

des roues qu'en leur appliquant des efforts considérables. C'est encore à la presse hydraulique que l'on a habituellement recours pour exercer ces efforts.

Il y a quelques années, on a construit en Angleterre un pont tubulaire qui traverse le bras de mer compris entre le comté de Carnarvon et l'île d'Anglesey. Ce pont, d'une longueur totale de 455 mètres, est formé de deux immenses tubes de tôle, placés à côté l'un de l'autre, à l'intérieur desquels passent les deux voies du chemin de fer de Chester à Holyhead ; il n'est supporté entre ses extrémités que par trois tours, qui le divisent en quatre travées dont les deux moyennes, plus grandes que les deux autres, ont chacune 140 mètres de portée. Les portions de tubes correspondant à ces travées moyennes ont été construites séparément au bord de la mer ; on les a transportées sur des pontons, jusqu'au pied des tours qui devaient former les piles du pont ; et c'est ensuite à l'aide de presses hydrauliques qu'on a élevé ces tubes gigantesques pour les poser sur le haut de ces tours.

EMPLOI DE L'EAU COMME MOTEUR.

§ 371. **Création d'une chute d'eau.** — Lorsque nous avons énuméré les diverses espèces de moteurs (§ 198), nous avons indiqué les cours d'eau comme constituant un moteur de la plus grande importance. Nous sommes en mesure maintenant d'entrer dans les développements convenables, pour faire connaître le mode d'action de ce genre de moteur, ainsi que les dispositions des diverses machines motrices (§ 199) qui reçoivent cette action pour la transmettre à des mécanismes de toute sorte destinés à effectuer du travail utile.

Le mouvement de l'eau dans un cours d'eau est dû à l'action de la pesanteur. Chaque molécule liquide, en parcourant une portion de ce cours d'eau, s'abaisse verticalement d'une certaine quantité ; cet abaissement donne lieu à la production d'une certaine quantité de travail moteur, qu'on obtiendrait en multipliant le poids de la molécule par la différence de niveau des deux extrémités du chemin qu'elle a parcouru (§ 77). C'est ce travail développé par l'action de la pesanteur sur les diverses molécules liquides, qu'il s'agit d'utiliser au lieu de le laisser absorber par le travail résistant qu'occasionne le frottement de l'eau sur elle-même et sur les parois solides entre lesquelles elle est renfermée (§ 307).

Pour y arriver, on établit un barrage à travers le cours d'eau. Ce barrage s'opposant au passage de l'eau qui arrive constamment

dans le lieu où on l'a établi, il en résulte que le niveau de l'eau s'élève en amont, et s'abaisse en aval. Concevons que le barrage se termine vers le haut par une crête horizontale, et que l'eau, après s'être accumulée dans le bief d'amont, s'écoule dans le bief d'aval en passant par-dessus cette crête, ce qui constituera un déversoir (§ 314). Le mouvement s'établira de manière que la quantité d'eau fournie par le déversoir, dans un temps donné, soit précisément égale à celle qui passait dans le même temps à travers une section transversale du cours d'eau, avant l'établissement du barrage. Cette quantité d'eau, en passant ainsi du bief supérieur dans le bief inférieur, tombera d'une hauteur égale à la différence de niveau du liquide dans ces deux biefs; en multipliant cette hauteur par le poids de l'eau écoulée, on aura la mesure du travail moteur développé dans la chute du liquide, travail que l'on pourra utiliser, en l'appliquant à une machine.

§ 372. **Force d'une chute d'eau.** — D'après ce qui vient d'être dit, il est aisé d'évaluer en chevaux-vapeur (§ 201) la force de la chute qu'on produirait dans un cours d'eau dont on connaît le débit, en y établissant un barrage qui donnerait lieu à une différence de niveau déterminée dans les biefs d'amont et d'aval. Prenons pour exemple la Seine à Paris, et cherchons la force de la chute que l'on obtiendrait en construisant un barrage dans le bras droit de ce fleuve, un peu au-dessus du Pont-Neuf, comme on en a le projet. Ce bras de la Seine, au moment des basses eaux, débite environ 100 mètres cubes d'eau par seconde. Le barrage dont il vient d'être question pourrait donner lieu à une chute de 1^m,50 de hauteur. Donc cette chute produirait, en une seconde, un travail de 150 000 kilogrammètres. Si l'on divise ce nombre par 75, on trouvera que la force de la chute qu'on veut créer près du Pont-Neuf peut être évaluée à 2 000 chevaux-vapeur, pour l'époque des basses eaux.

Les éléments qui entrent dans la détermination de la force d'une chute d'eau varient aux diverses époques de l'année. D'une part, la quantité d'eau que débite le cours d'eau en une seconde est plus ou moins grande; d'une autre part, la différence de niveau dans les biefs d'amont et d'aval diminue à mesure que le débit augmente. Quoique ces deux éléments varient en sens contraire l'un de l'autre, il en résulte toujours une variation de même sens dans la force de la chute; cette force est d'autant plus grande que le cours d'eau fournit une plus grande quantité de liquide en une seconde.

§ 373. **Conditions que doivent remplir les moteurs hydrauliques.** — L'eau d'une chute peut rarement agir d'elle-

même, sans intermédiaire, pour produire du travail utile ; nous en verrons cependant quelques exemples. Le plus ordinairement, l'eau agit sur une machine, qui n'a d'autre objet que de recevoir son action, pour la transmettre ensuite aux machines spéciales qui doivent l'utiliser. On doit naturellement se proposer de construire cette machine motrice de telle manière que l'eau de la chute lui transmette la totalité du travail moteur qu'elle produit en tombant du bief supérieur dans le bief inférieur. Il est impossible de satisfaire complètement à cette condition ; mais il faut chercher à en approcher le plus possible.

Pour donner une idée nette de la force d'une chute d'eau, nous avons supposé qu'après avoir construit un barrage en travers du cours d'eau, on laissait l'écoulement de l'eau s'établir naturellement par-dessus la crête du barrage ; en sorte que l'eau tombait librement depuis le niveau du bief d'amont jusqu'à celui du bief d'aval, et c'est le travail produit par cette chute du liquide qu'il s'agirait de transmettre à une machine motrice. Mais il n'est pas nécessaire que l'eau quitte le bief d'amont à la hauteur de la surface libre du liquide qui y est contenu ; on peut pratiquer une ouverture dans le barrage, soit vers le bas, soit en un point quelconque situé entre les niveaux des deux biefs, et la quantité de travail que l'eau sera capable de produire, en se rendant ainsi d'un bief dans l'autre, sera toujours la même que si elle tombait librement d'un niveau à l'autre. C'est ce dont on s'assurera sans difficulté, en examinant, par exemple, ce qui aurait lieu, si l'écoulement de l'eau se produisait par l'ouverture d'une vanne située à la hauteur du niveau dans le bief inférieur ; la vitesse d'écoulement du liquide par cette ouverture serait précisément la même que celle qui aurait été acquise par ce liquide, s'il était tombé librement de toute la hauteur de la chute (§ 282). En sorte que, si l'on ne veut faire agir l'eau sur une machine motrice qu'après qu'elle aura pris toute la vitesse qu'elle peut recevoir de l'action de la pesanteur, en raison de la hauteur de la chute, peu importe qu'on la fasse arriver d'une manière ou de l'autre au niveau du bief inférieur, puisque dans les deux cas elle acquerra la même vitesse.

On pourrait objecter, il est vrai, qu'en faisant passer l'eau du bief supérieur dans le bief inférieur, par l'ouverture d'une vanne, on pourrait donner à cette ouverture des dimensions telles, qu'il s'écoulerait dans un temps donné une quantité d'eau beaucoup plus grande que celle qui se serait écoulée dans le même temps par le haut du barrage ; et que, comme la vitesse du liquide est toujours celle qui est due à la hauteur de la

chute, la quantité de travail produite pendant le temps dont il s'agit aurait été augmentée par l'emploi d'une vanne. Cette augmentation de travail ne fait pas de doute : mais il faut observer que la vanne, en débitant plus d'eau que n'en fournit le cours d'eau, détermine un abaissement du niveau dans le bief d'amont : ce bief se vide, et par conséquent, on sera obligé de fermer la vanne pendant quelque temps, pour attendre qu'il se remplisse de nouveau. En somme, si l'on veut profiter régulièrement de l'action d'une chute d'eau, on devra faire en sorte, par exemple, que le niveau du bief d'amont soit le même au commencement de chaque journée ; et, par suite, la vanne, de quelque manière qu'on la manœuvre dans l'intervalle de 24 heures, ne devra toujours laisser passer que la quantité d'eau fournie par le cours d'eau pendant ce temps. L'emploi d'une vanne laissant couler l'eau vers le bas de la hauteur de chute n'augmentera donc pas la quantité totale de travail produite par l'eau dans l'espace d'une journée ; mais cela permettra de répartir ce travail autrement qu'il ne le serait, si l'eau s'écoulait par le haut du barrage, comme nous l'avions supposé d'abord. C'est ainsi que, si chaque jour on n'ouvre la vanne que 12 heures, au lieu de la laisser ouverte pendant les 24 heures, le travail produit en une heure pourra être doublé : une chute dont la force aurait été évaluée à 15 chevaux (§ 372) agirait pendant ces 12 heures avec une force de 30 chevaux.

Il résulte de ce qui précède que la quantité de travail que l'eau est capable de produire est toujours la même de quelque manière qu'on la fasse passer du bief supérieur dans le bief inférieur. Mais il faut pour cela, bien entendu, que les circonstances dans lesquelles se produit cet écoulement ne donnent lieu à aucune perte de vitesse ; car une pareille perte entraînerait nécessairement une perte correspondante dans la quantité de travail que la vitesse de l'eau doit produire en agissant sur la machine motrice. Il faut, en conséquence, disposer les orifices par lesquels l'eau doit s'écouler, de manière à éviter les changements brusques de direction des filets liquides, c'est-à-dire qu'il faut employer des orifices *évasés* (§ 289) ; on doit aussi éviter de faire couler l'eau avec une grande vitesse dans un canal d'une certaine longueur, afin de ne pas donner lieu aux pertes de vitesse occasionnées par les frottements du liquide sur les parois et sur lui-même (§ 298).

Si nous examinons maintenant la machine motrice, à laquelle l'eau doit transmettre le travail développé par sa chute, nous verrons que l'eau arrive dans cette machine avec une certaine

vitesse, qui peut être très-grande ou très-petite, suivant les cas, et qu'elle en sort ensuite pour se rendre dans le bief inférieur. Sans nous préoccuper des dispositions diverses qu'on peut donner à une pareille machine, dispositions que nous indiquerons en détail dans un instant, nous pouvons reconnaître qu'en général elle doit satisfaire à deux conditions essentielles. Premièrement, l'eau doit agir sans choc, c'est-à-dire que, depuis le moment où elle est sur le point d'entrer dans la machine, jusqu'au moment où elle l'a abandonnée complètement, il ne doit pas y avoir de changements brusques, soit dans la direction, soit dans la grandeur de la vitesse des différentes molécules liquides. Secondement, l'eau doit sortir de la machine de manière à n'avoir qu'une très-faible vitesse, sinon une vitesse nulle, lorsqu'elle arrive dans le bief inférieur; car si elle y arrivait avec une vitesse appréciable, elle serait capable de produire une certaine quantité de travail, en raison de cette vitesse, et en conséquence elle n'aurait pas transmis à la machine motrice la totalité du travail qu'elle pouvait produire.

Ainsi, en résumé, dans l'établissement d'un moteur hydraulique, on doit toujours avoir en vue de satisfaire aux conditions suivantes : 1° l'eau doit être amenée du bief d'amont dans la machine, en éprouvant le moins possible de perte de vitesse; 2° elle doit agir sans choc; 3° elle doit arriver sans vitesse dans le bief d'aval. Ces conditions ne peuvent pas être remplies d'une manière rigoureuse; aussi n'arrive-t-il jamais que la force d'un moteur hydraulique soit la même que celle de la chute qui le fait mouvoir: elle n'en est qu'une fraction plus ou moins grande, suivant que le mode d'action de l'eau se rapproche plus ou moins de l'état idéal qui est indiqué par les conditions précédentes. Pour juger de la bonté d'un moteur hydraulique, on déterminera par l'expérience (§ 200) la quantité de travail qu'il est capable de produire dans un temps donné, et l'on cherchera le rapport de cette quantité de travail à celle que fournit la chute d'eau dans le même temps; le moteur sera d'autant meilleur que ce rapport se rapprochera plus de l'unité.

§ 374. **Roue en dessous, à aubes planes.** — Entrons maintenant dans le détail des diverses dispositions qui ont été imaginées pour les moteurs hydrauliques. Le plus habituellement, ces moteurs sont des roues auxquelles l'eau imprime un mouvement de rotation autour de leur axe, qui est placé, soit horizontalement, soit verticalement; ces roues prennent le nom de *roues hydrauliques*. Nous étudierons d'abord celles dont l'axe est horizontal. On les divise ordinairement en *roues en dessous*, *roues*

en dessus, et roues de côté, suivant que l'eau arrive dans la roue vers sa partie inférieure; ou vers sa partie supérieure, ou bien en un autre point de son contour.

La roue en dessous, à aubes planes (fig. 442), se place en avant

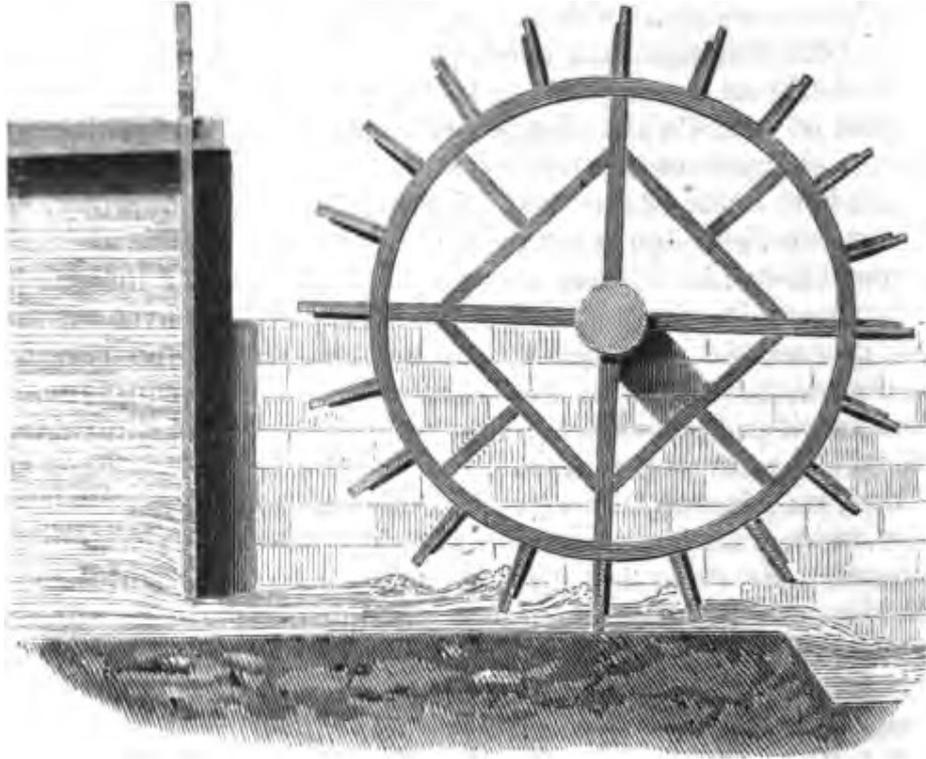


Fig. 442.

d'une vanne qu'on lève d'une certaine quantité, pour laisser couler l'eau par sa partie inférieure. L'eau sort de la vanne avec la vitesse due à la hauteur du niveau dans le bief au-dessus de l'orifice; un coursier horizontal, ou légèrement incliné, l'amène sous la roue; et elle lui imprime un mouvement de rotation, en exerçant une pression sur les aubes ou palettes dont elle est munie sur tout son contour. Sous l'action de l'eau, la roue prend une certaine vitesse, qui dépend des résistances qu'elle a à vaincre; cette vitesse est d'autant plus petite que les résistances sont plus considérables. On sait, en effet, que la pression exercée par l'eau sur les aubes de la roue, lorsqu'elles sont en mouvement, n'est pas la même que lorsqu'elles sont immobiles, et que, de plus, cette pression est d'autant plus faible qu'elles se meuvent plus rapidement (§ 324). Il en résulte que, pour vaincre une résistance donnée, la roue prendra, sous l'action de l'eau, une vitesse particulière, pour laquelle il faut que la pression de l'eau sur

les aubes soit en rapport avec la grandeur de cette résistance. Si, par une cause quelconque, sa vitesse devenait accidentellement plus petite, la pression de l'eau sur les aubes augmenterait ; une portion seulement de cette pression ferait équilibre à la résistance, et l'autre portion accélérerait le mouvement de la roue, jusqu'à ce que l'équilibre fût rétabli entre la pression exercée par l'eau et la résistance à vaincre. Si, au contraire, la roue prenait momentanément un mouvement plus rapide, la diminution qui en résulterait dans la pression de l'eau sur les aubes rendrait la résistance prédominante, et le mouvement se ralentirait.

On conçoit, d'après ce qui précède, que l'on puisse faire prendre à la roue telle vitesse qu'on voudra, en réglant convenablement la grandeur de la résistance qu'elle aura à vaincre. Mais la quantité de travail réellement transmise à la roue par l'action de l'eau ne sera pas la même, suivant que la roue tournera avec telle ou telle vitesse. Pour que la roue marche très-rapidement, il faut qu'elle n'ait à vaincre qu'une faible résistance ; si on lui oppose une résistance considérable, elle ne prendra qu'un mouvement très-lent. Or, le travail effectué par la roue dans un temps donné dépend à la fois de la grandeur de la résistance vaincue et de l'étendue du chemin parcouru pendant ce temps, par le point d'application de cette résistance, ou, ce qui revient au même, de la vitesse de la roue. Dans l'un et dans l'autre des deux cas extrêmes qu'on vient de considérer, l'un des éléments du travail est très-petit, et, par suite, le travail lui-même ne peut pas être grand. Il doit donc exister une certaine vitesse de la roue, qui ne soit ni trop grande ni trop petite, pour laquelle le travail effectué surpasse celui que la roue produirait avec toute autre vitesse. L'expérience a appris que, pour obtenir ce maximum de travail, il faut que la vitesse de la roue, mesurée à sa circonférence, soit les 0,45 de celle de l'eau, au moment où elle arrive sur les aubes.

Les roues en dessous, à aubes planes, sont loin de satisfaire aux conditions que nous avons indiquées en général pour les moteurs hydrauliques (§ 373). En premier lieu, l'eau perd une portion de sa vitesse, avant d'atteindre la roue, par son frottement contre les parois du coursier qui l'amène de la vanne sur les aubes ; en second lieu, au moment où l'eau rencontre une des aubes de la roue, elle perd brusquement sa vitesse, pour prendre la vitesse de la roue ; en troisième lieu, l'eau quitte la roue en conservant une vitesse considérable, qui donne lieu à ce bouillonnement que l'on observe dans le bief d'aval, jusqu'à une grande distance de la roue. Aussi les roues de cette espèce sont-elles de

très-mauvais moteurs hydrauliques. En mesurant, à l'aide du frein dynamométrique, la quantité de travail transmise par l'eau à la roue, on a reconnu que, lorsque la roue a la vitesse la plus convenable, cette quantité de travail ne dépasse pas les 0,25 de celle qui correspond à la quantité d'eau dépensée : le quart seulement de la force de la chute est utilisé par la roue, et les trois autres quarts sont entièrement perdus.

§ 375. **Roue à augets.** — La roue en dessus, ou roue à augets (fig. 443), est disposée de manière que l'eau soit amenée à sa partie

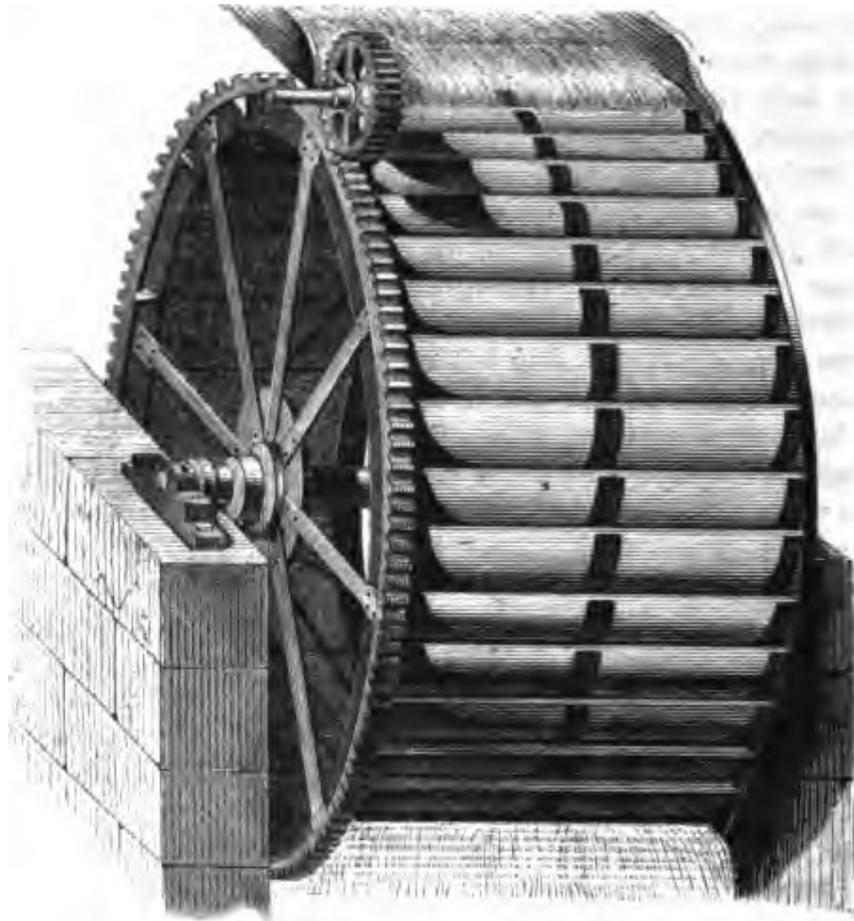


Fig. 443.

supérieure par un canal qui la prend dans le bief d'amont, au niveau de la surface du liquide dans ce bief. L'eau ne prend dans ce canal que la vitesse nécessaire pour qu'elle puisse atteindre la roue; elle tombe de là dans des compartiments ou *augets* dont la roue est munie sur tout son contour, et les remplit successivement, à mesure que, par le mouvement de la roue, ils se présentent à l'extrémité du canal d'aménée. Lorsque les augets arrivent au

bas de la roue, l'eau en sort pour tomber dans le bief d'aval, et ils remontent vides, pour se remplir de nouveau lorsqu'ils seront sur le point de redescendre. On voit, par là, que les augets compris dans la partie descendante de la roue sont constamment pleins d'eau, tandis que ceux qui se trouvent dans la partie ascendante sont vides; c'est le poids de l'eau qui est ainsi contenue dans une moitié de la roue, qui détermine son mouvement et lui fait vaincre des résistances.

Dans la construction d'une roue de ce genre, on doit surtout avoir en vue de disposer les augets de manière qu'ils ne se vident que le plus bas possible; car si l'eau en sort avant qu'ils aient atteint le bas de la roue, il en résulte une perte de travail. Mais il faut, en même temps, que l'ouverture de chaque auget ne soit pas trop étroite, afin que l'eau puisse y entrer et en sortir sans difficulté. Les figures 444, 445 et 446 montrent des dispositions



Fig. 444.



Fig. 445.



Fig. 446.

qui sont fréquemment adoptées. Pour que l'air qui doit sortir de l'auget lorsque l'eau y arrive, ou bien qui doit y entrer lorsque l'auget se vide, ne gêne pas le passage du liquide, ce qui pourrait nuire beaucoup à l'effet produit, on a soin de pratiquer quelques petits trous au fond de l'auget. La présence de ces trous occasionne bien la perte d'une certaine quantité d'eau, qui les traverse et ne reste pas dans l'auget; mais cette perte est de peu d'importance.

Une roue à augets donne des résultats d'autant meilleurs qu'elle tourne plus lentement, et cela pour plusieurs motifs. D'abord le mouvement de rotation de la roue, auquel participe l'eau contenue dans les augets, détermine une force centrifuge qui modifie la forme de la surface libre du liquide dans chaque

auget; cette surface s'abaisse vers l'intérieur de la roue, et se relève vers l'extérieur, de telle sorte que l'eau tend à sortir de l'auget plus tôt qu'elle ne le ferait sans cela. D'un autre côté, l'eau, arrivant avec une faible vitesse par le canal d'aménée, ne produira pas de choc à son entrée dans les augets, si la roue ne marche que lentement; et lorsque les augets se videront, l'eau sera, pour ainsi dire, déposée sans vitesse dans le bief d'aval. Avec cette condition d'une faible vitesse de rotation, on voit que la roue à augets satisfait beaucoup mieux que la roue en dessous aux conditions générales qu'on doit chercher à faire remplir aux moteurs hydrauliques. Aussi les roues à augets bien établies utilisent-elles les 0,75 du travail moteur développé par l'action de l'eau. Ces roues doivent être employées de préférence à toutes les autres, pour les chutes dont la hauteur est comprise entre 3 mètres et 12 mètres.

Le mouvement de rotation d'une roue à augets devant être lent, on la munit ordinairement d'une roue dentée, qui fait corps avec elle, et qui engrène avec une roue beaucoup plus petite. On transmet ainsi à l'arbre de cette seconde roue un mouvement de rotation aussi rapide qu'on veut.

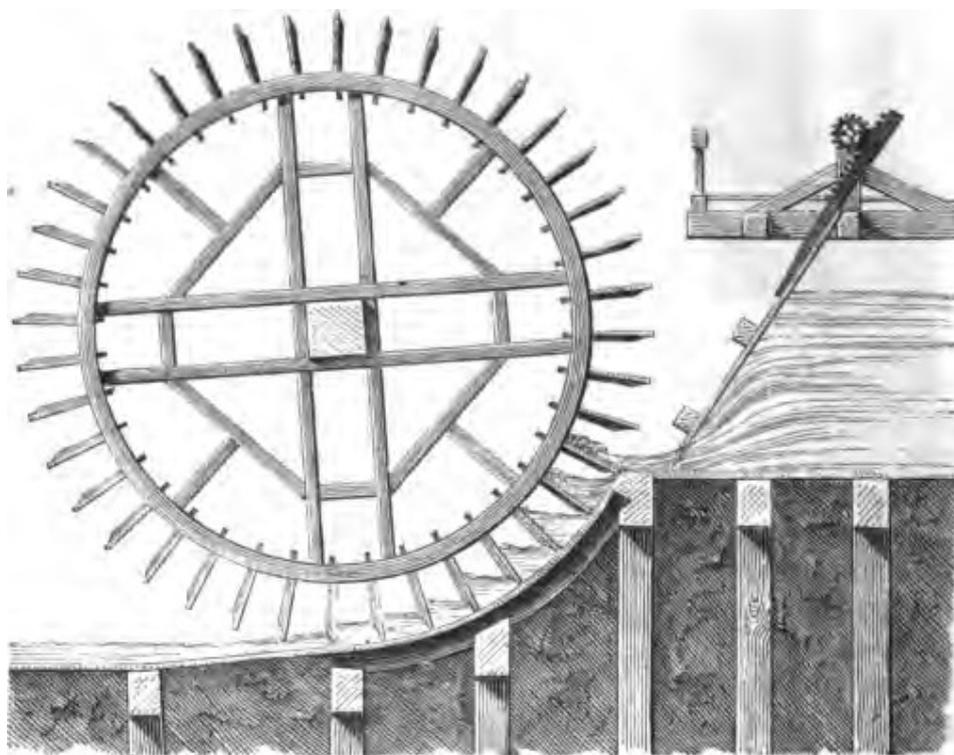


Fig. 447.

§ 376. **Roue de côté.** — La roue de côté (fig. 447) est une roue

à aubes planes, qui est emboîtée dans un coursier circulaire, et qui reçoit l'eau à la partie supérieure de ce coursier. Elle tient à la fois de la roue en dessous et de la roue à augets. L'eau agit d'abord sur les aubes par son choc, au moment où elle entre dans la roue; puis elle est maintenue sur ces aubes par le coursier, qui s'oppose à ce qu'elle s'écoule de part et d'autre, et elle agit ainsi par son poids, jusqu'à ce qu'elle soit arrivée au bas de la roue.

En variant la disposition de la roue, on peut faire prédominer plus ou moins l'un ou l'autre de ces deux modes d'action de l'eau; or, il est clair que, d'après ce que nous avons dit dans les paragraphes précédents, on devra surtout chercher à rapprocher la roue de côté de la roue à augets, qui utilise une bien plus grande portion du travail moteur développé par l'eau que la roue en dessous. Pour cela, au lieu de donner l'eau à la roue par le bas d'une vanne (fig. 447), on la fait arriver sur les aubes par le haut d'une vanne qui s'abaisse (fig. 448), de manière à produire l'é-

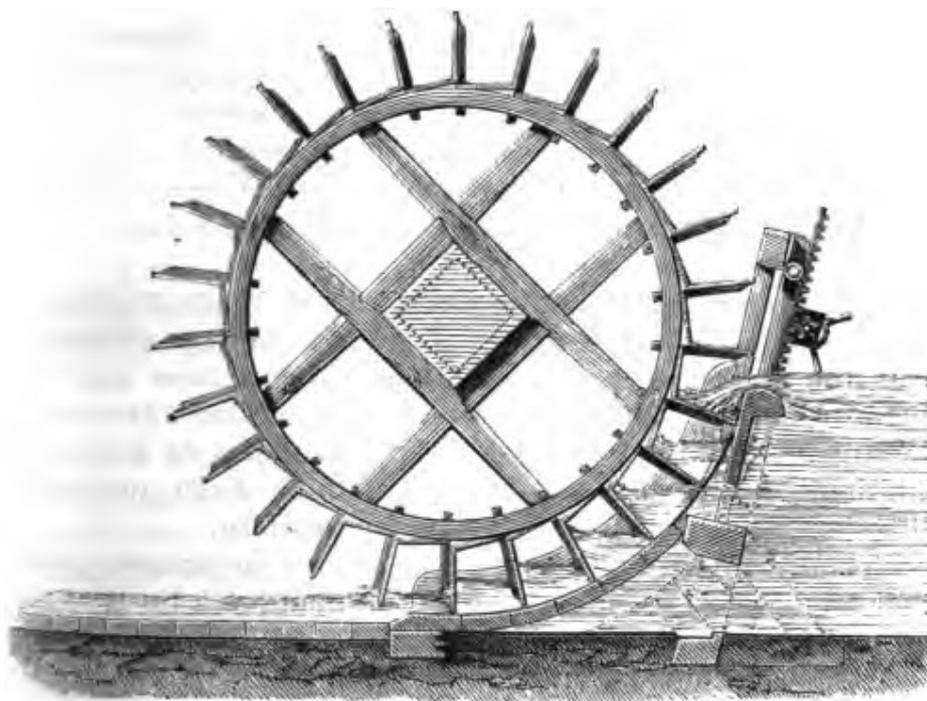


Fig. 448.

coulement comme par un déversoir. L'eau vient ainsi rencontrer les aubes avec une faible vitesse, et agit presque exclusivement par son poids pour faire tourner la roue.

Si l'on compare la roue de côté, disposée comme nous venons de le dire en dernier lieu, avec la roue à augets, on verra qu'elle présente certains avantages relativement à cette dernière roue.

Premièrement, l'eau comprise entre les aubes ne cesse d'agir par son poids que lorsqu'elle est arrivée au bas de la roue; tandis que, dans la roue à augets, l'eau sort toujours des augets avant d'avoir atteint le bas de la roue. Secondement, la roue n'a pas à supporter la totalité du poids de l'eau qui agit sur elle; car la pression exercée sur chaque aube par l'eau qui la surmonte n'est qu'une composante du poids de cette eau, et le coursier supporte l'autre composante de ce poids; il en résulte que la roue, tout en recevant de l'eau la même quantité de travail, se trouve beaucoup moins chargée, et, par suite, les frottements de son arbre sur ses supports sont moins considérables. Mais ces avantages sont contre-balancés par des inconvénients, dus à ce que le jeu qui existe nécessairement entre les bords des aubes et le coursier occasionne une perte d'eau, et aussi à ce que l'eau, en se mouvant le long du coursier, en éprouve une résistance assez considérable. Pour éviter que la perte d'eau entre les aubes et le coursier ne soit trop grande, on est obligé de faire mouvoir la roue plus rapidement qu'une roue à augets, et il en résulte que l'eau quitte la roue avec une vitesse notable qui entraîne une perte de travail. En résumé, la roue de côté, disposée comme l'indique la figure 448, donne de moins bons résultats que la roue à augets; mais elle est de beaucoup préférable à la roue en dessous: elle utilise environ les 0,65 du travail moteur développé par l'eau.

§ 377. **Roue Poncelet.** — Les roues en dessous ont, sur les roues à augets et sur les roues de côté, l'avantage de marcher avec une vitesse assez grande, ce qui fait que, pour une même quantité d'eau à dépenser, la roue n'a pas besoin d'avoir autant de largeur, puisque l'eau reste beaucoup moins de temps à son intérieur, et qu'en conséquence la quantité d'eau que contient la roue à chaque instant est beaucoup moindre.

On conçoit donc qu'il était d'une grande importance de chercher à modifier la roue en dessous, de manière à lui faire utiliser une fraction plus considérable du travail moteur fourni par l'eau, sans lui ôter l'avantage qui vient d'être signalé. C'est ce qu'a fait M. Poncelet. La roue qu'il a imaginée, et qui porte son nom (fig. 449), ne diffère de la roue en dessous, dont nous avons parlé précédemment (§ 374), qu'en ce que les aubes planes sont remplacées par des aubes courbes, qui sont à peu près tangentes à la circonférence extérieure de la roue.

Il est aisé de comprendre comment cette disposition fait que le travail transmis par l'eau à la roue est plus grand que dans le cas où les aubes seraient planes. D'abord l'eau, à son entrée dan

la roue, ne produit pas de choc sur les aubes, parce que ces aubes, en raison de la forme qui leur a été donnée, ne se présentent au liquide que par leur tranche. D'un autre côté, si l'on fait en sorte que la roue prenne une vitesse convenable, l'eau sortira des aubes avec une vitesse très-petite, ainsi qu'il est aisé de le reconnaître en examinant de quelle manière elle se comporte dans la roue, depuis son entrée jusqu'à sa sortie. On voit, en

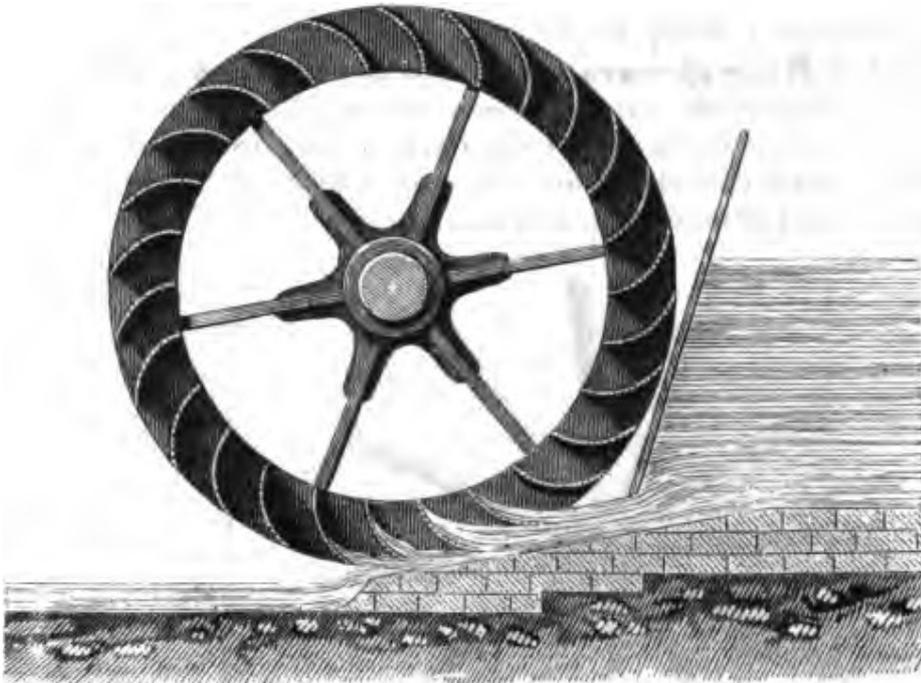


Fig. 449.

effet, que l'eau, entrant sur chaque aube avec une vitesse plus grande que celle de l'aube, doit glisser sur sa surface et s'élever ainsi dans sa concavité, jusqu'à ce que la pesanteur ait détruit son mouvement ascendant; à partir de là elle redescend en glissant sur l'aube en sens contraire, et prenant ainsi une vitesse rétrograde de plus en plus grande par rapport à l'aube. S'il arrive donc que cette vitesse relative de l'eau, au moment où elle quitte l'aube, soit égale à celle que possède la roue à sa circonférence, l'eau se trouvera dans les mêmes conditions que si les dernières portions de l'aube courbe glissaient sous elle sans l'entraîner; et, par suite, son mouvement absolu sera pour ainsi dire nul. Si l'on joint à cela que l'inclinaison donnée à la vanne, inclinaison qui est quelquefois très-grande, fait disparaître à peu près complètement la perte de vitesse occasionnée par le frottement de l'eau contre les parois du coursier, on verra que la roue

Ponce!et satisfait, autant que peut le faire une roue en dessous, aux conditions générales énoncées précédemment (§ 373).

L'expérience a fait voir que, pour que la roue produise le maximum d'effet, il faut que sa vitesse, à la circonférence, soit les 0,55 de celle de l'eau. Dans ce cas, le rapport du travail transmis à la roue, au travail que présente la quantité d'eau dépensée, s'élève à 0,56, ou même à 0,60; tandis que, comme nous l'avons dit, ce rapport est seulement de 0,25, lorsqu'il s'agit d'une roue en dessous, à aubes planes.

§ 378. **Roue plongeant dans un courant indéfini.** — Pour faire connaître les diverses roues hydrauliques à axe horizontal nous devons encore parler des roues à palettes planes, que l'on place dans le courant d'une rivière, de manière à les faire plonger dans l'eau par leur partie inférieure. Ces roues (fig. 450), que l'on



Fig. 450.

installe ordinairement sur les flancs de bateaux solidement arrimés, sont mises en mouvement par la pression que l'eau exerce sur celles de ces palettes qui sont immergées. On a pas ici à craindre de miner si, et en prenant telle ou telle forme à la roue, on utilise son emploi avec une fraction plus ou moins grande du travail moteur dont on dispose. Ce travail moteur, développé par la totalité de l'eau qui coule dans la rivière, est surabondant, on n'a besoin d'en utiliser qu'une faible portion, et l'usage est généralement pas limité dans la largeur qu'on peut donner à la roue. Aussi préfère-t-on employer une roue d'une construction très-simple, quoique peu avantageuse, sauf à obtenir par le cisaillement des aubes ce qu'une meilleure disposition aurait donné avec de moins grandes dimensions.

Une roue de ce genre ne produit pas toujours la même quantité de travail, suivant qu'elle marche plus ou moins vite.

un même courant. L'expérience a fait reconnaître que la vitesse des palettes, prise au milieu de leur hauteur, devait être les 0,40 de celle de l'eau, pour que le travail transmis par l'eau à la roue fût le plus grand possible.

§ 379. **Roue à cuillers.** — Les roues à axe vertical sont depuis longtemps employées, surtout dans le midi de la France, pour faire mouvoir des moulins. Elles se prêtent mieux que les autres à ce genre de travail, en raison de la simplicité de la transmission du mouvement de la roue motrice à la meule courante (§ 150); le même arbre vertical porte la roue à sa partie inférieure, et la meule courante à sa partie supérieure. Ces roues sont de deux espèces : les roues à cuillers, et les roues à cuve.

Une roue à cuillers (fig. 451) est formée d'une sorte de moyeu

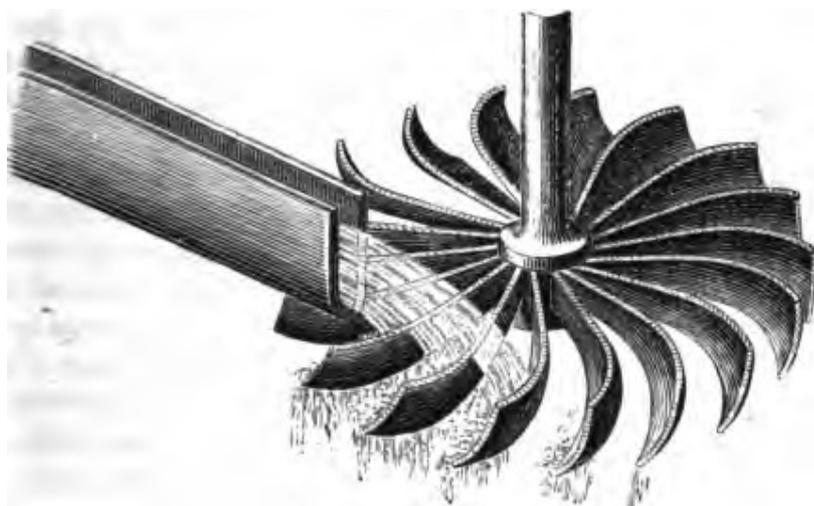


Fig. 451.

dans lequel sont implantées des pièces de bois taillées de manière à présenter à l'eau une surface concave et oblique; ces diverses pièces sont désignées sous le nom de *cuillers*. L'eau est amenée sur la roue par un petit canal de bois, ou par une buse adaptée à la partie inférieure d'un réservoir. Chaque cuiller, en tournant, vient recevoir l'action de l'eau; et les chocs successifs que reçoit ainsi la roue entretiennent son mouvement.

On a trouvé que ces roues pouvaient utiliser environ le tiers du travail moteur développé par la chute d'eau; et que, pour cela, la vitesse des points de la roue qui sont directement choqués par l'eau devait être environ les 0,70 de celle du liquide. Ces roues conviennent bien, en raison de leur grande simplicité, pour des chutes un peu grandes qui ne fournissent pas beaucoup d'eau.

§ 380. **Roue à cuve.** — Les roues à cuve ont une forme ana-

logue à celle des roues à cuillers ; mais, au lieu d'être isolées et de recevoir le choc d'une veine liquide qui vient tomber en un point de leur contour, elles sont installées dans une cuve cylindrique de maçonnerie qui est ouverte par le bas. L'eau motrice est amenée dans cette cuve, tangentielle-ment à sa circonférence,



Fig. 452.

par un canal A (fig. 452), qui aboutit au-dessus de la face supérieure de la roue ; elle tourbillonne dans la cuve en vertu de la vitesse qu'elle possède, et, en descendant ainsi dans la roue, elle l'entraîne dans son mouvement giratoire. Après avoir passé entre les surfaces courbes qui forment comme les palettes de la roue, elle tombe au-dessous, dans le bief d'aval.

Le mouvement de l'eau dans la cuve détermine des frottements qui diminuent beaucoup sa vitesse ; d'un autre côté, une portion de l'eau s'écoule, sans produire d'effet, par l'inter-

valle qui existe entre le contour de la roue et les parois de la cuve. Aussi une roue à cuve n'utilise-t-elle guère que les 0,16 du travail que représente la quantité d'eau employée ; et, en la construisant avec tout le soin possible, on ne pourrait pas élever au delà de 0,25 ce rapport entre le travail transmis à la roue et le travail dépensé. Les roues à cuve sont employées principalement lorsqu'on a à sa disposition une grande quantité d'eau tombant d'une faible hauteur.

§ 384. **Roues à réaction.** — Imaginons qu'un vase contenant de l'eau soit disposé de manière à pouvoir tourner très-facilement autour d'une verticale (fig. 453), et qu'il soit muni inférieurement de deux tubes horizontaux par lesquels l'eau puisse s'écouler ; supposons de plus que les tubes soient recourbés à leurs extrémités, en sens contraire l'un de l'autre. Aussitôt que l'écoulement se produira, on verra le vase prendre un mouvement de rotation dans le sens opposé à celui dans lequel l'eau sort de chaque tube. Pour se rendre compte de la manière dont ce mouvement se produit, il faut observer que les molécules liquides, animées d'une certaine vitesse à l'intérieur de chacun

des deux tubes horizontaux, sont obligées de changer de direction lorsqu'elles arrivent aux extrémités de ces tubes, en raison de la forme qu'on leur a donnée; ce changement dans la direction de la vitesse de chaque molécule ne peut pas s'effectuer sans qu'elle réagisse sur le tube, en produisant une pression en sens contraire, et c'est l'ensemble des pressions ainsi déterminées qui fait tourner l'appareil, et qui pourrait même lui faire produire une certaine quantité de travail. Le nombre des tubes horizontaux d'écoulement pourrait être de 3, 4, 5, etc.; le mouvement de rotation se produirait toujours de la même manière, pourvu que ces tubes fussent tous recourbés dans un sens convenable à leurs extrémités.

Cet appareil est désigné sous le nom d'*appareil à réaction*. Il a servi de type à plusieurs moteurs hydrauliques, appelés *roues à réaction*, qui sont peu employés, et que nous n'examinerons pas en détail.



Fig. 453.

§ 382. **Turbine Fourneyron.** — Les roues à axe vertical ont reçu, depuis environ trente-cinq ans, de grands perfectionnements qui les ont mises au rang des meilleurs moteurs hydrauliques qu'on puisse employer. Ces roues perfectionnées ont reçu le nom de *turbines*. Nous allons en faire connaître la disposition.

La première turbine qui ait attiré l'attention générale, par les avantages qu'elle présente, et par les bons résultats qu'elle fournit sous le rapport de la quantité de travail effectué, est celle de M. Fourneyron. Voici en quoi elle consiste. L'eau du bief d'amont A (fig. 454) pénètre librement dans un cylindre B qui descend jusqu'au-dessous du niveau du bief d'aval. Ce réservoir cylindrique est fermé à sa base; mais il est ouvert latérale-

ment, en C, sur tout son contour : en sorte que, si rien ne s'y opposait, l'eau qui arrive dans le cylindre B s'écoulerait par cette ouverture, en formant une nappe continue qui s'étalerait

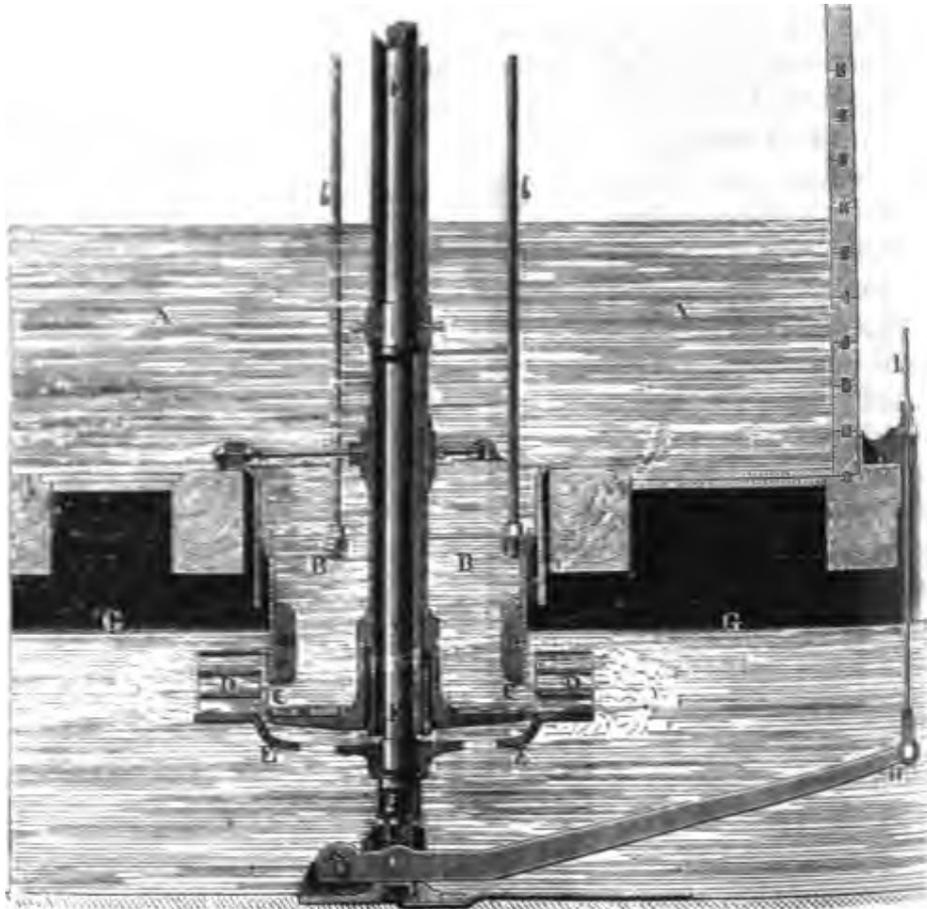


Fig. 454.

dans tous les sens. Une roue annulaire D est disposée horizontalement, tout autour de l'ouverture dont on vient de parler, de manière à se présenter partout sur le passage de la nappe d'eau qui s'en échappe. On se fera une idée nette de cette roue, en imaginant que ce soit la roue à aubes courbes de la figure 449 (page 554) qu'on a placée horizontalement, après avoir enlevé les bras qui reliait la couronne à l'arbre, afin que le bas du réservoir B puisse pénétrer à son intérieur. Une sorte de calotte de fonte E relie la roue à un arbre central F, qui s'élève verticalement, en passant à l'intérieur d'un tuyau disposé au milieu du réservoir B. La roue est tout entière plongée dans l'eau du bief d'aval, dont le niveau est en G. L'arbre F se termine inférieurement par un pivot, qui s'appuie sur un levier HK, mobile autour

du point K. Une tige L, articulée à l'extrémité H du levier, se termine à sa partie supérieure par une vis dans laquelle s'engage un écrou; c'est en faisant tourner cet écrou, qui est d'ailleurs fortement soutenu par des pièces fixes, qu'on peut élever ou abaisser à volonté l'arbre F, avec la roue qu'il porte, de manière à amener la roue à être exactement en regard de l'ouverture C par laquelle l'eau sort du réservoir B.

L'immersion de la roue dans l'eau du bief inférieur n'empêche pas l'eau du réservoir B de sortir par l'ouverture C, pour venir agir sur les aubes dont cette roue est munie sur tout son contour. L'écoulement se produit en vertu de la différence de niveau dans les deux biefs. Si l'eau n'était pas dirigée dans son mouvement à l'intérieur du réservoir B, les molécules liquides sortiraient par les différents points de l'ouverture C, en se mouvant perpendiculairement à la surface latérale de ce réservoir. En pénétrant de cette manière à l'intérieur de la roue, elles agiraient bien sur les aubes courbes, et leur communiqueraient un mouvement de rotation; mais il serait difficile de disposer ces aubes de manière à satisfaire aux conditions générales que doit remplir un bon moteur hydraulique (§ 373). C'est pour cela que M. Fourneyron a disposé à l'intérieur du réservoir B des cloisons courbes, dont on voit la forme sur la figure 455, qui est une coupe horizontale faite dans la machine à la hauteur de la roue. La courbure de ces cloisons est dirigée en sens contraire de celle des aubes de la roue D. Il en résulte que l'eau sort du réservoir B en se mouvant partout obliquement à sa surface; elle vient ainsi rencontrer les aubes, qui s'opposent à la continuation de son mouvement, et exerce sur elle, de tous côtés, des pressions qui font tourner la roue dans le sens indiqué par la flèche.

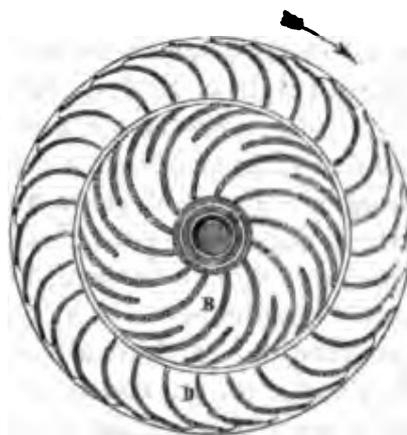


Fig. 455.

Une vanne cylindrique *aa* (fig. 454) existe à l'intérieur du réservoir A, sur tout son contour; cette vanne est destinée à rétrécir plus ou moins l'ouverture C par laquelle l'eau sort de ce réservoir, pour se rendre dans la roue. A cet effet, elle peut être abaissée ou élevée à volonté au moyen de trois tringles verticales *b, b*, munies à leur partie supérieure de filets de vis, dans lesquels s'engagent des écrous qu'il suffit de faire tourner ensemble dans

le sens convenable. Les bords inférieurs de cette vanne *aa* présentent une certaine épaisseur, et sont arrondis, afin d'évaser l'orifice de sortie du liquide (§ 289).

Il semble que les aubes courbes de la turbine, qui se présentent à peu près perpendiculairement à la direction du mouvement de l'eau, doivent éprouver un choc de la part du liquide ; et cependant il n'en est rien, lorsque la turbine marche convenablement. Pour s'en rendre compte, il faut observer que les choses ne se passent pas de la même manière que si les aubes étaient immobiles. Par suite du mouvement de la roue, les aubes fuient devant les filets liquides ; elles ne peuvent recevoir d'action de leur part qu'en vertu de la vitesse relative que ces filets liquides possèdent par rapport à elles (§ 324). Or, les aubes sont disposées de manière que, lorsque la turbine aura la vitesse qu'elle doit prendre habituellement, la vitesse relative de l'eau par rapport à la roue soit dirigée suivant la tangente à chaque aube menée par son extrémité intérieure. Il résulte de là que l'eau entre dans la roue sans produire de choc. En se mouvant le long des aubes courbes, de l'intérieur à l'extérieur, elle exerce une pression en chaque point, en raison de ce que sa vitesse change constamment de direction. Enfin elle sort de la roue avec une vitesse relative dirigée en sens contraire du mouvement des aubes ; et l'on conçoit que l'on puisse faire prendre à la turbine un mouvement tel que la vitesse de sa circonférence extérieure soit précisément égale à cette vitesse relative. Si cette condition est remplie, l'eau, à sa sortie de la roue, ne sera animée que d'un mouvement insensible, et viendra ainsi se mêler à celle au milieu de laquelle la roue est plongée ; elle sera, pour ainsi dire, déposée sans vitesse par les aubes, qui fuient sans l'entraîner.

On voit que la turbine Fourneyron satisfait aussi bien que la roue Poncelet (§ 377) aux conditions générales indiquées dans le paragraphe 373. Mais elle a sur cette dernière roue un avantage bien marqué, qui consiste en ce que l'eau marche sur les aubes, toujours dans le même sens, de l'intérieur à l'extérieur. Dans la roue en dessous à aubes courbes, l'eau entre dans chaque aube, monte le long de sa concavité, puis redescend pour sortir par où elle était entrée ; il en résulte que les diverses portions de la masse d'eau que contient chacune des aubes, n'entrant pas dans la roue exactement à un même instant, se gênent mutuellement dans leur mouvement, tant ascendant que descendant. Dans la turbine Fourneyron, au contraire, les quantités d'eau qui agissent successivement sur une même aube se suivent sans se gêner, en raison de ce qu'elles marchent toujours dans le même sens.

Ajoutons à cela que, l'eau agissant en même temps sur toutes les aubes de la turbine, les pressions horizontales qu'elle exerce sur ces aubes ne tendent à entraîner l'axe de la roue ni d'un côté ni de l'autre; et en conséquence ces pressions ne déterminent aucun frottement de l'arbre sur son pivot, ni sur les corps qu'il touche en divers points de sa hauteur, et qui sont destinés à le maintenir dans une position exactement verticale. Ces circonstances, qui n'auraient pas pu être réalisées dans une roue à axe horizontal, font que la turbine dont il s'agit donne de meilleurs résultats que la roue Poncelet. L'expérience a fait voir que cette turbine utilise les 0,75 du travail moteur que représente la quantité d'eau dépensée, et que même, dans certains cas, elle en utilise les 0,80.

La turbine Fourneyron présente encore d'autres avantages d'une grande importance, que nous allons indiquer. D'abord elle peut fonctionner au milieu de l'eau du bief d'aval, comme le montre la figure 454. Il résulte de cette disposition, qui est généralement adoptée par M. Fourneyron, mais qui n'est pas indispensable : 1° que la machine fonctionne toujours, à l'époque des crues, comme au moment des basses eaux, sans qu'on ait à s'inquiéter de la hauteur plus ou moins grande du niveau de l'eau dans le bief d'aval; 2° que la totalité de la hauteur de chute est utilisée, ce qui n'aurait pas lieu si la roue devait être placée au-dessus du niveau de l'eau dans le bief d'aval; 3° enfin que la machine marche même au moment des fortes gelées, puisque l'eau ne passe à l'état de glace qu'à la surface des cours d'eau.

Un autre avantage de la turbine dont nous nous occupons, avantage qui a été constaté par des expériences nombreuses, consiste en ce qu'on peut faire varier sa vitesse dans des limites assez étendues de part et d'autre de la vitesse qui correspond au maximum d'effet, sans que le rapport du travail utilisé au travail moteur que représente la quantité d'eau employée diminue beaucoup. Ce résultat a une très-grande importance, pour les cas où une turbine doit marcher toujours avec la même vitesse, et où la hauteur de la chute d'eau motrice varie. En effet, la vitesse d'une turbine qui correspond au maximum d'effet dépend de la hauteur de la chute; elle augmente ou diminue en même temps que cette hauteur. Si la turbine marche toujours avec la même vitesse, sous des hauteurs différentes, elle n'a pas constamment la vitesse capable de produire le maximum d'effet: il est donc très-important que la machine, fonctionnant avec une vitesse différente de cette vitesse particulière, fournisse des résultats qui approchent beaucoup du maximum d'effet qu'on pourrait en obtenir.

Enfin la turbine Fourneyron peut être adaptée à toute espèce de chute, pourvu qu'on la dispose en conséquence, suivant la quantité d'eau plus ou moins grande qui doit agir sur elle, et la rapidité du mouvement qu'elle doit prendre. Pour qu'il ne reste pas de doute à ce sujet, il suffit de citer deux exemples. M. Fourneyron a établi à Saint-Blaise, dans la forêt Noire, une turbine qui est mise en mouvement par une chute de 108 mètres de hauteur ; cette turbine, dont le diamètre n'est que de 0^m,55 fait 2 300 tours par minute, et a une force de 40 chevaux-vapeur : elle utilise les 0,75 de la force de la chute. D'un autre côté, dans des expériences faites sur une turbine établie à Gisors, on a trouvé que, sous une chute de 1^m,15, la machine utilisait les 0,75 du travail développé par la chute ; que sous une chute de 0^m,62, elle en utilisait les 0,66 ; et enfin que sous une chute de 0^m,31, elle en utilisait encore les 0,60. Aucune des roues hydrauliques connues n'aurait pu produire d'aussi bons résultats, dans ces circonstances exceptionnelles.

§ 383. **Turbine Callon.** — Au milieu de tous les avantages que nous venons de signaler dans la turbine Fourneyron, il existe un inconvénient qui fait qu'elle n'utilise pas toujours une aussi grande portion du travail développé par la chute. Nous avons dit que l'ouverture par laquelle l'eau sort du réservoir, pour se rendre dans la roue, peut être rétrécie plus ou moins, dans le sens de la hauteur, au moyen d'une vanne cylindrique, qui règne tout autour du réservoir, et que l'on peut élever ou abaisser à volonté. On donne à cette vanne une position ou une autre, suivant qu'on a une quantité d'eau plus ou moins grande à dépenser. La nappe d'eau qui s'échappe du réservoir, sur tout son contour, pour pénétrer dans la roue, a donc une épaisseur plus ou moins grande, suivant les cas ; et, en conséquence, elle ne remplit pas toujours la roue dans toute sa hauteur. La partie supérieure de l'espace compris entre les aubes de la roue ne reste cependant pas vide ; mais l'eau qui s'y trouve ne possède pas la vitesse de celle qui sort du réservoir ; et cela occasionne des remous, accompagnés de pertes de vitesse, qui déterminent une diminution dans l'effet utile. C'est pour cela que M. Fourneyron divise sa roue en plusieurs compartiments dans le sens de sa hauteur, au moyen de cloisons horizontales que l'on voit sur la figure 454. Mais ces cloisons ne font pas disparaître complètement l'inconvénient qui vient d'être signalé.

M. Ch. Callon a imaginé un autre moyen de faire varier la quantité d'eau dépensée par la turbine. Ce moyen consiste à remplacer la vanne unique de M. Fourneyron par un grand nombre de van-

nes partielles, correspondant aux différentes portions de l'ouverture par laquelle l'eau passe du réservoir dans la roue. A l'aide de cette modification, on conçoit que l'on puisse diminuer la quantité d'eau qui sort du réservoir, sans diminuer l'épaisseur de la lame d'eau ; il suffit, en effet, de fermer complètement quelques-unes des vannes partielles, prises régulièrement dans tout le contour du réservoir, et de laisser les autres entièrement ouvertes. L'inconvénient qui se présentait dans la turbine Fourneyron ne se rencontre plus dans celle de M. Callon ; mais il est remplacé par un autre, qui consiste en ce que les diverses portions de la roue passent successivement devant des vannes ouvertes et devant des vannes fermées. Au moment où l'intervalle de deux aubes arrive en regard d'une vanne fermée, l'eau qui y est contenue, et qui est animée d'une vitesse assez grande, ne peut continuer à se mouvoir qu'en produisant un vide derrière elle, ce qui occasionne une diminution brusque dans sa vitesse, et par suite entraîne une perte de travail.

§ 384. **Turbine Fontaine.** — M. Fontaine, de Chartres, a donné à la turbine une disposition différente de celle qu'avait adoptée M. Fourneyron. Au lieu de faire descendre l'eau motrice dans un cylindre qui pénètre jusqu'au milieu de la roue, pour la faire sortir sur tout son contour, et la faire marcher dans la roue de l'intérieur à l'extérieur, il a imaginé de faire sortir l'eau du réservoir A (fig. 456), par une ouverture annulaire BB pratiquée dans son fond, et de la faire agir de haut en bas dans la roue CC, qui se trouve placée au-dessous de cette ouverture annulaire. La roue est reliée, par une sorte de calotte de fonte EE, à un arbre vertical FF auquel elle communique son mouvement de rotation. Cet arbre est creux, et enveloppe un arbre GG qui est solidement appuyé au fond du bief inférieur. Ce dernier arbre ne tourne pas avec la roue ; mais il supporte en *o*, sur sa tête qui forme crapaudine, un pivot fixé à l'arbre FF de la roue. Par cette disposition, la turbine est pour ainsi dire suspendue ; et le pivot se trouvant hors de l'eau, on peut l'entretenir facilement dans un état convenable pour éviter les frottements et l'usure.

L'ouverture BB, par laquelle l'eau sort du réservoir pour entrer dans la roue, est divisée, dans tout son contour, en un grand nombre d'orifices distincts, par des cloisons courbes destinées à diriger l'eau dans son mouvement. Chacun de ces orifices est muni d'une vanne spéciale à l'aide de laquelle on peut le fermer plus ou moins. Une couronne *aa* réunit les extrémités supérieures des tiges *b, b*, de ces diverses vannes ; cette couronne est d'ailleurs soutenue par des triangles *c, c*, à l'aide desquelles on peut la

faire monter ou descendre, ce qui fait varier en même temps la grandeur des ouvertures par lesquelles l'eau peut s'écouler. La figure 457 montre la disposition des vannes *d, d*, qui sont arrondies pour éviter les pertes de vitesse dues aux changements brusques de direction des filets liquides; *e, e*, sont les cloisons courbes qui dirigent l'eau à sa sortie; *f, f*, sont les aubes de la turbine, qui sont également courbes, mais dirigées en sens contraire des courbes directrices *e, e*.

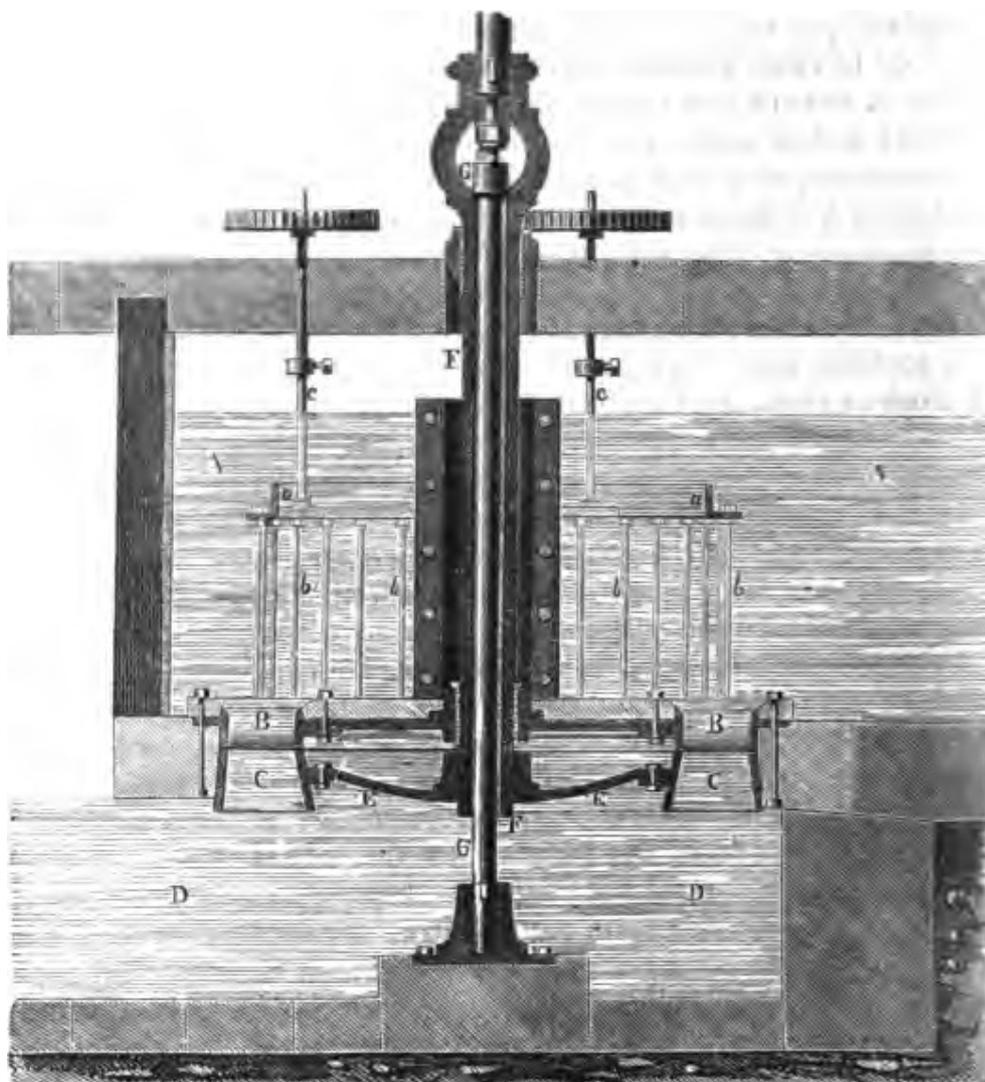


Fig. 456.

La disposition que M. Fontaine a donnée à ses vannes fait disparaître en grande partie l'inconvénient que nous avons signalé dans la turbine Fourneyron, et qui fait que le rendement de la

machine diminue lorsqu'on ne lui fournit pas toute l'eau qu'elle est capable de dépenser. Les deux espèces de turbines donnent d'ailleurs d'aussi bons résultats l'une que l'autre, lorsque les vannes sont suffisamment ouvertes.

§ 385. **Turbine Kœchlin.** — Les turbines dont nous venons de parler sont placées d'une manière incommode pour les réparations qu'on peut avoir à faire. On ne peut atteindre la roue qu'autant que, par un moyen quelconque, on est parvenu à abaisser notablement le niveau de l'eau dans le bief inférieur, soit que la roue soit complètement immergée dans ce bief, soit qu'elle se trouve au-dessus de son niveau, mais à une petite distance. Pour cela on établit ordinairement un barrage momentané, qui isole la portion de ce bief où se trouve la roue de tout le reste du cours d'eau ; puis, en agissant au moyen de pompes, on enlève l'eau qui y est contenue.

La turbine Kœchlin, qui a été imaginée par M. Jonval, et qui a été construite et perfectionnée par MM. A. Kœchlin de Mulhouse, présente une disposition particulière, qui a pour objet de faire disparaître les difficultés de visites et de réparations que nous venons de signaler dans les autres turbines. Voici quel en est le principe. Concevons que l'eau soit amenée du bief d'amont dans le bief d'aval par un cylindre vertical qui débouche dans l'un et dans l'autre de ces deux biefs, on pourra utiliser le travail développé par le passage de l'eau dans ce cylindre, en installant à sa partie inférieure une turbine telle que celles que nous avons décrites. Mais, au lieu de mettre la turbine au bas de cette chute, on peut aussi l'installer en un point quelconque de la hauteur du cylindre, pourvu que l'eau, en quittant la roue, et parcourant ensuite la portion de ce cylindre qui existe entre elle et le bief d'aval, ne soit mise en communication directe avec l'atmosphère qu'après qu'elle est arrivée dans le bief. On voit, en effet, que si l'on perd de la force en plaçant la turbine plus haut, en raison de ce que la hauteur du niveau du bief

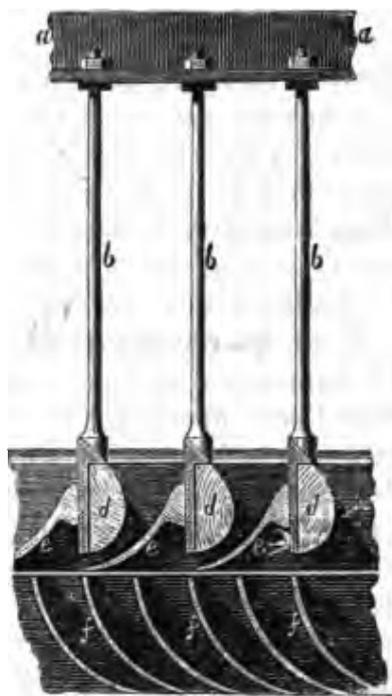


Fig. 457.

d'amont au-dessus de la roue est plus petite, d'un autre côté on en gagne par l'aspiration qui se produit dans la partie du cylindre située au-dessous de la roue, aspiration qui est d'autant plus forte que la roue est à une plus grande distance du niveau de l'eau dans le bief d'aval. On comprend maintenant que la position que l'on donnera ainsi à la machine permettra de la visiter et de la réparer beaucoup plus facilement ; car il suffira de ne plus laisser arriver l'eau motrice dans le cylindre qui contient la turbine, pour que ce cylindre se vide complètement, et que la roue soit ainsi mise à sec.

La turbine Kœchlin, dans laquelle l'eau agit de haut en bas, comme dans la turbine Fontaine, et non horizontalement comme dans les autres machines de ce genre, fournit d'ailleurs de très-bons résultats, lorsqu'elle fonctionne dans les circonstances pour lesquelles elle a été établie.

§ 386. **Turbines hydropneumatiques.** — Nous avons signalé les avantages que présentent les turbines de pouvoir marcher sous l'eau, avantages dont le plus important est d'utiliser la totalité de la hauteur de chute, quels que soient les changements de position du niveau d'aval. Mais nous avons vu qu'il en résulte un inconvénient notable, dans le cas où la turbine ne dépense pas toute l'eau pour laquelle elle a été construite. Si l'eau sort du réservoir à la fois par tous les orifices, que l'on rétrécit plus ou moins, suivant la quantité d'eau à dépenser, comme dans les turbines Fourneyron et Fontaine, elle ne remplit pas tout l'espace compris entre les aubes de la roue, le reste de cet espace est occupé par de l'eau du bief d'aval, qui ne fait que tourner avec la roue, et dont la présence occasionne des remous accompagnés de pertes de travail. Si un certain nombre des orifices de sortie du réservoir ont été fermés, tandis que les autres sont restés entièrement ouverts, comme dans la turbine Callon, l'intervalle des aubes de la roue se remplit bien complètement lorsqu'il passe devant un orifice ouvert ; mais lorsque cet intervalle, en tournant, vient à passer devant un orifice fermé, l'eau y éprouve un ralentissement brusque, par suite du vide que son mouvement tend à produire derrière elle. Ces inconvénients ne se présenteraient pas si la turbine marchait hors de l'eau, et si elle était disposée de manière que l'intervalle de ses aubes ne fût jamais complètement rempli par l'eau qui s'y introduit successivement ; le reste de cet espace serait occupé par de l'air, qui communiquerait librement avec l'air extérieur, et dont la présence ne gênerait en rien la marche de l'eau dans la concavité des aubes courbes.

Pour réunir à la fois les avantages de la marche sous l'eau, et ceux de la marche dans l'air, M. L.-D. Girard a eu l'idée de faire marcher les turbines dans l'air comprimé. Concevons qu'une turbine soit installée au-dessous du niveau d'aval, et qu'elle soit entièrement recouverte d'une espèce de cloche qui plonge dans l'eau, et dont les bords se trouvent un peu plus bas que la partie inférieure de la roue. Si l'on foule de l'air dans cette cloche, le niveau de l'eau s'y abaissera de plus en plus, mais à partir du moment où ce niveau se sera abaissé jusqu'aux bords de la cloche, les nouvelles quantités d'air introduites ne le feront pas baisser davantage; l'air excédant s'échappera par le bas de la cloche, et remontera dans l'atmosphère en traversant l'eau du bief d'aval. A l'aide de cette disposition, la roue ne sera pas noyée; elle se trouvera à une petite distance au-dessus du niveau de l'eau environnante, et elle sera toujours placée de même par rapport à ce niveau, quelle que soit la hauteur de l'eau dans le bief d'aval. Tel est le principe des *turbines hydropneumatiques*.

On se rend facilement compte de la manière dont l'eau agit dans une pareille turbine, en se reportant à ce qui a été dit sur l'écoulement d'un liquide par un orifice, lorsque la pression est plus grande à l'orifice que sur la surface libre du liquide dans le réservoir (§ 286). Si le niveau du bief d'aval est situé à 3 décimètres au-dessus des bords de la cloche qui contient la turbine, l'excès de la pression de l'air renfermé dans cette cloche sur l'air extérieur sera mesuré par une colonne d'eau de 3 décimètres de hauteur. Donc l'écoulement de l'eau du réservoir dans la turbine, et par conséquent dans l'air comprimé de la cloche, s'effectuera de la même manière que si cet air n'était pas comprimé, et que le niveau de l'eau du bief d'amont fût plus bas de 3 décimètres. Ainsi l'écoulement du liquide sera toujours dû à la hauteur de chute, c'est-à-dire à la différence de niveau des biefs d'amont et d'aval. L'emploi de la cloche à air comprimé amène donc le même résultat que si, en laissant la roue où elle est installée, on abaissait à la fois les biefs d'amont et d'aval d'une même quantité, de manière à placer le niveau du dernier immédiatement au-dessous de la roue. On voit par là qu'une turbine hydropneumatique réunit l'avantage de marcher dans l'air à celui d'utiliser autant que possible la totalité de la hauteur de chute.

Dans la construction des turbines hydropneumatiques, on n'a pas besoin d'adopter des dimensions telles que l'intervalle des aubes de la roue soit complètement plein de liquide, lorsque la turbine dépense la plus grande quantité d'eau qu'on puisse lui

donner. Il vaut même mieux qu'une partie de cet intervalle soit toujours occupée par de l'air communiquant librement avec l'air environnant, et que l'eau ne fasse que s'étaler en nappe dans la concavité de chaque aube. C'est ce qui fait que, lorsqu'on n'a qu'une petite quantité d'eau à dépenser, on peut donner à la roue des dimensions plus grandes que celles qu'on lui aurait données sans cela, et que, par conséquent, on peut la faire tourner moins rapidement, ce qui est un avantage réel. L'emploi des vannes partielles de M. Ch. Callon, appliquées soit aux turbines Fourneyron, soit aux turbines Fontaine, est alors préférable à la disposition qui consiste à rétrécir plus ou moins les orifices par lesquels l'eau passe du réservoir dans la roue en n'en fermant aucun complètement. L'expérience a prouvé que les turbines établies de cette manière utilisent sensiblement la même fraction de la force de la chute (0,75), quelle que soit la quantité d'eau dépensée, ce qui est un résultat des plus importants.

Il ne reste plus qu'à indiquer de quelle manière on maintient une atmosphère d'air comprimé dans la cloche qui recouvre la roue. On y parvient au moyen d'une pompe foulante à air, que la turbine elle-même fait mouvoir pendant tout le temps qu'elle marche. Les nouvelles quantités d'air introduites ainsi constamment dans la cloche compensent les pertes qui proviennent, soit des fuites qui peuvent exister, soit de ce que l'eau entraîne de l'air avec elle ; mais la pompe en fournit toujours un excès qui s'échappe en passant sous les bords de la cloche, de sorte qu'on est sûr que le niveau de l'eau près de la turbine correspond toujours à ces bords.

M. Girard a proposé d'appliquer le même système aux roues hydrauliques à axe horizontal, afin de les empêcher d'être noyées au moment des crues.

§ 387. **Considérations générales sur l'établissement d'une roue hydraulique.** — Lorsqu'on veut établir une roue hydraulique, pour utiliser la force d'une chute d'eau, il faut d'abord choisir parmi les diverses espèces de roues, celle qui convient le mieux aux circonstances dans lesquelles on est placé. Des raisons de diverses natures peuvent entrer en considération pour le choix qu'on a à faire. La simplicité plus ou moins grande de la roue et des constructions que nécessitera son établissement ; la facilité des réparations qu'on a besoin de faire de temps en temps à des machines de ce genre ; la nature de la chute, et les variations que sa force éprouve aux diverses époques de l'année ; le besoin plus ou moins grand qu'on a d'utiliser le mieux possible la force de cette chute, sont autant de

motifs qui conduiront à faire adopter tel ou tel système de moteur.

Lorsqu'on aura fait son choix, on saura quelle fraction de la force de la chute sera utilisée par la roue qu'on aura adoptée. Ce sera, par exemple, les 0,75 de cette force, s'il s'agit d'une roue à augets ou d'une turbine; ou les 0,56, si c'est une roue en dessous, à aubes courbes; ou bien encore les 0,25, si c'est une roue en dessous, à aubes planes.

On pourra donc, d'après la connaissance qu'on a de la force de la chute, calculer le nombre de chevaux-vapeur qui représentera la force de la roue, et régler d'après cela le nombre et les dimensions des machines spéciales destinées à la production du travail utile, machines qui seront, ou des pompes destinées à élever de l'eau à une certaine hauteur, ou des moulins à farine, ou des métiers à filer, etc. Pour cela on aura besoin d'emprunter à l'expérience la connaissance de la quantité de chacun de ces travaux qui peut être effectué par la force d'un cheval-vapeur.

La hauteur de la chute, et la nature de la roue qu'on adopte; déterminent le nombre de tours que cette roue doit faire dans un temps donné pour produire le maximum d'effet. On devra, en conséquence, établir entre l'arbre de la roue et les mécanismes qu'elle doit faire mouvoir une liaison telle, que ces mécanismes marchent avec la vitesse la plus convenable au travail qu'ils effectuent, lorsque la roue prendra ce mouvement particulier qui lui permet d'utiliser la plus grande fraction possible du travail développé par la chute. On se servira, pour cela, soit d'engrenages (§ 58), soit de courroies sans fin (§ 57).

Enfin, d'après la connaissance de la vitesse que doit prendre la roue, et de la quantité d'eau que lui fournira la chute dans un temps donné, on déterminera les dimensions des aubes ou augets sur lesquels le liquide doit agir.

Lorsque la roue sera construite et installée, et qu'elle aura été mise en communication avec les machines spéciales qu'elle doit faire mouvoir, il ne s'agira plus que d'ouvrir les vannes qui permettent à l'eau motrice de sortir du bief supérieur, pour qu'elle vienne exercer son action sur la roue et la mettre en mouvement. Si l'on donne à la roue une quantité d'eau de plus en plus grande, il est clair qu'elle prendra un mouvement de plus en plus rapide. On conçoit donc que l'on puisse de cette manière lui donner la vitesse qui convient à son maximum d'effet; et si les données d'expérience sur lesquelles on s'est fondé pour son établissement sont bien exactes, on devra dépenser ainsi précisément la quantité d'eau que la chute est capable de fournir sans interruption.

§ 388. **Machine à colonne d'eau à simple effet.** — Les roues hydrauliques sont les machines dont on se sert dans la plupart des cas pour utiliser la force d'une chute d'eau ; cependant il y a des circonstances exceptionnelles dans lesquelles on a recours à d'autres moyens. Lorsqu'on a à sa disposition une chute d'une grande hauteur, qui ne fournit qu'une petite quantité d'eau, on peut profiter de cette chute pour donner un mouvement de va-et-vient à un piston qui se meut dans un corps de pompe : ce mouvement de va-et-vient, en se transmettant ensuite à divers mécanismes, déterminera la production d'une certaine quantité de travail utile.

Les machines motrices, dans lesquelles la force de l'eau est ainsi appliquée à un piston, qui, en raison de cette action, se meut tantôt dans un sens, tantôt dans l'autre, sont désignées sous le nom de *machines à colonne d'eau*. La machine est à *simple effet*, lorsque l'eau ne fait mouvoir le piston que dans un sens, et que son mouvement en sens contraire est déterminé par son propre poids, ou par le poids des diverses pièces qui lui sont fixées ; elle est à *double effet*, lorsque l'eau agit constamment sur le piston, soit pour le pousser dans un sens, soit pour le faire mouvoir en sens contraire.

Nous prendrons, comme exemple de machine à colonne d'eau à simple effet, les belles machines que M. Juncker a établies dans la mine de Huelgoat, en Bretagne. La figure 458 en est une coupe qui montre tous les détails de leur disposition. Un piston A est installé dans un cylindre BB qu'il peut parcourir dans toute sa longueur. Ce cylindre est ouvert par le haut et fermé par le bas ; son fond est traversé par la tige du piston A. L'eau qui doit faire mouvoir la machine, et qui doit agir sur le piston A par la pression due à la hauteur de la chute, est amenée par un tuyau C, qui part du réservoir supérieur et vient aboutir à la machine même. Une ouverture D, pratiquée au bas du cylindre BB, permet à l'eau motrice de pénétrer dans ce cylindre, de presser le piston A de bas en haut, et de le faire monter à l'intérieur du cylindre ; cette même ouverture laisse écouler l'eau contenue dans le cylindre BB, et par suite permet au piston A de descendre, lorsqu'on supprime sa communication avec le tuyau C, et qu'on la fait communiquer librement avec l'atmosphère.

Pour que le piston A puisse prendre un mouvement de va-et-vient dans le cylindre BB, il faut donc que l'ouverture D soit alternativement mise en communication avec le tuyau des eaux motrices C et avec l'atmosphère ; c'est à cela qu'est destiné l'appareil régulateur que l'on voit à gauche du cylindre BB. Cet appa-

reil se compose essentiellement de deux pistons E, F, montés sur une même tige, et pouvant se mouvoir ensemble dans le cylindre qui les contient. Ces deux pistons occupent, sur la figure 458, la position la plus basse qu'ils puissent prendre ; la figure 459, qui reproduit l'appareil régulateur seul, les montre au contraire dans leur position la plus élevée. Dans l'une ou dans l'autre de ces deux positions, l'eau motrice, qui vient par le tuyau C, communique toujours avec l'espace compris entre les deux pistons E, F. Mais dans la première (fig. 458), le piston E est au-dessous de l'ouverture D, et par conséquent l'eau motrice peut venir presser le piston A et le faire monter ; tandis que dans la seconde (fig. 459), le piston E intercepte le passage de l'eau motrice, et permet, au contraire, à l'eau qui s'est introduite sous le piston A, en le soulevant, de s'écouler par un tuyau de décharge G, et de laisser redescendre le piston. Reste donc à faire voir comment les deux pistons E, F, reçoivent un mouvement de va-et-vient, en vertu duquel l'ouverture D est alternativement en communication avec le tuyau C et avec le tuyau G.

Le piston F est un peu plus large que le piston E. L'eau motrice, qui arrive toujours librement entre eux, exerce donc une plus grande pression sur la face inférieure du premier que sur la face supérieure du second ; et, en conséquence, les deux pistons tendent constamment à monter, en vertu de la différence de ces deux pressions. C'est ce qui arrive en effet, tant qu'une autre action ne vient pas se combiner avec celles que nous venons de signaler, et c'est ainsi que les pistons E, F, passent de la position indiquée par la figure 458 à celle de la figure 459. Pour produire le mouvement contraire, on a adapté au cylindre dans lequel se meuvent les pistons E, F, un petit tuyau H, qui se relève et communique avec le dessus du piston F, par la petite ouverture I. L'eau motrice, en passant par ces conduits, vient exercer sa pression sur la tête du piston F : et, pour que la pression ainsi produite ne soit pas trop grande, on a surmonté le piston F d'un manchon cylindrique qui traverse le fond supérieur du cylindre ; en sorte que l'eau amenée par l'ouverture I ne presse ce piston que sur la surface annulaire qui entoure ce manchon. Un mécanisme particulier, dont nous allons parler, met l'ouverture I alternativement en communication avec le tuyau H, qui amène l'eau motrice, et avec le tuyau MM qui aboutit au tuyau de décharge G. Dans le premier cas, la pression que l'eau motrice exerce sur la face supérieure du piston F, tout autour du manchon qui le surmonte, l'emporte sur la résultante des pressions que cette même eau exerce sur la face inférieure du piston F et sur la face supérieure du piston E ; et

ces deux pistons descendent. Dans le second cas, l'eau qui se trouve au-dessus du piston F communiquant avec le tuyau de décharge G, la différence des pressions de l'eau motrice sur la

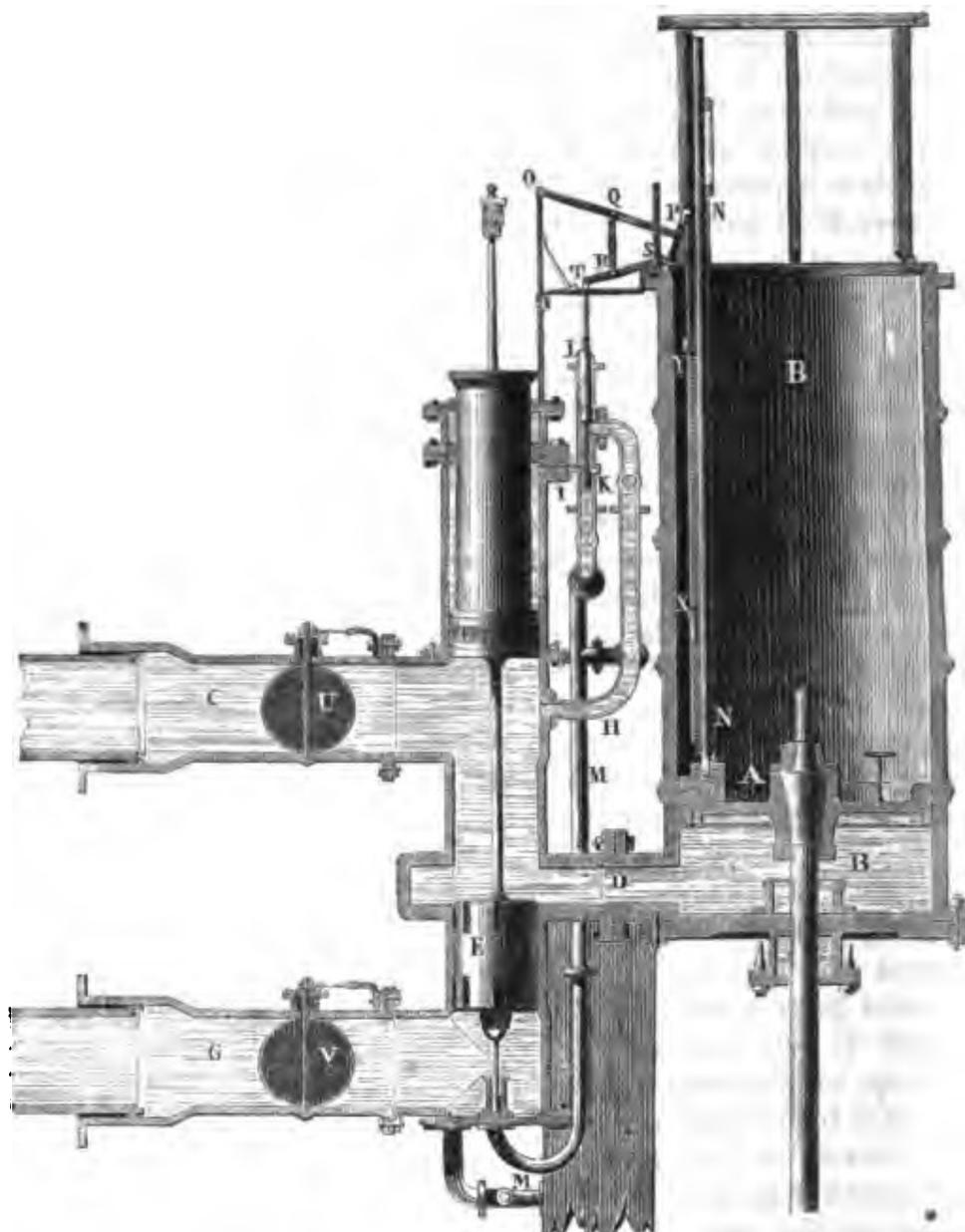


Fig. 458.

face inférieure du piston F et sur la face supérieure du piston E fait remonter ces deux pistons.

Deux petits pistons K, L, se trouvent dans un petit cylindre situé entre le tuyau H et l'ouverture I. Un mouvement de va-et-vient de deux pistons amène le piston K, tantôt au-dessous de l'ouver-

ture I (fig. 458), tantôt au-dessus de cette ouverture (fig. 459); et c'est ce qui fait communiquer le dessus du piston F, soit avec l'eau motrice, par le tuyau H, soit avec le tuyau de décharge, par le conduit MM. Ce mouvement de va-et-vient des petits pistons K, L, est produit par le piston A lui-même. A cet effet il est surmonté d'une tige NN, qui agit, à la fin de chaque course ascendante ou descendante, sur un levier OP, mobile autour du point O. Une tringle QR, articulée en Q à ce levier, transmet son mouvement à un second levier ST, mobile autour du point S, auquel elle est articulée en R. La tige des deux pistons K, L, est articulée en T, à l'extrémité de ce levier ST. Le levier OP se termine par un arc P, qui porte deux petites cames à ses extrémités. La tige NN, qui monte et descend avec le piston A, est d'ailleurs munie de deux petits taquets X, Y, fixés, l'un sur sa face antérieure, l'autre sur sa face postérieure; ces taquets viennent, chacun à son tour, rencontrer une des cames de l'arc P, et mettre ainsi en mouvement les deux leviers OP, ST, et les pistons K, L.

La figure 458 montre la machine dans la position qu'occupent les diverses pièces, pendant que le piston A monte sous l'action de l'eau motrice; les pistons K, L, sont au bas de leur course; l'eau motrice, en arrivant par le tuyau H et par l'ouverture I, presse sur la face supérieure du piston F, et maintient ainsi les deux pistons E, F, également au bas de leur course; le piston A est donc soumis à l'action de la colonne d'eau qui arrive librement de C en D, et il s'élève tant que les pistons E, F, ne changent pas de place. Lorsque le piston A arrive vers le haut de sa course, le taquet X saisit la came que porte l'extrémité supérieure de l'arc P, et soulève cet arc, en faisant tourner le levier OP autour du point O : le levier ST tourne en même temps autour du point S, et les deux pistons K, L, sont amenés à la partie supérieure de leur course (fig. 459). Dès lors l'eau qui surmonte le piston F



Fig. 459.

n'éprouve plus la pression de l'eau motrice, puisqu'elle communique avec le tuyau MM ; les pistons E, F, remontent ; l'eau qui se trouve sous le piston A est mise en communication avec le tuyau de décharge G ; et ce piston redescend en vertu de son poids et du poids des pièces qui font corps avec lui. Lorsque le piston A arrive vers le bas du cylindre BB, le taquet Y saisit la came inférieure de l'arc P, et, en l'abaissant, elle ramène le levier OP dans la position qu'il occupait d'abord (fig. 458) ; les pistons K, L, sont ainsi ramenés en même temps au bas de leur course. L'eau motrice, pouvant passer de H en I, vient agir sur la tête du piston F, et détermine l'abaissement des deux pistons E, F ; le tuyau C est donc de nouveau mis en communication avec le bas du cylindre BB, le piston A remonte, et ainsi de suite. On voit donc que, dès le moment que la machine a commencé à se mouvoir, elle se suffit à elle-même, et continue indéfiniment à marcher, sans qu'on ait besoin de s'en occuper.

Pour modérer la marche de la machine, on a placé deux soupapes à gorge U, V, dans les tuyaux C, G. En tournant ces soupapes d'une quantité plus ou moins grande, on produit des étranglements qui ralentissent la marche du piston A (§ 301) soit lorsqu'il monte, soit lorsqu'il descend, et l'on peut ainsi faire en sorte qu'il prenne telle vitesse que l'on veut. Les positions que l'on donne aux taquets X, Y, sur la tige NN, règlent d'ailleurs l'étendue de la course du piston. Pour arrêter la machine, il suffit de fermer deux robinets qui sont installés, l'un sur le tuyau H, l'autre sur le tuyau M ; cette simple opération fait que les pistons E, F, ne peuvent plus ni monter ni descendre : ils s'arrêtent à l'endroit où ils se trouvent au moment où l'on ferme ces deux robinets. On peut même reconnaître sans peine que la fermeture d'un seul de ces robinets suffit. Si, après avoir arrêté la machine pendant un temps plus ou moins long, on vient à ouvrir les robinets qu'on avait fermés, la machine se remet en marche d'elle-même, et reprend son mouvement au point où on l'avait suspendu.

Les cannelures que l'on voit vers le haut et vers le bas du piston E sont destinées à empêcher que la communication de l'ouverture D avec le tuyau de l'eau motrice C, et avec le tuyau de décharge G, ne soit établie et interrompue trop brusquement, ce qui occasionnerait des chocs et pourrait détériorer promptement la machine. Lorsque le piston E passe devant l'ouverture D, en s'abaissant, l'eau motrice commence par communiquer avec cette ouverture par les cannelures supérieures : le passage qui est ainsi offert à cette eau s'agrandit de plus en plus, en raison de ce que la

profondeur des cannelures va en augmentant depuis leur origine jusqu'à la base du piston : en sorte que la communication de l'eau motrice avec l'ouverture D s'établit ainsi progressivement jusqu'à ce que cette ouverture soit complètement démasquée. Il en est de même pour la communication de l'ouverture D avec le tuyau de décharge, lorsque le piston E remonte.

Lorsque le piston E passe devant l'ouverture D, il éprouve une forte pression latérale de la part de l'eau qui y est contenue. Pour que cette pression ne l'applique pas fortement contre la paroi du cylindre dans lequel il se meut, ce qui donnerait lieu à un frottement considérable, on a évidé ce cylindre, dans tout son contour, en regard de l'ouverture D. De cette manière, l'eau contenue en D se répand librement tout autour du piston E; elle exerce également sa pression sur tout son contour, et il en résulte qu'il n'est appuyé ni d'un côté ni de l'autre sur la paroi du cylindre dans lequel il est engagé : il se meut sans éprouver plus de frottement sur cette paroi que s'il n'était pas soumis à la pression dont nous parlons.

Deux machines, entièrement pareilles à celles que nous venons de décrire, sont installées l'une à côté de l'autre, dans la mine de plomb argentifère de Huelgoat. Elles sont mises en mouvement par une chute d'eau de 60 mètres de hauteur. Le piston moteur A de chacune d'elles est lié à une longue tige qui traverse le fond du cylindre BB, et descend verticalement dans un puits, pour y faire mouvoir une pompe d'épuisement. Cette pompe élève d'un seul jet l'eau du puits à une hauteur verticale de 230 mètres. C'est lorsque le piston A monte dans le cylindre BB, que l'eau de la mine est refoulée par la pompe dans le tuyau d'ascension, à cette hauteur prodigieuse. Pendant que ce piston moteur redescend, avec la longue tige qui le relie au piston de la pompe d'épuisement, il n'a aucune résistance utile à vaincre; aussi a-t-on employé un moyen particulier pour équilibrer en grande partie le poids de tout cet appareil, afin d'éviter la trop grande rapidité de sa descente, et les inconvénients graves qu'elle aurait pu entraîner. Au lieu de placer le cylindre BB au niveau de la galerie souterraine par laquelle devaient s'écouler les eaux provenant de la pompe d'épuisement et du tuyau de décharge G, on l'a installé à 14 mètres en contre-bas de cette galerie. La hauteur de la colonne d'eau motrice se trouve donc portée ainsi à 74 mètres; et l'eau, après avoir soulevé le piston moteur A, ne peut être expulsée par lui du cylindre BB, pendant qu'il descend, qu'autant qu'il la fait remonter à une hauteur de 14 mètres, par le tuyau de décharge G. Cette élévation de l'eau

qui a agi dans la machine est une résistance que le piston doit vaincre en descendant, et qui a été calculée de manière à modérer convenablement son mouvement. Elle ne doit pas être assimilée à une résistance entièrement inutile, telle que celle déterminée par une soupape à gorge, qui rétrécit plus ou moins le passage de l'eau, et diminue ainsi sa vitesse : car son emploi a donné lieu à une augmentation correspondante dans la puissance de la colonne d'eau motrice.

Les belles machines de Huelgoat, qui fonctionnent avec une douceur et une régularité parfaites, utilisent près des deux tiers du travail moteur développé par la chute.

§ 389. **Machine à colonne d'eau à double effet.** — La disposition de la machine à colonne d'eau à double effet a beaucoup d'analogie avec celle de la machine à simple effet. Il n'y a de différence essentielle qu'en ce que le piston A (fig. 460) se meut dans un cylindre BB fermé à ses deux extrémités, et en ce que l'appareil régulateur, au lieu de ne faire communiquer alternativement le tuyau de l'eau motrice et le tuyau de décharge qu'avec le bas du cylindre, établit ces communications alternatives à la fois avec la partie supérieure et avec la partie inférieure, par les ouvertures C, D. C'est par le tuyau vertical E qu'arrive l'eau motrice; ce tuyau s'embranché avec deux tuyaux F, G, dont le premier amène l'eau à l'ouverture C, et le second à l'ouverture D. Deux pistons H, K, fixés à une même tige, peuvent se mouvoir dans un petit cylindre placé à côté du cylindre principal BB. Dans la position actuelle de ces deux pistons, l'eau motrice arrive dans la partie inférieure du cylindre BB, en passant par le tuyau G et par l'ouverture D; elle exerce donc sur la face inférieure du piston A une pression qui est dirigée de bas en haut. En même temps l'eau qui se trouve au-dessus du piston A communique librement, par l'ouverture C, avec le tuyau de décharge L. Le piston A, étant plus pressé sur sa face inférieure que sur sa face supérieure, prend un mouvement ascendant; l'eau qui le surmonte sort par le tuyau L, et tombe dans une caisse M, qui communique avec le canal destiné à son écoulement. Concevons maintenant qu'au moment où le piston A atteint l'extrémité supérieure du cylindre BB, les deux pistons H, K, s'abaissent, de manière à se placer respectivement au-dessous des ouvertures C, D; l'ouverture C communiquera avec l'eau motrice, par le tuyau F, et l'ouverture D avec le tuyau de décharge L : le piston A redescendra donc, en faisant sortir par ce tuyau de décharge toute l'eau qui s'était introduite sous lui. Si les pistons A, K reprennent leur première position, lorsque le piston A sera arrivé au

bas de sa course, l'eau motrice, agissant par l'ouverture D, le fera remonter; et ainsi de suite.

On voit donc que, pour établir alternativement les communications des ouvertures C, D, avec le tuyau de l'eau motrice E, et avec le tuyau de décharge L, il suffit de faire descendre les deux

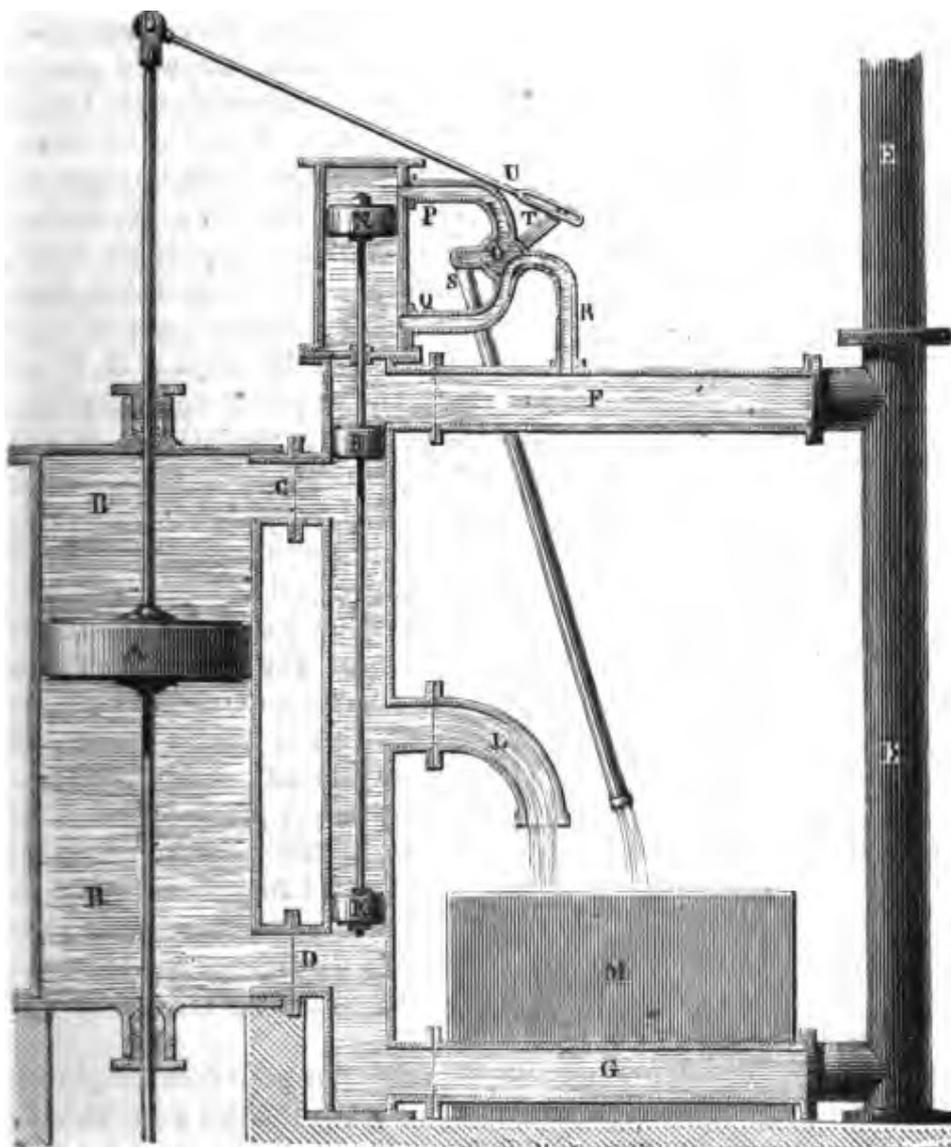


Fig. 460.

pistons H, K, lorsque le piston A est au haut de sa course, et de les faire remonter, lorsqu'il est arrivé au bas. Ce mouvement alternatif et intermittent des pistons H, K, est produit au moyen

donner. Il vaut même mieux qu'une partie de cet intervalle soit toujours occupée par de l'air communiquant librement avec l'air environnant, et que l'eau ne fasse que s'étaler en nappe dans la concavité de chaque aube. C'est ce qui fait que, lorsqu'on n'a qu'une petite quantité d'eau à dépenser, on peut donner à la roue des dimensions plus grandes que celles qu'on lui aurait données sans cela, et que, par conséquent, on peut la faire tourner moins rapidement, ce qui est un avantage réel. L'emploi des vannes partielles de M. Ch. Callon, appliquées soit aux turbines Fourneyron, soit aux turbines Fontaine, est alors préférable à la disposition qui consiste à rétrécir plus ou moins les orifices par lesquels l'eau passe du réservoir dans la roue en n'en fermant aucun complètement. L'expérience a prouvé que les turbines établies de cette manière utilisent sensiblement la même fraction de la force de la chute (0,75), quelle que soit la quantité d'eau dépensée, ce qui est un résultat des plus importants.

Il ne reste plus qu'à indiquer de quelle manière on maintient une atmosphère d'air comprimé dans la cloche qui recouvre la roue. On y parvient au moyen d'une pompe foulante à air, que la turbine elle-même fait mouvoir pendant tout le temps qu'elle marche. Les nouvelles quantités d'air introduites ainsi constamment dans la cloche compensent les pertes qui proviennent, soit des fuites qui peuvent exister, soit de ce que l'eau entraîne de l'air avec elle ; mais la pompe en fournit toujours un excès qui s'échappe en passant sous les bords de la cloche, de sorte qu'on est sûr que le niveau de l'eau près de la turbine correspond toujours à ces bords.

M. Girard a proposé d'appliquer le même système aux roues hydrauliques à axe horizontal, afin de les empêcher d'être noyées au moment des crues.

§ 387. **Considérations générales sur l'établissement d'une roue hydraulique.** — Lorsqu'on veut établir une roue hydraulique, pour utiliser la force d'une chute d'eau, il faut d'abord choisir parmi les diverses espèces de roues, celle qui convient le mieux aux circonstances dans lesquelles on est placé. Des raisons de diverses natures peuvent entrer en considération pour le choix qu'on a à faire. La simplicité plus ou moins grande de la roue et des constructions que nécessitera son établissement ; la facilité des réparations qu'on a besoin de faire de temps en temps à des machines de ce genre ; la nature de la chute, et les variations que sa force éprouve aux diverses époques de l'année ; le besoin plus ou moins grand qu'on a d'utiliser le mieux possible la force de cette chute, sont autant de

motifs qui conduiront à faire adopter tel ou tel système de moteur.

Lorsqu'on aura fait son choix, on saura quelle fraction de la force de la chute sera utilisée par la roue qu'on aura adoptée. Ce sera, par exemple, les 0,75 de cette force, s'il s'agit d'une roue à augets ou d'une turbine; ou les 0,56, si c'est une roue en dessous, à aubes courbes; ou bien encore les 0,25, si c'est une roue en dessous, à aubes planes.

On pourra donc, d'après la connaissance qu'on a de la force de la chute, calculer le nombre de chevaux-vapeur qui représentera la force de la roue, et régler d'après cela le nombre et les dimensions des machines spéciales destinées à la production du travail utile, machines qui seront, ou des pompes destinées à élever de l'eau à une certaine hauteur, ou des moulins à farine, ou des métiers à filer, etc. Pour cela on aura besoin d'emprunter à l'expérience la connaissance de la quantité de chacun de ces travaux qui peut être effectué par la force d'un cheval-vapeur.

La hauteur de la chute, et la nature de la roue qu'on adopte; déterminent le nombre de tours que cette roue doit faire dans un temps donné pour produire le maximum d'effet. On devra, en conséquence, établir entre l'arbre de la roue et les mécanismes qu'elle doit faire mouvoir une liaison telle, que ces mécanismes marchent avec la vitesse la plus convenable au travail qu'ils effectuent, lorsque la roue prendra ce mouvement particulier qui lui permet d'utiliser la plus grande fraction possible du travail développé par la chute. On se servira, pour cela, soit d'engrenages (§ 58), soit de courroies sans fin (§ 57).

Enfin, d'après la connaissance de la vitesse que doit prendre la roue, et de la quantité d'eau que lui fournira la chute dans un temps donné, on déterminera les dimensions des aubes ou augets sur lesquels le liquide doit agir.

Lorsque la roue sera construite et installée, et qu'elle aura été mise en communication avec les machines spéciales qu'elle doit faire mouvoir, il ne s'agira plus que d'ouvrir les vannes qui permettent à l'eau motrice de sortir du bief supérieur, pour qu'elle vienne exercer son action sur la roue et la mettre en mouvement. Si l'on donne à la roue une quantité d'eau de plus en plus grande, il est clair qu'elle prendra un mouvement de plus en plus rapide. On conçoit donc que l'on puisse de cette manière lui donner la vitesse qui convient à son maximum d'effet; et si les données d'expérience sur lesquelles on s'est fondé pour son établissement sont bien exactes, on devra dépenser ainsi précisément la quantité d'eau que la chute est capable de fournir sans interruption.

au château de la Celle-Saint-Cloud, près Paris, et qui a été établi par Montgolfier lui-même, pour l'élévation de l'eau nécessaire aux besoins du château. L'eau d'une pièce d'eau, située à un niveau supérieur, et alimentée par des sources, est amenée par le tuyau A. Ce tuyau présente une ouverture tournée vers le haut, par laquelle l'eau s'écoule. Une soupape B est suspendue par sa

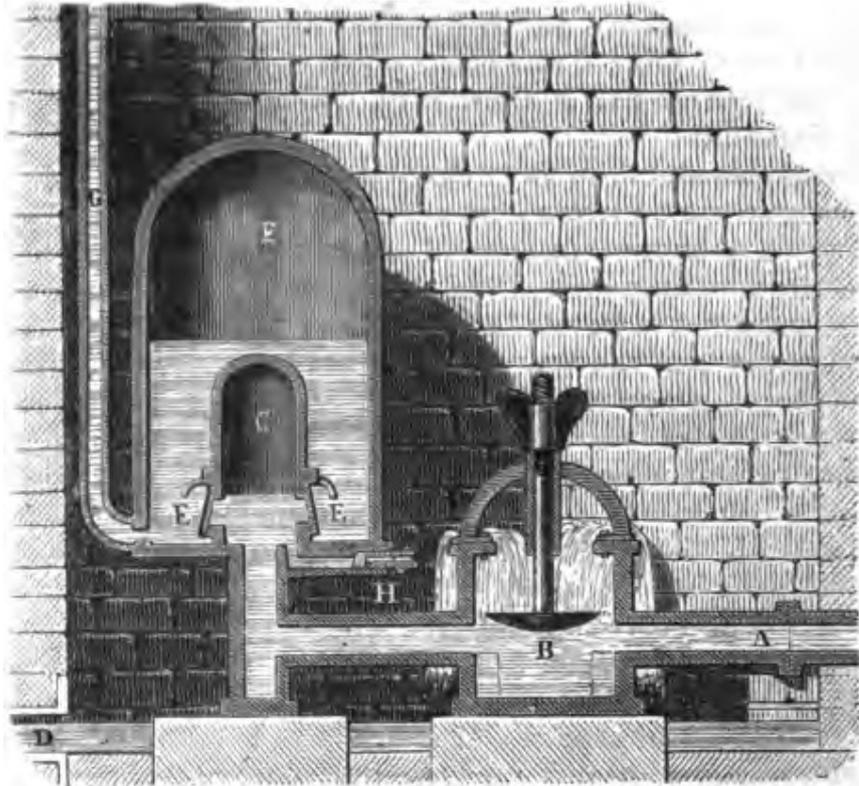


Fig. 462. (Échelle de 12 centimètres pour mètre.)

tige à une sorte d'étrier qui surmonte cette ouverture, et se trouve ainsi sur le chemin du liquide, qui passe tout autour d'elle pour sortir. A partir du moment où l'écoulement commence, la vitesse de l'eau va en augmentant ; il en résulte que la soupape B éprouve de bas en haut, de la part du liquide, une pression de plus en plus grande ; bientôt cette pression suffit pour la soulever, et elle vient s'appliquer contre les bords de l'orifice, qu'elle ferme complètement. Alors toute la masse d'eau contenue dans le tuyau A, se trouvant animée d'une vitesse un peu grande, et ne pouvant plus sortir par cet orifice, exerce une pression considérable sur toutes les parties des parois qui la contiennent ; cette pression ouvre les soupapes E, E ; une certaine quantité d'eau,

traversant ces soupapes, se rend ainsi dans un réservoir qui les enveloppe, et d'où elle passe dans un tuyau d'ascension G. Au bout d'un temps très-court, toute la vitesse de l'eau contenue dans le tuyau A est anéantie; les soupapes E, E, se ferment; la soupape B, qui n'éprouve plus une aussi grande pression sur sa face inférieure, retombe dans sa position primitive, et le jeu de la machine recommence comme précédemment. L'eau qui sort du tuyau A, pendant tout le temps que la soupape B est ouverte, tombe sur le sol environnant et s'écoule au dehors par le tuyau D.

Le tuyau A se relève à son extrémité de gauche, pour aboutir à une capacité C au bas de laquelle sont les soupapes E, E. Cette capacité contient de l'air à sa partie supérieure. La pression de cet air joue un grand rôle dans la marche de la machine. Lorsque l'écoulement de l'eau est brusquement arrêté par la fermeture de la soupape B, si le liquide ne se trouvait en contact qu'avec des parois solides, il se produirait un choc assez violent; et c'est en vertu de ce choc que les soupapes E, E, s'ouvriraient pour livrer passage à une certaine quantité d'eau. L'air contenu en C fait disparaître ce choc presque complètement, ce qui empêche l'appareil de se détériorer aussi promptement, et donne lieu en même temps à la production d'une plus grande quantité de travail utile. Au moment où l'eau ne peut plus s'écouler au dehors, elle comprime l'air, et perd ainsi peu à peu sa vitesse; en même temps la pression exercée par l'eau de tous côtés va en augmentant. Lorsque la vitesse de l'eau est complètement anéantie, l'air réagit pour reprendre son volume primitif; il repousse l'eau, qui rétrograde dans le tuyau A, et la pression diminue. Pendant ce temps les soupapes E, E, restent ouvertes, tant que la pression qu'elles éprouvent de dedans en dehors surpasse celle qui est constamment exercée sur leurs faces extérieures, et elles livrent ainsi passage à une portion du liquide. Le mouvement rétrograde que prend l'eau dans le tuyau A, et qui est produit par la réaction de l'air contenu en C, ne cesse pas au moment où la pression s'est réduite à celle qui est due à la hauteur de la chute; l'eau continue à se mouvoir, en vertu de sa vitesse acquise; la pression continue donc aussi à décroître, et devient même inférieure à la pression atmosphérique. Cette espèce d'aspiration intérieure fait tomber la soupape B, et l'eau recommence à sortir comme précédemment par l'ouverture qui la surmonte.

Le réservoir F, qui enveloppe les soupapes E, E, et duquel part le tuyau d'ascension G, contient également de l'air à sa partie supérieure. Cette seconde masse d'air a pour objet d'entretenir un

mouvement continu dans le tuyau d'ascension, et agit exactement de la même manière que celle dont nous avons parlé précédemment, à l'occasion de la pompe à incendie (§ 356). Au moment où les soupapes E, E, s'ouvrent, l'eau pénètre dans le réservoir, en comprimant l'air qui y est contenu, et n'est pas obligée de s'élançer immédiatement dans le tuyau d'ascension, comme cela arriverait sans cette disposition. Il est clair que la pression nécessaire pour ouvrir les soupapes E, E, serait beaucoup plus grande, dans le cas où toute la colonne d'eau contenue dans le tuyau G devrait passer brusquement de l'état de repos à l'état de mouvement, au moment de leur ouverture; et qu'en conséquence ces soupapes resteraient ouvertes moins longtemps à chaque coup du bélier. La suppression de l'air contenu en F entraînerait donc une diminution considérable dans le volume de l'eau élevée.

L'eau dissout toujours une certaine quantité de l'air avec lequel elle est en contact. C'est cet air dissous dans l'eau qui s'en dégage lorsqu'on la chauffe dans un vase ouvert, et qui s'attache aux parois du vase sous forme de petites bulles. La quantité d'air que l'eau absorbe ainsi est d'ailleurs d'autant plus grande qu'il est soumis à une plus forte pression. Il résulte de là que l'air contenu dans le réservoir F doit se dissoudre peu à peu dans l'eau qui y arrive constamment, et cela en raison de la pression qu'il éprouve, d'après la hauteur à laquelle l'eau est élevée dans le tuyau G. Cette masse d'air doit donc diminuer progressivement, et même disparaître complètement, si l'on n'emploie pas un moyen particulier pour la renouveler. C'est pour cela qu'on a pratiqué une ouverture horizontale H, au-dessous d'une des deux soupapes E. Cette ouverture est fermée par une soupape qui s'ouvre de dehors en dedans. Au moment où, par le mouvement rétrograde de l'eau dans le tuyau A, il se produit une sorte d'aspiration à l'intérieur de ce tuyau, une petite quantité d'air atmosphérique entre par le conduit H, en ouvrant la soupape qui le fermait, et vient se mêler à l'air déjà contenu en C. L'arrivée de cette petite quantité d'air, à chaque coup de bélier, fait qu'une portion correspondante de l'air du réservoir C traverse les soupapes E, lorsqu'elles sont ouvertes, et monte dans la partie supérieure du réservoir F, pour y remplacer celui que l'eau emmène constamment à l'état de dissolution.

Lorsque le bélier hydraulique est bien établi, il peut utiliser jusqu'aux 0,60 du travail moteur dépensé.