

JOURNAL
DE
MATHÉMATIQUES

PURES ET APPLIQUÉES

FONDÉ EN 1836 ET PUBLIÉ JUSQU'EN 1874

PAR JOSEPH LIOUVILLE

ANATOLE DE CALIGNY

**Expériences et considérations théoriques sur une nouvelle pompe
conique sans piston ni soupape, dont le moteur agit de bas en haut**

Journal de mathématiques pures et appliquées 2^e série, tome 12 (1867), p. 49-64.

http://www.numdam.org/item?id=JMPA_1867_2_12_49_0

 gallica

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>

Expériences et considérations théoriques sur une nouvelle pompe conique sans piston ni soupape, dont le moteur agit de bas en haut;

PAR M. ANATOLE DE CALIGNY.

Cette pompe se compose de deux tuyaux, l'un conique, l'autre cylindrique, ayant le même axe, ouverts à leurs extrémités et soudés ensemble, le tuyau cylindrique étant au-dessus et la plus grande section du tuyau conique étant à l'extrémité inférieure du système. L'eau élevée est reçue dans un vase annulaire fixe, au milieu duquel le sommet du tuyau cylindrique a la liberté de passer, toutefois avec le moins de jeu possible. Ce tuyau est suspendu à une des extrémités d'un balancier par une anse à laquelle est attachée une corde ou une chaîne, et cette anse est soudée à l'intérieur, afin de ne pas gêner le mouvement du tuyau dans le milieu du vase annulaire faisant fonction de guide.

Dans le premier modèle essayé en grand, le tuyau cylindrique et le tuyau conique ont chacun 1^m,90 de long. La plus grande section du tuyau conique a 25 centimètres de diamètre. Le tuyau cylindrique a un diamètre de 9 $\frac{3}{4}$ centimètres. Le tuyau conique est en zinc n° 14, le tuyau cylindrique est en zinc n° 13. Il n'y a pas de guide inférieur.

Pour faire fonctionner l'appareil ayant pour but, par exemple, d'élever l'eau d'un puits dont le niveau, entretenu par un courant souterrain, serait toujours à une hauteur suffisante au-dessus du fond, il suffit de soulever alternativement le tuyau en s'arrêtant de manière qu'il soit sensiblement en repos à l'époque du versement supérieur. On le laisse ensuite retomber par son propre poids, et ainsi de suite indéfiniment.

Le jet qui sort au sommet, à chaque période, et dont la hauteur dépend de la force avec laquelle on met le tuyau en mouvement, sort

en forme de *champignon*, de sorte qu'il ne peut passer que très-peu d'eau entre le tuyau fixe du réservoir annulaire et le tuyau mobile ; on verra plus loin comment on peut augmenter la divergence de cette espèce de *champignon*. Pour un appareil de ces dimensions, élevant l'eau à 1^m,50 au moins au-dessus du niveau de la citerne, il y a trente périodes par minute, chaque période comprenant une ascension et une descente du système. Quand on élevait l'eau à 1^m,20, il y avait ordinairement vingt-quatre périodes par minute.

Il est à remarquer que si l'on fait marcher le tuyau trop vite ou trop lentement, on ne sent que très-peu de résistance, mais aussi il ne sort plus d'eau par le sommet. Pour saisir le mouvement convenable il faut, comme on l'expliquera plus loin, s'abandonner au mouvement naturel de l'homme agissant sur le levier d'une pompe ordinaire et ne faire aucun effort en se relevant. Les courts instants de repos qui permettent à l'eau de se verser quand une hauteur constante est atteinte par le tuyau sont très-commodes. Les repos de ce genre sont d'ailleurs, comme on sait, recommandés en général pour l'emploi de la force de l'homme. Aussi il y a des ouvriers qui saisissent facilement le genre de mouvement nécessaire pour que l'appareil élève une quantité d'eau convenable, par la raison même qu'ils s'abandonnent à un mouvement naturel ; il y a au contraire des savants qui n'ont pas facilement saisi le mouvement nécessaire.

La quantité d'eau élevée paraît, comme on verra plus loin, au moins égale à celle que fournit une bonne pompe ordinaire ; toutes choses égales d'ailleurs, l'avantage resterait cependant à celle-ci, qui n'a aucune pièce susceptible de se déranger, et coûte en définitive beaucoup moins cher, comme tout le monde peut en faire le calcul d'après le prix connu des matériaux.

Avec le même appareil, la hauteur du versement de l'eau au-dessus du niveau de la citerne a pu être considérablement augmentée, elle s'est élevée jusqu'à 2^m,30. Mais pour ces diamètres la colonne liquide est alors trop divisée par suite des mouvements de l'air, tandis qu'il n'en est pas ainsi pour les hauteurs analogues à celles de 1^m,50. Dans ce dernier cas, si l'on règle le jeu de manière que l'eau arrive au sommet sans sortir, on voit que la surface ascendante n'est pas même en entier recouverte de bouillons. On peut faire marcher l'ap-

pareil sans effort avec une seule main pour ces dimensions; une jeune fille de quinze ans a même pu le faire marcher sans fatigue.

Il est essentiel de remarquer, quant au principe, que l'appareil n'agit point en descendant comme le fait une *canne hydraulique*. Lorsqu'on veut réunir les deux effets, comme cela se peut dans un très-petit modèle, il paraît pour ces dimensions difficile, sinon impossible, de mettre l'appareil en train au moyen de la force de l'homme.

Quand on soulève le tuyau une première fois, il tend à se faire, entre la paroi conique et l'eau qu'elle contient, une sorte de *vide conique annulaire*, d'où résulte une descente du niveau intérieur au-dessous du niveau extérieur de l'eau dans le puits, et par suite une oscillation ascendante à la période suivante; on saisit pour agir le moment où l'on sent de la résistance, et ainsi de suite. A la seconde période ou à la troisième, l'eau sort par le sommet et l'appareil est en train. On est instinctivement averti, par le bruit de l'eau tombant dans la bêche annulaire, qu'il faut laisser retomber de lui-même le tuyau qui doit entraîner le bras de levier sur lequel on agit alternativement. La course du tuyau est assez petite par rapport à l'élévation de l'eau.

Il est intéressant de se rendre compte du mode d'action de cette tendance au *vide conique annulaire* sur lequel repose le jeu de cet appareil. Le tuyau en se relevant rencontre au-dessus de lui la pression de l'eau ambiante. Il éprouve un frottement de la part de cette eau dans son mouvement. Quant au frottement à l'intérieur, il est sans doute en partie employé à l'élévation de l'eau. L'angle de l'entonnoir est trop aigu pour que la *résistance du milieu* soit bien sensible. L'orifice inférieur ayant un grand diamètre par rapport au tuyau cylindrique, il ne paraît pas que la perte de force vive en ce point soit importante par rapport à celle qui résulte du versement au sommet du tuyau cylindrique, même quand ce versement se fait à une hauteur maximum de 2 décimètres environ au-dessus de ce sommet.

Quand l'eau ascensionnelle pénètre dans le tuyau cylindrique, il est difficile d'admettre, au delà de certaines limites, que le *vide conique annulaire* puisse être prévenu autrement que par suite de l'entrée de l'eau à l'extrémité inférieure du système. L'appareil peut donc alors être considéré comme *une véritable pompe aspirante*, et c'est un genre d'effet entièrement nouveau. Aussi, quand le moteur

cesse d'agir sur l'autre extrémité du balancier, la force vive quelconque du tuyau en mouvement ne permet pas à ce tuyau de continuer à s'élever de la même manière que dans les circonstances où le jeu n'est pas bien réglé. Elle est employée à produire une aspiration, d'où résulte une augmentation ou un mode d'*entretien* quelconque de la quantité de force vive de la colonne liquide ascendante.

Pour de plus grands diamètres, il y aura moins de frottement, moins de chances de bouillonnement, l'effet utile sera plus grand, et l'eau pourra s'élever plus haut avec avantage.

Ce système, quand l'axe est rectiligne et vertical, a deux inconvénients : 1° l'eau doit être à une assez grande profondeur au-dessous du niveau d'où elle doit être épuisée, c'est-à-dire que l'extrémité inférieure du tuyau ne doit pas rencontrer le fond, ni même s'en approcher assez pour qu'il en résulte un étranglement annulaire trop sensible ; 2° il faut un certain apprentissage pour mettre l'appareil en train.

Ces deux inconvénients peuvent être évités si le tuyau formé des deux parties cylindrique et conique, au lieu d'avoir un axe rectiligne, a un axe courbé en arc de cercle mobile autour d'un point fixe.

Dans ce cas, le tuyau dont il s'agit, au lieu d'avoir des sections circulaires, pourra avoir des sections rectangulaires dont les grands côtés seront perpendiculaires au plan de rotation alternative. Cela permettra d'obtenir de beaucoup plus grandes sections. On conçoit cependant que pour de petites profondeurs les côtés des sections rectangulaires parallèles au plan de rotation auront des limites assez restreintes.

Cette forme générale du système a permis, au moins pour un petit modèle, d'obtenir immédiatement le mouvement oscillatoire voulu sans aucun apprentissage. Une masse de plomb disposée sur le tuyau courbe en faisait une sorte de véritable pendule, qui réglait nécessairement le mouvement à saisir.

On conçoit que, même en conservant la première forme rectiligne de l'axe du tuyau, on peut, en le coordonnant avec une sorte de pendule attaché à l'axe du balancier, obtenir tout naturellement le mouvement alternatif voulu, sans apprentissage. Mais dans l'un et l'autre cas ce mouvement de pendule, quelque facile qu'il soit de le régler, en fixant sa masse de plomb à une hauteur convenable, offre l'inconvénient suivant. Il faut que le tube ne puisse plus s'arrêter pendant un

temps sensible, qui était celui du versement dans la première manœuvre décrite ci-dessus. Il est donc nécessaire alors que le sommet du tube s'élève plus haut que cela n'est indispensable; de sorte que l'eau se verse sensiblement plus haut qu'on ne le veut pendant la fin de l'ascension du tube ou pendant le commencement de sa descente. Quant aux pompes en arc de cercle, il faut tenir compte de la manière dont l'air peut être enveloppé par la colonne ascendante.

Il vaut donc mieux en principe se servir du premier mode de manœuvre décrit ci-dessus, quand les circonstances le permettent et quand on peut facilement saisir le mouvement de mise en train.

Ce mouvement a été facilement saisi pour une pompe employant la force de deux hommes. Dans ce cas, l'axe rectiligne du tuyau était incliné; les deux hommes agissaient par un système de manivelle grossièrement disposé avec des cordes, l'avantage de ce système consistant principalement dans sa rusticité.

Quand on a voulu agir sur une pompe verticale en planches, d'assez grande section pour employer une douzaine d'hommes, on a trouvé plus de difficultés à leur faire saisir tous ensemble le mouvement. On y est parvenu cependant; mais il est douteux que pour ces grandes sections qui étaient des carrés, on doive recommander l'usage de ce système, quand d'ailleurs l'axe est vertical; d'autant plus que si la profondeur d'eau à puiser n'est pas grande, il en résulte bientôt l'espèce d'étranglement annulaire occasionné par le fond de l'eau, ainsi que je l'ai signalé ci-dessus. Je vais donc me borner provisoirement à donner une idée des observations faites sur les appareils de petites sections élevant l'eau à des hauteurs de 1^m,50 à 3 mètres, en tenant compte des assertions d'un ouvrier intelligent, relativement aux détails de sa manœuvre.

C'est au commencement de chaque période que l'effort du moteur doit principalement agir. L'homme fait alors ce que les ouvriers appellent donner un coup *sec*. Cela ne signifie pas, dans leur langage, un coup brusque, mais un effort qui se fait vivement en appuyant sur le bras de levier opposé. Cela ne signifie pas non plus que cet effort doit seulement se faire pendant une faible partie de la course. L'ouvrier avait l'habitude de le faire sur plus de la moitié de cette course, soit sur les deux tiers environ, ce qu'il sera d'ailleurs facile de mieux pré-

ciser quand on se servira de ce système. On ne veut pas dire non plus qu'il ne doive pas se faire d'effort à la fin de la course, mais que cet effort doit être plus modéré, et aller, pour ainsi dire, ce que les ouvriers appellent *en mourant*. C'est-à-dire que l'homme, appuyant d'abord vivement sur le bras du levier, doit s'abandonner ensuite à son mouvement naturel jusqu'à la fin de chaque course ascensionnelle du tuyau mobile vertical, époque à laquelle il a un instant de repos instinctif, et est averti d'ailleurs, par le bruit de l'eau élevée qui se verse, du moment où il doit laisser retomber ce tuyau mobile vertical après ce versement.

Mais il ne faut pas qu'il abandonne le bras de levier, ni encore bien moins qu'il veuille faire un effort en sens contraire du premier. Le tuyau mobile devant retomber sans être aidé par l'homme, et celui-ci pouvant avoir une distraction, il faut recommander de poser la tête de manière à ne pas s'exposer à y recevoir un coup du bras de levier, à l'époque où ce dernier, non-seulement serait brusquement relevé par le poids du tuyau (plus ou moins aidé par la pression de l'eau du puits sur la portion conique qui se vide en partie à son intérieur, en un mot par l'effet de l'oscillation descendante), mais serait imprudemment accéléré par l'effort intempestif de l'ouvrier. Ainsi il est bien entendu que celui-ci ne doit pas faire d'effort pendant que le tuyau mobile redescend, et qu'il ne doit à aucune époque abandonner le bras de levier, s'il ne veut pas que la machine cesse d'être amorcée.

Quant à la raison pour laquelle son effort doit diminuer à la fin de l'ascension du tuyau mobile, il est facile de s'en rendre compte. A cette époque, le système achève de se remplir d'eau ascensionnelle ayant la propriété de pouvoir pousser le tuyau de bas en haut sous la partie conique d'autant plus que celui-ci n'est plus retardé comme il tendait à l'être d'abord en vertu de la pression de l'eau du puits qui faisait sentir son action à l'extérieur sur la partie conique, à cause de la baisse de l'eau à son intérieur. Or, à l'époque dont il s'agit, cet intérieur est rempli d'eau en mouvement et qui, en vertu même de ce mouvement acquis de bas en haut, tend à passer en quelque sorte à *la filière* de la partie conique dans la partie cylindrique. On conçoit d'après cela que si l'on fait monter le tuyau mobile trop haut par un effort intempestif, c'est une raison pour qu'il cesse d'être amorcé, puisqu'il doit achever

sa course ascensionnelle, en utilisant pour l'achever la force vive de l'ensemble du système.

Cependant il faut tenir compte de ce que l'ouvrier ayant nécessairement à la longue quelques distractions, cette ascension trop grande du tuyau aura quelquefois lieu. On en sera quitte pour amorcer de nouveau l'appareil, ce qui se fera ordinairement en trois périodes.

Pour éviter le jaillissement en dehors du réservoir annulaire destiné à recevoir l'eau élevée, on a disposé au-dessus une sorte de toit conique renversé fixe, afin de faire d'ailleurs diverger la colonne liquide. Mais, d'après ce qui vient d'être dit, quelques précautions sont nécessaires à cause de l'inconvénient résultant de ce que le tuyau mobile montera quelquefois plus haut qu'on ne veut. Il m'a paru convenable, d'après cela, d'attacher au sommet du tuyau mobile une sorte de cône renversé, ayant pour but d'empêcher l'eau de retomber en partie dans le tuyau d'où elle sort. On peut d'ailleurs diminuer la résistance de l'eau à la déviation qui en résulte, au moyen de plusieurs surfaces coniques concentriques.

Voici quelles sont les dimensions de l'appareil sur lequel on a fait le plus d'expériences. Le tuyau cylindrique a 13 décimètres de diamètre et 2 mètres de long. La partie évasée qui y est soudée a 36 centimètres de diamètre à son extrémité inférieure, et 2^m,90 de long. L'ensemble de ces deux tuyaux est en zinc n° 14. Mais la partie évasée a été renforcée par quatre cercles bordés de fils de fer, l'expérience ayant appris qu'une pompe de diamètres moindres, décrite ci-dessus, avait été, après un assez long usage il est vrai, écrasée sur une certaine longueur de la partie évasée. A l'extrémité inférieure de ces divers modèles, on avait d'ailleurs roulé un fil de fer pour en augmenter la solidité. Cet appareil mobile pèse 22^{kil},7 ; mais comme les cercles en zinc disposés sur la partie conique forment de véritables petits flotteurs à cause de la manière dont ils sont attachés, l'ensemble ne se trouva point assez pesant pour redescendre de lui-même. On souda extérieurement à l'extrémité inférieure une feuille de plomb pesant 5^{kil},25, et qui lui donna le poids suffisant pour une marche régulière. La forme provisoire des cercles extérieurs précités est une petite cause de résistance dans l'eau du puits ; mais la course du tuyau n'étant que d'une cinquantaine de centimètres, et chaque ascension durant environ une

seconde, le choc de ces cercles contre l'eau extérieure ne se fait qu'avec d'assez petites vitesses.

Quant au bout de tuyau cylindrique fixe soudé au milieu du réservoir annulaire, et servant de guide au tuyau cylindrique mobile au sommet de celui-ci, son diamètre est de 15 centimètres, et sa longueur de 80 centimètres. Il y a bien assez de jeu entre ce tuyau fixe et ce tuyau mobile, même pour un essai très-rustique, la corde attachée au sommet du tube mobile s'enroulant d'ailleurs alternativement sur un arc de cercle disposé à l'une des extrémités du levier. Je n'ai pas en ce moment ce modèle sous les yeux, mais l'ouvrier qui l'a construit en a conservé les dimensions et les poids.

Les diamètres dont je viens de parler en dernier lieu sont un peu trop grands pour un appareil manœuvré par un seul homme, élevant l'eau à des hauteurs de 2 à 3 mètres. L'ouvrier qui s'en est servi pense que pour une élévation d'environ 2^m, 20 les sections de la pompe mue par un homme doivent être moyennes entre celles de deux des modèles employés, l'un ayant un tuyau cylindrique de 13 centimètres, et le diamètre du tuyau cylindrique de l'autre étant de 9 $\frac{3}{4}$ centimètres.

Des expériences sur celle dont le tuyau cylindrique était de 13 centimètres de diamètre ont été faites pendant que j'étais en voyage. Les résultats de ces expériences furent malheureusement égarés avant mon retour; mais on m'assure qu'ils furent comparés à ceux d'une pompe ordinaire élevant l'eau précisément dans les mêmes conditions d'un puits très-voisin de celui sur lequel on opérait, et que, dans un même temps, ma pompe à tube mobile éleva plus d'eau que la pompe ordinaire, quoique celle-ci fût d'assez grandes dimensions. Ne l'ayant pas vérifié par moi-même, je ne mentionne ce résultat que pour valoir ce que de raison. On sait d'ailleurs combien la force de l'homme est variable et combien il peut y avoir de doute sur les résultats ainsi obtenus en eau élevée, quand on ne mesure pas les efforts du moteur au moyen de dynamomètres.

Mais il suffit que les quantités d'eau élevée aient paru satisfaisantes, pour que la rusticité de ce système mérite de fixer l'attention, notamment pour l'élévation des liquides imparfaits, tels que les purins de fumier. Ainsi on a remarqué que la pompe dont il s'agit élevait beaucoup de vase du fond d'un puits où elle était essayée.

Il est intéressant de donner une idée de la théorie de ce système. Quoiqu'il fût extrêmement délicat d'en donner une théorie complète, il est utile de fixer les idées sur les limites des dimensions indispensables pour chaque circonstance. Il faut d'abord tenir compte de ce que, si la hauteur à laquelle on veut élever l'eau était trop grande par rapport au diamètre de la partie cylindrique, il en résulterait des bouillonnements qui diminueraient l'effet utile.

Il faut aussi tenir compte de mes expériences plus générales sur les oscillations de l'eau dans les tubes verticaux. Quoique le cas ne soit pas tout à fait le même, l'effet de la force de l'homme pouvant être très-différent de celui de l'eau d'un réservoir sur une des extrémités d'un tuyau de conduite fixe, mes premières recherches publiées dans le tome III, 1^{re} série, du *Journal de Mathématiques pures et appliquées*, année 1838, jetteront cependant beaucoup de jour sur ce sujet.

Ainsi, il en résulte que plus on veut élever l'eau à une grande hauteur, plus les diamètres du système doivent être augmentés si l'on veut conserver un rapport donné entre le travail résistant en frottement et le travail moteur. Il est d'ailleurs évident que si le diamètre de la partie cylindrique est augmenté, celui de l'extrémité inférieure de la partie conique doit être augmenté sensiblement dans le même rapport. Si, par exemple, le premier est doublé, le dernier doit être également doublé. On peut admettre, au moins provisoirement, dans la pratique, que pour une élévation double tous les diamètres doivent être doublés.

Cela suffit pour montrer que ce système ne peut élever l'eau qu'à des hauteurs médiocres, du moins s'il est manœuvré par un seul homme; et que si l'on veut s'en servir pour des hauteurs dépassant certaines limites, il vaudra mieux le faire par étages. On sait d'ailleurs combien, pour certaines circonstances, par exemple pour l'élévation des acides, on tiendrait à avoir une pompe sans piston ni soupape.

Dans le tome XII de la 1^{re} série du *Journal de Mathématiques pures et appliquées*, j'ai montré comment j'avais transformé moi-même mon moteur hydraulique à flotteur oscillant en pompe sans piston ni soupape, en faisant agir dans diverses expériences le moteur sur le flotteur lui-même. Dans cette dernière circonstance, le mouvement est facile à saisir sans aucun apprentissage, parce qu'on est tout naturellement obligé de se soumettre aux durées des oscillations d'une longue

colonne liquide. Il y aura donc lieu de revenir aussi sur ce système pour l'étude de l'élévation des acides. Mais on ne pourra s'en servir aussi que pour des élévations assez limitées, à moins qu'on ne dispose des appareils étagés.

Celui qui est l'objet de cette Note coûtera en général beaucoup moins cher que celui que je rappelle. Il est d'ailleurs facile de voir que dans la pompe conique, la durée de chaque période doit être à peu près proportionnelle à la racine carrée de la hauteur à laquelle on veut élever l'eau, si l'on adopte la disposition rectiligne verticale, toutes proportions convenablement gardées.

Il est intéressant d'étudier plus spécialement la manière dont l'eau se comporte dans l'intérieur et à la sortie de la partie évasée. Quand l'eau entre à l'extrémité inférieure, elle rencontre des parois vives, comme dans un ajutage d'une forme particulière étudiée par Borda ; mais la perte de force vive qui en résulte est bien atténuée par la diminution des vitesses résultant de l'évasement, le plus grand diamètre de celui-ci étant beaucoup plus grand que celui de sa partie cylindrique.

Quand l'eau sort dans l'oscillation descendante, le tuyau redescend en enveloppant plus ou moins, en poursuivant, si l'on peut s'exprimer ainsi, à son extrémité inférieure, le liquide qui en sort. La grandeur du diamètre inférieur rend d'ailleurs, sauf les considérations qui vont suivre, insignifiante la perte de force vive en ce point.

Je veux dire que la difficulté consiste bien plutôt à éviter les pertes de force vive provenant de ce que, dans sa descente, l'eau s'évase graduellement, il est vrai, dans la partie conique, mais enfin s'évase sans qu'il soit possible probablement d'éviter complètement la perte de force vive qui se manifeste plus ou moins dans les ajutages divergents.

Il est donc prudent, en général, de ne pas choisir un angle plus ouvert que celui de l'ajutage divergent de Venture, quand les circonstances le permettent, et même de choisir un angle notablement plus aigu quand le puits est assez profond pour qu'on puisse, sans inconvénient, augmenter la longueur de la partie conique en conservant le même rapport entre les diamètres de ses deux extrémités, si ce rapport est celui que l'usage fait en définitive choisir comme le plus convenable.

Voici quelles tentatives j'ai faites pour déterminer provisoirement, autant que possible, l'angle dont il s'agit. Daniel Bernoulli a calculé les durées des oscillations de l'eau dans un tube vertical conique ouvert à ses deux extrémités, et plongé en partie dans l'eau d'un réservoir : il a trouvé que dans certaines limites le frottement influait peu sur ces durées.

Or j'ai trouvé que dans un tuyau de 1^m,16 de long, de 13 $\frac{1}{2}$ centimètres de diamètre supérieur, et de 25 centimètres de diamètre inférieur, la durée de chaque oscillation diffère peu de la durée calculée d'après la formule de Bernoulli. Mais quand on réduit le diamètre supérieur à 9 $\frac{1}{2}$ centimètres, les durées des oscillations ne diminuent pas autant, par suite de la diminution de ce diamètre, que le calcul l'indique.

Dans ce cas, le tuyau ne *coule donc pas plein*; c'est-à-dire que le mouvement latéral ne se propage pas assez complètement jusqu'aux parois dans les oscillations descendantes, et que les choses se passent pour ainsi dire, quant aux durées des oscillations, comme si ces parois étaient moins ouvertes par le bas.

Je sais bien que dans l'un et l'autre cas les tourbillons provenant de la communication latérale du mouvement des liquides rendent la question très-délicate; aussi, j'ai seulement voulu donner une idée d'un moyen d'étude qui m'a paru intéressant. Les essais directs du genre de ceux qui ont été faits pour les modèles de pompes coniques déjà employés, et qui pourront être multipliés, offrent évidemment le moyen le plus sûr d'éclaircir la question d'une manière plus complètement pratique. J'ajouterai seulement que la partie conique doit toujours être plongée dans l'eau à épuiser, si l'on veut que l'appareil marche le plus convenablement possible, cette partie devant se soulever en tendant à faire une sorte de vide entre elle et l'eau qui monte au-dessous du niveau de l'eau dans le puits. Il vaut même mieux que le sommet de cette partie conique ne s'élève pas tout à fait jusqu'à la hauteur de ce niveau.

Quant à un essai d'assimilation entre les phénomènes du genre des colonnes oscillantes dont il s'agit, et ceux des colonnes liquides oscillantes dans des tuyaux de conduite débouchant dans des réservoirs, j'ai déjà donné ci-dessus une idée de l'utilité de ces considérations;

mais il est intéressant de faire pressentir la possibilité de s'en servir ultérieurement quand on connaîtra mieux la quantité de travail employé par l'ouvrier et ses variations, afin de déterminer par le calcul les dimensions les plus convenables pour le maximum d'effet, étant donnée la hauteur du versement.

On conçoit, en effet, que si la théorie donne des moyens pour déterminer, dans un appareil à colonne liquide oscillante et à tuyaux fixes, le rapport le plus convenable entre la masse d'eau qui doit être élevée à chaque oscillation, et le volume du tuyau vertical alternativement abandonné par la colonne liquide partant du repos, cela jettera beaucoup de jour sur cette question délicate, surtout si l'on parvient facilement à faire fonctionner la pompe conique dont il s'agit, au moyen d'une machine à vapeur dont on pourra varier la puissance. J'ai seulement voulu par cette indication montrer comment des considérations, qui au premier aperçu semblent étrangères à la question, peuvent y être utilement appliquées.

Quoique les résultats des expériences les plus essentielles sur l'effet utile aient été égarés en mon absence, on peut jusqu'à un certain point s'en former une idée approximative au moyen d'un résultat que j'ai conservé, et qui est relatif au modèle dont le tuyau cylindrique a $9\frac{3}{4}$ centimètres de diamètre. L'eau venait à 2^m,16 au-dessus du niveau de l'eau dans le puits; on élevait au moins 120 litres d'eau par minute. Mais ce modèle était, comme je l'ai dit, trop petit pour bien utiliser la force d'un homme, tandis que l'autre, dont le tuyau cylindrique avait 13 centimètres de diamètre, était trop grand. Le premier jetait donc nécessairement l'eau trop haut quand il était manœuvré par un homme: il ne serait donc sans doute pas juste de multiplier l'effet obtenu par le rapport du plus grand de ces diamètres au plus petit, puisque d'ailleurs l'homme était fatigué par l'emploi du plus grand; mais il paraît qu'on pourrait au moins proposer de prendre une moyenne. Je ne veux d'ailleurs que fixer mieux les idées sur ce genre d'effets, que je me propose d'étudier d'une manière plus complète assez prochainement.

Si, en principe, il est bon d'éviter de jeter l'eau à plus de 2 décimètres au-dessus du sommet du tube, ce qui fait d'ailleurs une hauteur moyenne de versement beaucoup moindre, il est intéressant de remar-

quer que si cet appareil, pour un tube moins haut, est manœuvré de manière à faire principalement agir le moteur de haut en bas, on peut s'en servir, comme l'a remarqué un savant américain (qui n'avait peut-être pas connaissance de mes recherches sur ce sujet, puisqu'il ne les cite pas), pour obtenir des jets d'eau alternatifs, susceptibles d'être utilisés en horticulture pour l'arrosement des arbustes.

Mais ce genre d'effet n'est pas celui qui est l'objet essentiel sur lequel je dois spécialement attirer l'attention dans cette Note. Tout le monde savait que si un entonnoir frappe l'eau d'un réservoir de haut en bas, il en résulte un jet d'eau en vertu du principe de la canne hydraulique. Mais si l'on tire cet entonnoir de bas en haut, la portion conique étant plongée et la partie cylindrique étant hors de l'eau en tout ou en partie, il en résulte une série de phénomènes intéressants, notamment dans les circonstances où l'on veut s'en servir pour élever à des hauteurs de 1^m, 50 à 3 mètres de l'eau ou des liquides imparfaits tels que des purins de fumier, ou des acides. Pour d'assez grandes hauteurs il faudrait des appareils étagés.

Il y a un moyen de diminuer un peu les effets du bouillonnement de l'air signalés pour certaines hauteurs de versement. Par exemple, pour le premier modèle décrit ci-dessus, on a diminué l'angle de convergence du tuyau conique; mais cela n'a pas beaucoup diminué la division de l'eau, et il a fallu augmenter de moitié en sus environ la longueur de ce tuyau conique pour retrouver à sa partie inférieure une section analogue à celle de la première série d'expériences. Cela n'a pas d'inconvénient quand le puits est assez profond au-dessous du niveau d'où l'eau doit être puisée. Pour de plus grands diamètres, l'eau est moins facilement divisée, à hauteur égale de versement.

Quant à l'application du système à l'élévation des purins de fumiers, on peut demander si, le meilleur purin étant au fond de la fosse, cet appareil est convenablement disposé pour l'extraire.

J'ai déjà dit qu'il avait extrait de la vase du fond d'un puits; or, il est à remarquer que c'est précisément au fond de la fosse que l'appareil puise le liquide, et que même il le met en mouvement de manière à mêler jusqu'à un certain point le meilleur au moins bon, ce qui permettra d'arroser les fumiers d'une manière plus uniforme. Quant à l'augmentation de profondeur, qui peut être nécessaire autour de

l'extrémité inférieure du tuyau conique, il est intéressant de remarquer que l'espèce particulière de succion développée par ce système offre elle-même un moyen de curage.

Pour l'arrosage des fumiers, il pourra être bon d'incliner la pompe conique, même quand son axe ne sera point un arc de cercle. La position du tuyau incliné oscillant a pu être convenablement maintenue au moyen de l'élasticité des cordages qui la retenaient de chaque côté.

Il faudrait peut-être une figure pour faire mieux concevoir comment un système rustique de pièces articulées, facile d'ailleurs à imaginer, a pu même au besoin être manœuvré par deux hommes. L'essentiel est de bien concevoir comment l'inclinaison du jet d'eau alternatif permet d'employer la vitesse acquise de l'eau pour l'arrosage des fumiers.

Il est intéressant de remarquer que cet appareil a l'avantage spécial de pouvoir être confectionné en quelques heures avec des planches, quand les constructeurs manquent de pompes d'épuisement ou de vis d'Archimède, pour les épuisements temporaires, dans les limites où il peut être employé.

Quant à ce que j'ai dit sur la durée de chaque période pour des hauteurs données de versement, il est à peine nécessaire d'ajouter que pour une même machine, l'étendue de l'oscillation dépendant jusqu'à un certain point de la force avec laquelle elle est manœuvrée, cette durée n'est pas nécessairement la même si l'on emploie des hommes de forces différentes.

J'ajouterai donc, seulement pour fixer les idées, un résultat retrouvé depuis que ce qui précède est imprimé. Pour une pompe conique verticale dont le tuyau cylindrique avait 54 centimètres de diamètre et 60 centimètres de haut, le tuyau conique inférieur ayant 135 centimètres de côté et 1 mètre environ de diamètre à sa partie inférieure, la durée de la période était sensiblement d'une seconde, moitié à peu près de la durée trouvée pour un versement à une hauteur environ quadruple. Deux hommes saisissaient le mouvement avec facilité; l'effort se faisait pour cette petite hauteur de haut en bas.

Il est intéressant de rappeler ici une expérience mentionnée dans un Mémoire sur les ondes que j'ai publié dans le *Journal de Mathématiques pures et appliquées*, t. XIII, 1^{re} série, année 1848. Un petit

tuyau conique de ce genre, plongé dans un réservoir assez grand pour qu'il y eût des vagues, élevait de l'eau alternativement par le sommet d'un tuyau cylindrique soudé au tuyau conique de manière à former une petite pompe de ce genre, soutenue sur l'eau par un flotteur oscillant verticalement avec les vagues. Sans répéter ce que j'en ai dit alors, j'ai cru intéressant, pour compléter cette Note, de montrer combien les applications de cette pompe peuvent être variées [*].

Il ne faut pas oublier que pour les hauteurs de versement très-petites, on est naturellement porté à faire l'effort de haut en bas.

Nota. — Ce système a été mentionné favorablement dans un Rapport à la Société centrale d'Agriculture par M. Combes, qui l'avait vu fonctionner à Versailles. Un Rapport favorable a été fait sur la même pompe à la Société centrale des Architectes, dont plusieurs membres l'avaient aussi vu fonctionner. Enfin, M. Paris, architecte de la ville de

[*] A l'occasion de cette application du mouvement des vagues, je crois utile d'ajouter au Mémoire sur les ondes, publié dernièrement dans ce journal, que j'ai eu occasion de faire au mois d'août 1866, dans la rade de Cherbourg, des observations d'où il résulte que, si le vent est devenu assez faible, quoique les vagues conservent une certaine force, quand on observe le mouvement de va-et-vient de l'écume dans le champ d'une lunette fixe, on s'aperçoit, dans des circonstances convenables, qu'après un temps assez long cette écume n'a pas changé bien sensiblement de place; de sorte qu'il paraît que le transport réel doit être très-faible quand le vent n'agit plus depuis assez longtemps.

Pendant le temps qui s'est écoulé entre l'époque où le Mémoire précité a été imprimé et celle où les cahiers du journal qui le renferment ont été publiés, j'ai soumis le manuscrit au jugement de la Société de Physique de Genève. Il a été l'objet d'un Rapport verbal par M. Daniel Colladon et M. de la Rive, Associé étranger de l'Académie des Sciences de l'Institut de France. Comme j'avais averti qu'il était sous-pressé dans ce journal, il ne pouvait être publié à Genève; mais j'attachais une grande importance à l'opinion de juges aussi compétents, qui ont précisément remarqué, comme je l'ai vu depuis sur le manuscrit scrupuleusement examiné par eux, les points qui me paraissaient à moi-même les plus essentiels.

Le résultat de cet examen m'a fait admettre à l'unanimité au nombre des deux seuls Membres honoraires de cette Société célèbre qui y ont été dernièrement nommés.

Versailles, a certifié qu'il l'a *employée avec succès pendant une année environ*. « Elle élevait, dit-il, beaucoup d'eau à des hauteurs variant » de 2 à 3 mètres, et son jeu était très-régulier; mais telle qu'elle » avait été exécutée pour le cimetière du quartier Notre-Dame de la » ville, elle avait un inconvénient consistant en ce qu'il fallait un » apprentissage pour pouvoir s'en servir, tandis que la pompe appli- » cable à cette localité doit pouvoir être manœuvrée indistinctement » par toutes les personnes qui la fréquentent. »

J'ai indiqué ci-dessus les moyens d'éviter l'inconvénient dont il s'agit, et dont il sera facile de faire l'essai, que j'aurais fait moi-même depuis longtemps si je n'en avais été empêché par diverses préoccupations. Mais j'ai cru devoir appeler plus spécialement l'attention publique sur ce sujet à l'occasion de l'Exposition universelle, à cause des services que ce système pourra rendre à raison de sa *rusticité*, et parce qu'il n'est jamais d'ailleurs sans intérêt de signaler des effets singuliers qui semblent, au premier aperçu, contraires aux effets généralement connus d'appareils ayant en apparence une forme semblable.

