

JOURNAL
DE
MATHÉMATIQUES

PURES ET APPLIQUÉES

FONDÉ EN 1836 ET PUBLIÉ JUSQU'EN 1874

PAR JOSEPH LIOUVILLE

ANATOLE DE CALIGNY

**Système de fontaines intermittentes et d'appareils à élever
l'eau sans pièce mobile, modèle fonctionnant**

Journal de mathématiques pures et appliquées 1^{re} série, tome 6 (1841), p. 321-339.

http://www.numdam.org/item?id=JMPA_1841_1_6_321_0



NUMDAM

Article numérisé dans le cadre du programme
Gallica de la Bibliothèque nationale de France
<http://gallica.bnf.fr/>

et catalogué par Mathdoc
dans le cadre du pôle associé BnF/Mathdoc
<http://www.numdam.org/journals/JMPA>

SYSTÈME

DE

FONTAINES INTERMITTENTES

ET D'APPAREILS A ÉLEVER L'EAU SANS PIÈCE MOBILE,

MODÈLE FONCTIONNANT ;

PAR ANATOLE DE CALIGNY.

(Le principe fondamental a été présenté à l'Académie des Sciences, le 5 novembre 1838.)

Les appareils, dont je vais exposer les principes fondamentaux, peuvent être considérés, abstraction faite de leurs applications, comme offrant un moyen d'expliquer quelques phénomènes du mouvement des fontaines naturelles. Ils peuvent être décrits sans figures, leur partie la plus essentielle étant un tuyau d'une forme analogue à celle du signe f , dont les extrémités plongent dans des réservoirs à niveaux de hauteurs différentes; et les autres pouvant d'ailleurs être représentées par divers caractères de l'alphabet. Toutes les pièces sont absolument fixes, c'est-à-dire qu'il n'y a ni piston, ni soupape, ni aucune autre pièce quelconque mobile.

I.

Fontaine intermittente oscillante en forme de f .

Cet appareil est composé d'un simple tuyau en forme de f , c'est-à-dire d'un tuyau vertical, dont le sommet se recourbe en siphon, pour plonger dans un réservoir supérieur alimenté par une source motrice, l'extrémité inférieure débouchant, au moyen d'un développement

d'une forme quelconque, dans un réservoir inférieur ou de décharge. Pour compléter l'appareil, il suffit d'y ajouter un tube à air, recourbé verticalement, et débouchant dans le tube vertical un peu au-dessous du niveau de la source.

Si, par suite d'une *crue* ou par un moyen quelconque, l'appareil est rempli d'eau une première fois, cela suffit pour le mettre en jeu, quand la source ne fournit pas assez d'eau pour alimenter le tuyau d'une manière continue, c'est-à-dire de façon à ce qu'il coule toujours plein. En effet, si l'appareil débite plus d'eau que la source n'en fournit, le siphon qui plonge dans le réservoir supérieur cesse de couler plein. Or, dans l'intérieur de l'appareil, la colonne liquide, sur le sommet de laquelle l'air extérieur s'introduit par le tube supplémentaire dont nous avons parlé, continue à descendre; et, en vertu du mouvement acquis, atteint une profondeur, qui dépend de la force vive qu'elle a reçue avant l'interruption de sa communication avec le réservoir alimenté par la source. Cette force vive dépendant elle-même de l'abondance de la source, il y a évidemment des conditions pour lesquelles l'abaissement de la colonne au-dessous du niveau du réservoir inférieur est assez grand pour que, en vertu du principe de l'oscillation, elle remonte ensuite jusqu'au sommet du système, et se courbe dans le siphon qui établit la communication avec la source; de sorte qu'à l'époque où le mouvement ascensionnel est éteint, ce siphon étant de nouveau *amorcé*, l'appareil recommence son jeu indéfiniment. Le mouvement du liquide est, comme on le voit, variable; il part de 0 et augmente graduellement pour s'éteindre de même à chaque période. Quand la colonne remonte, elle se divise dans le siphon qui va établir la communication dans la source motrice et dans le tube à air; de sorte que, si celui-ci est conique, il jette périodiquement de l'eau au-dessus du niveau de la source. On peut, d'ailleurs, embrancher sur le tuyau vertical un autre tuyau d'ascension *partant de plus bas*, afin que la quantité de force vive employée à produire l'ascension soit plus considérable.

Bien que cet appareil ne paraisse pas susceptible d'être employé utilement *sous cette forme*, comme il s'agit d'un principe essentiel pour ce qui va suivre, nous allons entrer de suite dans quelques détails, afin qu'il se grave mieux dans la mémoire.

Ordinairement on prescrit de faire tous les tuyaux cylindriques, afin

que le pourtour soit le moindre possible relativement à la masse liquide. Ici nous avons à observer une loi toute contraire pour la partie supérieure de l'appareil, parce qu'il est bon que l'air extérieur pénètre le plus facilement possible dans cette partie à l'époque où le siphon, qui plonge dans la source, cesse de couler plein. On voit d'après cela que le tube latéral supplémentaire, destiné à cette introduction de l'air, doit entourer extérieurement le tuyau, et être formé de deux surfaces coniques. Par la même raison, le siphon, qui plonge dans la source, peut être formé de deux autres surfaces coniques, mais repliées en forme de *champignon*; ce qui offrira l'avantage de diviser au besoin ce siphon en plusieurs autres, et par conséquent de multiplier le rapport de la somme des pourtours à la somme des sections des tubes qui plongent dans le réservoir de la source. Pour les cas où cette subdivision ne serait pas indispensable, on remarquera que cette sorte de siphon annulaire ne se trouvant plus formé que de deux pièces, dont on peut, si l'on veut, varier le degré d'écartement, est au fond un véritable *robinet*, c'est-à-dire qu'il offre l'avantage de pouvoir varier son ouverture; et, de plus, il ne donne lieu à aucun *étranglement brusque*.

Ce qui vient d'être dit pourrait faire regarder l'appareil comme trop délicat pour entrer dans les combinaisons de la nature inorganique; aussi, en indiquant les dispositions utiles à l'économie du travail, je m'empresse d'ajouter que je l'ai fait fonctionner, abandonné à lui-même, pendant un grand nombre de périodes, *avec des formes tout-à-fait grossières*. Mais alors il est indispensable que la partie horizontale, ou le développement de la partie inférieure, ait une longueur assez grande relativement à la chute motrice; or c'est précisément ce qui se présente dans les canaux souterrains naturels. Cette longueur est nécessitée par les coudes, ou par les causes quelconques de résistances *locales* indépendantes du frottement proprement dit. On conçoit, en effet, que si la colonne oscillante est plus longue, la durée des oscillations est plus grande, et que, le chemin parcouru à *chaque oscillation* par la résistance étant déterminé, cela diminue la moyenne des vitesses dont cette résistance est fonction. La longueur de la colonne oscillante diminue, par cette raison, le travail résistant pour *chaque oscillation*, pourvu que toutefois cette longueur ne soit pas excessive, parce que alors cela donnerait trop de prépondérance au genre de résis-

tances particulières aux vitesses extrêmement petites. Je ne m'étendrai pas davantage sur ces considérations, détaillées dans mon précédent Mémoire, page 89 de ce volume, où l'on peut voir comment, pour les grandes vitesses, la longueur des surfaces frottantes du tuyau d'une colonne liquide oscillante est compensée par la diminution de vitesses provenant de cette même longueur pour chaque oscillation, quand on fait abstraction des coudes ou autres résistances *locales*.

L'appareil que j'ai exécuté était tout simplement composé d'un tuyau en forme de $\int$, dont la partie inférieure avait un développement horizontal d'une vingtaine de mètres et débouchait par son autre extrémité dans un réservoir; la hauteur verticale de tout l'appareil, en y comprenant le réservoir, dont la hauteur était au moins les deux tiers de celle-ci, était de $\frac{2}{3}$ de mètre environ. Ces tubes avaient 0^m,05 de diamètre intérieur. Le tube latéral supplémentaire destiné à la circulation de l'air intérieur offrait l'inconvénient d'être cylindrique; il avait d'ailleurs le même diamètre que les autres. Le siphon qui plongeait dans la source était quadrangulaire et son diamètre vertical était graduellement rétréci de moitié au haut de son coude. Sa paroi inférieure formait un arc de cercle d'un rayon d'une fois et demie environ son côté. Ces diverses dimensions sont d'ailleurs d'autant plus indifférentes que l'appareil était, comme je l'ai dit, très-grossier et devra être exécuté d'après les considérations susdites. Je donne une idée de ces dimensions, seulement parce que si elles étaient à peu près moitié moindres, du moins quant au diamètre des tubes, il serait très difficile et peut-être impossible de faire marcher l'appareil.

Pour le mettre en jeu, après avoir rempli les deux réservoirs, et par conséquent tout le tuyau horizontal, je versais un sceau d'eau dans un entonnoir adapté provisoirement sur le tube à air. Le cours d'eau qui alimentait extérieurement le bassin supérieur n'étant pas tout-à-fait assez abondant, j'y suppléais ensuite en versant de l'eau extérieurement dans ce bassin, et la fontaine intermittente marchait d'ailleurs abandonnée à elle-même *sans aucune pièce quelconque mobile*. Les deux remarques les plus essentielles à faire sur son jeu consistent en ce que :

1°. Quand le niveau de l'eau dans le bassin supérieur descendait à l'extrémité de la bouche du siphon *alimentaire* de l'appareil, ce siphon continuait encore à couler pendant quelques instants, parce qu'il sou-

levait, en vertu de la viscosité de l'eau, une petite colonne de ce liquide au-dessus du niveau général du bassin supérieur. Or, à l'instant où la colonne se divisait à l'entrée du siphon, par l'effort de l'air extérieur, la petite masse d'eau soulevée retombant pour se mettre de niveau avec son réservoir, formait un creux, en vertu du mouvement acquis, comme l'aurait fait une sorte de vague. Cet effet est très-avantageux pour l'appareil, parce qu'il facilite l'entrée de l'air extérieur dans le siphon, à la suite de la colonne qui sort par l'autre extrémité, en vertu de son mouvement acquis.

2°. Malgré cet effet, la bouche du siphon n'étant pas longtemps complètement libre, et devant se recouvrir bientôt, à cause de l'eau qui vient toujours de la source, lorsque le niveau de la colonne intérieure était descendu jusqu'à l'origine du tube latéral destiné à introduire l'air extérieur sur son sommet, on entendait très-distinctement le bruit causé par la rentrée brusque de cet air. On voit, d'après cela, combien il est important de faciliter cette rentrée par la plus grande section possible, au moyen d'un tuyau annulaire *enveloppant* le pourtour du sommet du tuyau principal; tandis que, dans l'essai dont je viens de rendre compte, aux premiers instants où l'air entraînait de ce côté, il ne le pouvait que par le segment le plus étroit d'une courbe à double courbure.

Le cours d'eau qui alimentait extérieurement le bassin supérieur n'étant pas tout à fait assez abondant, j'y suppléais, comme je l'ai dit, en y versant de l'eau moi-même, de sorte qu'il y avait réellement de l'intermittence dans l'alimentation du réservoir supérieur; mais il est évident que la difficulté consistait à faire fonctionner l'appareil *sans pièce mobile*, surtout si l'on a égard à l'extrême imperfection de ce modèle, imperfection utile d'ailleurs pour établir qu'un appareil de ce genre peut se présenter dans la nature inorganique.

On prescrit ordinairement d'évaser les extrémités des tuyaux dans les machines hydrauliques; mais il n'est pas prouvé que, dans cet appareil, il soit utile de le faire pour la bouche du siphon supérieur, à cause des conditions à remplir pour la rentrée de l'air à l'époque où ce siphon se vide. On remarquera d'ailleurs que la perte de force vive, provenant des phénomènes de la contraction de la veine liquide à cet orifice, peut avoir moins d'importance que dans plusieurs autres de mes appareils; parce que l'écoulement ne se fait en ce point que pen-

dant une *fraction* de la durée totale de chaque oscillation, soit dans un sens, soit dans l'autre. Quant au maximum de cette perte, nous avons déjà expliqué pourquoi elle peut ne pas avoir beaucoup d'importance si le tuyau horizontal est suffisamment long.

J'ai vérifié par l'expérience qu'une colonne liquide oscillante amorce facilement, par son mouvement de bas en haut, un siphon de 11 centimètres de diamètre; et comme il est bon de disposer un siphon annulaire, dont le diamètre vertical dans le coude soit tout au plus moitié du diamètre du tuyau vertical, on pourra probablement exécuter des appareils de ce genre en leur donnant d'assez grandes sections. Il était un peu plus difficile d'amorcer le siphon quand l'extrémité, opposée à celle d'où vient la colonne ascendante, plongeait dans l'eau, comme dans l'appareil dont il s'agit; mais, avec le même gros tuyau dont nous venons de parler, on surmontait facilement cette difficulté, en se ménageant un petit tube latéral à air, comme dans cet appareil. On n'a guère alors qu'un volume d'air, égal à celui du siphon supérieur, à chasser au travers de la couche d'eau qui recouvre l'extrémité opposée. Pendant cette époque, l'eau monte dans le tube latéral destiné, comme nous l'avons dit, soit à la libre sortie, soit à la libre rentrée de l'air aux instants convenables. On peut remarquer que l'eau montera plus ou moins haut dans ce tube latéral, selon que l'air du siphon sera plus ou moins difficile à chasser au travers de la couche d'eau qui s'y oppose.

On voit que si l'on voulait élever de l'eau au moyen de cet appareil *considéré sous cette forme*, la résistance de cette colonne d'air pourrait être considérée comme une des causes d'un versement au-dessus du niveau de la source motrice. Mais, en général, ce genre d'appareil serait évidemment défectueux sous cette forme à cause des chemins parcourus par les résistances passives; si la somme des longueurs de ces chemins était très-grande par rapport à celui de l'eau, qui fournirait l'effet utile en versant à une hauteur, petite comparativement à la chute motrice. Nous allons décrire une autre forme, qui offre elle-même un véritable principe d'appareils, comme nous le verrons plus loin.

Sous celle que nous venons de décrire, il est évident que le système fonctionnera de lui même indéfiniment, malgré des variations de débit dans la source, 1° si cette source est toujours assez abondante pour

recouvrir périodiquement, d'une manière convenable, l'extrémité du siphon supérieur; 2° si le travail moteur surpasse toujours un peu le travail résistant. Il est clair, en effet, que si la force ascensionnelle est assez puissante pour amorcer le siphon alimentaire, l'appareil se retrouvera toujours périodiquement dans un état analogue à celui où il était au commencement de son jeu.

II.

Appareil élévatoire sans pièces mobiles.

Considérations préliminaires.

Cet appareil ne diffère, quant à la forme, du précédent que par l'addition d'un tuyau d'ascension sur la partie horizontale ou le développement de la partie inférieure. Pour concevoir comment il se produit, dans ce tuyau d'ascension, une oscillation puissante par rapport aux autres oscillations sur lesquelles reposera le jeu du système, il faut admettre un principe fort simple sur les oscillations de l'eau dans un siphon renversé ordinaire, de diamètre constant, en faisant pour un moment abstraction du présent appareil.

Abstraction faite des résistances passives, la hauteur à laquelle une colonne liquide, abandonnée à elle-même, après avoir été soulevée une première fois dans une des branches d'un pareil siphon, doit remonter dans la branche opposée, dépend évidemment de la hauteur à laquelle l'eau avait été soulevée dans la première. Mais la hauteur qui sera obtenue, dans la seconde branche, ne changerait pas si, par un moyen quelconque, on avait supprimé dans celle-ci, avant la naissance du mouvement, une portion plus ou moins grande de la colonne d'eau verticale. Ainsi, en faisant toujours abstraction des résistances passives, lorsque, pour augmenter la hauteur qui sera obtenue dans la seconde branche, on introduit, d'une manière quelconque, une certaine quantité d'eau sur la première branche, la hauteur qui sera obtenue dans la seconde ne dépend pas de la profondeur où l'eau était dans celle-ci à l'instant de la naissance du mouvement ascensionnel : je veux

dire qu'elle n'en dépend point de la même manière qu'elle le ferait si l'autre branche était en communication *non interrompue* avec un réservoir; car, en toute rigueur, la longueur de la colonne peut avoir quelque influence sur la hauteur dont il s'agit, par suite des phénomènes du choc des fluides ou par d'autres raisons secondaires provenant des résistances passives.

Ce principe évident trouvera son application en ce que, pour obtenir une hauteur donnée, au moyen d'une colonne liquide oscillante, il ne sera plus indispensable, comme dans l'appareil précédent, que le sommet de cette colonne parte d'une *profondeur dont la limite soit déterminée*, abstraction faite des résistances passives; pourvu que l'on ait un moyen de soustraire périodiquement, sans perte de force vive trop sensible, la quantité d'eau périodiquement introduite dans l'appareil pour entretenir son jeu. Or on verra plus loin que cela se peut, par la raison même que ce qui vient d'être dit permet de *distribuer*, à volonté, la course d'une colonne liquide au-dessus et au-dessous d'un tuyau de décharge.

Quand une colonne liquide oscille dans un système quelconque de tuyaux, les pressions qu'elle exerce sur un point donné varient nécessairement avec le mouvement de cette colonne. Les personnes qui n'auraient pas lu mes précédents Mémoires pourront se faire une idée de ces effets au moyen des considérations suivantes, que je crois d'ailleurs nouvelles, en ce qu'elles présentent de l'analogie entre les phénomènes dont il s'agit et une loi du choc des corps élastiques, bien qu'on fasse abstraction de tout *choc* dans ce qui va suivre.

Concevez deux tuyaux, ouverts à toutes leurs extrémités, et disposés l'un sur l'autre comme une sorte de grand T *renversé*. Je suppose qu'il n'y ait pas encore d'eau dans le tuyau vertical, et que le tuyau horizontal en soit rempli. Si l'on conçoit que la première partie de la colonne d'eau horizontale soit en mouvement, l'autre, au-delà du tuyau vertical, étant encore en repos, la portion en mouvement élèvera dans le tuyau vertical de l'eau, qui pressera latéralement la portion en repos, et lui imprimera graduellement de la vitesse. Quand la vitesse sera devenue à peu près aussi grande en aval qu'en amont du tube vertical, la colonne verticale redescendra; et il est intéressant de voir en quel état sera le système à l'époque où toute l'eau sera rentrée dans

le tuyau horizontal (que l'on supposera indéfiniment prolongé et relevé à ses extrémités), abstraction faite des résistances passives.

Or il est à remarquer que le travail employé à refouler l'eau dans le tuyau vertical, devant ensuite se restituer jusqu'à un certain point, pendant que l'eau redescendra vers le tuyau horizontal, *produit un effet parfaitement analogue à celui des ressorts dans le choc des corps élastiques*. C'est-à-dire que (si toutefois les vitesses ne sont pas trop grandes par rapport à la longueur du système), quand toute l'eau sera rentrée dans le tuyau horizontal, la portion de la colonne comprise dans ce dernier tuyau avant la branche verticale, pourra ou revenir sur ses pas, ou être réduite au repos, ou continuer à se mouvoir, avec une vitesse, bien entendu moindre qu'avant l'ascension, selon le rapport qui existera entre les longueurs des deux parties de la colonne horizontale. Or il y a dans cette distribution de vitesses quelque chose d'analogue à ce qui se présente dans le choc des corps élastiques, selon le rapport du corps choquant au corps choqué.

Ces considérations, évidentes par elles-mêmes, ne sont pas indispensables pour ce qui va suivre; mais on a pensé qu'elles pouvaient être utiles et offrir quelque intérêt, en présentant de l'analogie entre des phénomènes d'une nature tout à fait différente.

Description du jeu de l'appareil.

Le système se compose, comme nous avons dit, de l'appareil en forme de f , auquel on a seulement ajouté un tuyau d'ascension, sur un point intermédiaire de la portion horizontale de la partie inférieure suffisamment développée. De sorte qu'il prend une forme analogue à celle d'une petite *m renversée*, la branche du milieu étant la plus longue, et la dernière se recourbant en siphon dans le réservoir de la source; cela est d'ailleurs figuré au moyen de la *liaison*, qui la termine comme la plupart des caractères de l'alphabet. Tout l'appareil est rempli d'eau une première fois, par un moyen quelconque, à l'exception d'une partie du tuyau vertical du milieu. Il descend de l'eau de la source comme dans le premier système en forme de f ; mais elle vient se poser, du moins en partie, au bas du tuyau du milieu, ou plutôt elle repousse

de l'eau dans cette partie. A l'époque où, en vertu de cette descente, la vitesse est graduellement devenue assez grande, le siphon, qui plonge dans le réservoir supérieur, cesse d'être amorcé, comme nous l'avons expliqué pour le premier système. A cette époque l'eau est en mouvement dans toutes les parties de l'appareil : elle baisse dans le tuyau qui vient de la source, monte dans le tuyau vertical du milieu, et finit par verser au sommet de celui-ci, en fournissant l'effet utile. La colonne redescend ensuite dans ce dernier tuyau, et se divise en deux parties, dont l'une passe à l'extrémité inférieure de l'appareil, pour se rendre au réservoir de décharge; et l'autre remonte vers la source, pour amorcer le siphon qui y plonge, de manière à ce que le jeu recommence périodiquement, en recevant de la force motrice comme dans le premier appareil en forme de f .

Pour bien concevoir l'ensemble et la raison de ce qu'on vient de décrire, il faut suivre attentivement le jeu de la colonne de décharge, en la considérant comme influencée par les pressions variables de la colonne du tuyau du milieu. Nous allons d'abord faire abstraction des résistances passives.

Ce qu'il y a de plus essentiel à remarquer, c'est que la colonne, remplie dans le tuyau vertical d'ascension et dans celui qui vient de la source, *oscille par ses deux extrémités*, pendant qu'elle n'est pas en communication avec le réservoir supérieur. Nous avons vu dans les préliminaires de ce second chapitre, que cette condition permet de distribuer, comme on veut, la course de la surface de la colonne oscillante dans une des branches d'un siphon, quant aux chemins périodiquement parcourus au-dessus et au dessous d'un niveau d'une hauteur donnée. Il résulte de là que l'on peut se servir de l'oscillation de la colonne dans le tube vertical du milieu pour faire écouler périodiquement de l'eau motrice au niveau de la décharge. On fait naître du mouvement dans le tuyau de décharge pendant l'époque où cette colonne monte au-dessus de ce niveau; et l'on réduit l'eau de ce tube au repos, pendant l'époque où cette même colonne descend au-dessous du même niveau, parce que la pression résistante devient alors prépondérante. Les phénomènes de la distribution des pressions, que l'on pourrait nommer *positives* et *négatives*, autour d'un niveau d'une hauteur donnée, deviennent plus compliqués, dans l'appareil dont il

s'agit que dans un simple siphon, par la raison même qu'il en résulte un écoulement latéral d'une partie de la colonne oscillante, mais on pourra toujours y avoir égard, du moins par le tâtonnement.

Tout ce qui vient d'être dit suppose que les colonnes liquides ont une longueur développée assez grande par rapport à la chute motrice. Nous avons d'ailleurs expliqué que, même dans le premier appareil, ayant tout simplement une forme analogue à celle d'une f , cette condition était indispensable dans ces systèmes.

Voici maintenant de quelle façon la force motrice agit, et abandonne périodiquement l'appareil. Nous avons vu comment l'eau motrice descend de la source, et comment, l'appareil étant en jeu, la vitesse naît ou augmente graduellement dans la colonne de décharge, pendant le temps que l'eau du tuyau d'ascension se trouve au-dessus du niveau de la décharge, soit pendant l'ascension, soit pendant le commencement de la descente. Nous savons aussi que la vitesse diminue au contraire dans la même colonne, pendant que la surface de celle du tuyau du milieu est au-dessous du niveau de la décharge, soit à la fin de la descente, soit au commencement de l'ascension. Or si, par la disposition de l'appareil, on règle convenablement, sur la colonne de décharge, les pressions motrices et les résistances les unes par rapport aux autres dans une même période, cette colonne sera périodiquement réduite au repos. On peut d'ailleurs faire déboucher le tuyau de décharge, par une extrémité évasée, un peu au-dessus du niveau où il va verser de l'eau qui ne doit revenir sur ses pas que le moins possible. Pour bien concevoir de quelle manière l'eau, qui passe au niveau de la décharge, en se mêlant à une colonne réduite périodiquement au repos, comme nous venons d'expliquer que cela peut se faire, *traverse l'appareil en exécutant un travail*, nous allons faire pour un moment abstraction de cet appareil, et considérer le mouvement oscillatoire d'une colonne liquide dans un siphon renversé ordinaire à branches, de diamètre constant, mais inégales en hauteur.

Si l'on versait périodiquement du liquide dans un pareil siphon par la branche la plus courte, chaque fois qu'une colonne liquide oscillante arrive à la hauteur du sommet de cette branche (précisément comme dans la première moitié de l'appareil dont il s'agit), il est clair qu'il pourrait bien ensuite sortir de l'eau par le haut de

la seconde branché pendant quelques oscillations, mais que l'eau redescendrait de moins en moins bas dans cette même branche. En effet, l'eau d'une source ne peut pas s'élever au-dessus de son niveau, si en définitive une partie de cette eau ne reste pas à un niveau moins élevé après sa descente. Il résulte de là que le tuyau d'ascension de l'appareil dont nous nous occupons aurait une tendance à se remplir de plus en plus, et à finir par faire cesser le jeu, si l'on n'avait pas un moyen d'évacuer la quantité dont il tend ainsi à se remplir. C'est donc en cela que consiste le travail de l'eau motrice, qui descend de la source au niveau de décharge. Il vide une portion du système, où l'eau de la source descend en emmagasinant de la force vive, comme dans une sorte de béliet hydraulique, mais sans choc brusque.

Jusqu'à présent nous avons fait abstraction des résistances passives dans l'appareil objet de ce second chapitre; mais il peut se présenter de légères causes d'irrégularité dans le jeu du siphon qui aspire périodiquement l'eau de la source. Or il est facile de prévoir que les irrégularités, qui en résulteront dans toutes les autres parties du système, ne doivent pas arrêter le jeu, et donneront lieu à des compensations; pourvu qu'elles ne dépassent pas certaines limites, comme dans d'autres appareils dont le jeu est connu.

Mais, abstraction faite de toute compensation, cet appareil fournissant à chaque période au sommet du tuyau d'ascension une quantité d'eau assez notable par rapport à la capacité de ce tuyau, il est clair qu'il pourrait fonctionner au moyen d'une source motrice, un peu plus ou un peu moins abondante. En effet, si l'oscillation ascendante est un peu plus ou un peu moins puissante, il est facile de démontrer, comme on va le voir, que son action latérale sur le tuyau de décharge sera un peu plus ou un peu moins forte; de sorte que, si le débit de la source motrice varie, il suffira que la course de la colonne dans le tuyau d'ascension varie, aussi selon certaines lois, pour que la colonne de décharge soit réduite périodiquement au repos, selon la meilleure condition du système. Or cette colonne de décharge étant d'une longueur sensiblement constante (puisqu'on peut faire abstraction de la force vive de l'eau qui sort de l'appareil par une extrémité évasée), pour qu'elle débite plus ou moins d'eau, il suffit que la course de l'oscillation dans le tuyau d'ascension soit réglée en conséquence.

Maintenant supposons que le débit de la source diminue, ou qu'il y ait quelque irrégularité dans les résistances passives de l'appareil ; s'il n'y a rien de trop brusque, le mouvement général reprendra de lui-même le *régime* qui lui convient. Si la source fournit un peu moins d'eau, cela diminuera la puissance de l'oscillation, et par suite les vitesses périodiques dans le tuyau de décharge, à cause des pressions latérales.

Pour bien concevoir cette influence de la puissance de l'oscillation, dans le tuyau d'ascension, sur les pressions latérales, il ne faut pas perdre de vue que les *hauteurs dues* aux vitesses variables de cette oscillation seront toujours très-petites par rapport à la chute motrice, à cause de l'inertie des longues colonnes liquides oscillantes. De plus, par la raison même que ces colonnes sont très-longues, le versement supérieur ne diminuera cette inertie que d'une très-petite fraction ; ainsi il faudra d'autant plus de pressions résistantes pour anéantir le mouvement ascensionnel, que ce mouvement sera plus puissant. Les vitesses ne sont point ici, comme on pourrait le penser d'après le théorème de Bernoulli, une cause de diminution très-notable dans les pressions latérales, puisque les *hauteurs dues* à ces vitesses sont très-petites relativement aux hauteurs variables des colonnes liquides dont le poids est la cause de ces pressions. Or les vitesses étant fonction des pressions qui les engendrent, si le débit de la source diminue d'une manière assez insensible, il peut en définitive varier de quantités sensibles, sans que le jeu soit interrompu. On pourra, du reste, régler l'eau motrice *au moyen d'un second réservoir supérieur*, si les compensations ne sont pas assez rigoureuses. Quant aux irrégularités indépendantes du débit de la source, il y a dans tout le système une *tendance* au rétablissement du *régime* convenable.

La principale cause d'irrégularités et peut-être, dans certains cas, de pertes de forces vives, provient du mode d'introduction de l'eau dans l'appareil. Mais ce mode, essentiel dans le premier appareil en forme de *f*, destiné principalement à fournir une explication de quelques phénomènes du mouvement des fontaines naturelles, n'est plus le point fondamental dans celui qui nous occupe ; c'est-à-dire que si l'eau motrice était périodiquement versée sur le haut du tuyau, qui remonte vers la source, au moyen d'une soupape ou pièce mobile quelconque,

ce second appareil n'en subsisterait pas moins comme *principe*. Il est même probable que son effet serait plus avantageux, si l'eau motrice lui était fournie par un moyen analogue à celui que j'ai exécuté pour un modèle fonctionnant d'un de mes appareils, décrit dans le tome IV de ce Journal, page 243. Mais il est inutile d'entrer ici dans des détails étrangers aux *principes*, seul objet de cette Note.

III.

Jet d'eau oscillant, qui fournit un effet et une force motrice.

Nous avons vu, au commencement du second chapitre, que l'on peut disposer un siphon renversé de manière à distribuer à volonté la course d'une colonne liquide oscillante *au-dessus et au-dessous* d'un point donné. Nous avons vu aussi que l'on peut entretenir les oscillations en faisant passer périodiquement de la force motrice *au travers* du système, et cela en ajoutant un simple tuyau de décharge à un siphon renversé. Or il est facile de démontrer que, sans ce tuyau de décharge, et au moyen d'un orifice pratiqué sur la paroi de ce siphon, on peut aussi faire passer *utilement* de la force motrice *au travers* de l'appareil. En effet, abstraction faite des pertes de force vive, ou en ne les supposant pas trop grandes, il suffit, pour que le jeu de l'appareil soit entretenu, que le centre de gravité d'une certaine masse d'eau passe du niveau de la source à un niveau inférieur, sans perte trop sensible de force vive. Or, d'après des expériences dont j'ai parlé dans le tome III de ce Journal, page 209, on sait que si la colonne horizontale d'un siphon renversé est assez longue, par rapport aux courses des oscillations, et qu'un jet d'eau vertical sorte, par un orifice en mince paroi, de la colonne horizontale (son diamètre n'étant pas trop grand relativement à ceux des tuyaux), auprès d'une des branches verticales, ce jet s'élève dans l'air libre à des hauteurs variables analogues à celles que la colonne oscillante atteint dans le siphon; il s'élève d'ailleurs avec elle bien au-dessus du niveau de la source, quand une des branches du siphon débouche dans le réservoir de cette source. Or, dans le système

dont nous nous occupons, une des branches étant en communication, pendant un certain temps, avec la source motrice, l'eau s'élèvera dans l'autre branche au-dessus de cette source, et il en sera de même d'un jet d'eau, oscillant dans l'air libre, comme celui dont nous venons de parler. Supposons maintenant que ce jet d'eau, étant incliné sous un certain angle, passe sur un système de réservoirs, disposés les uns au-dessus des autres comme les marches d'un escalier. L'eau élevée par ce jet oscillant se versera latéralement dans ces réservoirs, à ses diverses hauteurs variables; et l'on conçoit même que s'ils étaient à d'assez petites hauteurs les uns au-dessus des autres, le centre de gravité de la quantité totale de l'eau, fournie par le jet oscillant, pourrait ne redescendre que d'une très-petite quantité par l'effet de ce versement latéral. Ainsi, en définitive, soit pendant l'ascension, soit pendant la descente, on aura, à chaque période, *une masse d'eau sortie de la source et qui aura traversé l'appareil en descendant à un niveau inférieur*, sans beaucoup de perte de force vive. La hauteur dont le centre de gravité de cette masse d'eau descend se règle, comme nous l'avons dit, au moyen de la disposition de la seconde branche du siphon, dans lequel une colonne liquide oscille par ses deux extrémités. Il est donc évident que cette descente cause un *travail*, qui entretient le jeu de l'appareil d'une manière analogue à ce qui a été dit dans le second chapitre.

On peut maintenant se représenter facilement l'effet de ce jet d'eau oscillant. Il distribue son eau au-dessus et au-dessous du niveau de la source, par une disposition convenable du siphon; et il est à remarquer que, si la branche auprès de laquelle il oscille, est indéfiniment prolongée, un même orifice débitera par un même jet *l'effet et la force motrice*.

L'appareil *s'amorcera* comme celui qui est décrit dans le premier chapitre; et, pour que son jeu se continue indéfiniment, il suffira que la colonne, dans son mouvement rétrograde, ait la puissance nécessaire pour *amorcer* périodiquement le siphon qui plonge dans la source. Si d'ailleurs l'orifice du jet d'eau, oscillant dans l'air libre, est au-dessous de la limite inférieure de la course de l'oscillation, dans la branche la plus éloignée de la source, l'appareil reprendra de lui-même le jeu convenable au régime, quand l'abondance de la source variera dans certaines limites avec une lenteur suffisante, parce que le

mouvement rétrograde de la colonne et le débit du jet d'eau varient avec la puissance ascensionnelle de cette colonne dans le siphon. On pourra d'ailleurs régler la source au moyen d'un second réservoir supérieur, si cela est nécessaire.

IV.

Appareil pour faire des épuisements sans pièce mobile.

Sans rien changer de bien essentiel, en apparence, à la forme de l'appareil décrit dans le second chapitre, on peut le rendre propre à faire des épuisements. Il suffit d'élargir la branche du milieu et de réduire sa hauteur à celle où l'eau épuisée doit se verser. Dans cette disposition, l'eau motrice et l'eau épuisée *sortiront en entier par une même branche*. L'appareil du second chapitre avait une forme analogue à celle d'une sorte de petite *m renversée* dont la branche du milieu était la plus longue; et sous cette nouvelle forme il aura toujours celle d'une petite *m renversée*, mais dont les trois branches iront graduellement en diminuant de hauteur, la dernière débouchant dans l'eau à épuiser. Il est entendu que, dans l'un et l'autre appareil, le tuyau, qui versera l'eau élevée, sortira un peu au-dessus du niveau où elle doit monter, afin qu'elle ne puisse point revenir sur ses pas.

Voici maintenant de quelle façon l'appareil fonctionnera. On sait que, dans un siphon à branches de diamètres inégaux, une colonne liquide en oscillation remonte plus haut dans la branche la plus étroite que dans l'autre. On conçoit donc qu'il suffit de verser de l'eau périodiquement sur l'extrémité de la colonne qui descend de la source, comme dans les appareils précédents, pour que la colonne remonte périodiquement vers cette source, en *s'allongeant pour aller à la rencontre de la force motrice*. Or cette même colonne oscillant par ses deux extrémités, nous avons vu que cela suffit pour la mettre convenablement en communication avec un tuyau de décharge où le liquide sera périodiquement réduit au repos, à peu près comme s'il y avait une soupape. Mais, dans le présent appareil, l'eau viendra du dehors au-dedans de la troisième branche, ce qui est précisément le contraire de l'effet de cette même branche dans l'appareil du second cha-

pitre. Il suffit pour cela que l'eau ait été dirigée une première fois dans le sens voulu; parce que, pendant l'époque où l'eau baisse dans la branche du milieu au-dessous du niveau de l'eau à épuiser, celle-ci descend tout naturellement dans cette même branche du milieu; tandis que, pendant l'époque où dans cette même branche l'eau se trouve au-dessus du niveau dont il s'agit, la vitesse de l'eau diminue dans la troisième branche, d'une manière parfaitement analogue à celle que nous avons décrite dans le second chapitre.

Dans l'un et l'autre cas, soit que l'eau de la troisième branche se dirige à l'intérieur, soit qu'elle se dirige à l'extérieur de l'appareil, si tout est bien réglé, elle ne reviendra point sensiblement sur ses pas et ne sera réduite au repos que pendant des instants très-courts. Si donc on a besoin d'amener l'eau d'un point éloigné au lieu où se trouve la branche du milieu, *il ne faudra pas mettre sur le compte de l'appareil le travail en frottement dépensé pour amener l'eau par la troisième branche.* Mais il n'en est pas, il est vrai, ainsi du travail en frottement dans la partie de l'appareil qui vient de la source, parce qu'en supprimant les pièces mobiles, il ne m'a pas encore été possible d'éviter le mouvement de retour vers la source, comme je le fais pour l'appareil décrit tome III de ce Journal, page 437, que j'ai exécuté depuis, et dont cette circonstance servira d'ailleurs à faire ressortir l'utilité [*].

Les frottements paraissent devoir être, en général, la cause la plus importante de perte de force vive, quand les tuyaux sont très-longs par rapport à la chute motrice et aux hauteurs que l'eau élevée doit atteindre; puisque d'ailleurs dans la pratique on pourra, si l'on trouve que cela soit plus économique, employer un autre mode d'introduction de l'eau motrice dans l'appareil. On ajoutera seulement ici, pour ne pas répéter ce qui a été dit autre part, que dans le cas où l'appareil servira aux épuisements, bien que sa forme matérielle présente autant

[*] On peut remarquer que, dans l'appareil objet du second chapitre de la présente Note, il y a un instant où l'eau coule dans le même sens et doit avoir à peu près la même vitesse dans le tuyau d'arrivée que dans le tuyau de décharge, c'est-à-dire dans tout le développement horizontal de l'appareil. Cet instant est celui où le versement cesse au sommet du tuyau d'ascension.

de coudes, il y en aura cependant à considérer un de moins que dans le cas où il était élévatoire, parce que l'eau motrice ne passait dans la troisième branche qu'en se *pliant* par dessus un *éperon*. Quant à la manière de calculer les résistances passives dans les colonnes liquides oscillantes, je renvoie à mes précédents Mémoires, les calculs n'offrant ici aucun intérêt particulier.

Il n'est pas aussi facile pour les appareils, objet du second et du quatrième chapitre, que pour les deux autres, d'établir qu'ils pourront être *amorçés* au moyen d'une simple *crue d'eau*, sans employer, *seulement il est vrai une première fois*, un système de pièces mobiles. Cependant cela ne paraît pas impossible, et leur propriété de pouvoir ensuite fonctionner, au moyen de pièces *absolument fixes*, m'a fait penser qu'ils devaient être classés avec les deux autres, parmi les *principes* qui pourront servir à l'explication du mouvement des fontaines naturelles.

CONCLUSIONS.

Si le premier des appareils décrits dans cette Note ne semble pas devoir présenter *sous cette forme* d'applications bien utiles à l'industrie; du moins, à cause de sa simplicité, il paraît être au nombre des combinaisons que l'on doit trouver dans la nature inorganique.

Quoiqu'il renferme le véritable principe des trois autres systèmes, en ce sens qu'ils ne pourraient pas fonctionner sans lui, *au moyen de pièces absolument fixes*, et qu'il était impossible de ne pas trouver ces autres appareils après l'invention du premier; cependant ils offrent un principe bien distinct, reposant sur les propriétés du jeu des *deux extrémités* de la colonne qui part de la source motrice.

On peut même supposer que l'eau motrice leur est fournie périodiquement par des moyens tout-à-fait différents. Il faut seulement que l'appareil ne soit pas toujours en communication avec le réservoir de la source; il y était au contraire sans interruption dans l'appareil décrit tome III de ce Journal, page 437.

Si le jet d'eau oscillant sous la forme décrite dans le troisième chapitre de la présente Note, n'est pas destiné à rendre des services à l'in-

dustrie, il offre, du moins, un exemple des effets variés, que l'on peut s'attendre à rencontrer dans les grottes naturelles, et dont la cause est peut-être bien plus simple qu'on n'aurait été porté à le croire.

Quant aux appareils décrits dans le second et le troisième chapitre, ils paraissent susceptibles de rendre des services à l'industrie, bien que je les regarde comme devant être, en général, sous ce rapport, inférieurs aux autres appareils de mon invention. En présentant ce premier essai sur la solution du problème des fontaines naturelles, je dois d'ailleurs prévenir que le sujet est susceptible de plusieurs autres solutions assez variées. On ajoutera seulement ici, pour en donner quelque idée, qu'aux extrémités d'une colonne liquide horizontale d'une certaine longueur, les pressions motrices qui la font osciller, ne se font pas sentir avec la même force qu'aux points où elles s'exercent immédiatement. J'ai établi ce fait par l'expérience. Or cette diminution de force étant graduelle le long de la colonne, on conçoit quelle variété d'effets peut en résulter sur un *réseau de conduites et de jets d'eau oscillants*. Ainsi, une *cause quelconque* faisant osciller une simple colonne liquide, il peut en résulter, à de très-grandes distances, une série de phénomènes très-complicés, que l'on indique ici comme principe de mouvement, et sur lesquels on reviendra dans un travail d'un autre genre.

Nota. Il eût été très-difficile d'expliquer sans figures tous les détails des appareils précédents, et les modifications dont ils sont susceptibles. On a cru devoir se borner à en exposer les principes et ne les développer que dans des recueils spéciaux.

