

à l'état de pureté ; car le gaz hydrogène est plus abondant que le gaz sulfuré.

Lorsqu'on traite les aérolites par les acides faibles, la totalité du chrome reste mélangée à la silice, et lui donne une teinte grise. Le chrome est à l'état métallique, car il est insoluble dans les acides, et on ne peut en opérer la dissolution qu'en traitant par la potasse le résidu où il se trouve. Ce métal paraît être libre de toute combinaison, puisqu'on l'aperçoit assez souvent dans les aérolites en parties assez volumineuses, qui sont absolument isolées de tout corps étranger.

JOURNAL DES MINES.

N^o. 221. MAI 1815.

AVERTISSEMENT.

Toutes les personnes qui ont participé jusqu'à présent, ou qui voudraient participer par la suite, au *Journal des Mines*, soit par leur correspondance, soit par l'envoi de Mémoires et Ouvrages relatifs à la Minéralogie et aux diverses Sciences qui se rapportent à l'Art des Mines, et qui tendent à son perfectionnement, sont invitées à faire parvenir leurs Lettres et Mémoires, sous le couvert de M. le Comte LAUMOND, Conseiller d'Etat, Directeur-général des Mines, à M. GILLET-LAUMONT, Inspecteur-général des Mines. Cet Inspecteur est particulièrement chargé, avec M. TREMERY, Ingénieur des Mines, du travail à présenter à M. le Directeur-général, sur le choix des Mémoires, soit scientifiques, soit administratifs, qui doivent entrer dans la composition du *Journal des Mines*; et sur tout ce qui concerne la publication de cet Ouvrage.

CONSIDÉRATIONS GÉNÉRALES

SUR

LES MACHINES EN MOUVEMENT;

Par M. BURDIN, aspirant au Corps Royal des Ingénieurs des Mines.

LA mécanique intéresse tous les arts, et contribue puissamment à la prospérité publique, qui dépend essentiellement de la production, de l'accroissement et de la répartition des richesses ou des objets destinés à satisfaire nos besoins et nos jouissances, et dont les sources sont : la culture, qui produit les richesses végétales, si

Avant-
propos.

Volume 37, n^o. 221.

X

variées et si nécessaires ; l'exploitation des mines, qui verse dans la société les minéraux utiles ; enfin l'industrie en général et le commerce, qui élaborent ces richesses, les approprient à nos besoins et les répandent dans la société. Dans ces trois opérations importantes où la société puise ses moyens d'existence, l'homme est obligé de développer des forces physiques plus ou moins considérables, d'employer les efforts des animaux et autres moteurs que la nature lui présente, qui deviennent, par cette raison seule, des agens de production aussi précieux que recherchés, et qu'on peut assimiler ou à des champs féconds ou à des mines abondantes, ou enfin au fond ou capital productif d'une fabrique quelconque. Ces considérations suffisent pour faire apprécier le degré d'importance des découvertes en mécanique et des recherches qui ont pour but d'économiser la dépense du moteur et des machines employées à produire des effets utiles dans les arts, ou d'inventer de nouveaux moteurs plus abondans, plus répandus et moins dispendieux que ceux connus jusqu'à présent. Que l'homme serait foible, réduit à ses propres forces ! Quels immenses avantages, quelle grande économie, quelles productions sans nombre résultent de l'association des animaux domestiques à ses travaux ? L'invention des machines à feu a rendu des services analogues à la société, sans parler des avantages de ce moteur puissant dans une infinité de circonstances, on sait que beaucoup de mines resteraient inexploitées, si on ne connaissait pas son emploi, et diminueraient ainsi de leurs produits la masse des

richesses nationales ; laquelle masse sert de mesure à la population jusqu'à un certain point, et assigne à peu près la limite à laquelle elle doit s'arrêter. Quelles sommes immenses seraient gagnées annuellement par la France, si on découvrait un nouveau moteur, moins dispendieux, qui pût remplacer les chevaux dans les machines de transport et les voitures ; ou si on découvrait un perfectionnement dans ces machines de transport qui pût économiser la dépense du moteur. La masse ou la somme des richesses nationales serait augmentée de tous les frais économisés par cette invention, qui serait un aussi grand bienfait pour la société que l'ouverture de communications essentielles de nouveaux canaux, de nouvelles routes, etc., qui ont pour but de faciliter les transports et d'en diminuer la dépense. En rattachant ainsi la mécanique à l'économie politique, on montre le véritable point de vue sous lequel cette science doit être cultivée et envisagée ; on voit déjà qu'il ne s'agit pas tant dans cette science d'établir des calculs profonds, des formules savantes sur des forces hypothétiques, ni d'inventer des machines ingénieuses, seulement par la combinaison de leurs parties, que de bien étudier les lois des forces que la nature nous présente, en combinant le calcul avec l'expérience de les mesurer exactement et de parvenir à les approprier à nos usages le plus convenablement, le plus utilement et le plus économiquement possible. La mécanique, en suivant cette direction vers l'utilité publique et particulière, direction qui devrait lui être commune avec toutes les autres

sciences, mériterait à ceux qui la cultivent la considération et la reconnaissance publique, et leur offrirait en même tems cet attrait puissant qui accompagne l'étude des sciences spéculatives. Malgré le fondement et la vérité de ces assertions, on est forcé de convenir que la science des machines n'a pas encore retiré tout le fruit qu'elle pouvait espérer des découvertes modernes, et n'a pas marché d'un pas égal avec la mécanique rationnelle. La nécessité de recourir sans cesse à l'expérience, les difficultés et les incertitudes qui se présentent dans la mesure rigoureuse des forces, tant actives que passives, qui agissent dans les machines, n'ont pas peu contribué à rebuter les esprits qui se sont jetés de préférence dans l'étude de l'astronomie et la haute physique, qui donnent plus de prise aux calculs, et présentent à l'imagination des résultats plus vastes et plus attrayans.

Un traité complet sur les machines devrait exposer dans un ordre simple et méthodique, la combinaison successive de chaque moteur avec chaque résistance, et les moyens de transformations de mouvement, ou les intermédiaires destinés à transmettre l'action de ces forces l'une sur l'autre en remplissant certaines conditions. Un pareil traité, qui serait d'une utilité importante pour les arts, présenterait dans toutes les occasions la solution de la question suivante, qui comprend à elle seule toute la science des machines. *Un effet* (1) à

(1) On a appelé *effet* le produit de la résistance vaincue en général par l'espace parcouru en sens contraire de son

produire étant connu et donné, quelles devront être la nature et la dépense du moteur et des mécanismes employés, dans chaque circonstance, pour remplir ce but le plus économiquement et le plus avantageusement possible?

Cette question, pour être bien résolue, exige la connaissance approfondie des moteurs, des résistances, et des mécanismes qui sont du ressort de la géométrie. C'est en associant ces trois connaissances, en combinant les considérations qu'elles fournissent avec les circonstances particulières où l'on se trouve, qu'on peut espérer de faire, dans chaque cas des machines, les plus parfaites possibles. Chacune de ces trois connaissances, qui devraient être réunies comme l'on vient de voir, ont été traitées séparément, avec beaucoup de sagacité, dans quelques ouvrages.

Les lois générales d'après lesquelles les forces agissent dans les machines, ont été exposées dans l'ouvrage, *Principes de l'Équilibre et du Mouvement*, avec toute la profondeur qu'on pouvait attendre du génie de l'auteur. Lantz et Bétancour ont publié des tableaux extrêmement méthodiques, des moyens de transformation, de mouvement, et des mécanismes à employer dans les différentes circonstances. Le but que je me suis proposé dans cet Essai, bien imparfait sans doute, a été de tâcher de continuer l'examen des lois des moteurs et des

action; un poids élevé à une certaine hauteur, un corps flottant traîné à une certaine distance, un piston qui parcourt plusieurs courses dans une machine soufflante, etc., son autant d'effets produits.

résistances qui agissent dans les machines, et d'appliquer ces considérations générales à chaque machine en particulier : en conséquence, j'ai d'abord exposé les lois générales du mouvement des machines; j'ai exposé ensuite les résistances étrangères et les autres causes de déperdition d'effets qui se rencontrent en général dans toutes les machines, comme le frottement, la résistance des fluides, la roideur des cordes, la flexibilité des parties de la machine, le jeu de ces parties, leur inertie, choc et changemens brusques de directions des corps en mouvement, l'étranglement des tuyaux de conduite, l'inégalité du mouvement. Après avoir cherché à faire apprécier en général l'influence de ces causes de déperdition d'effets dans les machines, je passe à l'application de tout ce qui précède aux machines en particulier, que je divise en quatre classes, savoir : machines qui ont pour moteur la force de la pesanteur; machines mues par la force dilatante du calorique et les ressorts; machines mues par la force musculaire de l'homme et des animaux; enfin machines mues par la percussion des corps, et particulièrement des fluides. Chaque classe se subdivise, suivant les résistances à vaincre, en quatre classes ou espèces : la première comprend les machines dans lesquelles il s'agit d'élever des poids ou de vaincre la pesanteur; la deuxième comprend les machines qui ont pour résistance principale la force du calorique, comme les machines soufflantes; la troisième renferme les machines qui ont à vaincre la résistance des fluides; enfin la quatrième renferme les machines qui ont

pour résistances principales des forces passives, comme le frottement, etc. Si ces divisions ne suffisaient pas, on pourrait subdiviser encore ces espèces suivant la nature du mouvement, rectiligne, curviligne, continu ou alternatif, que présente la machine.

Les considérations suivantes sont principalement applicables aux machines puissantes ou destinées à vaincre de grandes résistances, comme la plupart des machines employées dans les constructions, dans les épuisemens, dans l'exploitation des mines, dans les transports, etc. dans lesquelles l'économie du moteur, toujours plus ou moins puissant et plus ou moins dispendieux, devient de la première importance.

Une machine en mouvement présente trois considérations principales : 1° la puissance ou la force qui imprime le mouvement; 2° la résistance qui est surmontée par la puissance; 3° la machine proprement dite, qui est un intermédiaire entre ces deux forces, destinée à transmettre l'action de l'une sur l'autre, en produisant le mouvement suivant certaines conditions.

On est toujours bien maître de ses définitions; cependant on ne peut guère, dans une machine en mouvement, appeler effet de la puissance ou du moteur, autre chose que le produit Qq , ou le produit de la résistance vaincue, multipliée par l'espace qu'elle décrit en sens contraire de son action. Car c'est toujours là le but qu'on veut remplir, et qu'on est intéressé à remplir, et la machine est dite

Machines auxquelles sont applicables les considérations dont il s'agit.

N^o. 1.
Définition de l'effet.

d'autant plus puissante que ce produit est plus grand. S'agit-il d'élever un poids, de traîner un fardeau, de faire tourner une meule de moulin, etc., on regardera comme très-puissant le moteur qui élèvera un très-grand poids à une très-grande hauteur, qui traînera un grand fardeau, ou surmontera un grand frottement, à une grande distance, et cela pendant l'unité de tems, si ce moteur est continu et uniforme, comme un courant ou une chute d'eau continue; ou pendant l'intervalle de tems à la suite duquel la même série de mouvement recommence, si la machine a un mouvement discontinu, intermittent ou périodique. On voit que de cette manière on pourra comparer facilement les effets de tous les moteurs possibles, puisqu'en divisant ce dernier effet obtenu par le tems, au bout duquel la même répétition d'effets recommence ou rentre dans le cas d'un moteur continu et uniforme, et on obtient l'effet qui aurait lieu pendant l'unité de tems dans cette hypothèse.

La résistance peut être constante dans l'espace décrit, comme nous venons de voir, ou elle peut être variable comme lorsqu'il s'agit d'élever un poids en le faisant glisser sur une courbe, lorsqu'il s'agit de faire jouer une machine soufflante sans régulateur, de traîner ou mouvoir un corps flottant avec une vitesse variable, etc. Dans ces derniers cas on obtiendra évidemment l'effet produit en intégrant $\int Qdq$, dq étant la différentielle de l'espace décrit, et Q la valeur de la résistance correspondante à un espace quelconque, et qui est

N^o. 2.
Calcul de
l'effet en
général.

constante pour l'espace infiniment petit de , et varie d'un élément à un autre. Cette intégrale donnera donc la somme infinie de tous ces effets infiniment petits Qdq ou l'effet total, en la prenant depuis $q=0$, jusqu'à la valeur de q correspondante au tems à la suite duquel la même série de mouvement doit recommencer; (pendant un jeu du piston dans les machines à colonne d'eau ou à vapeur, par exemple, en supposant que tous les jeux se répètent dans les mêmes circonstances.)

Carnot (1) a appelé moment d'activité d'une force le produit de cette force par l'espace qu'elle décrit dans le sens de sa direction ou dans le sens contraire; ainsi le produit représenté par $\int Qdq$, qui mesure l'effet qu'on est intéressé à obtenir dans les machines, sera appelé en général moment d'activité de la force Q . Dans toute machine en général, les puissances et les résistances dans le mouvement fournissent de certains momens d'activité; et en outre, ce qui caractérise les résistances et les distingue des puissances, c'est que l'espace qu'elles décrivent est toujours en sens contraire de leur action, ou du moins fait toujours un angle obtus avec leurs directions, tandis que le

N^o. 3.
Définition
du moment
d'activité.

(1) Une observation générale qui résulte de tout ce qui vient d'être dit, c'est que cette espèce de quantité à laquelle j'ai donné le nom de *moment d'activité*, joue un très-grand rôle dans la théorie des machines en mouvement; car c'est en général cette quantité qu'il faut économiser le plus qu'il est possible pour tirer d'un agent tout l'effet dont il est capable (suivent les exemples). (Carnot, Principes de l'équilibre et du mouvement, page 257, n^o. 283).

contraire a lieu pour les puissances. Bien entendu que les forces passives, comme les frottemens, etc., qui composent quelquefois les résistances, doivent être considérées comme dirigées dans le sens contraire du mouvement des corps sur lesquels ces forces agissent.

On doit prévoir qu'il existe dans les machines en mouvement un certain rapport entre les momens d'activité des puissances et les momens d'activité des résistances ou les effets produits, et que l'application la plus importante qu'on puisse faire du calcul est de parvenir, par les considérations et les principes de mécanique, à obtenir les plus grands effets possibles, de certains momens d'activité de puissance données ou de certains moteurs donnés. Car dans une étude comme celle dont il s'agit ici, toute idée de perfection doit tendre à l'économie en dernier résultat; il faut donc être à même de déterminer et de combiner les dépenses du moteur avec les autres dépenses que nécessitent les établissemens des machines. Déterminons donc la relation générale qui existe dans toutes les machines possibles entre les momens d'activité des puissances et ceux des résistances ou les effets, en y comprenant les momens d'activité dus aux résistances étrangères comme le frottement et autres que nous examinerons séparément.

Le principe des vitesses virtuelles est démontré pour un système quelconque de forces agissantes entre elles par toutes les liaisons physiques possibles; il est donc vrai pour toutes les machines possibles:

Combinons ce principe avec celui de d'Alembert, évident par lui-même et qui énonce que dans toute machine soumise à l'action d'un système quelconque de forces motrices ou instantanées: les quantités de mouvement finies ou infiniment petites détruites à chaque instant se font équilibre; ou, ce qui revient au même, les quantités de mouvement que prendrait chaque corps s'il était libre à chaque instant, sont en équilibre avec les quantités de mouvement qui ont réellement lieu, mais pris en sens contraire de leur direction, car on sait que les quantités de mouvemens perdues sont les résultantes de ces deux systèmes de force.

Supposons donc la machine soumise à l'action d'un nombre quelconque de forces motrices ou forces de pression, ce qui est le cas le plus général, nous parlerons ensuite des forces finies ou des chocs, soient: p, p', p'' , etc. ou Σp la somme des forces motrices qui composent les puissances de la machine. Soient Q, Q', Q'' , etc., ou ΣQ les résistances. Soient $m v, m' v', m'' v''$, etc. $\Sigma m v$ toutes les quantités de mouvement possédées par les masses qui composent la machine. Soient enfin: dv, dv', dv'' , etc. les accroissemens de vitesse qui ont lieu à chaque instant; il y aura équilibre entre les quantités de mouvement infiniment petites, $P dt, P' dt, P'' dt$, etc., $Q dt, Q' dt, Q'' dt$, etc., et $m dv, m' dv', m'' dv''$, etc., ces dernières étant prises en sens contraire de leur direction. Exprimant cet équilibre par le principe des vitesses virtuelles, et imprimant un dérangement infiniment petit qui soit précisément celui qui a lieu par le mouvement même du système (ce

No. 4.
Equation
générale
vraie pour
toutes les
machines
possibles
entre les
momens
d'activité et
les forces
vives pen-
dant tout le
mouve-
ment, en
supposant
d'abord
qu'il n'y ait
pas de choc.

qui est permis quand les liaisons du système sont indépendantes du tems, que les dimensions des parties matérielles ne varient pas avec le tems, etc.) (1). On obtiendra l'équation suivante en disant par dt :

$$Pdp + P'dp', \text{ etc.} - Qdq - Q'dq' - Q''dq'', \text{ etc.} \\ - mvdv - m'v'dv' - m''v''dv'', \text{ etc.} = 0.$$

Car dp , dp' , etc. représente les différentielles des espaces décrits par les puissances dans le sens de leur direction, ou les espaces décrits à chaque instant dt projetés sur leurs directions; dq , dq' , etc., représentent les mêmes projections pour les résistances, et tombent sur le prolongement de la direction de ces forces (n° 3) et prennent par conséquent le signe négatif; enfin vdt , $v'dt$, $v''dt$, etc. représentent les mêmes projections pour les forces $\frac{mdv}{dt}$, $\frac{m'dv'}{dt}$, etc., et tombent sur le prolongement de ces forces, puisque ces forces doivent être prises en sens contraire de leur direction.

Il résulte donc l'équation $\sum Pdp - \sum Qdq - \sum mvdv = 0$, de tout ce que nous venons de dire. En intégrant, il vient l'équation fondamentale qui renferme à elle seule toute la théorie des machines, savoir :

$$(A) \sum \int Pdp - \sum \int Qdq - \sum m \frac{v^2}{2} + C = 0.$$

Si une somme de forces vives $\sum m \frac{v^2}{2}$ existe dans le système, à l'origine du mouvement, ou au moment que les forces commencent à produire des momens d'activité, on aura

(1) Voyez la Mécanique de Poisson pour tout le n°. 4.

$C = \sum m \frac{v^2}{2}$, et l'équation générale deviendra :

$$\sum \int Pdp - \sum \int Qdq - \sum m \frac{v^2}{2} + \sum m \frac{v^2}{2} = 0.$$

toujours en supposant qu'il n'y ait pas de choc.

Nous allons discuter cette équation générale qui a lieu pendant tout le mouvement, principalement sous le rapport des moyens qu'elle indique, dans chaque cas particulier, pour produire le plus d'effet possible avec un moteur donné.

Le premier terme exprime les momens d'activité fournis par les puissances; cette expression peut être ou ne pas être susceptible de maximum, suivant les circonstances du mouvement; lorsqu'il s'agit, par exemple, d'une chute d'eau qu'on utilise comme moteur, $\int Pdp$ devient Ph , ou le poids de l'eau dépensée, multipliée par la chute, et est invariable et déterminé; et, si on se rappelle le principe des forces vives, on verra que le moment d'activité fourni par cette chute est indépendant du chemin qu'on lui a fait parcourir en descendant, (et cela abstraction faite des frottemens ou autres résistances qui peuvent dépendre de la courbe décrite); cette vérité d'ailleurs est évidente, car en supposant le corps pesant tombant suivant une courbe ou une ligne autre que la verticale, la quantité Pdp deviendra $P \cos l ds = Pdh$ et $\int Pdp = \int Pdh = Ph$, (l étant l'angle que chaque élément ds de la coupe fait avec la verticale h), et que ce moment d'activité est toujours égal à la $\frac{1}{2}$ force vive $\frac{m v^2}{2}$ que la masse

No. 5.
Discussion
de l'équation
générale.

pesante aurait acquise en descendant librement suivant la verticale. Il n'en faut pas davantage pour conclure déjà que les roues à augets peuvent utiliser entièrement une chute, en remplissant cependant les conditions que nous allons voir ci-après.

Cette valeur $\int P dp$, lorsqu'il s'agit encore d'une chute, ne varie pas évidemment, soit que l'eau agisse par pression, par poids ou pesanteur spécifique; car, en faisant presser un piston par une colonne Agh , et lui faisant parcourir un espace E ; $\int P dp$ sera égal à Agh . $E = AEg \times h$, et c'est comme si le poids d'eau dépensée AgE était descendu de la hauteur h . Quand l'eau agit par pesanteur spécifique, on rentre dans le cas précédent, car un corps flottant qui monte à la surface de l'eau peut être assimilé à un piston poussé de bas en haut par une colonne liquide.

Si maintenant $\int P dp$ varie avec la vitesse, alors on aura un simple problème de maxima à résoudre, et on maintiendra la vitesse convenable à la machine.

Enfin, si $\int P dp$ au lieu de dépendre d'une simple variable, dépendait d'une fonction comme de la surface dans les ailes des moulins à vent, on aurait alors un problème du calcul des variations à résoudre.

Le deuxième terme de l'équation A renferme les effets utiles produits, ainsi que les effets ou momens d'activité dus aux résistances étrangères, comme le frottement, etc. Il est donc important de détruire ces effets inutiles, et de ne laisser subsister que l'effet strictement nécessaire. En outre, cet effet utile peut exiger

No. 6.
Deuxième
terme.

lui-même une moindre dépense du moteur suivant, telle ou telle circonstance du mouvement qu'il faudra déterminer convenablement dans chaque cas particulier; par exemple, lorsqu'il s'agit de vaincre la résistance des fluides, nous verrons que la vitesse doit être très-petite.

Le troisième terme est la $\frac{1}{2}$ somme des forces vives acquises pendant le mouvement qu'on considère, et montre, ainsi que le quatrième terme, cette identité (cela n'a lieu cependant que lorsque les forces qui agissent dans la machine sont indépendantes de la vitesse. Par exemple (voyez n° 32) cela n'aurait pas lieu pour une résistance de fluide), ou cette homogénéité qui existe entre les momens d'activité et les moitiés des forces vives, et qui font que dans le mouvement ces quantités se réduisent les unes dans les autres. On voit que les forces vives $\Sigma'' \frac{m v^2}{2}$, acquises pendant le mouvement par toutes les parties matérielles sont au détriment de l'effet utile, et qu'il est important de ne pas en laisser acquérir. Voilà la véritable raison pour laquelle les roues à augets doivent avoir une petite vitesse pour que l'eau motrice n'emporte pas de force vive en gardant la vitesse de la roue; il résulte aussi de là que les machines de *va* et *vient* doivent ralentir et éteindre leur vitesse à l'extrémité de leur course, etc. Au reste, la déperdition qui provient de ce qu'on ne remplit pas ces conditions, peut être considérée comme l'effet d'un choc survenu dans la machine.

Le quatrième terme montre aussi qu'une certaine somme de quantités de mouvement

No. 7.
Troisième
et quatrième
terme.

$\Sigma'' m, v$, ou de forces vives $\Sigma'' m, \frac{v^2}{2}$, introduites dans la machine, et qu'on peut utiliser sans choc, peuvent être transformées entièrement en moment d'activité, et fournir un effet utile égal à $\Sigma'' m, \frac{v^2}{2}$.

On voit par là que le maximum d'effet que peut produire un courant d'eau, qui fournit une quantité de mouvement Mv , dans l'unité de tems, est $M \frac{v^2}{2}$.

N^o. 8.
Mouvement
sans fin.

Il est inutile de dire combien il est absurde de chercher les moyens de produire un mouvement sans fin, ou de produire, avec un moment d'activité fini et donné, un moment d'activité ou un effet beaucoup plus grand; car on voit par l'équation générale A , qui repose sur le principe des vitesses virtuelles seulement et qui s'applique par conséquent à toutes les machines mêmes qu'on pourra inventer par la suite, que $\Sigma' f Q d q$, ou l'effet utile, sera toujours essentiellement au-dessous de $\Sigma' f P d p$ pour deux raisons, parce que les masses de la machine absorbent une portion de forces vives ou de moment d'activité, et que les résistances étrangères auxquelles on ne peut pas jusqu'à présent se soustraire entièrement, absorbent une nouvelle portion de moment d'activité.

Dans les applications particulières nous reviendrons sur les conséquences fécondes et remarquables qu'on peut déduire de cette équation générale, et qui suffira pour déterminer dans toutes les machines (quelle que soit d'ailleurs la nature du mouvement uniforme ou accéléré, etc.), le rapport entre les moments d'activité

d'activité dépensés, et les effets produits, pourvu toutefois que l'expérience fournisse les données premières du calcul.

Comment doit-on apprécier, comparer ou mesurer les moteurs? C'est naturellement en comparant les effets qu'on peut en retirer, car on ne peut guère considérer les moteurs que sous le rapport de leur utilité pour mouvoir les machines. Or ces effets qu'on peut retirer d'un moteur se trouvent jusqu'à un certain point proportionnels au moment d'activité $\int P d p$.

N^o. 9.
Définition
et mesure
d'un mo-
teur.

Il suffit, pour que cela ait lieu rigoureusement, de détruire les résistances étrangères, et de disposer la machine de manière que les masses ne conservent pas de forces vives à la fin du mouvement acquis pendant ce mouvement. Ce moment d'activité $\int P d p$, ou, ce qui revient au même, quand P est indépendant de la vitesse, la $\frac{1}{2}$ force vive que la puissance P aurait acquise en agissant librement dans tout l'espace P , sera donc la mesure naturelle du moteur fourni par la puissance ou la force P . Par la même raison une quantité de mouvement Mv fournira un moteur mesuré par $M \frac{v^2}{2}$, puisqu'en supposant une machine parfaite, on peut retirer un effet égal à $M \frac{v^2}{2}$ (n^o. 7). Il résulte de là, par exemple, qu'un courant d'eau continu, dont la section est connue, et qu'on veut utiliser, pour mouvoir une machine, formera un moteur $A \frac{v^3}{2} = M \frac{v^2}{2}$ (M étant la masse d'eau

écoulée dans l'unité de tems), et croîtra proportionnellement au cube de la vitesse.

Nous allons maintenant déterminer l'altération qu'éprouvent les momens d'activité ou les forces vives, lorsque la machine subit des chocs, soit des corps entre eux, soit contre des obstacles fixes, pour être ensuite à même d'établir la théorie de toutes les machines.

N^o. 10.
Choc des
corps élas-
tiques.

Si les corps sont parfaitement élastiques, il n'y aura pas de déperdition de moment d'activité ou de forces vives évidemment, car on peut imaginer à chaque point de contact un ressort fictif qui se comprimera jusqu'à ce que les vitesses des corps, suivant la normale commune, soient égales en produisant alors un moment d'activité négatif (n^o. 3), ou bien en se joignant aux résistances étrangères à l'effet utile; mais comme ensuite ce ressort se débandera en exerçant le même effort et en parcourant le même espace, et par conséquent en restituant le même moment d'activité positivement, et en détruisant le moment d'activité qui s'était introduit négativement dans l'équation générale (A), il s'en suivra qu'il n'y aura pas de diminution ou de perte dans la somme des effets ou des forces vives; seulement les différentes masses auront dû perdre ou gagner en particulier des quantités de mouvement.

N^o. 11.
Choc des
corps mous
et non élas-
tiques.

On rentre évidemment dans le cas des corps mous et non élastiques, en supposant que le ressort fictif, après avoir été comprimé, ait perdu la propriété de se débander, le moment d'activité négatif qui s'est introduit dans l'é-

quation générale pendant la compression, et cela aux dépens des forces vives, ne sera point restitué alors, et il y aura par conséquent une perte dans les forces vives, et par suite dans les effets produits. Cette perte de forces vives sera évidemment égale à la demi-somme des forces vives dues aux quantités de mouvement perdues ou gagnées dans le système pendant le choc, car tous ces ressorts fictifs ont été comprimés, et ne peuvent pas avoir été comprimés différemment, si ce n'est qu'en imprimant les quantités de mouvement gagnées, ou en éteignant et détruisant les quantités de mouvement perdues; par conséquent les momens d'activité négatifs absorbés par tous ces ressorts, seront égaux à la demi-somme des forces vives dues à ces quantités de mouvement. Cette démonstration peut s'appliquer par analogie aux corps parfaitement durs, en supposant le ressort d'une force infinie, et ne se comprimant que d'une quantité infiniment petite; au reste on a des démonstrations rigoureuses (voyez la Mécanique de Poisson) de ce théorème que je ne cite pas, car il n'existe peut-être pas de corps parfaitement durs dans la nature.

Si les corps sont plus ou moins mous, et imparfaitement élastiques, ce qui est le cas général, les forces vives perdues diminueront proportionnellement au degré d'élasticité, et serviront évidemment à mesurer ce degré d'élasticité; mais alors le plus souvent il faut renoncer au calcul et n'avoir plus recours qu'à l'expérience, vu que ce degré d'élasticité peut

N^o. 12.
Chocs des
corps d'une
élasticité
imparfaite.

varier par la nature du corps et par une infinité de circonstances.

Cependant on s'aperçoit que les pertes de forces vives seront toujours comprises entre les limites que nous venons d'assigner, et que les effets produits seront toujours proportionnels à $\frac{m v^2}{2}$, mais moindres que cette quantité.

N^o. 13.
Analogie
des pertes
d'effets dues
au choc et à
la compression.

Nous verrons bientôt que, si la puissance agit sur la résistance ou réciproquement au moyen d'un corps compressible (ce qui est le cas de la machine de Schemnitz où une colonne d'air compressible sert à transmettre le mouvement); il en résulte une perte d'effet plus ou moins considérable, à cause du moment d'activité absorbé pour opérer cette compression, et cette perte d'effet a beaucoup d'analogie avec celle du choc, qui par-là devra être rangé parmi les forces passives ou les obstacles naturels qui se rencontrent dans les machines, car nous avons dit qu'à chaque point de contact le choc occasionnait une compression, tant petite fût-elle, qui, ne se rétablissant pas, absorbait un moment d'activité; et cette compression n'aurait pas eu lieu si les corps avaient agité par pression seulement, parce que le ressort fictif que nous avons imaginé était assez fort pour résister à cette pression et pour ne pas se comprimer. Les principes que nous venons d'exposer recevront principalement leur application dans les machines mues par la percussion des fluides, ou qui ont à vaincre la

résistance des fluides; dans ces deux cas les chocs se succèdent sans interruption, et les masses de fluides choquantes ou choquées à chaque instant dt sont infiniment petites, et la perte des forces vives dans l'unité de tems due aux chocs sera la somme des forces vives perdues dans chaque instant dt . Nous verrons aussi des machines éprouver des chocs nuisibles à leur effet, lorsque l'eau se meut dans des tuyaux étranglés ou brisés, lorsque les mouvemens de *va* et *vient* présentent des articulations trop libres, etc. Avant d'appliquer toutes les considérations ci-dessus aux principales machines connues, nous allons tirer quelques conséquences générales.

On voit déjà, d'après cet exposé, qu'il n'en est pas d'une machine en repos ou en équilibre comme d'une machine en mouvement: dans la première le moteur devra être mesuré seulement par l'effort qu'il exerce, ou par la résistance qu'il tient en équilibre; car, si cette résistance devient double, il faudra un moteur double pour l'équilibre dans la même machine, ainsi de suite. Mais dans une machine en mouvement, on ne veut pas seulement équilibrer la résistance, mais bien lui faire décrire en outre un certain espace, et c'est cette dernière condition qui change la nature des effets qu'on veut obtenir, et qui introduit une considération de plus.

Souvent on n'a pas apprécié cette différence, et parce que dans une machine en équilibre une petite force peut équilibrer une très-grande résistance au moyen d'obstacles et de points

N^o. 14.
Différence
entre une
machine en
équilibre et
en mouve-
ment, sous
le rapport
des effets.

fixes, de sorte qu'on obtient un très-grand effet avec un petit moteur. On s'est flatté d'obtenir un résultat semblable dans les machines en mouvement, au moyen de mécanismes mystérieusement arrangés, et on s'est épuisé en tentatives infructueuses pour atteindre un but contraire aux principes de mécanique.

N^o. 15.
Raison pour laquelle il peut y avoir disproportion entre la cause et l'effet dans les machines en équilibre.

Pour rendre raison de cette disposition dans les machines en équilibre entre le moteur et l'effet produit, on devrait considérer que ce n'est pas la puissance ou le moteur seul qui fait équilibre à la résistance, mais que c'est par l'intermède de points fixes et autres obstacles qui sont des forces passives, et qui peuvent absorber le mouvement sans pouvoir le faire naître, de manière que cette puissance ne détruit qu'une très-petite partie de la résistance, et les obstacles font le reste; et l'art du mécanicien consiste à mettre en opposition les deux forces, l'une active, et l'autre passive, savoir: la puissance et les obstacles fixes, mais dans les machines en mouvement, les quantités de mouvement ne pouvant naître par les obstacles qui sont des forces passives, sont entièrement produites par les moteurs et les effets, doivent leur être proportionnels jusqu'à un certain point.

N^o. 16.
Utilité d'une machine en mouvement. On perd toujours en espace ce que l'on gagne en force.

Une machine en mouvement ne pouvant pas augmenter l'effet du moteur, voici seulement de quelle utilité elle pourra être. Elle servira d'intermède pour transmettre l'action de la puissance à la résistance, de la manière la plus convenable et la plus avantageuse pour le but qu'on se propose suivant les circonstances,

lorsque, par des raisons particulières, on ne pourra pas faire agir directement ces deux forces l'une sur l'autre.

Nous avons vu que l'effet qu'on désirait produire est composé de deux facteurs, l'espace décrit et l'effort de la résistance; or il se présente souvent des cas où la puissance ne produit qu'un petit effort et peut parcourir un grand espace ou réciproquement, et que la résistance est dans le cas contraire: tant qu'on aura $\int Pdp$ plus grand que $\int Qdq$, l'effet sera possible en général, quel que soit d'ailleurs le rapport de l'effort de la résistance à l'effort du moteur, et un avantage bien précieux des machines sera de pouvoir réaliser ce résultat. Un homme seul, par exemple, veut élever un fardeau très-pesant à une certaine hauteur: pour y parvenir, il pourra se servir d'un levier dont le bras de la résistance sera très-court par rapport à celui de la puissance; il peut se servir d'engrenages; ou, ce qui revient au même, d'un treuil dont le rayon du tambour sera très-petit par rapport au rayon de la manivelle; il pourra élever le fardeau en détail en le divisant, ou en le contrebalançant par un autre fardeau qu'il aura élevé en détail: il pourra se servir de moufles, ou le faire glisser sur des plans très-peu inclinés; ou, ce qui revient au même, l'attacher à une vis qu'il fera tourner dans un écrou fixe. Il peut se servir de coins; ou bien accumuler une certaine quantité de force vive ou de moment d'activité, qu'il transmettra ensuite, tout à la fois, au fardeau qui par-là s'élèvera plus ou moins; comme cela

arrive dans le bélier hydraulique, dans les fusils à vent, etc. Enfin, il pourra attacher le fardeau à un piston de grande dimension sous lequel il presserait de l'eau avec un piston plus petit, comme dans la presse hydraulique. Mais dans tous les cas, $\int P dp$ sera toujours plus grand que $\int Q dq$, de sorte que ce que l'homme gagnera en force, il le perdra en espace (sans parler des pertes d'effet particulières à la machine employée), et il ne sera pas possible de sortir de ce cercle.

Ordinairement on dit: on perd en force ce qu'on gagne en tems ou en vitesse; mais il vaut mieux y considérer l'espace que la vitesse qui, en général, n'est pas constante pendant le mouvement.

N°. 17.
Possibilité
de décou-
vrir un mo-
teur perpé-
tuel, et mo-
tif pour le
croire.

■ Nous avons prouvé que le moment d'activité de la résistance ne pouvait pas devenir plus grand que le moment d'activité consommé par la puissance, ou la moitié de la force vive, quand la machine était mue par une quantité de mouvement, et qu'il était donc impossible de produire ce qu'on a appelé le mouvement perpétuel.

La question ne serait plus absurde, si on se proposait de trouver des moteurs perpétuels pour un point quelconque de la terre, et si cette question avait été poursuivie avec autant d'ardeur que la question précédente, et si des recherches fondées sur les propriétés chimiques et physiques des corps avaient été dirigées vers ce but, on peut croire qu'elles auraient été suivies du succès.

La nature dans les mouvemens perpétuels qu'elle reproduit sans cesse sous nos yeux, semble nous en indiquer la possibilité.

L'action chimique, modifiée et influencée par des causes physiques, comme le calorique, la lumière, l'électricité, la pesanteur, la pression atmosphérique, et autres causes qui sont plus ou moins variables, opère un cercle continuel de compositions et de décompositions, et fait passer successivement une infinité de corps de l'état solide ou liquide à l'état gazeux, pour les ramener ensuite à leur état précédent.

Les végétaux et les animaux opèrent ces transmutations dans les corps; des fluides de toute espèce résultent des combustions, des putréfactions, ou d'autres décompositions quelconques, s'exhalent dans l'atmosphère pour être ensuite rendus à la terre sous d'autres états.

L'eau, par l'action de l'air et du calorique, s'élève au haut de l'atmosphère; à ce point l'action, étant modifiée par un changement de température, et par d'autres causes physiques, elle redevient à son état liquide, tombe sur les hauteurs d'où elle se rend à la mer. De tous ces phénomènes compliqués de l'action chimique et des forces physiques, il résulte des courans d'air, des différences de pression dans l'atmosphère, des chutes et des courans d'eau qu'on utilise et qu'on fait servir de moteur.

Donc si on parvenait, en combinant convenablement l'action chimique avec les forces

physiques, à faire passer successivement le même corps de l'état liquide ou solide à l'état de fluide élastique, ensuite à le faire revenir à son premier état, ce qui n'est pas démontré impossible, on créerait, par-là, un moteur continu, et toute la dépense de la machine consisterait dans l'entretien de ses parties matérielles; par exemple, si on décomposait l'eau, dans un cylindre (sous un piston qui agirait sur une résistance) par le moyen de la pile de Volta, ou mieux encore par un moyen plus efficace, et qu'ensuite on enflammât le mélange de gaz hydrogène et oxygène, soit au moyen d'une étincelle électrique, soit au moyen d'une compression ou d'un frottement qui dégagerait de la chaleur et des étincelles, ou tout autre moyen qui serait mis en jeu par la machine elle-même, on aurait, en régularisant ce mouvement, un moteur continu qu'on pourrait établir en un lieu quelconque de la terre.

Comme l'air atmosphérique se trouve partout; et n'est de nulle valeur, il suffirait qu'on pût lui faire éprouver une diminution de volume, en excitant une combinaison convenable entre ses deux élémens, on remplacerait successivement par de nouvel air celui dont le volume serait diminué, et qui aurait par-là rempli le but de la machine. Dans les machines à vapeur l'eau, qui change successivement de volume, forme le moteur; mais la transmutation de l'eau en vapeur exige nécessairement une dépense de combustible, qui rend le moteur plus ou moins dispendieux.

Souvent on a des milieux de température différente, dont on peut disposer en portant une masse dilatable, comme une masse d'air par exemple, d'un milieu dans un autre, on a une augmentation ou une diminution de volume, et par conséquent un moteur dû au ressort du calorique, dont on a pénétré la masse d'air. La machine de Cagniard-Latour remplit ce but quand on a une source d'eau chaude à sa disposition: une masse d'air est portée au fond de la masse d'eau chaude où elle se dilate et, à cause de l'augmentation de volume, fournit, en ressortant, un moment d'activité plus considérable que celui qui a été nécessaire pour la porter au fond de l'eau; de sorte que la machine peut se mouvoir sans secours étranger. (Voy. le *Journ. des Min.*, vol. 26, p. 465.)

Une ventilation établie dans une mine par deux puits de niveau différens, est encore fondée sur les mêmes principes, et est due à l'augmentation ou à la diminution de volume qu'éprouve l'air de la mine, ce qui le rend spécifiquement plus léger ou plus pesant que l'air naturel.

Nous terminerons ces conjectures, plus ou moins vagues, sur la possibilité d'établir des moteurs perpétuels en combinant convenablement l'attraction chimique avec les forces physiques, le calorique, la lumière, l'électricité, pour passer à l'exposé des résistances qui se rencontrent habituellement dans les machines, qui sont étrangères à la résistance principale, et qui absorbent, en pure perte, une portion de l'effet.

Dans l'état actuel des choses, il est bien difficile d'asseoir des calculs rigoureux sur ces résistances, car les données du calcul auront toujours besoin d'être confirmées par l'expérience, et il nous suffira de faire sentir comment ces résistances diminuent l'effet de la machine, afin d'y remédier ensuite plus sûrement. Cet exposé nous fournira l'occasion d'appliquer, dans la suite de ce travail, les principes et les considérations précédentes.

(La suite à un Numéro prochain.)

PREMIÈRE SUITE DU MÉMOIRE
SUR LA LOI DE SYMÉTRIE;

Par M. HAÛT.

Application à l'Amphibole.

J'AI exposé, dans l'article précédent, la manière dont la loi de symétrie influe sur les formes qui dérivent d'un prisme rectangulaire terminé par des bases perpendiculaires à l'axe. Les considérations auxquelles vont maintenant me conduire les formes originaires de l'amphibole feront voir comment la cristallisation, en donnant à la base du prisme une position inclinée, détermine dans les variétés secondaires un changement d'aspect non moins propre à faire ressortir les caractères que leur imprime l'action de la même loi.

Je commencerai par faire connaître plusieurs propriétés géométriques qui jusqu'ici ont lieu généralement à l'égard de tous les prismes rhomboïdaux obliques qui font la fonction de forme primitive dans diverses espèces minérales, du nombre desquelles est l'amphibole, et l'on verra que ces propriétés, en s'introduisant dans les formes secondaires, ajoutent encore à l'harmonie que les effets des lois de décroissement tendent par eux-mêmes à ré-