

JOURNAL
DE
MATHÉMATIQUES

PURES ET APPLIQUÉES

FONDÉ EN 1836 ET PUBLIÉ JUSQU'EN 1874

PAR JOSEPH LIOUVILLE

ANATOLE DE CALIGNY

Nouvelles machines pour les épuisements

Journal de mathématiques pures et appliquées 2^e série, tome 11 (1866), p. 283-297.

http://www.numdam.org/item?id=JMPA_1866_2_11__283_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>

NOUVELLES MACHINES POUR LES ÉPUISEMENTS;

PAR M. ANATOLE DE CALIGNY.

1.

Principes d'une nouvelle machine pour les épuisements destinée à utiliser les grandes chutes d'eau et à tirer l'eau des puits très-profonds. — Considérations diverses sur les grandes colonnes liquides aspirantes, et sur les effets de la chaleur dans les colonnes d'air comprimé.

L'appareil dont il s'agit a été étudié relativement à un problème proposé à l'occasion d'un grand pluviomètre qui avait été projeté pour l'Observatoire de Paris, et aurait pu servir à élever de l'eau au moyen d'une grande chute pour faire des arrosages. Je suppose qu'un tuyau de conduite, qui aurait pu être, dans le cas dont il s'agit, un tuyau de gouttière, descende d'un réservoir contenant de l'eau à une hauteur considérable par rapport à celle à laquelle on veut élever de l'eau d'un niveau inférieur, à celui par exemple d'un jardin qu'on voudrait arroser. On pourrait en général produire l'effet voulu au moyen d'une machine à colonne d'eau faisant marcher une pompe.

Je me propose, sans employer au besoin une plus grande longueur de tuyau, de produire un effet semblable sans piston ni pompe, et sans changement brusque de vitesse, dans des circonstances où le béliet aspirateur de Montgolfier ne semble pas pouvoir être appliqué avec avantage par des raisons que j'expliquerai plus loin. On sait d'ailleurs combien les hydrauliciens désirent éviter l'emploi des pompes.

Le tuyau descendant du bief supérieur serait toujours plein d'eau et ouvert par le sommet. S'il est mis en communication à sa partie inférieure avec une capacité contenant de l'air, et dans laquelle il entre par-dessous en se recourbant verticalement, on conçoit qu'en

supposant même qu'on négligeât la vitesse acquise dans ce tuyau pendant la compression de cet air, ce dernier serait bientôt soumis à une pression plus grande que celle qui serait due à la pression hydrostatique d'une colonne d'eau dont la hauteur serait égale à celle d'où l'on veut tirer de l'eau du niveau inférieur. Cette dernière est d'ailleurs beaucoup moindre par hypothèse que la hauteur du bief supérieur au-dessus du réservoir d'air. Ce réservoir d'air peut être au-dessus du niveau inférieur d'où l'on veut tirer le liquide, du moins en général à une assez petite hauteur au-dessus, quoiqu'il puisse en principe être beaucoup au-dessus.

Si l'on interrompt la communication entre cette capacité remplie d'air et d'eau qui est arrivée par-dessous, et le tuyau descendant du bief supérieur, pour l'établir entre cette même capacité et un tuyau de conduite rempli d'eau comme le premier, mais ne s'élevant par son extrémité supérieure toujours ouverte que pour déboucher dans un réservoir disposé à la hauteur où l'on veut, par exemple, faire des arrosages, l'air comprimé agissant sur l'eau de ce dernier tuyau y engendrera graduellement de la vitesse.

Or, si, quand cette vitesse sera suffisante pour l'objet qu'on se propose, les communications sont rétablies comme ci-dessus, c'est-à-dire le tuyau d'amont étant ouvert et le tuyau d'aval étant bouché, l'eau en mouvement dans ce dernier exercera une succion sur ses parois inférieures. Mais si un clapet disposé à cette extrémité permet à l'eau d'un réservoir inférieur, d'où l'on veut la tirer, d'entrer par un tube particulier dans le tuyau d'aval, elle sera aspirée en vertu du mouvement acquis dans ce dernier tuyau, jusqu'à ce que la vitesse y soit éteinte. Pendant que cet effet se produira, l'air sera de nouveau comprimé par la colonne d'amont, et l'on conçoit que les mêmes effets pourront se reproduire indéfiniment.

Pour mieux préciser ma pensée, j'ai supposé une très-grande différence entre les hauteurs des colonnes liquides d'amont et d'aval. Mais il est intéressant de remarquer qu'il pourrait ne pas en être ainsi, surtout si l'on tenait compte de la vitesse acquise dans la colonne comprimante pendant la compression de l'air, ce qu'il convient en général de ne pas négliger. Cependant, il était utile de montrer qu'à la rigueur on pourrait négliger cet effet si, par exemple, on voulait établir un

appareil de ce genre pour tirer l'eau d'un puits dans une ville où les tuyaux de conduite pourraient avoir une charge d'eau considérable, mais où l'on craindrait peut-être, du moins dans les premiers essais, qu'il n'y eût des espèces de coups de bélier, si l'air était comprimé dans un réservoir d'une petite étendue, au lieu de l'être dans un grand récipient analogue à celui d'une machine de Schemnitz.

Dans l'un et l'autre cas, il est intéressant de remarquer que l'eau peut être élevée d'un puits d'une profondeur quelconque au moyen de ce principe, pourvu que le réservoir d'air soit à une profondeur suffisante. En effet, quelle que soit la hauteur d'une colonne liquide, si elle est en mouvement de bas en haut, on conçoit qu'elle tend à faire le vide à son extrémité inférieure, comme le ferait un piston qui serait mû de bas en haut à cette profondeur, jusqu'à ce que la vitesse acquise de la colonne liquide, ainsi devenue aspirante, soit éteinte.

Ce principe de l'emploi du mouvement acquis de bas en haut par une colonne liquide d'une hauteur quelconque n'a pas seulement pour objet cette machine particulière qui offre un exemple de ses applications; c'est un principe général qu'il est intéressant de signaler.

Je vais maintenant indiquer des dispositions au moyen desquelles cet appareil peut fonctionner de lui-même. Je suppose, pour simplifier, que les eaux motrices sont des eaux de pluie, et je ne présenterai d'abord que la combinaison la plus facile à comprendre sans figure.

On conçoit que la capacité contenant de l'air peut être mise alternativement en communication avec chacun des deux tuyaux d'amont et d'aval, au moyen d'un tube vertical mobile, bouché par le fond, ouvert par le sommet, et percé d'un orifice latéral, offrant en définitive un tiroir d'une forme analogue à celle des tiroirs que j'ai employés dans mes premiers appareils, dont j'ai donné les dessins dans un Mémoire intitulé : *Résumé des expériences de M. Anatole de Caligny sur une branche nouvelle de l'hydraulique*, publié dans le *Technologiste*, en 1850.

Il est à remarquer qu'en vertu de cette disposition, la pression de l'air comprimé fera descendre ce tiroir, si son déclic est lâché en temps utile, et qu'en vertu de cette même pression un contre-poids peut être soulevé, quoique ayant assez de force pour relever ensuite ce tiroir,

lorsqu'un autre dé clic sera lâché à une époque convenable quand l'air se sera détendu dans les limites voulues.

Pour que ces effets se produisent, il n'est pas nécessaire que la détente de l'air comprimé fasse descendre sa pression au-dessous de celle de la pression atmosphérique. Or, si un flotteur est alternativement soulevé par l'eau dans le réservoir d'air, on conçoit qu'il est facile de s'en servir pour lui faire alternativement lâcher les deux dé clics dont je viens de parler, ce flotteur pouvant d'ailleurs faire fonctionner une tige traversant les parois, sans laisser passer l'air au moyen de dispositions connues.

Cette capacité est la seule partie du système où l'eau doit revenir bien sensiblement en arrière. Maintenant on demandera d'après quels principes on doit régler les dimensions de ce réservoir d'air. Cela dépend des dispositions du tiroir, présenté ici comme exemple d'application, et auquel d'autres moyens pourraient être substitués. Mais il suffit, en général, de donner à ce réservoir d'air des dimensions plus grandes que cela n'est absolument nécessaire, quand on veut se servir de la vitesse acquise de la colonne d'amont. En effet, on peut réduire l'espace occupé par l'air, en y introduisant préalablement de l'eau, et il sera facile d'obtenir par expérience la quantité dont il sera le plus convenable de réduire ainsi cet espace.

Cela permet d'avoir plus de place pour disposer le flotteur avec facilité, et cela a d'ailleurs l'avantage de varier, si l'on veut, les quantités d'eau débitées par un même appareil. S'il y a plus de chemin à parcourir à chaque période, la moyenne des vitesses sera évidemment augmentée. Comme il ne s'agit ici que d'exposer des principes, je n'entrerai pas dans plus de détails sur les moyens d'exécution.

Il n'est pas nécessaire que les tuyaux aient un grand diamètre pour éviter une trop grande perte de travail par les frottements de l'eau, parce que le réservoir d'air permet, comme je viens de l'indiquer, de régler à chaque période les courses des colonnes liquides, de manière à ne pas laisser développer des vitesses plus grandes qu'on ne le veut. Mais il est utile que le tuyau d'aval, dans certaines circonstances, ait un plus grand diamètre que le tuyau d'amont, quand la colonne d'amont sera beaucoup plus haute que celle d'aval. En effet, dans cette hypothèse, le travail de l'air comprimé sous une pres-

sion beaucoup plus grande que celle de la colonne d'aval pourrait engendrer de trop grandes vitesses dans cette dernière, pour qu'il n'en résultât pas beaucoup de frottement, si elle n'était pas convenablement élargie.

Il n'est pas nécessaire que le réservoir d'air soit plongé dans l'eau à épuiser. Il est plus commode qu'il soit en général un peu au-dessus, le plus près possible cependant de son niveau, afin que la colonne liquide contenue entre le réservoir d'air et l'eau à épuiser soit la plus courte possible. Cependant, on peut se servir de ce système pour vider un bassin au moyen d'un tuyau d'aspiration jusqu'à la limite de profondeur où l'aspiration peut se faire.

Il est utile que les tuyaux d'amont et d'aval aient des longueurs développées convenables. Ces longueurs peuvent même être disposées de manière que, si elles sont assez grandes nécessairement, à cause de la disposition des lieux, pour qu'on ait à s'occuper sérieusement des frottements, l'eau ne s'arrête jamais, ni dans l'un, ni dans l'autre, pendant un temps sensible, ce qui permettra de diminuer beaucoup la moyenne des vitesses, et, par suite, les résistances passives pour une même quantité d'eau débitée. On conçoit, en effet, que l'écoulement au moyen de deux réservoirs d'air peut commencer dans l'un quand il finit dans l'autre.

Je suppose l'appareil en repos, et le tuyau d'amont bouché. L'eau du tuyau d'aval comprimera l'air à l'intérieur de sa capacité, de manière que le flotteur n'agisse sur aucun des deux déclics; il suffira de lâcher un de ces déclics avec la main, pour que l'appareil se mette en marche, celui qu'on lâchera permettant au tuyau d'amont de se déboucher.

Il n'est pas indispensable qu'il y ait un clapet dans le tuyau d'amont, pour empêcher le mouvement de retour quand l'air est comprimé à son maximum en vertu de la vitesse acquise. Cependant, il pourra être prudent d'en disposer un immédiatement au-dessous du réservoir d'air. On conçoit qu'il est naturel de choisir ce point s'il y a deux réservoirs d'air disposés sur une bifurcation, et que, d'ailleurs, il est convenable de ne pas disposer ce clapet à une distance où, s'il y avait quelque mouvement en retour, il en résulterait un petit coup de bélier plus qu'inutile.

Cet appareil est moins simple que le bélier aspirateur de Montgolfier ; aussi, je ne le présente encore spécialement que pour les grandes chutes motrices, ou pour tirer l'eau de très-grandes profondeurs d'après le principe exposé ci-dessus ; je veux dire quand ces profondeurs seront plus grandes que la hauteur d'une colonne d'eau faisant équilibre à la pression atmosphérique.

Voici, selon moi, par quelles raisons le bélier aspirateur, tel qu'il est décrit par Montgolfier, ne paraît point applicable à une grande chute devant servir à tirer de l'eau d'une petite profondeur. D'abord, il serait impossible d'y appliquer la disposition la plus connue, dans laquelle le tuyau d'aspiration est le plus près possible de l'origine du tuyau d'amont, si ce tuyau, comme pour le projet relatif au pluviomètre projeté à l'Observatoire, descend d'une grande hauteur, et a, par conséquent, un développement déjà considérable quand il arrive au point d'où l'on veut tirer l'eau.

Mais il y a une autre disposition très-curieuse que Hachette dit avoir été employée avec succès. L'eau en mouvement arrive contre un matelas d'air disposé à l'extrémité d'aval du tuyau de conduite ou corps de bélier. Quand cet air est comprimé en vertu de ce mouvement, il se détend en refoulant la colonne liquide vers le bief d'amont. Or, on profite de cette détente pour faire aspirer l'eau d'un niveau inférieur par un tube particulier débouchant dans la capacité du matelas d'air. Je rappelle seulement le principe sans entrer dans les détails.

Si cette disposition est applicable à certaines chutes médiocres, elle offre une sérieuse difficulté pour les grandes chutes qui dépassent la hauteur d'une colonne liquide faisant équilibre à la pression atmosphérique, pour les chutes d'une quinzaine de mètres par exemple.

On conçoit, en effet, qu'il en résulterait des pressions très-considérables auxquelles le matelas d'air devrait être soumis, en vertu de la vitesse acquise de la colonne liquide, afin que l'oscillation en retour dont je viens de parler pût, en refoulant la colonne d'eau, lui imprimer assez de vitesse en arrière pour produire une aspiration d'une certaine force.

La difficulté devient encore plus évidente, si la profondeur d'où l'on veut aspirer l'eau est assez grande ; si, par exemple, elle est au

moins de 5 ou 6 mètres, non-seulement il faudrait que les pressions produites sur le matelas d'air fussent très-grandes, mais il faudrait qu'à chaque période on laissât écouler une quantité d'eau motrice assez notable pour obtenir ces pressions; de sorte qu'il en résulterait une augmentation assez considérable de frottements et d'autres résistances passives, pendant que la vitesse de sortie serait engendrée.

Il n'y a aucune difficulté de ce genre dans le système objet de cette Note : l'eau n'y revient point sensiblement vers le bief d'amont, et il ne serait pas même indispensable que l'air se détendît au-dessous de la pression atmosphérique, s'il n'en résultait pas un moyen commode employé par Montgolfier pour entretenir l'air de ses récipients, moyen qui peut être appliqué à l'appareil dont il s'agit.

Il est à remarquer que la compression pouvant se faire près du niveau de l'eau à épuiser, et même à la rigueur au-dessous, la hauteur de la colonne d'amont, dans l'hypothèse ci-dessus d'une quinzaine de mètres, étant augmentée par exemple de 5 à 6 mètres, le chemin parcouru serait moindre, toutes choses égales d'ailleurs, que pour le matelas d'air dans la disposition que j'ai rappelée ci-dessus d'après Hachette, comme ayant été exécutée par Montgolfier.

Ce n'est point en vertu d'un écoulement préalable au niveau du bief d'aval que la compression se fera dans ce système, où l'eau partant du repos comprimera l'air en vertu de la vitesse graduellement engendrée, pendant qu'elle montera dans le réservoir d'air.

La compression de l'air est ici un moyen, tandis qu'elle constitue le résultat industriel à obtenir dans les compresseurs à colonnes liquides oscillantes qui fonctionnent au moyen de grandes chutes d'eau, à Bardonnèche, pour le percement des Alpes.

Ainsi que je l'ai rappelé dans le *Journal de Mathématiques*, année 1862, p. 199, j'avais, depuis beaucoup d'années, signalé divers moyens de comprimer de l'air en laissant la force vive se développer dans une colonne liquide partant du repos, et vidant ensuite la chambre de compression, en employant d'ailleurs une oscillation descendante au-dessous du niveau d'aval, pour pouvoir comprimer des quantités d'air indéfinies en multipliant les périodes avec avantage.

L'objet de la Note que je publie aujourd'hui n'est pas le même; mais quoique la compression de l'air n'y soit employée que comme

un moyen, il est intéressant de faire observer que cette compression alternative ne peut se faire sans une augmentation de chaleur d'où résulte une perte de travail. On a remarqué que si l'on comprimait de l'air avec une machine analogue à celle de Schemnitz, où, comme on sait, la colonne liquide comprimante débouche dans une capacité très-large par rapport au tuyau de conduite d'amont, on éviterait, autant que possible, la partie du déchet provenant de ce développement de chaleur. Mais on sait qu'il résulterait de cette disposition une autre cause de perte de force vive provenant de ce que la colonne liquide comprimante s'évaserait dans un espace très-large par rapport à sa section. L'examen de cette question fera l'objet d'une Note sur la théorie de la chaleur.

On peut, d'ailleurs, au moyen de mes expériences sur les rétrécissements des colonnes liquides oscillantes, montrer dans quelles limites assez étendues [*] on pourrait élargir la chambre de compression, sans que cette perte de force vive fût bien notable, de manière qu'on pût avoir moins de machines et profiter, jusqu'à un certain point, d'une diminution d'échauffement de l'air, à cause de la diminution des vitesses de la surface liquide comprimante.

Mais, pour l'appareil objet de cette Note, il se présentera, dans les applications, une circonstance singulière sur les conduites d'eau des villes, où, à chaque instant, les pressions en un point donné peuvent varier à cause des prises d'eau, par exemple à cause des bornes-fontaines des environs du point où l'on aurait besoin de tirer l'eau d'un puits.

Dans ces circonstances, il pourra être convenable de ne pas compter, pour une marche régulière automatique, sur les avantages pouvant résulter de l'emploi du mouvement acquis de la colonne liquide comprimante.

On conçoit, en effet, que si les pressions motrices étaient trop variables à cause des prises d'eau, cela changerait trop les conditions de la marche de l'appareil; si, au contraire, on comprime l'air dans

[*] Il est facile de voir, même sans entrer dans des considérations délicates relatives à la théorie de la compression de l'air, qu'on pourrait au moins tripler la section de la chambre de compression des appareils à colonnes oscillantes de Bardonnèche.

un grand récipient, en ne comptant pour cela que sur la pression hydrostatique, le flotteur sera alternativement soulevé. Or, il faudra bien qu'il finisse par atteindre la hauteur voulue pour faire décrocher un déclic, parce que la pression hydrostatique nécessaire finira toujours, avec le temps, par redevenir assez grande pour comprimer l'air au degré de tension voulu lorsque les prises d'eau seront arrêtées aux environs.

Quant aux cas où l'on emploierait la vitesse acquise de la colonne comprimante, il se présente une question théorique intéressante.

Il résulte de mes expériences sur les oscillations des colonnes liquides, exposées dans un de mes Mémoires pour lequel l'Académie des Sciences m'a fait l'honneur de me décerner le prix de Mécanique en 1839, que, dans des limites très-étendues, on peut augmenter la longueur de la partie toujours remplie d'eau d'un tuyau de conduite, quand le diamètre n'est pas trop petit, sans diminuer les amplitudes des oscillations, si les vitesses ne sont pas trop petites.

L'augmentation des longueurs des surfaces frottantes est alors, en général, compensée par la diminution des carrés des vitesses auxquels les frottements de l'eau sont supposés proportionnels quand les vitesses sont assez grandes. J'ai même remarqué que, dans ce cas, la longueur des surfaces frottantes diminuait, bien entendu pour un diamètre constant, la somme des résistances passives locales, telles que celles des coudes qui ne sont pas proportionnelles à la longueur des surfaces frottantes pour une vitesse donnée.

Il était naturel d'en conclure que, dans des limites très-étendues, il serait utile d'augmenter la longueur développée du tuyau de conduite contenant la colonne liquide comprimante, sauf les raisons d'économie dans le prix d'établissement de l'appareil. En effet, si, toutes choses égales d'ailleurs, on a un moyen de diminuer les vitesses avec lesquelles on comprime l'air, on diminuera évidemment aussi le développement de chaleur pendant cette compression, d'autant plus qu'on peut encore diminuer, comme je l'ai dit ci-dessus, par un élargissement convenable de la chambre de compression, la vitesse de la lame liquide comprimante.

Quelques objections m'ont été faites relativement à ce point particulier, à cause des difficultés qui semblaient provenir de considéra-

tions délicates sur la nouvelle théorie de la chaleur dont je parlerai dans une autre Note. Mais il suffit de remarquer que si l'air s'échauffe moins, toutes choses égales d'ailleurs, sa tension, variable pendant la compression, sera moindre pour chaque volume donné, et que, par conséquent, cela diminuera la quantité de travail résistant provenant de ce développement de chaleur sur la tête de la colonne comprimente.

J'ai proposé, en 1861, dans une Note publiée dans le *Bulletin de l'Académie de Belgique*, une méthode pour calculer la partie du déchet provenant du développement de la chaleur dans la chambre de compression d'une machine à comprimer de l'air, au moyen de colonnes liquides oscillantes, mises en mouvement par une chute d'eau. Cette méthode provisoire est suffisante pour montrer qu'à Bardonnèche la partie du déchet provenant de la perte de chaleur n'est pas à dédaigner.

Ici, le cas n'est pas le même, non-seulement parce que la chute d'eau et la hauteur de la chambre de compression seront sans doute, en général, beaucoup moindres, mais parce qu'on ne donne pas à l'air le temps de perdre aussi complètement sa chaleur. On conçoit, en effet, que le travail employé à produire cette chaleur peut se retrouver, en partie du moins, pendant la détente; la tension, variable il est vrai, qui résulte, pendant cette détente, de ce que l'air est plus chaud qu'à l'extérieur, est une cause qui agit sur la colonne d'aval pour lui imprimer de la vitesse.

II.

Principes d'une nouvelle machine pour les épuisements, spécialement applicable au cas où l'eau à épuiser doit s'élever au-dessus du niveau de l'eau du bief supérieur de la chute motrice. — Modèle fonctionnant.

Un tuyau de conduite descend verticalement d'un réservoir alimenté par les eaux motrices, et débouche horizontalement par son autre extrémité, toujours ouverte et convenablement évasée, au-dessous du

niveau du bief inférieur. Une soupape de Cornwall met alternativement en communication ce tuyau vertical avec un autre tube de même diamètre que le premier à son extrémité inférieure, mais qui se rétrécit graduellement pour contenir le moins d'air possible, et dont l'autre extrémité recourbée débouche dans une capacité supérieure alternativement remplie par l'eau élevée. Le premier tuyau est toujours rempli d'eau, et le second, toujours rempli d'air dans sa portion rétrécie, arrive par son extrémité supérieure au-dessus de la capacité dont il s'agit; celle-ci communique, par un tuyau d'aspiration toujours rempli d'eau, avec le bief supérieur; il plonge dans ce bief avec un clapet de retenue.

Quand la soupape de Cornwall est ouverte, l'eau du bief d'amont descend dans le premier tuyau, en y engendrant graduellement de la vitesse. Lorsque la vitesse suffisante est acquise, cette soupape est soulevée en vertu d'un phénomène de succion, de sorte que le bout de tuyau mobile dont elle est composée réunit le premier tuyau de conduite au tuyau contenant de l'air, comme s'ils ne formaient qu'un seul et même tube.

Alors la colonne liquide dont je viens de parler continue à se mouvoir, et son sommet baissant de plus en plus permet à la colonne d'air de se dilater entre ce sommet et la capacité supérieure où l'on a au besoin introduit préalablement une quantité d'eau convenable ainsi que dans son tube d'aspiration supposé toujours plein. Il en résulte que l'eau du bief supérieur monte dans cette capacité jusqu'à ce que les vitesses des colonnes liquides soient éteintes. Or cette ascension se fait seulement à partir de l'époque où l'air est suffisamment dilaté, et l'on sait que dans les anciennes machines à air dilaté on perdait le travail employé à faire cette dilatation préalable.

Dans cette nouvelle machine, l'eau contenue dans le tuyau de conduite qui descend du bief d'amont au bief d'aval revient en arrière, en vertu même de cette dilatation, à partir du moment où la vitesse de la colonne descendante est atteinte. La soupape de Cornwall est tenue appliquée de bas en haut sur ses deux sièges annulaires, tant que l'aspiration qui la tient fermée est assez forte, à cause de la manière dont l'air extérieur agit, par l'intermédiaire de l'eau, sur son anneau inférieur. Mais la cause qui la tenait soulevée malgré son poids n'existant

plus, lorsqu'en vertu du retour de l'eau par son intérieur la densité de l'air est redevenue la même que celle de l'air extérieur, elle retombe tout simplement en vertu de son propre poids, pour que le jeu recommence, et ainsi de suite indéfiniment. On va voir comment l'eau élevée sort de la capacité supérieure.

Un clapet disposé dans cette capacité au-dessous du niveau d'un réservoir latéral, où l'eau élevée doit se verser pour être utilisée, empêche l'eau de ce dernier réservoir de rentrer dans cette capacité, mais permet à l'eau contenue dans cette dernière de sortir quand la densité de l'air intérieur est redevenue suffisante, comme pour des machines connues à air dilaté.

J'ai même supprimé ce clapet dans le modèle fonctionnant que j'ai exécuté, au moyen d'un siphon renversé dont j'avais communiqué verbalement le principe à la Société Philomathique de Paris, le 24 août 1839, pour ces anciennes machines à air dilaté.

Une des extrémités de ce siphon débouche dans la capacité où l'eau est aspirée; l'autre débouche un peu au-dessus du niveau de l'eau dans le réservoir latéral où elle doit être reçue en définitive. Les branches de ce siphon descendent au-dessous du niveau de l'eau du bief supérieur, qui reçoit les eaux motrices.

A l'époque où l'aspiration se fait, l'eau descend dans la branche extérieure, et la colonne liquide, contenue dans la branche en communication avec la capacité où l'eau monte en vertu de cette aspiration, se trouvant suspendue à cause de la pression de l'air extérieur, interrompt la communication avec cet air, comme le ferait une soupape. Quand la densité égale à celle de l'air extérieur se rétablit graduellement, l'eau remonte dans cette branche extérieure et finit par en sortir en se versant dans le réservoir latéral où elle doit être utilisée, mais d'où elle ne peut revenir dans cette capacité, l'extrémité extérieure du siphon s'élevant au-dessus de l'eau de ce réservoir.

Je n'attache encore qu'une importance secondaire à cette disposition, qui permet de supprimer un clapet, mais qui peut avoir ses inconvénients. Je ne suis pas d'ailleurs assez sûr qu'elle soit nouvelle.

Mais ce qui distingue l'appareil, objet de cette Note, c'est surtout l'emploi d'un travail qui, dans les anciennes machines à air dilaté, était perdu. Dans la machine à air comprimé, décrite ci-dessus, je donne

aussi un moyen d'utiliser un travail qui, dans les anciennes machines à air comprimé, était perdu jusqu'à l'époque où la compression était suffisante pour soulever une colonne liquide de la hauteur voulue. Abstraction faite des applications dont ces deux nouvelles machines seront susceptibles, je crois devoir insister sur cette circonstance qui permet au moins de compléter un point intéressant de la théorie des machines hydrauliques, en établissant des principes nouveaux.

On peut atténuer beaucoup l'inconvénient des machines à air dilaté remarqué par Hachette, en enveloppant les capacités et les tubes où l'air se dilate, dans des *chemises métalliques* remplies d'eau, ce moyen paraissant très-propre à conserver aux parois une imperméabilité convenable à l'air extérieur.

J'avais très-peu d'eau à ma disposition quand j'ai construit un modèle fonctionnant de cette machine, ayant seulement voulu m'assurer de la réalité de son jeu, en l'établissant d'une manière très-provisoire, au moyen des débris d'autres expériences; j'élevais l'eau à beaucoup plus du double de la hauteur de chute. Il est évident qu'on pourrait, avec une petite chute et un seul réservoir à air dilaté, en un mot sans compliquer la disposition de ce modèle, élever de l'eau beaucoup plus haut avec une même chute motrice, au moyen d'une dilatation convenable de l'air intérieur. Mais, au delà de certaines limites, il y aurait des inconvénients, parce que cette dilatation causerait un mouvement de retour beaucoup plus fort que cela ne serait nécessaire d'après ce qui va être dit. Il rentrerait plus d'eau que cela n'est utile dans le bief supérieur à l'époque de l'ouverture de la soupape de Cornwall, et cela se ferait avec une vitesse qui donnerait lieu à une perte notable de force vive et de travail en résistances passives.

Il est facile de voir qu'on pourrait y appliquer une disposition ingénieuse de la machine de Branca [*] reproduite par de Trouville; mais je tâche autant que possible d'éviter ces complications, et je me contente pour le moment de proposer l'emploi d'une seule capacité aspirante.

Je réunis, en tâchant de les simplifier l'un et l'autre, le principe du

[*] *Le Machine*, volume nuove e di molto artificio del signor G. BRANCA, ingegnere et architetto della santa casa di Loretto. Roma, 1629.

bélier aspirateur et celui d'un appareil à air dilaté, en leur appliquant, comme intermédiaire, le jeu d'une colonne liquide oscillante qui les modifie complètement, et le jeu d'une soupape de Cornwall reposant sur un genre particulier de succion.

Avant d'exécuter ce modèle fonctionnant, j'avais étudié ce mode de succion d'une manière qu'on pourra être bien aise de reproduire dans les cabinets de physique. Un vase en zinc portait au milieu de son fond un tube vertical fixe, ouvert à ses deux extrémités, et dont le sommet assez au-dessus de ce fond portait un rebord extérieur sous lequel l'anneau inférieur du bout de tuyau mobile, appelé soupape de Cornwall, venait s'appliquer quand le sommet de cette soupape venait s'appliquer aussi contre un anneau attaché à la partie inférieure d'un autre tuyau fixe, avec lequel il s'agissait de réunir le premier au moyen de cette soupape.

On bouchait d'abord la partie inférieure du premier tuyau, que l'on remplissait d'eau ainsi que le vase; or, quand on le débouchait subitement, la soupape de Cornwall se levait brusquement et réunissait les deux tuyaux en un seul.

Pour qu'elle se soulève, il n'est même pas nécessaire que l'extrémité inférieure du tube supérieur soit plongée dans l'eau. J'ai remarqué un soulèvement très-notable, même lorsque cette immersion n'avait pas lieu, et que l'extrémité supérieure du tube inférieur était seule plongée dans l'eau, ainsi que la soupape. Je ne sais pas encore si cela suffirait pour relever entièrement cette soupape dans certaines conditions; mais ce soulèvement m'a paru offrir quelque intérêt, parce qu'il se fait en sens contraire du mouvement des poutrelles qui s'immergent dans les déversoirs, en vertu d'un phénomène de succion connu.

Quant aux cas où la soupape de Cornwall se relève complètement, il y aura à faire des études assez variées sur son jeu pour diverses ouvertures; cette soupape, ou tube mobile de 1 décimètre de diamètre, se relevait très-facilement à une hauteur égale à ce diamètre pour réunir les deux tuyaux fixes.

Il est intéressant de remarquer que l'appareil, objet de cette Note, permet de ne pas mêler l'eau élevée avec l'eau motrice, comme cela se fait nécessairement dans le bélier aspirateur. Cette circonstance peut avoir quelque utilité à cause des qualités de l'eau qu'il s'agit d'élever.

C'est parce que les circonstances de la pratique sont extrêmement variées, qu'il est plus utile qu'on ne le croit généralement d'étudier ce genre de questions sous des points de vue très-variés, si l'on veut parvenir, dans beaucoup de cas, à se débarrasser de l'emploi des pompes.

On sait que Montgolfier disposait un réservoir d'air dilaté au sommet du tuyau d'aspiration, du moins pour la forme la plus connue de son béliet aspirateur. Il en résultait une complication qui n'est pas indispensable dans ce nouveau système, si l'on donne au tuyau de conduite inférieur une longueur convenable.

Dans cet appareil on utilise, ainsi que dans le précédent, le mouvement acquis de l'eau dans le tuyau de conduite, parce qu'on modère les vitesses de la colonne liquide en employant convenablement l'inertie, de manière à retrouver un travail perdu dans les anciens systèmes à air comprimé ou dilaté. Il est de plus intéressant de remarquer que le travail qui, dans ces anciens systèmes, était employé, soit à comprimer l'air jusqu'au moment où l'eau pouvait être soulevée par le ressort de cet air à la hauteur voulue, soit à dilater l'air jusqu'au moment où une colonne d'une hauteur donnée pouvait être mise en mouvement de bas en haut par la pression extérieure de l'atmosphère, était entièrement perdu.

On voit que, par des combinaisons très-différentes, on peut, dans l'un et l'autre cas, obtenir la solution de ces deux problèmes qui ont dans leur but une analogie nouvelle et intéressante.

