

JOURNAL
DE
MATHÉMATIQUES

PURES ET APPLIQUÉES

FONDÉ EN 1836 ET PUBLIÉ JUSQU'EN 1874

PAR JOSEPH LIOUVILLE

ANATOLE DE CALIGNY

**Expériences et considérations théoriques sur un nouveau
système d'écluses de navigation**

Journal de mathématiques pures et appliquées 2^e série, tome 11 (1866), p. 405-450.

http://www.numdam.org/item?id=JMPA_1866_2_11__405_0



NUMDAM

Article numérisé dans le cadre du programme
Gallica de la Bibliothèque nationale de France
<http://gallica.bnf.fr/>

et catalogué par Mathdoc
dans le cadre du pôle associé BnF/Mathdoc
<http://www.numdam.org/journals/JMPA>

Expériences et considérations théoriques sur un nouveau système d'écluses de navigation;

PAR M. ANATOLE DE CALIGNY.

Cette Note renferme un extrait officiel du Rapport d'une Commission d'Ingénieurs des Ponts et Chaussées, rédigé en 1866.

Description du système primitif.

Cet appareil a pour objet de remplir un sas d'écluse de navigation, en tirant une partie de l'eau du bief inférieur, et de la vider en relevant une partie de l'eau au bief supérieur. Il se compose : 1° d'un grand tuyau de conduite fixe débouchant par une extrémité dans l'enclave des portes d'aval, et traversant par l'autre extrémité un réservoir en communication avec le bief d'amont; 2° de deux tubes verticaux mobiles ouverts à leurs deux extrémités, mettant alternativement ce tuyau de conduite, percé de deux orifices horizontaux, en communication avec le bief d'amont par le réservoir dont je viens de parler, et avec le bief d'aval par un autre réservoir communiquant avec ce dernier bief au moyen d'un fossé de décharge. Chacun de ces tubes mobiles est manœuvré à l'aide d'un balancier. On reviendra plus loin sur les détails relatifs à ces tubes : il ne s'agit d'abord que du principe.

Pour remplir l'écluse, on lève le tube vertical qui est dans le réservoir précité d'amont; l'eau s'écoule de ce réservoir dans l'écluse par le grand tuyau de conduite. Quand une certaine vitesse est acquise, on laisse ce tube vertical retomber sur son siège, de sorte que la communication est interrompue entre le grand tuyau de conduite et le bief d'amont. L'eau, en se dirigeant vers l'écluse, tend à baisser dans le grand tuyau de conduite; mais, quand elle est suffisamment descendue dans le premier tube vertical ouvert à ses deux extrémités, et dans lequel l'air extérieur entre librement par le sommet, on lève l'autre

tube vertical pour établir la communication avec le bief d'aval, dont l'eau entre dans le tuyau de conduite pour remplir le vide que tend à y faire l'eau qui se dirige vers l'écluse en vertu du mouvement acquis. Quand ce mouvement s'est éteint, on baisse le tube mobile d'aval, on lève celui d'amont, et ainsi de suite, tant que l'appareil peut marcher assez utilement.

Pour vider l'écluse, il n'est nécessaire de manœuvrer qu'un seul des tubes mobiles, celui d'aval, l'autre pouvant rester baissé pendant toute l'opération de la vidange. On lève le tube mobile d'aval, l'eau de l'écluse s'écoule au bief inférieur par le grand tuyau de conduite. Quand une vitesse convenable est acquise dans ce dernier, on baisse ce tube mobile. En vertu de la vitesse acquise, l'eau, après s'être élevée au niveau de celle qui est dans l'écluse, monte plus haut et se verse aux sommets des deux tubes mobiles; elle peut à la rigueur ne se verser que par le sommet du tube mobile d'amont, l'autre pouvant, si l'on veut, se prolonger assez haut pour que cet effet se produise de cette manière.

Dans les dernières expériences en grand, le tuyau de conduite ayant 1 mètre de diamètre intérieur, le versement se faisait par le sommet des deux tubes verticaux. Celui d'aval était entouré à son sommet d'un tuyau fixe, attaché au fond d'un réservoir supérieur en communication avec le bief d'amont. On conçoit qu'il peut se perdre de l'eau entre ce bout de tuyau fixe et le tuyau mobile d'aval; mais les extrémités de ces deux tubes peuvent être disposées de manière que cette perte se réduise à très-peu de chose, un rebord extérieur du tube mobile pouvant approcher de très-près du sommet du tube fixe sans que cela empêche la fermeture du tube mobile sur un siège annulaire fixe convenablement disposé au-dessous de celui-ci.

Je suppose qu'un bélier hydraulique élévatoire et un bélier hydraulique aspirateur puissent être disposés sur un même corps de bélier, de manière que le bélier élévatoire pût marcher en relevant une partie de l'eau au bief supérieur, et que le bélier aspirateur pût marcher quand on remplit au contraire l'écluse, en tirant une partie de l'eau du bief inférieur. Mon but a été de produire le même effet, mais en disposant les choses de manière que les sections transversales ne puissent jamais être bouchées.

Il résulte de ces dispositions que les coups de bélier sont impossibles; de sorte que des tuyaux de grand diamètre très-fragiles, en très-vieille tôle ou même en zinc, n'ont point été endommagés par le jeu d'immenses colonnes liquides.

Les orifices du grand tuyau de conduite sur lesquels les tuyaux mobiles verticaux viennent alternativement s'appuyer pour interrompre la communication du système, soit avec le bief d'amont, soit avec le bief d'aval, soit avec l'un et l'autre de ces biefs, doivent être disposés le plus près possible l'un de l'autre. La partie du tuyau de conduite sur laquelle ils se posent traverse une cloison qui sépare les deux biefs, c'est-à-dire les réservoirs en communication avec l'un et l'autre de ces biefs, un des tubes verticaux étant en amont de cette cloison, et l'autre étant en aval. On conçoit donc qu'une cloison en fonte, du moins sur une certaine hauteur, vaut mieux qu'un mur pour la séparation dont il s'agit. Il est en effet facile de voir que plus il y aura de distance entre ces deux tubes mobiles, plus il y aura de force vive perdue dans la colonne liquide comprise entre eux. Cependant il faut que le liquide ait autour de ces tuyaux l'espace libre nécessaire pour entrer ou sortir.

Je me suis d'abord occupé des moyens de faire marcher cet appareil de lui-même, c'est-à-dire de manière que l'éclusier n'eût à intervenir que pour la mise en train. Mais je me suis aperçu que si le tuyau de conduite a une longueur développée assez grande, le nombre de périodes de l'appareil peut être tellement diminué, qu'une marche automatique serait tout à fait sans importance.

Je n'entrerai donc ici dans aucun détail à ce sujet, d'autant plus qu'il serait difficile peut-être d'expliquer sans figure les dispositions étudiées relativement à cette marche automatique, qui n'est plus d'ailleurs qu'un objet de curiosité depuis que MM. les Ingénieurs des Ponts et Chaussées, qui ont fait un Rapport sur ce système, pensent, ainsi que moi, qu'il est inutile de s'occuper de ce détail.

Il résulte d'ailleurs de la suppression des dispositions que j'avais d'abord adoptées pour ce point secondaire, que l'éclusier aura beaucoup moins d'efforts à faire pour manœuvrer les tubes verticaux mobiles, parce que le diamètre de ces derniers pourra ne pas différer bien sensiblement de celui du grand tuyau de conduite, et même à la rigueur ne pas en différer du tout. Ainsi, dans le Mémoire sur une ma-

chine élévatoire à tube oscillant que j'ai publié en 1862, dans le tome VII, 2^e série, du *Journal de Mathématiques pures et appliquées*, j'ai montré comment, en élargissant le tube vertical au-dessus d'un anneau inférieur de même diamètre que la conduite, on obtenait un mouvement automatique. J'ai d'abord exécuté une disposition semblable pour le tube mobile d'aval de ce système d'écluses, et j'ai obtenu ainsi une marche automatique d'une manière très-simple pour les dernières périodes par les mêmes principes que dans le Mémoire précité. Mais il en résultait que pour les premières périodes l'éclusier avait plus de peine à lever ce tube, à cause de la pression de la colonne liquide verticale qu'il contient sur son anneau inférieur de même diamètre que la conduite.

Si, au contraire, on réduit la pression intérieure à ce qui peut être commode pour maintenir la fermeture du tube mobile sur son siège, il sera évidemment beaucoup moins difficile de le lever. Si même on supprime entièrement cette pression intérieure en donnant au tube mobile le même diamètre qu'à la conduite, pour ne lui faire presser son siège inférieur qu'en vertu de son poids d'ailleurs plus ou moins équilibré, on pourra au besoin assurer la fermeture dont il s'agit, quand l'appareil ne marchera pas, en appuyant sur son sommet au moyen d'une pièce articulée facile à ôter lorsqu'on voudra le faire marcher, et qui, en temps utile, pressera, au moyen d'un contre-poids manœuvré par un cric, le sommet du tube mobile. J'ai remis les dessins des divers détails de cette écluse au Ministère des Travaux publics, et comme elle sera prochainement appliquée sur un canal, je me borne ici à une simple exposition de principes, ne doutant pas d'ailleurs que les études auxquelles cette application va donner lieu ne doivent révéler de nouveaux phénomènes quant à certains détails.

Il est intéressant de remarquer que si, pour le tube d'amont, il n'est pas indispensable de prendre des précautions afin qu'il s'appuie sur son siège en vertu d'une pression du liquide autour de son pied, garni au besoin d'un rebord extérieur, il y a une raison pour laquelle, du moins dans les premiers temps où cette machine sera employée, il pourra être utile de conserver une partie de cette pression pour le tube d'aval. En effet, si l'on ne veut pas ajouter un clapet au système pour faire entrer de l'eau du bief d'aval, quand il y aura une certaine

vitesse acquise dans le tuyau de conduite, il faudra que le tube vertical d'aval se lève avant que l'eau en mouvement soit trop descendue dans la conduite, où il est évidemment plus qu'inutile d'introduire de l'air. Or, si le tube vertical d'aval a un diamètre plus grand que son anneau inférieur, quand l'eau qu'il contient sera descendue assez bas en suivant celle du tuyau de conduite pour ne plus presser aussi fortement cet anneau inférieur, le tube dont il s'agit pourra se lever de lui-même au moyen d'un contre-poids, sans que l'on ait à craindre une distraction de l'éclusier.

Le calcul semble indiquer que si le versement se fait en même temps au sommet des deux tubes verticaux pour l'eau qui rentre au bief supérieur, il devrait y avoir plus d'avantage que si le versement se faisait au sommet d'un seul. Cependant, quand l'expérience a été faite en versant l'eau élevée par un seul tube avant que celui d'amont fût posé, l'effet utile en eau relevée n'a pas été sensiblement moindre qu'après la pose de ce second tube. Cela peut provenir des pertes quelconques résultant de ce qu'à chaque période les deux tubes verticaux doivent se vider, et surtout de ce que, dans les premières périodes, les oscillations en retour étant loin de les vider jusqu'au bas, le reste de ce qu'ils contiennent d'eau au-dessus du niveau du bief d'aval tombe dans ce bief sans être utilisé.

Il résulte de là que plus le tuyau de conduite sera long, plus l'avantage indiqué par la théorie dont je viens de parler devra être appréciable; de sorte qu'il est probable qu'on pourra diminuer la perte de force vive en ajoutant dans le réservoir d'amont un tube vertical fixe ayant seulement pour but de diminuer les vitesses de sortie du liquide versant dans le bief supérieur à cette époque de l'opération, comme si ce versement se faisait par un orifice évasé, quoiqu'il faille ici tenir compte de l'effet des coudes.

Sans entrer encore dans ces détails, je dois rappeler que des expériences sur un modèle de cette écluse ont été l'objet d'un Rapport favorable au Conseil général des Ponts et Chaussées en 1849, par M. Belanger, ingénieur en chef des Ponts et Chaussées. La Commission dont il était rapporteur avait constaté que ce système épargnait environ les trois cinquièmes de l'éclusée. En 1851, des expériences furent faites plus en grand, mais seulement sur une écluse de petite navigation.

Elles ne firent, quant à l'effet utile, que confirmer les expériences sur le modèle précité. Elles furent l'objet d'un Rapport favorable par feu M. Méquet, inspecteur général des Ponts et Chaussées. Des expériences beaucoup plus en grand ont été faites depuis sur ce système, et elles ont été l'objet d'un Rapport favorable dont un extrait officiel, revêtu de la signature de M. Dumoustier, chef de division au Ministère des Travaux publics, est joint au présent Mémoire. Mais il est intéressant d'ajouter aux chiffres notés par la Commission le simple énoncé du résultat obtenu quand l'appareil était encore en meilleur état, ayant été longtemps abandonné par suite de causes de force majeure entièrement étrangères à l'état de la question.

L'effet utile a été notamment augmenté quand l'appareil était neuf, et quoiqu'il soit prudent de s'en tenir à des chiffres moins élevés dans la pratique, il est intéressant de conserver la trace des principaux résultats obtenus.

Dans les petits modèles ou dans les appareils où le tuyau fixe n'est pas assez long par rapport à la chute, il est beaucoup plus difficile de régler les périodes, parce que l'inertie de l'eau qui se met en mouvement dans ce tuyau de conduite fixe n'en laisse pas le temps. Il en résulte qu'on laisse l'eau acquérir trop de vitesse, notamment dans les premières périodes, où agit la plus grande partie de la hauteur de chute.

Cela était facile à voir dans certains cas, à l'époque où l'écluse se vidait, en jetant de l'eau par le sommet d'un tuyau vertical. Dans les nouvelles expériences, le tuyau de conduite fixe a 1 mètre de diamètre intérieur et environ 42 mètres de long. La chute étant d'environ 1^m,60 et ayant même été notablement plus grande dans diverses expériences, on a mieux saisi le temps nécessaire pour lever chaque tuyau mobile, en un mot, pour faire les manœuvres de manière à ne pas laisser échapper à chaque période plus d'eau qu'on ne le veut; aussi, en vidant l'écluse, on a relevé les deux cinquièmes de l'éclusée. Il est vrai que dans ce cas on avait notablement augmenté le nombre des périodes.

La seconde partie de l'appareil, nécessaire pour remplir l'écluse, en tirant une partie de l'eau du bief d'aval, n'a pas encore été essayée en grand, à cause de difficultés locales résultant des dispositions des an-

ciens bassins de Chaillot, qui étaient sur le point d'être démolis; mais il résulte des phénomènes suffisamment étudiés dans les expériences sur un modèle, que l'effet utile de cette seconde opération ne peut pas différer beaucoup de celui de la première, d'autant plus que pour le modèle dont il s'agit, l'effet utile quant à la vidange ne différerait pas beaucoup de celui qui a été constaté par la Commission pour la vidange faite au moyen du plus grand appareil.

De sorte que l'épargne totale résultant des deux opérations ne pourrait pas être moindre probablement que les quatre cinquièmes environ de l'écluse, si l'on voulait multiplier les périodes dans le cas où l'on en aurait le temps. Quant à l'effet utile maximum de l'opération faite en grand dans ces conditions, je n'ai pas cru devoir m'en rapporter à moi-même; il a été vérifié en mon absence par M. Briquet, conducteur principal des Ponts et Chaussées en retraite, très-estimé dans ce corps, qui m'autorise à m'appuyer sur son témoignage. Mais il ne faut pas oublier qu'il ne s'agit pour ce maximum que du cas exceptionnel où les périodes pourraient être assez nombreuses. Aussi, je ne fais que l'indiquer ici.

Dans le système tel que je l'avais présenté d'abord, l'eau relevée au bief supérieur ne devait sortir que par un seul orifice. J'ai déjà fait quelques essais d'une manœuvre nouvelle au moyen du versement au sommet des deux tubes verticaux, et j'espère encore résoudre ainsi une difficulté très-bien comprise dans le savant Rapport de M. l'ingénieur en chef Belanger.

Il paraîtrait utile en principe d'évaser l'extrémité d'aval du tuyau de conduite, destiné à recevoir un tuyau vertical mobile rejetant alternativement de l'eau au bief supérieur, à l'époque où l'écluse se vide. Mais on se demandait si l'augmentation de diamètre qui en résulterait pour ce tube mobile, etc., n'augmenterait pas la difficulté de la manœuvre. Maintenant l'eau peut sortir, non-seulement par le sommet de ce tube, mais par le sommet d'un autre tube disposé sur le tuyau de conduite fixe, dans une capacité remplie d'eau en communication avec celle du bief supérieur; et quoique jusqu'à présent cela n'ait point paru conduire à un effet utile plus grand, il y a lieu d'espérer que cela y conduira quand on aura encore diminué le nombre des périodes par une augmentation de longueur du tuyau de conduite.

Cette augmentation de longueur a jusqu'à présent été une cause d'augmentation de l'effet utile, et j'en ai tenu compte dans les derniers projets que j'ai soumis à l'administration des Ponts et Chaussées. Cependant je ne propose pas encore un troisième tuyau vertical entièrement fixe, dont j'ai cru devoir dire quelques mots ci-dessus parce qu'il est intéressant de conserver la trace de cette idée, abstraction faite même de son utilité immédiate.

Mais sans entrer ici dans plus de détails, je vais donner les résultats principaux des expériences faites sur le système réduit à sa plus simple expression, aux anciens bassins de Chaillot, par une Commission d'ingénieurs des Ponts et Chaussées. On avait disposé les choses de manière à opérer comme si l'on avait eu à sa disposition une écluse de navigation d'une section analogue à celle des écluses du canal du Centre. On n'entrera pas d'ailleurs ici dans des détails secondaires, qui seront ultérieurement donnés dans des recueils spéciaux, et ne sont pas indispensables pour l'exposition des principes essentiels.

Résumé du Rapport adressé à S. Exc. M. le Ministre de l'Agriculture, du Commerce et des Travaux publics, sur le fonctionnement d'une machine hydraulique présentée par M. de Caligny, et ayant pour objet :

- 1° *Pendant la vidange des écluses, de faire remonter dans le bief d'amont une partie des eaux du sas;*
- 2° *Pendant le remplissage, de se servir dans une certaine proportion des eaux du bief d'aval pour coopérer à ce remplissage.*

« Le Rapport dit au début quelles ont été les dispositions prises dans les bassins de Chaillot pour y faire une application du mécanisme inventé par M. de Caligny; il donne ensuite la description de ce mécanisme, et s'explique sur la manière dont il faut le faire fonctionner; il constate qu'eu égard aux dimensions des bassins, aux volumes d'eau employés, à la longueur et au diamètre de la conduite qui fait communiquer le bief d'amont avec celui d'aval, les résultats des expériences peuvent être considérés comme étant très-sensiblement les mêmes que ceux qu'on obtiendrait dans la pratique ordinaire.

» Il rend compte ensuite des expériences faites sous les yeux de la Commission.

» En égard aux dispositions locales adoptées pour ces expériences, la chute de l'amont à l'aval doit être considérée comme ayant une valeur de 1^m,58.

» Le nombre de périodes employé pour faire fonctionner l'appareil a été de douze; la durée moyenne de chacune a été de 32 secondes, la durée totale du fonctionnement a été de 6^m 20^s.

» Pendant ce temps, le niveau de l'eau dans le sas s'est abaissé de 1^m,16.

» La quantité d'eau relevée a été de 82 mètres cubes, celle de l'eau dépensée 200^{mc},30, de sorte que le rapport de l'une à l'autre est de 41 pour 100.

» Le fonctionnement de l'appareil a été arrêté après la douzième période, parce qu'en ce moment la quantité d'eau relevée a été jugée à peu près insignifiante, et que si l'on avait voulu continuer la vidange par ce moyen, il aurait fallu prolonger la durée de l'opération dans une proportion inconciliable avec les besoins d'un service de navigation.

» Il suit de là que, pour une chute de 1^m,58, la considération du temps ne permet pas de se servir de la machine au delà de l'abaissement de 1^m,16. C'est pour cet abaissement seulement que l'effet utile est de 41 pour 100; mais pour que le sas soit complètement vidé, il faut encore écouler une tranche de 1^m,58 — 1^m,16, soit 0^m,43, qui représente un volume de 74 mètres cubes, lequel, ne pouvant plus être utilement extrait par l'appareil, devra s'écouler par les moyens ordinaires.

» En résumé, l'écluse totale se trouve composée, savoir :

1° De la quantité d'eau ci-dessus vidée pendant le fonctionnement de l'appareil.....	200 ^{mc} ,30
2° De celle évacuée à la fin par les moyens ordinaires....	74 00
Total.....	274 ^{mc} ,30

» En conséquence, le rapport définitif de l'effet utile à l'effet total est mesuré par la fraction $\frac{82}{274,3}$, soit 30 pour 100.

» La Commission exprime l'avis que ce chiffre doit être considéré

comme un minimum, parce que des pertes d'eau évidentes existent dans l'appareil construit depuis trois ans, dans des conditions d'exécution assez grossières.

» M. de Caligny ayant exprimé l'opinion qu'il y aurait de l'avantage à prolonger la durée de chaque période, il a été procédé sous les yeux de la Commission à une nouvelle expérience : la chute de l'amont à l'aval a été de 1^m,38.

» Le nombre de périodes a été de sept, dont la durée moyenne a été de 37 secondes; le temps total employé a été de 4^m 19^s. Le niveau de l'eau dans le sas a baissé de 1^m,18; le débit total est donc de 202^{mc},96, et comme on a relevé 76^{mc},14 d'eau, il s'ensuit que le rapport de l'effet utile à l'effet total est de 37 pour 100. Si l'on a égard à ce que la chute était moindre cette fois que la première, on trouve qu'à conditions égales les mesures des effets seraient sensiblement équivalentes.

» Mais on a sensiblement gagné au point de vue du temps, puisqu'on n'a employé que 4^m 19^s au lieu de 6^m 20^s pour un abaissement qui même a été un peu plus grand dans le second cas que dans le premier.

» On a en outre gagné en ce que la tranche de fond à évacuer par les moyens ordinaires n'a été que de 0^m,20 de hauteur au lieu de 0^m,43.

» Somme toute, l'écluse complète représente cette fois 237^{mc},36; l'eau est élevée de 76^{mc},14 : l'effet utile a donc pour mesure la fraction $\frac{76,14}{237,36}$, soit 32 pour 100.

» En résumé, en prolongeant la durée des périodes, on a eu, même pour une chute moindre, un effet utile plus grand, et on a sensiblement abrégé la durée de l'opération, ce qui confirme l'opinion exprimée par M. de Caligny.

» Relativement au remplissage du sas, la Commission n'a pu rien constater à cet égard, parce que les dispositions prises à Chaillot ne le permettaient pas.

» Mais d'après un Rapport de M. Belanger, ingénieur en chef, adressé à la date du 9 décembre 1849 à M. le Ministre des Travaux publics, l'effet utile pendant l'opération du remplissage serait de 28 pour 100.

» Ce Rapport rend compte d'expériences faites sur un appareil de petit modèle dans lequel quelques dimensions ne sont pas dans une complète proportionnalité avec celle des appareils établis à Chaillot.

» La Commission ne déduit d'ailleurs de cette absence de proportionnalité aucune conclusion favorable ou contraire; elle se borne à la mentionner comme un fait, n'ayant pas eu les moyens de procéder aux essais comparatifs qui auraient pu permettre d'en apprécier l'influence.

» *Conclusions.* — Sous la réserve exprimée dans les observations qui précèdent, la Commission pense que l'appareil de M. de Caligny est d'une conception ingénieuse et simple; qu'il pourrait offrir dans certains cas les moyens de réduire la consommation d'eau sur les canaux de navigation, et qu'à ce titre il mérite de fixer l'attention de l'Administration.

» Elle est, en conséquence, d'avis qu'il y a lieu d'engager M. de Caligny à rechercher sur un de nos canaux une localité placée dans des conditions favorables, à se mettre en rapport avec les ingénieurs de ce canal et à se concerter avec eux, soit sur les dispositions à prendre, soit sur les dépenses à faire pour l'établissement de sa machine auprès d'une écluse.

» Ce n'est que lorsque ces renseignements lui seront parvenus que l'Administration sera à même de se prononcer sur l'application qu'il pourrait y avoir lieu de faire de l'appareil de M. de Caligny aux canaux dans lesquels les moyens d'alimentation sont insuffisants, et pour lesquels il importe particulièrement de diminuer la consommation d'eau.

» Le rapporteur de la Commission,

» *Signé: VALLÈS.*

» Pour copie conforme :

» Le chef de division,

» *Signé: DUMOUSTIER.* »

• Paris, le 6 juin 1866.

» Monsieur, la Commission qui a été chargée d'expérimenter dans le bassin de Chaillot l'appareil hydraulique de votre invention vient de me faire parvenir son Rapport.

» La Commission a reconnu que cet appareil, d'une conception ingénieuse et simple, pouvait offrir dans certains cas les moyens de réduire dans une proportion importante la consommation d'eau sur les canaux de navigation, et elle a pensé qu'il y avait lieu de vous engager à rechercher une localité placée dans des conditions favorables où l'application de votre machine pourrait avoir lieu à titre d'essai auprès d'une écluse.

» J'approuve, Monsieur, la proposition de la Commission, et je m'empresse de donner les instructions nécessaires aux ingénieurs avec lesquels vous vous serez mis en rapport pour arrêter de concert, soit les dispositions à prendre, soit les dépenses à faire pour l'établissement de votre machine auprès d'une écluse.

» Recevez, Monsieur, l'assurance de ma considération très-distinguée.

» Le Ministre de l'Agriculture, du Commerce
et des Travaux publics,

» *Signé* : ARMAND BÉHIC. »

Les usages de l'Administration ne permettant pas, à ce qu'il paraît, de communiquer officiellement aux auteurs les Rapports entiers, je n'ai pu être autorisé qu'à publier les deux pièces précédentes, relatives au Rapport beaucoup plus étendu fait sur mon travail. Mais ce qui précède me paraît suffire, surtout si l'on en fait prochainement une grande application sur un canal de l'État.

*Études sur les oscillations de grandes nappes liquides
faites depuis la rédaction du Rapport.*

Quand un bief est extrêmement court, il ne s'agit pas seulement d'épargner l'eau par l'ensemble des deux opérations de remplissage et de vidange. Il faut que, pendant le remplissage, la quantité d'eau prise au bief d'amont n'y fasse point baisser le niveau de manière à faire toucher les bateaux qui s'y trouvent, quand même la quantité d'eau restituée au bief d'amont pendant la vidange serait aussi grande qu'on pourrait le désirer.

Si l'on dispose à l'extrémité du contre-fossé, près du bief d'aval, une sorte de grand clapet, pouvant d'ailleurs au besoin se fermer de lui-même au moment voulu, on peut transformer par ce moyen ce contre-fossé en une sorte de *bassin d'épargne*, dont les parois sont supposées s'élever au besoin à une hauteur convenable, même au-dessus de ce grand clapet.

Cette disposition peut être utilisée de plusieurs manières : d'abord, même dans le cas où l'on n'aurait pas à se préoccuper d'un bief d'amont très-court, à partir du moment où l'appareil de vidange ne relèvera plus que peu d'eau au bief supérieur, on pourra encore utiliser en partie la tranche d'eau qui restera dans l'écluse.

Quand même il n'y aurait pas à considérer l'effet du mouvement acquis dans le grand tuyau de conduite pendant qu'on versera de l'eau de cette tranche dans cette espèce de bassin d'épargne, on conçoit déjà qu'on pourrait épargner une portion de cette tranche pour la faire ensuite rentrer en partie dans l'écluse quand on voudra remplir celle-ci.

Mais il est intéressant de remarquer que l'écoulement de l'eau du sas ne peut se faire sans engendrer dans le grand tuyau de conduite de la force vive, d'où il résultera que le niveau baissera dans l'écluse au-dessous de celui de l'eau entrée dans le bassin d'épargne.

Lorsque ensuite, après avoir fait sortir par les moyens ordinaires ce qui restera d'eau dans le sas, on voudra commencer le remplissage de ce dernier, on obtiendra du fossé de décharge vers le sas une grande oscillation qui fera baisser l'eau dans cette espèce de bassin d'épargne

au-dessous du niveau de celle qui entrera dans le sas. Quant à l'eau qui restera dans le contre-fossé au-dessus du niveau du bief d'aval, à partir du moment où l'appareil de remplissage fonctionnera, on aura à la puiser moins bas que le niveau du bief d'aval, dont ensuite le clapet pourra au besoin s'ouvrir de lui-même quand l'eau sera suffisamment baissée dans le contre-fossé.

Considérons maintenant d'une manière plus spéciale le cas où le bief d'amont est extrêmement court. Pour ce cas, il ne paraît pas même indispensable que le contre-fossé, pouvant alors être complètement transformé en bassin d'épargne, communique par un clapet avec le bief d'aval.

Au lieu de jeter dans ce dernier bief la partie de l'éclusee qui, pendant le jeu de la machine de vidange, ne sera pas relevée au bief supérieur, on pourra la laisser tomber dans le bassin d'épargne. On en relèvera moins au bief supérieur, par la raison même que le niveau s'élèvera dans ce bassin d'épargne. Mais on pourra diviser les effets de manière à avoir beaucoup moins d'eau à tirer du bief supérieur pendant la durée de la partie de l'opération consacrée au remplissage du sas, à cause de la quantité d'eau qu'on trouvera dans ce bassin latéral.

Il faut d'ailleurs remarquer qu'on peut y faire élever l'eau plus haut que dans le sas, parce qu'à partir de l'époque où l'appareil de vidange ne marchera plus utilement, à cause du rapprochement des niveaux montant et descendant, on pourra encore jeter, d'une manière analogue à ce qui a été expliqué ci-dessus, une quantité d'eau considérable du sas dans ce bassin par une grande oscillation.

Lorsqu'on voudra remplir l'écluse, l'eau du bassin d'épargne y entrera tout naturellement avant qu'on fasse marcher l'appareil. Mais en y entrant elle engendrera une grande quantité de force vive dans le tuyau de conduite, et il en résultera, comme on le conçoit d'après ce qui a été dit ci-dessus, que l'eau montera dans l'écluse à une certaine hauteur au-dessus du niveau où elle descendra dans le bassin d'épargne. Si l'on fait ensuite marcher l'appareil de remplissage, il faudra tenir compte de ce que l'eau restée dans le bassin d'épargne se trouvera à un niveau plus élevé que celui du bief d'aval, de sorte qu'on aura à la puiser de moins bas que si elle était tirée de ce dernier bief.

Le bassin de communication entre le bief supérieur et la tête de la machine peut être utilisé d'une manière intéressante par deux grandes oscillations, l'une de haut en bas à la fin du remplissage de l'écluse, l'autre de bas en haut au commencement de la vidange.

Quand l'appareil de remplissage ne marche plus assez utilement à cause du rapprochement du niveau qui s'y élève, il suffit de lever le tube vertical qui établit alternativement la communication entre ce bassin et l'écluse, pour jeter encore une quantité d'eau considérable dans cette dernière, sans la prendre au bief d'amont, si la communication entre ce bief et ce bassin est interrompue en temps utile au moyen d'une sorte de grand clapet ou de porte de flot.

Lorsque ensuite on voudra vider l'écluse, on pourra profiter de la baisse produite dans ce bassin intermédiaire par l'oscillation dont on vient de parler pour obtenir, avant de mettre l'appareil de vidange en train, une première grande oscillation de vidange qui fera évidemment sortir d'autant plus d'eau du sas, qu'elle aura trouvé le niveau plus bas dans le bassin dont il s'agit.

On peut, au reste, modifier ces effets en considérant la question de la manière suivante. On pourra achever complètement le remplissage du sas à partir du moment où l'appareil ne marchera plus d'une manière assez utile au moyen d'une seule grande oscillation, si l'on ne ferme pas immédiatement la communication entre ce bassin intermédiaire et le bief d'amont. On conçoit en effet que si l'écoulement de ce bassin vers l'écluse est entretenu pendant un temps convenable et que la communication entre ce bassin et le bief d'amont soit fermée à un instant voulu, les choses pourront être calculées de manière qu'il se fasse dans ce bassin une baisse considérable qui ne se terminera qu'à l'époque où le sas sera rempli.

Il n'est pas sans intérêt de remarquer, abstraction faite des avantages qui résulteront pour l'effet utile des considérations précédentes, que le niveau étant ainsi baissé autour du tube vertical précité, il sera plus facile d'éviter les pertes d'eau pendant que l'appareil sera en repos, si le clapet d'amont est bien construit.

Pour le cas d'un bief d'amont très-court, il est intéressant que ce bassin intermédiaire ait une assez grande étendue, afin que la grande oscillation de remplissage dont on vient de parler puisse faire baisser

le moins possible le niveau dans ce bief. Quelques expériences seront nécessaires pour étudier les effets de ces oscillations sur d'aussi grandes nappes liquides; mais on en a déjà une idée par celles qui ont été faites au moyen de l'appareil effectuant l'opération de vidange ou de remplissage en un très-petit nombre de périodes; de sorte qu'il est déjà possible de se former une idée assez approximative de ce genre d'effets, pour lesquels il faut tenir compte de la perte de force vive aux extrémités du système, quand l'eau sort d'un tuyau de conduite en rencontrant des sections si larges par rapport à celle de ce tuyau, qu'on doit regarder comme perdue en général la vitesse de sortie de l'eau; ce qui, dans certaines limites, permet cependant d'utiliser la force vive de la colonne liquide en mouvement dans le grand tuyau, et d'autant mieux que les dimensions de ce dernier sont plus considérables.

Dans l'état où la machine a été essayée, il y a une cause de perte de force vive d'autant plus sensible qu'on veut vider l'écluse plus vite. L'eau, en se versant au bief supérieur, monte au-dessus du sommet des tubes, à une hauteur d'autant plus sensible qu'il y a alors plus de vitesse dans le tuyau de conduite. Or, cet inconvénient sera atténué, quant à la partie du déchet provenant de l'appareil proprement dit, lorsque avant de mettre l'appareil en train on commencera la vidange par une grande oscillation dans le réservoir destiné à mettre alternativement le tuyau de conduite en communication avec le bief supérieur.

En effet, abstraction faite des avantages précités de cette grande oscillation, elle ne peut se faire sans occasionner une baisse de l'eau dans l'écluse, où par conséquent le niveau se trouvera tout naturellement au-dessous de celui du bief d'amont; de sorte que l'on se trouvera, pour la première période de la machine, dans des conditions analogues à celles où l'on était, à l'époque des expériences, pour l'une des périodes suivantes, dont les jets s'élevaient beaucoup moins au-dessus du sommet des tubes verticaux que pour la première.

Ce que je viens de dire peut servir à fixer les idées sur ce genre d'effets sans qu'on en fasse encore le calcul, qui dépendra des dimensions du réservoir intermédiaire dont il s'agit. On conçoit combien, avant des expériences directes sur ces grandes oscillations de *nappes*

liquides, il est difficile de bien préciser les effets. Mais il est intéressant de montrer d'une manière générale comment les diverses parties du déchet peuvent être modifiées dans les diverses parties de la manœuvre.

*Application aux écluses multiples, et notamment
aux écluses doubles.*

L'avantage de ce système consiste principalement en ce qu'il coûtera beaucoup moins cher pour épargner l'eau dans les écluses de navigation existantes que d'autres moyens proposés par divers auteurs ou par moi-même. Il paraît d'ailleurs ne pas devoir occasionner une dépense proportionnelle au nombre de sas accolés.

S'il suffit que chaque sas se vide ou se remplisse en un même temps donné, je veux dire si les sas sont égaux, et si l'un ne prend pas plus de temps que l'autre pour le remplissage ou la vidange, la vitesse de l'écoulement dans un sens ou dans l'autre sera la même pour chaque sas, et par conséquent quelle que soit la chute totale de leur ensemble.

Il en résulte que la moyenne des hauteurs dues aux vitesses d'écoulement sera d'autant moindre, par rapport à la chute totale, que cette dernière sera plus grande. Il est vrai, comme on verra plus loin, que la longueur du tuyau de conduite sera augmentée s'il y a un plus grand nombre de sas accolés; mais il résultera de ce que je viens de dire une diminution dans la somme d'une partie des pertes de force vive. Il y a donc lieu d'espérer qu'en définitive on pourra, dans certaines limites, diminuer au besoin le diamètre de ce tuyau de conduite. On n'aura d'ailleurs qu'une seule tête de machine pour tous les sas accolés.

Je suppose d'abord qu'il ne s'agit que de deux sas accolés; on pourra y appliquer l'appareil tel qu'il a été essayé pour une écluse simple, du moins si les sas n'ont chacun que des hauteurs modérées. Le réservoir destiné à mettre l'appareil en communication avec le bief supérieur sera disposé en amont du sas le plus élevé, et latéralement comme pour une écluse simple. Ce réservoir et la tête de l'appareil seront d'ailleurs disposés comme si le sas le plus élevé avait la hau-

teur de la chute totale des deux sas. Les choses peuvent à la rigueur ne différer en principe qu'en ce que l'autre extrémité du tuyau de conduite devra se bifurquer de manière à pouvoir être mise alternativement en communication avec chacun des deux sas, l'autre sas étant alternativement isolé par un mode de fermeture convenable.

Il est facile de voir, au moyen de cette disposition générale, qu'on peut vider le sas supérieur en relevant une partie de l'eau au bief d'amont et remplir le sas inférieur en tirant une partie de l'eau du bief d'aval. Dans l'une et l'autre opération, la chute motrice sera bien plus grande que pour une écluse simple, à cause de l'augmentation de hauteur de chute provenant de l'un ou l'autre sas; de sorte que la fraction de l'éclusee relevée au bief d'amont et la fraction de l'éclusee tirée du bief d'aval seront l'une et l'autre bien plus grandes que pour une écluse simple.

Il est à remarquer d'ailleurs que pour une écluse simple, le système ne peut marcher utilement que pendant une fraction de la durée totale de chaque opération de remplissage ou de vidange, parce qu'à partir de l'époque où la différence des niveaux qui se rapprochent est diminuée au delà de certaines limites dans l'un et l'autre cas, l'avantage de la continuation de l'emploi de l'appareil serait plus que compensé par la perte de temps. Or, pour les écluses à deux sas accolés, l'appareil peut marcher utilement, pour le cas précité, jusqu'à la fin de chaque opération pour chaque sas, parce qu'à la fin de chaque opération il restera encore une chute motrice exprimée par toute la hauteur de l'autre sas; de sorte qu'il n'est pas même nécessaire d'achever la vidange ou le remplissage par les moyens ordinaires.

C'est surtout pour le cas où un bateau monte en trouvant les deux sas vides qu'il est utile d'épargner l'eau; il est déjà facile de voir, au moyen de ce qui précède et des expériences faites sur une écluse simple, qu'une écluse à deux sas accolés ne dépensera pas plus d'eau qu'une écluse simple du système en usage, et qu'elle en dépensera même probablement beaucoup moins.

Quant au remplissage du sas supérieur, si l'on commence avec l'appareil, on sera obligé de s'arrêter plus tôt que pour une écluse simple, parce qu'il faudra que l'eau du bief d'aval commence par monter à une hauteur égale à celle du sas inférieur. J'ai donc cherché à tirer

du sas inférieur, supposé plein, une partie de l'eau qui doit remplir le sas supérieur.

Un tuyau de conduite beaucoup moins long que le premier peut mettre en communication le sas inférieur avec un réservoir intermédiaire, disposé près de la tête de la machine. On conçoit que si l'eau du bief supérieur, en entrant dans le sas le plus élevé, a engendré de la force vive dans le plus long tuyau de conduite, et si l'on interrompt la communication entre ce tuyau et l'eau du bief supérieur pour l'établir entre ce même tuyau et ce réservoir intermédiaire, l'eau qui entrera dans le système, en vertu de la vitesse acquise dans ce grand tuyau de conduite, viendra du sas le moins élevé au lieu de venir du bief inférieur, et sera par conséquent puisée à un niveau moins bas.

L'application de cette disposition secondaire, surtout aux écluses à plus de deux sas accolés, devra être étudiée par l'expérience. Mais on conçoit, d'après ce qui a été dit, que l'appareil pourrait, à la rigueur, marcher à peu près comme s'il n'y avait qu'un seul sas ayant toute la hauteur de sa chute, c'est-à-dire que si les sas sont nombreux, presque toute l'eau du plus élevé sera relevée au bief supérieur. Presque toute l'eau du sas le plus inférieur sera puisée au bief d'aval. Les sas les plus élevés ne tireront pas d'eau du bief d'aval; les sas les moins élevés ne relèveront pas d'eau au bief d'amont. Ce n'est guère que pour les écluses à deux sas qu'il n'en sera pas ainsi, sauf l'emploi de moyens plus délicats que je me réserve d'indiquer ultérieurement.

Il y a une remarque essentielle à faire pour les sas accolés assez nombreux. Si, pour les écluses à deux sas, les deux tubes verticaux de la tête de l'appareil peuvent être mobiles en entier, comme pour une écluse simple, il ne peut pas évidemment en être ainsi pour les chutes dépassant certaines limites.

Dans ce dernier cas, ces tubes verticaux ne peuvent être mobiles, à l'exception d'une vanne cylindrique ou soupape de Cornwall, disposée à l'extrémité inférieure de chacun d'eux. Il sera même intéressant, afin d'éviter de faire parcourir à l'eau un chemin inutile, pour des chutes assez grandes, de supprimer la partie de ces tuyaux supérieure à ces vannes ou soupapes. Mais alors on bouchera le sommet de la petite partie fixe restante, et par conséquent il deviendra nécessaire de prendre certaines précautions dans la manœuvre, pour qu'il

n'y ait pas de coups de bélier; car on n'aura plus, comme pour les écluses simples et les écluses doubles, cet avantage que les sections transversales ne puissent jamais être bouchées.

C'est donc principalement pour les écluses simples et les écluses doubles que le principe apparaît plus spécialement dans toute sa simplicité. Pour ces deux genres d'écluses on peut appliquer de diverses manières les principes des grandes oscillations de nappes liquides.

Ainsi, il est clair qu'on pourra achever le remplissage du sas le plus élevé d'une écluse double au moyen d'une grande oscillation de haut en bas dans le réservoir de communication, entre la tête de la machine et le bief supérieur. Quand on videra le sas inférieur, on profitera de la baisse du niveau dans ce réservoir par suite de cette grande oscillation.

On pourra ensuite, en faisant gonfler l'eau, comme je l'ai expliqué, dans la rigole de décharge, alternativement transformée en bassin d'épargne, au moyen d'une sorte de grand clapet inférieur plutôt qu'au moyen d'une porte de flot, jeter par une grande oscillation une masse d'eau considérable qu'on fera rentrer en partie, quand ce sas se remplira, par une autre grande oscillation.

Quand l'eau se verse au sommet des deux tubes ou seulement de l'un d'eux, il se produit un effet très-curieux au commencement de la vidange d'une écluse simple, effet qui se produira aussi en général pour les écluses doubles, au commencement de la vidange du sas le plus élevé. Dans les premières périodes de l'appareil tel qu'il a été essayé, notamment à Chaillot, l'eau ne s'élevant qu'à une petite hauteur au-dessus du niveau variable de celle qui se trouve dans l'écluse, il s'en élève une quantité vraiment énorme par rapport à celle qui descend au bief d'aval. Il peut sembler aux personnes qui n'ont jamais vu l'appareil que, même pour la première période, on va avoir une sorte de mouvement continu.

Cet effet a paru vivement impressionner tous ceux qui en ont été témoins. Mais à mesure que l'eau descend dans l'écluse, la quantité d'eau élevée diminue et finit par être insignifiante. En principe, il est facile de voir qu'abstraction faite des pertes de force vive, le travail disponible dans l'eau qui reste dans l'écluse diminue comme le carré de sa hauteur au-dessus du niveau du bief d'aval.

Ce genre d'effet ne se présentera pas de la même manière pour les écluses multiples, du moins quand la chute totale aura une grande hauteur. Dans ce cas, il sera convenable de faire verser l'eau dans le réservoir en communication avec le bief supérieur par-dessous, c'est-à-dire en soulevant une vanne cylindrique ou soupape de Cornwall, comme j'en ai déjà dit quelques mots ci-dessus. C'est pour ce soulèvement, qui doit se faire en temps utile, de manière à éviter toute chance de coups de bélier, qu'il faudra prendre des précautions particulières dans le détail desquelles je n'entrerai pas ici.

Depuis que ce qui précède est écrit, j'apprends que l'ingénieur en chef d'un canal latéral où il ne s'agit pas d'épargner de l'eau, mais d'éviter des dangers à cause d'un bief d'amont très-court, ce qui, dans l'état actuel des choses, oblige à des retards préjudiciables aux marinières, a remarqué aussi que dans les circonstances où un canal est rétréci, comme le sien, sur une certaine étendue, il résulte des inconvénients d'une baisse trop rapide d'un semblable bief, à cause de l'écoulement rapide qui se fait dans ces parties rétrécies quand on remplit l'écluse. Cet ingénieur, qui a été empêché l'année dernière par les inondations de s'occuper de mon projet, prépare une demande à ce sujet à l'Administration des Ponts et Chaussées. Je ne crois donc pas nécessaire d'entrer en ce moment dans plus de détails, me bornant dans ce journal à exposer clairement mes principes [*].

Détails relatifs à une communication faite par M. l'Ingénieur en chef Vallès à la Société Philomathique de Paris.

Depuis que ce qui précède est écrit, M. Vallès, ingénieur en chef des Ponts et Chaussées, a communiqué à la Société Philomathique de Paris des détails sur les expériences en grand auxquelles a été soumis en sa présence mon nouveau système d'écluses. M. Vallès est le rapporteur de la Commission d'ingénieurs des Ponts et Chaussées qui a rendu

[*] J'ai dit ci-dessus que le principal avantage que j'attribuais à ce système d'écluses était l'économie dans le capital de premier établissement. Mais je me suis aussi occupé

compte au Ministère des Travaux publics des expériences dont il s'agit. Cette communication a été faite à l'occasion de l'extrait officiel du Rapport qui a été présenté à la Société Philomathique et a été imprimé ci-dessus. Comme elle est une sorte de complément du Rapport offi-

d'autres systèmes d'écluses, et même M. Combes a bien voulu insérer une Note à ce sujet dans le *Bulletin de la Société d'Encouragement pour l'industrie nationale*, année 1846, p. 567. Voici cette Note, qu'il a présentée comme extraite du *Bulletin de la Société Philomathique de Paris* :

Moyen de faire fonctionner sans soupape l'écluse à flotteur et à double compartiment de Busby, par M. DE CALIGNY.

• M. Busby, ingénieur anglais, a pris le 14 avril 1813 une patente pour un moyen d'épargner l'eau dans le service des écluses de navigation ordinaires, en disposant latéralement un réservoir circulaire en communication avec l'écluse, et dans lequel un flotteur à double compartiment monte et descend alternativement pour faire monter et descendre alternativement l'eau dans cette écluse.

• Les deux compartiments de ce flotteur sont séparés par un plancher horizontal. Quand le caisson flottant dont il s'agit descend, l'eau du bief supérieur remplit graduellement le compartiment supérieur au moyen de deux siphons, et l'eau du bief inférieur remplit en même temps le compartiment inférieur à l'aide de deux autres siphons. Quand le caisson flottant remonte, l'eau de chaque bief est restituée par la manœuvre, et l'eau baisse dans l'écluse.

• Ce système, qui a le même but que l'écluse à flotteur de Betancourt, mais n'a pas besoin d'être équilibré de la même manière, fonctionne au moyen d'une force motrice quelconque suffisante pour surmonter les résistances passives et l'inertie de tout l'ensemble des masses solides ou liquides.

• Il paraît que l'auteur anglais n'a point saisi d'une manière assez complète toute la généralité du principe qui lui est dû, et qu'il s'est même trompé en cherchant à faire voir comment doit se faire la manœuvre quand on veut que le système fonctionne sans le secours de l'éclusier, et cependant sans employer de soupape. Il est vrai que, dans ce cas, la section du flotteur doit être différente de celle de l'écluse, en y comprenant la section totale de la surface liquide contenue en dehors du flotteur; mais il faut qu'elle soit plus grande au lieu d'être moindre, comme dit l'auteur.

• Voici comment M. de Caligny reprend la question :

• Si un cylindre s'enfonce dans un niveau indéfini, il suffit, pour conserver l'équilibre, qu'il reçoive une tranche d'eau toujours égale à celle qu'il déplace; mais, s'il a de plus à refouler dans le sas d'écluse une tranche d'eau égale à cette dernière, il faut qu'il reçoive encore une tranche d'eau égale. Voilà pour quelle raison il ne suffit plus que l'on tire une seule tranche d'eau du bief supérieur; il en faut aussi une seconde,

ciel, voici un extrait de la Note remise par M. Vallès sur cette communication verbale :

« M. Vallès, après avoir donné des détails sur la construction et le jeu de l'appareil dont le principe est décrit dans les extraits des procès-

qui est tirée du bief inférieur et entre dans le compartiment inférieur du caisson. Jusque-là ceci s'accorde avec le résultat de Busby; mais si la section de l'écluse est sensiblement moindre que celle du caisson cylindrique, la quantité de pression hydrostatique à refouler croîtra plus rapidement que celle qui est introduite dans le système par la tranche d'eau variable du bief inférieur. Il en résulte que l'écluse ne sera pas tout à fait remplie en vertu du refoulement du flotteur, en supposant même qu'au commencement de la descente un excès de poids ait rompu l'équilibre. Si donc on fixe, au moment de l'équilibre stable du système, le flotteur d'une manière quelconque et qu'on achève de remplir l'écluse au moyen de l'eau du bief supérieur, quand on voudra qu'elle se vide après l'introduction ou la sortie du bateau qu'il s'agit de faire passer, il n'y aura qu'à détacher le flotteur, parce que la pression prépondérante de l'écluse, en vertu de l'addition du bief supérieur, lui imprimera un mouvement en sens inverse pendant la durée duquel chaque compartiment rendra à chaque bief l'eau qu'il a empruntée, jusqu'à ce que le flotteur soit remonté à la hauteur dont il est descendu.

» Pour bien comprendre la manœuvre, il faut concevoir que si dans la première période le caisson est descendu, c'est parce que son poids était assez sensiblement prépondérant au commencement de la descente; on l'avait de même attaché d'une manière quelconque et lâché au moment voulu, la section de l'écluse étant déterminée de manière qu'il ne s'enfonçât qu'à une profondeur donnée, afin que l'on pût le faire revenir sur ses pas au moyen de l'addition d'une force motrice qui est le poids de la tranche d'eau tirée du bief supérieur. Or, pendant l'ascension du flotteur, la colonne liquide de l'écluse, au lieu d'être à refouler, est au contraire la force motrice; elle diminue plus vite que la colonne restituée au bief inférieur, et qui est destinée à contrebalancer la différence de principe de ce système avec celui d'un flotteur enfoncé dans un bief indéfini. Tout étant, jusqu'à un certain point, inverse dans cette seconde période, on voit que l'équilibre aura lieu lorsqu'il restera dans l'écluse une certaine hauteur d'eau. Quand l'ascension du flotteur sera finie, on l'accrochera, on videra ce qui restera dans l'écluse au-dessus du bief inférieur, et ainsi de suite quand on voudra recommencer la manœuvre pour le passage de quelque autre bateau. Si l'on n'a pas assez de force motrice pour faire remonter le flotteur à une hauteur convenable, on est libre d'en tirer une plus grande quantité du bief supérieur pendant une portion quelconque de la durée de la descente de l'eau dans l'écluse.

» M. de Caligny ajoute qu'il a toujours été effrayé de la dépense en capital nécessaire pour établir des écluses de ce genre, ainsi que des difficultés d'exécution et du peu de succès que des systèmes analogues ont eu dans la pratique; mais il n'en était pas

verbaux de la Société, a remarqué particulièrement la facilité et la simplicité du jeu de ce système, disposé de manière que non-seulement il ne peut jamais y avoir de coups de bélier, parce que les sections transversales ne sont jamais bouchées, mais que les herbes charriées par les canaux ne peuvent jamais l'obstruer. La manœuvre est extrêmement simple, et l'opération totale de vidange ou de remplissage de l'écluse se fait avec toute la rapidité désirable.

» Si le Rapport officiel a dû faire quelque réserve relativement à l'opération du remplissage, parce que les dispositions prises à Chaillot au moment où les anciens bassins allaient être démolis n'ont pas permis de vérifier l'effet utile constaté par M. l'ingénieur en chef Belanger sur un petit modèle, M. Vallès admet parfaitement ce résultat, en comparant surtout l'effet utile obtenu pendant la vidange par les expériences sur le modèle et sur le grand appareil essayé à Chaillot. M. de Caligny a d'ailleurs fait observer depuis la rédaction du Rapport que, selon lui, s'il y avait du désavantage, ce serait, principalement à cause de diverses circonstances, l'effet utile du petit modèle qui devrait être trop faible. Il résulte d'ailleurs de détails inédits que s'il y a quelque différence de proportionnalité entre le grand et le petit modèle, les expériences sur ce dernier avaient été tellement variées, que la propor-

moins intéressant de montrer comment l'écluse à flotteur et à double compartiment peut être conçue de manière à empêcher toute chance d'accident dépendant de l'éclusier. Le système est alternativement réduit au repos en vertu de pressions simplement hydrostatiques, de manière qu'on n'ait pas à s'embarrasser beaucoup des difficultés relatives au règlement des niveaux. »

En reproduisant cette Note déjà ancienne, il est intéressant d'ajouter que ce système peut être appliqué, quoique avec moins d'avantage et de généralité, à ce que M. D. Girard et M. le général Poncelet ont proposé pour les écluses triples.

Au reste, mon principal but en rappelant ce système est de montrer que j'ai étudié la question sous diverses faces. Je crois toujours que par leur extrême simplicité les appareils à colonnes oscillantes, objet du présent Mémoire, auront l'avantage essentiel de coûter beaucoup moins cher; car d'après une estimation faite par M. Briquet, la dépense ne doit être que d'une dizaine de mille francs pour une écluse simple, même dans des circonstances exceptionnelles. Mais quant à l'effet utile, je conviens que si l'on n'avait pas à se préoccuper du capital de premier établissement, les écluses à flotteur dont il s'agit, étant d'ailleurs au besoin plus ou moins modifiées, épargneraient une quantité d'eau plus considérable.

tionnalité de la longueur du tuyau de conduite à la chute s'était même trouvée quelquefois en sens contraire, sans que cela eût bien sensiblement modifié le résultat.

» Quoi qu'il en soit, il est bien avéré, dit M. Vallès, que l'appareil remplit toutes les conditions désirables, et coûte d'ailleurs beaucoup moins cher que d'autres moyens proposés pour épargner l'eau dans les écluses existantes. Un autre ingénieur en chef des Ponts et Chaussées qui en propose l'application, même sur une écluse d'un canal latéral, a remarqué qu'outre les avantages d'épargner l'eau dans les canaux qui ne sont pas assez bien alimentés, ce système peut être très-utile dans le cas notamment où, le bief d'amont ayant une très-faible superficie, le produit de l'écluse d'aval fait baisser le niveau de ce bief de manière à faire craindre pour les bateaux chargés qui peuvent s'y trouver. Il peut l'être encore, selon le même ingénieur, dans le cas où une écluse est précédée immédiatement par une portion de bief rétrécie dans laquelle l'éclusée produit un courant rapide qui est une gêne réelle à la marche des bateaux montants.

» Quant à l'abaissement du niveau dans le bief d'amont, lorsque ce dernier est très-court, il faut, dans l'état actuel des écluses, lorsqu'il passe de suite plusieurs bateaux remontants, faire perdre aux marins un temps considérable pendant lequel l'éclusier de l'écluse supérieure donne au bassin l'eau qui en a été retirée par chaque éclusée. On conçoit d'ailleurs que s'il y a quelque négligence, il peut se joindre à cette perte de temps une cause de danger réel que l'on n'aura plus à craindre au moyen d'un système convenable d'épargne de l'eau.

» Quant à l'effet utile sur lequel s'appuie le Rapport officiel, il est intéressant de remarquer qu'il a été obtenu avant que M. de Caligny eût présenté à l'Académie des Sciences et à la Société Philomathique divers moyens de l'augmenter par de grandes oscillations de nappes liquides, étudiées par lui depuis cette époque, à l'occasion de l'application proposée en ce moment pour un bief d'amont très-court. »

Cette communication de M. Vallès rappelant plus spécialement l'attention sur les expériences en petit, à cause de la manière intéressante dont elles se coordonnent avec les expériences en grand, il m'a semblé utile d'ajouter ici quelques détails sur ces expériences en petit, qui

furent répétées en présence d'une première Commission le 20 août et le 20 novembre 1847.

Voici un extrait du Rapport inédit de M. Belanger, plusieurs fois cité dans ce qui précède, et qui a été approuvé par le Conseil général des Ponts et Chaussées en 1849 :

« ... *Expérience constatant l'effet utile de cet appareil.*

« M. de Caligny, honorablement connu depuis assez longtemps par des recherches et des expériences sur des appareils hydrauliques de son invention, qui ont de l'analogie avec celui qui fait l'objet de ce Rapport, s'est livré à des calculs qui lui permettent d'espérer que dans l'opération du remplissage, il fera monter du bief inférieur dans le sas un tiers de l'écluse, et que dans l'opération de la vidange il fera remonter la même quantité d'eau du sas au bief supérieur. Il en résulterait qu'après avoir tiré de ce bief deux tiers de l'éclusé, on lui en rendrait un, de sorte que la dépense d'eau pour l'opération complète ne serait que le tiers de ce qu'elle est ordinairement.

» Les expériences faites sur un appareil de petites dimensions établi aux frais de M. de Caligny chez M. Barbier, plombier, rue de Seine, ont, autant qu'on pouvait l'espérer, justifié les prévisions de l'inventeur.

» Le sas était représenté par un vase rectangulaire en plomb, dont les dimensions horizontales étaient 1^m,50 et 0^m,80. Le bief supérieur était remplacé par un autre vase en plomb plus petit, près duquel était un tonneau de jauge qui fournissait l'eau nécessaire à la dépense de ce bief. Le contre-fossé supposé en communication avec le bief inférieur était représenté par un réservoir en plomb de 5^m,20 de longueur et de 1^m,50 de largeur. Le tube horizontal allant du bief d'amont au sas était un tuyau en zinc de 10 mètres de longueur et de 1 décimètre de diamètre. Sur ce grand tube, et à 0^m,215 de distance en aval du clapet d'amont, était embranché un petit bout de tuyau vertical en plomb de 0^m,14 de diamètre, au-dessus duquel jouait le tuyau-soupape. Celui-ci avait 0^m,16 de diamètre, excepté à sa partie inférieure, où le diamètre était de 0^m,128.

» Les opérations suivantes ont été faites en présence du soussigné et de M. l'ingénieur en chef Frimot :

» 1° *Vidange du sas.* — Les deux vases représentant le sas et le bief d'amont ayant été remplis de manière qu'entre eux et le bassin qui figurait le bief d'aval il y avait une différence de niveau ou chute de 0^m,49, M. de Caligny a ouvert le clapet d'aval et manœuvré le tuyau-soupape comme il est indiqué plus haut. Une partie de l'eau du sas est descendue en plusieurs périodes dans le bief inférieur; l'autre est remontée dans le bief supérieur, d'où elle s'est immédiatement déversée dans le tonneau de jauge. En remettant ensuite cette seconde partie dans le vase figurant le sas, on a constaté qu'elle y occupait une hauteur de 0^m,142. Il en résulterait que la fraction d'éclusee relevée du sas dans le bief supérieur pendant la vidange avait été de $\frac{0,142}{0,49} = 0,31$.

» Cette opération s'est effectuée en quatorze périodes, et a duré trois minutes.

» 2° *Remplissage du sas.* — Le remplissage du sas s'est fait par les manœuvres qui ont été précédemment décrites. A mesure que le vase représentant le bief d'amont fournissait son eau au sas, cette eau était remplacée par celle qu'un ouvrier puisait dans le tonneau de jauge. Le remplissage terminé, il a été constaté que l'eau élevée du bief inférieur dans le sas représentait un prisme de 0^m,135 de hauteur ou une fraction d'éclusee $\frac{0,135}{0,49} = 0,28$.

» La durée de cette opération et le nombre des périodes de la manœuvre ont été à peu près les mêmes que pour la vidange du sas.

» Ainsi, dans cette expérience en petit, l'épargne de l'eau pour le remplissage et la vidange du sas a été les cinquante-neuf centièmes de l'éclusee... »

Il est intéressant de remarquer que l'effet utile était un peu moindre que ne l'avait été celui de l'appareil pendant la vidange, parce que le niveau baissait notablement dans le vase représentant le bief supérieur à chaque période, et que celui du bief inférieur baissait d'environ 2 centimètres pendant le remplissage du sas, ce qui, d'une part, dimi-

nuait la pression motrice, et, de l'autre, augmentait la profondeur d'où il fallait tirer l'eau du bief d'aval.

Au contraire, dans l'opération de vidange, au commencement, le niveau de l'eau dans le bief d'aval était un peu au-dessous du niveau définitif pour l'époque où la chute était de 0^m,49. Mais le petit avantage qui en résultait n'était peut-être pas même tout à fait compensé par l'élévation alternative de l'eau au-dessus du niveau normal du bief supérieur, parce que l'eau relevée devait ensuite se verser par une gouttière disposée au sommet du vase représentant ce bief, et d'où l'eau tombait dans un tonneau de jauge. Aussi, le Rapport n'a pas mentionné ce détail. Si j'en dis quelques mots, c'est pour montrer avec quel soin les expériences ont été faites, en tenant compte des plus petites choses. Aussi, les expériences en grand les ont vérifiées avec avantage.

Quant à la baisse alternative dans le vase représentant le bief supérieur, elle était d'environ $\frac{1}{4}$ centimètres, ce qui diminue sensiblement la moyenne de la chute. Je n'entrerai pas dans plus de détails à ce sujet, voulant seulement indiquer la cause de quelques légères différences entre l'effet utile pendant la vidange et pendant le remplissage.

En augmentant la durée de l'opération, j'ai augmenté notablement l'effet utile. Cependant, j'ai rarement vu l'épargne définitive s'élever aux deux tiers de l'écluse pour ce petit modèle. J'ai dit plus haut pourquoi l'effet utile a pu être augmenté dans les expériences en grand, à cause de la facilité de la manœuvre.

Il faut tenir compte de ce que, pour cette chute, l'appareil de petit modèle n'était pas dans son état normal, le tuyau de conduite étant alors un peu trop court par rapport à la chute. L'appareil avait d'abord été construit pour une chute de 20 à 23 centimètres. Il a été vu par la Commission dans ce premier état. L'effet utile était à peu près le même; mais il est bien à remarquer que le nombre de périodes était seulement de six pour la vidange, et de six pour le remplissage. Il pouvait même, à la rigueur, être réduit à quatre ou cinq. La durée de chaque opération de vidange ou de remplissage était de quatre-vingt-quinze secondes; elle pouvait même être notablement réduite.

Pendant le temps qui s'est écoulé entre les deux séances de la Com-

mission, j'ai diminué la longueur du tuyau de conduite, et les chutes ont, dans diverses expériences, varié de 18 à 23 centimètres. J'ai constaté que la longueur du tuyau de conduite étant réduite à 6 mètres, l'opération se faisait dans le même temps, et sensiblement avec le même effet utile que lorsque le tuyau de conduite avait 10 mètres de long, mais que le nombre des périodes était sensiblement en raison inverse de la longueur de ce tuyau. Or, si l'on admet que les dimensions homologues doivent augmenter comme celles de l'écluse, pour une hauteur de chute augmentée dans le rapport d'environ 5 à 2, on aurait dû augmenter la longueur du tuyau de conduite dans le même rapport, ce qui, pour la chute mentionnée dans le Rapport de M. Belanger, aurait réduit le nombre de périodes à cinq ou six, comme pour la chute d'une vingtaine de centimètres. Au reste, il n'est pas indispensable que le tuyau de conduite soit aussi long par rapport à la chute, comme on l'a constaté pour la vidange dans des expériences en grand.

Pour tenir compte de la résistance opposée par les bateaux, j'ai construit avec des briques un mur vertical, disposé transversalement dans le vase représentant l'écluse, à une distance de la bouche du tuyau un peu plus grande que le double du diamètre de celui-ci. Je n'ai pu noter aucune différence sensible dans l'effet utile, par suite de cette disposition.

Quant au bief d'amont, j'ai fait une disposition semblable, en y disposant une enceinte formée en maçonnerie de briques, noyée à une distance presque double du diamètre du tuyau, cette maçonnerie s'élevant d'ailleurs notablement au-dessus de ce diamètre. Je n'ai pas remarqué non plus qu'il en résultât aucune différence sensible dans l'effet utile. Si je fais cette dernière remarque, c'est seulement pour rassurer au besoin sur les petits détails de construction, car j'ai modifié la disposition de cette extrémité dans les expériences en grand, où j'ai complètement supprimé toute espèce de clapets. Je ferai donc seulement une dernière remarque.

Dans la première série d'expériences en petit vues par la Commission, l'extrémité du tuyau de conduite qui débouchait dans le bief d'amont était d'un diamètre peu différent de celui du reste de ce tuyau de conduite. Dans la seconde série d'expériences vues par la

Commission, le diamètre de cette extrémité du tuyau était de 0^m, 14. Il se raccordait avec le reste au moyen d'un évasement dont l'angle était peu différent de celui de l'ajutage divergent de Venturi. Or, il ne paraît pas que l'addition de cet ajutage ait une influence bien sensible sur l'effet utile.

Cependant, il est prudent de remarquer qu'ici les vitesses étaient assez petites. Les phénomènes pourraient être sensiblement différents pour les vitesses qui se présenteront dans la manœuvre des grandes écluses. Malgré les différences possibles, ces observations ont été une raison pour me déterminer à ne pas évaser, jusqu'à présent du moins, l'extrémité du tuyau de conduite qui porte la tête de la machine. Quant à l'extrémité qui débouche dans l'écluse, abstraction faite de l'avantage que peut avoir cet évasement, il est important de le prescrire et même de l'exagérer, afin d'éviter les dangers qui pourraient résulter de l'introduction latérale de l'eau, quand il y a un bateau dans l'écluse.

Il ne paraît pas d'ailleurs indispensable, quant à la sûreté des bateaux, de donner au débouché du tuyau de conduite dans l'enclave des portes d'aval de l'écluse une section bien plus grande que la somme de celles des ventelles existantes, d'autant plus qu'il faut tenir compte d'une circonstance intéressante. L'inertie de l'eau du tuyau de conduite ne permet pas à cette eau de prendre la vitesse due à la hauteur de la chute. Les vitesses réelles, partant de zéro, finissent par redevenir nulles. On peut d'ailleurs, si l'on craignait un danger dans une circonstance particulière, interrompre la communication avec le bief d'amont ou celui d'aval, en baissant celui des tuyaux mobiles qui introduirait l'eau de l'un ou l'autre bief dans l'écluse au moment dont il s'agirait; car il est bien à remarquer que, même alors, aucun coup de bélier ne serait possible, les sections transversales n'étant jamais bouchées.

Description des moyens d'employer le mouvement acquis des colonnes liquides à faire ouvrir d'elles-mêmes les portes d'écluses et à faire sortir de lui-même le bateau d'un sas. — Expérience en grand faite en Belgique.

Dans ce qui précède, je n'ai considéré le mouvement acquis des grandes colonnes liquides que comme un moyen d'épargner l'eau dans les écluses de navigation. Il peut aussi être employé à accélérer d'une manière remarquable le service de ces écluses, abstraction faite de toute épargne de l'eau. J'avoue que je ne pensais pas d'abord à un mode d'accélération de la manœuvre quand j'ai donné la description générale du système, notamment dans le *Bulletin de la Société Philomathique de Paris*, journal *l'Institut*, séance du 14 décembre 1844, p. 424. Je me suis aperçu depuis que cette disposition pouvait servir, quand la machine ne marchait pas et qu'on laissait des extrémités ouvertes, à introduire avec plus de facilité le bateau descendant dans le sas plein d'eau, parce qu'en entrant il peut chasser de l'eau par le tuyau de conduite, tel d'ailleurs que j'en avais prescrit la construction. Je dois dire que cette dernière idée paraît avoir été émise successivement par deux autres ingénieurs avant que j'eusse pensé moi-même à cette propriété de ma disposition générale, sans la réminiscence de laquelle d'ailleurs ces ingénieurs n'auraient peut-être pas eu cette idée intéressante. Je n'avais pas pensé non plus à la possibilité d'employer le mouvement acquis, *si l'on arrête le jeu de la machine*, ou plus sûrement si l'on ne produit qu'une grande oscillation de remplissage, à faire ouvrir d'elles-mêmes les portes d'amont et à faire entrer de lui-même le bateau dans le bief d'amont. Mais comme cela peut être considéré comme une conséquence de mes principes et une propriété de la disposition générale que j'avais depuis longtemps décrite et dessinée, je vais entrer dans quelques détails à ce sujet, ayant d'ailleurs ensuite trouvé une manœuvre assez intéressante pour ouvrir les portes d'aval d'elles-mêmes et faire sortir de lui-même le bateau descendant.

On savait depuis longtemps, par l'exemple du canal de Briare, qu'on pouvait faire entrer l'eau dans un sas ou l'en faire sortir par des tuyaux d'une petite longueur appelés *larrons*. Mais, malgré les études faites à l'occasion du bélier hydraulique, personne, à ce qu'il paraît,

ne s'était aperçu qu'en donnant plus de longueur à ces tuyaux, on profiterait de la vitesse acquise de l'eau, si complètement perdue dans les anciennes manœuvres, qu'on n'avait jamais remarqué qu'il en résultât une dénivellation dans le sas à la fin de chaque opération de remplissage ou de vidange.

Je crois être le premier qui ait annoncé et prouvé par l'expérience et le calcul l'avantage de donner une assez grande longueur aux tuyaux des colonnes liquides oscillantes de vitesses et de diamètres convenables. J'ai même eu quelque peine à le faire admettre dans les premiers temps de mon arrivée à Paris, jusqu'à l'époque où M. Coriolis me fit l'honneur de vérifier par l'analyse les résultats que j'avais d'abord obtenus par l'expérience et la Géométrie dans une province reculée où j'avais fait moi-même ma première éducation scientifique, et d'où j'ai apporté à Paris les principes pour lesquels l'Académie des Sciences m'a honoré du prix de Mécanique en 1839.

Personne ne me conteste les expériences dont il s'agit; mais comme un résultat dont je vais parler, qui a été obtenu en Belgique, rappellera plus particulièrement peut-être sur ce sujet l'attention des savants et des ingénieurs, je crois intéressant de déclarer au besoin que, même sans avoir recours au témoignage des ingénieurs qui ont assisté à mes premières expériences, je pourrais prouver légalement une date d'environ trente-quatre ans par une lettre d'un membre de l'Académie des Sciences, pliée de manière à conserver le timbre de la poste du 21 mai 1833.

Sans rappeler ce que j'ai dit dans divers recueils sur la manière d'introduire l'eau dans l'enclave des portes d'aval des écluses de navigation, je mentionnerai, relativement à ce qui suit, un Mémoire inédit que j'ai présenté à l'Académie des Sciences de Paris, et dont un extrait, suffisant pour le point dont il s'agit, est inséré dans les *Comptes rendus*, t. XXVI, p. 409. Voir aussi l'extrait du procès-verbal de la séance de la Société Philomathique de Paris du 14 décembre 1844, journal *l'Institut*, p. 424.

Un des savants les plus distingués de la Belgique, M. Maus, ingénieur en chef des Ponts et Chaussées, membre de l'Académie des Sciences de Bruxelles, m'a communiqué un résultat obtenu sur une des écluses qu'il faisait construire.

L'eau entre dans l'écluse par un long tuyau en maçonnerie de 4 mètres de section, débouchant par une extrémité dans le bief d'amont, et par l'autre dans le sas le plus près possible des portes d'aval. M. Maus n'a pas osé faire déboucher ce tuyau dans l'enclave même des portes d'aval, selon mes prescriptions quant à la forme générale de l'appareil considéré comme moyen d'épargner l'eau, par des raisons relatives à la solidité des constructions dans un mauvais terrain. Il en est résulté que cette extrémité est plus gênée par la présence des bateaux dans l'écluse qu'elle ne devrait l'être dans d'autres localités.

Malgré cette circonstance défavorable, la vitesse acquise dans ce grand tuyau a fait monter l'eau dans l'écluse au-dessus du niveau du bief d'amont. Il en est résulté que les portes d'amont se sont ouvertes d'elles-mêmes, et que le bateau est entré de lui-même dans le bief d'amont.

Je me borne aujourd'hui à signaler ce résultat pratique et simple, sans entrer dans les détails du phénomène, les détails de phénomènes de ce genre étant d'ailleurs décrits en partie dans mes Mémoires. M. Maus a bien voulu me promettre de faire des observations nouvelles sur ces phénomènes, qui pourront être étudiés très en grand. Mais en attendant, il m'a semblé intéressant d'indiquer ce premier résultat, qui permet de simplifier la manœuvre des écluses de navigation, de diminuer le travail de l'éclusier, et surtout de diminuer la durée de cette manœuvre. On sait comment le passage du bateau de l'écluse dans le bief d'amont était une cause de perte de temps.

Lorsque d'ailleurs un bateau descendant entrera ensuite dans l'écluse, il faudra moins de travail et de temps pour l'y faire entrer qu'avant l'existence du grand tuyau dont il s'agit, et dans lequel sera en partie refoulée l'eau, qui autrefois était obligée de passer sous le bateau et le long de ses flancs. Cela rendra désormais sans doute les portes d'amont plus solides et moins coûteuses. On pourra, en effet, supprimer leurs ventelles; les pressions qui les ouvriront ainsi s'exerçant plus régulièrement, ne tendront plus à les gauchir.

D'après ce que m'a dit M. Maus, il a eu l'idée de cette manœuvre sans y avoir été conduit par la considération de la disposition générale de mon système : peut-être en a-t-il eu quelque réminiscence sans s'en rendre compte. Quoi qu'il en soit, il me paraît intéressant de remarquer que cela devait être tôt ou tard une conséquence de cette dispo-

sition générale, en ce sens du moins qu'il eût été difficile d'appliquer en grand mon système de remplissage sans s'apercevoir qu'à partir de l'époque où j'avais prescrit de ne plus faire marcher la machine, mais d'achever le remplissage en laissant le tuyau de conduite entièrement ouvert, le mouvement acquis dans ce tuyau devait *nécessairement* occasionner un exhaussement de l'eau dans le sas, et par suite une indication toute naturelle de ce qui devait se présenter si le remplissage se faisait en une seule oscillation.

Ce moyen de faire ouvrir d'elles-mêmes les portes d'amont et de faire entrer de lui-même le bateau dans le bief d'amont, tel que je viens de dire qu'il a été exécuté en Belgique, à l'écluse d'Herbières, est facile à comprendre quand on connaît la disposition précitée du tuyau d'introduction de l'eau dans l'enclave des portes d'aval de l'écluse à colonne liquide oscillante, que j'ai présentée à l'Académie des Sciences le 3 avril 1848. Un extrait du Mémoire inédit où cette écluse est décrite se trouve avec plus d'étendue que dans les *Comptes rendus*, dans un Mémoire intitulé : « Résumé succinct des expériences de M. Anatole de Caligny sur une branche nouvelle de l'Hydraulique », avec figures, publié dans le *Technologiste*, année 1850, chap. III, numéro de juin, p. 501 et 502, et numéro d'août, p. 603 et 604, fig. 14 et 16, p. 8, 9 et 10 des exemplaires tirés à part, distribués en 1850 à tous les Membres de l'Académie des Sciences de Paris. On va voir que ces idées peuvent avoir d'autres applications assez délicates relativement aux manœuvres du bateau descendant.

M. Maus a exécuté à l'écluse d'Ath, dans l'épaisseur des bajoyers, de longs tuyaux ou aqueducs en maçonnerie ayant chacun 2 mètres carrés de section, ce qui faisait aussi environ 4 mètres carrés de section en somme totale, comme pour le tuyau de l'écluse d'Herbières, mais débouchant par une extrémité dans le bief d'aval, et par l'autre dans l'écluse, près des portes d'amont, au lieu de déboucher près des portes d'aval.

L'application de mes principes au moyen de faire ouvrir d'elles-mêmes les portes d'aval et de faire entrer le bateau de lui-même dans le bief d'aval, en vertu de la vitesse acquise dans un tuyau de conduite, mais dans des sens alternativement différents, n'était pas aussi facile à trouver que la manœuvre relative au bateau montant, pour

laquelle il ne s'agissait que de *laisser agir, sans s'en occuper, le travail rendu disponible par le principe même de l'oscillation, à partir du moment où l'on renoncerait à se servir de la machine pour relever une partie de l'écluse au bief supérieur.* (Voir la page 603 précitée du *Technologiste*.)

Aussi, quoique M. Maus ait fait une application heureuse de la disposition que j'ai dessinée (et, comme j'en suis persuadé, puisqu'il le dit, sans avoir alors pensé à cette disposition) à la manœuvre du bateau montant à l'écluse d'Herbières, il n'a rien signalé de semblable pour le bateau descendant à l'écluse d'Ath, où les aqueducs de vidange, ayant chacun environ 2 mètres de haut en moyenne sur 1 mètre de large, se trouvent ne pas avoir leur sommet assez au-dessous du niveau du bief d'aval pour que la force vive soit aussi convenablement employée qu'elle pourrait l'être si leur section était plus large et moins haute. Ils sont d'ailleurs étranglés par les bateaux chargés, à cause des endroits où ils débouchent dans l'écluse.

Selon moi, pour faire baisser le niveau convenablement dans l'écluse au-dessous de celui de l'eau dans le bief d'aval, une bonne disposition de ces tuyaux aurait suffi, en vertu de la vitesse acquise mieux employée de l'eau dans ces tuyaux ou aqueducs de vidange, de manière que les portes d'aval se seraient ouvertes d'elles-mêmes.

J'ai donc proposé à M. Maus d'examiner sur les lieux s'il ne serait pas possible de faire l'essai de cette idée que j'ai eue de mon côté, malgré les dispositions existantes, en faisant convenablement exhausser le niveau du bief d'aval au moyen de poutrelles qu'on mettrait en avant de l'écluse suivante. Il paraît que cette expérience pourra être faite de cette manière.

Il y a lieu d'espérer que la dénivellation, suffisante pour que ces portes s'ouvrent d'elles-mêmes sous la pression du bief d'aval, sera trop faible pour qu'il en résulte des inconvénients sérieux provenant, soit du mouvement de cette eau quand elle entrera dans l'écluse, soit de ce que, pour empêcher le bateau de toucher le fond de l'écluse, à cause de cette dénivellation, il faudrait en général sans doute approfondir un peu les écluses auxquelles ce système serait appliqué.

Mais il n'est pas aussi facile de prévoir dans tous leurs détails les phénomènes qui se présenteront quand on voudra faire sortir le ba-

teau du sas dans le bief d'aval. Je suppose que les choses soient disposées, comme elles peuvent l'être, de manière que les portes d'aval s'ouvrent à l'époque où la vitesse de l'eau s'éteindra dans le tuyau ou les tuyaux de vidange. L'eau rentrera en même temps dans l'écluse par ces tuyaux et par ces portes qui s'accrocheront pour rester ouvertes.

On conçoit qu'il doit résulter des vitesses acquises de tout l'ensemble un exhaussement à la suite de l'abaissement qui, dans cette même écluse, aura déterminé les effets précédents, et qu'il pourra résulter de cet exhaussement que le bateau commencera du moins à être poussé vers le bief d'aval d'une manière analogue à celle dont le bateau montant a déjà été poussé dans le bief d'amont.

Mais ensuite il faut tenir compte de ce que l'eau qui reviendra du bief d'aval par ce tuyau ne sera pas dans les mêmes conditions que celle qui, pour le bateau montant, cause un exhaussement au-dessus du niveau du bief d'amont en vertu d'un mouvement acquis auquel il était plus facile de donner une grande intensité, tandis qu'il ne s'agira ici que de profiter d'une simple dénivellation, au lieu de profiter au besoin de toute une opération de remplissage pour engendrer de la vitesse dans un grand tuyau de conduite.

Je suppose le bateau déjà repoussé vers le bief d'aval sans y être encore suffisamment entré, et l'eau redescendue dans l'écluse au niveau de celle de ce bief. Pour qu'il puisse continuer son mouvement de sortie, en vertu des vitesses acquises de tout l'ensemble solide et liquide, il est utile, surtout s'il remplit la plus grande partie de la section transversale, que l'eau du bief d'aval puisse revenir derrière lui, surtout s'il est déjà engagé entre les portes d'aval, afin que cette eau remplisse autant que possible la dénivellation qui tend à se produire derrière lui comme derrière une sorte de piston.

Il est donc, à plus forte raison, important qu'en vertu même de l'exhaussement qui vient de se produire dans l'écluse, l'eau n'ait pas la liberté de reprendre vers cette époque de la vitesse de dedans en dehors du sas dans le tuyau ou les tuyaux de vidange. C'est ce qu'il est facile d'empêcher au moyen de grands clapets qui se fermeront d'eux-mêmes si cet effet tend à se produire, et se rouvriront d'eux-mêmes quand l'eau devra revenir du bief d'aval derrière le bateau sortant.

Il ne paraît pas d'ailleurs absolument indispensable que des clapets ou portes de flot fonctionnent à ces époques de la manœuvre, si le tuyau de conduite a une longueur développée assez grande. La propriété de cette longueur est ici de permettre d'essayer de faire en sorte que le mouvement de l'eau arrivant par ce tuyau de conduite, à l'époque où cette eau coulera de dehors en dedans de l'écluse, ne soit pas éteint avant l'instant où il faudrait précisément rouvrir ce tuyau dans le cas où il aurait été fermé. Il y a lieu d'espérer que, si le tuyau pouvait être assez long, le mouvement de l'eau dans le sens voulu durerait plus que cela ne serait indispensable, et que s'il durait encore au moment où l'on vient de dire qu'il faudrait rouvrir le tuyau dans le cas où ce dernier aurait été fermé, ce mouvement serait une très-bonne chose, puisqu'il amènerait dans le sens voulu de l'eau dont on aurait eu à vaincre l'inertie dans le cas où elle serait partie du repos. Il s'agit d'ailleurs seulement, quant à ce point délicat, de donner une idée purement théorique dont l'expérience seule peut montrer l'utilité, mais qui montre une fois de plus la variété des propriétés de l'inertie des longues colonnes liquides oscillantes.

Autres applications du mouvement oscillatoire des nappes liquides.

Les applications précédentes m'ont semblé très-propres à montrer à quel point pouvaient être généralisées les applications de principes nouveaux dont on tirera sans doute des conséquences auxquelles je n'ai pas pensé. Mais, tout en reconnaissant le mérite de celles qui ont pu être tirées par d'autres, j'ai cru intéressant de rappeler que le premier point de départ date légalement de 1833.

On a proposé, peut-être même avant moi, depuis que j'ai montré d'ailleurs l'utilité de donner une longueur suffisante aux tuyaux de conduite des colonnes liquides oscillantes, de transvaser la plus grande partie de l'eau d'une écluse par une seule grande oscillation. Cela peut se faire de plusieurs façons, par exemple (au moyen d'un grand tuyau de conduite intermédiaire) dans un bassin d'épargne d'où l'on ferait revenir dans l'écluse la plus grande partie de cette eau, aussi

par une seule oscillation. Mais, pour la solution du problème, j'ai proposé un autre genre d'application des oscillations de nappes liquides (voir le *Bulletin de la Société Philomathique de Paris*, séance du 9 novembre 1844). Il s'agit de vider le sas au moyen de plusieurs oscillations successives, dans une série de puits verticaux étagés, de sections moindres que le sas, et dont une partie s'élèvera au-dessus du bief supérieur.

Dans la première oscillation de décharge, il s'élèvera de l'eau au-dessus du bief supérieur. Elle pourra ne pas être la seule pour laquelle il en sera ainsi; mais les décharges successives s'élèveront à des hauteurs d'autant moindres qu'on s'approchera plus de la dernière. Quand on voudra faire rentrer l'eau dans le sas, on fera l'opération inverse, au moyen de plusieurs oscillations successives. D'ailleurs, on pourra achever l'opération par les moyens ordinaires, soit pour la vidange, soit pour le remplissage.

Il résulte de ce que l'opération se fera en plusieurs oscillations, dont le nombre le plus convenable sera réglé par l'expérience, qu'on pourra réduire beaucoup la somme des pertes de force vive, d'après mes expériences sur des sujets analogues.

J'ai cru devoir dire quelques mots de cette manière de considérer le mouvement des nappes liquides, parce que j'ai lieu d'espérer qu'on pourra disposer la grande expérience proposée en ce moment, comme je l'ai dit, par un ingénieur en chef des Ponts et Chaussées, de manière à étudier aussi la question sous ce point de vue, tout en étudiant l'appareil sous la forme générale qui a été l'objet du Rapport dont j'ai donné ci-dessus un extrait officiel.

ADDITION PRINCIPALEMENT RELATIVE A UN PHÉNOMÈNE DE SUCCION
DÉCRIT DANS LE MÉMOIRE PRÉCITÉ PUBLIÉ EN 1862, T. VII, 2^e SÉRIE,
P. 169 A 200.

Principe d'une nouvelle machine pour les épuisements.

Divers auteurs français et étrangers ont mentionné avec bienveillance, dans leurs ouvrages, dont plusieurs ont été présentés à l'Institut,

l'appareil de mon invention élevant l'eau au moyen d'une chute d'eau, que j'ai communiqué à la Société Philomathique de Paris en novembre 1850, et présenté à l'Académie des Sciences le 2 février 1852. Une Note sur ce sujet se trouve dans les *Comptes rendus* (t. XXXIV, p. 174 à 177). Mais les descriptions et les figures qu'ils en ont données, d'après cette Note succincte, ne s'accordant pas toutes avec celles que j'ai publiées, et surtout avec les nombreux détails que j'ai discutés dans ce journal, quelques observations nouvelles sur mes expériences deviennent d'autant plus intéressantes que cet appareil est maintenant enseigné dans la plupart des Universités de l'Europe. Je crois donc utile de faire une addition à mon Mémoire publié en 1862 dans le *Journal de Mathématiques pures et appliquées*, t. VII, 2^e série, p. 169 à 200.

Voici d'abord de quelle manière on a cherché à expliquer, sans me consulter, la cause qui ramène le tube mobile sur son siège fixe, en vertu du mode d'écoulement de l'eau du bief d'amont entre ce siège et une sorte de *parapluie renversé* attaché à la partie inférieure de ce tube mobile qui est vertical.

Comme on a cru que ce siège devait toujours être plongé à une certaine profondeur au-dessous du niveau de l'eau du bief d'aval, on a remarqué que, dans l'état de repos, la pression était sensiblement la même dans le bief d'aval au-dessus et au-dessous du *parapluie renversé*. On a cru qu'il suffisait de tenir compte, à l'époque où l'écoulement se fait de l'amont à l'aval, quand cette dernière pièce est soulevée, de ce que la pression étant diminuée, parce qu'elle l'est selon une loi de Bernoulli dans les tuyaux de conduite en vertu du mouvement acquis, à l'intérieur de l'espèce d'ajutage tronconique dont il s'agit, cela suffisait pour expliquer la force qui ramène le tube mobile sur son siège. En un mot, on attribuait seulement cette force à la pression de l'eau du bief d'aval sur une des faces du parapluie renversé, la pression étant diminuée sur l'autre face.

On en a conclu que, si cette dernière pièce et le siège fixe étaient au-dessus du niveau de l'eau du bief d'aval, non-seulement le tube mobile ne serait point ramené sur son siège en entraînant un contre-poids plus pesant que lui, mais qu'il serait au contraire repoussé de bas en haut en vertu d'un reste de pression de l'eau d'amont. Or cela

est entièrement contraire aux faits observés, même dans des expériences en grand trop nombreuses et ayant duré trop longtemps pour qu'il ait pu rester le moindre doute aux ingénieurs qui y ont assisté.

Je conviens qu'il vaut mieux, en général, que le *parapluie renversé* soit plongé dans l'eau du bief d'aval à une certaine profondeur. C'est en effet dans ces conditions que j'ai tâché de me mettre quand j'ai eu l'honneur d'inviter des Commissions à mesurer l'effet. Heureusement je n'ai pas toujours pu faire ainsi plonger cette pièce, à cause des difficultés du service des eaux. De sorte qu'il est arrivé plusieurs fois qu'aux bassins de Chaillot, en 1853, des Commissions, dont faisaient partie MM. Combes, Séguier et Amédée Durand qui s'en souviennent, ont vu marcher très-régulièrement un appareil de ce système dont le tuyau fixe avait 60 centimètres de diamètre intérieur, la chute motrice moyenne au-dessus du siège fixe dont il s'agit étant de plus de 2^m,20 et le siège fixe étant hors de l'eau d'aval. On sait d'ailleurs à Chaillot que cet appareil employant toute l'eau élevée alors par la pompe à feu, quand j'arrivais avant que le bassin servant de bief d'aval fût suffisamment rempli pour l'immersion dont il s'agit, je faisais cependant marcher l'appareil, quelquefois même pendant des heures, pour étudier le phénomène sous toutes ses faces.

Il est bien à remarquer d'ailleurs que la marche, entièrement régulière dans ces conditions, ne devenait plus aussi sûre quand le siège fixe et le *parapluie renversé* n'étaient plongés qu'à une petite profondeur. Ainsi, lorsqu'il y avait seulement une hauteur d'eau de 40 centimètres dans le bief d'aval au-dessus du siège fixe, il se présentait, il est vrai, une série d'ondes assez curieuses qui semblaient devoir être favorables à l'effet utile; car, pendant la sortie de l'eau en aval, il se présentait une onde annulaire plus élevée que le liquide dont le niveau baissait au-dessus du *parapluie renversé*, qui au contraire était recouvert d'une onde plus élevée que le niveau d'aval quand le tube mobile était retombé sur son siège. Or, ce n'était pas à cause d'un défaut de succion que la sûreté du jeu de l'appareil était diminuée dans ces conditions; mais c'était parce que le tube mobile ne se relevait pas toujours assez complètement, par suite des conditions purement hydrostatiques résultant soit des ondes positives, soit des ondes négatives annulaires, combinées d'ailleurs avec la forme de la partie inférieure

du tuyau mobile qui, quoique ayant encore à son pied un diamètre plus grand que celui du tuyau fixe, était cependant un peu conique, ce qui contribuait au soulèvement du tuyau mobile quand l'immersion était plus complète. On conçoit d'ailleurs que le gonflement alternatif au-dessus du *parapluie renversé* ne donnait pas lieu aux mêmes conditions d'équilibre qu'un exhaussement uniforme de l'eau dans le bief d'aval, de sorte qu'en définitive l'oscillation en retour pouvait quelquefois ne pas descendre assez bas pour l'ensemble de ces conditions.

Dans les expériences plus en grand, dont je me suis occupé depuis, avec un tuyau fixe de 1 mètre de diamètre intérieur, la disposition générale du tube mobile n'est plus la même.

Dans les expériences plus anciennes que je rappelle, la forme générale de ce tube avait de l'analogie avec celle d'une sorte de *carafe* sans fond; c'est-à-dire que la partie comprise au-dessous du niveau d'arrêt s'élargissait, la partie très-allongée comprise au-dessus de ce même niveau se rétrécissait pour s'évaser ensuite au sommet. La pièce centrale fixe, destinée à diminuer la section libre du tube mobile au-dessus de ce même niveau, mais qui en général ne doit pas descendre bien sensiblement au-dessous, ce qui n'a pas été suffisamment remarqué, était combinée avec le système de manière à faire terminer l'oscillation en retour quand le niveau du sommet de la colonne liquide oscillante atteignait à peu près celui de l'eau du bief d'aval, qui devait, comme je viens de le rappeler, s'élever à plus de 0^m,40 au-dessus du siège fixe. Cette forme de *carafe* est toujours celle que je préfère dans les limites où elle est possible, quand on veut élever l'eau beaucoup plus haut que la chute motrice.

Mais pour le cas d'une élévation à de très-petites hauteurs, par exemple dans un certain nombre de périodes d'un appareil vidant une écluse de navigation en relevant une partie de l'eau au bief supérieur, si l'on veut une marche automatique à partir d'une certaine baisse, le cas n'est pas le même. Le tube vertical mobile peut alors sans inconvénient être cylindrique, sauf un évasement au sommet. Or, je l'ai même étudié sans cet évasement, son diamètre intérieur étant de 1^m,10, et n'étant rétréci à la partie inférieure que par un anneau de 1 mètre de diamètre intérieur. Dans ces conditions, l'appareil ne pourrait pas marcher

abandonné à lui-même sans *parapluie renversé*, si l'explication précitée, qu'on a cherché à donner sans me consulter, était suffisante et exclusive :

Or, quand le niveau est convenablement baissé dans l'écluse, s'il marche avec moins d'avantage lorsqu'on supprime le *parapluie renversé*, il est incontestable qu'il marche abandonné à lui-même. Pendant plusieurs années, un appareil d'essai, provisoirement établi sur une écluse de petite navigation, a fonctionné dans ces conditions en présence d'un nombre considérable de personnes compétentes. Le *parapluie renversé* s'était détaché et n'avait pas été rétabli, parce qu'on n'avait pas besoin de l'appareil à cette écluse, où il ne s'agissait que de faire une étude provisoire; j'ai dit d'ailleurs, depuis, qu'on n'attachait pas d'importance à une marche automatique pour une écluse, le nombre de périodes étant très-petit.

Ce genre de phénomène peut être reproduit en petit dans tous les cabinets de physique.

En 1851 j'ai montré à une Commission d'ingénieurs, au Collège de France, dont M. Combes faisait partie ainsi que M. Amédée Durand, un appareil avec un *parapluie renversé entièrement hors de l'eau du bief d'aval*, et fonctionnant régulièrement avec un tuyau fixe de 5 centimètres seulement de diamètre intérieur.

Aussi, tout en exprimant ma reconnaissance aux savants qui me font l'honneur de signaler mes expériences, je désire qu'on veuille bien ne pas oublier qu'il y a des phénomènes tellement tranchés, que l'illusion n'est pas possible quand on les observe pendant des heures; et que d'ailleurs je n'attache ordinairement de l'importance qu'aux faits qui ont été vérifiés par d'autres personnes, et surtout à ceux *que je peux reproduire quand on le voudra*, soit très en grand, soit très en petit dans les cabinets de physique. Si ces faits sont ensuite contestés par une véritable autorité scientifique, n'est-ce pas une preuve qu'ils étaient bien imprévus? On sait combien une contradiction semblable a fait d'honneur à Montgolfier, quand on vit que son béliet marchait réellement.

Je dois encore signaler une erreur matérielle. On s'est imaginé que cet appareil ne pouvait marcher abandonné à lui-même qu'avec des variations assez limitées dans les hauteurs des niveaux d'amont et d'a-

val, et qu'il fallait par conséquent un surveillant assez intelligent pour régler le contre-poids, ou le flotteur qui en tient lieu quand le système est réduit à n'avoir qu'une seule pièce mobile.

Cette méprise paraît être venue de ce qu'il s'arrête, en effet, quand le niveau d'amont s'élève à une certaine hauteur pour un contre-poids ou un flotteur donné; parce qu'il faut que l'oscillation en retour descende assez bas pour que, la pression sur l'anneau inférieur du tube mobile étant convenablement diminuée, ce tube puisse se lever de lui-même, soit en vertu d'un contre-poids, soit en vertu d'un flotteur. On conçoit donc qu'il faut un *trop-plein* au bief d'amont en l'absence d'un surveillant, à moins qu'on n'ajoute au système un appendice qui n'a pas encore été étudié par l'expérience, et dont j'ai parlé dans mon Mémoire précité de 1862.

Mais des expériences en grand ont démontré, pendant plusieurs années, que l'appareil entièrement abandonné à lui-même marchait régulièrement, malgré des variations énormes dans les hauteurs du niveau du bief d'amont, c'est-à-dire en vidant une écluse de navigation, à partir d'une certaine baisse du niveau dans l'écluse.

Quant au niveau d'aval, on a constaté en 1853, dans les bassins de Chaillot, pendant le remplissage du bassin servant de bief d'aval, que les variations du niveau de l'eau dans ce bief pouvaient être énormes sans arrêter l'appareil.

En définitive, soit en amont, soit en aval, les niveaux peuvent avoir de très-grandes variations, mais on ne peut se dissimuler qu'il faut jusqu'à présent un *trop-plein* quand il n'y a pas de surveillant pour le bief d'amont.

L'étendue de cette Note ne me permettant pas de discuter les principes de ce système pour lesquels je renvoie dans ce journal à mon Mémoire de 1862, j'ai seulement ici pour but de rétablir les faits dernièrement encore étudiés sur une plus grande échelle. J'ajouterai donc seulement que, dans mes expériences sur un tuyau de 1 mètre de diamètre, en tôle, je suis parvenu à diminuer beaucoup l'angle du *parapluie renversé* avec la verticale, c'est-à-dire à faire cet angle égal à la moitié d'un droit, en étudiant le degré d'immersion dans le bief d'aval, qui permet d'obtenir, de la manière la plus avantageuse, une sorte de remous annulaire reposant sur les mêmes principes que les remous ou

ressauts qui ont été observés dans les coursiers en aval des roues hydrauliques verticales à grandes vitesses. Ce remous m'a permis de combiner d'une manière utile à la succion la force centrifuge de l'eau qui se plie sous le *parapluie renversé*.

Cet appareil, pour un tuyau de conduite fixe de 1 mètre de diamètre, a fonctionné aussi de lui-même quand il n'y avait pas d'eau dans le bief d'aval. Cette expérience a été répétée en mon absence par M. Loyal, conducteur des Ponts et Chaussées.

Mais il ne s'agit pas seulement de l'interprétation d'un phénomène de physique. La forme sous laquelle cet appareil a fonctionné, *le siège fixe étant entièrement hors de l'eau* du bief d'aval, permet de le transformer de la manière suivante en machine pour les épuisements.

Si le tube vertical mobile est suffisamment prolongé par le sommet afin que l'eau ne puisse sortir par ce sommet, la colonne liquide, dans son oscillation en retour, pourra descendre beaucoup plus bas dans la partie recourbée verticalement du tuyau fixe, bien au-dessous du niveau du bief d'aval. On conçoit donc que si une soupape est disposée dans une tubulure latérale en communication avec de l'eau à épuiser, dont le niveau est au-dessous de celui de l'eau du bief d'aval, cela suffit pour qu'il entre alternativement de l'eau à épuiser quand la colonne liquide sera suffisamment descendue à l'intérieur du système, comme je viens de montrer que cela peut se faire en vertu d'une oscillation en retour.

Si cette soupape est par exemple un simple clapet, on conçoit qu'elle peut se refermer d'elle-même quand la colonne liquide remontera pour verser l'eau à épuiser au-dessus du siège fixe sous le tube mobile qui sera relevé. Le jeu de l'appareil continuera ainsi de suite indéfiniment au moyen de la chute d'eau motrice, comme s'il s'agissait d'un appareil simplement élévatoire. On pourrait même, si l'on voulait, donner au tube vertical mobile une hauteur telle que l'appareil servirait en même temps à faire des épuisements et à jeter une certaine quantité d'eau au sommet du tube mobile.

Ce qui précède suffit pour exposer le principe. Il y a évidemment un certain désavantage à jeter l'eau motrice au-dessus du niveau du bief d'aval, au lieu de la faire déboucher en dessous, comme pour l'appareil simplement élévatoire. Mais ces divers principes peuvent

avoir leurs avantages dans certaines circonstances, et il est toujours intéressant de remplir une case de la science, même abstraction faite des applications immédiates.

Il ne paraît pas d'ailleurs nécessaire d'employer une soupape latérale. Supposons que le tube fixe se bifurque au-dessous du niveau de l'eau à épuiser, la plus courte branche de cette bifurcation se relevant verticalement pour recevoir un second tube vertical mobile, aussi élevé par le sommet que le premier, et disposé d'ailleurs d'une manière analogue, avec balancier, etc. L'eau s'élèvera alors dans ce tube mobile en même temps que dans l'autre, parce qu'on le suppose baissé quand l'eau montera dans cet autre tube.

L'eau redescendra ensuite dans ces deux tubes mobiles; celui qui existait déjà pour l'appareil considéré simplement comme élévatoire, se lèvera d'abord de lui-même comme pour la machine élévatoire, lorsqu'en vertu de l'oscillation en retour l'eau sera suffisamment descendue à son intérieur pour ne plus équilibrer sur son anneau inférieur le contre-poids de son balancier.

L'eau continuera à descendre dans la branche latérale de la bifurcation, et dans le tube mobile disposé sur cette dernière branche. Ce tube mobile se lèvera ensuite de lui-même, en vertu du même principe qui aura fait lever l'autre quand l'eau sera suffisamment descendue à son intérieur. Alors, l'eau à épuiser entrera dans le système par la branche la plus courte de la bifurcation, jusqu'à ce que le mouvement en retour vers le bief d'amont soit éteint.

Il reviendra ensuite une certaine quantité d'eau du bief d'amont vers le point d'où on l'a épuisé. Mais dans ce sens du mouvement de l'eau, il se développera des causes de succion beaucoup plus puissantes que la simple pression hydrostatique, à laquelle on pourrait avoir à résister pour tenir soulevé le tube mobile qui a permis à l'eau à épuiser d'entrer dans le système.

Il est facile de voir, en effet, que cette dernière force ne peut provenir, pendant le mouvement de l'extérieur à l'intérieur du système, que de la diminution de pression résultant, d'après un principe de Bernoulli sur le mouvement des liquides dans les tuyaux, de ce que l'eau est en mouvement sous le *parapluie renversé* ou sous l'anneau quelconque disposé à la partie inférieure de ce tube mobile. Le phé-

nomène est alors très-différent de ce qui se présente pour le mouvement de bas en haut déjà observé sous le *parapluie renversé* de l'autre tube mobile. Quant à celui dont il s'agit en ce moment, il est bien vrai que *s'il n'était pas* recouvert d'eau, la pression de l'eau entrant dans le système tendrait à le soulever. Car il ne faut pas du tout confondre les phénomènes du mouvement de l'eau de dehors au dedans avec ceux du mouvement de l'eau de dedans en dehors; les principes sont tout à fait différents.

On peut en définitive calculer la limite de non-pression dont il faudra se défier pendant l'entrée de l'eau à épuiser. Mais pour ramener ensuite sur son siège le tube dont la levée aura permis l'entrée de cette eau, on aura une force du genre de celle que l'on sait capable de ramener l'autre tube mobile sur son siège, et qu'il faut même modérer dans certains cas pour ne point endommager les appareils. Elle se compose de plusieurs forces distinctes, notamment des effets de la force centrifuge, des effets analogues à ceux des ajutages divergents, etc., qui ont été discutés dans mon Mémoire précité, publié dans ce journal en 1862.

Je n'entrerai pas ici dans plus de détails à ce sujet; un simple clapet indiqué ci-dessus sera peut-être plus pratique que le second tube dont je viens de parler. Mais il était intéressant d'entrer dans cette discussion relative à un exemple d'application, pour considérer sous ses diverses faces un phénomène tellement nouveau, qu'il a été contesté par une haute autorité scientifique, et de montrer comment on peut isoler, en changeant le sens du mouvement, la loi de Bernoulli sur la diminution de pression dans l'eau en mouvement. Cette loi se trouvait réunir ses effets à plusieurs autres dans l'appareil simplement élévatoire, tel qu'il a fonctionné à l'Exposition universelle de 1855, dont le Jury international m'a honoré d'une médaille de première classe.

FIN DU TOME ONZIÈME (2^e SÉRIE).