

seules forces extérieures qui lui soient appliquées ; et la somme de leurs projections sur l'axe de la veine est évidemment égale à  $P$  ; en sorte que, si l'on observe que ces forces projetées agissent en sens contraire du mouvement du liquide, on aura

$$- P dt$$

pour l'expression de la somme de leurs impulsions pendant le temps  $dt$ . Donc, d'après le deuxième théorème général que nous voulons appliquer ici, on a

$$- \rho \omega v dt \cdot v = - P dt,$$

d'où l'on tire

$$P = \rho \omega v^2.$$

Telle est la valeur de la pression que la veine liquide exerce sur le plan  $AB$ , dans les circonstances où nous nous sommes placés.

## CHAPITRE V

### THÉORIE DU MOUVEMENT DES MACHINES.

§ 266. **Notions générales sur les machines.** — Si l'on passe en revue les diverses espèces de machines qui sont employées dans l'industrie, on reconnaît facilement qu'elles peuvent être groupées dans deux classes bien distinctes. Les unes servent à vaincre des résistances plus ou moins considérables ; telles sont celles qui ont pour objet d'élever des fardeaux, de comprimer ou de broyer des corps, de tourner, de couper ou de percer les bois ou les métaux, etc. Les autres sont destinées à faire des ouvrages qui demandent de l'adresse plutôt que de la force ; telles sont celles qui servent à filer et à tisser les matières textiles, à broder les étoffes, à fabriquer les dentelles, etc.

En ne considérant d'abord que les machines de la première classe, nous voyons qu'elles sont employées, non seulement pour vaincre des résistances, mais encore pour faire marcher les points d'application de ces résistances. Lorsqu'une machine de cette classe est en activité, lorsqu'elle *travaille*, il y a à la fois résistance vaincue et déplacement du point d'application de la résistance en sens contraire de son action. D'ailleurs, il est aisé de voir, par divers exemples simples, que le travail effectué par la machine (en attribuant au mot *travail* son acception vulgaire) varie proportionnellement à l'intensité de la résistance vaincue, lorsque le point sur lequel cette résistance agit se déplace de la même manière ; et aussi que, à égalité de résistance vaincue, le travail varie proportionnellement au

chemin que le point d'application de cette résistance parcourt suivant sa direction, c'est-à-dire à la projection du chemin parcouru par ce point sur la direction de la force : donc, en général, le travail effectué par la machine est proportionnel au produit de la résistance vaincue par la projection du chemin parcouru par le point d'application de cette force sur sa direction. C'est pour cela que précédemment nous avons adopté le mot *travail* pour désigner un produit tel que celui dont il vient d'être question (§§ 116 à 118). Mais, pour qu'une machine puisse vaincre une résistance et faire marcher en même temps le point d'application de cette résistance en sens contraire de son action, il faut qu'une force mouvante, ou une puissance, lui soit appliquée; il faut en outre que le point de la machine sur lequel agit la puissance marche dans le sens de cette action : il faut donc que la puissance développe un certain *travail*, conformément à l'acception que nous attribuons à cette expression. Ce travail, développé par la puissance, fait que la machine soumise à son action peut effectuer le travail correspondant à la résistance qu'elle a à vaincre. La machine sert d'intermédiaire entre ces deux travaux : on peut dire qu'elle a pour objet de transmettre le travail de la puissance au point où la résistance est appliquée.

Les machines comprises dans la seconde des deux classes que nous avons indiquées plus haut ne sont pas destinées directement à vaincre des résistances. Mais l'ouvrage auquel on les emploie ne peut pas se faire sans qu'il se développe des résistances accessoires, telles que les frottements entre les diverses pièces dont elles sont formées; il en résulte que, pour entretenir le mouvement de ces machines, il est encore nécessaire de faire agir sur elles certaines puissances, et le travail de ces puissances correspond au travail occasionné par les résistances accessoires dont il vient d'être question.

Ainsi on peut dire d'une manière générale que *les machines sont des appareils qui servent à transmettre le travail des forces*. Nous allons voir de quelle manière s'effectue cette transmission du travail par l'intermédiaire des machines.

§ 267. **Transmission du travail dans les machines.** — C'est par l'application du théorème général des forces vives (§ 230) à l'ensemble des corps qui font partie d'une machine en mouvement, que nous arriverons à nous faire une idée nette sur la transmission du travail dans cette machine. Pour faire cette application, nous distinguerons, parmi les diverses forces qui agissent sur la machine, celles dont le travail est positif, et celles dont le travail est négatif. Les premières, dont les directions font à chaque instant des angles aigus avec les chemins élémentaires parcourus par leurs points d'application, sont les forces mouvantes, ou les puissances; les dernières, dont les directions font au contraire des angles obtus avec les déplacements de leurs points d'application, sont les forces résistantes ou les résistances. Le travail d'une force mouvante est désigné spécialement sous le nom de *travail moteur*; et celui d'une force résistante, considéré en valeur absolue, c'est-à-dire indépendamment du signe — dont il est affecté, se nomme par opposition *travail résistant*. La somme des travaux développés pendant un temps quelconque par les diverses forces mouvantes qui agissent sur une machine, constitue ce qu'on nomme le *travail moteur total*, ou simplement le travail moteur, correspondant à ce temps; et de même on donne le nom de *travail résistant total*, ou simplement de travail résistant, à la somme des valeurs absolues des travaux dus aux forces résistantes pendant le même temps.

Cela posé, si nous considérons le mouvement d'une machine pendant un intervalle de temps quelconque, et si nous désignons par  $T_m$  le travail moteur total développé pendant ce temps, et par  $T_r$  le travail résistant total correspondant, nous aurons  $T_m - T_r$  pour la somme des travaux de toutes les forces qui agissent sur la machine pendant le temps dont il s'agit : donc, d'après le théorème général des forces vives, on aura

$$\Sigma mv^2 - \Sigma mv_0^2 = 2(T_m - T_r). \quad (a)$$

Cette équation exprime que l'accroissement total de la force vive de la machine, pendant le temps que l'on considère, est

égal au double de l'excès du travail moteur sur le travail résistant, pendant le même temps ; elle renferme en elle-même toute la théorie de la transmission du travail dans les machines.

Supposons d'abord que le mouvement de la machine soit uniforme, c'est-à-dire que la vitesse de chacun de ses points reste constamment la même. Le premier membre de l'équation (a) est nul, quel que soit l'intervalle de temps auquel cette équation se rapporte : donc le travail moteur  $T_m$  est constamment égal au travail résistant  $T_r$ . Ainsi la machine transmet le travail développé par les forces mouvantes aux points sur lesquels agissent les forces résistantes, sans que la grandeur de ce travail ait subi aucune modification. Dans le cas particulier où la machine n'est soumise qu'à une seule puissance et à une seule résistance, l'uniformité du mouvement entraîne comme conséquence que le travail de la puissance est égal à celui de la résistance ; ou, en d'autres termes, que la puissance et la résistance sont entre elles dans le rapport inverse des chemins parcourus dans le même temps par leurs points d'application, et suivant leur directions respectives : d'où l'on conclut la maxime, bien connue, que *ce qu'on gagne en force, on le perd en vitesse*.

Lorsqu'une machine ne se meut pas uniformément, l'égalité des travaux moteur et résistant  $T_m$ ,  $T_r$  correspondant à un intervalle de temps quelconque, n'existe plus. Mais, dans ce cas, le mouvement de la machine est habituellement périodique : c'est-à-dire que ce mouvement s'accélère et se ralentit alternativement, de telle manière que la vitesse de chacun des points de la machine reste toujours comprise entre certaines limites. Si l'on considère une des périodes de temps qui se succèdent, et qui sont telles qu'au commencement et à la fin de chacune d'elles les vitesses des diverses parties de la machine sont les mêmes, il est clair que, pour cette période, le premier membre de l'équation (a) est égal à zéro, et par conséquent le second l'est aussi : donc le travail moteur  $T_m$ , développé pendant cet intervalle de temps, est égal au travail résistant  $T_r$  correspondant. Ainsi, quoique  $T_m$  et  $T_r$  ne soient pas égaux pour chaque élément du temps, l'égalité de ces deux quantités peut être

regardée comme existant, en moyenne, pendant toute la durée de la marche périodique de la machine ; puisqu'elle a lieu pour une quelconque des périodes de mouvement dont nous venons de parler, et par conséquent aussi pour le temps formé d'un nombre quelconque de ces périodes.

Si l'on applique l'équation (a) à la totalité du temps pendant lequel la machine se meut, c'est-à-dire au temps compris entre l'instant où elle commence à se mettre en mouvement et l'instant où elle s'arrête, on voit que le premier membre de l'équation est nul, puisque chacun des deux termes qui le composent est nul séparément : donc, pendant ce temps total, on a encore  $T_m = T_r$ . De telle sorte que, quelles que soient les variations du mouvement de la machine, le travail développé par les forces mouvantes qui lui sont appliquées, pendant tout le temps qu'elle est en marche, est toujours égal au travail développé dans le même temps par les forces résistantes.

L'équation (a) nous montre encore que, si la force vive  $\Sigma mv^2$  de la machine, à la fin d'un certain intervalle de temps, est plus grande que la force vive  $\Sigma mv_0^2$  correspondant au commencement de cet intervalle de temps,  $T_m$  est plus grand que  $T_r$  ; et de même que, si la force vive finale est plus petite que la force vive initiale,  $T_m$  est plus petit que  $T_r$ . On voit par là comment varie le mouvement de la machine, suivant que le travail moteur est supérieur ou inférieur au travail résistant. Tant que l'on a  $T_m = T_r$ , la force vive de la machine reste la même. Si  $T_m$  devient plus grand que  $T_r$ , le mouvement de la machine s'accélère ; sa force vive augmente d'une quantité égale au double de l'excès de  $T_m$  sur  $T_r$ . Si, au contraire,  $T_m$  devient plus petit que  $T_r$ , le mouvement de la machine se ralentit et sa force vive diminue du double de l'excès de  $T_r$  sur  $T_m$ . On peut dire d'après cela que, lorsque  $T_m$  est plus grand que  $T_r$ , le travail moteur  $T_m$  se décompose en deux parties respectivement égales à  $T_r$  et  $T_m - T_r$  ; la première de ces deux parties du travail moteur permet à la machine d'effectuer le travail  $T_r$  correspondant aux résistances qui lui sont appliquées ; et la seconde partie détermine l'accroissement de la force vive de la

machine. Lorsque, au contraire,  $T_m$  est plus petit que  $T_r$ , le travail moteur  $T_m$  ne peut occasionner la production que d'une portion du travail résistant, portion qui est égale à  $T_m$ ; quant à l'autre portion  $T_r - T_m$  de travail résistant, elle est produite aux dépens de la force vive de la machine, qui diminue d'une quantité correspondante. Les choses se passent comme si dans le premier cas, l'excès du travail moteur sur le travail résistant s'emmagasinait dans la masse totale de la machine, sous forme de force vive; et si, dans le second cas, l'excès de travail moteur, ainsi emmagasiné précédemment, reparait pour occasionner la production d'une quantité de travail résistant précisément égale à celle que cet excès de travail moteur aurait pu produire directement. On comprend par là comment il se fait que l'uniformité du mouvement de la machine n'est pas nécessaire pour que cette machine transmette le travail qu'elle reçoit sans en changer la valeur totale.

Au commencement du mouvement d'une machine, pendant tout le temps compris entre l'instant où elle part du repos et celui où elle arrive à l'état de mouvement régulier qu'elle doit ensuite conserver, le travail moteur  $T_m$  surpasse le travail résistant  $T_r$  d'une quantité égale à la moitié de la force vive que possède la machine à la fin de ce temps. A partir de là, et pendant tout le temps que la machine conserve son mouvement régulier ou périodique, les travaux moteurs et résistants sont égaux, ainsi que nous l'avons dit. Mais, à la fin, lorsque la machine part de son mouvement régulier pour revenir à l'état de repos,  $T_r$  surpasse  $T_m$  d'une quantité égale à la moitié de la force vive que la machine perd : la portion du travail moteur qui avait été employée tout d'abord, pour amener la machine à son état de mouvement régulier, et qui était dissimulée dans cette machine sous forme de force vive, reparait donc à la fin, et occasionne la production d'une quantité égale de travail résistant.

§ 268. On voit par ce qui précède que, dans tous les cas, une machine transmet la totalité du travail qui lui est appliqué, sans en changer la valeur. Si cette transmission intégrale du travail par l'intermédiaire de la machine ne s'effectue pas

complètement dans chacun des éléments du temps total pendant lequel la machine est en marche, il se produit, entre ces divers éléments de temps, des compensations telles, qu'en définitive, aucune portion du travail moteur confié à la machine ne se trouve perdue. Mais il faut bien faire attention que, pour arriver à un pareil résultat, nous avons dû tenir compte du travail développé par toutes les forces appliquées à la machine, sans aucune exception; et nous savons que, pour cela, on doit considérer aussi bien les forces intérieures que les forces extérieures (§ 230). Or, parmi les forces qui jouent le rôle de forces résistantes, il y en a de deux espèces : 1° celles qui sont nécessairement appliquées à la machine d'après l'objet auquel elle est destinée, c'est-à-dire celles qui correspondent au travail même que l'on se propose de produire par l'emploi de la machine; 2° celles qui se développent dans les diverses parties de la machine, par suite de son mouvement, comme les frottements entre les pièces solides dont la machine est formée, et qui n'ont rien de commun avec le travail en vue duquel la machine est employée. Les forces résistantes de la première espèce sont souvent désignées sous le nom de *résistantes utiles* et celles de la seconde espèce sous le nom de *résistances passives*. Le travail développé par les résistances utiles se nomme *travail utile*.

Désignons ce travail utile par  $T_u$ , et posons

$$T_r = T_u + T_f$$

le terme  $T_f$  représentera le travail dû aux résistances passives. Nous avons vu que, si l'on considère le mouvement d'une machine dans son ensemble, le travail résistant  $T_r$  est toujours égal au travail moteur  $T_m$ ; mais le travail utile  $T_u$  est inférieur au travail moteur  $T_m$  d'une quantité égale au travail  $T_f$  dû aux résistances passives. De sorte que, s'il est vrai de dire que les machines transmettent la totalité du travail moteur qui leur est confié, sans qu'aucune partie de ce travail soit perdue, on peut ajouter qu'une portion de ce travail transmis est mal employée : c'est la portion qui correspond au travail résistant  $T_f$  dû aux résistances passives. Plus cette portion  $T_f$  du travail moteur

total  $T_m$  est grande, plus la machine est mauvaise. Pour voir si une machine est plus ou moins bonne, on considère le rapport

$$\frac{T_u}{T_m}$$

du travail utile au travail moteur; la machine est d'autant meilleure que ce rapport, toujours inférieur à l'unité, se rapproche davantage de cette limite: ce rapport est ce qu'on nomme le *rendement* de la machine.

Il est clair, d'après ce qui a été dit précédemment (§ 267), que l'on doit éviter autant que possible tout ce qui peut occasionner des pertes de force vive dans une machine; c'est-à-dire tout ce qui peut amener une diminution dans la force vive de la machine, sans que cette diminution soit accompagnée de la production d'une quantité correspondante de travail utile; car la force vive de la machine représente une partie du travail moteur qui lui a été précédemment appliqué, et la perte d'une portion de cette force vive équivaut en conséquence à la perte d'une certaine quantité du travail moteur dont il s'agit. Or, toutes les fois que les molécules de certaines pièces de la machine prennent un mouvement vibratoire, outre le mouvement d'ensemble dont ces pièces sont animés, on doit regarder les choses comme se passant, au point de vue de la transmission du travail, de la même manière que si ce mouvement vibratoire était anéanti instantanément: car les vibrations des molécules se transmettent de proche en proche aux corps voisins de la machine, par l'intermédiaire de ses supports et de l'air environnant, et finissent par se perdre dans la masse totale de la terre, sans occasionner la production d'aucune quantité de travail utile. Il résulte de là qu'on doit faire en sorte que le mouvement des diverses molécules de la machine prenne le moins possible la forme de mouvement vibratoire, puisque cela équivaut à la perte de force vive que la machine éprouverait dans l'hypothèse où ce mouvement vibratoire viendrait à être anéanti brusquement, sans que le mouvement d'ensemble des diverses pièces qui la composent cessât d'être le même. On comprend

par là pourquoi nous n'avons pas tenu compte du mouvement vibratoire des molécules, en évaluant la perte de force vive, dans le choc de deux corps sphériques qui ne présentent pas les caractères de l'élasticité parfaite (§ 253): nous avons en vue de nous faire une idée de ce qui se passe dans les machines, lorsqu'il se produit des chocs entre les pièces dont elles sont formées.

La perte de force vive par les mouvements vibratoires que prennent les molécules, constitue certainement la principale cause de perte de travail dans les machines. Elle ne se produit qu'exceptionnellement par les chocs, que l'on est presque toujours en mesure d'éviter complètement; mais elle se présente au contraire constamment par suite du mouvement des pièces solides qui se meuvent en se touchant par leurs surfaces, soit que ces pièces glissent les unes sur les autres, soit que leur mouvement relatif se réduise à un simple roulement. Nous avons vu (§§ 254 et 255) comment, dans l'étude du mouvement de ces pièces, on peut faire abstraction de la production du mouvement vibratoire dont il s'agit, en lui substituant certaines forces capables d'occasionner la même perte de travail. C'est de cette manière que l'on doit comprendre que les frottements et les résistances au roulement soient mis au nombre des forces résistantes auxquelles nous avons attribué le nom de résistances passives.

En établissant une machine, on cherche toujours à rendre  $T_u$  aussi petit que possible par rapport à  $T_m$ ; et on y parvient en se fondant sur les idées que nous venons d'indiquer, relativement aux causes de perte de travail et de force vive. Ainsi, par exemple, en donnant un poli et une dureté convenables aux surfaces des corps qui doivent glisser les uns sur les autres, et en graissant ces surfaces, on diminue l'intensité du frottement qui se développe entre elles; d'un autre côté, en faisant en sorte que la vitesse du glissement soit aussi petite que possible, on diminue le travail dû au frottement dans un temps donné. Mais, de quelque manière qu'on s'y prenne, on ne peut pas faire que la quantité de travail moteur  $T_m$ , nécessaire pour produire une quantité donnée  $T_u$  de travail utile, par l'intermédiaire d'une ma-

chine, s'abaisse au-dessous de cette dernière quantité de travail;  $T_m$  est toujours au moins égal à  $T_u$  et même lui est toujours supérieur, puisqu'on ne peut jamais réduire  $T_f$  à zéro. On reconnaît par là combien est grande l'erreur de ceux qui cherchent ce qu'on nomme le *mouvement perpétuel*; car l'objet qu'ils se proposent, c'est précisément de trouver une machine à l'aide de laquelle on puisse produire du travail utile sans dépense de travail moteur, ou au moins, produire une quantité de travail utile plus grande que la quantité de travail moteur employée.

Si nous nous reportons à la division que nous avons faite des machines en deux grandes classes (§ 266), nous verrons que dans les machines de la seconde classe, le travail résistant se réduit presque uniquement à  $T_f$ : le travail utile  $T_u$  est pour ainsi dire nul, parce que l'ouvrage auquel la machine est employée n'occasionne par lui-même qu'une résistance insignifiante. Dans ce cas, en diminuant  $T_f$  par les divers moyens connus, on peut parvenir à faire une grande quantité d'ouvrage avec une faible dépense de travail moteur. On en a un exemple dans les machines qui servent à filer le coton ou la laine: avec une quantité de travail moteur assez petite, on entretient le mouvement d'un nombre considérable de broches, dont chacune produit un fil. Mais il faut bien se garder de confondre l'ouvrage que peut produire une machine, avec le travail nécessaire à la production de cet ouvrage.

§ 269. **Machines motrices : machines-outils.** — Dans une machine complète, on doit distinguer trois parties distinctes, savoir: 1° la partie qui est destinée à recevoir le travail moteur, sur laquelle agissent directement les forces mouvantes; 2° la partie qui est destinée à produire le travail utile, sur laquelle agissent directement les résistances utiles; 3° enfin la partie intermédiaire, qui est destinée à relier les deux premières l'une à l'autre. On s'en fera une idée nette en pensant à un moulin à eau, dans lequel une roue hydraulique fait marcher une meule: la roue hydraulique constitue la première partie; la meule forme la seconde; et la troisième se compose des arbres et des roues dentées, par l'intermédiaire desquels le mouvement de la roue

se transmet à la meule. La première partie, celle qui reçoit le travail moteur, est désignée spécialement sous le nom de *machine motrice*; elle varie de forme suivant la manière dont le travail moteur se produit: les roues hydrauliques, l'appareil extérieur des moulins à vent et les machines à vapeur en fournissent des exemples. La seconde partie, celle qui produit le travail utile, se nomme *machine-outil*; elle varie également d'après la nature du travail auquel elle est destinée.

Toutes les considérations développées précédemment, relativement à la transmission du travail dans les machines, peuvent être appliquées à une machine motrice, ou à une machine-outil, considérée isolément; et de même on peut les appliquer à l'ensemble des mécanismes qui servent à faire communiquer l'une avec l'autre, ou bien encore à une portion quelconque de ces mécanismes. Il est aisé de voir que les machines-outils seules peuvent rentrer dans la seconde des deux classes de machines qui ont été indiquées plus haut (§ 266): les machines motrices, et les parties de machines qui servent à relier les machines motrices aux machines-outils, font nécessairement partie de la première classe.

Les machines motrices ont été imaginées pour remplacer l'action de l'homme et des animaux sur les machines. La force (1) de ces machines se mesure par la quantité de travail qu'elles peuvent effectuer dans un temps donné. Pour pouvoir évaluer

(1) Le mot *force* est employé ici avec une acception différente de celle qui lui a été attribuée dans tout ce qui précède; il doit être regardé comme signifiant *capacité de travail*. Il est certainement fâcheux d'employer ainsi le même mot pour désigner deux choses essentiellement différentes, mais il serait difficile de changer cette manière de parler qui est consacré par l'usage. D'ailleurs, il n'y a pas à craindre que l'on confonde jamais une force, qui s'évalue en kilogrammes, avec la force d'une machine, qui s'évalue en chevaux-vapeur. La manière dont le mot *force* se trouve introduit dans une phrase indique toujours suffisamment à laquelle de ces deux acceptions il se rapporte.

Le mot *force* se trouve encore dans l'expression *force vive*, que nous avons fréquemment employée; mais on ne doit, dans ce cas, lui attribuer aucune signification particulière. Il ne fait que constituer une partie du mot complexe *force vive*, dont le sens est parfaitement défini.

cette force en nombre, on a besoin de faire choix d'une unité particulière. L'unité qui est généralement adoptée pour cela porte le nom de *cheval-vapeur*, ou simplement de *cheval* : elle correspond à une production de 75 kilogrammètres de travail (§ 118) en une seconde de temps.

§ 270. **Moyens de régulariser le mouvement d'une machine.**

— Lorsqu'une machine est destinée à marcher pendant un temps un peu long, il est généralement très important que son mouvement soit uniforme, ou au moins ne s'écarte pas beaucoup de l'uniformité. Cela est utile notamment pour que le travail moteur se transmette convenablement aux machines motrices, et aussi pour que les machines outils effectuent régulièrement le travail auquel elles sont employées. Pour obtenir cette régularité du mouvement d'une machine, on a recours à deux moyens différents que nous allons indiquer.

Si le travail moteur se développe d'une manière intermittente, ou bien si, en se développant d'une manière continue, il est tantôt plus grand, tantôt plus petit, pour un même intervalle de temps, il est clair qu'il doit en résulter des variations dans le mouvement de la machine. De même, l'intermittence ou les changements périodiques d'intensité du travail utile doivent également faire varier la rapidité du mouvement. Mais nous savons que l'excès du travail moteur sur le travail résistant, ou inversement du travail résistant sur le travail moteur, détermine dans la machine une augmentation ou une diminution de force vive, qui a pour valeur le double de cet excès. On voit donc que, pour un même excès de l'un des deux travaux sur l'autre, les variations de vitesse des diverses parties de la machine seront d'autant plus faibles, que cette machine aura une plus grande masse ; et, si l'on considère en particulier un arbre tournant faisant partie de la machine, les variations de la vitesse angulaire de cet arbre seront d'autant moindres que son moment d'inertie sera plus grand : pour augmenter ce moment d'inertie, et par conséquent pour diminuer les variations de vitesse que l'arbre éprouve successivement, on lui adapte une grande roue massive, nommée *volant*.

A l'aide d'un volant adapté à l'un des arbres d'une machine, on atténue autant qu'on veut les augmentations et diminutions de vitesse, occasionnées par les excès alternatifs des travaux moteur et résistant l'un sur l'autre ; mais il n'en résulte pas que le mouvement de la machine, considéré dans son ensemble, et abstraction faite des variations périodiques qu'il présente, ne puisse pas s'accélérer peu à peu, de manière à atteindre une rapidité excessive au bout d'un temps assez long, ou bien qu'il ne puisse pas se ralentir progressivement, de manière que la machine finisse par s'arrêter tout à fait. Pour que le mouvement d'une machine s'effectue avec une vitesse moyenne qui reste toujours la même, il faut que la valeur moyenne du travail moteur soit égale à la valeur moyenne du travail résistant, pendant un nombre quelconque des périodes dont se compose le mouvement de la machine. On parvient à établir cette égalité des travaux moteur et résistant, considérés en moyenne pendant un temps plus ou moins long, en employant des appareils dits *régulateurs*, parmi lesquels on peut citer, comme type, le *régulateur à force centrifuge*. Ces appareils, changeant de forme suivant que la machine marche plus ou moins vite, agissent par cela même sur des organes spéciaux, à l'aide desquels ils augmentent ou diminuent le travail moteur, de manière à le mettre toujours en rapport avec la grandeur du travail résistant à vaincre.

Ainsi les régulateurs servent à conserver à la vitesse de la machine une valeur moyenne qui soit toujours la même ; et les volants sont destinés à empêcher que la vitesse de la machine ne s'écarte trop de cette vitesse moyenne, soit en plus, soit en moins, suivant que le travail moteur est momentanément plus grand ou plus petit que le travail résistant correspondant.