

JOURNAL
DE
MATHÉMATIQUES
PURES ET APPLIQUÉES

FONDÉ EN 1836 ET PUBLIÉ JUSQU'EN 1874

PAR JOSEPH LIOUVILLE

ANATOLE DE CALIGNY

**Principes d'une nouvelle turbine et de plusieurs roues hydrauliques
à lames liquides oscillantes, suivis de recherches historiques
et critiques sur des sujets analogues**

Journal de mathématiques pures et appliquées 2^e série, tome 12 (1867), p. 217-236.

http://www.numdam.org/item?id=JMPA_1867_2_12__217_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>

Principes d'une nouvelle turbine et de plusieurs roues hydrauliques à lames liquides oscillantes, suivis de Recherches historiques et critiques sur des sujets analogues;

PAR M. ANATOLE DE CALIGNY.

Nouvelle turbine à lames liquides oscillantes.

J'ai présenté à l'Académie des Sciences, le 16 novembre 1863, une Note qui a été imprimée dans le *Compte rendu* de la séance du 20 décembre de la même année, sur la proposition de M. le général Poncelet. Dans cette Note, j'avais indiqué, avec une extrême réserve, le principe d'une *turbine à lames liquides oscillantes*, pensant qu'il l'avait peut-être signalé avant moi, et mentionnant d'ailleurs les aubes courbes que M. D. Girard a proposé de disposer sous les wagons d'un chemin de fer qu'il étudie. Mais ce savant général, auquel je pris le parti de soumettre mes doutes relativement à la priorité de cette idée sur les lames liquides oscillantes par ascension le long des aubes courbes d'une roue horizontale, me fit l'honneur de me répondre, le 14 décembre de la même année, qu'il n'avait pas connaissance que personne en eût fait la proposition formelle. Je crois donc intéressant d'entrer dans quelques détails.

En réfléchissant à deux turbines remarquables dessinées dans un ouvrage intitulé : *Theatrum machinarum novum, per Georgium Andream Bocklerum, architectum et ingeniarium*, traduit de l'allemand en latin par Schmitz, Cologne, 1662, *Pl. XLIV* et *L*, où l'eau semble s'élever sur les aubes courbes, et agir ensuite pendant un glissement de haut en bas, j'ai eu la pensée de la disposition dont il s'agit.

On sait que la roue verticale à aubes courbes de M. Poncelet est une véritable machine à lames liquides oscillantes, et qu'il a considéré ensuite cette roue verticale comme posée horizontalement, mais alors sans lames liquides oscillantes.

Or, je propose d'employer une forme analogue à celle de la roue horizontale de Borda, mais en faisant arriver l'eau motrice par-dessous au lieu de la faire arriver par-dessus, et en disposant la courbure des aubes de manière que l'eau y entre d'une façon analogue à ce qui se présente pour la roue verticale à aubes courbes de M. Poncelet, avec cette différence que les aubes restent toujours à la même hauteur, ce qui simplifie un peu la théorie, tout en permettant d'appliquer à cette circonstance une partie des études faites sur la roue verticale à aubes courbes [*]. Il y a des différences provenant des effets de la force centrifuge; mais on peut les atténuer en disposant les aubes courbes entre des cloisons cylindriques verticales concentriques, auxquelles on pourra provisoirement supposer la génératrice de chaque aube courbe perpendiculaire, en attendant des recherches ultérieures. Si les études faites sur les roues verticales à aubes courbes suffisent pour donner une idée de la disposition générale, le cas n'est cependant pas tout à fait le même. Selon que le diamètre de la turbine sera plus ou moins grand, il y aura sans doute des modifications à faire. Je remarquerai seulement ici une propriété dont la roue verticale à aubes courbes ne semblait pas en général susceptible.

L'eau peut entrer en même temps par plusieurs aubes au moyen de *conducteurs fixes*, d'autant plus nombreux que le diamètre de la turbine est plus grand, toutes choses égales d'ailleurs. Si l'expérience seule peut montrer quel sera le nombre de *conducteurs* le plus convenable pour chaque diamètre, les études déjà faites sur les mouvements de l'eau dans les roues verticales à aubes courbes jetteront beaucoup de jour sur cette question.

Il n'est peut-être pas inutile, au reste, de remarquer que si dans ces roues verticales il n'est pas en général tout à fait rigoureux de

[*] M. le commandant Ordinaire de Lacolonge a publié en 1854, dans le *Génie industriel*, un long Mémoire en trois parties sur les roues verticales à aubes courbes. Dans ce Mémoire, il fait connaître des règles de construction et des procédés de calcul qui lui ont été communiqués par M. Poncelet, et qui comprennent tous les détails essentiels pour le perfectionnement et l'établissement de ces moteurs célèbres, en même temps que les résultats d'expériences concernant la roue de la poudrerie d'Angoulême, résultats qui confirment pleinement l'utilité de ces dispositions.

considérer l'eau comme sortant aussi bas qu'elle est entrée, cela sera rigoureux dans la turbine à lames liquides oscillantes si l'axe est bien vertical. Quant au nombre d'aubes qui dans chaque circonstance doivent se trouver entre deux conducteurs fixes, les observations qui ont été ou seront facilement faites sur les roues verticales à aubes courbes permettront sans doute de lever toute difficulté sérieuse sur les points essentiels à étudier pour diminuer le nombre des turbines dans les circonstances où l'on aura beaucoup d'eau motrice à sa disposition. Cette turbine pouvant avoir ses avantages, je la signale de nouveau puisque personne, à ma connaissance, n'en a réclamé la priorité. Je n'y attache d'ailleurs aucun amour-propre, reconnaissant que si elle est utile, l'honneur doit en revenir principalement à M. Poncelet.

Principes d'une nouvelle roue hydraulique verticale à tuyaux plongeurs et à lames liquides oscillantes dans les biefs d'amont et d'aval.

Cette roue se compose d'un tambour portant extérieurement un anneau creux de section rectangulaire, partagé en plusieurs tuyaux par des aubes d'une forme particulière, en amont et en aval de chacune desquelles des orifices rectangulaires sont disposés sur la surface courbe extérieure de cet anneau; de sorte que chacun de ces tuyaux est percé latéralement à ses deux extrémités, qui doivent être bouchées en temps utile au moyen d'un coursier inférieur dans lequel elles viennent s'engager successivement. Cette roue formant elle-même une partie du barrage, comme les anciennes roues à *pression*, se présente latéralement à l'eau du bief supérieur, qui entre par l'extrémité inférieure de chaque tuyau partiel, dont le sommet achève au besoin de se remplir par son immersion dans ce même bief.

Quand l'orifice inférieur de ce tuyau s'engagera dans le coursier dont on vient de parler, il y aura un étranglement momentané donnant lieu à une perte de force vive dont la limite est facile à calculer. Mais, par suite de la diminution de pression intérieure qui en résultera, la colonne liquide contenue dans le tuyau partiel prendra de haut en bas la vitesse nécessaire, afin qu'il n'y ait pas, pour certaines proportions du

tuyau, de percussion bien sensible à l'époque où son orifice sera masqué par ce coursier. Jusqu'ici les effets paraissent analogues à ceux des anciennes roues hydrauliques à *pression coulant à plein coursier*; mais les aubes, *protégées* en amont et en aval par les espèces de tuyaux qui les séparent, ne viendront plus frapper l'eau du bief supérieur en s'y enfonçant, et ne rencontreront plus que peu de résistance dans l'eau du bief d'aval.

Au lieu d'occasionner un jaillissement de l'eau du bief supérieur en y pénétrant avec une certaine vitesse, cette roue donnera lieu à une espèce de frottement latéral. Il est à peine nécessaire d'ajouter que les aubes qui séparent les tuyaux doivent être disposées convenablement en dessus et en dessous pour éviter autant que possible les déviations des filets liquides, et que ce sera d'ailleurs un des cas où l'on pourra appliquer le système des lames concentriques dont je me suis servi pour diminuer la résistance de l'eau dans les coudes; il est évident aussi que, dans le sens du rayon de la roue, la profondeur du tuyau devra ne pas dépasser certaines limites, mais qu'il sera bon que chaque tuyau partiel ait toute la longueur possible que permettra le diamètre de la roue.

Quand ce tuyau est dégagé du coursier précité, il peut être entièrement plongé dans l'eau du bief d'aval. La vitesse de la roue étant supposée à peu près uniforme, quand l'extrémité devenue supérieure du tuyau dont il s'agit sort du bief d'aval, l'eau contenue dans ce tuyau tend à monter dans la partie qui s'émerge. Mais elle ne peut y monter, en vertu de sa vitesse acquise, qu'en perdant une partie de cette vitesse. Il faut donc qu'une certaine quantité d'eau soit abandonnée au bief d'aval par l'autre extrémité, devenue inférieure et ayant un orifice latéral d'une grandeur convenable.

Si les vitesses et les longueurs du tuyau partiel sont calculées selon certaines lois, on conçoit que la colonne liquide dont il s'agit peut avoir le temps d'osciller de manière que, par leur mode d'action, les pressions latérales rentrent dans le système de celles qui se présentent dans les expériences que j'ai eu l'honneur de soumettre à l'Académie le 18 octobre 1841, et qui ont été l'objet d'un Mémoire suivi d'une Note de M. Combes, publiés dans le *Journal de Mathématiques pures et appliquées*, t. VIII, 1^{re} série, p. 23.

On croyait que les roues du genre des roues de côté coulant à plein coursier ne pouvaient utiliser une partie de la vitesse de sortie de l'eau au bief d'aval que pour les cas où l'eau de ce bief ne recouvrait point la veine de sortie donnant lieu dans le coursier à des effets depuis longtemps signalés, et dont on trouve déjà quelque indication dans un ouvrage de Nicholson (traduction de 1824, bibliothèque de l'École des Mines). Or, il résulte des considérations que je viens de rappeler, qu'il doit être facile de réaliser pratiquement, pour des roues verticales profondément immergées à leur partie inférieure, l'épargne d'une partie de la force vive perdue jusqu'à présent au bief d'aval dans les anciens systèmes ainsi immergés, l'état d'oscillation ayant, dans certaines hypothèses, la propriété de diminuer la moyenne des pressions latérales, de manière à la rendre moindre que la pression hydrostatique de l'eau du bief d'aval.

On conçoit d'ailleurs, même abstraction faite de ces considérations, que si le tuyau vertical était vidé par oscillation jusqu'à une certaine profondeur au-dessous du niveau du bief d'aval, l'eau de ce bief ne pourrait rentrer que dans une capacité fuyant devant elle, et que d'ailleurs elle y produirait un effet analogue, jusqu'à un certain point, à celui de l'eau qui entre de l'extérieur à l'intérieur de certaines roues à réaction, en donnant lieu à une diminution de pression par l'effet même de sa vitesse.

Quant à ce que j'ai dit de la manière dont les choses se passeront dans le bief d'amont à l'époque où le tuyau partiel s'engagera dans le coursier inférieur, si, d'après les indications du calcul, il ne paraît pas qu'on doive en général s'en préoccuper d'une manière bien sérieuse pour certaines proportions des tuyaux partiels, il n'est cependant pas sans quelque intérêt de conserver au moins les traces d'une combinaison ayant pour but de supprimer l'effet momentané de cet étranglement, quoique dans l'état actuel de l'hydraulique on ne connaisse pas assez quelques détails des résistances passives, notamment dans les contractions de la veine liquide pour les cas analogues.

Je suppose que chaque tuyau partiel soit momentanément bouché à l'extrémité qui est inférieure, quand il s'enfonce dans l'eau du bief d'amont. On conçoit que, dans certaines conditions, si cette extrémité est ensuite subitement débouchée à une profondeur convenable au-

dessous du niveau de ce bief, l'eau s'élancera de bas en haut, et aura le temps de monter au-dessus de ce même niveau jusqu'à l'extinction de sa vitesse; qu'alors le tuyau marchant de haut en bas plus vite que cette eau qui tend à redescendre, il se produira les effets suivants :

La colonne liquide tendra ainsi à prendre d'elle-même la vitesse de la roue, pendant qu'il continuera à entrer dans le bas de ce tuyau des quantités d'eau diminuant de plus en plus jusqu'à ce qu'elles soient sensiblement nulles lorsque la vitesse de la colonne liquide intérieure sera devenue égale à celle de la roue, et que le sommet du tuyau partiel aura en descendant atteint le sommet de cette colonne liquide.

Pour réaliser cette idée dans les limites où elle peut l'être sans trop de complication, on disposerait extérieurement à la roue dans le bief d'amont une surface courbe fixe pour chaque niveau, formant une sorte de coursier entièrement immergé, permettant d'abord à l'eau d'entrer un peu au bas du tuyau partiel, interrompant ensuite cette introduction jusqu'à une profondeur convenable, et permettant ensuite de démasquer très-vite, mais *successivement*, chacune des lames courbes concentriques de l'orifice inférieur de ce tuyau, sans empêcher le sommet de ce tuyau d'achever de se remplir au besoin par son immersion dans le bief supérieur.

En résumé, la nouvelle *roue à tuyaux* a pour but de modifier les anciennes roues à pression coulant à plein coursier, de manière à leur permettre de marcher plus vite quand elles seront assez profondément immergées. En la communiquant verbalement à la Société Philomathique de Paris, en 1845 et 1849, je n'ai pas ainsi développé les principes sur lesquels je désire surtout attirer l'attention dans cette Note, et qui permettent de montrer comment on peut appliquer un mode d'action des oscillations dans le bief d'aval, que j'avais présenté sous un autre point de vue, notamment dans le *Journal de Mathématiques pures et appliquées* de 1843. La possibilité de cette application montre une fois de plus l'inutilité de recherches en apparence d'abord purement spéculatives.

On connaît les expériences intéressantes de M. Mary sur les roues hydrauliques verticales à pistons, l'eau coulant à plein coursier; mais si les aubes ou pistons elliptiques qu'il a adoptés ont leurs avantages, on

va voir comment, en conservant la forme des aubes quadrangulaires de la roue annulaire de Barker, décrite par Desaguilliers, on peut varier le débit au moyen d'un nouveau système de vannage.

S'il est juste de rappeler les aubes circulaires proposées par M. Legris dans son ouvrage intitulé : *la Nouvelle Mécanique manufacturière*, 1826, Paris, p. 14, fig. 18, Pl. I, cela ne diminue pas le mérite des expériences de M. Mary, qui, ayant obtenu un effet utile considérable, a spécialement appelé l'attention sur l'étude des systèmes de ce genre.

Moyens de varier le débit de l'eau motrice dans les roues de côté coulant à plein coursier, avec ou sans lames liquides oscillantes. — Détails historiques sur les roues à piston.

De Thiville a depuis longtemps étudié des moyens de varier le débit des chapelets moteurs coulant à plein coursier, et dont le but est le même que celui des roues de côté coulant aussi à plein coursier pour utiliser les chutes motrices très-variables. Il donne au coursier rectiligne de ces chapelets une section quadrangulaire, de sorte que deux faces verticales opposées peuvent se rapprocher ou s'éloigner l'une de l'autre, de manière à varier convenablement le débit de l'eau motrice.

Quant à la manière de varier la largeur des aubes, on peut employer plusieurs systèmes. Il suffit en ce moment de rappeler que de Thiville les composait pour ce cas de deux clapets, réunis par une charnière inférieure permettant à l'angle formé par ces deux clapets de s'ouvrir plus ou moins, selon le degré d'écartement des faces planes verticales dont je viens de parler.

Je me suis aperçu, en m'occupant de mes recherches sur l'histoire de l'hydraulique, qu'il y avait une ancienne disposition de roues de côté à laquelle on pourrait appliquer cette idée de de Thiville, à cause de la verticalité et du parallélisme de deux faces planes d'un coursier annulaire fixe, fendu intérieurement pour le passage des bras ou plutôt du disque, ou de la couronne à laquelle sont attachés les pistons de forme quadrangulaire. (*Voir le Traité de Physique de Desaguilliers, in-4°, 1751, traduction de Pezenas, Pl. XXXIII, fig. 1, 2 et 3, t. II.*)

Il ne faut pas, en effet, confondre cette disposition résultant de ce que les aubes ou pistons sont de forme quadrangulaire, avec celle des aubes ou pistons circulaires ou elliptiques, disposés d'ailleurs, il est vrai, de la même manière, et venant s'emboîter aussi de la même manière dans un coursier annulaire ou corps de pompe courbe. Ces formes circulaires ou elliptiques ont aussi leurs avantages; mais elles n'ont pas celui de permettre de varier la section d'écoulement *par le plus ou moins grand écartement de deux faces verticales, planes et parallèles*, quand on veut employer directement le poids d'une colonne liquide *ayant toute la hauteur de la chute*, comme on l'a souvent proposé pour les chutes très-variables, et notamment pour les *tide mills*.

Ce n'est pas seulement la forme quadrangulaire de la section du coursier qui permet de faire cette application d'un système particulier de vannage; mais c'est la forme dont il s'agit quand le coursier est *annulaire*. Si le fond courbe de la roue, étant d'ailleurs plein, était mobile autour de son axe, comme dans l'*Essai sur les machines hydrauliques*, etc., publié en 1777 par le marquis Ducrest, colonel en second du régiment d'Auvergne, le coursier de la roue coulant aussi toujours plein, et étant même évasé en amont pour éviter la contraction de la veine, cette forme aurait aussi des avantages particuliers, mais ne permettrait pas d'appliquer, du moins d'une manière aussi pratique, le système de vannage à faces parallèles dont je viens de parler.

Ce qui le rend pratiquement possible, si l'on fait couler à plein coursier une roue de formes analogues à la roue de côté de Barker décrite par Desaguillers, c'est que, pendant tout le temps que durera l'écoulement pour un écartement donné des faces parallèles et verticales, les pièces du coursier seront absolument fixes. Il est de plus essentiel de remarquer qu'aux époques où se fera la manœuvre de ces faces verticales, l'ajustement du fond de la roue réduit à un disque ou à une couronne ne pourra éprouver aucun changement, puisqu'on n'y aura pas même touché.

Sans entrer ici dans les détails pratiques, il m'a semblé utile de montrer une fois de plus les avantages qui peuvent résulter des recherches d'érudition; des figures oubliées dans quelques anciens auteurs pouvant ainsi conduire à des applications qui avaient échappé aux plus savants ingénieurs en Angleterre et en France.

Le système de vannage dont je viens de parler n'exige pas que les faces verticales parallèles dont il s'agit soient très-grandes; mais il faut qu'elles le soient assez pour que deux aubes consécutives ne soient pas en même temps hors du coursier. Une seule aube étant d'ailleurs dans le coursier, cela suffit pour que la pression de toute la chute agisse comme si deux aubes y étaient engagées en même temps, la partie de la colonne liquide qui est au-dessous de cette aube pouvant agir par *aspiration*.

Le système de vannage dont il s'agit ne peut s'appliquer d'une manière aussi simple au principe de la roue à tuyaux plongeurs et à lames liquides oscillantes dont j'ai donné ci-dessus la description.

Mais la question des moteurs hydrauliques est si importante, qu'il est intéressant de conserver des traces d'une disposition qui, au moins pour des dimensions médiocres, peut être étudiée sous ce rapport.

On sait qu'il y a des turbines dans lesquelles on varie la section d'écoulement en faisant glisser entre les aubes une des faces de la turbine parallèlement à l'autre face. Or, on peut disposer la nouvelle roue dont il s'agit de manière à profiter d'une disposition analogue dans les limites où la grandeur de son diamètre permettra que cette disposition soit pratique.

Je suppose d'abord qu'une roue de côté d'une assez petite largeur et de forme analogue à celle des roues ordinaires, sauf quelques précautions relativement à la distance des aubes, etc., recommandées pour celles qui coulent à plein coursier, soit appliquée dans sa partie d'amont contre un mur de barrage perpendiculaire à son axe, et devant servir de coursier avec les précautions convenables.

Ce mur sera percé d'un orifice d'une forme analogue à une partie de l'arc hydrophore et convenablement évasé du côté d'amont, de manière que l'eau motrice entre dans la roue parallèlement à son axe. Pour que la roue garde l'eau jusqu'au bas de la chute, il faut que l'arc hydrophore soit fermé sur les trois faces où le mur ne fait pas fonction de coursier. Il suffit donc que la roue ait deux surfaces courbes concentriques parallèles à l'axe de cette roue, aucune de ces trois surfaces n'étant percée.

Il est clair que cette disposition est celle d'une sorte de roue de côté pouvant couler à plein coursier, en recevant et abandonnant l'eau

latéralement, au lieu de la recevoir et de l'abandonner comme les anciennes roues de ce genre. Mais pour varier la section d'écoulement, il suffit de rapprocher ou d'éloigner du mur dont on vient de parler celle des faces planes de l'arc hydrophore qui lui est parallèle.

On ne peut se dissimuler que si, dans cette disposition, les pressions de l'eau contre les faces courbes de l'arc hydrophore ne peuvent se reporter notablement sur l'axe, puisqu'elles se contre-balancent en grande partie, il n'en est pas ainsi de celles qui agissent sur la partie plane de cet arc hydrophore, et tendent même à faire gauchir la roue.

Mais dans le cas où cet inconvénient serait sérieux, on pourrait disposer deux roues sur un même axe, de manière que ces deux roues fussent disposées entre deux murs verticaux et parallèles, barrés convenablement en amont, chacun de ces murs étant percé de manière à alimenter chacune de ces roues. On conçoit même que, si l'on ne voulait pas se réserver la possibilité de varier la section de l'arc hydrophore, on pourrait n'avoir, à proprement parler, qu'une seule roue partagée en deux par un diaphragme, et recevant l'eau de chaque côté par chacun des murs verticaux dont on vient de parler.

Quant à la manière de transformer ce système en roue à *tuyaux plongeurs et à lames liquides oscillantes*, il suffit d'ajouter à ce qui a été dit ci-dessus que : 1° les dimensions déjà limitées dans le sens de l'axe le seront encore dans l'autre sens, par cette circonstance que le rayon de la surface courbe intérieure ne doit pas être trop différent de celui de la surface courbe extérieure, pour que les conditions de la question ne soient pas trop changées, et que 2° si l'on veut varier la section de l'arc hydrophore au moyen du déplacement d'une surface plane qui sera d'ailleurs convenablement attachée à la roue pour une section donnée, il faudra renoncer à l'avantage résultant de l'emploi des lames courbes concentriques dans les espèces de coudes où elles sont utiles.

On conçoit d'ailleurs comment la quatrième face de chaque tuyau partiel peut être composée d'une surface plane verticale, les effets étant, du reste, analogues à ceux qui sont décrits ci-dessus, pourvu que les murs de barrage soient convenablement disposés en aval, l'échancrure des murs de barrage en amont s'élevant toujours, d'ailleurs, au-dessus du niveau du bief supérieur.

Quant aux anciennes roues de côté coulant à plein coursier, les

aubes étaient quadrangulaires, au moins dans celles dont j'ai connaissance. M. le général Poncelet, d'après l'invitation duquel j'ai repris mes études critiques sur les machines hydrauliques, a bien voulu me communiquer des dessins qui avaient échappé à mon attention dans l'*Encyclopédie méthodique*, par la raison même qu'au premier aperçu ces dessins ressemblaient à ceux des roues de côté ordinaires; de sorte que, si l'on n'avait pas connu la roue de côté de Barker précitée, on ne se serait peut-être pas aperçu de ce qu'il y a de particulier dans leur construction.

Ces roues sont décrites dans les articles sur la papeterie et la métallurgie; mais je me suis aperçu, en y réfléchissant, que ceux qui ont fait ces dessins pour l'*Encyclopédie méthodique* n'avaient probablement pas compris ce qu'il y avait de particulier dans la disposition de ces roues. Cela s'explique parce qu'il ne s'agissait pas, à proprement parler, d'hydraulique dans les articles sur les arts dont ils traitaient, ces roues n'y étant indiquées que comme un moteur quelconque.

Il est certain que le coursier annulaire, très-bien dessiné dans l'ouvrage de Desaguillers, n'y est pas représenté. Or, il est facile de voir que sans ce coursier, connu déjà alors depuis longtemps, la disposition des roues de côté décrites dans les articles précités de l'*Encyclopédie méthodique* serait si complètement défectueuse, qu'il paraît impossible d'admettre que ce coursier n'ait pas existé dans les circonstances dont il s'agit, puisque l'ouvrage de Desaguillers était traduit en français si longtemps avant la publication de l'*Encyclopédie méthodique*.

J'ai cru intéressant d'entrer dans ces détails, parce qu'il paraît en résulter que des aubes quadrangulaires attachées à un disque vertical ou à une couronne verticale, ayant d'ailleurs beaucoup plus d'épaisseur que dans les dessins précités de Desaguillers, ont été exécutées avec succès dans le XVIII^e siècle.

Je remarquerai cependant que sur les dessins dont il s'agit les aubes paraissent trop nombreuses pour bien remplir le but des roues de côté *coulant à plein coursier*, même avec la disposition de l'évasement ayant pour but, du moins dans l'ouvrage de Ducrest, d'éviter la contraction de la veine liquide à l'entrée du coursier. L'abbé Mann est le premier qui, à ma connaissance, ait proposé de ne mettre que six ou

huit aubes à des roues de côté, ce qui ne peut avoir de sens que pour une roue coulant à plein coursier. (Voir *Mechanics for practical men*, par Gregory, 1825, p. 318.)

Pour achever ce qu'il y a d'essentiel dans l'histoire des roues hydrauliques coulant à plein coursier, je dirai quelques mots de la roue à aubes circulaires mobiles de M. Armstrong. (Voir le *Mechanics Magazine*, 1838, t. XXX, p. 209; 1840, t. XXXII, p. 229; 1841, t. XXXIV, p. 177.) Dans la roue de M. Armstrong, les aubes, au nombre de quatre, tournent alternativement sur leur axe de manière à se confondre avec le disque circulaire qui entre dans un tuyau courbé en arc de cercle, ouvert à son extrémité inférieure pour le dégagement de l'eau, et à son extrémité supérieure pour recevoir la pression d'une haute colonne liquide arrivant par un tuyau dont la partie courbe précitée n'est que le prolongement fendu intérieurement pour le passage du disque auquel les aubes sont attachées.

Ces aubes, en entrant dans le tuyau courbe, tournent sur leur axe, de manière à recevoir la pression par-dessus, comme un piston de machine à colonne d'eau. Quand elles sont sorties à la partie inférieure du tube, d'où l'eau motrice descend au bief inférieur, elles reprennent leur première position en se repliant, comme je l'ai indiqué, dans le disque, de manière à rencontrer moins de résistance dans le fluide qu'elles traversent.

Il paraît que l'effet utile de cette roue est considérable. Les pertes d'eau sont évitées par une combinaison intéressante de cuirs. Quant à la roue décrite du tome XXX du *Mechanics Magazine*, que je n'ai pas en ce moment sous les yeux, je ne me souviens pas si elle est de M. Armstrong; ce n'est d'ailleurs qu'une simple roue de côté élévatoire dont les aubes sont mobiles.

*Considérations nouvelles sur quelques turbines décrites et figurées
dans quelques ouvrages du XVI^e siècle.*

Parmi les roues hydrauliques décrites en 1588 dans un ouvrage de Ramelli intitulé : *Le diverse ed artificiose machine, ecc.*, il y en a dont les aubes sont de véritables surfaces cylindriques à génératrices ver-

ticales qui, au premier aperçu, ont beaucoup de ressemblance avec celles d'une turbine de M. Poncelet. Ainsi, dans celle de la *fig. 3*, p. 5, le canal conducteur amène l'eau motrice presque tangentielle-ment à l'élément extérieur de la courbure de chaque aube.

Mais, comme la surface de chaque aube se prolonge jusqu'à l'axe vertical de la roue, la veine liquide au centre de cette roue ne s'échappe pas de la même manière. En général, l'aspect de cette ancienne turbine a de l'analogie avec celui d'une roue à rayons divergents, tandis que la courbure des aubes tend à se raccorder avec la circonférence extérieure dans les leçons lithographiées de M. Poncelet, où il est d'ailleurs à remarquer qu'à l'intérieur de la roue les aubes se recourbent en arrière. Aussi cette turbine, décrite par Ramelli, offre, même à la simple vue, un caractère tout différent. Il est essentiel d'observer que les aubes de Ramelli ne sont point comprises entre deux plateaux, dont un est d'ailleurs percé au centre dans le système de M. Poncelet.

Ce dernier caractère est assez bien exprimé dans un dessin très-curieux de la *Pl. XVI* d'un ouvrage in-folio, publié à Venise vers la fin du *xvi^e* siècle ou au commencement du suivant, intitulé : *Fausti Verantii machinæ novæ, addita declaratione latina, italica, gallica, hispanica et germanica*. Dans cette turbine, les aubes courbes ne vont plus jusqu'à l'axe et se raccordent mieux avec la circonférence extérieure que dans la turbine précitée, décrite par Ramelli. Elles sont comprises entre deux plateaux parallèles auxquels elles sont attachées. Le plateau supérieur est plein, l'inférieur est percé au centre, dans l'espace libre laissé par les aubes; il semble bien du moins, d'après le dessin, que, dans ce plateau inférieur, le cercle compris entre les aubes est entièrement enlevé.

Quant au nombre de ces aubes, s'il est évidemment trop petit, il ne paraît pas que, dans la pensée de l'auteur, ce dessin suffise pour déterminer rigoureusement ce nombre, car il y a plus d'aubes dans le moulin à vent de forme analogue décrit dans le même ouvrage. Il est vrai que, dans le moulin à vent dont il s'agit, le fluide ne peut sortir par-dessous. Il ne paraît pas, d'ailleurs, que le but de cette turbine, dans le cas particulier représenté par l'auteur, soit précisément le même que celui de la roue précitée décrite par Ramelli, dans laquelle l'eau était amenée sur chaque aube successive par un *conducteur fixe*, dis-

posé extérieurement. Le dessin de cette seconde turbine ne présente plus de conducteur, et la figure de la *Pl. XVI* précitée porte seulement pour titre : *Molæ ad rupem appensæ*. Dans cette figure, l'auteur n'indique pas d'autre but que de montrer simplement de quelle manière on peut établir une roue sur le flanc d'un rocher, c'est-à-dire en laissant plonger l'axe vertical à une profondeur convenable dans une rivière qui coule au pied de ce rocher, à un niveau qui peut varier, et dont le mouvement suffit pour faire tourner cette roue, quoiqu'elle y soit entièrement plongée. On peut même se demander, surtout en comparant le dessin de cette roue à celle du moulin à vent précité, si, dans la pensée de l'auteur, le plateau inférieur doit être réellement percé au centre, et s'il n'y a pas en ce point une erreur dans le dessin. On sait, en effet, que M. Cagniard de Latour a fait des expériences sur une turbine de forme analogue, dont les aubes étaient perpendiculaires à deux plateaux pleins et parallèles, et qui tournait aussi entièrement plongée dans une rivière.

L'auteur précité, le savant évêque Veranzio, connaissait probablement l'ouvrage de Ramelli, car, d'après diverses recherches, quoique la date précise de la publication de son ouvrage dont il s'agit ne se trouve point sur les exemplaires que j'ai eus entre les mains, il ne paraît pas qu'elle puisse être antérieure à 1591, ni même probablement à 1595.

Ces deux auteurs ne disent ni l'un ni l'autre si les appareils dont il s'agit sont de leur invention; il y a même lieu de croire qu'ils regardaient la question comme ayant été présentée sous des formes assez diverses pour ne pas considérer chaque figure séparée comme exprimant toute la portée du système.

L'ouvrage de Faust Veranzio étant traduit en cinq langues, il y a eu par hasard une transposition dans le texte français de la note relative à cette roue; mais les textes des quatre autres langues étant parfaitement d'accord entre eux, comme je l'ai vérifié, il n'y a pas à s'y tromper. L'auteur était, ainsi que Ramelli, un des hommes les plus savants du xvi^e siècle. Ce sont les seuls qui, à ma connaissance, aient publié, avant M. le général Poncelet, des roues à aubes courbes, à axe vertical, ces aubes ayant des génératrices verticales, et leur courbure se raccordant plus ou moins avec la direction que peut avoir l'eau affluente à

la circonférence extérieure, car il ne faut pas les confondre avec les turbines dont les aubes avaient aussi des génératrices verticales, mais dont la courbure était évidemment destinée à recevoir un choc, même quand cette courbure était repliée en arrière, vers l'intérieur de la roue, comme dans une figure du grand ouvrage de Belidor.

Quant aux conducteurs fixes amenant l'eau motrice horizontalement par toute la circonférence extérieure d'une roue à aubes et à axe vertical, j'ai signalé depuis longtemps la roue horizontale à aubes planes d'Adamson, qui recevait l'eau par toute sa circonférence extérieure (*Philosophical Magazine*, t. L, et *Journal of Arts and Sciences*, t. IV). Mais cela ne se rapporte pas à la turbine de M. Poncelet, qui n'a pas proposé, je crois, de faire arriver l'eau par toute la circonférence, mais plutôt de n'employer, en général, qu'un seul conducteur. Je passe donc au point le plus essentiel, quant à la marche de l'esprit humain dans la découverte des principes.

On demandera sans doute si les savants précités du xvi^e siècle ont eu une idée sérieuse du bon emploi de la force vive, tel qu'il est compris aujourd'hui dans les turbines. Leurs textes sont trop succincts pour qu'on puisse répondre à cette question d'une manière positive; il y a cependant une circonstance sur laquelle je crois devoir appeler l'attention des érudits, même pour le cas où quelque ancien ouvrage ne me serait pas assez connu. Je ne trouve pas qu'aucun des auteurs des deux derniers siècles ait reproduit les formes si remarquables des aubes de Ramelli et de Faust Veranzio. Il est même facile de voir qu'ils préfèrent tous l'emploi du choc proprement dit sur les espèces de cuillers offrant même, en général, des surfaces gauches. Belidor et Borgnis lui-même n'ont point rappelé les deux anciennes dispositions précitées des aubes courbes, dont il y a par conséquent lieu de penser que les auteurs ont eu une idée qui n'était encore généralement comprise ni de leur temps, ni même dans les deux siècles qui les ont suivis, c'est-à-dire jusqu'aux savantes recherches d'Euler et de Borda, dont il est d'ailleurs à remarquer que les aubes courbes avaient des dispositions très-différentes.

Je citerai seulement ici, relativement aux aubes à surfaces gauches, l'ouvrage précité de Bockler, dont j'ai déjà mentionné les *Pl. XLIV* et *L*. On voit, sur ces deux planches, l'eau arriver latéra-

lement d'une manière telle, qu'il semble difficile que l'auteur n'ait pas eu une idée quelconque de l'avantage indiqué dans le siècle suivant par Deparcieux, consistant à utiliser en partie l'ascension de l'eau le long des aubes d'une roue hydraulique. Cet ouvrage est d'ailleurs le seul jusqu'à présent où j'aie retrouvé quelque chose d'analogue à la disposition de la turbine précitée de Ramelli, quant à la forme. Mais il y a au fond une différence très-curieuse qui change tout à fait l'état de la question. Le fluide, au lieu d'arriver par la circonférence extérieure pour sortir par le centre, arrive en entier par-dessous, les aubes courbes étant attachées à un plan supérieur plein auquel elles sont perpendiculaires. Le fluide, après avoir produit son action, sort, dans ce système, par la circonférence extérieure de la roue. Le dessin de cette roue se trouve dans la *Pl. LXXXI*, qui représente une turbine éolique ayant pour moteur un courant d'air chaud. Si ce système se rapporte à l'histoire de turbines différentes de celles dont j'ai parlé ci-dessus, il ne détruit pas la conséquence que je viens d'indiquer comme résultant du silence des auteurs des deux derniers siècles sur les dispositions remarquables des aubes de Ramelli et de Faust Veranzio.

Principe d'une nouvelle roue hydraulique élévatoire.

L'ouvrage précité de Bockler renferme plusieurs roues élévatoires à augets invariablement attachés à ces roues; mais on en trouve un perfectionnement remarquable dans le *Theatrum machinarum*, de Leupold, publié longtemps après, le tome I^{er} de ce dernier étant de 1723. On y trouve le dessin d'une roue élévatoire dont les augets prennent l'eau à élever par la circonférence extérieure et la versent au sommet par la circonférence intérieure. La forme générale du système est d'ailleurs analogue, sauf quelques détails qui s'expliquent par la différence des problèmes à résoudre, avec la roue verticale motrice à augets, proposée par de Thiville, qui a eu l'heureuse idée de recevoir dans certains cas l'eau motrice à l'intérieur, et de la faire sortir par la circonférence extérieure, de manière à permettre aux augets convenablement disposés pour cet objet de garder l'eau le plus longtemps possible avant de la verser au bief d'aval.

Il est permis de s'étonner qu'on ait été si longtemps à transformer cette roue élévatoire, décrite par Leupold, en roue hydraulique motrice, puisqu'il semble qu'il ne s'agissait guère que de changer le sens de son mouvement. Mais ces généralisations, conséquences de l'esprit moderne dont j'ai donné divers exemples à la Société Philomathique de Paris, ne diminuent pas au fond le mérite des anciens auteurs, et même de Thiville ne doit probablement que bien peu de chose à Leupold.

J'ai eu moi-même occasion de communiquer à la Société Philomathique de Paris, en 1846, le principe d'une roue verticale élévatoire à aubes courbes dont il me paraît intéressant de conserver la trace, quoique l'expérience seule puisse montrer quel peut être son degré d'utilité. Ce sera d'ailleurs un exemple de plus des avantages que l'on peut retirer de la lecture des anciens auteurs, même quand ces derniers ont présenté des combinaisons dont le défaut est aujourd'hui reconnu.

Ramelli a disposé verticalement la roue horizontale à aubes courbes dont j'ai parlé ci-dessus. Mais le nombre de ces aubes est alors évidemment trop petit; au reste, ce savant ingénieur voulait peut-être seulement exposer une idée. Il est bien à remarquer qu'il n'a point considéré cette roue verticale comme motrice, mais seulement comme un *propulseur* pour faire avancer des bateaux. Il semble, d'après cette disposition, qu'il voulait faire pénétrer chaque aube dans l'eau en diminuant le choc à son entrée, et qu'il comptait, en partie du moins, sur le poids de l'eau qui aurait été soulevée comme point d'appui pour faire avancer les bateaux. Ce n'est pas ainsi, comme on le sait, que ces propulseurs sont aujourd'hui considérés. Mais quand j'ai eu connaissance de cette ancienne roue, j'ai signalé l'avantage que pourrait avoir une forme analogue des aubes plongeantes pour élever de l'eau au moyen des roues de côté à aubes emboîtées dans un coursier.

J'ai cru depuis retrouver cette idée dans un grand ouvrage sur les moulins à vent hollandais, qui est à la bibliothèque du Conservatoire des Arts et Métiers et qui a été publié, en 1734, in-folio. Je m'étais même empressé de le dire dans ma Note précitée de 1863, mais j'ai reconnu ensuite que je m'étais trompé à mon désavantage, n'ayant pas encore étudié le hollandais. Il est certain que la roue dont il s'agit

est destinée à utiliser une chute d'eau. Mais ce n'est qu'une espèce particulière de roue de côté *motrice*, et la courbure des aubes n'est pas disposée de manière à utiliser la force vive de l'eau, comme dans la roue verticale à aubes courbes de M. le général Poncelet, où l'eau arrive par-dessous, le coursier ayant une direction de bas en haut, ce qui est précisément favorable à l'établissement de la nouvelle turbine à lames liquides oscillantes.

C'est peut-être un des exemples les plus convenables pour montrer qu'en supposant même que les anciens auteurs eussent disposé les aubes des roues de toutes les manières possibles, ce ne serait pas une raison pour en conclure qu'ils se soient doutés du parti qu'on en pouvait tirer pour le bon emploi de la force vive.

Il n'est pas sans intérêt de joindre, à ce que j'ai dit sur les roues hydrauliques à pression, quelques études sur les anciennes roues de ce genre telles qu'elles ont été décrites, en 1777, par Ducrest, quoi qu'elles ne fussent pas à lames oscillantes comme celles que j'ai imaginées.

Il faut, en effet, distinguer de la forme de ce genre de roues celles où le coursier est annulaire. Le fond circulaire de la roue décrite par Ducrest ne paraît pas sans utilité pour simplifier les phénomènes du dégagement de l'eau, sa présence pouvant empêcher les tourbillons de se former en arrière et tendant à reporter mieux en avant la force vive restant à l'eau et qui, en définitive, doit faire dégager celle-ci du côté d'aval.

Ce fond circulaire paraît en général avoir encore un autre avantage : la pression latérale de l'eau du bief supérieur dont la surface est libre, et dans lequel les aubes inclinées plongent directement pour venir s'emboîter dans un coursier qui, avec le fond circulaire de la roue, forme comme un véritable corps de pompe, coulant toujours plein d'eau et évasé par le sommet, se décomposera en deux parties, dont une tendra à soulager la roue et l'autre à la presser latéralement.

Or, je trouve qu'en général la première sera plus grande que la seconde, et qu'il y aura à peu près compensation dans les circonstances extrêmes où le niveau d'amont sera très-élevé, même abstrac-

tion faite de ce que l'eau, montant aussi dans le bief d'aval, pendant les crues, plus haut, comme on sait, qu'elle ne s'élève dans le bief d'amont au-dessus de sa hauteur ordinaire, la roue pourrait tendre à être soulagée, si elle était disposée comme une sorte de flotteur.

Pour fixer les idées, il suffit de dire que, s'il n'y a pas d'eau en aval au-dessus du fond circulaire et si l'eau s'élève en amont à la hauteur de l'axe, la pression qui *soulage* est à celle qui doit augmenter le frottement comme π , rapport de la circonférence au diamètre, est à 2. Il faudrait que l'eau s'élevât jusqu'au sommet de la roue en amont pour que le rapport de ces pressions fût $\frac{\pi}{4}$, en supposant, pour abrégé, le coursier très-court et les aubes très-courtes dans ces deux calculs.

Cette roue pourrait fonctionner en partie par aspiration, ce qui permettrait de diminuer soit le nombre des aubes, soit la longueur du coursier en aval de l'axe. Il suffit de voir les *fig.* 5 et 6 de l'ouvrage précité de Ducrest, pour comprendre que si la roue a des joues ou couronnes latérales, elle peut agir par succion sur une hauteur analogue à celle de ces couronnes, l'air extérieur ne pouvant arriver que par-dessous.

Mais il est intéressant de remarquer qu'elle pourra agir en vertu de ce principe sur une hauteur plus grande, puisqu'elle peut tourner avec une certaine vitesse, et qu'en supposant que des bulles d'air pussent s'introduire par-dessous, du côté même où l'eau tend à s'échapper, il faudrait encore un certain temps pour qu'elles arrivassent au sommet de l'espace hydrophore, à cause des phénomènes de la résistance des fluides. Or, pendant cette ascension de l'air, l'aube aura un certain temps pour se dégager, en chassant d'ailleurs devant elle l'ensemble du système fluide compris dans cet espace hydrophore.

Les choses ne se passeraient pas ainsi dans le cas où l'air pourrait arriver par-dessus au lieu de venir par-dessous. On conçoit donc qu'il faudrait alors certaines précautions pour obvier à cet inconvénient à l'époque de l'immersion de l'aube dans l'eau du bief supérieur, surtout si la roue portait des couronnes latérales.

Les effets de la succion permettant de diminuer la longueur du coursier en aval de l'axe, il en résulte que la tangente selon laquelle l'eau se dégagera dans le bief d'aval aux époques où il y aura peu d'eau

dans ce bief sera moins inclinée. Cette circonstance favorisera l'emploi de la force vive de l'eau dégagée en aval, parce que cela permettra de rapprocher plus ou moins dans certains cas les phénomènes de ceux qui ont été depuis longtemps observés à la sortie de l'eau des roues de côté, et sur lesquelles d'ailleurs M. Belanger a fait des recherches intéressantes dont une partie seulement est publiée.

Il n'est peut-être pas sans intérêt d'ajouter, à ce que j'ai dit sur l'histoire des roues de côté coulant à plein coursier, quelques mots relativement à celle des chapelets moteurs coulant à plein tuyau. Mais ce qu'il y a d'intéressant à ajouter ici sur ce sujet se rapporte plutôt aux chapelets élévatoires. L'idée de diminuer le nombre des aubes ou pistons d'un chapelet est décrite, par Tyer, dans le *Repertory of Arts*, t. XXXVI, p. 8 (patente du 2 mai 1818, avec une planche). Quant à celle de donner aux aubes ou pistons une *poupe* et une *proue*, elle est dessinée, pour les chapelets, dans divers auteurs des trois derniers siècles, tels que Ramelli, Wolf, etc., où l'on trouve aussi des ellipsoïdes de révolution en cuir. Il est intéressant de voir une seule aube engagée dans le tuyau ou corps de pompe et n'ayant toujours à surmonter qu'une résistance théoriquement constante, puisque, si la partie de la colonne qui résiste par succion augmente, la partie de la colonne à pousser par-dessous diminue.

Ce genre de moteur a entre autres inconvénients celui de perdre de l'eau par le pourtour entier de la palette ou d'avoir à vaincre le frottement nécessaire pour s'y opposer, tandis que dans les roues de côté coulant à plein coursier, comme celles qui sont décrites par Ducrest et par l'*Encyclopédie méthodique*, cette cause de perte de travail est bien moindre par suite de la manière dont les aubes sont attachées.

