

JOURNAL
DE
MATHÉMATIQUES

PURES ET APPLIQUÉES

FONDÉ EN 1836 ET PUBLIÉ JUSQU'EN 1874

PAR JOSEPH LIOUVILLE

ANATOLE DE CALIGNY

**Principes de plusieurs systèmes de pompes à colonnes
liquides oscillantes et à flotteur**

Journal de mathématiques pures et appliquées 2^e série, tome 12 (1867), p. 209-216.

http://www.numdam.org/item?id=JMPA_1867_2_12_209_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>

*Principes de plusieurs systèmes de pompes à colonnes liquides
oscillantes et à flotteur;*

PAR M. ANATOLE DE CALIGNY.

I. — *Pompe sans piston ni soupape.*

J'ai communiqué verbalement à la Société Philomathique de Paris, le 9 mai 1840, le principe de cette pompe, dont j'ai eu depuis occasion de me servir pour amorcer mon moteur hydraulique à flotteur oscillant; mais je n'avais pas fait alors mes expériences sur le moyen de diminuer la résistance de l'eau dans les coudes à angle droit au moyen de lames concentriques, et je n'avais pas encore essayé pour ce genre de machines l'emploi des tuyaux en planches de grandes dimensions.

Cette pompe, telle que je m'en suis servi, se réduit à un tuyau vertical enfoncé en partie au-dessous du niveau de l'eau à épuiser, et recourbé à son extrémité inférieure de manière à déboucher à une certaine distance dans cette eau par une bouche évasée, à une profondeur convenable. Un flotteur, qui est la seule pièce mobile du système, met la colonne liquide en oscillation dans ce tuyau dont les extrémités sont toujours ouvertes, et à chaque période il se jette de l'eau au sommet du tuyau vertical. Ce flotteur, alternativement abandonné à son propre poids, est alternativement soulevé par le moteur.

Il est à remarquer qu'à chaque période, le flotteur occupant une partie du sommet du tuyau vertical, de manière que le versement de l'eau élevée se fait autour de lui dans un espace annulaire, il résulte de cette circonstance du mouvement un véritable rétrécissement graduel, le flotteur étant inférieurement terminé en pointe; de sorte que cela augmente la hauteur à laquelle le versement peut se faire, mais aussi cela augmente la vitesse de l'eau à sa sortie.

Il résulte de la manière dont les sections sont modifiées par le flotteur une différence notable dans la durée des oscillations de la colonne

liquide. Quand on supprime le flotteur, ces oscillations augmentent de durée, ainsi qu'il est facile de s'en rendre compte au moyen de la théorie des oscillations de l'eau dans les tuyaux que j'ai publiée dans le *Journal de Mathématiques pures et appliquées*, t. III, 1^{re} série, après l'avoir présentée à l'Académie en 1837. Ainsi, dans le cas de cette expérience, la rapidité des oscillations était augmentée d'environ un sixième.

Cet appareil doit donner un effet utile supérieur à celui de mon moteur hydraulique de flotteur oscillant qui a été l'objet de deux Rapports favorables à l'Académie. En effet, dans l'appareil considéré comme moteur hydraulique, il y a une soupape cylindrique; il en résulte une cause quelconque de perte de force vive ou de travail qui n'existe pas dans l'appareil considéré comme pompe sans soupape. L'effet utile a été favorablement jugé par l'Académie pour le moteur hydraulique, et il est bien probable que cette pompe sera encore plus facilement applicable avec un assez grand effet utile.

Quant à la profondeur du tuyau de conduite, on peut remarquer que ce tuyau pouvant être maintenant construit en bois, de façon à avoir une section rectangulaire dont le plus grand côté sera horizontal, cela diminuera cette profondeur. Dans ce cas, le flotteur aurait aussi une section rectangulaire. La seule partie de la construction qui puisse offrir quelque difficulté pour une application *rustique* consiste dans les précautions à prendre pour que le flotteur n'éprouve point de percussions contre les parties fixes de l'appareil. Mais cela n'est point une difficulté sérieuse.

La mise en train est facile. On laisse le flotteur s'enfoncer à chaque période dans la colonne liquide descendante. La première fois qu'il descend, il trouve l'eau au repos, ce qui la fait monter autour de lui, en vertu de la résistance opposée par l'inertie du reste de l'eau contenue dans le tuyau de conduite. Cette première ascension est suivie d'une descente sur laquelle on fait agir le flotteur par son poids, et ainsi de suite, jusqu'à ce que l'eau arrive au sommet du tuyau vertical. Alors l'appareil est en train. Il n'y a d'ailleurs rien de délicat dans cette manœuvre, l'instant de l'action alternative du flotteur n'ayant rien de nécessairement précis, au moins pour un tuyau de conduite qui n'est pas trop court.

Cette pompe élevait l'eau à 1^m,50 de haut, dans un tuyau de 40 centimètres de diamètre, au sommet duquel elle versait à chaque période. Les détails de la construction de ce tuyau n'auraient aucun intérêt quant à cette pompe, dont les effets ne furent alors étudiés que très-provisoirement, parce que je ne savais pas encore moi-même qu'elle pouvait être exécutée à peu de frais au moyen de recherches que j'ai faites depuis sur divers phénomènes.

Mais il était utile de montrer par des faits la réalité de l'idée et la facilité de la mise en train ; car il ne faut pas confondre cette pompe avec le tube conique oscillant sans flotteur, que j'avais d'abord présenté il y a très-longtemps à la Société Philomathique de Paris, sous une forme qui exige une certaine étude pour la mise en train, et dont l'avantage était seulement alors dans l'extrême modicité de son prix. Une Note beaucoup plus étendue sur la pompe conique est publiée dans le tome XI, 2^e série, du *Journal de Mathématiques*.

Quant à la pompe à flotteur dont il s'agit ici, on peut réduire à très-peu de chose la perte de travail en frottement au moyen de la grandeur du diamètre du tuyau fixe. La perte de force vive provenant de la vitesse de sortie alternative de l'eau à l'extrémité inférieure peut être bien atténuée au moyen d'un évasement assez graduel.

Dans ma Note précitée sur les pompes coniques publiée dans le tome XI, 2^e série, du *Journal de Mathématiques*, j'ai donné la méthode au moyen de laquelle on peut déterminer l'angle le plus convenable pour que la colonne liquide s'évase à son entrée dans le réservoir d'où elle part, sans qu'il y ait trop de force vive. On peut revoir les chiffres de la Note dont il s'agit, pour se former une idée de ce genre d'effet. Il sera bon d'ailleurs de faire l'angle de convergence moindre que cela n'est indispensable.

Dans l'appareil dont il s'agit aujourd'hui, comme dans plusieurs autres de mon invention, la longueur du tuyau de conduite fixe est un obstacle à cause du prix qui en résulte. On pourra modérer cette longueur, en exagérant, comme je viens de l'indiquer, celle de la partie conique évasée, pour qu'il n'y ait pas de changement brusque de vitesse, et comme il n'y a point de passages plus ou moins étranglés par une soupape ou un tube mobile, puisqu'il n'y a d'autre pièce mobile qu'un flotteur, il ne paraît pas aussi utile que pour d'autres systèmes

de mon invention de donner une grande longueur au tuyau de conduite.

Quoi qu'il en soit, cet appareil me semble destiné à résoudre, au moins par un fait scientifique, le problème de l'élévation de l'eau à de petites hauteurs, au moyen d'une pompe donnant un effet utile au moins aussi grand que celui des bonnes pompes pour les élévations à de grandes hauteurs, pourvu qu'on veuille faire la dépense d'un tuyau de dimensions convenables. On sait que la difficulté de ce problème a été souvent signalée par les plus savants hydrauliciens.

Si l'on veut élever de l'eau à des hauteurs médiocres, mais plus grandes par rapport à la course du flotteur, l'appareil, sans addition d'autres pièces mobiles, deviendra d'une construction un peu moins simple, mais plus intéressante.

Le flotteur fonctionnera alors dans la plus grosse branche d'un siphon renversé à branches de diamètres inégaux. La quantité d'eau versée alternativement au sommet de l'autre branche devra, en général, être petite par rapport à l'espace que parcourra le flotteur.

L'introduction alternative d'une quantité d'eau pour la remplacer dans la masse liquide oscillante ne peut pas donner lieu à une perte de force vive bien importante, quand même elle tomberait par un orifice ordinaire de la hauteur du niveau de l'eau à épuiser sur le sommet variable de l'extrémité de la colonne dans la plus grosse branche, où l'on suppose au flotteur une course petite par rapport à la hauteur de versement de la branche d'un diamètre moindre. Mais il est utile de montrer que cette perte peut même être bien atténuée au moyen d'une combinaison de niveaux dont le principe est analogue à ce qui se présente dans certaines ondes dites *solitaires*.

Il suffit de faire arriver l'eau dont il s'agit par un tuyau latéral d'une longueur convenable, débouchant par une extrémité dans l'eau à épuiser, et par l'autre dans le système au-dessous des niveaux variables de l'eau en oscillation. On prolongera les parois de la grosse branche au-dessus du niveau de l'eau à épuiser. Si les oscillations de la colonne liquide sont disposées de manière à s'élever alternativement dans cette branche au-dessus de ce niveau, on conçoit que la colonne liquide en mouvement dans le tuyau latéral peut être alternativement réduite au repos, à cause des pressions exercées sur elles pendant

qu'il y a de l'eau au-dessus de ce même niveau dans la même branche. L'avantage de cette disposition est de permettre d'employer utilement la force vive de la quantité d'eau qui entre périodiquement dans le système pour remplacer l'eau élevée. J'ai montré, notamment dans le *Journal de Mathématiques*, t. XIII, 1^{re} série, comment des effets curieux de ce genre se présentent dans l'onde dite *solitaire* et en expliquent des phénomènes intéressants.

Abstraction faite de l'utilité industrielle de ces combinaisons, il est intéressant, au point de vue des principes du moins, de conserver la trace des moyens divers de faire entrer l'eau d'un réservoir dans une colonne liquide oscillant dans un tuyau plongé en partie dans ce réservoir.

Je rappellerai donc que, dans le tome VIII, 1^{re} série, du *Journal de Mathématiques*, j'ai décrit des expériences d'où il résulte combien l'état d'oscillation d'une colonne liquide diminue la moyenne des pressions latérales sur un point donné des branches verticales, surtout dans certaines circonstances. A la fin du Mémoire que je viens de rappeler, se trouve une Note de M. Combes, qui a eu la complaisance de donner quelques développements à ce principe que j'avais trouvé. J'apprends que ce principe a attiré plus spécialement depuis l'attention des savants, et que même il est signalé, *d'après le Mémoire dont il s'agit*, parmi les questions spécialement choisies pour les exercices relatifs aux examens pour la licence.

Au moyen de ce principe, l'eau à épuiser peut entrer latéralement dans le système, et en sortir par l'extrémité inférieure, sans qu'on soit obligé de la faire sortir comme ci-dessus par le sommet d'un tuyau.

Quant à ces applications aux moyens de faire entrer l'eau alternativement sans pièce mobile dans ces pompes à flotteur, l'expérience seule pourra décider la question pratique. Mais ce procédé d'introduction et d'expulsion de l'eau à épuiser m'a paru mériter d'être signalé comme exemple d'application d'un des principes exclusivement dus à mes recherches. Quant à la pratique, il est d'ailleurs possible qu'un clapet d'introduction vaille mieux; cependant, il peut toujours être utile de signaler des moyens non-seulement nouveaux, mais qui semblent au premier aperçu contraires aux effets auxquels on s'attendait généralement.

II. — *Pompe à flotteur avec soupape, la détente étant alternativement produite par une colonne liquide oscillant sur une colonne d'air.*

D'après des principes que j'ai depuis longtemps communiqués à la Société Philomathique, il est intéressant de considérer ce qui se présente dans toutes les machines oscillantes, lorsque, dans le but de diminuer le chemin parcouru par les résistances passives à chaque période, on fait arriver une des extrémités d'une colonne liquide en oscillation dans un matelas d'air dont les dimensions règlent le chemin qu'il est nécessaire de parcourir pour éteindre le mouvement de cette colonne *sans choc brusque*.

Voyons donc ce qui arrivera dans la pompe oscillante, objet de la description précédente, où il y a un siphon renversé, lorsqu'on fera arriver ainsi dans un matelas d'air celle des extrémités de la colonne oscillante dans laquelle on n'entretient pas le mouvement immédiatement par l'action alternative d'un flotteur. Le chemin parcouru par la colonne oscillante sera diminué, ce qui n'empêchera pas le matelas d'air de faire plus ou moins le vide en se détendant, par la raison même qu'il aura été comprimé plus fortement.

On conçoit donc qu'il y aura une époque à laquelle il se produira une succion qui pourra faire entrer dans le siphon renversé, par une soupape inférieure, une partie de l'eau d'un réservoir dans lequel la courbure est plus ou moins engagée.

Une partie de l'eau contenue dans le siphon sera par suite versée au sommet du tube dans lequel joue le flotteur oscillant mis en action par le moteur.

Étant donnée une colonne liquide d'une certaine longueur dans le siphon renversé, si l'on plonge le flotteur par l'extrémité ouverte, on augmentera la pression sur le matelas d'air disposé à l'autre extrémité, et c'est une raison pour qu'une diminution de pression en résulte à la période suivante sur le matelas d'air, qui se détendra, surtout quand on retirera le flotteur, les mouvements étant bien combinés. Il est évident qu'au bout de quelques périodes la continuation d'un effet analogue produit par l'action alternative du flotteur élèvera la colonne jusqu'au sommet et produira l'effet voulu, si l'appareil est bien disposé.

Un auteur allemand, je crois, dont je ne sais pas le nom, avait proposé avant moi d'élever de l'eau par un principe semblable, mais avec cette différence essentielle que le tube d'ascension était *mobile*. Cet auteur utilisait le genre de mouvement qu'on cherche à éviter de donner aux baromètres dans la crainte de les briser.

L'appareil, tel qu'il l'avait disposé, pouvait marcher sans que son extrémité inférieure fût enfoncée dans l'eau à une profondeur bien notable. Dans l'appareil tel que je l'ai proposé, les tuyaux étant *fixes*, le moteur, si c'est un homme, peut être naturellement conduit par l'oscillation de la colonne liquide. Tandis que si le tube, et en un mot si tout l'appareil est *mobile*, il y a probablement à saisir, comme dans ma pompe conique quand un balancier avec une sorte de pendule n'y est pas joint, une sorte de *tour de main*, selon une expression reçue.

Depuis que j'ai présenté cet appareil à flotteur à la Société Philomathique, le 19 août 1843, un ingénieur qui ne connaissait pas ce qu'en dit le journal *l'Institut* l'a présenté de son côté. Mais il est le premier à convenir avec toute la loyauté possible de ma priorité. Si, d'ailleurs j'ai étudié dans les *Annales des Mines*, 1838, les effets d'une colonne d'air alternativement comprimée et dilatée d'une manière analogue, je conviens que l'idée d'en faire le principe d'une pompe mue par un homme appartient à l'auteur allemand dans les limites indiquées ci-dessus. Je regrette vivement ne pouvoir retrouver le nom de cet auteur.

III. — Pompe à flotteur aspirant au moyen d'un nouveau principe.

Un tuyau courbé en arc de cercle et ouvert à une de ses extrémités, étant suspendu à un axe autour duquel il peut osciller librement, est plongé en partie, à une petite profondeur (par la portion inférieure de sa courbure), dans l'eau à épuiser. Dans la partie plongée, il est séparé en deux par une cloison près de laquelle est disposée une soupape ouvrant de dehors en dedans, et par laquelle doit être aspirée l'eau qui sortira par l'extrémité du tuyau qui est toujours ouverte.

Le mouvement de ce tuyau est réglé au moyen d'un flotteur qui donne lieu, comme on va voir, au jeu de cette espèce de pompe aspirante sans piston.

Il est clair que, si l'on soulève de l'eau dans le tube avec une vitesse suffisante, et que l'on diminue la vitesse du tube sans agir directement sur l'eau, celle-ci continuera à monter en vertu de sa vitesse relative, en produisant une aspiration; mais on n'agirait pas selon les vrais principes de la mécanique si l'on produisait cet effet par le moyen d'un obstacle extérieur.

Or, si un flotteur entraîné dans le mouvement du tube sort de l'eau à épuiser ou d'un réservoir particulier disposé à cet effet, à l'époque où l'on veut que le tube diminue de vitesse, on jouit de cet avantage que, pour y parvenir, on n'a à craindre aucune percussion entre des corps solides comme si l'on avait à craindre l'inertie d'un obstacle extérieur.

Lorsque le système est ramené en arrière par le mouvement oscillatoire imprimé par le moteur, l'immersion du flotteur diminue la vitesse du tube sans agir aussi directement sur l'eau qu'il contient, et dont la force vive peut être en partie utilisée dans le balancement rétrograde dont l'effet reviendra en aide à l'effet direct pendant lequel se fait l'aspiration précitée, si le moteur n'agit que dans un sens.

On voit que l'idée de cet appareil consiste dans le mode d'action du flotteur, qui permet de produire l'effet voulu sans choc, malgré l'inertie des pièces mobiles, comme si l'on disposait de *forces immatérielles*. On voit aussi qu'il n'y a aucun effet de *canne hydraulique*, bien que la partie inférieure du tube ne soit enfoncée qu'à une très-petite profondeur dans l'eau à épuiser.

S'il est difficile de prévoir quel peut être le degré d'utilité de ce principe, il m'a semblé assez nouveau pour être signalé comme une des choses dont il est du moins intéressant de conserver la trace, dans un recueil surtout où les idées scientifiques trouvent naturellement leur place, abstraction faite même de l'utilité qu'on pourra y trouver par la suite. Ce principe renferme d'ailleurs celui d'un nouveau *modérateur hydraulique* dont je parlerai dans une autre Note.

