

JOURNAL  
DE  
MATHÉMATIQUES

PURES ET APPLIQUÉES

FONDÉ EN 1836 ET PUBLIÉ JUSQU'EN 1874

PAR JOSEPH LIOUVILLE

---

ANATOLE DE CALIGNY

**Mémoire sur une machine soufflante, comprenant un  
travail inédit sur le même sujet**

*Journal de mathématiques pures et appliquées 2<sup>e</sup> série, tome 13 (1868), p. 43-58.*

[http://www.numdam.org/item?id=JMPA\\_1868\\_2\\_13\\_43\\_0](http://www.numdam.org/item?id=JMPA_1868_2_13_43_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>

---

**MÉMOIRE SUR UNE MACHINE SOUFFLANTE,**

COMPRENANT

UN TRAVAIL INÉDIT SUR LE MÊME SUJET ;

**PAR M. ANATOLE DE CALIGNY.**

---

J'ai présenté à l'Académie des Sciences, le 9 décembre 1844, un Mémoire inédit, conservé au Secrétariat de cette Académie, il est enregistré sous le n° 377. Je vais en donner la copie même en y laissant quelques détails secondaires qui ont un peu vieilli, et sur lesquels je reviendrai plus loin, mais que j'ai cru devoir conserver surtout pour le cas où il y aurait une question de priorité. On verra d'ailleurs que ces détails ne sont pas inutiles et combien ils font ressortir la nouveauté du résultat définitif.

« Les machines soufflantes mues par des chutes d'eau ayant divers inconvénients, j'ai été invité à m'occuper plus spécialement de ce problème. Le résultat suivant auquel je suis parvenu est assez simple pour pouvoir être expliqué même sans la figure, que l'on trouvera plus loin [\*].

» Étant donné un tuyau de conduite dont une des extrémités part d'un réservoir contenant les eaux motrices, l'autre se relevant verticalement, je suppose que l'eau sort à gueule-bée par cette dernière extrémité jusqu'à ce qu'elle y soit parvenue à une vitesse convenable, si à cette époque une vanne cylindrique est soulevée de manière à établir la communication entre ce tuyau et un tuyau vertical supérieur,

---

[\*] Cette figure n'est pas indispensable à cause des simplifications résultant de phénomènes nouveaux trouvés depuis la rédaction de ce Mémoire inédit.

l'eau ne pouvant plus s'échapper latéralement s'élancera dans ce dernier, que je suppose avoir vers son sommet deux systèmes de clapets à air, dont un a pour but de permettre l'introduction de l'air dans un réservoir latéral. Cet air sera comprimé dans le réservoir dont il s'agit et d'où il partira en temps convenable pour produire l'effet industriel voulu. La colonne liquide redescendra ensuite au-dessous de la vanne, en vertu de la hauteur acquise dans le tuyau vertical et de la détente de l'air qui reste à son sommet. Le second système de soupapes à air a pour but d'empêcher la production du vide à l'époque de la détente. Quand le mouvement de descente est éteint, et que la vanne est redescendue, le jeu recommence ainsi de suite indéfiniment.

» Il n'est pas nécessaire d'employer une vanne frottante, il est même plus simple d'employer la soupape cylindrique à double siège, dite de Cornwall, qui, étant liée à un flotteur ou à un contre-poids d'une manière quelconque, sera soulevée par la percussion de l'eau, quand celle-ci partie du repos aura acquis la vitesse suffisante, et retombera par son propre poids, quand la colonne liquide l'abandonnera à elle-même en redescendant.

» Quand l'eau sort à gueule-bée, elle n'est point arrêtée dans sa course par cette soupape qui coupe seulement le rebord extérieur du *champignon liquide*. Lorsque cette opération se fait, il faut seulement que les filets se relèvent et prennent à leur sommet la même vitesse qu'à la sortie immédiate du tuyau. Mais par la raison même que le mouvement de la soupape ou vanne se fait de bas en haut et ne peut d'ailleurs être rigoureusement instantané, la percussion qui en résulte dans le liquide n'a rien de brusque, d'autant plus que selon un principe de M. Poncelet, il y a une différence capitale dans l'importance de la percussion considérée comme effet destructif entre le choc d'une grande masse contre une petite, et celui d'une petite masse contre une grande. Or, précisément dans le cas dont il s'agit, une assez longue colonne n'a qu'à augmenter un peu les vitesses d'une masse très-petite par rapport à elle, et qui n'est qu'un simple bouillon de sortie, de sorte que, selon ce principe, il ne peut en résulter qu'un choc insignifiant.

» Il n'y a pas non plus de percussion brusque de la soupape sur son siège, quand elle se ferme; d'abord, parce qu'elle porte un cône annulaire, qui entre dans un cône annulaire fixe d'où il chasse l'eau.

Or, on sait que les cônes rentrant ainsi l'un dans l'autre sont très-usités en Amérique pour amortir parfaitement les chocs, et leur disposition sera d'autant plus facile à établir ici que, les tuyaux étant assez gros, la soupape ou vanne cylindrique n'aura pas à parcourir un chemin assez petit pour qu'il en résulte sous ce rapport quelque difficulté d'exécution[\*].

» Mais ce moyen, n'étant pas le seul qu'on puisse employer, je profiterai de cette occasion pour proposer d'une manière plus générale, que je ne l'ai fait autre part, un nouveau modérateur hydraulique.

» Étant données des pièces solides quelconques en mouvement, si l'on pouvait y appliquer des forces immatérielles vers l'époque où l'on veut qu'elles s'arrêtent, le problème d'un modérateur serait résolu. Or, c'est précisément ce qui arrivera si, quand ces pièces partent du repos, elles enlèvent sans plus de choc entre elles qu'il n'y en a dans la machine d'Atwood, un flotteur d'une densité analogue à celle de l'eau. L'inertie du système sera surmontée pendant le mouvement et le poids du flotteur n'agira qu'à l'époque où il sortira de l'eau, précisément comme le ferait une force immatérielle. Les pièces de la machine quelconque en mouvement seront donc graduellement arrêtées par pression et non par percussion. On peut même observer que la loi selon laquelle elles s'arrêtent est déterminée par la forme du flotteur qui s'émerge. Si, comme dans le cas dont il s'agit, on ne veut pas que la pièce arrêtée revienne immédiatement sur ses pas, condition qui peut d'ailleurs ici être assurée par la forme de la soupape de Cornwall sous laquelle agira la pression de la colonne ascendante dans le tuyau vertical, il suffit que le flotteur ayant ce but particulier se décroche et retombe à sa place en vertu de l'excédant de sa densité sur celle de l'eau. Il sera accroché à la période suivante quand la pièce dont il s'agit arrivera elle-même au repos en descendant, et ainsi de suite indéfiniment.

---

[\*] « Il est à peine nécessaire de remarquer qu'en retombant d'elle-même la soupape convenablement équilibrée aura que des vitesses analogues à celles de la colonne descendante, à l'époque où son mouvement s'éteint. On sait d'ailleurs ce que c'est qu'une soupape qui retombe sur son siège. »

» Je reviens maintenant plus particulièrement à la machine soufflante, en m'attachant plutôt à faire bien comprendre son principe qu'à décrire des détails secondaires qu'il suffisait d'indiquer.

» Quand on n'aura besoin de comprimer l'air que sous des pressions médiocres, analogues par exemple à celle d'une hauteur d'eau d'un mètre, la colonne liquide n'éteindra son mouvement qu'en parcourant un chemin qui sera loin d'être très-petit. De ce côté, il n'y aura donc pas non plus de choc brusque, le mouvement s'éteindra, il est vrai, plus tôt que si la colonne n'avait point à faire un travail utile, mais les choses se passeront évidemment d'une manière qui aura bien moins d'analogie avec une percussion qu'avec ce qui se présenterait, si la colonne était transportée sur une autre planète où la pesanteur serait plus grande que sur la terre. Il m'a semblé que cette dernière idée offrait le moyen le plus sensible de faire voir que par le mode d'action particulier de la résistance d'un long matelas d'air qui, dans les machines soufflantes ordinaires, ne sera comprimé que sous des pressions peu élevées, le mouvement s'éteindrait aussi graduellement qu'on peut le désirer, conformément aux vrais principes de la mécanique industrielle. La compression du matelas d'air ne parvient point d'ailleurs instantanément à son maximum.

» La quantité de travail utilement produit, plus le travail disponible qui reste après l'action utile, afin que la colonne liquide en redescendant puisse abandonner la soupape annulaire, dépend, si le tuyau horizontal est assez long en amont de cette soupape, du temps pendant lequel l'écoulement extérieur durera. Pour s'en rendre compte, il suffit de remarquer que, si ce tuyau est assez long, la force vive emmagasinée dans son intérieur pourra être, si l'on veut, bien plus grande que celle qui serait suffisante pour faire verser l'eau à des hauteurs bien plus considérables que celles de la chute motrice, si le tuyau vertical était sans soupape à air et indéfiniment prolongé; d'où il résulte que l'on aurait bien plus de force qu'il n'en faudrait pour que le niveau redesendit plus bas que la soupape annulaire.

» Au reste, pour ne laisser aucun doute sur ce point particulier, j'ai construit un petit modèle fonctionnant d'un appareil de ce genre; comme il avait simplement pour but d'établir la possibilité de son jeu, étant indéfiniment abandonné à lui-même, il n'était d'ailleurs employé

qu'à souffler alternativement de l'air, ou à verser de l'eau par le sommet de son tuyau vertical.

» On pourrait craindre au premier aperçu qu'il n'y eût pour des pressions un peu plus fortes des vibrations dans la colonne d'air. Je ferai remarquer à ce sujet que le phénomène se présente d'une manière trop graduelle pour que ces craintes puissent être bien sérieuses. Quand le matelas d'air est comprimé, et qu'il pousse une partie de son fluide dans un réservoir d'air cylindrique d'un diamètre analogue au sien et d'une longueur suffisante, où la compression ne sera pas généralement trop différente de celle de l'atmosphère, il est naturel de penser que la sortie de l'air du tuyau vertical dans ce cylindre comprimé sous un excès de pression, qui n'est pas très-considérable, présentera des phénomènes qui ne seront pas sans analogie avec ceux de la sortie de l'air poussé par un tuyau dans l'atmosphère, puisque dans ce dernier milieu la pression naturelle est elle-même considérable. Or voici comment j'ai étudié ce dernier phénomène.

» Étant donné un tuyau d'environ 0<sup>m</sup>,05 de diamètre, et de 4<sup>m</sup> de long, dont les deux extrémités étaient ouvertes, je bouchais avec la main une de ces extrémités, et je l'enfonçais par l'autre à diverses profondeurs dans le bassin Saint-Victor. Le tuyau, étant ensuite subitement débouché par le sommet, l'eau du bassin s'y élançait en vertu des lois de l'oscillation, et je suivais de l'œil avec une autre personne le mouvement des poussières adhérentes au tuyau avant qu'il fût enfoncé, et qui étaient chassées par le mouvement de la colonne liquide. Il était naturel de penser que le mouvement de ces poussières pourrait indiquer s'il y avait des vibrations intérieures capables d'absorber des quantités notables de force vive dans la colonne d'air. Or, on voyait très-distinctement les poussières chassées dans le même sens que l'eau, tant que celle-ci montait, sans revenir sur leurs pas, et de plus, la colonne d'air ne s'éparpillait pas immédiatement à sa sortie du tuyau, mais conservait jusqu'à une certaine distance la forme cylindrique d'une manière bien tranchée. Je pense donc que la colonne d'air sera chassée sans vibrations trop importantes dans l'appareil que je propose, s'il a un assez grand diamètre pour que celui du réservoir d'air ne soit pas trop différent du sien, ou ne s'élargisse que d'une manière assez graduelle.

» Quant à l'expérience dont je viens de parler, il est à peine nécessaire d'ajouter que je ne considérais pas ce qui se passe au moment où j'ouvrais le sommet du tube, et où il se présentait une petite explosion pendant un temps trop court pour qu'elle pût être facilement observée.

» Dans les machines soufflantes dont il s'agit ici, le volume de l'air chassé à chaque période dans le réservoir sera toujours un peu moindre que celui du tuyau vertical, qui peut d'ailleurs être élargi. On peut varier les effets, soit en laissant la colonne liquide monter plus haut pour ne redescendre guère par son propre poids, soit en limitant la hauteur de son ascension et conservant à son sommet de l'air comprimé, qui agira comme nous l'avons dit par sa détente. Cela peut dépendre du genre d'effets qu'on aura à produire, et je ne crois pas devoir encore entrer dans ces détails [\*]. J'ajouterai seulement ici, d'après mes expériences sur la durée des oscillations des colonnes liquides et sur les diverses machines de ce genre que j'ai essayées, que les périodes se succéderont dans les deux cas assez rapidement pour que, sans dépasser des dimensions exécutables, ces appareils puissent fournir le volume d'air suffisant pour les exploitations qui se présentent le plus fréquemment. Il n'est pas indispensable de répéter sur ces durées ce que j'ai dit dans mes précédents Mémoires, et il est d'ailleurs évident qu'elles pourront encore être diminuées par la résistance de l'air qui se comprime, puisque plus une pression moyenne est grande, moins elle est de temps à engendrer une quantité de mouvement donnée et *vice versa*.

» On ne peut se dissimuler que l'air sera un peu mouillé par la colonne liquide, mais on remédiera en grande partie à cet inconvénient au moyen d'un disque flotteur, alternativement soulevé par la colonne liquide, et qui, à cause de sa petite masse, pourra évidemment être disposé de manière à ne pas offrir d'inconvénients sérieux.

» Il me reste à dire quelque chose de la manière dont l'eau se dégorge à sa sortie de la soupape annulaire. Il faut dans toutes les machines

---

[\*] « En général, on sera toujours plus sûr de ne pas se tromper dans ses calculs, quand on évitera de trop compter sur la détente, quand l'air atmosphérique doit rentrer à une époque donnée, parce que cette détente occasionnera des différences dans la densité de la masse fluide soumise à ce phénomène. »

hydrauliques une certaine partie de chute pour se débarrasser de l'eau motrice, par la raison même qu'elle ne doit s'échapper qu'avec de petites vitesses, ce qui occasionnera nécessairement des intumescences. C'est ce genre de perte de force vive qui était l'objet spécial de mon dernier Mémoire. (Il s'agissait d'un Mémoire sur les ondes présenté en 1844.) Je ne crois donc pas nécessaire de m'étendre aujourd'hui sur ce sujet. Je remarquerai seulement que plus la profondeur de l'eau dans le bief inférieur sera grande, plus la section de chasse sera grande, et plus, par conséquent, les vitesses seront petites dans cette décharge, ce qui diminuera l'importance des ondes.

*Conclusions.*

» La machine soufflante dont je viens de donner une idée succincte n'éprouvant nécessairement aucune percussion brusque un peu notable, et pouvant être, par conséquent, exécutée dans de grandes dimensions, il résulte de mes diverses expériences sur les colonnes liquides oscillantes d'un grand diamètre que le travail en résistances passives sera peu de chose par rapport au travail moteur. Il est de plus essentiel d'observer qu'il n'y aura qu'un seul déchet total à considérer, tandis qu'il y en aurait deux, si une machine soufflante quelconque, telle, par exemple, qu'un ventilateur, était mue par une première machine telle qu'une roue, de sorte que l'effet utile définitif ne serait que le produit de deux fractions.

» Il est à peine nécessaire d'ajouter qu'il sera bon de construire deux machines, afin que la densité de l'air soit plus constante dans le réservoir.

» Ce système substitue DES COLONNES LIQUIDES AUX pistons soufflants.

» ... Il est d'ailleurs à remarquer que les moyens à employer pour fermer la soupape ont bien moins d'importance qu'on n'est porté à le croire au premier aperçu. Quand même on serait dans la pratique obligé de la faire fonctionner au moyen d'une cataracte *ou de tout autre système analogue*, la quantité d'eau que cela ferait débiter sans utilité directe pour le travail serait très-peu de chose par rapport aux masses d'eau débitées par le tuyau, supposé toujours d'un grand diamètre. C'était même de cette manière que j'avais d'abord fait le cal-

cul, quand je discutai pour la première fois cette invention avec plusieurs ingénieurs civils.

» Je n'entre pas ici dans le détail des proportions de l'appareil ; cela n'offrirait rien de bien nouveau, après ce que j'ai développé sur les oscillations de ces grandes colonnes dans mes précédents Mémoires. Mon but, en ce moment, est de bien faire connaître les discussions sur les dimensions des diverses parties, lorsque ce sujet aura été mieux éclairci, quant à ses détails secondaires, par des expériences assez en grand.

» Il est à peine nécessaire d'ajouter que, si l'on emploie une cataracte, il n'y a point à s'embarrasser du retour de la colonne jusqu'à la soupape, quand les circonstances permettront de donner au tuyau horizontal une assez grande longueur, et que, par suite, on débitera une quantité d'eau considérable par rapport au volume du tuyau d'ascension, on pourra simplifier et accélérer le jeu de cette période en vidant tout simplement ce tuyau, dont l'eau tombera dans le bief inférieur étant suivie par l'air des clapets. »

La figure ne devant pas être reproduite dans ce journal, où il ne s'agit que d'exposer le principe, on ne donne pas non plus la légende, conservant ces détails pour des recueils spéciaux. Il est d'ailleurs essentiel de ne reproduire que textuellement, et *sans aucune modification*, ce qui est relatif à ce manuscrit déjà ancien, parce que je m'appuierais sur son texte dans le cas où il y aurait une question de priorité.

---

*Réflexions sur ce Mémoire inédit, simplifications résultant des phénomènes nouveaux décrits dans le tome VII, 2<sup>e</sup> série, utilité de ces détails inédits pour l'industrie et pour l'histoire de l'hydraulique.*

J'ai trouvé des phénomènes qui permettent de simplifier le jeu de la vanne cylindrique ou soupape de Cornwall, sans employer la percussion de l'eau, de sorte que le système diffère encore plus du bélier hydraulique. Ces phénomènes ont été exposés dans un Mémoire que j'ai publié dans le *Journal de Mathématiques pures et appliquées*, année 1862, t. VII, 2<sup>e</sup> série, p. 169 à 200, à la fin duquel j'ai dit quelques mots de cette machine soufflante.

Le Mémoire inédit que je viens de transcrire m'a paru très-utile, même encore aujourd'hui, pour bien montrer le développement de l'idée fondamentale, abstraction faite des moyens les plus simples de faire fonctionner la vanne cylindrique ou la soupape de Cornwall.

Quoique je n'aie pas reproduit la figure, parce qu'il y a peu de figures de ce genre dans le *Journal de Mathématiques pures et appliquées*, j'ai cru devoir reproduire tout le manuscrit, sauf ce qui est relatif à la légende, sans chercher à dissimuler quelques légers défauts de rédaction ou de détail, qui même font aujourd'hui mieux ressortir encore tout l'avantage pratique des phénomènes nouveaux de succion que j'ai trouvés depuis la présentation de ce Mémoire, et sur lesquels j'ai fait des expériences très en grand, dont j'ai parlé dans mes Mémoires précédents, notamment dans celui de 1862 et dans celui qui a pour objet un de mes systèmes d'écluses de navigation. Une *addition* à ce dernier Mémoire est spécialement consacrée aux phénomènes dont il s'agit; je parle aussi d'un phénomène différent, qui peut être appliqué quand on veut à un *soulèvement*, dans ma Note sur des machines pour les épaissements, publiée aussi dans le tome XI, 2<sup>e</sup> série.

Des Extraits du manuscrit que je viens de transcrire ont été publiés dans le volume de l'Académie des Sciences de Turin pour l'année 1859, dans mon Mémoire intitulé : *Notice historique et critique sur les machines à compression d'air du Mont-Cenis*.

Deux pages d'extrait officiel, publiées par M. Arago dans les *Comptes rendus de l'Académie des Sciences de l'Institut de France*, avaient été reproduites dans la *Revue universelle de Liège*, année 1859, cahier de mars et avril, par M. de Cuyper, professeur de Mécanique à l'Université de Liège, inspecteur des études à l'École des Mines de Belgique, etc., dans un Mémoire où il défend mes droits de priorité aux compresseurs à colonnes liquides oscillantes fonctionnant sur le versant italien du Mont-Cenis.

Comme je parlerai dans un autre Mémoire des compresseurs à colonnes oscillantes du tunnel des Alpes, il est essentiel de remarquer, pour éviter tout malentendu, qu'il ne s'agit que des machines soufflantes dans le Mémoire manuscrit que je viens de transcrire. Je reviendrai dans un autre Mémoire sur les compresseurs proprement dits, ayant le premier exposé deux principes bien distincts. Dans l'un, la

force vive s'emmagasine comme pour le bélier hydraulique par un écoulement à l'extérieur; dans l'autre, elle s'emmagasine seulement à l'intérieur du système. Mais dans l'un et l'autre cas une colonne liquide est substituée aux pistons qui comprimaient l'air au moyen des anciennes machines. Il est vrai que l'air était comprimé dans la machine de Scheinnitz, mais on n'y employait pas sensiblement la force vive de la colonne liquide.

Ce qui précède m'a paru d'ailleurs très-utile pour éclairer plus spécialement, et abstraction faite de toute question de priorité, les vrais principes du système considéré au point de vue des machines soufflantes.

On y voit d'ailleurs comment, même avant des expériences directes, j'avais pu rassurer sur le genre de perte de force vive, qui, au premier aperçu, semblait pouvoir résulter de la possibilité de mouvements intérieurs dans la colonne d'air comprimé.

Quant au *modérateur hydraulique* décrit dans ce Mémoire, je n'y vois plus aujourd'hui d'application directe au jeu de ces grandes vanes cylindriques ou soupapes de Cornwall, excepté peut-être pour des pièces de dimensions énormes. Mais en général l'expérience a montré qu'elles étaient faciles à manœuvrer, même sans cataracte, au moyen de divers phénomènes de succion, que j'ai trouvés depuis. Cependant il est intéressant de conserver la trace de ce modérateur, non-seulement à cause des applications qu'il pourra avoir dans l'industrie, mais à cause du principe, qui est d'ailleurs celui d'une des pompes à flotteur décrites dans une de mes Notes publiée dans le *Journal de Mathématiques pures et appliquées*, t. XII, 2<sup>e</sup> série.

On peut voir, dans mon Mémoire précité de 1862, comment les espèces de vanes cylindriques ou de soupapes de Cornwall, dont il s'agit pour les machines soufflantes, peuvent fonctionner, étant alternativement attirées de haut en bas par de puissants phénomènes de succion. Il ne paraît pas, d'après mes expériences très en grand, qu'il fût bien utile de les fermer en les levant, selon ce qui a été exposé dans le Mémoire inédit d'après un conseil qui m'avait été donné.

---

*Détails inédits sur une expérience de Montgolfier mentionnée  
dans le Journal de l'École Polytechnique.*

Longtemps après avoir trouvé les principes précédents, j'ai pensé qu'il pourrait être utile d'essayer de recueillir tout ce que Montgolfier aurait pu avoir dit, même verbalement, sur la possibilité de se servir du bélier hydraulique pour obtenir une machine soufflante ou à comprimer de l'air. Je me suis donc adressé directement à M. Seguin, Membre correspondant de l'Institut, neveu de Montgolfier.

Dans une lettre qu'il m'a fait l'honneur de m'écrire le 25 janvier 1860, il s'est exprimé ainsi relativement à cette question. «... Je puis vous » dire, je crois en pleine connaissance de cause, que la seule et unique » idée de mon oncle Montgolfier en inventant le bélier hydraulique, » a été de donner aux arts et à l'agriculture un moyen d'employer di- » rectement, et le plus efficacement possible, la force développée par » la chute de l'eau, à l'élévation d'une partie de cette même eau à des » hauteurs indéfinies.

» Le bélier hydraulique ne fut pour mon oncle qu'une application » partielle d'un principe que lui avait révélé son vaste et immense » génie, savoir que le mouvement a une existence aussi réelle que la » matière, qu'il ne peut être ni créé ni annihilé, et, qu'une fois produit, » il se perpétue indéfiniment jusqu'à ce que les causes qui lui avaient » donné naissance se reproduisent en sens inverse, de manière à ra- » mener les corps qu'il avait affectés d'abord, à l'état de repos.

» J'ai vu dans des expériences faites vers l'année mil huit cent, rue des » Juifs, n° 18, au Marais, où mon oncle était logé alors, la tension du » réservoir d'air destiné à régulariser la pression sur la nappe d'eau, » qui communiquait au tuyau d'ascension, s'élever jusqu'à une pres- » sion représentée par quarante-deux atmosphères, ce qui eût suffi » pour élever l'eau à plus de quatre cents mètres de hauteur. Mais je » ne lui ai jamais entendu dire qu'il eût eu l'intention de l'appliquer, » ni à des machines soufflantes, ni à des machines de compression.

» Je désire, Monsieur, que ces renseignements puissent remplir l'ob- » jet que vous vous êtes proposé en me faisant l'honneur de vous » adresser à moi..... »

La rue des Juifs étant loin de tous les quartiers élevés de Paris, j'ai cru pouvoir en conclure que l'expérience mentionnée dans la lettre de M. Seguin, et dont Montgolfier avait dit lui-même quelques mots, dans le *Journal de l'École Polytechnique*, avril 1808, 14<sup>e</sup> cahier, p. 297, avait pour objet la compression de l'air dans une cloche, qui n'élevait pas d'eau. J'ai donc cru devoir demander à M. Seguin quelques explications à ce sujet.

Il m'a fait l'honneur de m'envoyer un croquis de cet appareil dans une lettre du 27 octobre 1860. Il s'agissait d'un bélier hydraulique ordinaire, dont, en effet, on bouchait d'abord avec un robinet le tuyau d'ascension, quand on voulait expérimenter sur ces pressions élevées. La cloche était, me dit-il, en cristal; elle pouvait avoir quarante à cinquante centimètres de hauteur, dix à douze centimètres de diamètre et un centimètre d'épaisseur.

On faisait jouer le bélier jusqu'à ce qu'un manomètre disposé à l'intérieur même de la cloche en cristal, servant de récipient, indiquât une pression de quarante atmosphères; et à mesure qu'on approchait de ce terme, on faisait éloigner les femmes et les enfants en prévenant les curieux du danger auquel ils s'exposaient en assistant à l'expérience. Les deux extrémités supérieure et inférieure de la cloche étaient retenues par deux plaques en fer, qui la serraient fortement au moyen de boulons.

D'après les détails qui précèdent, Montgolfier avait exécuté une machine à comprimer de l'air, qui a fonctionné sans élever de l'eau. Mais il est certain que dans l'état ou était alors la science, il n'a point pensé à proposer une machine ayant pour but de comprimer ou de souffler de l'air sur une grande échelle, de manière, en un mot, que le résultat pût être appliqué à l'*industrie*, comme on l'entend aujourd'hui.

Ce qui a complètement changé l'état de la question, c'est l'application que j'ai proposée des vannes cylindriques ou des soupapes de Cornwall aux machines hydrauliques de ce genre.

J'ai montré le premier d'immenses colonnes liquides fonctionnant par ce moyen, *même dans des enveloppes fragiles*, sans aucun coup de bélier possible, parce que les *sections transversales ne sont jamais bouchées*. Je suis d'ailleurs le premier qui pour ces grandes colonnes

liquides ait signalé le principe auquel j'ai donné le nom de *principe des vitesses continues*.

Je reviendrai dans un autre Mémoire sur la forme du système appliquée au tunnel des Alpes, c'est-à-dire sur l'idée que j'ai proposée aussi le premier de laisser la force vive de la colonne comprimante se développer seulement à l'intérieur du système.

---

*Considérations théoriques sur cet appareil.*

Depuis que ce qui précède est écrit, j'ai eu occasion de faire des expériences nouvelles sur l'appareil à tube oscillant considéré comme machine à élever de l'eau. Il en est résulté des conséquences sur les proportions à donner à ce système considéré comme machine soufflante.

Il est intéressant d'ailleurs de faire remarquer qu'une partie de l'augmentation de l'effet utile obtenu dans ces dernières expériences provient de ce que la rondelle en caoutchouc n'était pas clouée. Il n'était pas même nécessaire, dans les limites où elle a été employée, qu'elle fût encastree. Elle montait et descendait librement entre le siège fixe et le tube mobile. Mais je reviendrai sur ce sujet dans un autre Mémoire.

Je remarquerai seulement ici qu'il n'est pas nécessaire pour un bon effet utile d'élever autant d'eau à chaque période qu'on l'avait cru jusqu'à présent. J'ai repris l'étude de la question à ce point de vue au moyen du calcul différentiel.

J'ai été conduit à une équation du troisième degré sur laquelle je donnerai ultérieurement des développements reposant sur l'étude des diverses parties des résistances passives. Il suffit de dire ici que, dès à présent, elle rend assez bien compte des proportions qui doivent être gardées entre les quantités d'eau élevée et les dimensions de l'appareil, pour qu'il soit utile d'indiquer les considérations suivantes :

Dans les machines soufflantes on ne comprime ordinairement l'air qu'à des tensions assez faibles. Il semble donc, au premier aperçu, qu'on a seulement à se préoccuper de voir si l'effet utile serait convenable dans le cas où le travail recueilli à chaque période serait généralement assez faible.

C'est en effet ce qui se présentera relativement quand les chutes mo-

trices atteindront certaines limites. Mais il est intéressant de remarquer que, pour les chutes motrices moindres, dans le cas par exemple où la tension de l'air doit être analogue à celle qui résulterait d'une pression hydrostatique d'un mètre de hauteur d'eau, si l'on comprimait toute la quantité d'air contenue dans le tuyau vertical entre le bief d'aval et le sommet de la chambre de compression, surtout si toute cette colonne devait être refoulée dans le récipient, on arriverait à recueillir une quantité de travail qui se trouverait être trop grande à chaque période pour un bon effet utile. On serait obligé de dépenser trop d'eau motrice à chaque période.

Mais on peut obvier à cet inconvénient en ne comprimant qu'une partie de la colonne d'air dont il s'agit, ce qui est facile, si l'on permet à l'air de s'échapper à l'extérieur, pendant une partie de l'ascension de la colonne liquide, au moyen d'un orifice latéral, qui sera alternativement bouché par une soupape. Celle-ci pourra fonctionner d'une manière analogue à ce qui s'est présenté dans un de mes premiers appareils à colonne liquide oscillante considérée d'abord comme élévatoire, que j'ai fait fonctionner à l'École des Mines en 1837, en présence d'une Commission de l'Institut, et que j'ai proposé depuis à la Société Philomathique (voir le *Bulletin* du 8 août 1846) de transformer en machine soufflante ou à compression d'air. MM. Combes et Séguier ont assisté en 1837 à cette expérience.

Dans l'appareil que je rappelle, l'orifice latéral dont il s'agit était alternativement bouché par un flotteur faisant fonction de soupape alternativement soulevée par la colonne liquide ascendante. On conçoit que, si cet appareil est employé à comprimer de l'air, on peut disposer un orifice latéral analogue à la hauteur convenable pour que la colonne d'air restée au-dessus soit comprimée à la tension demandée, mais de manière que le travail employé à la compression de l'air pour chaque période soit réglé de façon à remplir les conditions nécessaires pour le maximum d'effet, ainsi que cela résulte des considérations théoriques dont j'ai seulement dit quelques mots ci-dessus. Je les développerai ultérieurement par l'étude des phénomènes, qui d'ailleurs sont déjà assez connus pour qu'on puisse en apprécier convenablement l'influence, et sur lesquels je vais donner provisoirement quelques détails nouveaux.

Les phénomènes de succion sur lesquels repose le jeu automatique de mon appareil à tube oscillant considéré comme machine à élever de l'eau au moyen d'une chute d'eau, objet d'un Mémoire publié dans ce Journal en 1862, t. VII, 2<sup>e</sup> série, sont beaucoup plus nouveaux et plus compliqués que ceux sur lesquels repose le jeu automatique de mon moteur hydraulique à flotteur oscillant, objet d'un Mémoire publié aussi dans ce Journal en 1847, t. XII, 1<sup>re</sup> série.

Il paraissait d'abord en résulter que l'effet utile de cet appareil élévatoire atteindrait difficilement celui de ce moteur. Mais les études nouvelles que je viens de faire sur ce sujet changent l'état de la question, parce que l'incertitude sur le mode d'action du phénomène avait principalement pour objet ce qui se présente dans les grandes levées du tube oscillant. Or, il résulte de mes dernières expériences que les petites levées de ce tube sont souvent plus convenables qu'on ne pouvait l'espérer, parce qu'il n'est pas nécessaire d'élever à chaque période autant d'eau qu'on devait le croire au premier aperçu.

Il était naturel de craindre une perte trop notable de force vive, si l'orifice, résultant de la levée alternative de ce tube, était d'une assez petite section. Mais en définitive cette perte, provenant du degré de vitesse de sortie de l'eau, comme il faut une vitesse donnée pour produire la succion suffisante au jeu automatique, on conçoit déjà que, si l'on ne laisse pas la vitesse dépasser une certaine limite, la perte de force vive résultant de cette vitesse de sortie sera limitée par rapport à la chute; d'autant plus qu'il résulte d'expériences directes, que, pour les petites levées, une vitesse donnée occasionne une succion plus forte que pour les grandes levées d'un même tube mobile, toutes choses égales d'ailleurs.

On conçoit donc déjà combien l'état de la question est changé par la possibilité de limiter plus qu'on ne le savait la quantité d'eau élevée à chaque période, puisque cela permet de diminuer la levée du tube mobile. Il en est ainsi, à plus forte raison, si, comme l'indique le résultat obtenu par le calcul différentiel, il doit y avoir de l'avantage à diminuer ainsi cette quantité dans de justes proportions, dont on a déjà une idée suffisante pour éclairer la pratique.

Mais cette première conséquence étant obtenue, il est utile de rappeler un phénomène qui permettra de mieux préciser encore l'état de

la question. En effet, si l'essentiel, quant à l'étranglement de sortie, paraît être en général de ménager par la levée du tube mobile une section analogue à celle du tuyau de conduite fixe, il est intéressant de remarquer, d'après des observations que tout le monde peut répéter facilement sur les décharges latérales des canaux qui amènent l'eau sur les roues hydrauliques des moulins dans beaucoup de localités du département de Seine-et-Oise, qu'il se produit dans ces décharges latérales un phénomène de *contraction* de la veine liquide qui diminue beaucoup la véritable section d'écoulement. Cette diminution dépend de circonstances locales que je me propose d'étudier plus spécialement. Mais c'est surtout dans la seconde moitié de la section de l'orifice que se fait l'écoulement (*voir* le tome XV, 1<sup>re</sup> série, de ce Journal).

On peut provisoirement admettre qu'il est rationnel de diminuer de moitié la levée du tube mobile qui donnerait une section égale à celle du tuyau de conduite fixe.

Les essais directs faits sur l'appareil ne sont pas contraires à cette prévision théorique. Quant à l'étude des très-grandes levées, je reviendrai sur ce sujet après de nouvelles expériences, parce qu'on s'est aperçu, en démontant l'appareil d'essai, que des causes d'étranglements considérables y avaient été introduites pendant mon absence, de sorte qu'il y aura lieu de recommencer toute cette nouvelle série d'expériences, même quant à l'appréciation de l'effet utile. Mais les résultats obtenus malgré cette circonstance changent notablement l'état de la question.

Déjà l'effet utile en eau élevée paraît dépasser sensiblement soixante pour cent de la quantité de travail moteur dépensé, tandis que dans le Mémoire précité de 1862, je n'osais annoncer qu'un effet utile de cinquante pour cent : on obtiendra probablement soixante-dix avec une construction plus soignée.

Le Jury international de l'Exposition universelle de 1867 m'a décerné une médaille d'argent surtout à l'occasion de ces nouvelles expériences. Il est peut-être convenable d'attendre la publication du Rapport avant de rendre compte de tous les détails des expériences faites par la Commission, qui admet je crois, un effet utile moyen ayant peu différé de soixante pour cent.

---