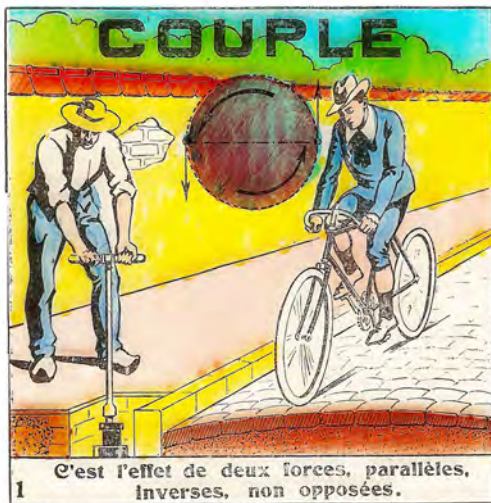


Les Forces en Equilibre

1 Définition des couples

Vue : Fontainier et cycliste.

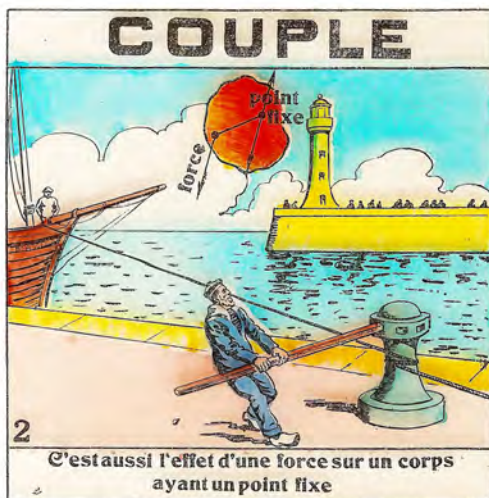


Attachez une corde à un plafond, terminez-la par un poids et tordez-la. Elle se déroulera en sens inverse. Evidemment pour enrouler la corde nous avons accompli un effort, mais qui n'est pas de la même nature que celui nécessaire pour soulever un poids par exemple. On dit que cet effort de rotation est un effort de torsion. On l'appelle aussi couple pour la raison suivante :

Nous savons trouver la résultante de deux forces parallèles, de sens contraire (reprendre la dernière figure de la conférence *Des Forces*, mais lorsque les forces sont égales, on ne retrouve plus le point d'application de la résultante, il s'est éloigné indéfiniment sur la droite des points d'application. Ceci peut se vérifier facilement en exécutant une composition avec deux forces, deux et trois puis une autre composition avec 2 forces 2 et 2, $\frac{1}{10}$. Il ne s'ensuit pas que la résultante est nulle, non, l'ensemble des 2 forces fait pivoter le corps soumis à leur action, elles forment un couple. Les exemples de forces de torsion ou couples sont nombreux, le fontainier, le cycliste utilisent des forces de torsion qu'ils produisent justement par 2 forces parallèles et de sens contraire.

2 Couple

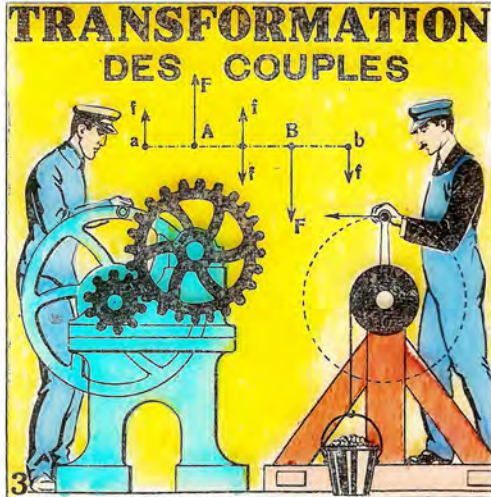
Le Cabestan



Prenons dans l'espace un corps fixé par un point et soumettons-le à une force quelconque : que va-t-il arriver ? Pour le savoir, appliquons au point fixe deux forces égales et parallèles à la force donnée, l'une en sens inverse de l'autre. Rien de changé puisque ces deux forces s'annulent. Mais alors le corps peut être considéré comme soumis à une force et à un couple. Le couple va le faire tourner, quand à l'autre force, elle cherchera à entraîner le point fixe. Le cabestan est l'application la plus souvent citée de ce problème, le bateau avance par la rotation de la corde, mais si l'effort du marinier était assez grand et le cabestan pas assez résistant, ce dernier se briserait absolument comme si le marinier lui-même avait cherché à le plier pour le rompre.

3 Transformation des couples

Vues : *Engrenages et Treuil*

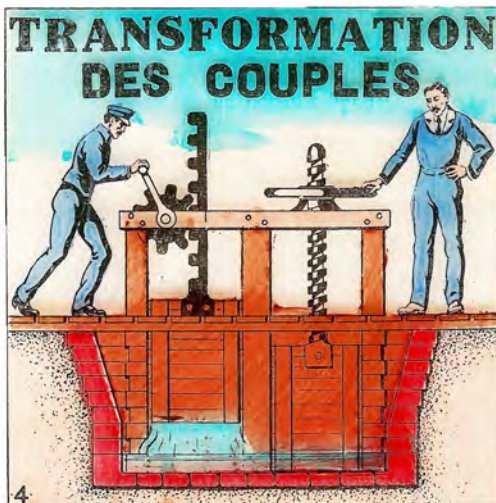


Les couples ont une propriété remarquable, c'est qu'ils peuvent tout en échangeant la grandeur des forces qui les composent produire les mêmes effets, il suffit de changer en même temps la longueur de la distance de leur point d'application qu'on appelle aussi leur bras de levier. La figure de la vue nous montre comment s'effectue cette transformation.

Supposons d'abord le couple $F F$, décomposons la force supérieure F en deux forces $f f$ de même la force F inférieure. Mais alors les deux forces $f f$ appliquées au milieu du bras de levier s'annulent et il ne reste plus que le couple $f f$ mais avec son bras de levier double. C'est cette propriété qu'utilisent les engrenages et les treuils, mécanismes qui permettent d'augmenter ou de diminuer l'effort de torsion de l'homme, effort toujours le même défini par ses muscles et la longueur de ses bras.

4 Transformation des couples

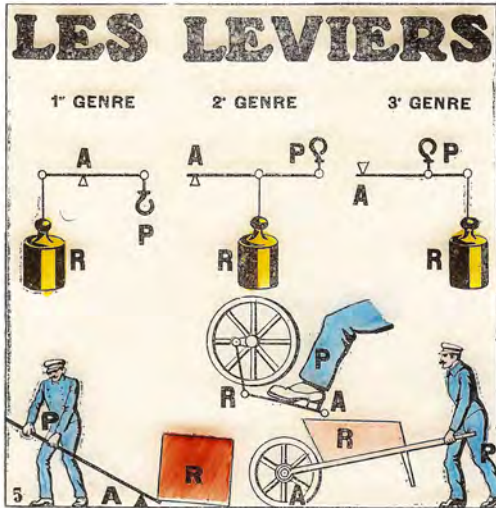
Vue : *Vis et crémaillère*



Les efforts de torsion peuvent se changer en forces ordinaires au moyen de deux mécanismes, la crémaillère et la vis. Nous n'insisterons pas sur le détail de ces deux mécanismes que la figure vous montre produisant le même effet : le soulèvement d'une vanne.

5 Les Leviers

Vue : *Théorie et exemples*



La théorie des leviers, mécanismes simples utilisés pour soulever des fardeaux lourds est celle des forces parallèles. A chaque instant on a entre la résistance, la puissance et les distances de ces efforts au point d'appui

$$P a = R b.$$

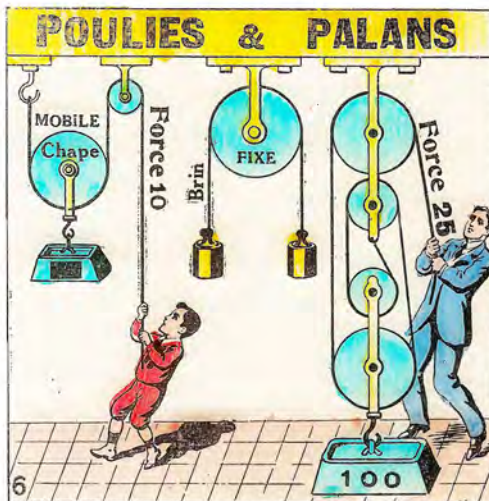
Il y a 3 genres de leviers

PAR — PRA — RPA

dont le levier du maçon, la brouette, la pédale, sont des exemples.

6 Poulies et Palans

Vue : *Théorie des poulies*



La théorie des poulies et palans relève aussi de la composition des forces parallèles.

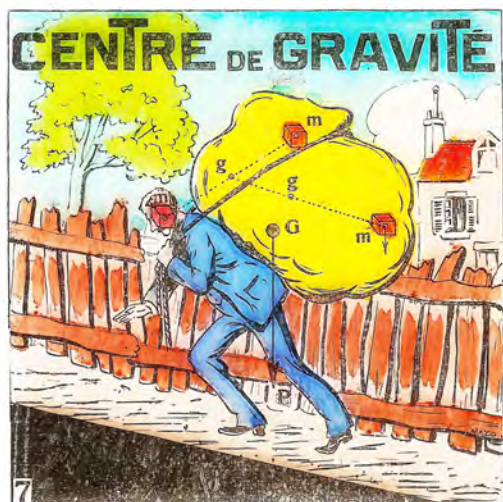
Une poulie simple n'est pas autre chose qu'un levier du premier genre dont les bras sont égaux.

Vous savez ce que l'on entend par poulie mobile, c'est une poulie qui ne tourne pas autour d'un axe fixe. A son axe est attaché une sorte de fourche qu'on appelle la chape et qui supporte le poids. La poulie roule sur une corde, attachée à un point fixe par une extrémité tout comme si elle était suspendue par 2 fils. Sur chacun des fils la masse soulevée répartit son poids en deux parties égales. Ainsi pour soulever un poids de 20 kilogrammes, il suffit d'un effort de 10 kilogs. Mais alors ne l'oublions pas le poids s'élève moitié moins vite qu'avec une poulie ordinaire.

Les combinaisons de poulies sont des palans dont vous voyez une figure théorique. Le poids de 100 kilos à soulever n'exige qu'une force de 25 kilogs car il y a 4 poulies, si le palan avait 10 poulies, un poids de 10 kilos suffirait pour élever le poids de 100 kilogrammes.

7 Centre de gravité

Vue : *Détermination théorique*



Si nous considérons un corps quelconque nous pouvons toujours le supposer formé de petites parties juxtaposées. Chacune de ces parties a un poids ; en composant d'abord les poids de deux de ces parties on a une résultante appliquée en g et que nous savons trouver par la composition des forces parallèles. En composant cette force avec le poids d'une autre partie on obtient une nouvelle résultante appliquée en un autre point, si on continue ainsi de proche en proche, on finit par trouver que les divers poids des parties du corps, se composent en une résultante unique, dont la valeur est le poids total du corps et dont le point d'application G s'appelle le centre de gravité du corps.

Dans les corps ayant un centre de symétrie, comme les cercles (roues), les cubes, les sphères, on connaît immédiatement leur centre de gravité, c'est le centre de symétrie et cela résulte de la définition même du centre de symétrie. A chaque point du corps en effet il y en a un correspondant sur la ligne joignant ce point au centre et à la même distance. Deux forces égales appliquées en ces deux points se composent au centre qui devient ainsi le point d'application du poids total. Si un corps a un axe de symétrie comme les cylindres, le centre de gravité est d'abord sur cet axe, et ensuite évidemment en son milieu. Si le corps est biscornu, la détermination du centre de gravité est cependant facile nous allons voir comment, en étudiant les conditions d'équilibre.

8 Conditions d'équilibre

Vue : *Exemple*



Un corps qui ne tombe pas est en équilibre. Pour obtenir l'équilibre d'un corps il suffit d'empêcher la chute de son centre de gravité ce qui peut se faire de 3 manières.

1° Le fixer par un clou, ce qui n'est pas toujours facile, mais dans les roues cette manière est toute trouvée, le clou c'est l'essieu, aussi peut-on faire tourner la roue autour de son essieu, elle est toujours en équilibre.

2° On peut suspendre le G par un fil, une tige ; une règle qui est suspendue donne un exemple bien net de ce qui se passe, en écartant la règle de la verticale elle forme alors un corps soumis à une force, son poids et ayant un point fixe. Le poids détermine un couple et la règle oscille jusqu'à ce que son G vienne exactement au droit du point de suspension. Cette observation nous permet de trouver le G d'un corps quelconque. Il suffit de le suspendre par une ficelle 2 fois et en 2 points différents. La direction de la ficelle passe toujours par son G .

3° On peut enfin soutenir par une tige, mais alors il se présente 2 cas. G est en-dessus ou en-dessous du point de la tige qui soutient le corps. S'il est en dessous comme dans le cas des fourchettes, l'équilibre est très stable, s'il est en-dessus il est alors instable vous connaissez tous la difficulté de tenir verticale une règle sur le bout du doigt et à plus forte raison sur le bout du nez.

9 Base de sustentation

Vue : *Expérience de la chaise.*



Lorsqu'un corps repose sur un plan on dit que sa base de sustentation est formée par la surface de contact avec le plancher.

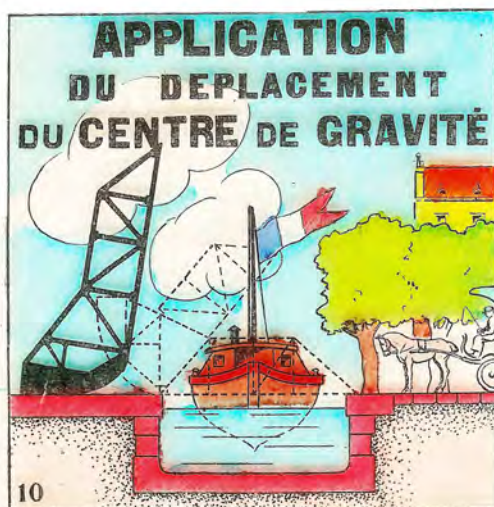
Examinons dans ce cas les conditions d'équilibre et pour plus de simplicité prenons le cas d'une chaise. Aux 4 pieds le plancher oppose une force, si on compose ces 4 forces elles auront évidemment une résultante et comme la chaise est en équilibre, cette résultante annule le poids de la chaise elle passe donc par le G de la chaise.

Mais si nous venons à pencher la chaise, G se déplace la chaise ne repose plus que sur deux pieds, tout ira bien tant que la verticale de G tombera dans la base de sustentation, ce corps déplacé tiendra à reprendre son état d'équilibre primitif, mais lorsque la verticale de G tombera en dehors de la base de sustentation il y aura tendance au renversement l'équilibre stable est rompu.

Ainsi donc pour qu'un corps reposant sur un plan soit en équilibre, il faut et suffit que la verticale de son G tombe dans la base de sustentation du corps

10 Application du déplacement du centre de gravité

Vue : *Pont suspendu*

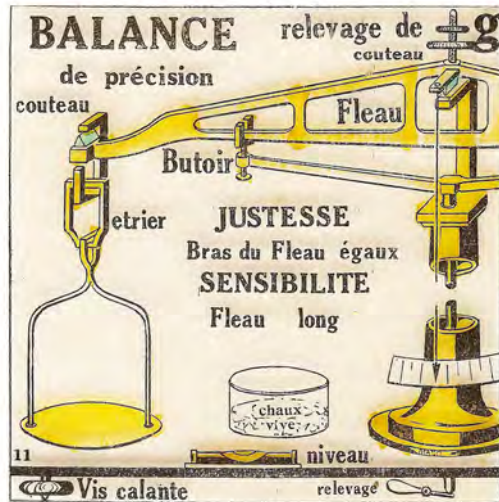


L'expérience de la chaise nous a montré une chose, c'est l'extrême mobilité de son poids lorsque G tombait sur la ligne des deux pieds autour desquels elle pivotait. Pour rattraper son équilibre le petit garçon élève ou abaisse ses pieds.

Prenons un pont comme l'indique la figure. En s'abaissant ou en s'élevant son G se déplace constamment. La portée du pont fait fonction des jambes du petit garçon. Les ingénieurs arrivent à calculer le G tel que, constamment sa verticale passe par la ligne de contact du pont et du sol. Aussi ces ponts sont-ils très mobiles, une seule personne sans treuil, peut en effectuer la manœuvre.

11 Balance

Vue : *Détails d'une balance*
Décrire d'abord la balance



1. Pour qu'une balance soit juste il faut que des poids égaux mis dans les plateaux assurent l'horizontalité du fléau. Mais alors le théorème de la composition des forces parallèles

$$P p = Q q$$

donne puisque $P = Q$ $p = q$

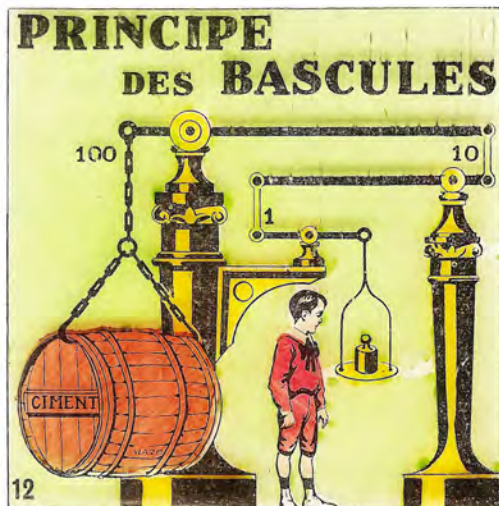
les 2 bras du fléau sont égaux.

2. Pour que la balance soit sensible, il faut un fléau long, parce qu'alors le plus léger excès de poids agit sur un grand levier.

Enfin le fléau oscillera d'autant plus facilement que son centre de gravité sera plus près de l'axe de suspension ce qui conduit à placer sur les balances de précision un relevage de g au moyen d'une vis.

12 Bascules

Vue : *Principe.*



Le commerce utilise des appareils de pesage qui avec des poids faibles permettent de connaître des poids considérables. Ces appareils s'appellent des bascules et sont basés sur des combinaisons de leviers.

Nous ne nous étendrons pas sur leur description, elle nous ferait sortir du programme de nos petites leçons.