

Lorsque $d_1 < d_2$, $F_2 < F_1$. L'utilisation du décapsuleur (ou du tire-bouchon du sommelier) sera d'autant plus facile si ce dernier est long, si la force motrice est appliquée loin du point d'appui et si l'objet à enlever est proche du point d'appui.

2. Pied de biche

But

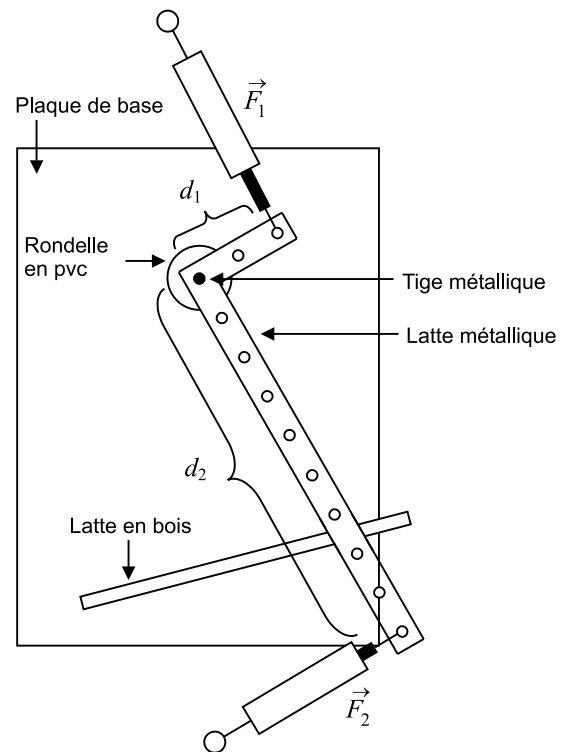
Montrer le principe de fonctionnement d'un pied de biche, mesurer les forces et déduire le lien entre ces forces.

Matériel

- 1 plaque de base
- 1 latte métallique en forme d'équerre percée de trous équidistants
- 2 dynamomètres à traction 10 N
- 2 crochets pour dynamomètre
- 1 rondelle en pvc
- 1 latte en bois
- 1 tige métallique de fixation (longueur: 5 cm, diamètre: 4 mm)
- 1 écrou moleté

Manipulation

1. Enfoncer la tige métallique de fixation (point d'appui) dans la plaque de base, à environ 15 cm d'un bord. La plaque de base est placée horizontalement sur une table. Placer la rondelle en pvc dans la tige puis la latte métallique en forme d'équerre, l'angle droit étant très proche du point d'appui (voir schéma). Visser éventuellement l'écrou moleté sur la tige métallique (point d'appui) afin de limiter les mouvements verticaux de la latte (ne pas serrer!).
2. Placer, à l'aide d'un crochet, un des dynamomètres (force motrice \vec{F}_2) sur la plus grande longueur de la latte métallique.
3. Placer, à l'aide de l'autre crochet, l'autre dynamomètre (force résistante \vec{F}_1) sur la plus petite longueur de la latte métallique.
4. Placer la latte en bois sous la latte métallique afin de diminuer ses frottements sur la plaque de base.
5. Exercer différentes forces sur les dynamomètres en essayant de maintenir immobile la latte métallique. Veiller à ce que les forces soient perpendiculaires à la partie de la latte sur laquelle elles sont appliquées. Noter les résultats obtenus dans un tableau tel celui ci-après où d_1 et d_2 sont respectivement les distances entre le point d'appui et les dynamomètres mesurant les forces \vec{F}_1 et \vec{F}_2 .



| d_1 (cm) | F_1 (N) | d_2 (cm) | F_2 (N) |
|---------------|--------------|---------------|--------------|
| | | | |
| | | | |

Les distances d_1 et d_2 seront mesurées en centimètres (la distance entre deux trous consécutifs étant de 5 cm), les forces seront en newtons.

6. Refaire l'expérience en modifiant la position des dynamomètres. Que peut-on déduire en observant le tableau?

Résultats

Lors des mesures, on veillera particulièrement à limiter au maximum les forces de frottement afin de vérifier facilement la relation cherchée.

Les résultats obtenus dans une expérience sont rassemblés dans le tableau ci-après.

| d_1 (cm) | F_1 (N) | d_2 (cm) | F_2 (N) |
|---------------|--------------|---------------|--------------|
| 10 | 2 | 20 | 1 |
| 10 | 4 | 20 | 2 |
| 10 | 8 | 20 | 4 |
| 10 | 10 | 20 | 5 |
| 5 | 4 | 20 | 1 |
| 5 | 8 | 20 | 2 |
| 5 | 6 | 30 | 1 |
| 5 | 7 | 35 | 1 |
| 5 | 8 | 40 | 1 |
| 5 | 10 | 50 | 1 |

Conclusions

On constate que, pour chaque situation, on peut écrire: $F_1 \times d_1 = F_2 \times d_2$.

Lorsque $d_1 < d_2$, $F_2 < F_1$. L'utilisation du pied de biche sera d'autant plus facile si ce dernier est long, si la force motrice est appliquée loin du point d'appui et si l'objet à arracher est proche du point d'appui.

3. Tenaille – Ciseaux – Pince coupante

But

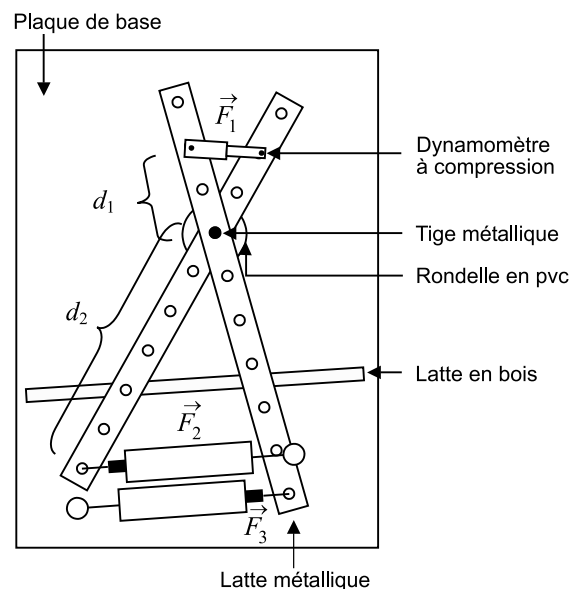
Montrer le principe de fonctionnement d'une tenaille (d'une paire de ciseaux ou d'une pince coupante), mesurer les forces et déduire le lien entre ces forces.

Matériel

- 1 plaque de base
- 2 lattes métalliques de 50 cm percées de trous équidistants
- 2 dynamomètres à traction 10 N
- 2 crochets pour dynamomètre
- 1 dynamomètre à compression 40 N
- 1 rondelle en pvc
- 1 tige métallique de fixation (longueur: 5 cm, diamètre: 4 mm)
- 1 tige métallique de fixation (longueur: 4 cm, diamètre: 4 mm)
- 1 latte en bois
- 1 écrou moleté

Manipulation

1. Enfoncer la tige métallique de fixation de 5 cm de long (point d'appui) à peu près au milieu de la plaque de base. Celle-ci est placée horizontalement sur une table. Placer la rondelle en pvc dans la tige puis les deux lattes métalliques (voir schéma). Veiller à ce que la tige métallique traverse les lattes aux mêmes endroits (symétrie). Visser éventuellement l'écrou moleté sur la tige métallique (point d'appui) afin de limiter les mouvements verticaux des lattes (ne pas serrer!).
2. Fixer le dynamomètre à compression (force résistante \vec{F}_1) en enfonçant ses tiges de fixation dans les trous des lattes (voir schéma). Veiller à ce que les fixations soient placées aux mêmes endroits sur les deux lattes et que le dynamomètre soit horizontal.
3. Placer, à l'aide des crochets, les deux dynamomètres à traction (forces motrices \vec{F}_2 et \vec{F}_3) aux extrémités des lattes métalliques.
4. Placer la latte en bois sous les lattes métalliques afin de diminuer leur frottement sur la plaque de base.
5. Exercer différentes forces sur les dynamomètres à traction en essayant de maintenir immobile le montage réalisé. Veiller à ce que toutes les forces soient le plus parallèles possible. Noter les résultats obtenus dans un tableau tel celui ci-après où d_1 et d_2 sont respectivement les distances entre le point d'appui et les dynamomètres mesurant les forces \vec{F}_1 et (\vec{F}_2, \vec{F}_3) . Comparer les indications des deux dynamomètres à traction.



| d_1 (cm) | F_1 (N) | d_2 (cm) | F_2 (N) |
|---------------|--------------|---------------|--------------|
| | | | |
| | | | |

Les distances d_1 et d_2 seront mesurées en centimètres (la distance entre deux trous consécutifs étant de 5 cm), les forces seront en newtons.

6. Refaire l'expérience en modifiant la position des dynamomètres et du point d'appui. Que peut-on déduire en observant le tableau? Refaire l'expérience en bloquant une des lattes à l'aide de la deuxième tige métallique de fixation. Dans ce cas, on n'utilisera qu'un seul dynamomètre à traction.

Résultats

Les résultats obtenus dans une expérience sont rassemblés dans le tableau ci-après. On notera qu'il est plus facile de faire les mesures en fixant une des lattes métalliques (avec la tige métallique de fixation de 4 cm de longueur) et en n'utilisant que deux dynamomètres (mesure de \vec{F}_1 et mesure de \vec{F}_2 ou de \vec{F}_3) au lieu des trois prévus.

| d_1 (cm) | F_1 (N) | d_2 (cm) | F_2 (N) |
|---------------|--------------|---------------|--------------|
| 10 | 10 | 30 | ~ 3,5 |
| 10 | 20 | 30 | ~ 7 |
| 10 | 30 | 30 | 10 |
| 10 | 10 | 20 | 5 |
| 10 | 20 | 20 | 10 |
| 15 | 10 | 30 | 5 |
| 15 | 20 | 30 | 10 |
| 15 | 10 | 15 | 10 |
| 20 | 10 | 25 | 8 |
| 25 | 8 | 20 | 10 |
| 30 | 5 | 15 | 10 |

Les forces \vec{F}_2 et \vec{F}_3 indiquées par les deux dynamomètres à traction ont la même valeur (actions réciproques). Les résultats obtenus sont identiques lorsqu'une des deux lattes est bloquée.

Conclusions

On constate que, pour chaque situation, on peut écrire: $F_1 \times d_1 = F_2 \times d_2$.

Lorsque $d_1 < d_2$, $F_2 < F_1$. L'utilisation de la tenaille (de la paire de ciseaux ou de la pince coupante) sera d'autant plus facile si cette dernière est longue, si la force motrice est appliquée loin du point d'appui et si l'objet à arracher ou à couper est proche du point d'appui.

4. Casse-noix – Perforatrice

But

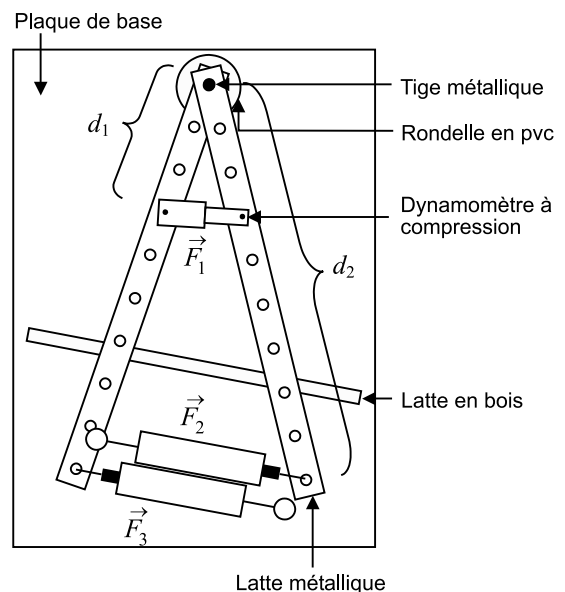
Montrer le principe de fonctionnement d'un casse-noix (ou d'une perforatrice), mesurer les forces et déduire le lien entre ces forces.

Matériel

- 1 plaque de base
- 2 lattes métalliques de 50 cm percées de plusieurs trous équidistants
- 2 dynamomètres à traction 10 N
- 2 crochets pour dynamomètre
- 1 dynamomètre à compression 40 N
- 1 rondelle en pvc
- 1 tige métallique de fixation (longueur: 5 cm, diamètre: 4 mm)
- 1 tige métallique de fixation (longueur: 4 cm, diamètre: 4 mm)
- 1 latte en bois
- 1 écrou moleté

Manipulation

1. Enfoncer la tige métallique de fixation de 5 cm de long (point d'appui) dans la plaque de base, à proximité d'un bord. La plaque de base est placée horizontalement sur une table. Placer la rondelle en pvc dans la tige puis les deux lattes métalliques (voir schéma). Veiller à ce que la tige métallique traverse les lattes aux mêmes endroits (symétrie). Visser éventuellement l'écrou moleté sur la tige métallique (point d'appui) afin de limiter les mouvements verticaux des lattes (ne pas serrer!).
2. Fixer le dynamomètre à compression (force résistante \vec{F}_1) en enfonçant ses tiges de fixation dans les trous des lattes (voir schéma). Veiller à ce que les fixations soient placées aux mêmes endroits sur les deux lattes et que le dynamomètre soit horizontal.
3. Placer, à l'aide des crochets, les deux dynamomètres à traction (forces motrices \vec{F}_2 et \vec{F}_3) aux extrémités des lattes métalliques.
4. Placer la latte en bois sous les lattes métalliques afin de diminuer leur frottement sur la plaque de base.
5. Exercer différentes forces sur les dynamomètres en essayant de maintenir immobile le montage réalisé. Veiller à ce que toutes les forces soient le plus parallèles possible. Noter les résultats obtenus dans un tableau tel celui ci-après où d_1 et d_2 sont respectivement les distances entre le point d'appui et les dynamomètres mesurant les forces \vec{F}_1 et (\vec{F}_2, \vec{F}_3) . Comparer les indications des deux dynamomètres à traction.



| d_1 (cm) | F_1 (N) | d_2 (cm) | F_2 (N) |
|---------------|--------------|---------------|--------------|
| | | | |
| | | | |

Les distances d_1 et d_2 seront mesurées en centimètres (la distance entre deux trous consécutifs étant de 5 cm), les forces seront en newtons.

6. Refaire l'expérience en modifiant la position des dynamomètres. Que peut-on déduire en observant le tableau? Refaire l'expérience en bloquant une des lattes à l'aide de la deuxième tige métallique de fixation. Dans ce cas, on n'utilisera qu'un seul dynamomètre à traction.

Résultats

Les résultats obtenus dans une expérience sont rassemblés dans le tableau ci-après. On notera qu'il est plus facile de faire les mesures en fixant une des lattes métalliques (avec la tige métallique de fixation de 4 cm de longueur) et en n'utilisant que deux dynamomètres (mesure de \vec{F}_1 et mesure de \vec{F}_2 ou de \vec{F}_3) au lieu des trois prévus.

| d_1 (cm) | F_1 (N) | d_2 (cm) | F_2 (N) |
|---------------|--------------|---------------|--------------|
| 15 | 10 | 45 | ~ 3,3 |
| 15 | 20 | 45 | ~ 6,5 |
| 15 | 30 | 45 | 10 |
| 20 | 10 | 40 | 5 |
| 20 | 20 | 40 | 10 |
| 25 | 10 | 40 | ~ 6,5 |

Les forces \vec{F}_2 et \vec{F}_3 indiquées par les deux dynamomètres à traction ont la même valeur (actions réciproques). Les résultats obtenus sont identiques lorsqu'une des deux lattes est bloquée.

Conclusions

On constate que, pour chaque situation, on peut écrire: $F_1 \times d_1 = F_2 \times d_2$.

Lorsque $d_1 < d_2$, $F_2 < F_1$. L'utilisation du casse-noix (ou de la perforatrice) sera d'autant plus facile si ce dernier est long, si la force motrice est appliquée loin du point d'appui et si l'objet à casser ou à perforer est proche du point d'appui.

5. Pince à sucre – Pince à sandwich – Arrache agrafe

But

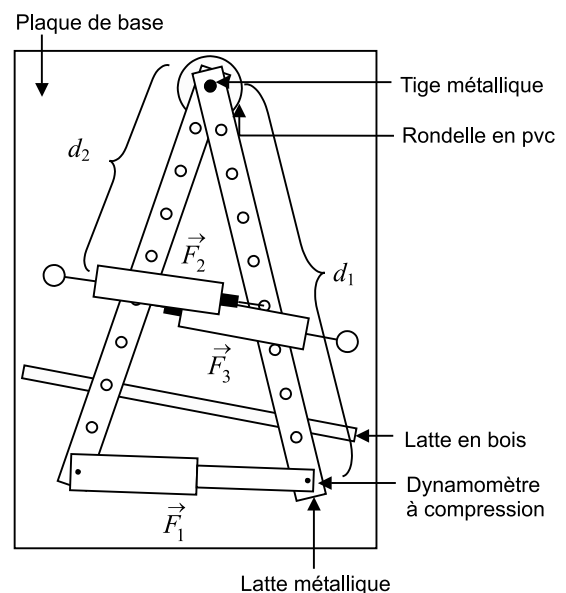
Montrer le principe de fonctionnement d'une pince à sucre (d'une pince à sandwich ou d'un arrache-agrafe), mesurer les forces et déduire le lien entre ces forces.

Matériel

- 1 plaque de base
- 2 lattes métalliques de 50 cm percées de trous équidistants
- 2 dynamomètres à traction 10 N
- 2 crochets pour dynamomètre
- 1 dynamomètre à compression 40 N
- 1 rondelle en pvc
- 1 tige métallique de fixation (longueur: 5 cm, diamètre: 4 mm)
- 1 tige métallique de fixation (longueur: 4 cm, diamètre: 4 mm)
- 1 latte en bois
- 1 écrou moleté

Manipulation

1. Enfoncer la tige métallique de fixation de 5 cm de long (point d'appui) dans la plaque de base, à proximité d'un bord. La plaque de base est placée horizontalement sur la table. Placer la rondelle en pvc dans la tige puis les deux lattes métalliques (voir schéma). Veiller à ce que la tige métallique traverse les lattes aux mêmes endroits (symétrie). Visser éventuellement l'écrou moleté sur la tige métallique (point d'appui) afin de limiter les mouvements verticaux des lattes (ne pas serrer!).
2. Fixer, à l'autre extrémité de la latte métallique, le dynamomètre à compression (force résistante \vec{F}_1) en enfonçant ses tiges de fixation dans les trous des lattes (voir schéma). Veiller à ce que le dynamomètre soit horizontal.
3. Placer, à l'aide des crochets, les deux dynamomètres à traction (forces motrices \vec{F}_2 et \vec{F}_3) sur les lattes métalliques. Veiller à ce que les dynamomètres soient placés aux mêmes endroits sur les deux lattes.
4. Placer la latte en bois sous les lattes métalliques afin de diminuer leur frottement sur la plaque de base.
5. Exercer différentes forces sur les dynamomètres en essayant de maintenir immobile le montage réalisé. Veiller à ce que toutes les forces soient le plus parallèles possible. Noter les résultats obtenus dans un tableau tel celui ci-après où d_1 et d_2 sont respectivement les distances entre le point d'appui et les dynamomètres mesurant les forces \vec{F}_1 et (\vec{F}_2, \vec{F}_3) . Comparer les indications des deux dynamomètres à traction.



| d_1 (cm) | F_1 (N) | d_2 (cm) | F_2 (N) |
|---------------|--------------|---------------|--------------|
| | | | |
| | | | |

Les distances d_1 et d_2 seront mesurées en centimètres (la distance entre deux trous consécutifs étant de 5 cm), les forces seront en newtons.

6. Refaire l'expérience en modifiant la position des dynamomètres. Que peut-on déduire en observant le tableau? Refaire l'expérience en bloquant une des lattes à l'aide de la deuxième tige métallique. Dans ce cas, on n'utilisera qu'un seul dynamomètre à traction.

Résultats

Les résultats obtenus dans une expérience sont rassemblés dans le tableau ci-après.

| d_1 (cm) | F_1 (N) | d_2 (cm) | F_2 (N) |
|---------------|--------------|---------------|--------------|
| 40 | 5 | 20 | 10 |
| 30 | 5 | 15 | 10 |
| 45 | 5 | 30 | 7,5 |

Les forces \vec{F}_2 et \vec{F}_3 indiquées par les deux dynamomètres à traction ont la même valeur (actions réciproques). Les résultats obtenus sont identiques lorsqu'une des deux lattes est bloquée.

Conclusions

On constate que, pour chaque situation, on peut écrire: $F_1 \times d_1 = F_2 \times d_2$.

Lorsque $d_2 < d_1$, $F_2 > F_1$. L'utilisation de la pince à sucre (de la pince à sandwich ou de l'arrache agrafe) nécessite une force importante, d'autant plus grande si la pince est longue, si la force motrice est appliquée près du point d'appui et si l'objet à saisir ou à enlever est éloigné du point d'appui.

2. Les engrenages

But

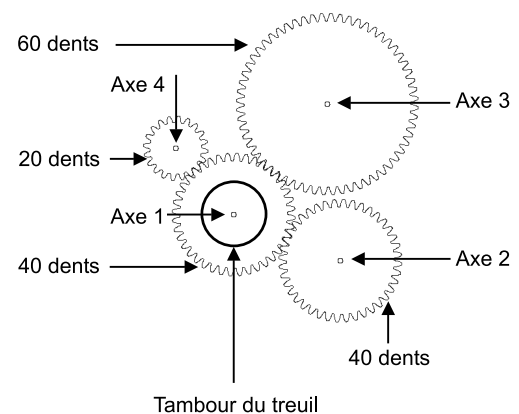
Montrer le rôle des différents engrenages qui équipent le treuil, mesurer les forces et déduire le lien entre ces forces et le nombre de dents des engrenages.

Matériel

- 1 treuil avec 4 engrenages, 1 ficelle et 2 manivelles
- 1 bloc de fer avec crochet (≈ 4 N)
- 1 dynamomètre 5 N
- 1 dynamomètre 1 N

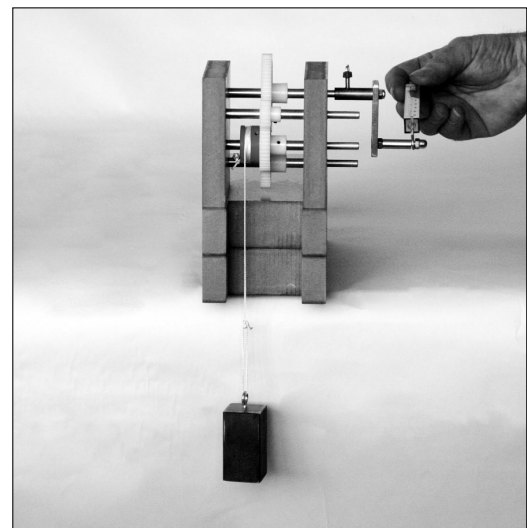
Description

Sur l'axe du tambour du treuil (axe 1) est fixé un engrenage avec 40 dents (voir schéma ci-contre). Sa rotation entraîne celle de trois autres engrenages ayant respectivement 40 dents (axe 2), 60 dents (axe 3) et 20 dents (axe 4). Deux manivelles ayant 4 cm et 8 cm de long permettent de faire tourner les axes sur lesquels sont fixés les engrenages.



Manipulation

1. Placer le treuil au bord d'une table, dérouler la ficelle jusqu'au sol et accrocher le bloc de fer à son extrémité. Veiller à ce que la ficelle ne frotte pas sur le bord de la table.
2. Fixer, avec la vis papillon, la grande manivelle sur l'axe de rotation du tambour (axe 1). Tourner la manivelle pour tendre la ficelle. Lorsque celle-ci est tendue, compter le nombre N de tours nécessaires pour amener le bloc de fer à la hauteur de la table. Noter le sens de la rotation de la manivelle.
3. Placer le dynamomètre perpendiculairement à l'extrémité de la manivelle (voir photo) et mesurer la force F nécessaire pour empêcher sa rotation. Noter le résultat obtenu dans un tableau tel celui ci-après.
4. Refaire la manipulation en fixant la manivelle sur les trois autres axes de rotation. Faire de même avec la petite manivelle.



| Axes | Grande manivelle | | | | Petite manivelle | | | |
|------|------------------|--------------------|--------------------|---------------|------------------|--------------------|--------------------|---------------|
| | F (N) | N_{dents} | N_{tours} | Sens rotation | F (N) | N_{dents} | N_{tours} | Sens rotation |
| 1 | | 40 | | | | 40 | | |
| 2 | | 40 | | | | 40 | | |
| 3 | | 60 | | | | 60 | | |
| 4 | | 20 | | | | 20 | | |

Résultats

Les résultats obtenus dans une expérience sont rassemblés dans le tableau ci-après.

| Axes | Grande manivelle | | | | Petite manivelle | | | |
|------|------------------|--------------------|--------------------|---------------|------------------|--------------------|--------------------|---------------|
| | F (N) | N_{dents} | N_{tours} | Sens rotation | F (N) | N_{dents} | N_{tours} | Sens rotation |
| 1 | 0,7 | 40 | 10 | ↺ | 1,4 | 40 | 10 | ↺ |
| 2 | 0,7 | 40 | 10 | ↻ | 1,4 | 40 | 10 | ↻ |
| 3 | 1,1 | 60 | 6,5 | ↻ | 2,2 | 60 | 6,5 | ↻ |
| 4 | 0,35 | 20 | 20 | ↻ | 0,7 | 20 | 20 | ↻ |

Conclusions

Sur un axe déterminé

Pour maintenir la charge en équilibre, la force exercée sur la grande manivelle est plus petite que celle exercée sur la petite manivelle.

Avec une même manivelle

- Pour maintenir la charge en équilibre:
 - la force exercée sur la manivelle fixée sur l'axe 1 est la même que celle exercée sur l'axe 2 (même nombre de dents);
 - la force exercée sur la manivelle fixée sur l'axe 3 est plus grande que celle exercée sur l'axe 1 (le nombre de dents est plus grand);
 - la force exercée sur la manivelle fixée sur l'axe 4 est plus petite que celle exercée sur l'axe 1 (le nombre de dents est plus petit).
- Pour faire monter une charge à une hauteur déterminée:
 - le nombre de tours est le même si la manivelle est fixée sur l'axe 1 ou l'axe 2 (même nombre de dents);
 - le nombre de tours est plus petit si la manivelle est fixée sur l'axe 3 au lieu de l'axe 1 (le nombre de dents est plus grand);
 - le nombre de tours est plus grand si la manivelle est fixée sur l'axe 4 au lieu de l'axe 1 (le nombre de dents est plus petit).

Chaque fois que l'on utilise un engrenage supplémentaire dans la transmission du mouvement, il y a inversion du sens de rotation.

On constate également que, quels que soient les axes A et B:

$$\frac{F_A}{F_B} = \frac{N_{A \text{ dents}}}{N_{B \text{ dents}}} = \frac{N_{B \text{ tours}}}{N_{A \text{ tours}}}$$

- où
- F_A : force exercée sur la manivelle fixée sur l'axe A
 - F_B : force exercée sur la manivelle fixée sur l'axe B
 - $N_{A \text{ dents}}$: nombre de dents de l'engrenage fixé sur l'axe A
 - $N_{B \text{ dents}}$: nombre de dents de l'engrenage fixé sur l'axe B
 - $N_{A \text{ tours}}$: nombre de tours effectués par l'engrenage ayant $N_{A \text{ dents}}$
 - $N_{B \text{ tours}}$: nombre de tours effectués par l'engrenage ayant $N_{B \text{ dents}}$