

La Chaleur et l'Énergie

LES MACHINES SIMPLES.

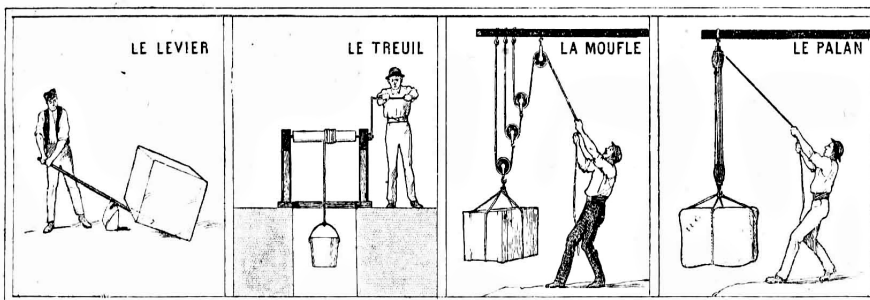
Tout le monde sait qu'il y a des machines à l'aide desquelles l'homme qui est si faible peut soulever des fardeaux considérables. Tel est le levier. En appuyant sur le grand bras on peut élever presque sans effort un poids énorme portant sur l'extrémité du petit bras. Mais on ne l'élèvera que de quelques centimètres, tandis que la main de l'ouvrier se sera abaissée de près d'un mètre.

Tel est aussi le treuil qui se compose d'un cylindre sur lequel s'enroule une corde et que

vraie avec toutes les machines que l'on peut imaginer; avec celles, par exemple, comme les grues ou les crics, où il y a des engrenages. Si l'ouvrier, pour soulever un poids, n'a à faire qu'un effort dix fois plus faible que ce poids, le poids ne montera que d'un mètre pendant que la main de l'ouvrier parcourra dix mètres.

IMPOSSIBILITÉ DU MOUVEMENT PERPETUEL.

C'est ce qui explique l'échec des innombrables tentatives qu'ont faites et que font chaque jour des ignorants pour



l'on fait tourner à l'aide d'une manivelle. L'ouvrier agit sur la manivelle et fait ainsi monter un poids pendu à la corde. Si le cylindre a, par exemple, 10 centimètres de diamètre et que le bras de la manivelle ait 50 centimètres de long, il pourra élever un poids de 100 kilos sans plus d'effort que s'il soulevait sans machine un poids de 10 kilos. Mais quand la manivelle aura fait un tour, la corde ne se sera élevée que de 31 centimètres, tandis que la main de l'ouvrier aura décrit un cercle dix fois plus grand. Grâce à la machine, l'ouvrier a dix fois plus de force mais son poids monte dix fois moins vite.

Il en est encore de même avec les mouffles et palans que représente la figure. Une corde va passer successivement sur une série de poulies : les unes fixes, celles qui sont en haut; les autres mobiles, mais reliées ensemble, celles qui sont en bas. Le poids à soulever est suspendu aux poulies mobiles. S'il y a, par exemple, six brins, le poids se répartit entre ces six brins, de sorte qu'on a six fois moins d'effort à faire pour tirer sur la corde. Mais quand on a tiré la corde de six mètres en tout; chacun des brins s'est donc raccourci d'un mètre et le poids n'a monté que d'un mètre.

Ainsi ce que l'on gagne en force, on le perd en vitesse. La loi est générale; elle est

réaliser le mouvement perpétuel, c'est-à-dire pour faire marcher une machine sans moteur. Les machines simples que nous venons de décrire se prêtent à des combinaisons extrêmement nombreuses; on les a toutes essayées, on a toujours échoué, et si on avait réfléchi, on aurait compris qu'on ne pouvait pas ne pas échouer.

Voici comment raisonnent tous ces inventeurs. J'ai une première machine, levier, treuil ou n'importe quoi, qui me permet de soulever un poids de 10 kilos avec un effort dix fois moindre; je vais y attacher un poids de 1 kilo qui me servira de moteur, et qui soulèvera deux poids de 5 kilos; mais pour que le poids moteur puisse resserrer, il faut le remonter; voici ce que je vais faire, je laisserai en haut un des deux poids de 5 kilos que je viens d'élever; le second de ces poids, je l'attellerai à une seconde machine et il me servira à remonter mon poids de 1 kilo; une fois que celui-ci sera relevé, je pourrai recommencer et soulever un nouveau poids de 5 kilos qui viendra se placer à côté de celui que j'ai déjà laissé en haut et ainsi de suite indéfiniment.

Et voici quel est le défaut de ce raisonnement. Supposons que mon poids moteur s'abaisse de 1 mètre; il ne pourra soulever les deux poids de 5 kilos que de 10 centimètres; le

poids de 5 kilos qui met en mouvement la seconde machine devra donc, en marche normale, ne redescendre que de 10 centimètres, et cela ne pourra faire remonter le poids moteur que de 50 centimètres. Nous l'aurons relevé, c'est vrai, mais nous ne l'aurons pas relevé assez. Je renonce à compter les malheureux qui ont commis ce faux raisonnement et je frémis en pensant à tous ceux qui le commettront encore.

LES CHUTES D'EAU.

On se sert souvent du poids comme moteur; c'est ce qui arrive avec les moulins et toutes les machines que l'on fait marcher avec une chute d'eau. C'est le poids de l'eau qui les fait tourner; on a une provision d'eau à un niveau élevé, en amont de la chute; quand elle a passé par la machine, elle se trouve à un niveau plus bas, en aval. Mais quand l'eau est ainsi descendue, la provision d'énergie qu'elle représentait est épuisée, il ne faut pas songer à la régénérer; pour la remonter à son niveau primitif il faudrait dépenser au moins autant de travail qu'elle pourrait en produire en redescendant. Si donc la rivière ne renouvelait pas constamment la provision d'eau qui se trouve en amont, la machine s'arrêterait.

Remarquons toutefois une chose. Je suppose l'eau au bas de la chute, elle a encore toute sa force, puisque c'est là qu'on place ordinairement la roue du moulin ou la turbine; comment cela se fait-il, puisqu'elle est déjà descendue? C'est parce qu'en tombant, elle a acquis de la vitesse et que son choc devient ainsi irrésistible. Ainsi l'énergie de l'eau peut se présenter sous deux formes différentes. Quand elle est au niveau supérieur dans le bief d'amont, elle est bien tranquille, elle représente néanmoins une provision de travail disponible parce qu'elle est en haut, et que, par conséquent, elle *peut* descendre (si on veut qu'elle descende on n'a qu'à ouvrir la vanne); en descendant, elle produira du travail. On dira alors que l'énergie de l'eau est sous la forme *potentielle*.

Quand l'eau arrive au bas de la chute, avant d'avoir rencontré la machine, elle ne peut plus descendre puisqu'elle est en bas; elle n'a donc plus d'énergie potentielle; mais elle n'a pas perdu sa puissance parce qu'elle est en mouvement: son énergie est sous forme de force vive.

Quand elle a enfin passé par le moulin et qu'elle est dans le bief d'aval, elle est épuisée; elle n'a plus d'énergie potentielle puisqu'elle est en bas et ne peut plus descendre, elle n'a pas non plus de force vive, puisqu'elle ne se meut plus et est redevenue tranquille. Elle a cédé toute son énergie au moulin.

Considérons maintenant une balançoire; quand elle est en haut de sa course, elle s'y arrête un instant, elle n'a pas de force vive, puisqu'elle ne bouge pas, mais elle a de l'énergie potentielle puisqu'elle est à un niveau d'où elle

peut descendre. Elle descend; quand elle est en bas de sa course, elle n'a plus d'énergie potentielle puisqu'elle ne peut pas descendre plus bas, mais elle est lancée, elle a de la force vive. Elle remonte de l'autre côté et quand elle s'arrête de nouveau, elle a perdu sa force vive et a regagné de l'énergie potentielle. Et ainsi de suite, à chaque oscillation son énergie potentielle se transforme en force vive, qui se transforme de nouveau en énergie potentielle.

LA CHALEUR.

On sait pourtant qu'elle n'oscillera pas indéfiniment et qu'au bout d'un certain temps elle s'arrêtera; elle n'aura plus alors ni force vive, ni énergie potentielle. Revenons à notre chute d'eau. Que se passait-il quand on n'y avait pas encore installé le moulin? L'eau entrant dans le bief d'amont avec une grande provision d'énergie potentielle, elle tombait et arrivait en bas avec une grande vitesse, son énergie potentielle s'était transformée en force vive; mais un peu plus loin elle avait perdu sa vitesse, elle n'était plus bouillonnante et on la retrouvait tranquille dans le bief d'aval, dépourvue à la fois d'énergie potentielle et de force vive. Qu'était donc devenue la provision qu'elle avait apportée? Elle n'avait pourtant pu la céder au moulin qui n'était pas encore installé. Mais l'eau agitée se remplit de tourbillons qui frottent les uns contre les autres et c'est ce frottement qui arrête son mouvement. De même si la balançoire s'arrête, c'est qu'elle frotte sur ses supports et contre l'air qu'elle doit traverser.

L'énergie ainsi dissipée est-elle perdue? Non, l'expérience de tous les jours nous apprend que le frottement engendre de la chaleur. On sait, par exemple, que quand on serre sérieusement un frein d'une voiture, au bas de la descente, le frein et le bandage de la roue sont devenus tout chauds. L'énergie, disparue en apparence, n'est donc pas détruite, elle s'est seulement transformée en chaleur.

Et la chaleur peut-elle inversement se transformer en énergie mécanique, je veux dire mettre une voiture en mouvement, c'est-à-dire se changer en force vive, ou bien servir à élever un poids, c'est-à-dire se changer en énergie potentielle? Certainement, avec cette chaleur, vous pouvez chauffer une chaudière, faire marcher une machine à vapeur, une locomotive qui peut donner une grande vitesse à un train primitivement au repos, ou encore remorquer de lourds wagons jusqu'au sommet d'une montagne.

DIVERSES FORMES DE L'ÉNERGIE.

L'énergie potentielle, la force vive et la chaleur ne sont pas les seules formes de l'énergie; prenons, par exemple, une tonne de houille, c'est aussi une provision d'énergie, puisque cela peut servir à chauffer une machine à vapeur; mais ce n'est pas encore de la chaleur,

puisque c'est froid, ni de la force vive puisque c'est en repos, ni de l'énergie potentielle puisque ce n'est pas par son poids que cela agira. C'est de l'énergie chimique; le charbon tend à se combiner à l'oxygène de l'air pour donner de l'acide carbonique, c'est ce qu'on appelle brûler. Tant que le charbon n'est pas uni à l'oxygène, il contient une provision d'énergie chimique, parce que, pour ainsi dire, il *désire* s'unir à l'oxygène; l'acide carbonique qui sort par la cheminée n'en contient plus, parce qu'il n'a plus de désir. De même l'eau d'une chute dans le bief d'amont possède de l'énergie potentielle, parce qu'elle *désire* descendre; dans le bief d'aval, elle n'en a plus parce que son désir est assouvi.

Une bouteille de Leyde chargée, dont la décharge peut produire des effets considérables, représente aussi de l'énergie, c'est de l'énergie électrique qui peut se présenter encore sous beaucoup d'autres formes. Voici une charge de poudre, elle représente de l'énergie chimique; la capsule enflamme la poudre, cette énergie chimique se transforme en chaleur; les gaz échauffés chassent la balle du fusil en lui imprimant une grande vitesse, la chaleur s'est transformée en force vive, la balle va frapper un obstacle et retombe aplatie et toute chaude, la force vive est redevenue de la chaleur.

Voici une pile électrique, dont on se sert pour produire des courants; il y a dedans du zinc et de l'acide sulfurique qui « désirent » s'unir; tant que ce désir n'est pas assouvi, ils représentent de l'énergie chimique, la pile fonctionne et le courant s'établit; l'énergie est devenue électrique; elle peut redevenir de la chaleur, si le courant chauffe le fil qu'il traverse, ou de l'énergie chimique si on s'en sert pour fabriquer du cuivre, ou du chlore, ou de la force vive, si on l'emploie à faire marcher un petit moteur.

L'ÉQUIVALENCE. Ainsi nous voyons tous les jours les diverses formes de l'énergie se transformer les unes dans les autres. Nous perdons de l'énergie potentielle, mais nous gagnons de la force vive; nous perdons de la force vive, mais nous gagnons de la chaleur, ou inversement. Retrouvons-nous finalement notre compte? Comparons cela avec ce qui se passe pour la monnaie. Nous pouvons échanger des billets de banque contre de l'or, ou contre de l'argent, ou contre des sous; mais pour qu'il y ait équivalence entre ces di-

verses formes de la monnaie, il ne suffit pas qu'on puisse échanger certains morceaux de papier avec un certain poids d'or ou un certain poids d'argent. Il y a d'autres conditions à remplir.

S'il y a un banquier qui donne cinq louis d'or pour un billet de cent francs, il ne faut pas qu'il y en ait un second qui n'en donne que quatre. Il ne faut pas qu'il y ait un troisième banquier qui donne un billet de cent francs pour cinq louis d'or, mais qui en revanche ne donne que quatre louis pour un billet.

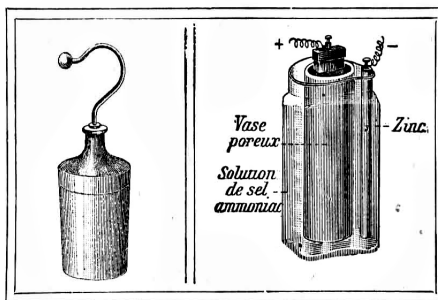
Il ne faut pas enfin qu'il y ait un quatrième banquier qui échange un billet pour cinq louis ou inversement, un louis pour quatre pièces de cent sous et inversement, mais qui, quand il s'agit d'échanger directement des billets de banque avec des pièces d'argent, donne quinze pièces de cent sous pour un billet ou inversement.

De même, pour qu'il y ait équivalence entre les diverses formes de l'énergie, il faut des conditions analogues; les physiiciens ont observé qu'elles sont effectivement remplies. Si une certaine quantité de travail s'échange contre une certaine quantité de chaleur, il ne peut pas arriver que dans d'autres circonstances elle s'échange contre

une quantité double de chaleur; s'il en était autrement, la nature se comporterait comme le second banquier; elle ne fait pas non plus comme le troisième, je veux dire que si elle me donne 425 unités de travail pour une unité de chaleur, elle ne me donnera pas moins de chaleur quand nous ferons l'échange inverse et que je lui demanderai de changer en chaleur 425 unités de travail.

Enfin elle ne fait pas comme le quatrième banquier; il ne faut pas réfléchir longtemps pour comprendre que, si ce quatrième banquier existait, ses clients auraient bientôt trouvé le moyen de le ruiner. Il en serait de même pour la nature si elle faisait comme lui, nous pourrions diriger nos échanges d'une façon si avantageuse qu'avec une certaine quantité d'énergie, nous en aurions bientôt le double, nous aurions réalisé le mouvement perpétuel.

Et c'est justement parce que la nature ne fait pas comme cela que le mouvement perpétuel est impossible. Je l'ai déjà expliqué plus haut, il est impossible, parce que ce que l'on gagne en force on le perd en vitesse. Qu'est-ce à dire? En abaissant un poids de 2 kg. de 5 m., je puis soulever un poids de 5 kg., mais je ne puis le soulever que de 2 m. Le poids de 2 kg. quand il était en haut représentait une certaine



BOUTEILLE DE LEYDE

PILE ÉLECTRIQUE

quantité d'énergie potentielle; en abaissant ce poids, je l'ai détruite; mais je retrouve à la place l'énergie potentielle représentée par le poids de 5 kg. soulevé de 2 m.; je ne puis en retrouver davantage. Pourquoi? parce que 5 kg. soulevés de 2 m., et 2 kg. soulevés de 5 m. représentent une quantité équivalente d'énergie, de même que 5 pièces de 2 francs et 2 pièces de 5 francs représentent une quantité équivalente de monnaie.

L'ORIGINE DE L'ÉNERGIE. D'où vient cette énergie dont les formes sont si variées et que nous employons à tant d'usages divers? La réponse est aisée, elle nous vient tout entière, ou peu s'en faut, du Soleil. Considérons d'abord une chute d'eau. Nous utilisons une provision d'eau qui se trouve dans le bief d'amont et qui se renouvelle sans cesse; mais comment se renouvelle-t-elle? Elle vient d'une source ou d'un glacier; la source est alimentée par les pluies, le glacier par les neiges qui tombent sur la montagne. Ces pluies et ces neiges, c'est de l'eau qui vient de la mer et qui est remontée dans les airs parce qu'elle s'est évaporée; c'est la chaleur du Soleil qui l'a évaporée et, sans le Soleil, elle ne serait pas remontée.

Prenons un moulin à vent; d'où vient le vent, pourquoi renaît-il sans cesse? C'est parce que le Soleil chauffe inégalement les diverses régions de la Terre et qu'il en résulte des courants d'air, de même que quand on a deux pièces voisines dont l'une est froide et l'autre chauffée, l'air passe de l'une à l'autre par toutes les fentes des portes.

Et la houille? C'est une provision d'énergie chimique qui provient, nous l'avons expliqué, de ce que le charbon a été séparé de l'oxygène auquel il était uni pour former de l'acide carbonique et qu'il désire s'y unir de nouveau. Mais comment s'est faite la séparation? Dans des temps extrêmement anciens, il y avait de grandes forêts, et ce sont les débris de ces forêts qui ont formé la houille. Comment

ces forêts ont-elles poussé? Il y avait dans l'air de l'acide carbonique; les feuilles des arbres, sous l'influence de la lumière solaire, ont décomposé cet acide et en ont séparé le charbon dont les arbres se sont nourris. C'est donc encore le Soleil qui a créé l'énergie de la houille.

Et si je fais travailler un cheval? Le cheval doit son énergie à sa nourriture. Et l'herbe qu'il a mangée, comment a-t-elle poussé? Comme les forêts antédiluviennes dont nous venons de parler. C'est encore le Soleil qui a créé l'énergie du cheval.

LA DÉGRADATION DE L'ÉNERGIE. Quand la force vive d'une machine est détruite par le frottement, elle se retrouve sous forme de chaleur et rien n'en est perdu; sans doute, mais si cette chaleur est de l'énergie, c'est de l'énergie dont nous ne saurions que faire, nous ne saurions songer à l'utiliser pour chauffer une chaudière. Il y a donc de l'énergie de différentes qualités, et si nous ne perdons rien en quantité, nous perdons en qualité. Le travail est de qualité supérieure à la chaleur, et la chaleur d'un corps chaud est de meilleure qualité que celle d'un corps froid. L'énergie supérieure peut toujours se transformer en énergie inférieure; mais la transformation inverse ne peut se faire sans payer pour ainsi dire une rançon. Dans la locomotive, la chaleur de la chaudière est en partie transformée en travail; mais une autre partie sert à échauffer l'atmosphère, puisqu'à chaque coup

de piston, on lâche dans l'air de la vapeur encore chaude. Ainsi cette chaleur passe à une température inférieure, elle subit une sorte de dégradation. Et si nous considérons cette grande source d'énergie qui est le Soleil, une faible partie tombe sur la Terre, une autre sur les autres planètes, mais presque tout s'en va à travers l'espace et est perdu pour tout le monde.

HENRI POINCARÉ.

MOULIN A VENT

