

JOURNAL
DE
MATHÉMATIQUES

PURES ET APPLIQUÉES

FONDÉ EN 1836 ET PUBLIÉ JUSQU'EN 1874

PAR JOSEPH LIOUVILLE

ANATOLE DE CALIGNY

**Expériences sur une machine hydraulique à tube oscillant et
sur des effets de succion à contre-courant, etc. Applications
aux travaux publics et à la physique générale**

Journal de mathématiques pures et appliquées 2^e série, tome 7 (1862), p. 169-200.

http://www.numdam.org/item?id=JMPA_1862_2_7__169_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

SUR

UNE MACHINE HYDRAULIQUE A TUBE OSCILLANT

ET

SUR DES EFFETS DE SUCCION A CONTRE-COURANT, ETC.

APPLICATIONS AUX TRAVAUX PUBLICS ET A LA PHYSIQUE GÉNÉRALE.

PAR M. ANATOLE DE CALIGNY.

Cet appareil, que j'ai exécuté en 1850, à Saint-Germain-en-Laye, où MM. Cagniard de Latour, Clapeyron et d'autres personnes compétentes qui demeuraient alors dans cette ville, le virent marcher, le 3 novembre de la même année, est celui pour lequel j'ai été honoré d'une médaille d'or par la Société centrale d'Agriculture de France, sur le Rapport de M. Combes, en 1852, et sur le Rapport de M. le général Morin, d'une médaille de première classe à l'Exposition universelle de 1855, où il a fonctionné d'une manière suivie. Il a pour but principal d'élever de l'eau au moyen d'une chute, dans des circonstances où le bélier hydraulique n'était point appliqué. Le principe du bélier est un choc. Or c'est précisément ce que j'évite *en ne fermant jamais les sections transversales des tuyaux*. C'est d'ailleurs en vertu d'une espèce particulière de succion à *contre-courant*, auquel les ingénieurs refusent généralement de croire quand ils ne l'ont pas vu, que fonctionne la seule pièce mobile indispensable. Ce phénomène, que j'étudie en ce moment plus en grand, est un complément indispensable aux Mémoires que j'ai publiés dans ce journal.

On sait que, pour les chutes au-dessous de 1 mètre, les constructeurs ne voulaient pas répondre de la marche régulière des béliers hydrauliques. Or, un essai de cet appareil ayant été fait, pour ce cas, avec des tuyaux en planches de 0^m,60 de diamètre intérieur, il ne reste plus de doute sur la possibilité de le faire construire par tous les charpentiers de village, ce qui est intéressant pour l'agriculture.

L'Administration des Ponts et Chaussées a autorisé un premier essai en grand de ce système, pour vider l'écluse du Rocreul, près Saint-Lô, sur la Vire canalisée, en relevant une partie de l'eau au bief supérieur. Un rapport favorable, rédigé par M. Méquet, inspecteur général des Ponts et Chaussées, déclare que l'appareil d'essai, construit d'ail-

leurs d'une manière très-provisoire, après les oscillations de mise en train a bien marché, abandonné à lui-même, vidant le sas de l'écluse jusqu'au niveau du bief inférieur, et que la Commission *regarde l'essai du Rocreul comme complètement concluant en ce qui concerne l'application pratique de la machine oscillante de M. de Caligny, à de petites chutes et à des élévations moyennes; elle a été singulièrement frappée de la simplicité de l'appareil et de ce qu'il présente d'ingénieux.*

M. le Ministre des Travaux publics a témoigné, par une dépêche, sa satisfaction de ce que les facilités qui m'ont été données par l'Administration pour expérimenter *en grand ce système ont été suivies d'un heureux résultat.*

Un essai plus en petit de cet appareil, dans un jardin de Versailles, ayant été mis à la disposition du public pendant plusieurs années, et ayant été visité par beaucoup d'ingénieurs et de personnes compétentes qui ont bien voulu s'inscrire sur un registre, suffit pour montrer qu'il est parfaitement rustique, n'est pas sujet à des réparations fréquentes, même étant construit en minces feuilles de zinc; que les herbes et les vases, etc., le traversent sans l'engorger, d'autant plus qu'il peut être facilement lavé avec toute la force de *chasse* due à la hauteur de chute. M. Rumeau, inspecteur général des Ponts et Chaussées, alors ingénieur en chef, et M. Vauchelle, maire de Versailles, ont certifié l'utilité de cet essai et la facilité de la mise en train. M. Rumeau témoigne qu'ayant visité plusieurs fois et *à l'improviste cette machine, il l'a toujours vue fonctionner utilement ou prête à fonctionner de suite et avec régularité en la mettant en train.* On a fait constater sa marche de jour et de nuit, qui sera certifiée au besoin par la Société des Sciences naturelles de Seine-et-Oise.

L'essai en grand du Rocreul montre que le niveau d'amont peut baisser sans que l'appareil s'arrête; mais quand ce niveau monte au delà d'une certaine hauteur, on a jusqu'à présent perdu de l'eau par un trop-plein. Il faut un régulateur composé d'une sorte de flotteur pour éviter ce trop-plein, au moins dans certaines limites.

L'inconvénient de ce système, qui paraît d'ailleurs pouvoir être modifié, comme on le verra plus loin, consiste en ce qu'il exige, *dans les essais faits jusqu'à ce jour,* (quand il n'est employé qu'à élever de l'eau), une longueur de tuyau fixe assez grande par rapport à la chute, pour qu'on puisse compter sur un effet utile d'environ 50 pour 100 *en eau élevée.* Cependant un tuyau court n'empêche pas la marche d'être régulière, et des expériences plus en grand que les précédentes, faites aux bassins de Chaillot, auxquelles plusieurs membres de l'Institut m'ont fait l'honneur d'assister, montrent que l'effet utile est encore assez satisfaisant pour des longueurs de tuyau de 0^m,60 de diamètre, bien moindres par rapport à la chute que celles qui donnent de meilleurs effets.

On sait d'ailleurs que l'effet utile *en eau élevée* d'une pompe conduite par une roue hydraulique n'est qu'une fraction de fraction, et qu'on ne compte pas alors sur un effet utile de 50 pour 100, du moins quand il s'agit d'élever l'eau à de petites hauteurs pour lesquelles on n'avait pas de pompe convenable.

Sur le Rapport fait au Conseil général des Ponts et Chaussées par MM. les inspecteurs généraux Bommart, Le Breton, et Mary, rapporteur, je suis autorisé à faire, aux frais de l'État, une expérience encore plus en grand sur ce système; le tuyau de conduite a

1 mètre de diamètre intérieur. J'en ferai connaître ultérieurement les résultats, qui paraissent très-satisfaisants.

Le Rapport suivant, présenté sur cet appareil en 1852, à la Société centrale d'Agriculture, par M. Combes, au nom de la Section de Mécanique agricole et Irrigations, expose on ne peut plus clairement le nouveau principe, au moyen duquel on pourra simplifier encore une partie des appareils de mon invention publiés dans le *Journal de Mathématiques* [*]. Les phénomènes nouveaux que cet appareil m'a donné occasion d'étudier, sont d'ailleurs susceptibles d'applications intéressantes.

RAPPORT DE M. COMBES SUR LES PREMIÈRES EXPÉRIENCES DE VERSAILLES.

« M. de Caligny a adressé à la Société, le 20 janvier et le 2 mars de cette année, les descriptions de deux machines à élever l'eau, tout à fait différentes des pompes et autres appareils connus destinés au même usage, et qui ne sont pas moins remarquables par la simplicité de leur construction que par la nouveauté des formes et du mode de fonctionnement. Nous ne vous entretiendrons aujourd'hui que de celle qui fait l'objet de la lettre du 20 janvier, parce que c'est la seule que nous ayons pu encore étudier, et qu'elle est, d'ailleurs, la plus importante des deux. Cette machine a pour moteur une chute d'eau; elle se compose, comme le bélier hydraulique de Montgolfier, d'un tuyau fixe qui prend l'eau d'une source ou bassin supérieur, et d'un tuyau ascensionnel qui reçoit une partie de l'eau amenée par le tuyau fixe, laquelle vient se déverser au sommet de ce tuyau, tandis que l'autre partie s'est écoulée dans un canal de décharge. Ici finit l'analogie avec le bélier. Dans la machine de M. de Caligny, il n'existe ni soupape d'arrêt ni soupape d'ascension; partant, point d'arrêt brusque ni de choc de la colonne d'eau en mouvement contre les parois du tuyau. Lorsque l'eau ne doit être élevée qu'à une hauteur médiocre au-dessus du canal de décharge, le tuyau vertical ascensionnel est mobile. Il est suspendu, par sa partie supérieure, à l'un des bras d'un balancier dont l'autre bras est chargé d'un poids plus grand que le sien, et qui tend, par conséquent, à le tenir soulevé jusqu'à une hauteur limitée par un arrêt fixe. Lorsqu'il occupe cette position, il existe, entre son extrémité inférieure et l'orifice du tuyau fixe, dont le bout se relève verticalement au-dessous du premier, un intervalle par lequel l'eau, venant du bassin supérieur, s'écoule dans le canal de décharge. A un certain moment, par suite d'une force qui se développe sous l'influence du mouvement de l'eau, et que M. de Caligny compare à une succion, le tuyau mobile descend, en soulevant le contre-poids, et vient s'appliquer, par un anneau dont il est garni à sa base, sur un siège formant rebord horizontal autour de l'orifice du tuyau fixe. Dans cette

[*] J'ai publié en 1850, dans le *Technologiste*, un Mémoire intitulé: Résumé succinct des expériences de M. Anatole de Caligny sur une branche nouvelle de l'hydraulique, avec planche. Ce Mémoire contient surtout le résumé de ceux que j'avais publiés dans le *Journal de Mathématiques*. On y trouverait au besoin les figures qui pourraient être utiles pour comprendre plus facilement les Mémoires dont il s'agit. Il a été tiré à part en mai 1850, et ne contient que le résumé de mes expériences antérieures à cette époque. (Voir aussi le *Musée belge*, t. XXIX, p. 194, 1856, etc.)

situation, il n'y a plus de solution de continuité entre les deux tuyaux ; la colonne d'eau en mouvement dans le tuyau fixe monte, en vertu de la force vive dont elle est animée, dans le tuyau ascensionnel, qu'elle remplit complètement, et vient se déverser, par son orifice supérieur qu'on a eu soin d'évaser, dans un récipient annulaire, duquel partent des tuyaux de distribution. Au moment où le déversement cesse, la totalité de l'appareil, composé des tuyaux fixe et ascensionnel, se trouve remplie d'eau à l'état de repos, et comme l'orifice du tuyau ascensionnel est au-dessus du niveau de l'eau dans le bassin supérieur, il se produit une *oscillation en retour* du tuyau ascensionnel vers la source ou bassin supérieur.

» Si la hauteur et la capacité intérieure du tuyau ascensionnel sont convenablement proportionnées, l'oscillation en retour sera terminée, et la vitesse de la colonne d'eau redevenue nulle, au moment où la surface de l'eau sera arrivée, dans le tuyau ascensionnel, à peu près à la hauteur du niveau de l'eau dans le canal de décharge. A cet instant, le tuyau ascensionnel est soulevé de nouveau par l'action du contre-poids ; une nouvelle période de mouvement, entièrement semblable à la première, commence, et ainsi de suite indéfiniment.

» Pour mieux faire comprendre les circonstances et les causes du jeu régulier de la machine dont nous venons de donner une description générale, nous indiquerons les dimensions de la machine d'essai établie par M. de Caligny dans un jardin maraîcher des environs de Versailles, et que les membres de votre Section de Mécanique agricole ont vue fonctionner. Les produits de quelques petites sources sont retenus dans un bassin par une digue, au bas de laquelle est un fossé qui sert de canal de décharge. La hauteur des eaux dans le bassin au-dessus du canal est d'environ $0^m,70$. Un tuyau en zinc de $11^m,20$ de longueur et $0^m,20$ de diamètre intérieur, traverse la digue et reçoit l'eau du bassin par un orifice évasé, au devant duquel est placé un grillage grossier. Ce tuyau, couché horizontalement, ou avec une faible inclinaison, dans le fossé, se recourbe près du bout par un coude arrondi, de manière que l'axe ait la direction verticale ; son orifice d'écoulement se trouve à $0^m,35$ environ au-dessous du niveau de l'eau dans le fossé. Autour du bout relevé verticalement est un petit massif de maçonnerie, arasé horizontalement à la hauteur de l'orifice ; le rebord de cet orifice, formant le siège sur lequel vient s'appliquer le collet en forme de bride, fixé à la base du tuyau ascensionnel, est dans le plan supérieur de la maçonnerie. Le tuyau ascensionnel est également en zinc ; il a $2^m,13$ environ de longueur totale et un diamètre intérieur de $0^m,23$. Le diamètre de son orifice inférieur est $0^m,20$ comme celui de l'orifice du tuyau fixe sur lequel il doit s'appliquer exactement. A partir du bas est ménagé un évasement graduel qui porte le diamètre à $0^m,23$, ainsi que nous l'avons dit. Son orifice supérieur par lequel l'eau doit se déverser, est évasé. Sa partie centrale, dans le haut, est occupée par un cylindre plein et fixe, de $0^m,165$ de diamètre, terminé en pointe vers le bas, qui descend jusques un peu au-dessous du niveau de l'eau dans le bassin supérieur, c'est-à-dire d'environ $1^m,14$ dans l'intérieur du tuyau, et réduit la section de la colonne d'eau en mouvement, sur cette hauteur, à une surface annulaire de $0^m,165$ de diamètre intérieur et $0^m,23$ de diamètre extérieur. La limite supérieure de l'excursion du tuyau

mobile ascensionnel, ainsi que la quotité du contre-poids, peuvent être réglées à volonté. L'orifice inférieur est entouré, avons-nous dit, d'un collet qui doit s'appliquer exactement sur le siège formant rebord autour de l'orifice du tuyau fixe; ce collet lui-même se prolonge en une surface annulaire, convexe vers le bas et à bords retroussés, comme le seraient ceux d'un parapluie renversé. Le diamètre total de ce bord en surface courbe est de $0^m,45$.

» Lorsque la machine ne doit pas fonctionner, on arrête le balancier auquel sont impendus le tuyau mobile et le contre-poids, de manière à soulever ce dernier. Le tuyau mobile reposant alors sur son siège par l'effet de son propre poids, l'écoulement des eaux vers le canal de décharge est interrompu. Pour mettre la machine en jeu, il suffit de rendre la liberté au balancier et, au besoin, d'agir avec la main dans le même sens que le contre-poids, pour soulever le tuyau mobile. L'eau motrice sort alors par l'intervalle entre celui-ci et le tuyau fixe. Quand elle a pris une vitesse d'écoulement suffisante, le tuyau vertical, tiré vers le bas, descend en soulevant le contre-poids, s'applique sur son siège, et le fonctionnement est régulièrement établi.

» Dans l'expérience à laquelle nous avons assisté à Versailles, le jeudi 25 mars dernier, la hauteur de chute était de $0^m,677$; l'eau était élevée à $1^m,05$ au-dessus du niveau dans le bassin de retenue, et par conséquent à $1^m,727$ au-dessus du niveau dans le fossé servant de canal de décharge. Le rebord du tuyau fixe formant siège du tuyau mobile était de $0^m,376$ en contre-bas du niveau de l'eau dans le fossé; la levée du tuyau ascensionnel était limitée à $0^m,059$. Chaque période complète de mouvement de la machine durait régulièrement huit secondes, et fournissait un peu plus de 12 litres d'eau élevés à $1^m,05$ au-dessus de la source. Le tuyau ascensionnel restait appliqué sur son siège pendant quatre secondes, temps pendant lequel l'eau motrice n'allait point au canal de décharge. (D'après des observations postérieures qui ont été faites par M. de Caligny, en présence de plusieurs personnes, et qu'il nous a communiquées, la durée de l'élévation du tuyau ascensionnel est de $0^s,6$: il reste stationnaire au sommet de sa course pendant deux secondes, temps pendant lequel l'orifice d'écoulement vers le canal de décharge est complètement ouvert; enfin il emploie $1^s,4$ à redescendre.) Nous n'avions malheureusement aucun moyen de mesurer le volume d'eau dépensé à chaque période, et par conséquent nous ne saurions indiquer le rapport de l'effet utile au travail dépensé. Il est juste d'observer que la machine a été abandonnée, sans qu'on en ait pris soin, pendant tout l'hiver, qu'elle a pu subir quelques avaries, qu'il est assez probable que les garnitures des collets des tuyaux fixe et mobile ne sont point en bon état et ne procurent pas une occlusion parfaite. M. de Caligny déclare que, dans des expériences faites avant l'hiver, le volume d'eau élevé sous la même chute, à chaque période, était de 16 litres au lieu de 12, ainsi que nous l'avons trouvé. La diminution du produit serait la conséquence des avaries. Nous n'avons pu vérifier ces faits [*].

• Revenons maintenant sur les circonstances et les causes du jeu de la machine, et à

[*] J'ai voulu dire que j'avais trouvé un volume de 16 litres à chaque période, la chute motrice

cet effet considérons d'abord l'appareil au moment où le déversement vient de cesser à la partie supérieure du tuyau ascensionnel et où l'oscillation en retour vers la source va commencer. Il est aisé de reconnaître que, en raison des dimensions que M. de Caligny a données au vide intérieur du tuyau ascensionnel, cette oscillation en retour doit se terminer à très-peu près, lorsque la surface de l'eau, dans le tuyau vertical, est arrivée au niveau ou un peu au-dessous du niveau de l'eau dans le fossé de décharge. A ce moment, si le tuyau ascensionnel est exactement équilibré par le contre-poids, il doit commencer à se soulever; car il n'existe plus, dans son intérieur, une colonne d'eau qui, par sa pression sur la paroi évasée contiguë à son orifice inférieur, tende à le maintenir appliqué sur son siège. Il se lève lentement, puisqu'il emploie à peu près $\frac{6}{10}$ de seconde à parcourir $0^m,06$. Il reste stationnaire au sommet de son excursion pendant deux secondes; l'orifice d'écoulement est alors ouvert en plein; l'eau s'écoule au fossé de décharge avec une vitesse graduellement croissante (on peut s'assurer, par le calcul, que sa vitesse finale doit être à peu près de $1^m,146$ par seconde). Alors se manifestent les effets de cette force qui sollicite le tuyau ascensionnel vers le bas, et le détermine à descendre, force qui procure, en réalité, le jeu spontané de la machine, et donne à l'œuvre de M. de Caligny un caractère incontestable de nouveauté. Elle peut être due en partie à l'ascension de l'eau jaillissante du tuyau fixe dans le tuyau ascensionnel, qui presse, en vertu de son poids et du mouvement curviligne des filets, la paroi intérieure évasée contiguë à l'orifice; mais elle a aussi sa source dans l'action que l'eau, qui s'écoule dans le canal de décharge, exerce sur le rebord, en forme de parapluie renversé, adapté autour du collet inférieur du tuyau ascensionnel. L'influence de ce rebord a été constatée par les expériences directes de M. de Caligny. Il fait remarquer que le fait dont il s'agit a des analogues dans le phénomène de la diminution de pression sur les parties voisines des bords de la face antérieure d'un prisme exposé au choc d'une eau courante, qui a été observé par Du Buat, et dans celui de la pression dite *négative*, cause de l'augmentation de dépense par les ajutages coniques divergents. Quoi qu'il en soit des causes que nous ne voulons pas discuter ici, la force développée est progressivement croissante, ainsi que le prouve la lenteur avec laquelle le tuyau descend, en soulevant le contre-poids; il met $1^s,4$ à parcourir $0^m,06$. Cette lenteur est à la fois un avantage et un inconvénient: un avantage, parce qu'elle prévient des chocs destructeurs; un inconvénient, parce que l'eau, continuant à couler dans le canal de décharge par un orifice qui devient de plus en plus petit, prend une vitesse qui approche de plus en plus de celle qui est due à la charge totale de l'eau en amont de cet orifice. La chute de l'eau qui est sortie par un orifice rétréci contribue ainsi très-peu à augmenter la vitesse de la colonne contenue dans le tuyau et, par suite, est à peu près entièrement perdue pour l'effet utile. Il nous paraît donc certain que, si la descente du tuyau était rendue plus

étant un peu plus forte et la hauteur de versement un peu moindre qu'à l'époque dont parle M. Combes. La chute ordinaire, comme il le dit plus haut, était de $0^m,70$ quand j'avais opéré avant l'hiver.

(Note de l'Auteur.)

rapide comme elle le serait par la suppression momentanée, totale ou partielle, du contre-poids, l'effet utile de la machine serait sensiblement amélioré.

» M. de Caligny a construit, à l'aide d'un fonds peu considérable mis à sa disposition par M. le Ministre des Travaux publics, une machine d'essai de très-grande dimension semblable à celle de Versailles, et l'a appliquée à relever, dans le bief supérieur d'un canal, une partie de l'eau provenant de la vidange du sas. Les essais ont été faits près de Saint-Lô, sur la Vire canalisée. Le tuyau de conduite avait ici 17 mètres de longueur et 0^m,625 de diamètre; le diamètre du tuyau ascensionnel était de 0^m,73. Tous deux étaient en zinc. La machine a fonctionné régulièrement, sans choc nuisible. Les essais ont été interrompus par la saison rigoureuse.

» Les détails dans lesquels nous sommes entré mettent en évidence le caractère de nouveauté propre à la machine imaginée par M. de Caligny, et la simplicité extrême de sa construction, qui nous paraît surtout devoir lui mériter les suffrages de la Société d'Agriculture; ils montrent aussi les études et les expériences nombreuses, qui restent à faire à l'inventeur, pour déterminer les formes les plus avantageuses des diverses parties de sa machine, les conditions les plus favorables à son établissement sous diverses chutes et pour des élévations d'eau à des hauteurs plus ou moins considérables par rapport à la chute motrice, enfin le rapport du travail utilisé au travail dépensé dans chaque cas. Nous avons l'espérance qu'il complétera son œuvre, et nous vous proposons de lui décerner, à titre d'encouragement, votre médaille d'or à l'effigie d'Olivier de Serres, pour l'invention de la machine à élever l'eau, dont il a établi un spécimen, qui fonctionne régulièrement dans un jardin maraîcher, boulevard Saint-Antoine, 23, près Versailles, en lui réservant, d'ailleurs, tous ses droits pour l'avenir, aux récompenses d'un ordre plus élevé, dont la Société dispose. »

« Ces conclusions sont adoptées. »

Avant d'entrer dans de nouveaux détails, je crois utile de transcrire aussi le procès-verbal, d'ailleurs entièrement inédit, d'une expérience beaucoup plus en grand faite aux bassins de Chaillot.

NOTE DE M. COROT SUR DES EXPÉRIENCES FAITES PAR M. DE CALIGNY AUX BASSINS DE CHAILLOT SUR SA MACHINE ÉLÉVATOIRE A TURE OSCILLANT.

« Dans le courant de l'année 1852, M. de Caligny fit établir dans l'un des anciens bassins de Chaillot un appareil hydraulique de son invention. Cet appareil se composait d'abord d'une conduite ayant une longueur développée de 38 mètres et disposée en grande partie horizontalement sur le fond du bassin; la conduite était formée par des tuyaux en fonte de 0^m,60 de diamètre intérieur. L'une des extrémités de la conduite se relevait à angle droit et pénétrait verticalement dans le fond d'une cuve en bois de 3^m,10 de diamètre, et placée de manière à pouvoir être remplie à une hauteur d'environ 1^m,50 au-dessous du niveau d'un réservoir voisin du premier, et qui servait de bief supérieur pour l'alimentation de la machine; l'autre extrémité de la conduite se relevait également à angle droit jusqu'à un plancher horizontal en bois, établi dans le bassin, où était placée la conduite; au niveau de ce plancher une ron-

» Jelle en cuivre ajustée et de $0^m,57$ de diamètre était fixée sur la bride en fonte, terminant la partie verticale de la conduite de $0^m,60$ de diamètre. Sur la rondelle en cuivre reposait librement un tuyau également en cuivre, et portant à sa partie inférieure une rondelle pareille à celle qui était fixée sur la conduite en fonte; ce tuyau en cuivre s'évasait en remontant sur une longueur de $0^m,50$ et en passant d'un diamètre de $0^m,58$ à un diamètre de $0^m,78$; ce dernier diamètre était conservé sur une longueur de $1^m,90$, puis raccordé au moyen d'une partie conique de $0^m,30$ de longueur avec un tuyau d'un diamètre de $0^m,67$, persistant sur une longueur de $1^m,70$. Enfin, le tuyau qui avait 5 mètres de hauteur totale se terminait à sa partie supérieure par un entonnoir de $0^m,60$ de hauteur et de $0^m,88$ de diamètre à son extrémité la plus élevée; sur cet entonnoir était fixée une cuvette annulaire munie d'une goulotte, au moyen de laquelle l'eau remontant dans le tuyau vertical était versée dans un réservoir indépendant

» A la partie inférieure du tuyau vertical était fixé un cône en forme de parapluie renversé de $0^m,415$ de longueur suivant la génératrice et se relevant verticalement à la circonférence extérieure de $0^m,15$.

» Le tuyau vertical, reposant librement sur l'extrémité de la conduite en fonte avec laquelle il faisait joint par le moyen des rondelles en cuivre, pouvait être soulevé par l'intermédiaire d'un balancier à l'un des bouts duquel il était fixé et qui portait au bout opposé un contre-poids équilibrant et au delà le poids du tuyau.

» Pour mettre l'appareil en mouvement, il fallait commencer à soulever à la main le tuyau vertical en agissant sur l'extrémité du levier indiqué précédemment; l'eau alors se mettait à couler en vertu de la charge motrice entre l'extrémité de la conduite en fonte et le bout du tuyau mobile soulevé. Après le temps nécessaire pour que la veine sortante atteignît la vitesse convenable, on laissait retomber le tuyau mobile sur le tuyau fixe; l'intervalle se fermait; l'écoulement s'arrêtait, et l'eau, en vertu de la vitesse acquise, s'élevait dans le tuyau vertical, de manière à déverser par-dessus les bords de l'orifice supérieur. Puis, la vitesse d'ascension venant à cesser, la masse d'eau contenue dans le tuyau mobile refluit par la conduite en fonte vers le bief supérieur. Dès que le tuyau mobile était convenablement évacué par l'eau, c'est-à-dire quand le niveau dans ce tuyau était devenu inférieur au point où commence le renflement, le contre-poids placé à l'extrémité du balancier, et qui était plus lourd que le poids du tuyau vide, faisait remonter ce tuyau, et l'ouverture annulaire au-dessus de la conduite en fonte se trouvait de nouveau démasquée; l'écoulement recommençait, et quand une certaine vitesse était atteinte, un phénomène de succion, dû probablement à l'augmentation de vitesse de la veine fluide, s'échappant entre les surfaces du parapluie renversé et du plancher, déterminait une attraction de haut en bas, qui devenait supérieure à l'excédant du contre-poids, et précipitait le tuyau mobile sur l'orifice de la conduite en fonte. Le tuyau mobile, quand le mouvement de retour de la colonne liquide précédemment indiqué avait eu lieu, était de nouveau soulevé par le contre-poids, et ses alternatives de montée et de descente se produisaient d'elles-mêmes et régulièrement.

» Dans le courant de l'année 1853, une expérience eut lieu en présence de M. Dupuit, alors ingénieur en chef, directeur du service municipal de la ville de Paris; de MM. Piobert, Combes et Cagniard de Latour, membres de l'Institut; de M. Guichard, inspecteur général; de M. Bélanger, ingénieur en chef des Ponts et Chaussées, et de M. Corot, ingénieur civil. L'expérience fut prolongée pendant une heure; la chute moyenne, conservée sans variation trop notable, était de $1^m,74$ entre le niveau moyen dans la cuve de prise d'eau et le niveau du bief d'aval; la hauteur ascensionnelle était de $2^m,72$ entre le point de versement à la partie supérieure du tuyau mobile et le niveau dans la cuve de prise d'eau; la quantité d'eau élevée fut de 85 mètres cubes et la quantité d'eau dépensée fut de 355 mètres cubes, d'où résulterait un effet utile de $0,34$ [*] du travail moteur en eau élevée.

» Il convient d'ajouter qu'indépendamment de l'imperfection inséparable de l'installation d'un appareil d'essai, deux circonstances surtout ont dû amoindrir le résultat utile. D'abord le versement, par la partie supérieure du tuyau mobile, avait lieu précisément pendant la période d'abaissement du niveau dans la cuve, et comme l'abaissement total était d'environ $0^m,44$, il aurait probablement été convenable d'augmenter la hauteur de versement de la moitié de l'abaissement dans la cuve, soit de $0,22$, et cette hauteur aurait été de $2,94$, au lieu de $2,72$.

» Puis il n'a pas été possible d'obtenir le volume d'eau sur lequel on avait cru pouvoir compter. Il en est résulté que les organes de l'appareil avaient des dimensions trop considérables; il a fallu, pour y remédier autant que possible, insérer dans le tuyau mobile une pièce de bois destinée à diminuer sa section libre. Il est infiniment probable qu'il en est résulté un trouble préjudiciable pour le rendement.

» Paris le 27 mai 1858. *Signé* J. COROT, ingénieur civil, ex-inspecteur des machines du service municipal de la ville de Paris.

» Vu et approuvé par le soussigné, ancien directeur du service municipal. Paris, le 28 mai 1858. *Signé* DUPUIT.

» Je certifie que j'ai assisté à l'expérience dont les résultats sont rapportés dans cette Note et qu'elle contient un exposé exact des faits observés. *Signé* CH. COMBES. »

Observations sur ce procès-verbal et sur quelques autres expériences.

En général, quand le bassin servant de bief d'amont n'a pas assez d'étendue pour que le niveau ne soit pas assez sensiblement constant, il faut tenir compte de ce que, pour tous les appareils de ce genre, c'est-à-dire seulement pour ceux où la force vive s'emmagasine dans une colonne liquide d'une manière analogue à ce qui se passe dans le bélier hydraulique avant la fermeture de la soupape d'arrêt, la vitesse dans cette colonne

[*] Il y a une légère faute de transcription dans un chiffre de l'effet utile qui est, d'après les données admises, de $0,37$ au lieu de $0,34$. On trouve en effet $2,72 \times 85 = 231,20$ et $355 \times 1,74 = 617,70$. L'effet utile est donc, d'après les données admises dans le procès-verbal, de $0,37$ plus une fraction. Un 4 a été mis au lieu d'un 7 dans la copie. (Note de l'Auteur.)

liquide augmentant de plus en plus, il se débite plus d'eau, pour qu'une vitesse donnée soit obtenue, à l'époque où le niveau est baissé dans cette espèce de bief d'amont qu'à l'époque où il y est le plus élevé. Il en résulte que la véritable moyenne des hauteurs d'où l'eau motrice descend est moindre que la moyenne des hauteurs du niveau dans ce bief d'amont au-dessus du niveau d'aval, depuis l'origine du mouvement jusqu'à l'époque où la vitesse de sortie au bief d'aval est arrivée à son maximum.

Connaissant à peu près la manière dont la vitesse de sortie de l'amont à l'aval varie à chaque instant, il est aisé d'en conclure approximativement la hauteur véritable d'où le centre de gravité de l'eau motrice descend au bief d'aval.

Quand le niveau de ce dernier bief n'est pas non plus constant, il est juste aussi de tenir compte de ce que cela influe sur la véritable hauteur de chute comparée à ce qu'elle serait si ce bief était indéfini. Si la chute diminue, il faut à chaque période plus d'eau pour engendrer une vitesse donnée, et il en résulte que la chute motrice moyenne est moindre que la moyenne entre les hauteurs du niveau d'amont, supposé indéfini, au-dessus du niveau d'aval.

Quant à l'expérience précédente, si ces considérations ont peu d'importance, elles viennent cependant à l'appui de ce que dit M. Corot, que, dans le calcul de l'effet utile, on devrait admettre, par suite des variations de niveau, une notable augmentation dans le chiffre du résultat définitif tel qu'il le donne. Or, comme je l'ai démontré en note par un calcul d'arithmétique, il y a une légère faute de transcription, de sorte qu'on peut admettre en nombre rond d'après le procès-verbal, un effet utile d'au moins 40 pour 100 en eau élevée, dans l'expérience dont il s'agit. On approcherait même beaucoup de ce chiffre quand même cette faute de transcription n'existerait pas.

Ainsi que le remarque M. Corot, la pièce de bois fixe destinée à rétrécir la section du tuyau vertical était une cause de perte de travail, en ce sens qu'elle n'avait pas été unie et taillée avec assez de soin, étant formée en partie de planches clouées sur un arbre de section quadrangulaire de 0^m,30 sur 0^m,285. Elle s'enfonçait d'ailleurs trop profondément dans le coude, où le diamètre de la partie inférieure arrondie en pointe était encore de 0^m,14 à la hauteur de l'orifice de sortie. La partie de cette pièce de bois qui s'élevait au-dessus du niveau d'amont avait une section octogone de 0^m,46 de diamètre prise entre deux faces parallèles; cette partie avait 2^m,80 de long, elle s'élevait au-dessus du tuyau et se raccordait d'ailleurs supérieurement et inférieurement avec l'arbre de section rectangulaire.

Cette pièce de bois avait pour but de diminuer le chemin parcouru par les résistances passives dans la conduite pendant toute l'époque où le tuyau mobile était baissé. Cependant elle n'a pas sensiblement augmenté l'effet utile en général, mais c'est bien moins, selon moi, à cause des irrégularités remarquées par M. Corot que par suite de la diminution de durée qui en est résultée pour chaque période; de sorte que dans un même temps donné le tuyau mobile a fonctionné un plus grand nombre de fois, en restant d'ailleurs moins longtemps levé à sa hauteur maximum. La durée de chaque période était de dix-sept secondes et demie sans la pièce de bois fixe et de quatorze secondes et demie avec cette pièce de bois, les quantités d'eau débitées étant sensiblement les mêmes. Or si

à chaque période l'appareil a été obligé de débiter moins d'eau pour en débiter la même quantité dans un temps donné, et si cette diminution de débit a compensé relativement à l'effet utile l'avantage, facile à calculer malgré les rétrécissements, de diminuer le travail en résistances passives provenant du frottement, cela prouve que, si l'on avait eu assez d'eau pour en débiter autant à chaque période que dans le cas où la pièce de bois était supprimée, on aurait eu une augmentation d'effet utile.

A la fin des expériences, quand les besoins du service ont obligé de reprendre les tuyaux qui m'avaient été prêtés, je me suis aperçu trop tard d'un moyen, d'ailleurs très-fatigant, d'en faire l'essai; je laissais à chaque période baisser beaucoup plus l'eau dans la cuve d'amont, et j'obtenais ainsi quelques périodes débitant beaucoup plus d'eau: j'ai cru trouver de cette manière une augmentation notable *d'effet utile*, mais je n'ai pu répéter assez les essais auxquels je ne crois jamais quand je ne les ai pas reproduits un certain nombre de fois. On conçoit d'ailleurs que la baisse du niveau d'amont qui en résultait changeait les conditions du système.

Il est facile de démontrer, en faisant le calcul des résistances passives, qu'on devrait augmenter notablement l'effet utile en augmentant convenablement la quantité d'eau motrice. La comparaison des effets obtenus avec ou sans la pièce de bois fixe est déjà un premier moyen de vérification positive. Parmi les imperfections de ce grand modèle, je remarquerai que le tuyau mobile n'était guidé au sommet que par des chaînes de suspension; de sorte qu'il se balançait un peu comme un arbre agité par le vent et perdait de l'eau entre lui et son siège fixe, par cette raison qui s'est retrouvée dans tous les modèles décrits dans cette Note, parce qu'on voulait les faire rustiques. Cet inconvénient est supprimé dans le grand modèle où le tuyau fixe a 1 mètre de diamètre. Quant à cette expérience, il faut aussi remarquer que par économie on avait attaché au tuyau mobile le vase annulaire qui recevait l'eau élevée, laquelle ne s'échappait que par une goulotte, en faisant un peu trop gonfler l'eau au sommet. Enfin cette pièce augmentait la masse du tuyau mobile. On a remarqué à la fin des expériences que l'angle de convergence du *parapluie renversé* s'était sensiblement ouvert, n'étant pas assez solidement construit, ce qui peut avoir diminué l'effet utile.

J'ai fait aux bassins de Chaillot des expériences variées sur ce système, le tuyau fixe ayant 60 centimètres de diamètre intérieur, la chute variant de 2^m,50 à 1 mètre, et le tuyau vertical mobile ayant toujours 5 mètres de haut. Cette machine a fonctionné régulièrement dans diverses conditions. Ce genre d'appareil a marché, sans s'arrêter, le niveau baissant en amont et montant en aval dans des limites très-étendues. Mais comme l'oscillation en retour doit descendre assez bas pour que le tuyau mobile se soulève de lui-même, il ne faut pas que le niveau en amont s'élève au-dessus d'une certaine limite pour chaque appareil. Je reviendrai plus loin sur ce sujet. Quant à l'effet utile, il était notablement diminué à Chaillot, lorsque la chute motrice n'était plus que de 1 mètre. Les conditions étaient d'ailleurs alors changées, même relativement à une oscillation en retour, devenue trop forte par rapport à cette chute.

Mais la nouvelle pompe à feu de Chaillot n'ayant pas été construite, comme on l'avait espéré, avant l'époque où l'on a eu besoin, pour le service des eaux de Paris,

des gros tuyaux de conduite qui m'avaient été prêtés, la quantité d'eau élevée par l'ancienne pompe à feu aux bassins de Chaillot n'a pas été suffisante pour étudier complètement le système (*voir ci après la note des p. 194 et 195.*)

Au reste, quand même pour ces dimensions on n'aurait qu'un effet utile en *eau élevée* d'environ 40 pour 100, ce résultat serait encore assez intéressant pour être signalé, à cause de la simplicité de ce grand appareil.

J'ai pris le parti de recommencer à Versailles, au bassin de Picardie, avec un tuyau de conduite de 25 centimètres de diamètre et de 30 mètres de long, etc. J'ai constaté qu'en modifiant convenablement la longueur du tuyau de conduite et proportionnant mieux la quantité d'eau motrice aux dimensions de l'appareil, on augmentait notablement l'effet utile, l'orifice se fermait plus vite et restait plus longtemps tout ouvert.

Je n'entre pas encore dans les détails, espérant obtenir mieux dans une autre localité où je pourrai varier davantage les quantités d'eau motrice. Mais je n'ai pas cru devoir attendre de nouvelles expériences avant d'annoncer que j'ai observé une augmentation notable d'effet utile, quoique ce fût sur une *chute moindre que 40 centimètres, en élevant l'eau au quadruple de la chute au-dessus du bief d'aval*. Cette augmentation de hauteur a été obtenue au moyen d'un renflement du tuyau mobile dans la partie inférieure au niveau du bief d'amont, et par le rétrécissement de la section de la partie supérieure de ce tuyau au moyen du cylindre fixe, qui donnait lieu, il est vrai, à une augmentation de frottement dans l'espace annulaire resté libre entre ce cylindre et ce tuyau. C'est une des raisons pour lesquelles il est utile que le tuyau fixe horizontal soit assez long quand on veut élever l'eau assez haut par rapport à la chute motrice, selon la théorie exposée dans mes précédents Mémoires [*].

Pour les grandes chutes, l'utilité de l'application de ce nouveau système n'est pas encore aussi incontestable, à cause des dimensions qu'il faudrait lui donner, ce qui diminuerait les avantages de sa simplicité; tandis que pour les petites chutes auxquelles on n'appliquait pas le bélier, il peut être construit en matériaux très-peu résistants, puisqu'il n'y a aucun *coup de bélier* possible. Ainsi un appareil dont le tuyau fixe avait 60 centimètres de diamètre et 13 mètres de long a été essayé avec des tuyaux quadrangulaires formés tout simplement de planches en bois blanc, et a fonctionné jour et nuit. La chute a varié de 50 à 8 centimètres, l'eau étant élevée à 1^m,50 au-dessus du niveau du bief d'aval. J'ai fait marcher l'appareil régulièrement avec une chute de 8 centi-

[*] La tête de l'appareil était, avec quelques modifications, la même que celle sur laquelle M. Combes avait fait des observations à Versailles, mais on avait de plus un moyen de jaugeage, celui précisément qui était employé à ce bassin par l'administration des eaux de Versailles pour jauger l'eau amenée par la machine de Marly jusqu'en 1855. Pour 52 pouces d'eau débitée, et une levée de 0^m,13 environ, la période durant quinze secondes, le tube mobile était entièrement levé pendant six secondes, entièrement baissé pendant six secondes; il se levait en deux secondes, se baissait en une seconde. Le rétrécissement de la section annulaire diminue le chemin du frottement dans le tuyau horizontal, la durée de l'oscillation en retour et celle de l'ascension. Le temps perdu étant moindre, la vitesse moyenne est diminuée dans ce tuyau, et la perte de travail étant moindre, dans certaines limites on peut élever l'eau plus haut avec un meilleur effet utile.

mètres, mais ce n'est pas moi-même qui, pour cette limite, ai constaté le versement au sommet : ce versement était d'ailleurs peu important ; mais pour une chute de 0^m,40 il était de 600 litres au moins à chaque minute.

Parmi les applications dont ce système est susceptible, exclusivement à d'autres, j'ai déjà signalé ci-dessus le cas où l'on vide une écluse de navigation, en relevant une partie de l'eau au bief supérieur, en rappelant que l'Administration des Ponts et Chaussées en a fait en 1851 un essai provisoire satisfaisant. Pour se rendre compte de la difficulté, il faut se rappeler que l'opération doit se faire très-vite, et que l'appareil doit marcher malgré la variation des hauteurs du niveau dans l'écluse qui se vide, ce qui n'a pas empêché d'obtenir une marche régulière, la quantité d'eau motrice descendue à chaque période pouvant alors varier en sens contraire de ces hauteurs. Le grand tuyau fixe de cet appareil, mentionné dans le Rapport de M. Combes, n'était cependant formé, pour cette expérience, que de feuilles de zinc n° 23, c'est-à-dire d'environ 2 millimètres d'épaisseur.

Ce système peut être appliqué comme moteur hydraulique lorsque, au lieu de l'employer à élever l'eau, on l'emploie à relever alternativement un flotteur qui agit en redescendant sur une résistance à vaincre. Un autre moteur hydraulique de mon invention à flotteur oscillant, a été l'objet de deux Rapports favorables à l'Institut (*voir* le t. XII de ce Journal, p. 347).

Le jury international de l'Exposition universelle de 1855 a fait faire au Conservatoire des Arts et Métiers des expériences sur un modèle très-imparfait de cet appareil, considéré seulement comme élévatoire, ayant un tuyau de conduite de 0^m,25 de diamètre intérieur, mais d'une longueur un peu moindre qu'au bassin de Picardie ; j'avais d'ailleurs, pour varier l'étude, fait quelques modifications qu'on n'eut pas le temps d'étudier. Ce fut pour cet appareil que la médaille de première classe me fut décernée.

On lit dans le Rapport : « M. de Caligny (n° 911), , a exposé un appareil » hydraulique du genre des béliers, *mais dans lequel il ne se produit pas de choc apparent* et dont la construction simple et peu dispendieuse permet de l'appliquer aux » besoins de l'agriculture. Des expériences faites au Conservatoire des Arts et Métiers » ont constaté que cet appareil donnait un rendement de 43 pour 100 du travail du » moteur dépensé... » [*]

[*] Je n'ai pas le procès-verbal du jury, mais j'avais fait sur le même appareil une expérience qui en diffère très-peu. M. Andral, ingénieur en chef des Ponts et Chaussées, avait la bonté d'observer le niveau d'amont, tandis que M. Courbebaisse, aujourd'hui ingénieur en chef des Ponts et Chaussées, qui voulut bien aussi m'aider, observait les mouvements du tuyau mobile, et comptait le nombre de périodes, qui fut de soixante en dix minutes. La chute motrice moyenne était de 0^m,515, la hauteur du versement au-dessus du niveau moyen du bief d'amont était de 0^m,875. L'appareil débitait 4 mètres cubes d'eau en dix minutes. La quantité d'eau tombée au bief d'aval était sensiblement le quadruple de celle qui était élevée. Chaque période durant dix secondes, la durée du temps où le tuyau était sur son siège était d'un peu plus de quatre secondes. Il était intéressant surtout de connaître quelle était *pendant ce temps* la quantité d'eau inutilement descendue au bief d'aval par les fissures. J'ai arrêté complètement l'appareil, et, pendant six minutes, la quantité d'eau perdue a été d'un peu

Je crois devoir faire remarquer que dans l'appréciation de ce rendement, on n'a pas tenu compte, le considérant, ainsi qu'on le verra plus loin, comme ne résultant pas d'une installation définitive, de ce que le tuyau de conduite, posé dans une localité où se faisaient beaucoup d'autres expériences, avait été très-endommagé, ayant non-seulement des fissures, mais ayant été écrasé à plusieurs places, ce qui donnait lieu à des étranglements, etc., je discute en note l'effet utile réel d'au moins 50 pour 100.

Quant au passage du Rapport relatif à la variation des niveaux en amont et au *trop-plein* par conséquent, M. le général Morin m'a autorisé à publier une lettre qu'il m'a fait l'honneur de m'écrire, le 5 février 1859, et dans laquelle il dit : « Vos souvenirs » à l'égard des expériences faites au Conservatoire impérial des Arts et Métiers, en » 1855, sont parfaitement exacts; le niveau pouvait s'abaisser dans le bassin alimentaire de votre machine sans en interrompre le jeu, mais il ne pouvait s'élever au delà » d'une certaine limite sans faire cesser complètement la marche de l'appareil; cet » inconvénient se serait, sans aucun doute, moins facilement manifesté, si, comme on » devrait le faire dans une installation définitive, la section du bassin alimentaire » avait été plus grande. » Le bassin d'aval était aussi trop petit, il y avait gonflement.

M. Combes a expliqué, dans son Rapport à la Société centrale d'Agriculture, en quoi consiste seulement la ressemblance de cet appareil avec le béliet hydraulique. Depuis cette époque, M. le général Poncelet m'a conseillé de donner à toute cette classe d'appa-

plus du quart de celle qui serait descendue au bief d'aval si la machine avait marché le même temps. Pendant que le tuyau est sur son siège, on peut conclure que la quantité d'eau perdue est d'au moins un dixième de celle qui descend au bief d'aval à chaque période. Il serait utile d'apprécier aussi celle qui se perd pendant la levée du tuyau. On trouve qu'elle ne doit pas être bien moindre que la précédente, en supposant les fissures égales et assez régulièrement disposées; elle dure plus longtemps, sous des pressions variées. Enfin ces considérations, en donnant d'ailleurs une idée de la manière de discuter les résultats, montrent que l'effet utile ne peut pas être inférieur à 50 pour 100 en eau élevée, surtout si l'on tenait compte de la manière d'apprécier les effets de variation régulière des niveaux, qui étaient de 0^m,06 en amont et de 0^m,03 en aval, cela réduit la chute moyenne (*prise d'abord sans tenir compte du gonflement en aval*) à 0^m,50 et porte l'élevation à 0^m,90 en nombres ronds. Je dois dire que lorsqu'on essaya de diminuer considérablement la longueur du tuyau fixe, on diminua beaucoup l'effet utile, même en augmentant la quantité d'eau motrice. Je regrette qu'on ne m'ait pas laissé le temps d'étudier convenablement les effets de cette quantité, surtout avant que la longueur du tuyau fût diminuée, ayant cru dans un des essais avoir trouvé une augmentation essentielle d'effet utile au moyen d'une plus grande quantité d'eau motrice qui augmente d'ailleurs les avantages pratiques de l'appareil. Dans l'expérience précitée, la hauteur de la levée du tuyau mobile était seulement de 7 centimètres; c'était avec une levée plus grande que j'avais cru trouver l'avantage dont il s'agit en débitant plus d'eau. Mais n'ayant pu vérifier cette expérience, je ne donne pas les chiffres. Dans ces expériences, l'orifice d'aval avait le même diamètre que le tuyau de conduite fixe. Au bassin de Picardie, cette extrémité n'avait que 20 centimètres de diamètre, parce que j'avais employé la tête de machine dont parle le Rapport de M. Combes. Ce n'est pas seulement parce qu'il est officiel que j'attache de l'importance au résultat provisoire obtenu par le jury au Conservatoire des Arts et Métiers en 1855. Il vient à l'appui des expériences beaucoup plus répétées que j'avais faites à Versailles en 1854. Il est très-important de remarquer que, si ensuite la diminution de longueur du tuyau fixe a diminué l'effet utile, il est bien probable qu'une augmentation de la longueur de ce tuyau aurait augmenté cet effet utile.

reils nouveaux le nom d'*antibéliers hydrauliques*, pour les distinguer des béliers de Montgolfier, qui ne pouvaient fonctionner sans choc brusque, les béliers aspirateurs eux-mêmes n'en étant pas exempts; chacun de mes appareils diffère d'ailleurs peut-être plus du précédent que le bélier hydraulique de Montgolfier ne diffère de celui de Witehurst, publié dans les Transactions de la Société Royale de Londres, en 1775, date antérieure de plus de vingt ans à l'époque où Montgolfier avoue lui-même, dans son brevet d'invention, qu'il a pensé pour la première fois à cette machine.

Je dois faire observer que mes appareils essayés très en grand peuvent aussi marcher *régulièrement* très en petit: ce qui permet d'utiliser des chutes aujourd'hui perdues, et qui, par leur nombre, ont beaucoup plus d'importance que quelques chutes puissantes sur lesquelles, au premier aperçu, les applications seraient plus remarquées, quoique moins réellement utiles.

C'est surtout la possibilité de supprimer, dans plusieurs de mes appareils, toute espèce de balanciers et de soupapes, qui a permis de les construire même très en petit, d'une manière on ne peut plus *rustique*. Or cela était peut-être plus difficile à réaliser que pour les grandes machines. J'ai réduit l'appareil à n'avoir d'autre pièce mobile qu'un tube oscillant attaché à un flotteur annulaire ne formant qu'une seule pièce avec lui et qui le relève alternativement, lorsque, après le versement de l'eau au sommet, une oscillation en retour est descendue assez bas pour que l'eau qui pressait à l'intérieur un anneau inférieur d'un diamètre moindre que celui du reste de ce tube, permette à celui-ci d'être ainsi relevé pour redescendre ensuite en vertu des phénomènes précités de succion à contre-courant.

J'ai à Versailles un modèle fonctionnant, *très-rustique*, de cette disposition, quoique je sois parvenu à lui donner des dimensions très-petites [*]. Dans le cas où il resterait le moindre doute sur la marche de *jour* et de *nuit* de mes appareils, en apparence les plus délicats, je le tiens à la disposition du Conservatoire des Arts et Métiers; je préviens seulement, à cause de la difficulté quelconque résultant des ajustages de petites pièces et de la différence qui en résulte dans le rapport des sections, etc., que l'effet utile sera moindre que pour de plus grandes dimensions (ce qui peut provenir d'ailleurs en partie de ce que l'étude n'en est pas complétée), sans descendre au-dessous de celui de plusieurs grandes machines en usage. Les phénomènes des résistances passives dans les petites vitesses suffiraient seules pour expliquer une diminution sensible d'effet utile. Ces phénomènes s'opposent même à ce qu'on donne au tuyau de conduite fixe le rapport de la longueur à la chute motrice qui conviendrait le mieux à l'effet utile pour de plus grandes dimensions. J'avais espéré pouvoir exagérer la longueur du tuyau de conduite fixe; je me suis aperçu qu'il fallait au contraire la réduire dans ce cas. Or

[*] Le diamètre a pu être réduit jusqu'à moins de 0^m,05, et pourrait, je crois, être encore diminué de plus de moitié; mais, pour qu'on puisse avoir un effet utile convenable, il faut alors qu'on ait à utiliser une chute très-petite. Si la chute était un peu grande, il est facile de prévoir la perte qui résulterait du frottement. Celles que j'ai employées pour ce petit diamètre ne dépassaient pas 0^m,18. Le tube mobile a un diamètre de 0^m,09, le cylindre fixe a un diamètre de 0^m,07.

je ne saurais trop répéter que, dans des limites très-étendues, la longueur du tuyau de conduite fixe est très-importante pour augmenter l'effet utile.

Dans les expériences plus en grand faites jusqu'à ce jour, toutes les fois que j'ai pu augmenter la longueur du tuyau fixe, j'ai augmenté l'effet utile obtenu. Enfin on peut compter, en attendant mieux, que, *pour ces diamètres très-petits*, l'effet utile en *eau élevée* ne sera pas moindre qu'un tiers environ du travail dépensé.

Comme on le verra plus loin, il est important de pouvoir, dans certaines limites, augmenter la levée du tuyau mobile pour diminuer la perte de force vive à la sortie de l'eau. J'étudie en ce moment les moyens d'employer à cet effet la vitesse acquise du tuyau mobile.

Quand il y a un balancier, je forme le contre-poids, par exemple, d'une chaîne analogue à celle du pont-levis de M. le général Poncelet. Il en résulte que le tuyau mobile peut se lever plus haut, et qu'au commencement de sa descente une succion moins forte suffit; et comme la force de succion augmente à mesure que ce tuyau s'approche de son siège fixe, cette disposition semble très-rationnelle. J'ai obtenu un effet semblable en suspendant un flotteur pouvant plonger en tout ou en partie à l'époque convenable. Enfin si l'on emploie un flotteur au lieu d'un balancier comme ci-dessus, on peut aussi profiter de la vitesse acquise du tuyau mobile. Dans l'un et l'autre cas, il y a lieu d'examiner si, en compliquant un peu l'appareil, on n'augmentera pas l'effet utile au moyen d'un encliquetage qu'il suffira de faire lâcher aux époques où cela sera utile, quand on voudra que le tuyau retombe. Mais cela sera un peu moins simple que l'appareil tel que je l'ai d'abord exécuté, et dans beaucoup de cas, pour les besoins de l'agriculture, etc., il s'agira bien moins d'augmenter l'effet utile que d'avoir un moyen extrêmement simple d'employer de petits cours d'eau perdus. Pour les petites machines, le flotteur est préférable au balancier, qui paraît plus rationnel pour les grandes.

PRINCIPE D'UN RÉGULATEUR DU NIVEAU D'AMONT ET D'UN NOUVEAU BARRAGE MOBILE.

Plusieurs des appareils que j'ai présentés reposent sur divers principes de succion combinés en général de manière à faire fonctionner une pièce mobile, quand la vitesse acquise dans un tuyau fixe atteint une certaine limite. Il en résulte que si le niveau du bief d'amont baisse, ces appareils peuvent en général continuer de marcher, pourvu que la quantité d'eau motrice qui y passe à chaque période puisse varier en sens contraire de la chute, jusqu'à ce que celle-ci soit assez diminuée pour que la vitesse alternative nécessaire à leur jeu ne puisse plus être acquise. Mais quand les biefs d'amont ont peu d'étendue, on conçoit qu'une diminution du cours d'eau motrice obligerait bientôt ces machines de s'arrêter, ainsi que cela arrive d'ailleurs en pareil cas à beaucoup d'appareils connus, qui semblaient au reste devoir conserver sur elles l'avantage spécial de pouvoir continuer à marcher quand le niveau d'amont s'élève, tandis que ces machines nouvelles s'arrêtent en général quand il n'y a pas de trop-plein à une certaine hauteur, parce qu'il y a un mouvement de retour qui ne peut plus se faire dans ce cas sans une régulation d'une espèce particulière (*voir* p. 179 et 195).

J'ai indiqué ci-dessus un moyen de remplacer dans plusieurs de mes appareils les balanciers à contre-poids par des flotteurs plongeant dans l'un ou l'autre bief sans addition de pièce mobile. Abstraction faite de l'avantage qui en est résulté pour diminuer l'inertie du système, ces flotteurs ont une propriété nouvelle provenant de la manière dont ils peuvent être combinés avec la levée de la pièce mobile qui livre passage à l'eau motrice, quand ils sont soulevés en vertu d'une oscillation en retour.

Comme exemple d'application de cette espèce de régulateur, je considérerai seulement ici l'appareil à tube oscillant, qui peut être sans autre pièce mobile, dont j'ai donné la description dans cette Note.

Je suppose que son balancier à contre-poids soit remplacé par un flotteur annulaire, lié au tube mobile et plongeant alternativement dans l'eau du bief supérieur ou dans une capacité en communication avec ce bief. Si le niveau d'amont s'élève, l'oscillation redescend moins bas dans ce tube; mais le flotteur tend à être relevé par l'eau d'amont avec une force qui, dans certaines limites, fait compensation quant au soulèvement.

Si la quantité d'eau motrice diminue un peu, le niveau du bief d'amont tend à descendre; mais, par cette raison même, le flotteur qui soulève alternativement le tube ne peut plus monter aussi haut. Le passage de l'eau motrice est *diminué*, et, en vertu de la nature du phénomène de succion, il n'est plus nécessaire qu'il passe autant d'eau à chaque période pour que le tube mobile retombe sur son siège.

Si au contraire la quantité d'eau motrice augmente, le flotteur se levant plus haut ainsi que le tube auquel il est attaché, il passe d'autant plus d'eau à chaque période que la levée est plus grande. Enfin au delà d'une certaine ouverture la succion ne se faisant plus d'une manière convenable, ce tuyau mobile reste levé. Dans le cas contraire, au delà d'une certaine baisse du niveau d'amont, ce tuyau ne peut plus se lever ou ne se lève que par une succession de vibrations, d'ailleurs assez curieuses, mais ne débitant que très-peu d'eau. Cet appareil peut donc être considéré comme une sorte de *barrage mobile*, permettant à la surface de l'eau d'amont d'osciller entre certaines limites sans qu'il s'arrête. Il peut être disposé de manière que dans des conditions convenables la percussion du moindre filet d'eau le fasse ouvrir en vertu de ces vibrations, de manière à utiliser les moindres quantités d'eau en les employant seulement par intervalles ou, si l'on peut s'exprimer ainsi, *par écluses*.

Ce qui précède suppose que le bief d'aval ne varie pas bien sensiblement: c'est en effet ce qui arrive en général sur de très-petits cours d'eau utilisés seulement pour les irrigations. Quand le niveau d'aval varie, la question devient moins simple; mais ordinairement quand il s'élève, celui d'amont s'élève aussi et la chute diminue. Dans ce cas, le régulateur peut agir d'après le même principe que ci-dessus. On conçoit d'ailleurs qu'il peut être utile que le flotteur soit divisé en deux, dont un fonctionne dans le bief supérieur et l'autre dans le bief inférieur. Celui du bief inférieur offre l'inconvénient d'exiger un peu plus de profondeur dans les fondations, celui du bief supérieur d'exiger en général la construction d'une capacité annulaire, pour laisser passer le tuyau mobile, soutenue à la hauteur convenable et mise en communication avec le bief d'amont. Je n'entre pas ici dans le détail de la construction du flotteur dans ce cas

et de cette capacité, voulant seulement indiquer un principe applicable d'ailleurs à d'autres systèmes de mon invention [*].

EXPÉRIENCES ET OBSERVATIONS SUR LES NOUVEAUX PHÉNOMÈNES DE SUCCION ET D'ÉCOULEMENT
APPLIQUÉS DANS CET APPAREIL. — UTILITÉ DE CES OBSERVATIONS POUR L'EMPLOI DU
MOUVEMENT DES VAGUES ET L'EXPLICATION DE PHÉNOMÈNES DIVERS.

MM. Thenard, Clément Desormes et Hachette ont signalé un phénomène de succion qui, dans certaines circonstances exceptionnelles, fait marcher à contre-courant des plaques *beaucoup plus larges* que les orifices des vases devant lesquels elles sont disposées, *les lames liquides étant très-minces*. On sait combien cet ordre de phénomènes a embarrassé les constructeurs, qui étaient loin de se douter qu'on en pourrait tirer parti. Le phénomène de succion dont il s'agit en diffère d'une manière essentielle, comme on le verra plus loin, par divers détails.

Il est juste de rappeler d'abord une expérience de Du Buat, qui a été contestée, l'effet des manomètres pouvant dépendre de la communication latérale du mouvement des liquides. Il avait conclu d'observations faites, au moyen de manomètres, sur les divers points de la face antérieure d'un prisme plongé dans un courant d'eau, qu'il y avait une véritable succion à une certaine distance du pourtour de cette face. Quelle que puisse en être la cause, si l'on obligeait les filets liquides à prendre des directions analogues à celles qu'ils prennent autour de ce prisme, tout en supprimant la partie solide centrale de ce prisme, de manière à ne conserver que l'anneau sur lequel Du Buat prétend avoir observé une succion, cette succion, *si elle était bien réelle*, ce qui paraissait douteux, doit faire avancer cet anneau à contre-courant. C'est ce qui est arrivé lorsque j'ai présenté le tuyau vertical au-dessus du tuyau de conduite fixe, recourbé verticalement, dont l'eau a été obligée

[*] Parmi les moyens de régulariser les niveaux je dois en citer un très-simple que j'ai employé avec succès dans mes expériences au bassin de Picardie, à Versailles. L'eau qui arrivait de bas en haut dans une cuve servant de bief d'amont, formait une sorte de jet à mouvements alternatifs très-réguliers, dont la cause dépendait seulement de l'état intérieur des tuyaux de conduite entre les filtres et le bassin. J'ai, dans d'autres circonstances, trouvé moyen de faire osciller des jets d'eau par la seule disposition de pièces fixes à l'orifice de sortie, et je pense que l'étude des phénomènes de ce genre pourra servir plus tard à étudier l'état intérieur des conduites. Mais, dans le cas dont il s'agissait, il fallait avant tout me débarrasser de ces oscillations, si fortes qu'elles mettaient dans l'impossibilité de connaître le niveau moyen de l'eau dans la cuve représentant le bief d'amont. Or, pour faire cesser ces intermittences, il a suffi de poser transversalement une planche au-dessus du jet. C'est-à-dire que la percussion de ce jet contre la planche a suffi pour faire cesser le phénomène d'intermittence dont il s'agissait de me débarrasser, de sorte que l'alimentation du bassin est devenue sensiblement uniforme au moyen de toute l'eau élevée par la machine de Marly. Ainsi dans cette circonstance un obstacle fixe a détruit des intermittences, que dans d'autres circonstances des obstacles fixes avaient occasionnées, ainsi que je l'ai expliqué dans mon second Mémoire de 1850*. J'ai eu depuis occasion d'étudier des ondes formées par la rencontre d'obstacles fixes à l'époque du remplissage du nouveau port de Cherbourg.

* Voir tome XV de ce journal. A la page 14 de ce Mémoire, au lieu de om,33, il faut lire 33 mètres.

de dévier autour du tuyau vertical mobile, en soutenant, dans l'intérieur de celui-ci, une colonne liquide à un niveau plus élevé que le bief inférieur, et dont la *réaction* entretenait la déviation dont il s'agit. Les ondulations du sommet de cette colonne liquide sont entretenues par la percussion graduellement croissante.

Cette *réaction* a de plus un effet positif dans cet appareil, parce que le tuyau vertical mobile porte à sa partie inférieure un anneau d'un diamètre moindre que le sien, mais égal à celui du tuyau fixe. Il y a donc une cause positive de pression qui se joint à la succion pour faire redescendre le tuyau mobile. On peut produire, dans certains cas, une onde annulaire assez curieuse autour de l'extrémité inférieure de ce tuyau, sur le parapluie renversé duquel l'eau baisse alternativement. J'ai même essayé de profiter de ce qu'il en résultait une dénivellation *pendant l'écoulement* de l'intérieur à l'extérieur, et un exhaussement, au contraire, sur le siège quand le tuyau mobile était redescendu. Mais jusqu'à présent j'ai trouvé qu'il était plus prudent, pour la marche continue, d'enfoncer assez profondément le siège fixe pour que cette onde annulaire n'apparaisse plus sensiblement au-dessus du niveau du bief d'aval.

Désirant voir jusqu'à quel point la succion pourrait avoir quelque analogie avec celle dont on doit la connaissance à MM. Thenard, Clément Desormes et Hachette, j'ai prolongé extérieurement, au moyen d'une forte plaque de zinc, le plan horizontal inférieur de l'anneau du tuyau vertical mobile. Mais cela n'a fait que diminuer, au contraire, la force de descente dans ce liquide; cela n'a jamais eu aucun avantage, même quand cette couronne extérieure était très-réduite, de manière, du moins, à ne plus nuire, *il n'y en avait point alors une large autour du tuyau fixe.*

En relevant ensuite les bords extérieurs de cette couronne comme ceux d'un *parapluie renversé*, j'ai considérablement augmenté la force de succion, par suite de la manière dont cette disposition a modifié la déviation des filets liquides (*voir pour quelques détails numériques le journal l'Institut, 1850 et 1851, etc.*).

Enfin, j'ai fait passer un plan fixe horizontal par l'orifice du tuyau fixe, disposé précisément au-dessous du tuyau mobile, de manière à former un véritable ajustage annulaire divergent avec le parapluie renversé dont je viens de parler, à l'époque où le tuyau vertical est soulevé. Il est résulté de cette disposition une augmentation considérable dans la force de succion. Il est utile, pour plusieurs raisons, de donner à cette surface fixe inférieure la forme d'une sorte d'entonnoir, dont les bords extérieurs sont d'ailleurs disposés de manière à empêcher le retour des sables, etc.

On conçoit que ces effets dépendent de l'étendue du parapluie renversé et que l'espace d'ajutage divergent qui en résulte doit d'ailleurs être utile pour ne pas laisser perdre une quantité notable de la force vive restante à l'eau qui s'échappe au bief inférieur, et qui peut être en partie employée à agir par succion sur la colonne liquide, d'après les principes connus des ajustages divergents.

Il est enfin résulté de ces diverses causes réunies une force de succion telle, qu'il a fallu la modérer pour ne pas endommager l'appareil. Or il est à remarquer que le parapluie renversé, utile pour augmenter la succion, est utile aussi, dans certaines limites, pour modérer la percussion du tuyau sur son siège, à cause de la manière dont il est

obligé de déplacer, en descendant, la couche d'eau qui est au-dessous de lui, surtout quand le siège fixe est entouré d'une surface conique, dans laquelle il pénètre comme dans le modèle qui a fonctionné à l'Exposition universelle de 1855.

Quand l'appareil ne marche pas encore, si le tuyau vertical est baissé et le contre-poids convenablement calculé, le moindre ébranlement suffit pour causer des vibrations, à la suite desquelles le tuyau se lève de lui-même lorsqu'il y a assez d'eau en amont, ce qui pourra être utile pour faire partir l'appareil de lui-même dans certaines conditions. Abstraction faite de cette machine, il est intéressant d'étudier les effets du phénomène dont il s'agit relativement à diverses circonstances.

Les Mémoires de la Société Géologique de Londres ont fait mention, il y a environ vingt-cinq ans, d'un phénomène d'hydraulique très-curieux et dont on n'avait point donné d'explication satisfaisante. Dans une des îles Ioniennes, un cours d'eau assez fort se jette dans la terre à un niveau inférieur à celui de la mer. Cet appareil en donne une explication plus complète qu'un autre appareil de mon invention décrit dans le tome VIII, p. 23, de ce Journal.

Les effets de succion ou de pression *négative* des liquides en mouvement sont assez variés pour qu'il ne fût pas étonnant qu'il s'en présentât autour d'une île, si la forme de ses côtes et surtout celle de ses rochers se trouvait dans certaines conditions. Mais pour expliquer des effets aussi remarquables que celui dont il s'agit, il est intéressant de montrer comment on peut utiliser les jets d'eau puissants que les vagues forment souvent sur les rochers et qui n'étaient considérés que comme des moyens de destruction. C'est ce que je me propose de faire, pour montrer d'ailleurs une fois de plus à combien de circonstances variées peuvent être appliqués mes nouveaux principes, dont plusieurs ont autant pour objet la physique générale que la mécanique proprement dite.

J'ai produit des succions à contre-courant très-puissantes, sur une assez grande échelle, au moyen de la percussion des veines liquides, en étudiant l'appareil de mon invention spécialement décrit dans cette Note. Dans les expériences faites à Saint-Lô, la force de succion était encore très-sensible à une distance de 40 centimètres du siège fixe, mais à cette distance elle était très-diminuée, dans certaines circonstances du moins.

Il suffit, pour avoir une idée de ce que je propose aujourd'hui, de supposer toutes les pièces de cet appareil absolument fixes, le tube qui était mobile restant soulevé à une hauteur convenable. Lorsque la surface qui recevait la percussion du liquide était entièrement hors de l'eau du bief inférieur, ainsi que la nappe d'eau qui la frappait en apparence, la succion à *contre-courant* qui en résultait était encore très-puissante et bien plus que suffisante pour faire fonctionner régulièrement l'appareil. Ainsi, dans les bassins de Chaillot, j'ai souvent fait marcher l'appareil pendant plusieurs heures de suite, l'orifice d'aval étant entièrement hors de l'eau. On voyait la nappe liquide sortante *lécher* les parois relevées du parapluie renversé, en formant à ses extrémités une volute annulaire. La puissante force de succion qui se manifestait bien au-dessus de l'eau du bief d'aval venait sans doute de la force centrifuge combinée avec la forme du parapluie renversé, *la nappe d'eau ne suivant plus le plan inférieur de l'ajutage annulaire.*

Dans mes expériences en grand, plusieurs hommes ne pouvaient quelquefois résister, même en agissant à l'extrémité d'un assez long bras de levier; on était enlevé malgré soi avec une extrême violence. J'ai même regretté, dans les circonstances où je me trouvais, de ne pouvoir déterminer convenablement le maximum des poids susceptibles d'être soulevés. Mais je n'aurais pu le faire sans m'exposer à briser les appareils. Cela dépendait beaucoup des diverses hauteurs de levée du tube mobile et du mode de cette levée. Il est d'ailleurs facile de régulariser ces effets quand on les modère.

Il y a lieu de croire que si l'on n'avait pas, au contraire, été obligé de modérer la succion, il aurait été utile de donner une certaine courbure aux surfaces extérieurement relevées, de manière à justifier encore mieux la comparaison de leur forme avec celle d'un parapluie renversé. Quoi qu'il en soit, la forme de cet appareil, comme je l'expliquerai plus au long dans la suite de ce paragraphe, si l'on réduisait son tuyau de conduite fixe à un simple ajutage évasé de manière à recevoir convenablement le choc des flots, toutes les pièces étant d'ailleurs fixes, est assez simple pour qu'on puisse espérer de le trouver dans la nature. On sait que sur certaines côtes, notamment sur celles de la Syrie, on trouve des jets d'eau naturels très-curieux, résultant du mouvement alternatif des vagues. Or il n'y aurait rien d'absolument impossible à ce qu'on trouvât dans la nature quelque chose d'analogue à un appareil de ce genre à pièces fixes, les surfaces où se fait la succion pouvant d'ailleurs être en communication avec des cours d'eau souterrains par un siphon ou tuyau naturel.

Mais il ne semble pas même nécessaire d'avoir recours à cette supposition, connaissant les puissants jets d'eau que les vagues occasionnent dans certaines circonstances. Il suffit très-probablement de supposer convenablement relevés ou recourbés extérieurement les bords des surfaces recevant le choc de ces jets d'eau alternatifs, pour qu'il en résulte des effets aussi puissants sur les cours d'eau souterrains que ceux qui ont été signalés par la Société Géologique de Londres, sans explication satisfaisante.

On sait d'ailleurs qu'il existe sur les bords de la Méditerranée des marais qu'on ne peut épuiser, puisqu'on manque de moteurs. Or s'il suffit de présenter au choc des vagues des surfaces convenablement disposées pour obtenir des succions capables de faire ces épuisements; cela est assez simple pour qu'il soit utile de faire à ce sujet les expériences qui pourront être nécessaires à l'étude plus complète de la question, mes expériences à l'époque où je les ai faites ayant eu bien plutôt pour objet l'étude des effets d'une machine hydraulique fonctionnant au moyen d'une chute d'eau régulière.

Dans tous les cas, il est intéressant de se rendre compte des effets de succion, en les étudiant séparément, afin d'arriver à quelque base pour en calculer la puissance. Car, même dans l'appareil ayant les dimensions dont parle surtout le Rapport de M. Combes, il y a des cas où deux hommes ne peuvent résister à la force de succion qui se développe pour les trop petites levées du tuyau mobile; et cependant, au moyen d'un assez petit contre-poids, on a pu disposer les choses de manière à n'avoir aucune percussion apparente, avec de très-petites levées de ce tuyau, lorsque dans les grandes chaleurs, par exemple, on n'a avec le même appareil, versant de l'eau à la même hauteur, qu'une quantité d'eau motrice extrêmement petite. On

conçoit que si le contre-poids ne tient ce tuyau soulevé que par un effort très-faible, l'eau n'a le temps que d'acquiescer une très-petite vitesse avant qu'il soit retombé. Si au contraire on fait un certain effort pour le tenir soulevé, bientôt l'eau s'échappe avec une assez grande vitesse pour que la succion devienne plus puissante qu'avec une levée plus grande.

Je crois devoir donner quelques développements à ce que j'ai déjà dit sur les effets de ce genre, les ayant expérimentés *pour des lames très-épaisses*.

On sait que la force centrifuge est un élément essentiel des calculs sur la percussion des liquides, ainsi que cela est expliqué dans l'*Introduction à la mécanique industrielle*, par M. le général Poncelet, et notamment dans son *Essai sur une théorie du choc et de la résistance des fluides indéfinis, principalement fondée sur la considération des forces vives*, §§ 12 et suivants. Il était donc intéressant d'examiner la marche générale des filets liquides dans un canal découvert, dans des circonstances qui, sans être les mêmes que celles de l'appareil décrit ci-dessus, avaient cependant assez de rapports avec le phénomène au moyen duquel je propose de faire des épaissements par la succion des vagues, en utilisant la force centrifuge que leurs puissants jets d'eau alternatifs sur certains rochers permettront sans doute d'appliquer immédiatement, en vertu de quelques modifications dans la forme des surfaces choquées.

On sait d'ailleurs, d'après ce qui se présente au pied d'un phare protégé par des travaux à profil concave, que les flots auxquels ce profil a pour but de résister, s'élèvent en vertu de cette force même à de très-grandes hauteurs; de sorte que des constructions de ce genre permettent d'espérer qu'on pourra disposer de quantités de force vive suffisantes pour faire des épaissements dans de marais tels que ceux de la Camargue, au moyen du système que je propose, et à l'occasion duquel je vais entrer dans quelques détails sur des phénomènes qui peuvent servir à l'étudier.

Un canal rectangulaire versait de l'eau sur un moulin. Pour arrêter ce moulin, il suffisait de disposer transversalement une planche rectangulaire faisant partie dans le premier cas de la paroi latérale.

Or quand on reculait à une assez grande distance en aval la planche transversale dont je viens de parler, si l'aspect général du courant n'était pas beaucoup modifié, les flots d'aval s'infléchissaient davantage, ainsi qu'il était d'ailleurs facile de le prévoir, et il en résultait que leur concavité était tournée de manière que leur force centrifuge s'opposait à la pression du reste du courant sur la paroi du canal en aval de l'orifice.

Cette observation, à laquelle je n'attachai pas d'importance à l'époque où je la fis, parce qu'elle ne me paraissait pas modifier d'une manière essentielle la forme générale du courant et par suite la résistance de l'eau dans les coudes qui me préoccupait alors, offre un des moyens d'expliquer la succion qui se présente dans l'appareil nouveau dont l'étude, *en supposant toutes les pièces fixes*, me conduit à un moyen d'utiliser la force des vagues d'une manière que je crois applicable aux travaux publics.

Dans cet appareil, l'eau arrivant par-dessous dans un tuyau fixe rencontre un tuyau vertical soulevé par un contre-poids ou par un flotteur, en un mot, par une forte résistance qu'il s'agit de vaincre en faisant marcher cette pièce à contre-courant. Or

l'eau qui vient frapper la colonne liquide contenue dans le tuyau soulevé, sort tout autour en suivant des chemins analogues à ce qui se présente à l'aval de l'orifice du canal dont j'ai parlé ci-dessus. Ainsi il n'est pas absolument nécessaire que la partie extérieure de l'anneau attaché à la partie inférieure du tuyau soulevé soit relevée selon certaines lois, pour qu'il se fasse une succion suffisante au jeu de l'appareil. Mais il est facile de comprendre d'après les chemins suivis par les filets liquides, même s'il s'agissait des cas bien plus ordinaires de la percussion des fluides, que l'utilité des bords extérieurs relevés comme un *parapluie renversé* étant constatée par les expériences sur cet appareil, on peut s'en rendre compte jusqu'à un certain point au moyen des effets de la force centrifuge et très-probablement soumettre au calcul la force de succion qui en résulte, même dans les cas où la surface rencontrée s'est trouvée entièrement au-dessus du niveau du bief inférieur, de manière qu'il ne s'agit plus du tout d'un phénomène d'ajutage.

Quant aux applications à la percussion des cours d'eau permanents, et des vagues de la mer, le principe de cet emploi de la force centrifuge paraît pouvoir être utilisé de diverses manières, sans qu'il soit indispensable que le choc ait lieu de bas en haut, dans un appareil d'ailleurs à pièces fixes analogue à celui dont je viens de parler et dont la disposition dépendra de celle des rochers existants. Mais il est intéressant de remarquer, d'après la marche des filets courbes, qu'il sera utile de creuser dans les rochers des excavations suffisantes, pour que l'eau qui viendra les frapper en sorte d'une manière analogue à ce qui se présente dans celui de mes appareils dont il s'agit, pour mieux employer la force centrifuge. L'inertie de l'eau dans les longs canaux souterrains facilite l'emploi d'une succion alternative (Mémoire précité).

Pour me former une idée approchée de la manière dont on devra tailler les rochers quand on en aura à sa disposition, j'ai étudié la forme de la nappe liquide, résultant de ce qu'une veine d'eau sortant horizontalement d'un vase rencontre un tuyau horizontal fixe, recourbé verticalement en aval, de manière à s'élever par son autre extrémité au-dessus du niveau de ce vase. L'eau sortant de ce vase par un tuyau de même diamètre que l'extrémité opposée de celui qui reçoit le choc, ce dernier est d'abord rempli d'eau par la veine qui s'y précipite. Au bout d'un temps très-court, le niveau dans ce tube, quoique soumis à de petites oscillations dans la partie recourbée verticalement, résiste d'une manière assez constante pour que la forme de la nappe liquide divergente paraisse sensiblement permanente, si le niveau ne varie pas dans le vase. Il est même à remarquer, quand celui-ci se vide, que l'angle de la nappe liquide reste sensiblement constant, jusqu'à ce qu'il n'y ait plus que très-peu d'eau dans le vase. Cet angle n'a d'ailleurs été bien observé qu'à droite et à gauche, car on conçoit qu'au-dessus et au-dessous la pesanteur exerce une influence sensible sur l'angle des filets. Cet appareil est conçu d'après celui qui est l'objet principal de cette Note, en supposant toutes les pièces fixes.

Il était essentiel, pour étudier la manière de tailler les rochers, d'examiner ce qui se passerait lorsqu'on boucherait de diverses manières le tube dont il s'agit et qui avait d'abord pour but d'étudier le phénomène relativement à la machine dont je viens

de parler. C'est ce que j'ai fait, sans pouvoir jusqu'à présent remarquer qu'il en résultât une différence bien sensible dans l'angle de divergence des filets liquides. J'en ai conclu qu'il suffirait probablement de tailler les rochers de manière à obliger la veine liquide divergente à faire un angle analogue à celui qui, dans l'appareil dont il s'agit, donne lieu à de si puissants effets de la force centrifuge, pour pouvoir agir par aspiration sur des cours d'eau sous-marins.

On conçoit que les phénomènes de la résistance à la sortie de l'eau du vase dépendent essentiellement de la distance à laquelle la veine liquide rencontre l'obstacle qui la fait dévier ; mais je n'ai pas remarqué de différences sensibles dans l'angle de la nappe pour des distances très-différentes de cet obstacle, pourvu que la veine restât suffisamment horizontale entre les deux tuyaux. Afin de mieux m'assurer de cet angle, j'ai fait construire une sorte d'entonnoir renversé, dont on a déterminé par le tâtonnement l'angle ne différant pas sensiblement de celui de la nappe. J'ai trouvé de cette manière que la nappe, après qu'elle s'est bien dégagée de l'obstacle présenté par le bout de tuyau frappé, fait avec l'axe des deux tuyaux horizontaux un angle dont le cosinus est à très-peu près le tiers du rayon, dans les circonstances où j'ai opéré. La veine liquide sortant d'un tuyau d'une longueur de 0^m, 16 avait 25 millimètres de diamètre, et l'eau du vase qui se vidait s'élevait à 40 centimètres au-dessus de l'orifice quand il était plein. Je ne donne ce résultat que comme un premier aperçu, ayant d'ailleurs reconnu que l'angle dont il s'agit dépendait de la vitesse de sortie, pour de fortes pressions motrices comme celles qui donnaient lieu à l'écoulement dans le robinet d'une borne-fontaine pour lequel j'ai observé que les filets liquides déviaient beaucoup moins et formaient un angle d'environ moitié d'un droit avec la direction primitive. Je fais en ce moment même des expériences plus en grand sur ce sujet.

Il sera intéressant de courber extérieurement la surface annulaire destinée à utiliser la succion des vagues ; mais ces phénomènes étant très-complicés et très-peu connus, je me borne pour le moment à proposer l'emploi du choc dont je viens de parler, même sans considérer encore le principe de la communication latérale du mouvement des liquides auquel il faudrait avoir égard à cause de son utilité dans les circonstances dont il s'agit. Il résulte d'ailleurs de mes expériences que, lorsqu'il sera possible de joindre à ces effets ceux qui résultent de l'application du principe des ajutages divergents, comme je l'ai fait dans diverses circonstances, on augmentera notablement la force de succion. Si l'on s'en tient provisoirement à appliquer le plus directement possible la force centrifuge provenant du *choc*, on pourra le faire très en grand sans être absolument obligé de tailler ainsi les rochers sur une grande largeur de chaque côté de l'excavation autour de laquelle la succion se fera ; car lorsque la nappe avait quitté l'obstacle qui la faisait diverger, elle conservait assez loin le même angle. Or, quand les filets ne se courbent plus, les mêmes causes de pression négative n'existent plus, d'après les principes discutés dans le travail de M. Poncelet sur la percussion des liquides (*Introduction à la mécanique industrielle*, p. 692). Cependant il doit être utile en général de *modifier la flexion des filets liquides* par la présence d'une surface *recourbée* extérieurement selon certaines lois.

Il est d'ailleurs à remarquer, surtout quant à la machine objet spécial de cette Note, que si le parapluie renversé est extérieurement relevé, les tourbillons qui se présenteront sur la partie recourbée, si elle est plongée, auront une certaine analogie avec ceux qui se présentent à la partie postérieure des corps plongés dans une rivière [*].

EXPÉRIENCES SUR UN GENRE PARTICULIER DE RÉSISTANCE A L'ÉCOULEMENT DE L'EAU.

Je rappelle d'abord que l'eau s'échappe alternativement entre un siège fixe et un tube mobile soulevé dans la forme de l'appareil dont il s'agit principalement ici.

La nappe liquide divergente qui en résulte, et dont j'ai étudié la forme dans diverses expériences, éprouve une résistance d'une espèce particulière à cause de sa déviation par suite de sa rencontre avec ce tube. Cette résistance n'est pas tout à fait du même genre que celle qui se présente dans le coude à angle droit vif, mais avec prolongement fermé en aval pour contenir de l'eau tournoyante, étudié par s'Gravesande. Si l'on conçoit la veine liquide comme composée de couches concentriques, les couches extérieures, celles qui contiennent le plus de masse, ne se comportent pas évidemment comme celles qui sont le plus près du centre. Enfin la nappe liquide extérieure déjà décrite est loin de faire un angle droit avec la direction primitive comme dans les coudes de Venturi et de s'Gravesande, ainsi que je l'ai expliqué en donnant son inclinaison par rapport à l'axe des tubes dans les circonstances que j'ai le plus spécialement étudiées.

Je me suis servi, pour apprécier la résistance à l'écoulement, d'une disposition déjà décrite, la veine liquide coulant horizontalement et rencontrant un tube horizontal, dont une extrémité était relevée verticalement au-dessus du tonneau à une distance de 1 décimètre. L'autre extrémité était approchée successivement à diverses distances du bout du tuyau par lequel sortait la veine liquide pour venir la frapper. Je mesurais le temps que le niveau mettait à baisser dans le tonneau entre deux points de repère dont l'un était à 16 centimètres au-dessus de l'autre, et j'avais ainsi un moyen d'ap-

[*] Voici l'explication admise, plutôt que la démonstration à priori, du phénomène précité, observé par MM. Thenard, Hachette et Clément Desormes. Le fluide coule avec moins de vitesse à l'extrémité annulaire extérieure qu'à la sortie de l'orifice. Or, si l'espace intermédiaire coule plein, cette diminution de vitesse (abstraction faite des pertes de force vive) provient d'une augmentation de pression. Mais, à l'extérieur, la pression est celle de l'atmosphère, donc, à l'intérieur de l'espace compris entre les deux surfaces considérées, la pression sur une certaine étendue peut être moindre. Voilà pourquoi, quand les plaques dont il s'agit sont *assez larges*, elles marchent à contre-courant, malgré la percussion du liquide. Je reconnais qu'il se présente un effet de ce genre dans l'appareil objet de cette Note; mais *quand on supprime la large surface disposée autour du tuyau fixe*, même hors de l'eau du bief d'aval, il se produit encore un effet de succion très-puissant qui ne peut être expliqué par aucune succion d'ajutage et provient d'un effet de la *force centrifuge*. Cela distingue bien le phénomène dont on peut démontrer l'existence à priori; tandis que les effets peu connus des tourbillons et autres causes quelconques de perte de force vive empêchent de calculer la force de succion entre les surfaces planes précitées; la nappe annulaire agit aussi sous la surface relevée extérieurement, au moyen de l'espèce de succion résultant de la communication latérale du mouvement des fluides, notamment sur la masse annulaire du fluide qu'elle enveloppe.

précier la résistance pour chaque distance des deux tubes horizontaux disposés sur le même axe, toutes choses égales d'ailleurs.

J'ai pu constater ainsi dans quelles limites il était important, quant à l'effet utile de l'appareil que ces expériences avaient pour but d'étudier, de se mettre dans les conditions qui permettent de faire alternativement lever le tube mobile à une hauteur convenable par rapport à son diamètre inférieur, et de le tenir levé à son maximum de hauteur pendant la plus grande partie de la durée de son soulèvement. C'est un appareil rustique, susceptible d'être construit en bois par tout charpentier de village, de manière à marcher bien régulièrement; mais il faut, pour obtenir un effet utile convenable, connaître les conditions nécessaires. Ainsi quand son tuyau fixe est trop court, s'il ne marche pas moins bien, on ne peut plus comparer son effet à ceux des bonnes machines en usage. Abstraction faite des autres raisons, le tube mobile ne restant plus assez longtemps soulevé donne alors lieu à des étranglements trop nuisibles.

Je n'entrerai pas ici dans tous les détails de l'expérience objet de ce paragraphe; il suffit de dire que la durée de l'écoulement dans l'air entièrement libre étant de cinquante-deux secondes par le tube rectiligne horizontal en zinc précité de $0^m,16$ de long et de 25 millimètres de diamètre intérieur, est ensuite de cinquante-cinq secondes quand on pose à 15 millimètres de distance l'autre tube qui fait diverger la veine. Ainsi pour cette ouverture la résistance a peu d'importance quant à l'effet utile; mais aussi la force de succion qui doit ramener alternativement sur son siège le tube de la machine qu'il s'agit d'étudier, doit être en général bien moindre que pour une levée égale à la moitié du diamètre. Or, pour une distance sensiblement égale à la moitié du diamètre du tube dont il s'agit en ce moment, la durée de l'écoulement n'est encore que de soixante secondes. C'est à une seconde près que ces mesures sont prises, ainsi que les suivantes.

Pour des distances moindres, la durée de l'écoulement finit par croître d'une manière assez rapide. Pour une distance de $0^m,008$, elle est de soixante-six secondes; pour une distance de $0^m,0065$, elle est de soixante-dix secondes; pour une distance de $0^m,005$, elle est de quatre-vingts secondes. Il ne paraît pas très-important, du moins dans plusieurs circonstances, que la levée du tube mobile soit plus grande que les trois dixièmes environ du diamètre du tuyau fixe pour l'appareil objet spécial de cette Note [*].

[*] Avant de connaître le phénomène de succion objet de ce paragraphe, j'avais fait des expériences sur l'effet utile, en faisant marcher l'appareil à la main; c'est d'une observation de cette époque que résulte cette indication importante pour l'étude des levées du tuyau mobile que je vais expérimenter très en grand.

Cependant lorsque le tuyau mobile se lève plus que cela n'est indispensable, il se présente un effet intéressant. Ainsi lorsque, dans l'appareil objet du Rapport précité de M. Combes, le tuyau mobile se levait à une hauteur de $0^m,08$ au lieu de $0^m,059$, le contre-poids étant diminué de manière à ne pas changer la durée de chaque période qui élevait un peu plus d'eau, on entendait encore moins le bruit de ce tuyau quand il retombait sur son siège. Mais le jeu de l'appareil était en apparence plus incertain. En résumé, sans paraître encore très-importante, une assez grande levée de ce tuyau mobile est intéressante à étudier, quoique, dans les expériences précitées de Chaillot, j'aie beaucoup varié les levées dont il s'agit sans remarquer des différences bien sensibles dans l'effet utile.

Dans l'expérience dont j'ai donné ci-dessus le procès-verbal, la levée n'était que d'environ le

Pour des distances très-petites, la résistance augmente de plus en plus rapidement, ce qui montre comment les choses se passent pendant les derniers instants de la baisse des tubes mobiles. Mais je n'entrerai pas en ce moment dans ces détails, d'autant plus que les très-petites distances étaient plus difficiles à mesurer rigoureusement dans les circonstances où je me trouvais; je voulais seulement fixer les idées sur la manière dont la perte de force vive, à la sortie de l'eau au bief inférieur, dépend de la levée du tuyau mobile dans l'appareil objet principal de cette Note. Plus la levée du tuyau est grande, plus la perte de force vive résultant de la vitesse de sortie de l'eau en aval est diminuée dans les limites dont je viens de parler, mais aussi plus la force de succion est diminuée elle-même en général; de sorte qu'il faut combiner ces deux éléments pour obtenir le maximum d'effet avec le maximum de simplicité sans augmenter la levée d'une manière inutile dans la pratique [*]. On varie les quantités d'eau débitées en variant cette levée, et le contre-poids ou la densité du flotteur.

EXPÉRIENCES SUR UN MOYEN NOUVEAU DE DIMINUER LA RÉSISTANCE DANS LES COUDES.

Il est à remarquer qu'on avait bien pensé à diminuer la résistance à la flexion brusque des filets liquides au moyen d'une surface conique disposée au centre des conducteurs des turbines; mais, quant à la multiplicité des lames servant de conducteurs dans les mêmes turbines, rien n'indique qu'on ait eu une autre idée que celle de *conduire* tout simplement l'eau motrice d'une manière convenable. Personne, en effet, n'avait pensé à la combinaison dont je vais parler, tandis qu'on avait depuis longtemps pensé à ce cône central, qui a bien moins d'importance, comme on le verra plus loin.

L'expérience suivante est facile à répéter dans les cabinets de physique. Un tuyau vertical cylindrique en zinc, de 50 centimètres de long et de 5 centimètres de diamètre, se termine à son extrémité inférieure par une partie à section quadrangulaire ayant aussi 5 centimètres de diamètre inférieur. Cette section est un carré.

L'extrémité inférieure se termine par un coude de même section à angle droit et en quart de cercle dont le rayon extérieur est de 5 centimètres. Le rayon intérieur de ce coude est nul, c'est-à-dire que chacune des faces planes du coude est un quart de cercle.

cinquième du diamètre du tuyau, sans qu'on se soit aperçu que cela diminuât bien sensiblement l'effet utile. Or comme l'appareil marchait aussi régulièrement quand la levée était à peu près égale à la moitié de ce diamètre, c'est une raison de plus pour établir que la quantité d'eau débitée n'était pas suffisante pour obtenir le meilleur effet utile dans les conditions données. Car il est clair que la petite levée dont il s'agit devait donner lieu à une perte notable de force vive, et qu'abstraction faite de raisons données ci-dessus, avec une plus grande quantité d'eau motrice on aurait pu faire *rester le tuyau plus longtemps levé à la hauteur maximum*, d'après des expériences précitées de 1854.

[*] Dans le calcul du frottement pendant l'écoulement de l'eau en aval, il sera prudent de ne pas tenir compte de la diminution des coefficients du frottement dans le mouvement variable, parce que, dans ce cas, si ces coefficients étaient les mêmes que dans le mouvement permanent, le travail résistant en frottement serait presque double en général de ce qu'il serait si le mouvement était permanent.

Trois lames concentriques, perpendiculaires à ces deux faces planes, divisent en quatre parties égales le rayon de courbure de la surface extérieure qui achève de former le coude. Ces lames sont fixes, mais on peut les ôter ou les remettre à volonté pour varier les expériences, parce qu'elles sont attachées à chacune de leurs extrémités au moyen de petites lèvres en zinc, disposées de manière à gêner le moins possible le mouvement de l'eau.

Après avoir plongé dans un réservoir le coude, qui doit toujours être plein d'eau, on bouche le sommet du tube vertical avec la main, la partie inférieure de l'appareil étant toujours ouverte. On commence par déterminer la profondeur à laquelle on doit enfoncer cette dernière partie, pour que l'eau qui, en vertu des lois de l'oscillation, s'élèvera au-dessus du niveau du réservoir quand on en ôtera la main, l'appareil étant en repos, arrive au sommet du tube sans en sortir. On ôte ensuite successivement les lames concentriques disposées dans le coude, et l'on s'assure, en recommençant chaque fois l'expérience de la même manière, que leur suppression diminue notablement cette hauteur. La plus importante paraît être celle du milieu. Il est maintenant probable que plus on pourra les multiplier, plus on diminuera la résistance, jusqu'à la limite où l'on aurait à s'occuper du rétrécissement résultant de leur épaisseur ou du frottement résultant de leur nombre; de sorte que c'est surtout pour les tuyaux d'un grand diamètre que ce système de courbes concentriques sera utile.

Toutes ces lames étant ôtées, j'ai remplacé le fond arrondi du coude par un fond à angle droit vif, et j'ai constaté que cet arrondissement avait beaucoup moins d'influence que les trois lames. Enfin j'ai répété les premières expériences sur un coude dont le rayon intérieur était égal au diamètre du tuyau.

Dans ce cas, la résistance au coude étant petite par rapport aux autres genres de résistance, telles que la contraction de la veine liquide, les observations devenaient moins concluantes. Mais on a pu constater qu'un coude brusque à angle droit, comme celui sur lequel j'avais d'abord opéré, pouvait, au moyen des lames concentriques, ne pas faire éprouver beaucoup plus de résistance qu'un coude aussi arrondi que celui dont on vient de parler.

J'ai constaté par des expériences en grand que ces lames courbes n'empêchaient pas, étant disposées dans un coude sous le tuyau mobile, l'effet de la succion de se produire, de manière à faire fonctionner régulièrement l'appareil objet principal de cette Note. Pour le cas où le tuyau de conduite fixe a 1 mètre de diamètre intérieur et cinq lames courbes concentriques, je suis parvenu ainsi à rendre le jet de sortie si régulier, que la vitesse de l'eau tout à fait en aval n'est pas sensiblement plus grande que celle de l'eau qui sort de chaque côté de l'axe.

Ainsi que le rappelle le Rapport de M. Combes, je ne me propose de rendre mobile tout le tuyau vertical que pour les cas où ce tuyau n'a qu'une hauteur médiocre. Dans le cas contraire, ce tuyau est fixe, et la seule partie mobile est une soupape de Cornwall ou une vanne cylindrique. Cette vanne était même déjà indiquée dans mon Mémoire sur les oscillations de l'eau dans les tuyaux de conduite, présenté à l'Académie des Sciences en 1837, et pour lequel cette Académie m'a fait l'honneur de me décerner le prix de Mécanique le 30 décembre 1839; mais je ne connaissais pas alors les phénomènes nou-

veaux objet spécial de cette Note, qui simplifient singulièrement plusieurs des systèmes de ce genre et en font des appareils réellement très-différents des premiers que j'avais présentés. Je vais donner une idée des applications de ce genre de machines à des objets très-différents de l'élevation de l'eau.

FORME PARTICULIÈRE DES MACHINES A COMPRIMER DE L'AIR AU MOYEN DES CHUTES D'EAU,
PROPOSÉES POUR LE VERSANT FRANÇAIS DU MONT GENIS.

Il est à remarquer que mes divers systèmes ne peuvent marcher sans souffler de l'air. En 1844, relativement à celui auquel je donnais le nom de *bélier univalve* avant que M. le général Poncelet m'eût conseillé de donner à toute cette classe de machines le nom d'*antibéliers*, j'ai communiqué à la Société Philomathique de Paris un moyen de transformer les appareils de ce genre en machines soufflantes ou à compression d'air. J'avais déjà remarqué dans les *Annales des Mines*, année 1838, t. XIV, p. 21, comment la grandeur d'une colonne d'air peut supprimer tout choc brusque pendant que la compression se fait. Je disais « que la pression augmenterait graduellement dans ce matelas » d'air et produirait peut-être à peu près le même effet sur la colonne qu'une *augmentation graduelle de la pesanteur...* » Or il est à remarquer que, précisément dans le bélier *univalve* et dans mes autres appareils élévatoires, le chemin parcouru alternativement par la colonne liquide *étant bien autrement grand que dans le bélier de Montgolfier*, cela seul changerait déjà l'état de la question, quant au mode de compression de l'air par les machines de ce genre. Je reviendrai plus loin sur ce qu'avait dit Montgolfier[*].

[*] Voici un extrait des procès-verbaux des séances de la Société Philomathique de Paris, séance du 22 juin 1844, publié par le journal *l'Institut* du 3 juillet 1844, n° 549, p. 228, et reproduit par l'Académie royale des Sciences de Turin dans le compte rendu de sa séance du 2 janvier 1859, publié dans la *Gazette piémontaise*, qui était alors le journal officiel du royaume de Sardaigne, n° du 24 janvier 1859. Le moyen suivant est évidemment applicable absolument de la même manière à mes divers systèmes de colonnes oscillantes élévatoires publiés avant 1844.

« M. de Caligny communique à la Société un moyen de transformer en machine soufflante un » des appareils à élever l'eau, qu'il a présentés en 1837.

» Le bélier hydraulique de Montgolfier, introduisant périodiquement dans un réservoir d'air de » l'eau qui ne revient point sur ses pas, ne peut pas être considéré comme une machine soufflante de » la même manière que le bélier univalve de M. de Caligny, dans lequel le tuyau d'ascension se vide » périodiquement par un retour vers la source, quand l'eau élevée s'est dégagée par son sommet. Il est » clair que, dans ce dernier système, un volume d'air égal à celui du chemin abandonné alternati- » vement par cette colonne est périodiquement chassé par son sommet. On peut donc, en disposant » vers ce sommet des soupapes qui permettront à l'air extérieur de rentrer pendant le retour de la » colonne liquide, employer le travail de la machine à comprimer de l'air dans un réservoir laté- » ral, au lieu de l'employer à verser périodiquement de l'eau au-dessus du niveau de la source. Pour » de grandes dimensions, la soupape du bélier univalve est, si on se le rappelle, remplacée par une » soupape cylindrique à double siège, dite de *Cornwall*, qui, en s'ouvrant alternativement, permet à » la force vive de s'emmagasiner dans le corps de bélier, tout étant d'ailleurs disposé de manière » qu'il n'y ait pas de percussion brusque dans le système. Cette machine soufflante ou à compression » d'air serait immédiatement applicable à divers appareils à air comprimé, si leur utilité pratique » était suffisamment établie. » (Voir ce que M. de Cuyper en a dit dans sa *Revue universelle*, 1859.)

On peut appliquer à cette circonstance le nouveau phénomène de succion décrit ci-dessus, ainsi que je l'ai d'ailleurs annoncé sommairement à la Société Philomathique le 2 novembre 1850, comme on peut le voir dans le journal *l'Institut* du 20 novembre 1850, n° 881, p. 373, où l'on dit : « *Il n'est pas nécessaire que le tuyau vertical soit en entier mobile. On peut ne rendre mobile qu'une soupape de Cornwall. Alors cet appareil peut être employé à comprimer de l'air au moyen d'un piston liquide. . .* »

Dans le cas où les chutes d'eau motrices ne sont pas grandes, il est plus rationnel d'employer le mouvement acquis par un écoulement préalable à l'extérieur que de faire d'abord, comme au mont Cenis, sur le versant français à Modane, élever l'eau par des pompes pour se procurer une chute de 26 mètres, afin de laisser ensuite la force vive se développer dans une colonne liquide partant du repos, pour employer le principe d'un autre appareil de mon invention en qui l'on avait plus de confiance. La chute de 6^m,50, qui est du côté de Modane, aurait bien suffi pour comprimer directement l'air à 5 ou 6 atmosphères, sans avoir recours à l'élévation préalable qui a été faite dans cette localité, et que je n'aurais pas conseillée si j'avais été consulté sur cette application de mes idées par le gouvernement de Turin, qui m'avait fait l'honneur de me décerner une grande médaille d'or, le 31 juillet 1844, pour tous mes écrits sur l'*hydraulique*, selon deux lettres de M. Solar de la Marguerite, alors Ministre des Affaires étrangères du feu roi Charles-Albert. J'étais déjà membre correspondant de l'Académie des Sciences de Turin avant de recevoir cette médaille.

Il y aurait eu, il est vrai, un inconvénient à l'application directe de cette chute de 6^m,50, consistant en ce qu'il aurait fallu des tuyaux de conduite fixes d'une plus grande longueur sans être aussi longs que ci-dessus (*voir* pour tous les cas analogues le t. XII de ce *Journal*, p. 88) et probablement d'un plus grand diamètre ou en plus grand nombre. Mais en supposant même que cela eût augmenté la dépense de premier établissement, il aurait sans doute été utile de ménager le travail disponible, si, comme le dit M. Eugène Flachet dans son ouvrage sur la traversée des Alpes par un chemin de fer, on doit craindre de finir par ne pas en avoir assez. Enfin, en supposant même que toutes les choses eussent été égales d'ailleurs, il aurait été plus rationnel en principe, pour un si beau travail, de ne pas créer une chute d'eau au moyen d'une chute moindre, si celle-ci pouvait être utilisée *directement*.

Je ne saurais trop répéter d'ailleurs qu'en supposant qu'il restât le moindre doute sur l'opportunité de l'emploi du nouveau phénomène de succion exposé ci-dessus, rien n'aurait empêché de faire fonctionner la vanne cylindrique ou soupape de Cornwall par des moyens extérieurs connus, en profitant de ce qu'on peut *réduire presque indéfiniment la perte de force vive dans ce genre d'appareils*, sauf à sacrifier un peu de leur simplicité, dans des limites où cela n'a pas tant d'importance pour les grandes machines que pour les petites, surtout quand celles-ci sont construites d'une manière rustique, ce qui n'était point le cas, rien n'ayant été épargné dans les belles constructions dont il s'agit.

Montgolfier savait qu'on pouvait se servir du bélier hydraulique pour comprimer de l'air. C'est moi-même qui ai rappelé, à ce sujet, à l'Académie des Sciences de Turin, un passage oublié du *Journal de l'École Polytechnique*, année 1808, p. 297 ; mais je suis

le premier qui ai montré comment on pouvait comprimer de l'air au moyen du mouvement acquis de grandes colonnes liquides *en supprimant les chocs brusques*, et qui ai signalé, dans ce but, l'application des vannes cylindriques ou soupapes de Cornwall au moyen desquelles l'état de la question est complètement changé. Enfin, personne avant moi n'avait montré de grandes colonnes liquides en mouvement fonctionnant dans des enveloppes fragiles sans les endommager [*].

Les remarques précédentes sur le système qu'il eût été, selon moi, le plus convenable d'étudier pour le versant français, ne s'appliquent pas au versant italien, où l'on a une chute motrice de 26 mètres et où l'on a fait un choix judicieux parmi mes systèmes de machines à comprimer de l'air; j'aurai cependant quelques observations critiques à faire. Mais les résultats obtenus paraissent assez beaux pour être considérés comme une confirmation importante de mes idées, dont quelques détails seulement auraient pu être mieux compris, selon moi. Désirant qu'on ne confonde pas ce qu'il y a de plus essentiel dans les deux systèmes principaux de machines à comprimer de l'air dont je suis l'auteur, je me borne pour le moment à ce qui précède, réservant pour une autre Note ce qu'il me reste à dire sur ce grand travail.

PRINCIPE DE NOUVELLES MACHINES SOUFFLANTES.

Rien n'indique que Montgolfier ait eu la moindre idée d'appliquer le bélier hydraulique à souffler de l'air, en un mot, à comprimer de l'air à des tensions *très-faibles*, comparativement à la pression qui serait due à une colonne d'eau en repos d'une hauteur analogue à celle d'une chute motrice. Le 9 décembre 1844, j'ai présenté à l'Académie des Sciences un Mémoire dans lequel j'ai particulièrement développé les considérations sur lesquelles repose cette nouvelle application de mes principes. Après ce qui précède, il suffit de montrer qu'à la limite, quand mes divers appareils élévatoires sont considérés comme n'ayant pour but que d'élever de l'eau sans intermédiaire, *ils soufflent* alternativement de l'air sous une pression insignifiante; mais que si l'on veut les employer à comprimer de l'air, on peut opérer cette compression à un degré aussi faible qu'on le veut, puisque moins la tension de l'air est forte, plus la colonne liquide parcourt de chemin dans la chambre de compression substituée au tuyau d'ascension de l'une quelconque de mes machines à élever de l'eau à colonnes liquides oscillantes. Or quand la force vive ascensionnelle de l'eau est éteinte, le travail disponible restant dans

[*] C'est en laissant la force vive se développer dans une colonne liquide partant du repos et en vidant ensuite la chambre de compression par une oscillation descendante au-dessous du niveau d'aval, comme dans celui de mes appareils qui a été l'objet d'un Rapport favorable à l'Institut le 20 août 1838, que l'on comprime l'air au mont Cenis. Dans le cas où il resterait le moindre doute sur la généralité du moyen précité que j'ai proposé en 1844 pour transformer mes appareils en machines à comprimer de l'air, il suffirait, ainsi que je l'ai expliqué dans un Mémoire que l'Académie des Sciences de Turin m'a fait l'honneur de publier dans son volume pour 1859, de rappeler ce que j'ai dit sur ce sujet à la Société Philomathique de Paris, le 8 août 1846, d'après l'extrait publié par le journal *l'Institut* du 26 août 1846, n° 660, p. 288, qui renvoie à un autre article du journal *l'Institut*, du 8 août 1839, n° 293, p. 271. Je reviendrai sur ce sujet dans une autre Note, où je signalerai des simplifications à celui de mes systèmes qui est appliqué au mont Cenis.

cette colonne liquide peut être employé à produire l'oscillation descendante dont on a besoin pour le jeu de la machine; soit que cette colonne se suffise à elle-même pour cette oscillation, soit que, son ascension ayant été plus ou moins limitée par l'air qu'elle a comprimé, il reste sur la tête de cette colonne une quantité quelconque d'air comprimé qui agit en temps utile sur elle par sa détente.

CONCLUSIONS.

C'est surtout l'extrême simplicité qui distingue, comme machine d'agriculture, l'appareil présenté sous la forme qui est l'objet le plus spécial de cette Note. Cependant l'effet utile de mon moteur hydraulique à flotteur oscillant dépassant notablement 60 pour 100, il est bien probable que l'effet utile, pour la forme dont il s'agit, différera peu de ce chiffre, quand on aura eu occasion de l'étudier sur des cours d'eau assez différents. Les moyens de varier le débit n'ont pas été suffisamment mis à ma disposition, comme il l'avaient été pour le flotteur oscillant, je ne suis donc pas assez sûr de quelques résultats partiels, qui n'ont pas été répétés, pour pouvoir l'affirmer, et je ne crois qu'aux expériences suffisamment répétées dans des circonstances identiques.

Mais un effet utile constaté de 50 pour 100, *en eau élevée*, est déjà une chose essentielle, surtout à cause de la *rusticité* du système. J'ai montré comment on devait discuter les résultats obtenus, renvoyant, quant à diverses théories, à mes précédents Mémoires.

Ainsi il est évident que si, au lieu d'être élévatoire, l'appareil est employé à relever alternativement un flotteur pour en faire un moteur hydraulique, les vitesses de l'eau et le chemin des résistances passives seront diminués, et qu'il en sera ainsi, à plus forte raison, si l'appareil est employé, non à relever un flotteur, mais à comprimer de l'air à des tensions assez fortes dans les limites où il pourra le faire sans secousses [*].

Les phénomènes nouveaux de succion à contre-courant, étudiés à l'occasion de cette machine, seront susceptibles de diverses applications aux travaux publics et à la physique. Je signale surtout l'effet résultant de ce qu'on rend fixes toutes les pièces de l'appareil élévatoire, parce que les causes du phénomène de succion, subsistant malgré cela, peuvent servir à en faire un appareil d'épuisement, sans aucune pièce quelconque mobile. On peut ainsi utiliser la force des courants, et des vagues pour faire des épuisements, par exemple dans les marais de la Camargue, ou dans d'autres endroits où l'on pourrait, même sans machine proprement dite, tailler convenablement des rochers, de manière à expliquer d'ailleurs des phénomènes qui embarrassent encore les géologues.

[*] A la Chambre des Députés de Turin une Commission ayant rappelé avec bienveillance mon Mémoire de 1837 et la médaille d'or précitée du roi Charles-Albert, M. Sella, un des ministres, a dit en italien à cette Chambre « ... Le premier peut-être qui proposa d'employer l'air comprimé à percer les grandes chaînes de montagnes fut Colladon de Genève. Caligny avait proposé des appareils à employer l'eau à comprimer cet air, en tirant parti de la force vive de cette eau, quand elle aurait été mise en mouvement... » M. Macchi, un des membres de la Commission a dit ensuite : « ... Io trovo giusto doversi profittare di quest' occasione per rendere al marchese di Caligny ampia testimonianza di onore per quel tanto che egli ha fatto in proposito, e gliela rendo di gran cuore, persuaso che, nobilmente operando, null' altro s' attende da noi quel dotto e nobile signore... »