資料 玉名程三の東京大学仏語物理学科時代の受講ノート ― ベルソン講述 物理学初歩 ―（I）

永平幸雄、高橋哲郎、川合葉子

我々は京都大学総合人間学部（旧教養部）に保存されていた物理実験機器の調査、研究を進めているが、それらの実験機器に混じって、古いノートが入った木箱が発見された。それらのノートはすべてフランス語で書かれており、一部のノートの表紙に記載されている名前や年月日等から、それを書いたのは、京都大学総合人間学部の前身校である旧制第三高等学校の教授を明治33年から明治44年までの11年間勤めた玉名程三であることがわかった。

玉名程三は、文久元年（1861年）東京で生まれ、明治7年に東京外国語学校に入学し、仏語学上等級まで進級し、明治10年の東京大学発足とともに、理学部へ転学し、仏語物理学科で学ぶ。明治13年物理学科を卒業後、東京外国語学校、第一高等中学校、鹿児島高等中学校造士館、第二高等学校で教鞭をとり、明治33年に第三高等学校の教授となる。明治10年から13年までの3年間に玉名程三が東京大学仏語物理学科で学んだ時の筆記ノートが、総合人間学部に残っていたわけである。

明治初年、政府は、欧米の各国からそれぞれの優れた学問を取りいれようとした。鉱山学はドイツ、法学・理学・工業学はイギリス、諸芸学はフランスから学び取ろうとした。フランスについては、当時世界的に名声を博したエコール・ポリテクニークの学問を吸収しようとしたのである。しかし、そのために各国から各専門分野の教師を雇っていたのでは、財政的に厳しいことがわかり、明治6年の開成学校（後の東京大学）の発足とともに、専門教育はすべて英語に統一していくことが決められた。そうした専門教育政策の変化の中で、それまで諸芸学を専攻していた学生あるいは諸芸学を専攻すべくフランス語を

学んでいた学生は、明治10年東京大学に設置された物理学科へ編入させられた。この日本で始めて設けられた物理学科は、フランス語学生のために3年間に限り特別に設けられた学科であった。すべての科目がお雇いフランス人教師[1)]によってフランス語で教育され、それゆえ仏語物理学科と呼ばれている。

仏語物理学科でどのような物理学教育が行われていたかは、非常に興味ある課題である。それを示す貴重な資料が、今回発見された玉名程三のノートである。保存されていたノートは全部で31冊で、うち16冊が物理学、数学が14冊、化学が1冊であった。現在我々はそれらのノートの調査研究を進めているが[2)]、そのうちの1冊で、玉名程三が物理学科の1年生時にG.ベルソン[3)]から受けた講義「物理学初歩」の筆記ノートの一部を復刻する。

G.ベルソンは、フランスのMeurtheで生まれ、高等師範学校（Ecole normale supérieure）を卒業し、物理学のagrégé（1級教員資格者）を取得し、フランス政府の科学使節団の一員として、明治9年－13年に東京大学へ派遣された。

ベルソンが学んだ当時の高等師範学校は、大学教師の養成機関として、Ecole Polytechniqueを抜いてフランスで最高の地位を得ていた。フランス政府は26歳という若い人物ではあったが、優れた物理学者を日本に派遣したのである。

ベルソン講述のノート「物理学初歩」は総ページ数が128ページで、内容で分けると、「力」と「重力」は57ページ、「静水学」は32ページ、「空気学」は39ページであった。それら全部を復刻することは不可能なので、この経法論集の本号（71号）と次号（72号）に分けて、「力」と「重力」の57ページ分を復刻する。

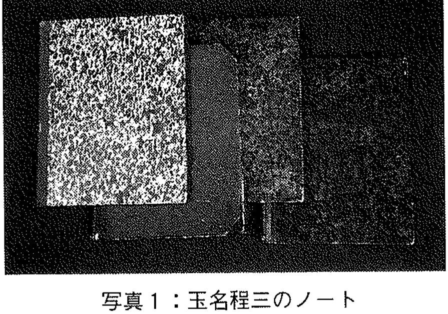


写真1：玉名程三のノート

資料 玉名程三の東京大学仏語物理学科時代の受講ノート（永平、高橋、川合）

ノートはフランス語の筆記体で、大変丁寧に書かれているが、くせ字がひどく、非常に読み取りにくい。また、長い年月を経たため、書かれた文字が紙ににじみ、裏ページの文字が浮き出てきて、極めて判読しがたい部分が多くある。そこで我々はそれを活字に直した[4]。ノートに挿入されていた図は、きれいに筆写されていたが、裏ページの文字がにじみ、読みとりにくい状態であった。そこで、それらの図を正確に模写して掲載した。可能な限り、実際のノートを忠実に復元することを目指し、図の大きさや挿入位置も原文に近いものになるように努力したが、文字数と行数については論集の大きさにそろえたために少し異なっている。また明らかにスペルの間違っている部分、文法上間違っている部分、脱字、脱語等が存在するが、資料として紹介するには、それらの部分も原文に忠実に再現する方がよいと考え、そのようにした。

この資料が、明治期の物理教育史・物理学史の研究の一助となれば幸いである。

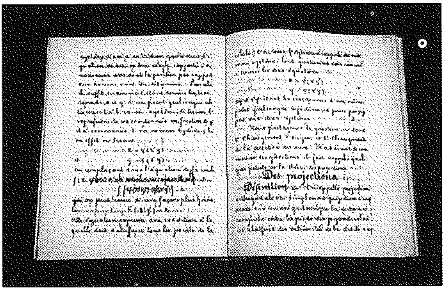


写真２：玉名ノート「物理学初歩」（ベルソン講述）の一部

[1] 同志社大学の松尾幸季教授が、仏語物理学科のお雇いフランス人教師についての研究を進め、1994年の日本科学史学会等で発表した。

[2] 1997年3月の日本物理学会、および1997年６月の日本科学史学会で発表した。

[3] Felex Gustav Adolphe Berson

[4] 筆記体の文字を活字にする困難な作業をして頂いたのは、岡本佳子さん（作業当時は京都大学大学院・理学研究科・物理学教室所属）である。この場をかりて感謝の意を表したい。

Physique élémentaire
par
M.G.Berson

Ancien élève de l'Ecole normale Supérieure
Agrégé ès Sciences physiques, Missionnaire Scientifique au Japon

Physique élémentaire

La Physique est la science qui s'occupe des phénomènes naturels qui ne modifient pas d'une façon permanente la nature des corps.

Le champs est très vaste, il y a des phénomènes de toute sorte : si l'on abandonne, à elle-même, une pierre qu'on tenait à la main, elle se dirige vers la terre; c'est là un phénomène physique.

On a groupé les différents phénomènes physiques en quelques catégories, qui sont : la Pesanteur, la Chaleur, l'électricité, le Magnétisme, l'Acoustique et l'Optique. Autrefois on ne connaissait des relations entre ces différents groupes, mais aujourd'hui on les a déjà trouvées.

La cause, nous la connaissons pas du tout; seulement nous cherchons comment se passent les phénomènes, c'est à dire que nous cherchons les lois de la Physique. Tous ces phénomènes résultent d'un mouvement : ainsi la Pesanteur, que nous verrons plus tard, est traduite par un mouvement ; le son n'est qu'un mouvement de l'air.

Du mouvement.- du commencement de ces notions préliminaires disons ces principes.

Lorsqu'un corps est en état de repos il reste en repos si aucune cause ne vient agir sur lui.

Lorsqu'un corps est en mouvement, il ne modifie pas ce mouvement si aucune cause nouvelle ne vient solliciter sur lui.

Le mouvement le plus simple que nous allons à étudier est le mouvement uniforme.

Le mouvement uniforme est un mouvement dans lequel les mobiles parcourent des espaces égaux dans des temps égaux. L'espace parcourue pendant l'unité de temps s'appelle la Vitesse. Nous voyons que le nombre qui représente la vitesse dépend de l'unité le longueur, de l'unité de temps. La formule qui définie le mouvement uniforme résulte de la définition de la vitesse. Si l'on appelle e l'espace parcourue pendant l'unité de temps v, la vitesse, l'espace parcourue pendant le temps t sera : $e = vt.$

Il résulte de là que si deux mobiles ont la même vitesse v, l'espace parcourue pendant le temps t' sera $e' = vt'$; d'ou en divisant les deux égalités membre à membre :

$$\frac{e}{e'} = \frac{t}{t'}$$

donc quand deux mobiles ont la même vitesse, les espaces parcourues sont proportionnelles aux temps employés à les parcourir.

Tout mouvement qui n'est pas uniforme est varié, c'est à dire que les espaces parcourues pendant des temps égaux sont inégaux. On appelle vitesse moyenne pendant un temps donné, le quotient de l'espace parcourue par le temps employé à le parcourir.

Soient m l'espace parcourue pendent le temps t, et m' l'espace parcourue pendant le temps t', la vitesse moyenne sera : $\dfrac{m \qquad\qquad\qquad m'}{t \qquad\qquad\qquad t'}$

Si je prends un point plus voisin de m que l'est du point m', le rapport $\frac{m\,m'}{t'-t}$ est différent du rapport précédent. Si le point m' devient excessivement voisin du point m, le rapport $\frac{m\,m'}{t'-t}$ se rapproche d'une certaine valeur qui serait celle qu'il prendrait quand le point m' viendra en m. Cette limite s'appelle la vitesse du mobile à l'instant t. Donc, dans le mouvement varié la vitesse à un instant donné t' est la limite du rapport de l'espace parcourue par le mobile pendant un certain temps à partir d'un instant donné au temps employé à le parcourir.

Il y a parmi les mouvements variés, des mouvements dans lesquels la vitesse s'accroît ou diminue de quantités égales au bouts de temps égaux, c'est à dire que, si elle est de 10 mètres dans la première seconde, elle sera de 12 mètres, par exemple, dans la 2e seconde, de 14 mètres dans la 3e seconde, etc... On appelle ces mouvements le mouvement uniformément varié. Si la vitesse va en croissant le mouvement est uniformément accéléré. Si elle va en diminuant le mouvement est uniformément retardé.

La longueur dont la vitesse s'accroît ou diminue pendant l'unité de temps s'appelle *accélération*. Ainsi dans l'exemple cité plus haut, l'accélération est de 2 mètres à la seconde. Appelons vo la vitesse d'un mobile au commencement de temps où nous observons, appelons r l'accélération. Dire que r est l'accélération, c'est dire qu'à la première seconde la vitesse sera r_0+r, qu' à la deuxième seconde la vitesse sera r_0+2r, qu'à la troisième seconde, r_0+3r, et enfin à la t seconde la vitesse sera r_0+rt. Donc dans le mouvement uniformément varié, l'espace parcourue est égale à la vitesse initiale, plus le produit de l'accélération par le temps.

Il y a une autre formule qui donne l'espace parcourue au bout d'un temps quelconque, qui est le suivante :

$$e = v_0 t + \frac{1}{2} rt^2 .$$

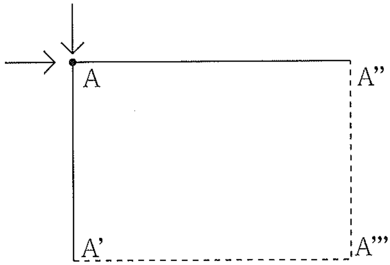
Si le mouvement est uniformément retardé, les formules qui donnent la vitesse en un instant donné et l'espace parcourue au bout de temps donné ne diffère que par les changements des signes ; et l'on aura :

$$v = v_0 - rt,\ e = v_0 t - \frac{1}{2} rt^2$$

Cause de mouvement.- On appelle *Force* toute cause capable de produire un mouvement ou d'en modifier la nature.

Nous allons admettre un principe dont les conséquences sont toutes vérifiées par l'expérience, et qu'on appelle *Principe de l'indépendance de l'action des forces*.

Si plusieurs forces agissent sur un mobile, chacune d'elles produit le même effet que si elle était seule.



On pourrait trouver un pareil exemple dans les jeux de billard. Si l'on donne deux coups simultanés en deux directions différentes AA", AA' la boule sera lancée en A''' dont les distances

A'A''' = AA" et A"A''' = AA'.

Force constante.- On appelle forces constantes, des forces qui ne varient ni en grandeur ni en direction ni par leur point d'application.

Théorème.- *Toute force constante agissant sur un mobile en repos lui imprime un mouvement uniformément accéléré.*

En effet, considérons un mobile parcourant dans la direction de la flèche, sous l'action de la force, il sera venu en B au bout de l'unité de temps. A ce moment il a une certaine vitesse.

Au bout d'une seconde unité de temps il sera venu au point C, et pendant cette seconde unité de temps la force aura continuée à agir comme pendant la première unité de temps. Je dis qu'en vertu du principe d'indépendance des actions des forces, la force agissante aura pendant la deuxième unité de temps, augmentée la vitesse de la même quantité que pendant la première. De même pendant la 3<u>e</u> unité de temps, et pendant la quatrième etc... Le mouvement est donc tel que la vitesse s'accroit de quantité égale pendant des temps égaux, c'est donc le mouvement uniformément accéléré.

Théorème.- *Deux forces constantes sont entre elles comme les accélérations qu'elles impriment à un même mobile.*

Soient deux forces F et F', j'appelle f l'unité de force et je suppose que la première F contient n fois f, que la deuxième F', n' fois, ou bien encore F=nf, F'=n'f, d'ou en divisant membre à membre les deux égalités, $\frac{F}{F'} = \frac{n}{n'}$. Mais d'après le principe de l'indépendance de l'action des forces, si la force f produit une accélération a, F produira une accélération r qui serait r=na. De même pour F', on aura, r'=n'a. D'ou l'on a

$$\frac{r}{r'}=\frac{na}{n'a}=\frac{n}{n'}.$$

A cause du rapport commun, on aura $\frac{F}{F'}=\frac{r}{r'}$.

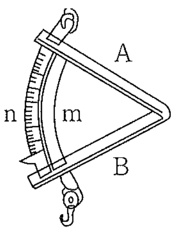
On peut encore écrire sous la forme $\frac{F}{r}=\frac{F'}{r'}$, ou F" et r" étant la 3e force, et son accélération. On a : $\frac{F}{r}=\frac{F'}{r'}=\frac{F''}{r''}$.

Masse.- On appelle masse d'un corps le rapport d'une force quelconque qui lui est appliquée à l'accélération que lui imprime cette force.

En particulier, nous pouvons considérer à un corps son propre poids. Appelons g l'accélération d'un corps, et P le poids du corps, nous aurons la masse $m=\frac{P}{g}=\frac{F}{r}=\frac{F'}{r'}$.

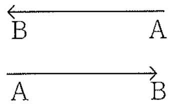
Le nombre m qui représente la masse d'un corps dépend donc de l'unité de poids, de temps, et de longueur qu'on aura adaptés.

Mesure des forces.- Ce que je viens de dire peut me permettre de mesurer les forces. Mesurer une grandeur, comme on le sait, c'est la comparer à une autre grandeur prise pour unité. La force que nous prendrons pour unité sera le poids de kilogramme. Pour unité de longueur on prendra le mètre et pour unité de temps, la seconde. Si donc on peut déterminer le poids d'un corps on peut connaître la masse d'un corps. Or de la relation $\frac{F}{r}=m$, on tire F=rm. Donc pour connaître la force F, il suffit de mesurer l'accélération qu'elle imprime à la masse.

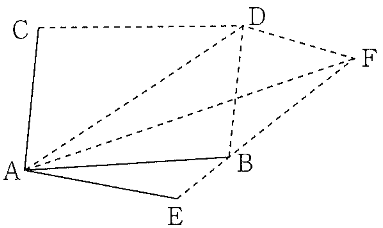


La mesure des fores se fait généralement au moyen d'instrument appelé *dynamomètre*. On en construit de plusieurs sortes; le plus simple consiste en une lame d'acier trempé AB, recourbé en forme de V. A l'extrémité de la branche B est fixé un arc de fer n, qui se prolonge et passe librement dans une ouverture pratiquée à l'extrémité de la branche A. A celle-ci est fixé un arc semblable m s'engageant de même dans la branche B. Les 2 arcs m et n se terminent, le premier par un crochet, le second par un anneau et sur l'arc n est une graduation. Ayant fixé l'appareil à un support, on suspend successivement au crochet des poids gradués. La branche B, maintenue par l'arc n, reste fixé ; tandis que la branche A, entraînée par la charge que porte l'arc m, s'abaisse d'autant plus que le nombre de kilogramme est plus grand. On continue ainsi jusqu'à la limite de flexion que peut prendre la lame AB sans se rompre.

Représentation géométrique des forces.- Grandeur.- Direction.- Point d'application.- En général, on représente géométriquement ces 3 choses de la forces suivante : Sa grandeur est représentée par une ligne droite dont la longueur représente la grandeur des forces. Sa direction est représentée par une droite terminée par deux petites traits formant à peu près une flèche. Le point d'application est représentée par l'extrémité opposé de la flèche, dans l'exemple ci- placé, le point A est le point d'application.

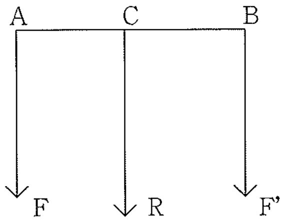


Composition des forces.- On démontre en mécanique que deux forces constantes appliquées au même point et qu'on appelle la résultante. Les 2 forces s'appellent les composantes. C'est à dire que si deux forces AB, AC sont appliquées en A, on tire des droites respectivement parallèles aux directions des forces, on obtient un parallélogramme ABCD et la résultante est non - seulement dirigée suivant la diagonale AD, mais sa longueur mesure la grandeur des forces composantes. Dans le cas d'un nombre quelconque de forces appliquées à un même point, la résultante s'obtient en appliquant successivement le théorème précédent d'abord à deux de ces forces, puis à la résultante obtenue et à une troisième force et ainsi de suite jusqu'à la dernière.



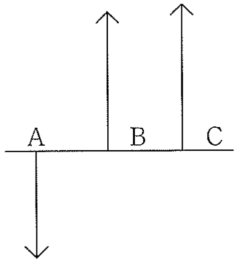
La résultante de 2 forces parallèles F et F' appliquées en une même droite solide est une force parallèle aux 2 forces premières, égale à leur somme et appliquée à un point C de la droite rigide de telle que l'on ait

F.AC= F’.BC.



En d’autre termes, e étant le point d’application de la résultante, si la force F’ est deux, trois fois plus grande que la force F, la distance BC est 2, 3 fois plus petite que CA.

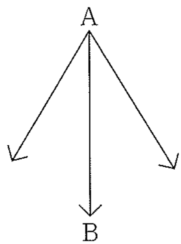
Si les deux forces F et F’ ne sont pas dirigés dans le même sens, la résultante est aussi une force parallèle aux 2 forces et égale à leur différence et située à un point e extérieur des 2 forces, tel qu’on ait :



F’.AC =F.BC

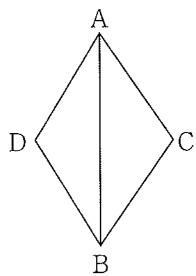
Pour les démontrer, il faut définir ce que c’est que l’équilibre. Un corps est équilibre sous l’action de plusieurs forces quand ces forces le laissent en repos.

On admet qu’on peut appliquer des forces faisant équilibre entre elles en un système quelconque de force sans changer l’état ou corps.



Considérons d’abord 2 forces appliquées au même point, ces deux forces appliquées en A peuvent être remplacées par une force unique, que je dis être dirigée suivant la bissectrice de l’angle formé par elles.

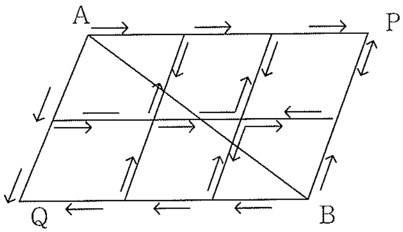
En effet, tout raisonnement que l’on pourrait faire pour démontrer la résultante se trouve d’un côté de la bissectrice pourrait se répéter pour démontrer quelle est de l’autre côté. Donc la résultante a la même direction que la bissectrice.



Considérons un losange ABCD et appliquons au sommet deux forces égales dirigées suivant les côtés AC et AD; appliquons de même au sommet B et suivant les côtés BC, et BD deux forces égales aux précédentes. Je dis que ce losange est en équilibre.

En effet, la résultante des forces appliquées au point A est dirigée suivant la bissectrice de l'angle A, la résultante des forces appliquées au point B est dirigée suivant la bissectrice de l'angle B. Or ces 2 bissectrices sont égales, comme elles sont directement dirigés, elles se détruisent.

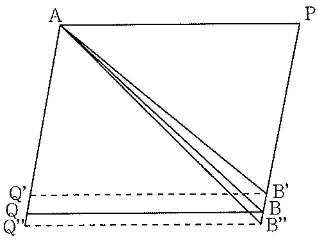
Considérons un parallélogramme et supposons d'abord qu'il y eut une commune mesure entre les côtés de ce parallélogramme, contenue par exemple trois fois dans le plus grand : et deux fois dans le plus petit : et par ces points de divisions menons des parallèle aux côtés, nous déter minons ainsi des petits losanges. Appliquons au sommet opposés de chacun de ces losanges de petites force, qui seraient représentées en grandeur par les côtés du losange.



La résultante des forces AP et AQ fait donc équilibre à la résultante des forces BP et BQ, il eu résulte que la résultante des forces AP et QA passent par le point B. Donc la direction de la résultante des 2 forces AP et AQ est celle de la diagonale de parallélogramme construit sur ces deux forces.

Supposons qu'il n'y ait pas de commune mesure dans les deux côtés AP et AQ. Je dis que, la résultante passera nécessairement par le point B.

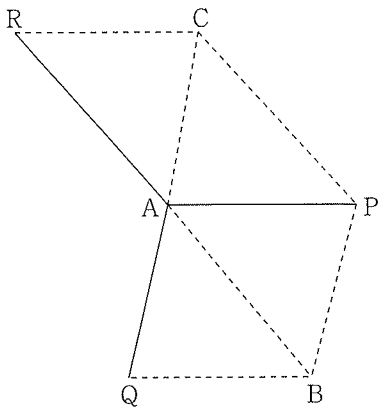
En effet, divisons les côtés AP en un grand nombre de parties égales . Nous ne pourrons pas diviser AQ ou un nombre entier de ces parties. Le point Q se trouvera placé en un point Q' et en un point Q'' tel que AQ' serait le plus grand nombre entier de ces parties qui pourrait être contenu dans A et tel que AQ'' c'est le nombre entier immédiatement supérieur.



La résultante des forces AP et AQ , a pour direction la diagonale AB' d' après le théorème précédent. La résultante des forces AP et AQ" a pour direction la direction AB"; ces 2 diagonales comprennent toujours entre elles la diagonale AB du parallélogramme proposé.

Si l'on augmente indéfiniment le nombre des divisions de la longueur AP, les points B' et B" se rapprochent indéfiniment du point B; les diagonales AB' et AB" se rapprochent indéfiniment de la diagonale AB. Donc à la limite, la diagonales AB se confondra avec AB' et AB", et le théorème est démontré.

Grandeur de la résultante.- Soient deux forces AP et AQ. Je sais que leur résultante est dirigé suivant la diagonale du parallélogramme. Cela veut dire que ;

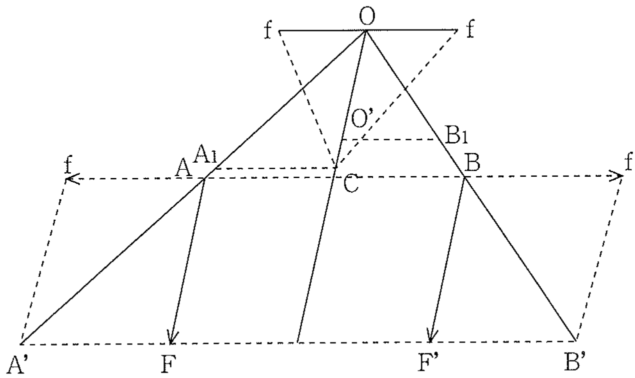


Si l'on applique au point A une force égale à la résultante et dirigée en sens contraire, cette force puis les deux autres AP et AQ sont en équilibre. Si ces trois forces sont en équilibre on peut considère l'une quelconque d' entre elles comme égale et directement opposée à la résultante des deux forces. Donc AQ est le prolongement de la diagonale du parallélogramme construit sur AP et d' autre force. Or on peut construire ce parallélogramme. Ce que détermine ainsi la longueur AR de la force cherchée. Or

$$AR = CP\,,\ CP = AB:\ \text{donc}\ \ AR = AB\,.$$

Donc la diagonale construite sur les deux forces représente en grandeur et en direction la résultante de ces 2 forces.

Considérons deux forces parallèles et de même sens appliquées à une droite solide. Je ne changerais rien si j'appliquais au point A une force f à condition que j'applique au point B une force f égale et dirigée en sens contraire que la première. Ces 4 forces ont donc la même résultante que les 2 proposées. Composons la force F avec f, ce qui donne pour résultante AA', composons de même la force F' avec f, ce qui donne la résultante BB' ; il suffit donc de composer les forces AA' et BB' pour finale. Pour cela, prolongeons des droites AA' et BB' qui se rencontrent en O. Je puis appliquer, au point O, deux forces horizontales et égales, appliquées en sens contraire (ff). Portons par le point o, une longueur OB_1, = BB' et OA_1 = AA'. Je dis que OO' est égale à la force F' : car les 2 triangles $O'OB_1$'; F'BB' sont égaux comme ayant un angle égale compris entre les côtés égaux chacun à chacun : pour la même raison OO' = F. Comme les 2 forces appliquées en o sont supposées égales chacune à chacune à celle des forces f et f, la résultante des forces o et OB, est représentée par OO', et la résultante des forces O et OA, est OO". Donc les résultantes des forces F et F', f et f sont représentées par OO' et OO". D'ailleurs comme f et f sont égales et comme on peut transporter le point d'application des forces de O en C, ou dès que deux forces parallèles F et F' de même sens sont égales à la somme des deux forces qu'elle leur est parallèle, et qu'elle est appliquée à un point e tel qu'on ait :

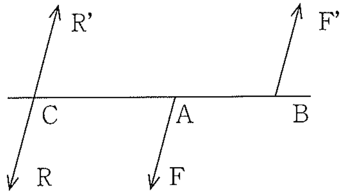


$$F \times AC = F' \times BC.$$

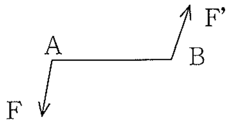
Relation que l'on déduit immédiatement de la similitude des triangles semblables : on a $\frac{F}{f} = \frac{OC}{AC}$, d' où $F \times AC = f \times OC$. On a ainsi $\frac{F'}{f} = \frac{OC}{BC}$, d' où $F' \times BC = f \times OC$, d' où l'on déduit $F \times AC = F' \times BC$.

Considérons le cas où l'on a encore deux forces parallèles, mais dirigées en sens contraire.

Démontrer qu'on a : $F \times AC = F' \times BC$. On peut ici renverser le raisonnement que l' on fait généralement. Je dis que la résultante est une force R appliquée à un point c tel qu'on a: F × AC = F' × BC, et que cette résultante est parallèle aux deux premières, et qu'elle est égale à leur différence, qu'enfin elle est dirigée dans le sens de la plus grande des deux forces.

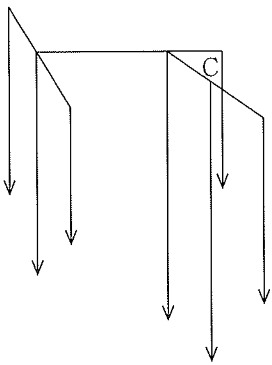


En effet, si cette force R est la résultante des forces F et F', une force directement opposé R' à cette force R devait faire équilibre aux forces F et F'. Si ces forces sont en équilibre, cela veut dire qu'une force égale et contraire à F serait la résultante des forces R' et F'. Donc R est bien la résultante des forces F et F'.



Il y a ici un cas particulier à considérer c'est le cas où les deux forces parallèle de sens contraire sont égales. On ne peut pas trouver la résultante, on dit que ces forces forment un couple.

Supposons maintenant que nous aurons un nombre quelconque de forces parallèles, nous pouvons les composer d'après le même procédé en composant d'abord deux, puis une 3^{e} avec la résultante des deux premières; une quatrième avec les résultantes des 3 premières et ainsi de suite. Le point d' application c de la résultante finale s'appelle centre des forces parallèles.



Remarquons que ce point ne dépend que de la grandeur et de leur point d'application et qu'il ne dépend pas de leur direction. En effet, le point d'application de la résultante de 2 forces se détermine uniquement par une équation qui ne contient que la grandeur des forces F et F' et la positon de points d'application A et B. Donc le centre des forces parallèles est indépendante de la direction des forces.

On dit qu'un point matériel est en équilibre sous l'action de plusieurs forces lorsque ces forces ne modifient pas son état de repos ou de mouvement.

Travail.- Pour définir complètement la nature d'une force et sa valeur au point de vue mécanique, il faut tenir de plus du chemin que la force fait parcourir à son point d'application. Lorsqu'on soulève un kilogramme à un mètre de hauteur, on développe un certain effort, on effectue un travail, ce travail est appelé kilogrammètre. Le kilogrammètre est donc le travail nécessaire pour élever 1 kilogramme à 1 mètre de hauteur. Lorsqu'on soulève un poids double d'un autre, on effectue évidement le même travail que si l'on soulevait deux poids égaux à ces autre. Le travail est donc double du premier. Il serait triple, si le poids est triple. Donc le travail est proportionnel au poids quand le chemin parcourue est le même; on a alors : $\frac{T}{T'}=\frac{P}{P'}$.

De même lorsqu'on soulève un certain poids à 2 mètre de hauteur, il est clair qu'on effectue le même travail que si l'on soulevait d'abord le poids à 1 mètre, puis ensuite à un second mètre. On voit par conséquent que le travail est propotionnel à la hauteur, quand le poids est le même. Je dis qu'en résumé, le travail est proportionnel au produit du poids par la hauteur.

Soit en effet, le travail T nécessaire pour élever le poids P à la hauteur H ; le travail T' nécessaire pour élever le poids P' à la hauteur H'. Prenons un g^e^ T_1 nécessaire pour élever le poids P à la auteur H'. Or, puisque dans le premier et le troisième, le poids est le même, les travaux seront proportionnels à la hauteur:

$$\frac{T}{T_1'}=\frac{H}{H'}.$$

Comme le deuxième et le troisième ont les mêmes hauteurs, sont proportionnels aux poids : $\frac{T_1'}{T}=\frac{P}{P'}$. En multipliant les 2 égalités membre à membre, on a : $\frac{T}{T'}=\frac{P\times H}{P'\times H'}$. c.q.f.d.

Si maintenant nous prenons pour unité de travail le kilogrammètre c.à.d, le travail nécessaire pour élever 1 kilogramme à 1 mètre, nous aurons P = 1 kilogramme, T_1' = 1 kilogramme, et H' = 1 mètre ; par nous aurons $T = P \times H$, qui on énonce de la façon suivante :

Le travail exprimé en kilogrammètre est égale au produit du poids exprimé en kilogramme multiplié par la hauteur exprimée en mètre.

Physique proprement dite.- De la Pesanteur.- Lorsqu'on prend une pierre à la main, et qu'on l'abandonne à elle-même, elle se met en mouvement. On en conclut qu'il y a une force qui la sollicite à produire ce mouvement. C'est cette qu'on appelle Pesanteur.

Pour étudier une force en général, il faut déterminer trois choses : *son point d'application, sa direction, et son intensité.*

Si l'on considère un point matériel, il est évident que la force de la pesanteur lui est appliquée, et comme nous considérons les corps comme des systèmes des points matériels, la force de la pesanteur pour un corps donné, sera la résultante de toutes les forces élémentaires appliquées aux différents points matériels qui constituent le corps. Cette résultante est appelée le poids du corps.

Direction.- Pour déterminer la direction de la force de la pesanteur, on se sert d'un appareil appelé fil à plomb qui se compose d'un fil à l'extrémité duquel on suspend une petite masse métallique. L'emploi du fil à plomb repose sur le fait de l'extrême flexibilité de ce que nous appelons un fil, flexibilité qui per mette à ce fil de prendre la direction de toute force qui le sollicité, de sorte que si l'on fixe l'un des points de ce fil, le poids du corps pesant qu'il suppor te fera prendre la direction de la pesanteur.

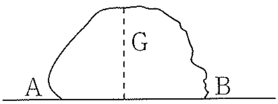
On constate en un lieu donné, la direction de la pesanteur est normale à la surface des eaux tranquilles. Pour faire cette constatation, on s'appuit sur ce fait : l'image d'un corps sur une surface plane est symétrique du corps par rapport à la surface plane. En plaçant l'œil au-dessus du fil tendu par le poids du corps, on constat que ce fil et son image sont dans le prolongement l'une de l'autre et ils sont symétriques. Donc la direction du fil est normale. Comme la terre est sensiblement sphérique, il en résulte que la direction de la pesanteur à un point quelconque du globe va passer par le centre de la terre. C'est pour cela que l'on dit que la force de la pesanteur est dirigée vers le centre de la terre ou même, la terre attire le corps. Cette direction en un lieu déterminé se nomme la verticale. On admet que les verticales dans deux lieux voisines sont parallèles; par ce qu'en effet, ces 2 droites ne se rencontrent qu' à une distance excessivement considérable par rapport à la distance des deux lieux voisins considérés.

Il résulte que la recherche du poids d'un corps revient à la composition de forces parallèles, et que le point d'application de ce poids est au centre de forces parallèles. On l'appelle le centre de gravité. Le centre de gravité d'un corps est donc indépendant de la position du corps; c'est à dire de la direction des forces de la pesanteur par rapport à ce corps, c'est même là un moyen de déterminer, dans la pratique, le centre de gravité d'un corps : il suffit de le suspendre successivement par deux poids différents. L'intersection des 2 lignes qui se sont tracées pendant ces suspensions, donne le centre de gravité.

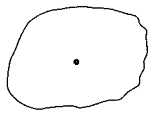
On peut déterminer géométriquement le centre de gravité de plusieurs corps qui ont les formes géométriques. On détermine ainsi le centre de gravité d'une ligne droite solide, qui est en son milieu; le centre de gravité d'une circonférence solide, d'un cercle, d'un carré, d'un rectangle est évidement au centre de ces figures. Le centre de gravité d'un triangle est situé à l'intersection des trois médianes. Il est facile de le démontrer : On peut mener parallèlement un grand nombre de lignes qui divisent le triangle en petites lignes solides et le centre de gravité de chacune d'elles se trouvent en son milieu. Les centres de gravité de toutes ces lignes se trouvent sur les médianes correspondantes. Si l'on fait le même raisonnement en divisant le triangle par des droites parallèle à l'autre côté, on verra par la même raison que tous les centres de gravité sont situés sur la médiane correspondante. Or le centre de gravité de la surface c'est le point d'application de la résultante des poids de ces différentes lignes matérielles. Comme toutes ces forces sont appliquées sur les médianes, le centre de gravité se trouve sur chacune des médianes; le centre de gravité se trouve donc à leur intersection.

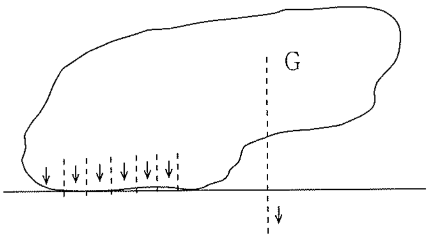
Il résulte de là que le centre de gravité de la surface d'un parallélogramme est le point d'intersection des diagonales. Quant aux volumes, les centres de gravité de la sphère est évidemment en son centre. Le centre de gravité d'un cube, d'un parallélépipède est aussi au centre de figures.

Equilibre d'un corps reposant sur le plan horizontal.- Pour que ce corps reste en équilibre, il faut et il suffit que la résistance du plan sur lequel le corps repose, puisse être directement opposé à la force de la pesanteur. Pour cela, il faut et il suffit que la verticale passant par le centre de gravité du corps tombe à l'intérieur du plus grand polygone possible que l'on peut former en joignant deux à deux les points de contact du corps et du plan; c'est à dire à l'intérieur de la base de sustentation.

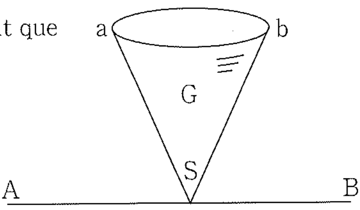


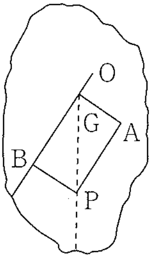
Considérons, en effet, un plan horizontal AB, que je représente par la section, et un corps reposant sur le plan. Il y aura l'équilibre, si le centre de gravité est tel que la verticale passe dans la base de sustentation. La résistance du centre du plan passe par le centre de gravité. Mais si le corps a la forme ci-dessus, il n'y aura pas d'équilibre.



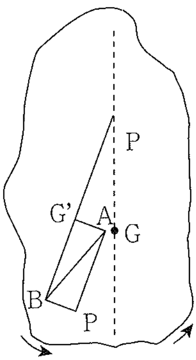


Il y a un cas particulier assez curieux; c'est le cas où la base de sustentation se réduit en un point, comme par exemple, quand on fait reposer le cône renversé. Il peut y être en équilibre mais on dit que l'équilibre est instable parce qu'il suffit qu'on déplace un peu le corps pour que l'équilibre n'existe plus. Si le cône repose par sa base, l'équilibre est stable.

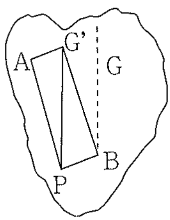


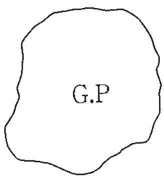


Position d'équilibre d'un corps suspendu autour d' un axe horizontal.- Considérons un corps de forme quelconque suspendu à un axe horizontal, et supposé perpendiculaire au du page. Soit G son centre, et P son poids. Je puis toujours décomposer le poids P en 2 autres forces: l'une dirigée suivant la droite GO et l'autre perpendiculairement. Pour cela il suffit de construire un parallélogramme de forces, je puis remplacer le poids P par les 2 forces GA et GB. La force GB est détruite par la résistance de l'axe O. Il reste donc la force GA qui tend à faire tourner le corps. Il n'y aura donc l'équilibre que si la composante GA est nulle; c'est à dire GP et GA ont la même direction. Ce qui n'aura lieu que dans le cas ou le point G se trouve sur une verticale passant par l'axe de suspension. Alors il y a 3 cas à considérer dans l'équilibre : ou bien le centre de gravité est au dessous de l'axe de suspension, ou bien il est au-dessus, ou bien il se confond avec lui.



Dans le premier cas, l'équilibre est stable; car si l'on dérange le corps très peu de sa position d'équilibre, il y est ramené par la composante que nous avons appelée GA. Dans le second cas au contraire il est instable, parce que si l'on dérange très peu le corps de sa position d'équilibre, il s'en éloigne plus encore. En effet, le poids appliqué au point G' peut toujours se décomposer en deux: l'une G'B détruite par la résistance de l'axe O, et l'autre G'A qui tend encore à éloigner le corps de la position d'équilibre. Dans le troisième cas, l' équilibre est indifférent. En effet, quelle que soit la position du corps, son poids est toujours détruit par la résistance de l' axe, et c'est pour cela que l' équilibre est indifférent.





Equilibre d'un corps suspendu à un point fixe.- On verrait facilement d'abord pour qu'il y est équilibre, il faut et il suffit que la verticale de centre de gravité passe par le point fixe. Il n'y aura équilibre stable quand le centre de gravité sera au-dessous du point fixe équilibre instable quand il sera au-dessous, enfin équilibre indifférent quand il considéra avec lui.