

Boîte d'expérimentation Mécanique (BEM)

Dynamomètre et mesure d'une force

Loi de Hooke

Déformations

Résultante de forces

Moments de force

Équilibre de translation et de rotation

Centre de gravité

Machines simples

Énergies potentielles gravifique et élastique

Facteurs influençant l'énergie cinétique

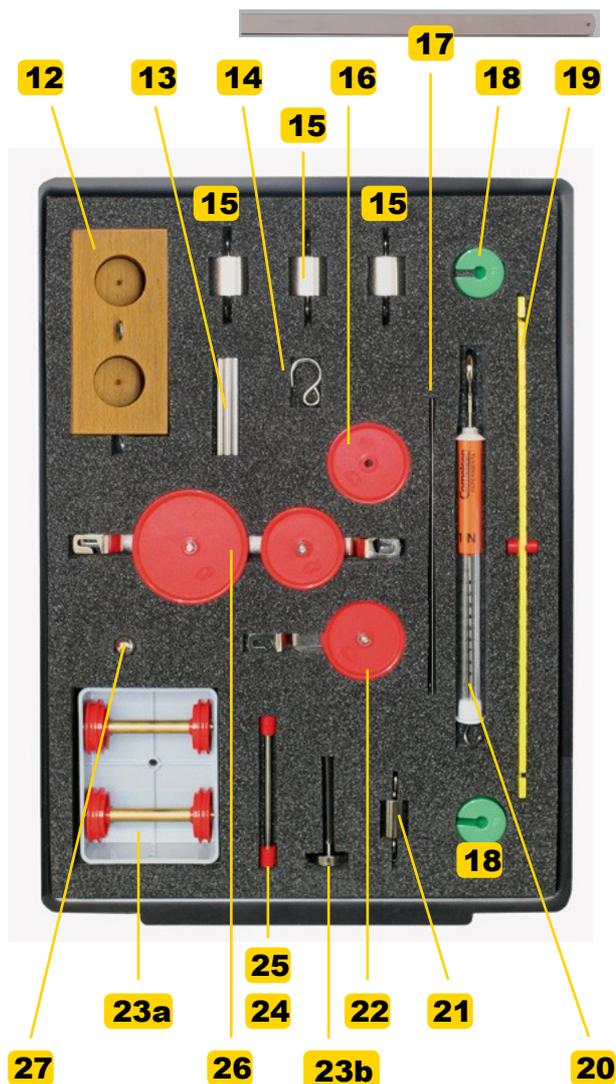
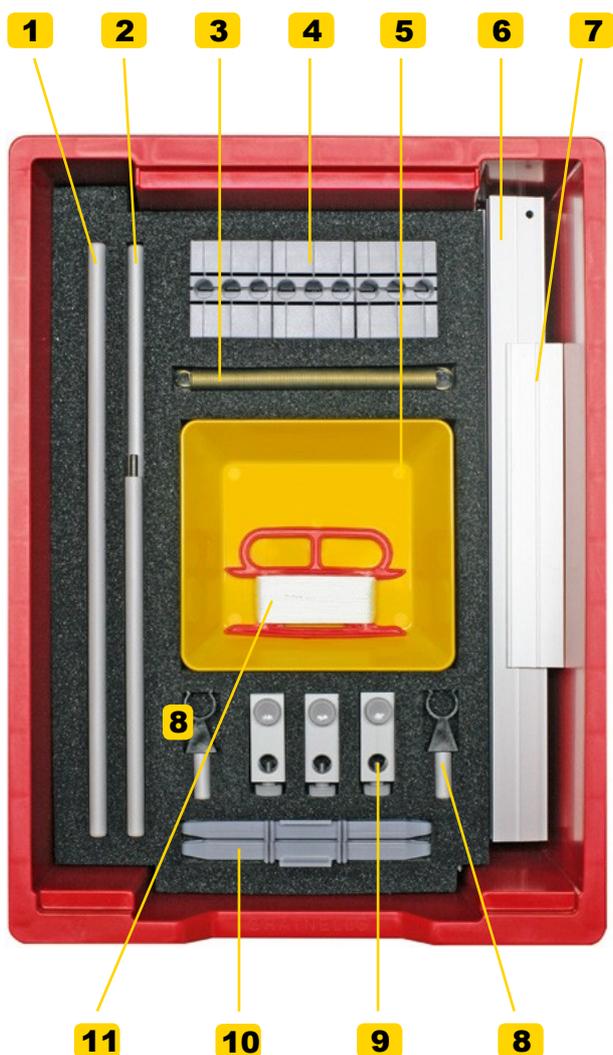
Frottements



Table des matières

Contenu et rangement de la boîte	3		
Instructions générales de montage	4		
M01 Dynamomètre, facteur gravifique local et poids	5	M12 Poulie mobile	24
M02 Loi de Hooke	7	M13 Palan	25
M03 Déformations élastiques	9	M14 Travail sur un plan incliné	26
M04 Forces colinéaires, équilibre statique	11	M15 Combinaison de machines simples	27
M05 Forces concourantes	13	M16 Travail d'une force non-parallèle au déplacement	28
M06 Forces subies par un mobile sur un plan incliné	15	M17 Énergies potentielles élastique et Gravifique	29
M07 Modélisation d'une situation d'équilibre statique	17	M18 Frottements statique et dynamique	30
M08 Moment de force, équilibre de rotation	19	M19 Efficacité d'un transfert d'énergie	32
M09 Centre de gravité et équilibre	21	M20 Énergie cinétique et freinage	34
M10 Poulie étagée	22	M21 Énergie cinétique et déformations plastique	35
M11 Poulie fixe	23		

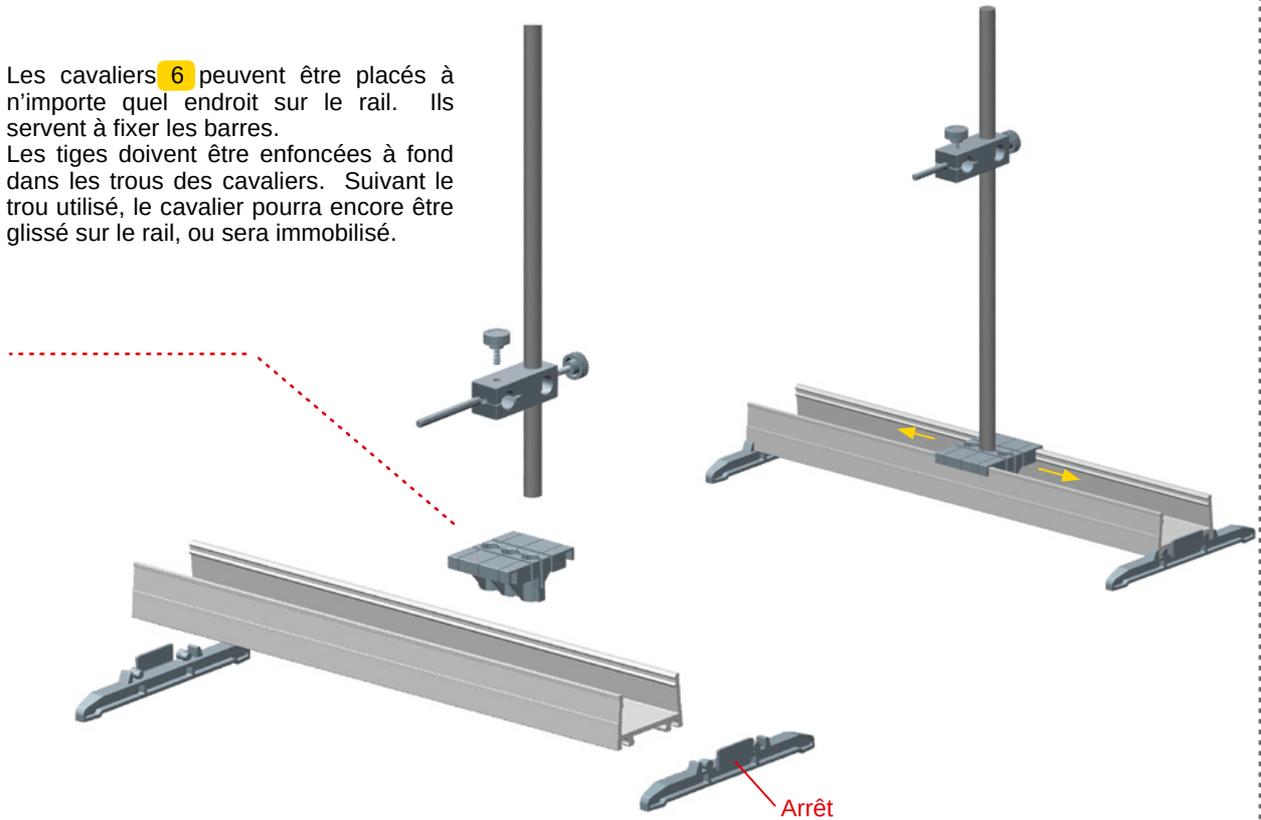
Avvertissement : Les pages de ce manuel qui sont marquées par le sigle © Cornelsen-Experimenta ont été adaptées de l'allemand et restent la propriété de la firme Cornelsen. Par contre, les autres pages ont été rédigées par le secteur sciences de la FESeC (Fédération de l'Enseignement Secondaire Catholique).



Numéro	Qté	Description	Référence
–	1	Manuel d'expériences pour la boîte d'expérimentation	430106
–	1	Plan de rangement pour la boîte d'expérimentation	4301036
1	2	Tige, 330 mm	40138
2	1	Paire de tiges 330 mm avec alésage 220 mm avec filetage	40137
3	1	Ressort, 150 mm / max. 10 N	42476
4	3	Cavalier	40820
5	1	Cuvette en plast., 150 / 140 / 35 mm	43231
6	1	Rail avec trou, 360 mm	40812
7	1	Rail, 180 mm	40813
8	2	Patte de fixation sur tige, diam. 15 mm	43284
9	3	Noix double avec fente	40605
10	1	Paire de supports pour rail	40861
11	1	Ficelle, 50 m / 0,5 mm	19039

Numéro	Qté	Description	Référence
12	1	Bloc de frottement avec trous	432931
13	3	Axe métallique, 50 mm	60888
14	2	Crochet en S	40144
15	3	Masse à deux crochets, 50 g	43190
16	2	Poulies, diam. 43 mm	43136
17	1	Ressort à lame, 150/16 mm, avec trou	42472
18	2	Masse fendue, 50 g, vert	42378
19	1	Bras de levier, avec trous	43119
20	1	Dynamomètre, 1 N	41610
21	1	Masse à deux crochets, 25 g	43191
22	1	Poulie avec crochet, diam. 43 mm	43139
23	1	Chariot (a) et tige (b)	43394
24	1	Axe métallique, 80 mm	61868
25	4	Bague de serrage, 5 mm	64212
26	1	Palan à deux mouflés	43151
27	1	Bille d'acier, diam. 12 mm	43849

Les cavaliers **6** peuvent être placés à n'importe quel endroit sur le rail. Ils servent à fixer les barres. Les tiges doivent être enfoncées à fond dans les trous des cavaliers. Suivant le trou utilisé, le cavalier pourra encore être glissé sur le rail, ou sera immobilisé.

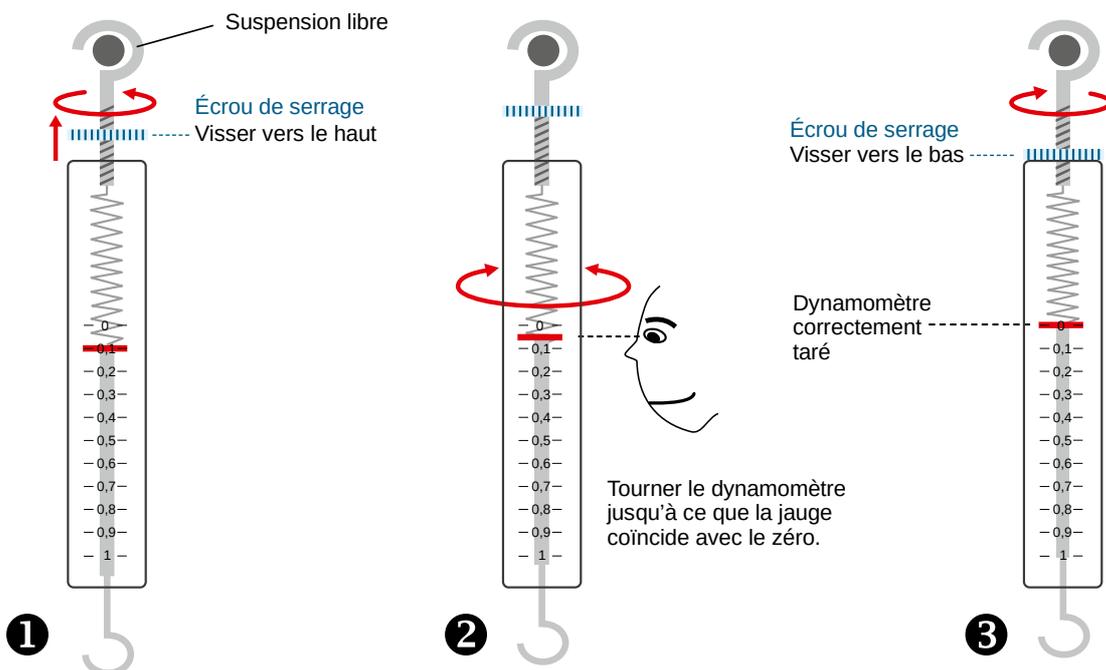


Les supports **10** sont insérés dans les deux rainures aux extrémités des rails jusqu'à l'arrêt.



Pour enlever le support, l'idéal est de retourner le rail et de pousser de manière régulière au moyen des pousses.

Ajustement du zéro du dynamomètre



M01 Dynamomètre, facteur gravifique local et poids

Un dynamomètre est utilisé adéquatement en vue de la détermination du poids d'un objet (force de gravité). A cette occasion, la signification du facteur gravifique local est introduite. Enfin, la comparaison entre les valeurs mesurées et les valeurs théoriques permettent une discussion de la précision du dynamomètre.

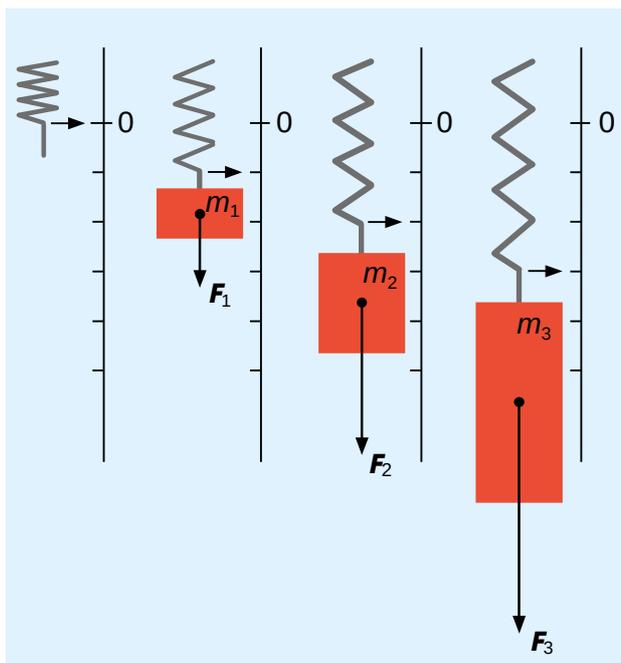
Matériel

-
- Paire de tiges à assembler 2
- Cavalier 4
- Rail, 180 mm 7
- Noix 9
- Paire de supports pour rail 10
- Axe métallique, 50 mm 13
- Masses à crochets, 50 g (3 x) .15
- Dynamomètre, 1 N..... 20
- Masse à crochets, 25 g 21
- Bagues (2 x) ...25



Montage expérimental

Insérer les supports aux deux extrémités du rail, et disposer un cavalier en son milieu. Visser les deux tiges afin d'en former une seule, et l'insérer dans le trou central du cavalier. Disposer la noix sur la tige de telle manière que la fente avec le petit orifice soit dirigée vers l'avant. Y insérer l'axe métallique et serrer la vis. Glisser les bagues sur l'axe et suspendre le dynamomètre entre elles. Ajuster le zéro du dynamomètre à vide (voir page 5). Lors de l'expérience, on suspend de plus en plus de masses à crochets au dynamomètre, et on mesure l'évolution du poids G en fonction de la masse m .



Exploitation de l'expérience

- > Mesurer le poids en fonction de la masse et noter les valeurs dans un tableau.
- > Reporter les résultats dans un graphique du poids en fonction de la masse.
- > Déterminer la pente de la droite formée par le graphique.
- > Comparer la pente obtenue avec le facteur gravifique local (voir ci-contre)
- > Compare les valeurs du poids théorique (calculé à l'aide de la loi $G = m \cdot 9,81$) avec les valeurs du poids mesuré.

Facteur gravifique local g

Berlin	9,81 N / kg
Rome	9,80 N / kg
Londres	9,81 N / kg
New York	9,80 N / kg
Bogota	9,77 N / kg
Windhoek	9,78 N / kg
Ny-Alesund	9,83 N / kg
Mt. Everest	9,76 N / kg

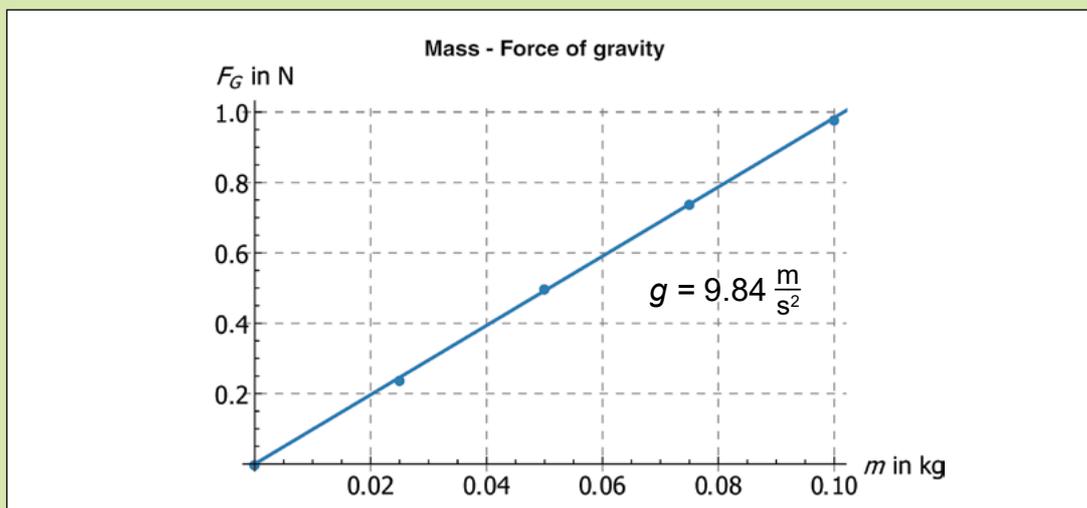
Lune	1,6 N / kg
Jupiter	23,1 N / kg

Source:

<http://www.ptb.de/cartoweb3/SISproject.php>

Exemples de résultats

Masse m en kg	0,000	0,025	0,050	0,075	0,100
Poids théorique ($G = m \cdot 9,81$) en N	0,00	0,25	0,49	0,74	0,98
Poids mesuré en N	0,00	0,24	0,50	0,74	0,98
Différence en N	0,00	0,01	0,01	0,00	0,00



M02 Loi de Hooke

Cette expérience vise à étudier l'allongement d'un ressort en fonction de la force avec laquelle on l'étire, pour de petites déformations. On en déduit la loi de l'allongement d'un ressort, ainsi que la valeur de la constante de raideur.

Matériel

- Paire de tiges à assembler 2
- Ressort cylindrique, max. 10 N 3
- Cavalier 4
- Noix 9
- Rail, 180 mm 7
- Paire de supports pour rail 10
- Axe métallique, 50 mm 13
- Masses à crochets, 50 g (3 x) .15
- Masse à crochets, 25 g 21
- Bagues (2 x) ...25

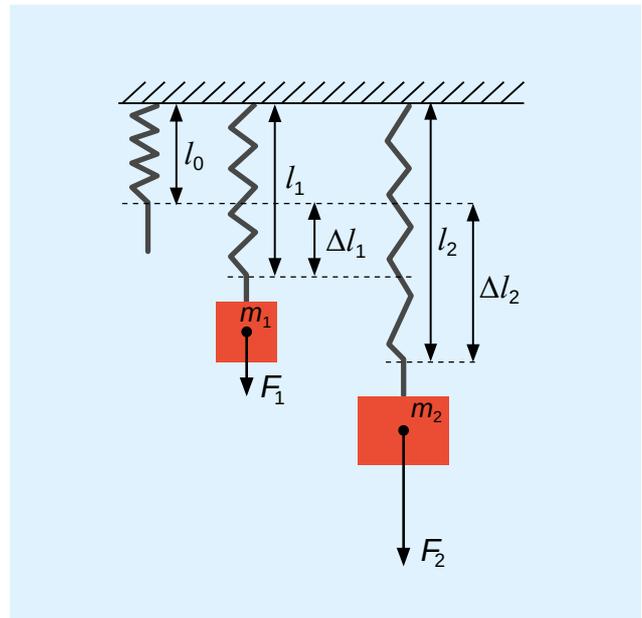
En outre nécessaire :
 Latte (30 cm) ou mètre-ruban



Montage expérimental

Insérer les supports aux deux extrémités du rail, et disposer un cavalier en son milieu. Visser les deux tiges afin d'en former une seule, et l'insérer dans le trou central du cavalier. Disposer la noix sur la tige de telle manière que la fente avec le petit orifice soit dirigée vers l'avant. Y insérer l'axe métallique et serrer la vis. Glisser les bagues sur l'axe et suspendre le ressort entre elles.

Lors de l'expérience, on suspend de plus en plus de masses à crochets au ressort, et on mesure l'évolution de sa longueur l en fonction de la force exercée F (qui correspond au poids total des masses à crochets suspendues). Ensuite, on calcule à chaque fois l'allongement $\Delta l = l - l_0$.

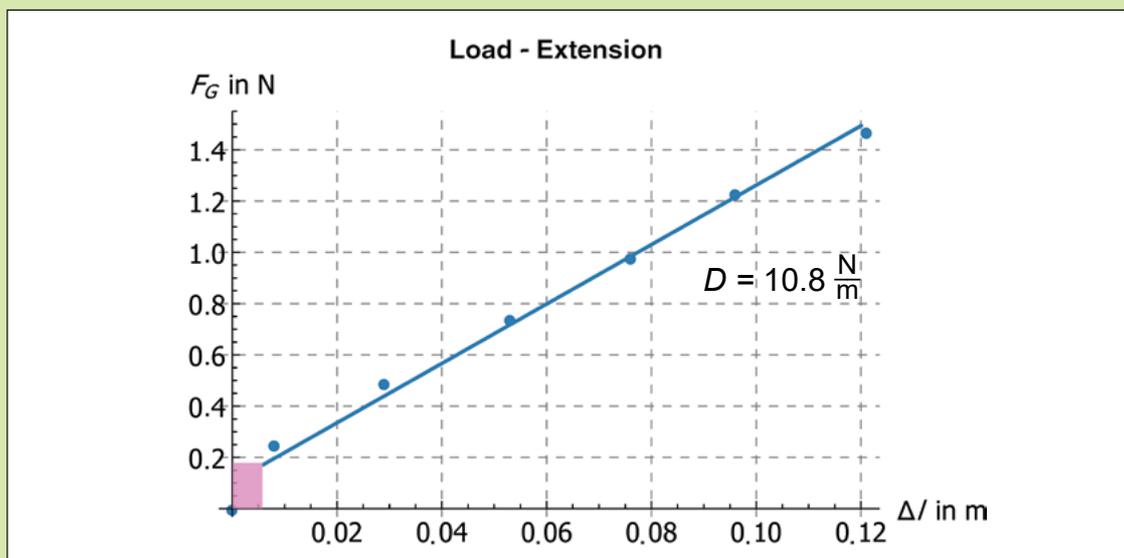


Exploitation de l'expérience

- > Mesurer la longueur initiale (au repos) du ressort, puis mesurer la longueur l du ressort en fonction de la force F exercée.
- > Reporter les résultats dans un tableau, et calculer à chaque fois l'allongement Δl du ressort.
- > Reporter les résultats dans un graphique de la force en fonction de l'allongement.
- > Tracer la droite passant le plus près possible des points de mesure et discuter le type de relation entre la force et l'allongement (proportion directe ou non).
- > Déterminer la pente de la droite formée par le graphique et en déduire la constante de raideur k du ressort en s'aidant de la relation $F = k \cdot \Delta l$.
- > Discuter le domaine de validité de la loi obtenue.

Exemples de résultats

Masse m en kg	0,000	0,025	0,050	0,075	0,100	0,125	0,150
Force F en N	0,00	0,25	0,49	0,74	0,98	1,23	1,47
Longueur l en m	0,134	0,142	0,163	0,187	0,210	0,230	0,255
Allongement Δl en m	0,000	0,008	0,029	0,053	0,076	0,096	0,121



M03 Déformations élastiques

En étudiant la déformation élastique d'une lame flexible, cette expérience montre qu'il existe des déformations qui n'évoluent pas linéairement avec la force exercée.

Matériel

Tige, 330 mm	1
Cavalier	4
Rail, 180 mm	7
Noix	9
Paire de supports pour rail	10
Ressort à lame, 150/16 mm	17
Masses à crochets, 50 g (3 x)	15
Masse à crochets, 25 g	21

En outre nécessaire :

Latte (30 cm) ou mètre-ruban



Montage expérimental

Insérer les supports aux deux extrémités du rail, et disposer un cavalier en son milieu. Insérer la tige dans le trou central du cavalier. Disposer la noix sur la tige de telle manière que la fente avec le petit orifice soit dirigée vers l'avant et soit horizontale. Y insérer l'extrémité sans trou du ressort à lame et serrer la vis.

Lors de l'expérience, on suspend de plus en plus de masses à crochets au trou de l'extrémité libre du ressort à lame, et on mesure l'évolution de la hauteur h de cette extrémité par rapport à la table en fonction de la force exercée F (qui correspond au poids total des masses à crochets suspendues). Ensuite, on calcule à chaque fois la déviation verticale $\Delta y = h_0 - h$ de cette extrémité.

Eventuellement, on peut recommencer l'expérience en changeant la longueur utile du ressort à lame, pour étudier sa déformation en fonction de sa longueur.

Les déformations élastiques

La déformation d'un objet est un effet possible de l'action d'une force, tout comme le changement d'état de son mouvement. La déformation est élastique quand l'objet reprend sa forme initiale lorsque cesse la contrainte.

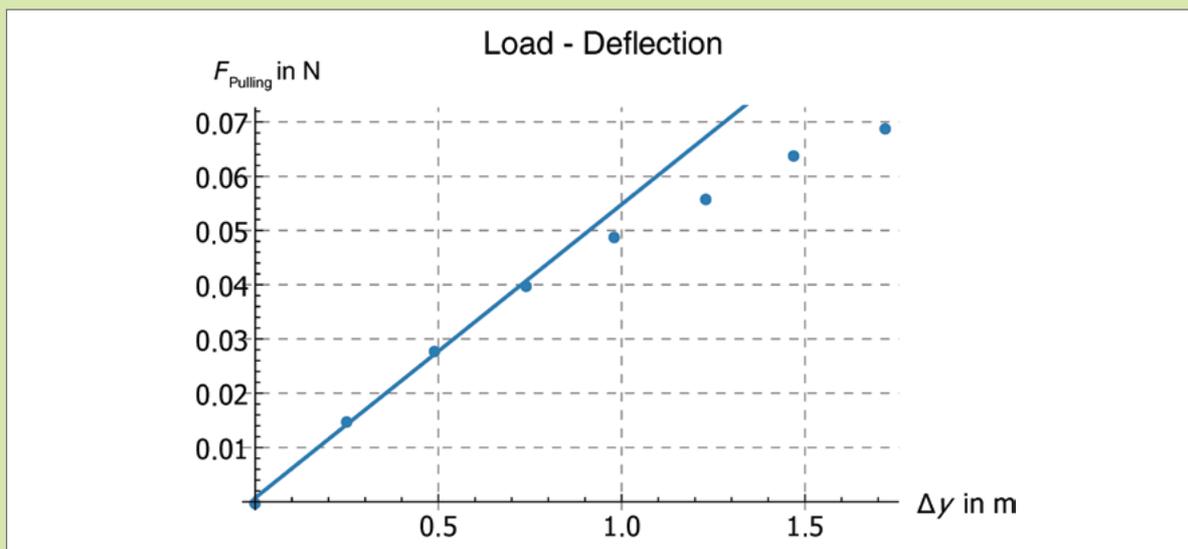
Par contre, la déformation devient plastique quand l'objet garde une déformation après la contrainte. Ce peut être le cas du ressort cylindrique ou du ressort à lame en cas de trop fortes déformations.

Exploitation de l'expérience

- > Mesurer la déviation verticale y du ressort à lame en fonction de la force F exercée.
- > Reporter les résultats dans un tableau.
- > Reporter les résultats dans un graphique de la force en fonction de la déviation.
- > Tracer la droite passant le plus près possible des premiers points de mesure et déterminer les forces pour lesquelles la déformation du ressort à lame peut être considérée comme linéaire par rapport à la force.
- > Exprimer l'évolution de la force en fonction de la déviation sous forme d'une phrase.
- > Comparer le graphique avec celui de l'allongement d'un ressort cylindrique (voir expérience M 02).
- > Éventuellement, décrire l'influence de la longueur utile de la lame.

Exemples de résultats

Masse m en kg	0,000	0,025	0,050	0,075	0,100	0,125	0,150	0,175
Force F en N	0,00	0,25	0,49	0,74	0,98	1,23	1,47	1,72
Hauteur h en m	0,300	0,285	0,272	0,260	0,251	0,244	0,236	0,231
Déviatiion Δy en m	0,000	0,015	0,028	0,040	0,049	0,056	0,064	0,069



M04 Forces colinéaires, équilibre statique

Cette expérience vise à étudier l'action conjointe de deux forces de mêmes lignes d'action, selon qu'elles ont des mêmes sens ou des sens opposés. Elle permet en outre de vérifier la relation liant deux forces de même ligne d'action et leur résultante.

La condition d'équilibre statique d'un objet sera aussi établie. Cette condition pourra éventuellement être généralisée à un objet en mouvement en ligne droite et à vitesse constante (équilibre de translation).

Matériel

- Tige, 330 mm1
- Paire de tiges à assembler 2
- Cavalier 4
- Rail, 180 mm7
- Patte de fixation sur tige...(2 x)8
- Noix(2 x)9
- Paire de supports pour rail10
- Ficelle11
- Dynamomètre, 1 N.....20
- Masses à crochet, 50 g (2 x) ...15
- Masse à crochet, 25 g21

En outre nécessaire :

- Ciseaux
- Dynamomètre supplémentaire, 1 ou 2 N

Montage expérimental

A : Composition de forces de même sens

Insérer les supports aux deux extrémités du rail, et disposer les cavaliers à proximité des deux extrémités. Visser les deux tiges à assembler afin d'en former une seule, et l'insérer dans le trou central du cavalier de gauche. Insérer la tige de 330 mm dans le trou central du cavalier de droite. Disposer les noix sur chaque tige et y attacher à chaque fois un dynamomètre au moyen d'une patte de fixation, de telle manière que les dynamomètres soient disposés à environ un cm l'un de l'autre. Ajuster le zéro des deux dynamomètres à vide (voir page 5).

Suspendre deux masses à crochets (2 x 50 g) accrochées l'une à l'autre aux deux dynamomètres au moyen de deux morceaux de ficelle d'environ 20 cm de long.

Adapter la hauteur des dynamomètres de manière à ce que le fil de droite soit relâché et lire les intensités F_1 et F_2 des forces exercées par chaque dynamomètre.



Lors de l'expérience, on monte le dynamomètre de droite en plusieurs étapes jusqu'à ce que la ficelle de gauche soit relâchée, tout en lisant à chaque fois les valeurs des forces et les reportant dans un tableau. On calcule ensuite les sommes des deux intensités : $F_1 + F_2$.

B : Composition de forces de sens opposés

Suspendre une masse à crochet (25 g) directement au dynamomètre de gauche. Prendre en main le dynamomètre de droite, le retourner (petit crochet vers le haut) et en ajuster le zéro dans cette position.

Positionner le dynamomètre de droite sous la masse à crochets de manière à ce que le fil soit relâché et lire les intensités F_1 et F_2 des forces exercées par chaque dynamomètre.

Lors de l'expérience, on descend le dynamomètre du bas en plusieurs étapes jusqu'à ce que le dynamomètre du haut arrive à sa valeur maximale (1 N), tout en lisant à chaque fois les valeurs des forces et les reportant dans un tableau. On calcule ensuite les différences des deux intensités : $F_1 - F_2$.

Exploitation de l'expérience

- > Présenter les résultats de l'expérience A dans un tableau reprenant les valeurs de la force F_1 exercée par le dynamomètre de gauche, de la force F_2 exercée par le dynamomètre de droite, de la somme $F_1 + F_2$ et de la force exercée théoriquement par le lest d'une masse totale de 100 g.
- > Présenter les résultats de l'expérience B dans un tableau reprenant les valeurs de la force F_1 exercée par le dynamomètre du haut, de la force F_2 exercée par le dynamomètre du bas, de la différence $F_1 - F_2$ et de la force exercée théoriquement par le lest d'une masse totale de 25 g.
- > Commenter la correspondance entre la somme ou la différence des forces exercées par les deux dynamomètre et la force exercée par le lest.
- > Déduire la relation entre les forces exercées par les deux dynamomètres ainsi que par le lest dans les deux cas et établir le lien avec la condition d'équilibre statique.
- > Éventuellement, examiner si ces relations sont encore valables quand l'ensemble expérimental est déplacé en ligne droite et à vitesse constante.
- > Éventuellement, examiner si ces relations sont encore valables quand les lignes d'action des forces ne sont plus les mêmes.



Exemples de résultats

A : Composition de forces de même sens

Force F_1 en N	1,00	0,80	0,60	0,38	0,30	0,11	0,00
Force F_2 en N	0,00	0,22	0,41	0,57	0,70	0,85	1,02
Somme $F_1 + F_2$ en N	1,00	1,02	1,01	0,95	1,00	0,96	1,02
Poids du lest F_{lest} en N	0,98						

B : Composition de forces de sens opposés

Force F_1 en N	0,24	0,30	0,40	0,53	0,76	0,90	1,00
Force F_2 en N	0,00	0,04	0,15	0,27	0,50	0,67	0,76
Somme $F_1 - F_2$ en N	0,24	0,26	0,25	0,26	0,26	0,23	0,24
Poids du lest F_{lest} en N	0,25						

M05 Forces concourantes

Un dynamomètre exerce une force latérale en un point d'une ficelle tendue. Ainsi, ce point subit trois forces concourantes : celle exercée par le dynamomètre et les tensions dans les parties gauches et droites de la ficelle.

Le montage permet la vérification de la loi de la résultante de forces concourantes dans de nombreuses situations.

Matériel

Tige, 330 mm	(2 x) ...	1
Paire de tiges à assembler	2	
Cavalier	(3 x) ...	4
Rail, 360 mm	6	
Noix	(3 x) ...	9
Paire de supports pour rail	10	
Ficelle	11	
Axe métallique, 50 mm	(3 x) ..	13
Poulies, diam. 43 mm	(2 x) ..	16
Masses à crochets, 50 g ...	(2 x) ..	15
Dynamomètre, 1 N.....	20	
Bagues	(4 x) ...	25

En outre nécessaire :

Rapporteur

Montage expérimental

Insérer les supports aux deux extrémités du rail, et disposer les trois cavaliers sur celui-ci. Visser les deux tiges à assembler afin d'en former une seule, et l'insérer dans le trou central du cavalier du milieu. Disposer une noix sur la tige de telle manière que la fente avec le petit orifice soit dirigée vers l'avant. Y insérer un axe métallique et serrer la vis. Suspendre à cet axe le dynamomètre et en ajuster le zéro.

Insérer les tiges de 330 mm dans le trou central des deux autres cavaliers de droite. Disposer une noix sur chacune de ces tiges de telle manière que la fente avec le petit orifice soit dirigée vers l'avant. Y insérer les deux autres axes métalliques et serrer à chaque fois la vis. Disposer les poulies entre deux bagues sur chacun de ces axes.



Nouer deux boucles aux extrémités d'une ficelle de 60 cm, la déposer sur les deux poulies et suspendre une masse à crochets à chaque extrémité. Faire une troisième boucle à un endroit quelconque de la ficelle entre les deux poulies et y accrocher le dynamomètre de telle manière qu'il tire vers le haut sur le nœud ainsi formé.

A l'aide du rapporteur, mesurer les angles formés entre les différentes parties de la ficelle tirant sur le nœud central (la partie de la ficelle passant dans la poulie de gauche, celle passant dans la poulie de droite et celle accrochée au dynamomètre). En déduire les orientations des forces F_1 , F_2 et F_3 respectivement exercées par la partie gauche de la ficelle, le dynamomètre et la partie droite de la ficelle. Relever en outre la valeur F_2 de la force exercée par le dynamomètre.

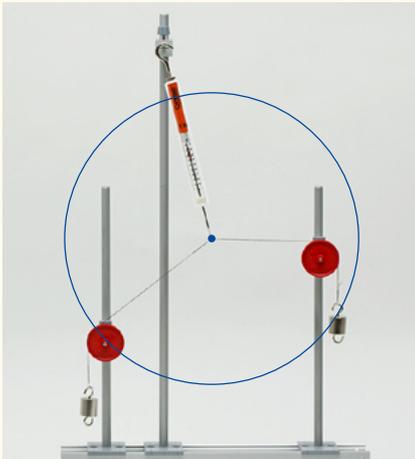
Déplacer les poulies ou le dynamomètre verticalement ou horizontalement pour obtenir une nouvelle configuration.

Exploitation de l'expérience

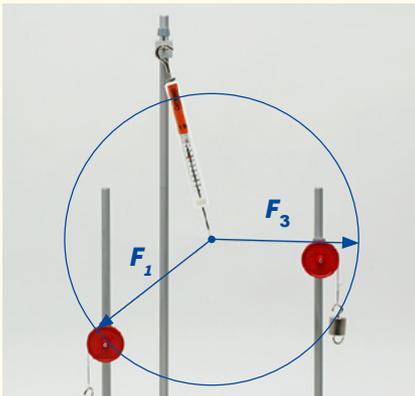
- Tracer les vecteurs représentant les trois forces s'exerçant sur le nœud central sur une feuille, et vérifier si leur résultante est nulle au moyen de la méthode du polygone de Varignon. Justifier le résultat obtenu à l'aide de la condition d'équilibre statique d'un objet.
- On peut aussi rechercher la résultante de deux des forces au moyen de la méthode du parallélogramme et montrer qu'elle est opposée à la troisième force. Justifier le résultat obtenu à l'aide de la condition d'équilibre statique d'un objet.

Exemples de résultats (à l'aide d'un logiciel de dessin géométrique)

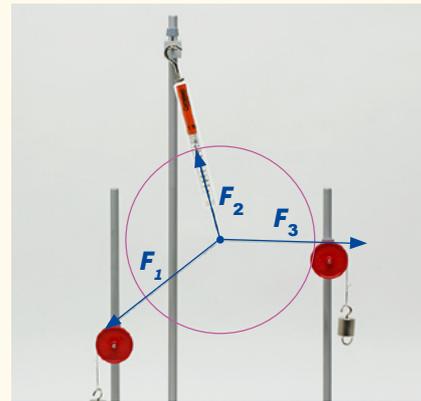
1. Importer la photo.
2. Marquer le point correspondant au nœud central.
3. Tracer un cercle de rayon approprié centré en ce point (par ex. $r = 4.9$ pour 0.49 N).



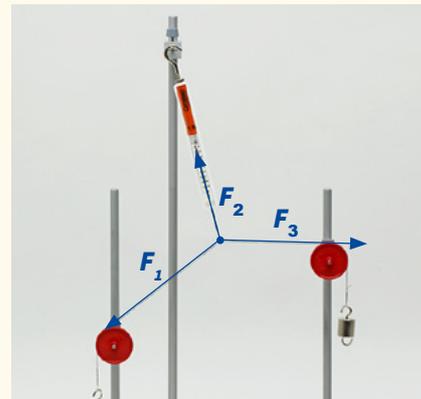
4. Construire deux droites correspondant aux parties gauche et droite de la ficelle.
5. Marquer les points où ces droites croisent le cercle.
6. Définir les vecteurs F_1 et F_3 entre le centre et les points de croisement.



7. Dessiner un autre cercle concentrique et de rayon correspondant à la valeur de la force F_2 (par ex. $r = 3.2$ si on mesure une force de 0.32 N).
8. Construire une droite correspondant à l'orientation de la force exercée par le dynamomètre.
9. Marquer le point où cette droite croise le cercle.
10. Définir le vecteur F_2 entre le centre et le point marqué.



11. Relever les composantes des trois vecteurs et les additionner.



$$\begin{pmatrix} -3,9 \\ -3,0 \end{pmatrix} + \begin{pmatrix} -0,8 \\ 3,1 \end{pmatrix} + \begin{pmatrix} 4,9 \\ 0 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 0,2 \\ 0,1 \end{pmatrix}$$

$F_1 \quad F_2 \quad F_3 \quad F_{tot}$

12. Déterminer la norme de la résultante F_{tot} et conclure.

Dans notre exemple, cette norme vaut :

$$\sqrt{(0.02 \text{ N})^2 + (0.01 \text{ N})^2} \approx 0.022 \text{ N} \approx 0.$$

La condition d'équilibre statique est ainsi confirmée.

M06 Forces subies par un mobile sur un plan incliné

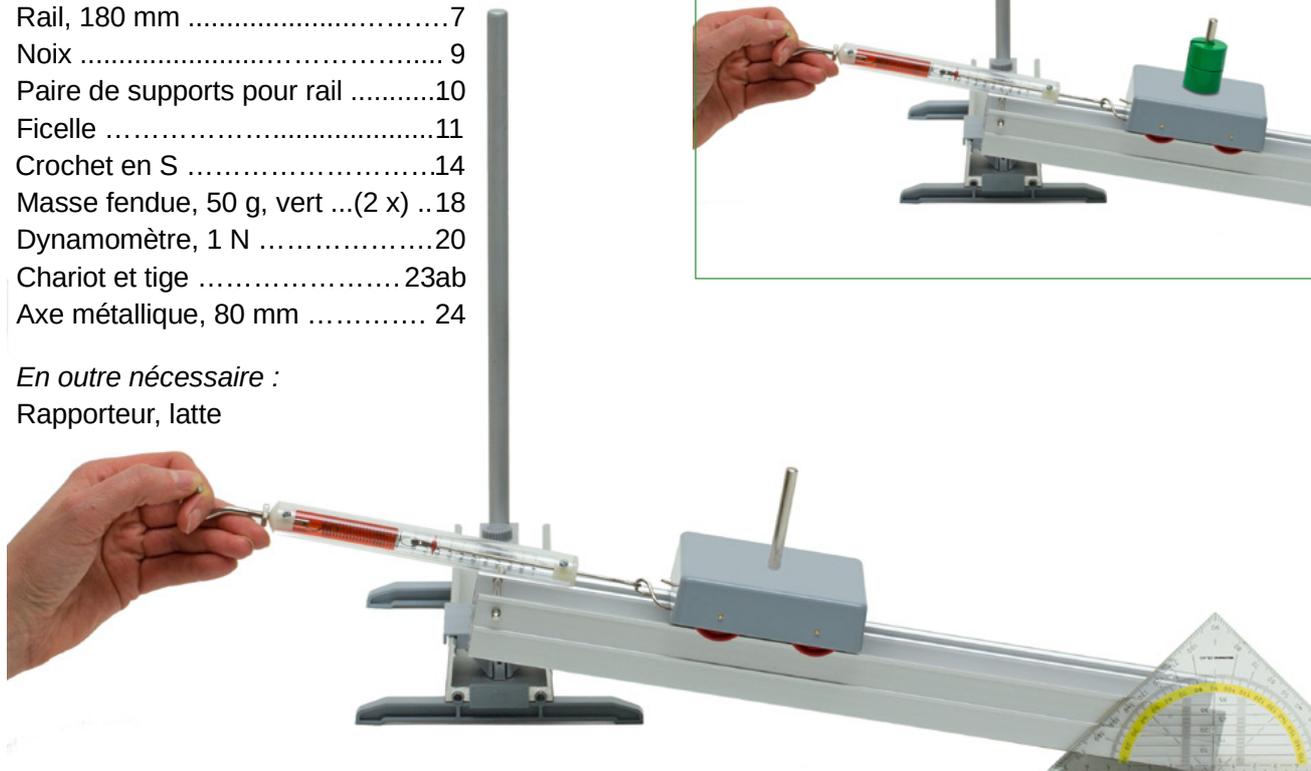
Cette expérience permet d'examiner l'influence de différents facteurs sur la force de retenue, ainsi que sur la résistance du plan incliné.

Matériel

Tige, 330 mm	1
Cavalier	4
Rail, 360 mm	6
Rail, 180 mm	7
Noix	9
Paire de supports pour rail	10
Ficelle	11
Crochet en S	14
Masse fendue, 50 g, vert ... (2 x) ..	18
Dynamomètre, 1 N	20
Chariot et tige	23ab
Axe métallique, 80 mm	24

En outre nécessaire :

Rapporteur, latte



Montage expérimental

Insérer les supports aux deux extrémités du petit rail, disposer le cavalier près d'une de ses extrémités et insérer la tige dans son trou central. Disposer une noix sur la tige de telle manière que la fente avec le petit orifice soit dirigée vers l'autre côté du rail. Y insérer l'axe métallique et serrer la vis. A présent, l'axe peut être introduit dans les deux trous du grand rail. Éventuellement, placer une protection sous l'arrête du grand rail pour éviter d'endommager le plan de travail.

L'angle d'inclinaison α du plan incliné par rapport à l'horizontale peut être modifié en déplaçant la noix de fixation le long de la tige verticale.

Visser la petite tige au chariot en disposant l'écrou par dessous, puis le disposer sur le plan incliné et l'accrocher au dynamomètre, éventuellement au moyen du crochet en S.

Quand le chariot peut rouler sans frottements et le dynamomètre est bien parallèle au rail, il indique la valeur de la force de retenue subie par le chariot à l'équilibre.

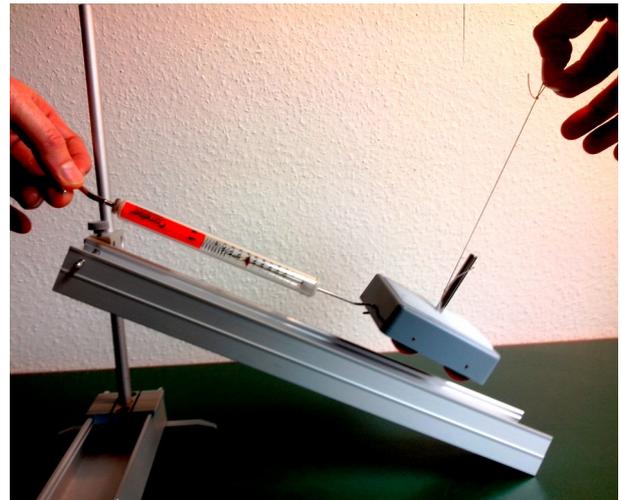
Dans l'expérience, on examine tout d'abord l'influence de l'angle d'inclinaison α du plan incliné sur la force de retenue.

Ensuite, on recommence l'expérience en alourdissant le chariot (par exemple à l'aide de deux masses fendues de 2 x 50 g), pour examiner l'influence du poids du chariot. Ajuster le zéro du dynamomètre à chaque changement de l'angle d'inclinaison !

Pour déterminer les caractéristiques de la résistance du plan incliné sur le chariot, nouer deux boucles aux extrémités d'une ficelle d'environ 30 cm. Bloquer une de ces boucles à la base de la petite tige sur le chariot (dévisser légèrement la tige, et puis la revisser pour pincer la boucle). Incliner le plan à un angle d'environ 30°, et mesurer la force de retenue au moyen du dynamomètre. Ensuite, soulever légèrement le chariot en tirant sur la ficelle, de telle manière que le chariot ne touche plus le rail, et que le dynamomètre exerce toujours la même force de retenue (voir illustration page suivante).

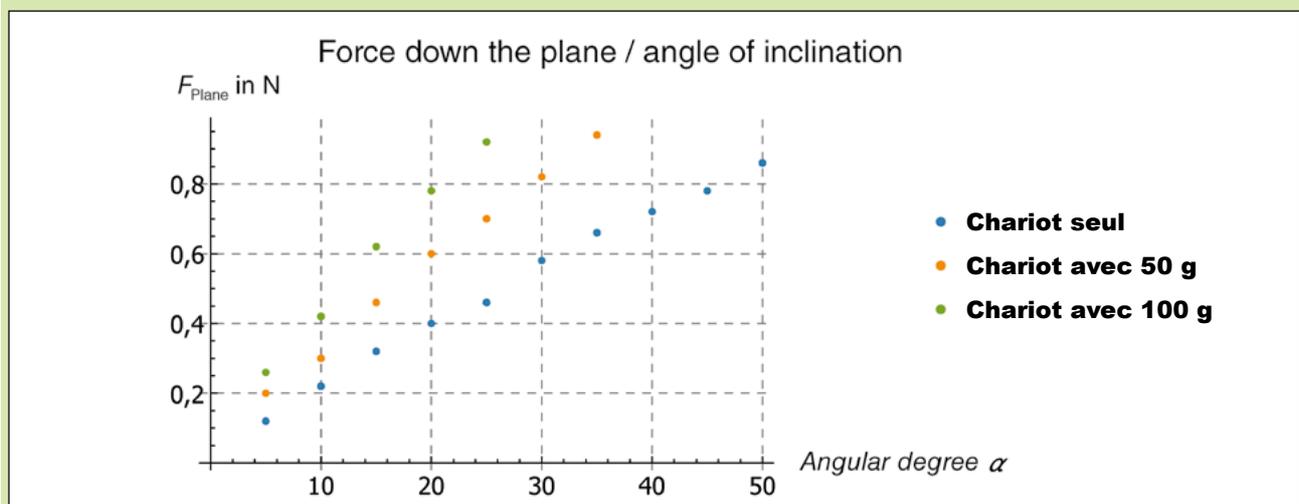
Exploitation de l'expérience

- Mesurer la valeur du poids G du chariot muni de la tige vissée.
- Mesurer la valeur de la force de retenue F à exercer sur le chariot à l'équilibre en fonction de l'angle d'inclinaison α du plan incliné, et reporter les valeurs dans un tableau.
- Tracer le graphique de la valeur de la force de retenue en fonction de l'angle d'inclinaison et discuter la forme du graphe obtenu.
- Discuter pour quel angle d'inclinaison la force de retenue atteint sa valeur maximale, et à quoi elle correspond.
- Ajouter une (deux) masses-fendues de 50 g, au chariot et recommencer les mesures.
- Déterminer les caractéristiques de la force de résistance R du plan sur le chariot.
- Pour une certaine configuration, tracer le schéma de la situation à l'échelle. Sur base du polygone de Varignon, ajouter les vecteurs des trois forces subies par le chariot.
- Proposer une relation entre les valeurs de G , de F , la longueur l du plan et sa hauteur h .
- Éventuellement, proposer une relation entre les valeurs de G , de F et de l'angle d'inclinaison α du plan.



Exemples de résultats

α	5°	10°	15°	20°	25°	30°	35°	40°	45°	50°	55°	60°	65°	70°	90°
F_1 en N	0,12	0,22	0,32	0,40	0,46	0,58	0,66	0,72	0,78	0,86	0,86	0,90	0,92	0,94	1,02
F_2 en N	0,20	0,32	0,46	0,60	0,70	0,82	0,94	x	x	x					1,51
F_3 en N	0,26	0,42	0,62	0,78	0,92	x	x	x	x	x					2,00
F_2 / F_1	1,67	1,45	1,44	1,50	1,52	1,41	1,42	$\emptyset = 1,49$							
F_3 / F_1	2,17	1,91	1,94	1,95	2,00			$\emptyset = 1,99$							



M07 Modélisation d'une situation d'équilibre statique

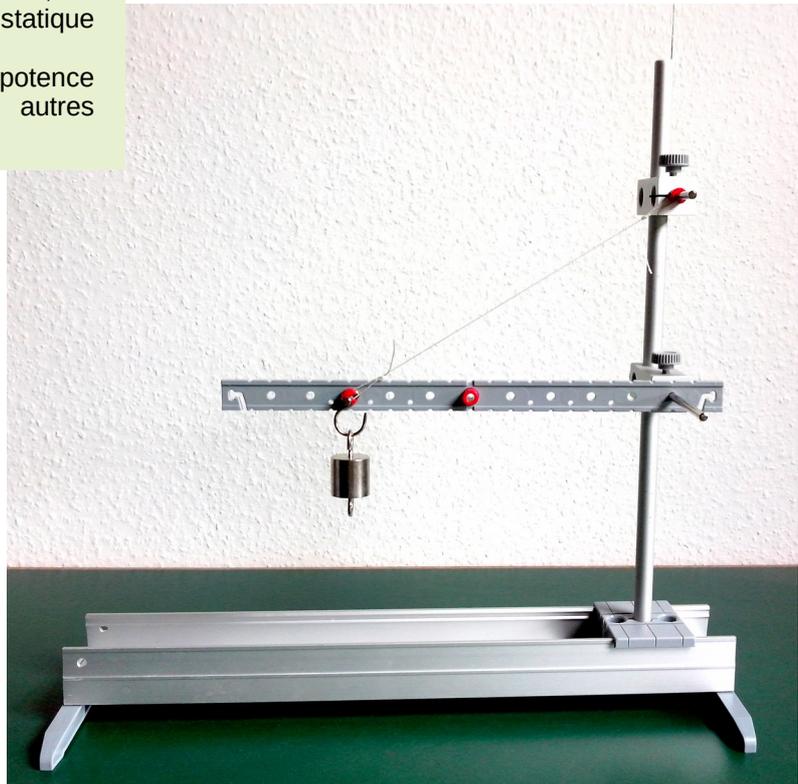
Une situation réelle où un point soumis à plusieurs forces concourantes est en équilibre statique peut aisément être reproduite à l'échelle à l'aide de plusieurs bras de levier.

On pourra distinguer les forces de traction des forces de poussée, et mesurer l'orientation ainsi que l'intensité des différentes forces. Ainsi, on pourra illustrer la condition d'équilibre statique d'un objet.

La situation choisie ici est celle de la potence suspendue, mais de nombreuses autres situations peuvent être modélisées.

Matériel

Tige, 330 mm	(2 x) ...	1
Cavalier	(2 x) ...	4
Rail, 360 mm	6	
Noix	(3 x)	9
Paire de supports pour rail	10	
Ficelle	11	
Axe métallique, 50 mm	(3 x) ..	13
Crochet en S	(2 x) ..	14
Masse à crochets, 50 g	(2 x) ..	15
Bras de levier	19	
Dynamomètre, 1 N.....	20	
Axe métallique, 80 mm.....	24	
Bagues	(4 x) ...	25



En outre nécessaire :

Latte, ciseaux

Éventuellement utile : un dynamomètre (2 N) et un bras de levier supplémentaire

Montage expérimental, observations qualitatives

Insérer les supports aux deux extrémités du rail, et disposer un cavalier près de son extrémité droite. Insérer la tige dans le trou central du cavalier. Disposer deux noix sur la tige de telle manière que leur fente avec le petit orifice soit dirigée vers l'avant et soit horizontale. Insérer un axe métallique (80 mm) (point A) dans la noix la plus haute, serrer la vis et y glisser une bague jusqu'à environ 1 cm de la noix.

Faire passer des axes métalliques (50 mm) dans les avant-derniers trous aux deux extrémités du bras de levier. Fixer un de ces axes à la noix la plus basse (point B) et serrer la vis. Enfiler deux bagues sur l'autre axe (point O) du bras de levier. Ensuite, nouer deux boucles aux extrémités d'une ficelle d'environ 35 cm, faire passer une des boucles par l'axe de la noix haute (point A), et l'autre par l'axe situé à l'extrémité libre du bras de levier (point O), puis ajuster les positions des deux noix afin de rendre le bras de levier horizontal.

Notons qu'on peut remplacer la ficelle par un deuxième bras de levier, ce qui a l'avantage de rendre la configuration plus facilement modifiable et de faciliter la mesure des forces.

Enfin, suspendre une masse à crochets au point O du bras de levier au moyen d'un crochet en S. Le point O reste alors à l'équilibre tout en étant soumis à trois forces :

- la force F_A exercée par le point A par l'intermédiaire de la ficelle,
- la force F_B exercée par le point B par l'intermédiaire du bras de levier,
- la force F_G exercée par la masse à crochets.

On peut rechercher l'orientation de F_A en prenant en main la boucle de la ficelle attachée à l'axe de la noix haute. De manière comparable, on peut rechercher l'orientation de F_B en détachant l'extrémité du bras de levier de la tige verticale et en la manipulant.

Observations quantitatives

Constituer tout d'abord un repère pour le point O en plaçant un deuxième cavalier sur le rail, à la verticale du point O. Y insérer une tige, et munir celle-ci d'une noix et d'un axe métallique (50 mm) (point R). Ajuster l'ensemble pour que le point R arrive bien en face du point O, sans qu'ils ne se touchent (voir illustration 1).

Pour mesurer la force F_A exercée par la ficelle, enlever celle-ci et tirer sur l'axe du point O au moyen du dynamomètre, en veillant à ce que celui-ci soit bien dirigé vers le point A, et que le point O reste bien en face du repère R. Relever tout d'abord la valeur de la force en ayant préalablement enlevé la masse à crochets (voir illustration 2), puis la valeur de la force en l'ayant remise en place (voir illustration 3). La valeur de la force F_A est la différence entre les valeurs mesurées avec charge et à vide. Notons que selon les conditions du montage, il sera peut-être nécessaire d'utiliser un dynamomètre d'un plus grand calibre (2 N, voire 5N) et/ou de suspendre deux masses à crochets au point O, pour atteindre une masse totale de 100 g.

Pour mesurer la force F_B exercée par le bras de levier, détacher entièrement celui-ci et tirer directement sur le crochet en S (sans l'axe O en place) relié à la ficelle moyen du dynamomètre, en veillant à ce que celui-ci soit bien horizontal, et que le haut du crochet en S reste bien en face du repère R. Relever la valeur de la force sans la masse à crochets, puis la valeur de la force avec masse à crochets (voir illustration 4). La valeur de la force F_B est la différence des deux valeurs.

Enfin, la valeur de la force exercée par la masse à crochets s'obtient grâce à la loi $F_G = m.g$ où m est sa masse.

Pour pouvoir schématiser la situation, on peut en faire une photo et l'importer dans un PC pour la traiter au moyen d'un logiciel approprié, ou relever les distances entre les points A, B et O.

Exploitation de l'expérience

- > Énumérer les différentes forces qui s'exercent sur le point O, en préciser les orientations et justifier.
- > Schématiser la situation à l'échelle.
- > Représenter les vecteurs force s'exerçant sur le point O à l'échelle.
- > Vérifier la condition d'équilibre statique du point O.
- > Justifier la manière de déterminer la valeur des forces F_A et F_B à partir de la différence entre la force en présence de la masse à crochets et de la force sans sa présence.
- > Proposer des modélisations d'autres situations où un point fixe est soumis à trois, voire quatre forces concourantes.



Illustration 1

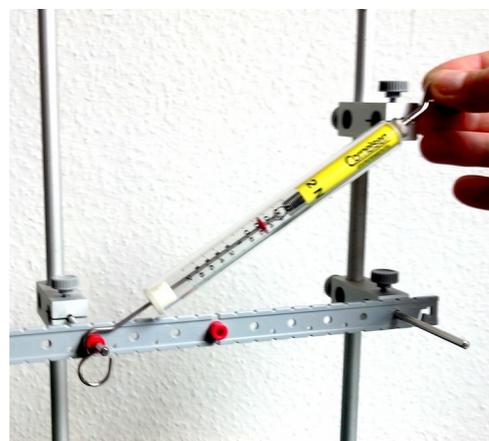


Illustration 2

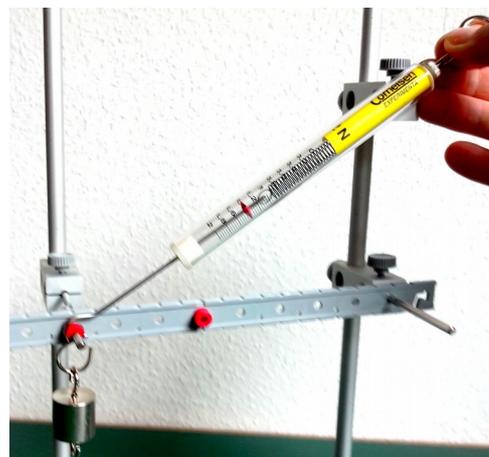


Illustration 3

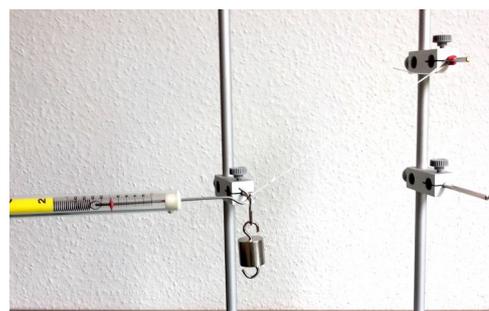


Illustration 4

M08 Moment de force, équilibre de rotation

Les lois des leviers inter-appuis d'une part, et des leviers inter-moteurs et inter-résistants d'autre part seront développée. Le concept de moment d'une force pourra alors être introduit.

Matériel

- Tige, 330 mm1
- Cavalier4
- Rail, 180 mm7
- Noix 9
- Paire de supports pour rail10
- Axe métallique, 50 mm13
- Crochet en S (2 x) ..14
- Masse à crochets, 50 g (3 x) ..15
- Masse à crochets, 25 g21
- Bras de levier19
- Dynamomètre, 1 N.....20
- Bagues (3 x) ...25

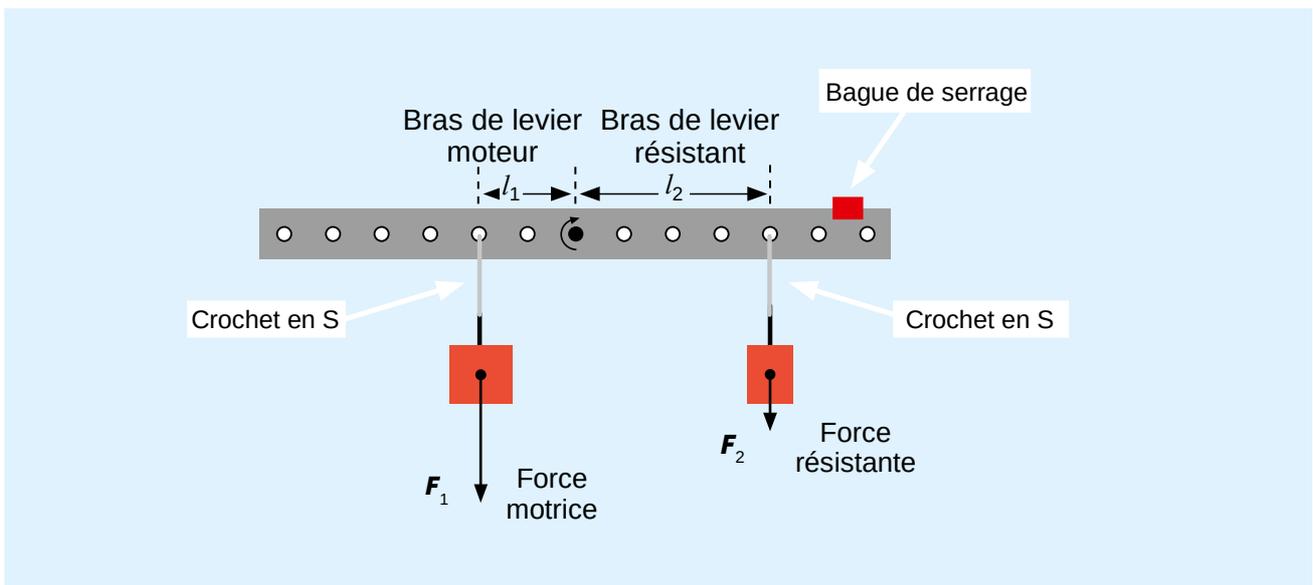


Montage expérimental

A : Levier inter-appui

Insérer les supports aux deux extrémités du rail, disposer le cavalier sur celui-ci, et insérer la tige dans le trou central. Disposer une noix sur la tige de telle manière que la fente avec le petit orifice soit dirigée vers l'avant. Y insérer un axe métallique et serrer la vis. Accrocher le bras de levier à l'axe par l'intermédiaire de son trou central.

Ajouter deux bagues à l'axe pour maintenir le bras de levier tout en lui permettant de tourner librement. Au besoin, glisser une bague sur le bras de levier pour l'équilibrer. Dans l'expérience, on mesure la force motrice F_1 et le bras de levier moteur l_1 en fonction de la force résistante F_2 et du bras de levier résistant l_2 .

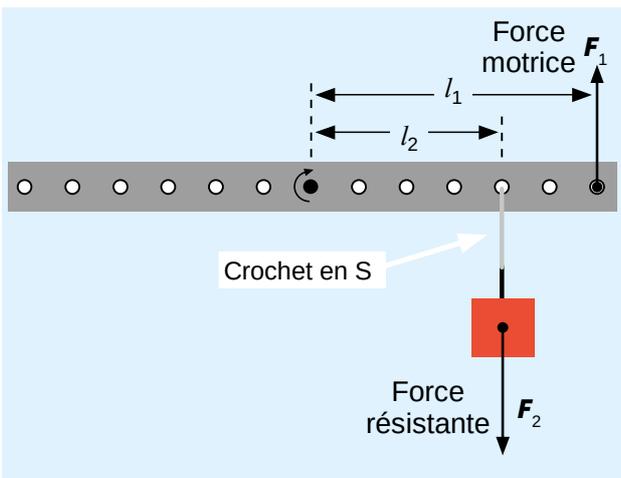


B : Leviers inter-moteur et inter-résistant

Réaliser un montage identique que pour le levier inter-appui (voir page 18).

Accrocher le dynamomètre dont le zéro a été préalablement ajusté à la position choisie du bras de levier. Suspendre ensuite une masse à crochets à un trou intermédiaire du bras de levier par l'intermédiaire d'un crochet en S. Tenir le dynamomètre de telle manière qu'il soit sans cesse perpendiculaire au bras de levier horizontal.

Dans cette expérience, on mesure aussi la force motrice F_1 et le bras de levier moteur l_1 en fonction de la force résistante F_2 et du bras de levier résistant l_2 .



Exploitation de l'expérience

- > Justifier l'appellation de levier inter-appui pour l'expérience A.
- > Dans le cas du levier inter-appui, relever les valeurs des forces et des distances dans 5 configurations où le bras de levier est à l'équilibre, et les reporter dans un tableau du type :

F_1 en N	l_1 en m	M_1 en N.m	F_2 en N	l_2 en m	M_2 en N.m

- > Sur base de ces résultats, proposer une loi rendant compte de l'équilibre d'un levier inter-appui.
- > Vérifier si la loi proposée reste encore valable avec trois moments de force en suspendant une masse à crochets supplémentaire à un troisième point du bras de levier.
- > Répondre aux mêmes questions pour le levier inter-résistant de l'expérience B.
- > Construire un levier inter-moteur, et vérifier à nouveau si la loi proposée peut rendre compte de son équilibre.
- > Construire un levier modélisant un pied de biche, une des branches d'un casse-noix...
- > Éventuellement, examiner de quelle manière le moment d'une force est modifié quand la force n'est plus exercée perpendiculairement au bras de levier.
- > Comparer les fonctions de la pièce rectiligne appelée « bras de levier » dans cette expérience et dans l'expérience M06 (Modélisation d'une situation d'équilibre statique).

Moment d'une force

Dans le cas où une force est exercée perpendiculairement sur un bras de levier pouvant tourner autour d'un point d'appui, le moment M d'une force F est le produit de la valeur de la force par la longueur l du bras de levier.

Par convention, le moment est positif si, du point de vue de l'observateur, le moment provoque un mouvement horloger du bras de levier, et négatif s'il provoque un mouvement antihorloger :

$$M = (\pm) F.l$$

M09 Centre de gravité et équilibre

Le centre de gravité, ou plutôt l'axe de gravité, d'une plaque de forme quelconque est déterminé. Ensuite, l'équilibre statique de la forme est examiné.

Matériel

Tige, 330 mm	1
Cavalier	4
Rail, 180 mm	7
Noix	9
Paire de supports pour rail	10
Ficelle	11
Axe métallique, 50 mm	13
Masse à crochets, 50 g	15
Bagues	25

En outre nécessaire :
Ciseaux, carton (gros bristol), perforatrice



Montage expérimental

Insérer les supports aux deux extrémités du rail, disposer le cavalier sur celui-ci, et insérer la tige dans le trou central. Disposer une noix sur la tige de telle manière que la fente avec le petit orifice soit dirigée vers l'avant. Y insérer un axe métallique et serrer la vis.

Découper une forme irrégulière dans un morceau de carton (voir exemple de forme ci-dessous), et y perforer des trous proche des angles. Suspendre la forme par un des trous à l'axe métallique.

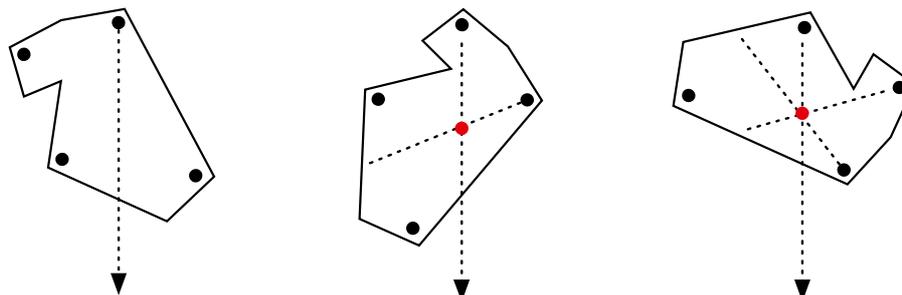
Nouer des boucles aux extrémités d'une ficelle de 30 cm. En accrocher une des boucles à l'axe métallique et suspendre la masse à crochets à l'autre extrémité. Glisser une bague sur l'axe pour éviter que le fil à plomb ainsi formé ne glisse.

Marquer la trace du fil à plomb sur le carton. Répéter cette opération en suspendant le carton à chacun de ses trous et repérer l'intersection des lignes tracées.

Exploitation de l'expérience

- > Vérifier si l'intersection des lignes du fil à plomb correspond à un point spécial au niveau de l'équilibre statique de la forme.
- > Justifier l'appellation de centre de gravité pour le point trouvé.
- > Interpréter la technique appliquée pour la détermination du centre de gravité en terme d'équilibre de moments de force.
- > Proposer une technique permettant de déterminer le centre de gravité pour un solide complexe, dont la constitution n'est pas homogène comme le carton utilisé.

Exemples de résultats

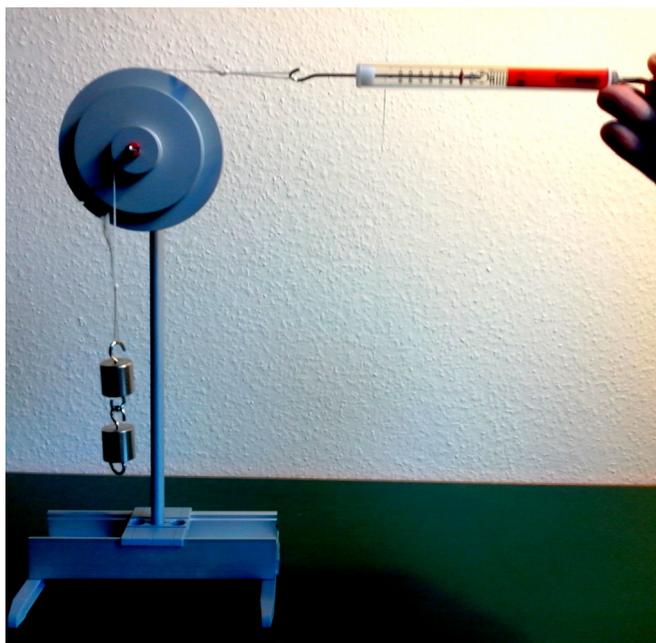


M10 Poulie étagée

Les poulies étagées permettent la modélisation des treuils et des manivelles. Dans cette expérience, leur fonctionnement est interprété à la fois à l'aide des lois de l'équilibre des leviers, ainsi qu'à l'aide de la notion de travail d'une force.

Matériel

Tige, 330 mm	1
Cavalier	4
Rail, 180 mm	7
Noix	9
Paire de supports pour rail	10
Ficelle	11
Dynamomètre (1 N)	20
Masse à crochets, 50 g (2 x) ...	15
Axe métallique, 80 mm	24
Bagues	(2 x) ...25



En outre nécessaire :

Poulie étagée (n° de commande 43131), latte (ou pied à coulisse)

Montage expérimental

Insérer les supports aux deux extrémités du rail, disposer le cavalier sur celui-ci, et insérer la tige dans le trou central. Disposer une noix sur la tige de telle manière que la fente avec le petit orifice soit dirigée vers l'avant. Y insérer un axe métallique et serrer la vis.

Glisser successivement une bague, la poulie étagée, puis la deuxième bague sur l'axe métallique.

Nouer des boucles aux extrémités d'une ficelle d'environ 1 m. Suspendre les deux masses à crochets à une des boucles, faire passer la ficelle en plusieurs boucles sur la plus petite poulie, puis sur la plus grande en la faisant passer par les entailles d'arrêt, afin d'éviter que la ficelle ne glisse. Accrocher le dynamomètre dont le zéro a été préalablement ajusté à l'autre extrémité de la ficelle. Relever la force sur le dynamomètre à l'équilibre. Mesurer en outre les diamètres des différentes poulies.

Exploitation de l'expérience

- > Comparer la situation de l'expérience avec un levier inter-résistant.
- > Rechercher les applications concrètes de la poulie étagée.
- > Relever la valeur de la force motrice F_1 et du bras de levier moteur l_1 , ainsi que celle de la force résistante F_2 et du bras de levier résistant l_2 , et vérifier si ces valeurs obéissent à la loi de l'équilibre des leviers.
- > Vérifier si les résultats obtenus dépendent du nombre d'enroulements de la ficelle autour de la poulie, et de l'orientation du dynamomètre (en réajuster le zéro lors de tout changement d'orientation). Discuter les avantages et les défauts de la poulie étagée par rapport au levier inter-résistant.
- > Vérifier si les résultats obtenus changent quand on hisse la charge à vitesse constante.
- > Calculer les circonférences des deux poulies utilisées, et comparer le travail de la force exercée par l'opérateur au travail de la force exercée sur la charge quand on soulève la charge en faisant tourner les poulies d'exactly un tour.
- > Configurer la poulie étagée pour construire une situation correspondant à un levier inter-moteur.
- > Discuter du sens qu'il y aurait à tenter de construire une situation correspondant à un levier inter-appui.

M11 Poulie fixe

La poulie fixe est un cas particulier de machine simple. Son fonctionnement illustre l'égalité entre le travail de la force exercée par l'opérateur et le travail de la force exercé sur la charge.

Matériel

- Paire de tiges à assembler 2
- Cavalier 4
- Rail, 180 mm 7
- Patte de fixation sur tige 8
- Noix (2 x) 9
- Paire de supports pour rail 10
- Ficelle 11
- Axe métallique, 50 mm 13
- Poulie, diam. 43 mm 16
- Masses à crochets, 50 g ... (3 x) ..15
- Masse à crochets, 25 g 21
- Dynamomètre, 1 N..... 20
- Bagues (2 x) ... 25

En outre nécessaire : Latte

Montage expérimental

Insérer les supports aux deux extrémités du rail, disposer le cavalier sur celui-ci. Visser les deux tiges afin d'en former une seule, et l'insérer dans le trou central du cavalier. Disposer les deux noix sur la tige comme indiqué sur l'illustration. Fixer le dynamomètre dont le zéro a été préalablement ajusté à la noix inférieure au moyen de la patte de fixation. Insérer l'axe métallique dans le petit orifice de la noix supérieure et serrer la vis. Glisser successivement une bague, la poulie, puis la deuxième bague sur l'axe métallique. Nouer deux boucles aux extrémités d'une ficelle d'environ 30 cm. La poser sur la poulie, accrocher à son extrémité de droite une masse à crochets, et à son extrémité de gauche le dynamomètre.



Exploitation de l'expérience

- Dans quatre situations différentes de hissage à vitesse constante (déplacements, lests), déterminer les valeurs de la force F_1 exercée sur le lest et de la force F_2 exercée par le dynamomètre, ainsi que le déplacement d_1 du dynamomètre et le déplacement d_2 de la charge, et reporter les valeurs dans un tableau du genre :

F_1 en N	d_1 en m	W_1 en N.m	F_2 en N	d_2 en m	W_2 en N.m

- Comparer le travail de la force exercée par l'opérateur au travail de la force exercée sur la charge dans les quatre situations.
- Discuter les avantages que procure une poulie fixe dans le hissage d'un lest.

M12 Poulie mobile

La poulie mobile est une machine simple dont l'avantage mécanique vaut deux. Son fonctionnement est interprété à l'aide de la notion de travail d'une force.

Matériel

Tige, 330 mm	1
Paire de tiges à assembler	2
Cavalier	4
Rail, 180 mm	7
Noix	9
Paire de supports pour rail	10
Ficelle	11
Poulie à crochet, diam. 43 mm	22
Masses à crochets, 50 g ... (3 x) ..	15
Masse à crochets, 25 g	21
Dynamomètre, 1 N.....	20

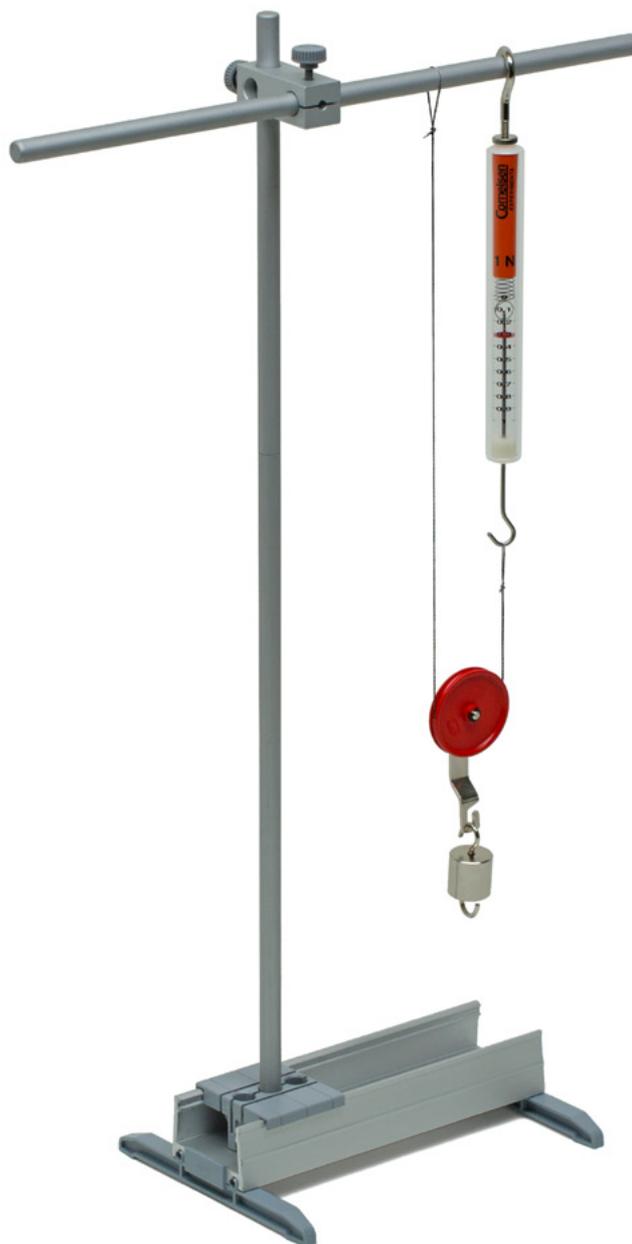
En outre nécessaire : Latte

Montage expérimental

Insérer les supports aux deux extrémités du rail, disposer le cavalier sur celui-ci. Visser les deux tiges afin d'en former une seule, et l'insérer dans le trou central du cavalier. Y fixer la tige de 330 mm horizontalement au moyen d'une noix.

Nouer deux boucles aux extrémités d'une ficelle d'environ 60 cm. En faire passer une boucle dans la tige horizontale, et accrocher l'autre extrémité au dynamomètre lui-même suspendu à la tige. Faire passer la ficelle dans la poulie à crochet et y suspendre un lest. Ajuster le montage de manière à ce que les portions de ficelle de part et d'autre de la poulie soient parallèles entre eux.

Tenir compte du poids de la poulie à crochet lors de la mesure du poids du lest, ou ajuster le zéro du dynamomètre en ôtant le lest de la poulie à crochet.



Exploitation de l'expérience

- Dans quatre situations différentes de hissage à vitesse constante (déplacements, lests), déterminer les valeurs de la force F_1 exercée sur le lest et de la force F_2 exercée par le dynamomètre, ainsi que le déplacement d_1 du dynamomètre et le déplacement d_2 de la charge, et reporter les valeurs dans un tableau du genre :

F_1 en N	d_1 en m	W_1 en N.m	F_2 en N	d_2 en m	W_2 en N.m

- Comparer le travail de la force exercée par l'opérateur au travail de la force exercée sur la charge dans les quatre situations.
- Commenter les différences entre les forces et les déplacements, en relation avec le nombre de portions de ficelle qui portent le lest.
- Discuter les avantages que procure une poulie mobile.

M13 Palan

Le palan est une machine simple dont l'avantage mécanique vaut plus que deux. Son fonctionnement est interprété à l'aide de la notion de travail d'une force.

Matériel

- Tige, 330 mm1
- Paire de tiges à assembler 2
- Cavalier (2 x) ...4
- Rail, 180 mm7
- Patte de fixation sur tige 8
- Noix (2 x) ... 9
- Paire de supports pour rail10
- Ficelle11
- Axe métallique, 50 mm13
- Masses à crochets, 50 g ... (3 x) ..15
- Masse à crochets, 25 g21
- Dynamomètre, 1 N.....20
- Bagues (2 x) ..25
- Palan à deux moufles26

En outre nécessaire : Latte

Montage expérimental

Insérer les supports aux deux extrémités du rail, disposer les cavaliers sur celui-ci. Visser les deux tiges afin d'en former une seule, et l'insérer dans le trou central du cavalier de gauche. Disposer une noix sur la tige de telle manière que la fente avec le petit orifice soit dirigée vers l'avant. Y insérer un axe métallique muni de deux bagues et serrer la vis. Suspendre un des deux moufles à l'axe et le sécuriser à l'aide deux bagues.

Insérer la tige de 330 mm dans le cavalier de droite et y accrocher le dynamomètre au moyen d'une noix et de la patte de fixation.

Nouer deux boucles aux extrémités d'une ficelle d'environ 130 cm.



En accrocher une boucle au crochet du moufle supérieur, le faire passer dans les poulies des deux moufles comme sur l'illustration et accrocher son autre extrémité au dynamomètre. Tenir compte du poids du moufle inférieur lors de la mesure du poids du lest, ou ajuster le zéro du dynamomètre en ôtant le lest du moufle inférieur.

Exploitation de l'expérience

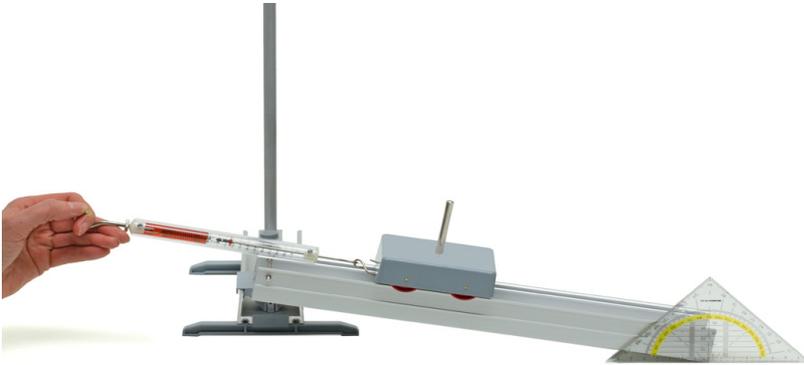
- > Dans quatre situations différentes de hissage à vitesse constante (déplacements, lests), déterminer les valeurs de la force F_1 exercée sur le lest et de la force F_2 exercée par le dynamomètre, ainsi que le déplacement d_1 du dynamomètre et le déplacement d_2 de la charge, et reporter les valeurs dans un tableau du genre :

F_1 en N	d_1 en m	W_1 en N.m	F_2 en N	d_2 en m	W_2 en N.m

- > Comparer le travail de la force exercée par l'opérateur au travail de la force exercée sur la charge dans les quatre situations.
- > Commenter les différences entre les forces et les déplacements, en relation avec le nombre de portions de ficelle qui portent le lest.
- > Discuter les avantages que procure un palan à moufles.

M14 Travail sur un plan incliné

Le plan incliné est une machine simple dont l'avantage mécanique dépend de l'inclinaison. Son fonctionnement est interprété à l'aide de la notion de travail d'une force.



Matériel

- Tige, 330 mm1
- Cavalier4
- Rail, 360 mm6
- Rail, 180 mm7
- Noix9
- Paire de supports pour rail10
- Ficelle11
- Crochet en S14
- Masse fendue, 50 g, vert...(2 x) ..18
- Dynamomètre, 1 N20
- Chariot et tige23ab
- Axe métallique, 80 mm 24

En outre nécessaire :
Rapporteur, latte

Montage expérimental

Remarque préliminaire : le montage de base est identique à celui de l'expérience M 06 (page 16). Insérer les supports aux deux extrémités du petit rail, disposer le cavalier près d'une de ses extrémités et insérer la tige dans son trou central. Disposer une noix sur la tige de telle manière que la fente avec le petit orifice soit dirigée vers l'autre côté du rail. Y insérer l'axe métallique et serrer la vis. A présent, l'axe peut être introduit dans les deux trous du grand rail. Éventuellement, placer une protection sous l'arrête du grand rail pour éviter d'endommager le plan de travail.

L'angle d'inclinaison α du plan incliné par rapport à l'horizontale peut être modifié en déplaçant la noix de fixation le long de la tige verticale.

Visser la petite tige au chariot en disposant l'écrou par dessous, puis le disposer sur le plan incliné et l'accrocher au dynamomètre, éventuellement au moyen du crochet en S. Quand le chariot peut rouler sans frottements et le dynamomètre est bien parallèle au rail, il indique la valeur de la force de retenue subie par le chariot à l'équilibre.

Dans l'expérience, on mesure la valeur de la force de retenue, lorsque le chariot est tiré à vitesse constante sur une certaine distance. L'élévation effective du chariot par rapport à la table est déterminée à chaque fois, soit par mesure directe (en calculant la différence entre la hauteur finale et la hauteur initiale du chariot), soit à l'aide d'une relation trigonométrique.

Exploitation de l'expérience

- > Dans quatre situations différentes de hissage à vitesse constante (inclinaisons du plan, déplacements, lests), déterminer les valeurs de la force F_1 correspondant au poids du chariot avec son lest et de la force F_2 exercée par le dynamomètre, ainsi que l'élévation effective d_1 du chariot et le déplacement d_2 du chariot sur le plan incliné, et reporter les valeurs dans un tableau du genre :

F_1 en N	d_1 en m	W_1 en N.m	F_2 en N	d_2 en m	W_2 en N.m

- > Comparer le travail de la force exercée par l'opérateur à l'aide du plan incliné au travail de la force qu'il aurait exercé en absence de plan incliné pour élever le chariot à une certaine hauteur dans les quatre situations.
- > Commenter les différences entre les forces et les déplacements, en relation avec l'inclinaison du plan.
- > Discuter les avantages que procure un plan incliné.
- > Éventuellement, justifier la manière de calculer le travail W_1 .

M15 Combinaison de machines simples

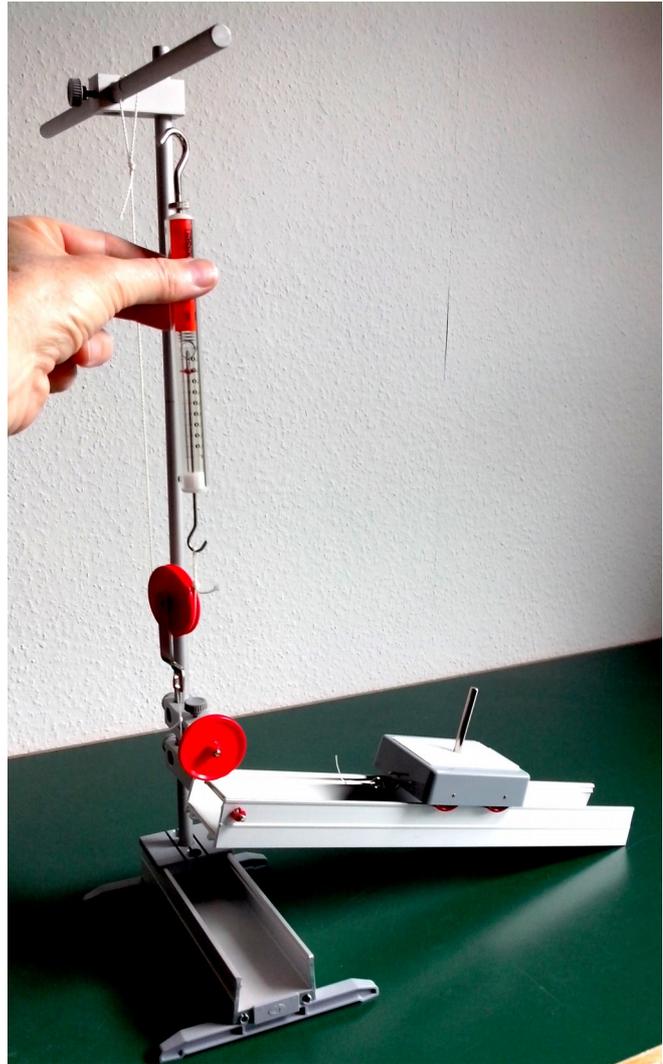
Cette expérience vise à faire fonctionner une combinaison d'un plan incliné et d'une poulie mobile permettant d'obtenir un avantage mécanique d'un facteur 4.

Matériel

Tige, 330 mm	1
Paire de tiges à assembler	2
Cavalier	4
Rail, 360 mm	6
Rail, 180 mm	7
Noix	(3 x) 9
Paire de supports pour rail	10
Ficelle	11
Axe métallique, 50 mm	13
Crochet en S	14
Poulie, diam. 43 mm	16
Masse fendue, 50 g, vert ... (2 x) ..	18
Dynamomètre, 1 N	20
Poulie à crochet, diam. 43 mm	22
Chariot et tige	23ab
Axe métallique, 80 mm	24
Bague	(3 x) ..25

En outre nécessaire :

Rapporteur, latte



Montage expérimental

Insérer les supports aux deux extrémités du petit rail et y disposer le cavalier. Visser les deux tiges afin d'en former une seule, et l'insérer dans le trou central du cavalier. Disposer deux noix à environ 1 cm l'une de l'autre sur la tige de telle manière que leurs fentes avec le petit orifice soient dirigées vers l'autre côté du rail. Insérer l'axe métallique de 80 mm dans la noix du bas, serrer la vis et y disposer le grand rail. Insérer l'axe métallique de 50 mm dans la noix du haut, serrer la vis et y insérer la poulie fixe en la sécurisant par deux bagues.

Fixer la tige de 330 mm horizontalement en haut de la tige verticale au moyen d'une noix, et y suspendre le dynamomètre. Accrocher les extrémités d'un morceau de ficelle d'environ 50 cm de long à la tige horizontale et au dynamomètre, tout en la faisant passer dans la poulie à crochet.

Accrocher une extrémité d'un autre morceau de ficelle d'environ 30 cm de long au crochet de la poulie mobile. Visser la petite tige au chariot en disposant l'écrou par dessous, puis le disposer sur le plan incliné, et l'accrocher à l'autre extrémité de la ficelle au moyen du crochet en S.

Exploitation de l'expérience

- Ajuster le montage de telle manière que, lors d'un déplacement donné vers le haut, la valeur de la force exercée par le dynamomètre corresponde bien au quart du poids du chariot.
- Mesurer l'élévation effective du chariot ainsi que le déplacement du dynamomètre, et déterminer le travail de la force exercée par l'opérateur à l'aide du dispositif complet, ainsi que le travail de la force qu'il aurait exercé en absence de dispositif pour élever le chariot. Comparer le travail des deux forces et commenter.
- Changer la longueur du déplacement ou ajouter des lests au chariot, déterminer à nouveau le travail des deux forces et commenter.
- Tester une autre combinaison de machines simples.

M16 Travail d'une force non- parallèle au déplacement

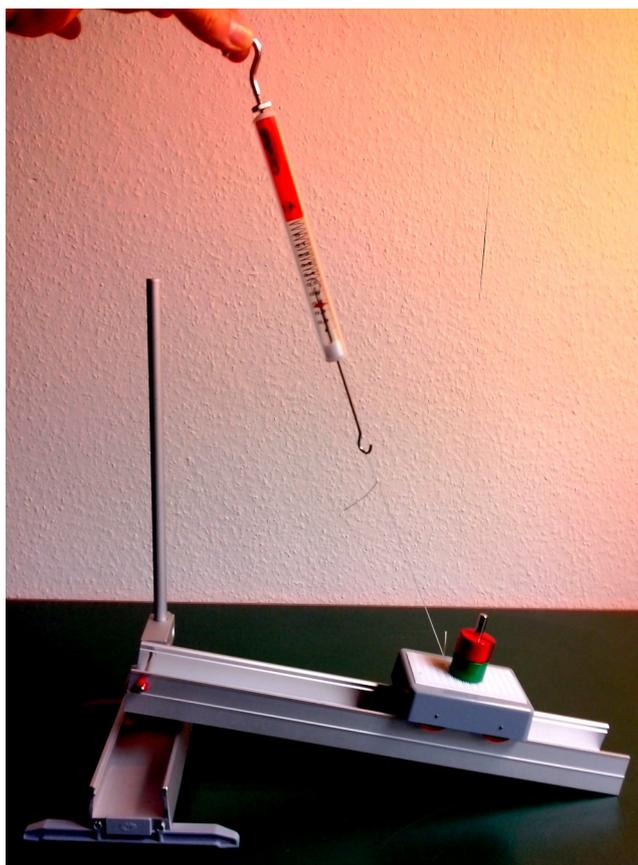
Cette expérience permet d'étudier l'influence de l'angle formé entre la force et le déplacement, lors du mouvement d'un chariot sur un plan incliné. De plus, le travail moteur et le travail résistant sont caractérisés.

Matériel

Tige, 330 mm	1
Cavalier	4
Rail, 360 mm	6
Rail, 180 mm	7
Noix	9
Paire de supports pour rail	10
Ficelle	11
Masse fendue, 50 g, vert ... (2 x) ..	18
Dynamomètre, 1 N	20
Chariot et tige	23ab
Axe métallique, 80 mm	24

En outre nécessaire :

Rapporteur, latte



Montage expérimental

Insérer les supports aux deux extrémités du petit rail, disposer le cavalier près d'une de ses extrémités et insérer la tige dans son trou central. Disposer une noix sur la tige de telle manière que la fente avec le petit orifice soit dirigée vers l'autre côté du rail. Y insérer l'axe métallique, serrer la vis et y disposer le grand rail.

Donner une inclinaison d'environ 10° au plan incliné par rapport à l'horizontale. Visser la petite tige au chariot en disposant l'écrou par dessous, y accrocher un morceau de ficelle d'environ 30 cm, et ajouter deux masses fendues. Disposer ensuite le chariot sur le plan incliné et accrocher l'autre extrémité de la ficelle au dynamomètre.

Exploitation de l'expérience

- > Faire remonter le chariot à vitesse constante le long du plan incliné en tirant sur la ficelle à l'aide du dynamomètre. Lire la valeur de la force exercée sur le chariot quand la ficelle est parallèle au plan incliné, puis forme un angle de 30° avec celui-ci, et enfin un angle de 60° . Commenter les mesures
- > Laisser à présent descendre le chariot à vitesse constante tout en tirant sur la ficelle à l'aide du dynamomètre. Lire à nouveau la valeur de la force quand la ficelle est parallèle au plan incliné, puis forme un angle de 30° avec celui-ci, et enfin un angle de 60° . Commenter les mesures.
- > Poser le rail de 360 mm sur la table pour le rendre horizontal, donner une impulsion au chariot pour qu'il avance à vitesse constante, et tirer légèrement dessus tout en gardant la ficelle perpendiculaire au rail. Commenter l'effet de la force exercée sur le chariot sur l'évolution de son mouvement.

M17 Énergies potentielles élastique et gravifique

Cette expérience vise à comparer l'énergie potentielle gravifique d'une masse avec l'énergie potentielle élastique d'un ressort.

Matériel

Paire de tiges à assembler	2
Ressort cylindrique, max. 10 N	3
Cavalier	4
Noix	9
Rail, 180 mm	7
Paire de supports pour rail	10
Axe métallique, 50 mm	13
Masses à crochets, 50 g (3 x) ..	15
Dynamomètre, 1 N	20
Bagues	(2 x) ...25

En outre nécessaire :

Latte (30 cm) ou mètre-ruban

Montage expérimental

Insérer les supports aux deux extrémités du rail, et disposer un cavalier en son milieu. Visser les deux tiges afin d'en former une seule, et l'insérer dans le trou central du cavalier. Disposer la noix sur la tige de telle manière que la fente avec le petit orifice soit dirigée vers l'avant. Y insérer l'axe métallique et serrer la vis. Glisser les bagues sur l'axe et suspendre le ressort entre elles.



Exploitation de l'expérience

- Soulever une masse à crochets de 50 g à vitesse constante et en ligne droite en la suspendant au dynamomètre. Détacher ensuite le ressort, le poser sur la table et tirer sur une de ses extrémités à l'aide du dynamomètre tout en maintenant son autre extrémité fixe. Comparer l'évolution de la force indiquée par le dynamomètre dans les deux expériences.
- Suspendre le ressort au statif, y accrocher une masse à crochets de 50 g et la laisser tomber : décrire son mouvement en termes de transformation d'énergie.
- Déplacer la noix de fixation sur le statif de manière à ce que la masse à crochets de 50 g touche juste la table quand elle atteint sa position inférieure dans l'expérience précédente. Tenir la masse à crochets en contact avec la table, à la verticale du point d'attache du ressort, et la relâcher. Commenter son mouvement en termes d'énergie.
- Mesurer la longueur d de la course de la masse à crochets dans les deux expériences précédentes, et la comparer avec l'allongement y du ressort à l'équilibre quand la masse à crochets y est suspendue (voir expérience M 02, page 8).
- Recommencer toute la procédure avec deux, puis trois masses à crochets suspendues au ressort.
- Éventuellement, rechercher une loi qui décrit l'énergie potentielle élastique d'un ressort en fonction de son allongement, en se basant sur la conservation de l'énergie du système.

M18 Frottements statique et dynamique

Cette expérience permet de mettre le rôle de la force pressante, de l'aire de la surface de contact et de la nature des surfaces en contact en évidence. La présence ou l'absence de mouvement est aussi discutée.

Matériel

Bloc de friction	12
Masse fendue, 50 g, vert ... (2 x) ..	18
Dynamomètre, 1 N	20



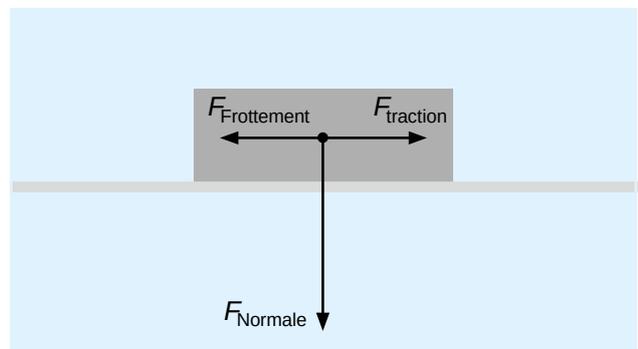
Montage expérimental

Commencer par peser le poids du bloc de friction en le suspendant au dynamomètre dont le zéro a été préalablement ajusté. Poser ensuite le bloc sur une surface horizontale.

La valeur de la force de frottement statique maximale F_{fs} est lue sur le dynamomètre quand, tirant horizontalement sur le bloc immobile, ce dernier quitte le repos.

La valeur de la force de frottement dynamique F_{fd} est lue sur le dynamomètre en tirant horizontalement sur le bloc à vitesse constante.

Poser le bloc sur sa tranche pour modifier l'aire de la surface de contact, et y loger des masses fendues pour augmenter la valeur de la force normale F_N .



Exploitation de l'expérience

- > Comparer le frottement dynamique avec le frottement statique. Discuter le fait que l'on ne mesure que le frottement statique maximal.
- > Pour les deux types de forces de frottement, rechercher l'influence de la nature des matériaux en contact, de la valeur de la force pressante et de l'aire des surfaces en contact. Faire des moyennes de plusieurs mesures successives pour limiter les erreurs de mesure.
- > Déduire des mesures les valeurs des coefficients de frottement.
- > Rechercher les coefficients de frottement de matériaux particulièrement rugueux ou glissant (en utilisant par exemple un lubrifiant).

Exemples de résultats

Frottement statique : F_{fs} est directement proportionnel à F_N			
F_{fs} en N	F_N en N	A en cm ²	Contact
0,22	0,76	52,5	Bois / Table
0,31	1,25	52,5	Bois / Table
0,42	1,74	52,5	Bois / Table
0,20	0,76	21,0	Bois / Table
0,34	1,25	21,0	Bois / Table
0,49	1,74	21,0	Bois / Table
0,8	0,76	21,0	Feutre / Table
0,31	1,25	21,0	Feutre / Table
0,49	1,74	21,0	Feutre / Table

Frottement dynamique : F_{fd} est directement proportionnel à F_N			
F_{fd} en N	F_N en N	A en cm ²	Contact
0,11	0,76	52,5	Bois / Table
0,22	1,25	52,5	Bois / Table
0,25	1,74	52,5	Bois / Table
0,10	0,76	21,0	Bois / Table
0,16	1,25	21,0	Bois / Table
0,21	1,74	21,0	Bois / Table
0,15	0,76	21,0	Feutre / Table
0,24	1,25	21,0	Feutre / Table
0,33	1,74	21,0	Feutre / Table

Frottement statique : F_{fs} est indépendant de l'aire A de la surface de contact			
F_{fs} en N	F_N en N	A en cm ²	Contact
0,22	0,76	52,5	Bois / Table
0,31	1,25	52,5	Bois / Table
0,42	1,74	52,5	Bois / Table
0,20	0,76	21,0	Bois / Table
0,34	1,25	21,0	Bois / Table
0,49	1,74	21,0	Bois / Table

Frottement dynamique : F_{fd} est indépendant de l'aire A de la surface de contact			
F_{fd} en N	F_N en N	A en cm ²	Contact
0,11	0,76	52,5	Bois / Table
0,22	1,25	52,5	Bois / Table
0,25	1,74	52,5	Bois / Table
0,10	0,76	21,0	Bois / Table
0,16	1,25	21,0	Bois / Table
0,21	1,74	21,0	Bois / Table

Les coefficients de frictions déterminés à partir de ces résultats montrent que le frottement dynamique est généralement inférieur au frottement statique :

F_{fs} en N	F_N en N	A en cm ²	Contact	F_{fs}/F_N	μ
0,22	0,76	52,5	Bois / Table	0,29	0,26
0,31	1,25	52,5	Bois / Table	0,25	
0,42	1,74	52,5	Bois / Table	0,24	
0,20	0,76	21,0	Bois / Table	0,26	
0,34	1,25	21,0	Bois / Table	0,27	
0,49	1,74	21,0	Bois / Table	0,28	
0,18	0,76	21,0	Feutre / Table	0,24	0,25
0,31	1,25	21,0	Feutre / Table	0,25	
0,49	1,74	21,0	Feutre / Table	0,28	

F_{fd} en N	F_N en N	A en cm ²	Contact	F_{fd}/F_N	μ
0,11	0,76	52,5	Bois / Table	0,14	0,14
0,22	1,25	52,5	Bois / Table	0,17	
0,25	1,74	52,5	Bois / Table	0,14	
0,10	0,76	21,0	Bois / Table	0,13	
0,16	1,25	21,0	Bois / Table	0,12	
0,21	1,74	21,0	Bois / Table	0,12	
0,15	0,76	21,0	Feutre / Table	0,20	0,19
0,24	1,25	21,0	Feutre / Table	0,19	
0,33	1,74	21,0	Feutre / Table	0,19	

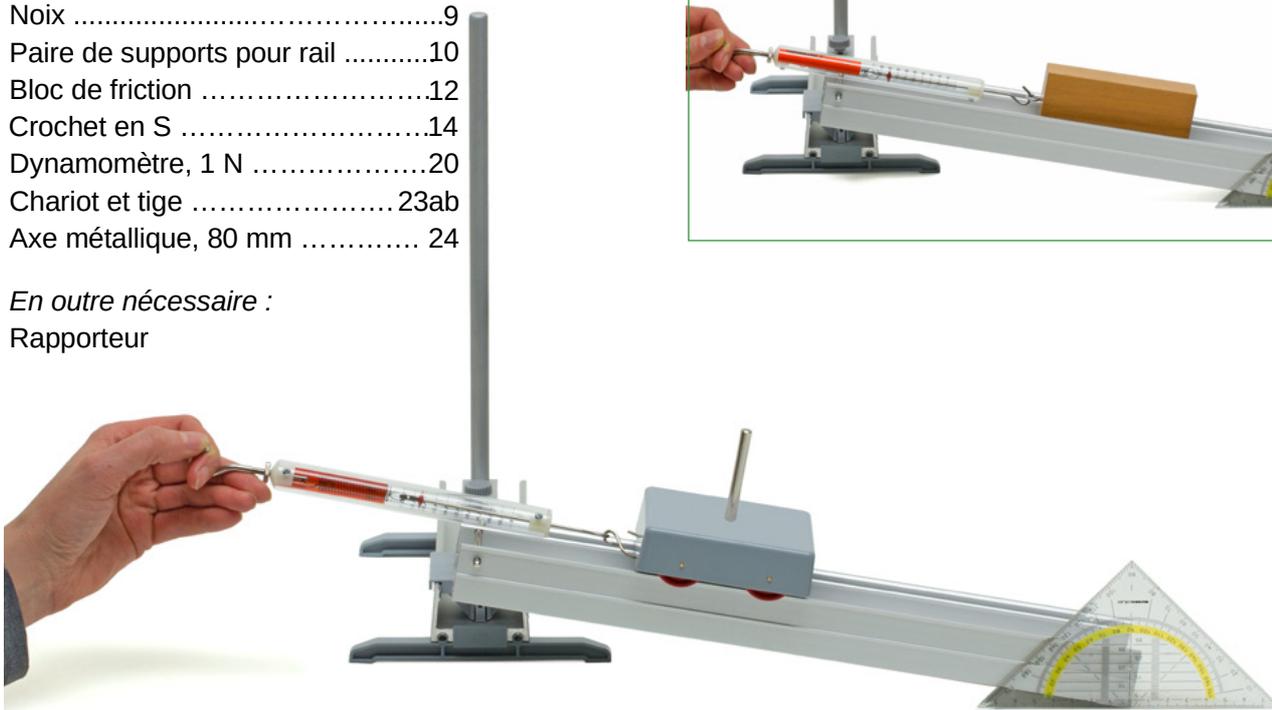
M19 Efficacité d'un transfert d'énergie

L'efficacité d'un transfert de l'énergie lors du roulement d'un chariot est comparé avec celui du frottement dynamique d'un bloc de friction.

Matériel

- Tige, 330 mm 1
- Cavalier 4
- Rail, 360 mm 6
- Rail, 180 mm 7
- Noix 9
- Paire de supports pour rail 10
- Bloc de friction 12
- Crochet en S 14
- Dynamomètre, 1 N 20
- Chariot et tige 23ab
- Axe métallique, 80 mm 24

En outre nécessaire :
Rapporteur



Montage expérimental

Remarque préliminaire : le montage de base est identique à celui de l'expérience M 06 (page 16). Insérer les supports aux deux extrémités du petit rail, disposer le cavalier près d'une de ses extrémités et insérer la tige dans son trou central. Disposer une noix sur la tige de telle manière que la fente avec le petit orifice soit dirigée vers l'autre côté du rail. Y insérer l'axe métallique et serrer la vis. A présent, l'axe peut être introduit dans les deux trous du grand rail. Éventuellement, placer une protection sous l'arrêt du grand rail pour éviter d'endommager le plan de travail.

L'angle d'inclinaison α du plan incliné par rapport à l'horizontale peut être modifié en déplaçant la noix de fixation le long de la tige verticale.

Visser la petite tige au chariot en disposant l'écrou par dessous, puis le disposer sur le plan incliné et l'accrocher au dynamomètre, éventuellement au moyen du crochet en S. Quand le chariot peut rouler sans frottements et le dynamomètre est bien parallèle au rail, il indique la valeur de la force de retenue subie par le chariot à l'équilibre.

Dans l'expérience, on mesure la valeur de la force de retenue, lorsque le chariot est tiré à vitesse constante sur une certaine distance. L'élévation effective du chariot par rapport à la table est déterminée à chaque fois, soit par mesure directe (en calculant la différence entre la hauteur finale et la hauteur initiale du chariot), soit à l'aide d'une relation trigonométrique.

Pour terminer, le chariot est remplacé par le bloc de frottement et l'ensemble des mesures est à nouveau effectué..

Exploitation de l'expérience

- Déterminer la valeur de la force F_1 correspondant au poids du chariot en le suspendant au dynamomètre dont le zéro a été préalablement ajusté.
- Pour différents angles d'inclinaison du plan incliné, déterminer la valeur de la force F_2 exercée par le dynamomètre, ainsi que l'élévation effective d_1 du chariot lorsqu'on le déplace sur une distance d_2 donnée (par exemple toujours 10 cm) sur le plan incliné. On peut éventuellement utiliser les valeurs de l'expérience M14 (page 27).
- Calculer le quotient du travail W_2 de la force exercée par l'opérateur à l'aide du plan incliné sur le travail W_1 de la force qu'il aurait exercé en absence de plan incliné pour élever le chariot à une certaine hauteur dans chaque situation. Reporter les résultats dans un tableau du rendement en fonction de l'angle.
- Répéter l'ensemble des mesures pour le bloc de friction.
- Commenter l'évolution du rendement du transfert d'énergie dans le cas du chariot, et dans le cas du bloc de friction. Discuter les valeurs maximales des deux rendements en relation avec les mesures effectuées.
- Comparer le frottement de roulement avec le frottement dynamique.

Exemples de résultats

α	5°	10°	15°	20°	25°	30°	35°	40°	45°	50°
Élévation d_1 en m	0,009	0,017	0,026	0,034	0,042	0,050	0,057	0,064	0,071	0,077
Force F_2 en N	0,12	0,22	0,32	0,40	0,46	0,58	0,66	0,72	0,78	0,86
Travail W_1 en Nm	0,012	0,022	0,032	0,04	0,046	0,058	0,066	0,072	0,078	0,086
Travail W_2 en Nm	0,009	0,017	0,026	0,034	0,042	0,050	0,057	0,064	0,071	0,077
Rendement η_{chariot}	0,73	0,79	0,81	0,86	0,92	0,86	0,87	0,89	0,91	0,89
Force F_2 en N	0,16	0,22	0,28	0,32	0,40	0,44	0,48	0,54	0,58	0,62
Travail W_1 en Nm	0,016	0,022	0,028	0,032	0,04	0,044	0,048	0,054	0,058	0,062
Travail W_2 en Nm	0,006	0,013	0,019	0,025	0,030	0,036	0,041	0,046	0,051	0,055
Rendement η_{bloc}	0,39	0,57	0,67	0,77	0,76	0,82	0,86	0,86	0,88	0,89

M20 Énergie cinétique et freinage

Les facteurs influençant l'énergie cinétique d'un chariot sont mis en évidence par le déplacement d'un bloc subissant une force de frottement constante.

Matériel

Cuvette en plastique	5
Rail, 360 mm	6
Rail, 180 mm	7
Bloc de friction	12
Masse fendue, 50 g, vert ... (2 x) ..	18
Dynamomètre, 1 N	20
Chariot et tige	23ab

En outre nécessaire :
Latte, papier collant



Montage expérimental

Incliner le grand rail en posant une de ses extrémités sur la cuvette retournée, et placer le petit rail à plat sur la table directement à sa suite. Éventuellement, assurer la continuité entre les deux rails à l'aide de papier collant. Poser le bloc de friction sur le petit rail, de telle manière que le côté muni de feutre soit dirigé vers le grand rail, et soit situé à 8 cm de la jonction entre les deux rails.

Visser la petite tige au chariot en disposant l'écrou par dessous, puis le disposer sur le plan incliné, de telle manière que son centre parcourt une distance l sur le plan incliné jusqu'à la jonction entre les deux rails.

Lors de l'expérience, on lâche le chariot sur le plan incliné, et celui poursuit sa course sur le petit rail où il est freiné en poussant le bloc de friction sur une distance d .

Exploitation de l'expérience

- Mesurer les distances de freinage d du bloc et du chariot pour plusieurs valeurs de la distance l de parcourt du chariot sur le plan incliné.
- Recommencer une série de mesures en ajoutant une, puis deux masses-fendues au chariot, sans changer la valeur de la distance l de parcourt du chariot sur le plan incliné.
- Justifier pourquoi on peut dire que la distance de freinage d du bloc et du chariot est directement proportionnelle à l'énergie cinétique du chariot acquise au bout de la distance l .
- Expliciter les différentes paramètres qu'on a utilisé dans cette expérience pour modifier l'énergie cinétique du chariot acquise au bout de la distance l .

M21 Énergie cinétique et déformation plastique

Les facteurs influençant l'énergie cinétique d'une bille en chute libre sont mis en évidence par une déformation plastique : celle du cratère produit par l'impact de la bille dans du sable. Le diamètre du cratère n'évolue toutefois pas linéairement avec l'énergie cinétique de la bille.



Matériel

Tige, 330 mm	1
Cavalier	4
Cuvette en plastique	5
Rail, 180 mm	7
Noix	9
Paire de supports pour rail	10
Axe métallique, 50 mm	13
Bille en acier, diam. 12 mm	27

En outre nécessaire :

Latte (30 cm), sable bien sec, éventuellement des billes différentes

Montage expérimental

Insérer les supports aux deux extrémités du rail, disposer le cavalier près d'une de ses extrémités et insérer la tige dans son trou central. Disposer une noix sur la tige de telle manière que la fente avec le petit orifice soit dirigée vers le bord du rail. Y insérer l'axe métallique et serrer la vis. Dans l'expérience, cet axe sert de repère pour la hauteur h .

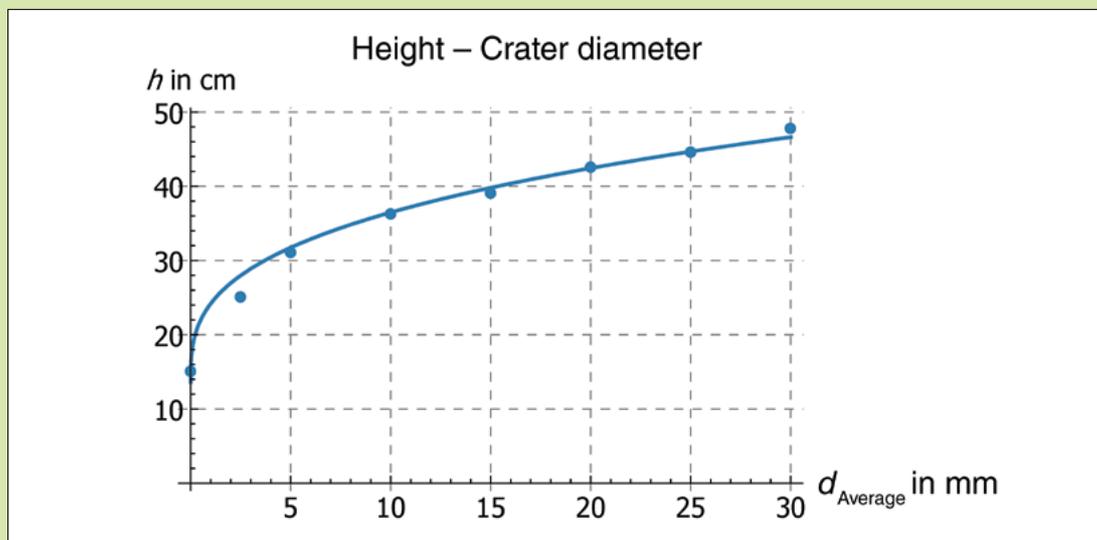
Remplir la cuvette d'une épaisseur uniforme d'environ 2 cm de sable, et la placer sous l'axe. Lors de l'expérience, la bille est lâchée de différentes hauteurs h et le diamètre d du cratère produit dans le sable à chaque fois mesuré. Après chaque chute, secouer légèrement la cuvette pour répartir à nouveau le sable.

Exploitation de l'expérience

- > Réaliser tomber la bille de trois hauteurs différentes en des endroits différents de la cuvette, et proposer la manière la plus efficace de mesurer le cratère (à partir des sommets opposés, de la partie non-déformée du sable...).
- > Mesurer le diamètre du cratère en fonction de la hauteur de chute. Faire des moyennes entre plusieurs mesures pour une même hauteur pour limiter les erreurs de mesure.
- > Reporter les résultats dans un graphique de la hauteur en fonction du diamètre.
- > Interpréter le graphique, et rechercher la fonction-type en mathématique dont la forme du graphe se rapproche du graphe obtenu.
- > Rechercher la relation entre la hauteur de chute et l'énergie cinétique finale de la bille au moment de l'impact.
- > Éventuellement, recommencer l'expérience avec d'autres billes.

Exemples de résultats

Hauteur h en cm	d_{moyen} en mm	d_1 en mm	d_2 en mm	d_3 en mm	d_4 en mm
30,0	48,0	47	47	46	52
25,0	44,8	43	43	42	51
20,0	42,8	41	41	39	50
15,0	39,3	39	41	37	40
10,0	36,5	37	36	34	39
5,0	31,3	32	29	30	34
2,5	25,3	22	26	26	27
0,0	15,3	16	12	17	16



Cornelsen Experimenta GmbH

Holzhauser Straße 76
13509 Berlin
Germany
info@cornelsen-experimenta.de
www.cornelsen-experimenta.de

SeGEC – FESeC

Secteur sciences
Av. Mounier 100
1200 Bruxelles
Belgique