
DIX-HUITIÈME LEÇON.

Écoulement des liquides. — Expérience et règle de Toricelli. — Contraction des veines. —
Formules pratiques pour les cas les plus usuels du jaugeage des cours d'eau.

Ce que c'est que l'hydraulique.

On donne le nom d'hydraulique à la partie de la mécanique qui traite particulièrement des questions relatives au mouvement de l'eau et à son emploi comme force motrice.

Il faut recourir à ses principes, s'il s'agit de conduire l'eau dans une habitation, de se garantir de ses ravages, de lui faire mouvoir des machines, d'établir des canaux, des aqueducs, etc.

L'eau est un fluide comme toutes les liqueurs, et cette fluidité, avec laquelle l'usage familiarise, est une propriété qui paraît singulière quand on y réfléchit.

C'est l'état d'un corps matériel composé de molécules si mobiles et si peu adhérentes, que l'ensemble prend aisément la forme de tous les vases, que la surface supérieure du fluide se met de niveau, que l'ensemble de ces molécules repousse les corps qu'on y plonge à proportion de leur volume; que la masse agitée éprouve des balancements successifs comparables aux oscillations d'un pendule; qu'enfin elle s'écoule sous la moindre pente.

Les matières liquides qui diffèrent entre elles par leur nature, leur densité, leur couleur..., diffèrent aussi par leur fluidité. L'huile et les liqueurs grasses en ont moins que l'eau pure.

L'eau est elle-même plus ou moins fluide suivant que sa température est plus ou moins élevée; près de sa congélation elle l'est moins.

A une température plus basse, elle devient et reste solide en conservant sa transparence.

Si au contraire on élève sa température, si on développe l'ébullition, ses molécules ont plus de mobilité les unes sur les autres ; elle est plus fluide.

Dans les questions d'hydraulique, on applique au mouvement des liquides les principes de la mécanique des solides. On considère un liquide comme un composé de molécules mobiles les unes sur les autres et qui n'adhèrent pas. On fait abstraction de la viscosité, du frottement des molécules les unes sur les autres, assez généralement de leurs frottements contre les parois, et aussi de plusieurs autres circonstances physiques.

Là conséquence naturelle de ces abstractions, c'est que les résultats de l'application des principes de la mécanique sont plus ou moins approchés de la réalité, mais jamais rigoureusement exacts. On les corrige à l'aide de l'expérience. Les deux moyens combinés, les déductions rationnelles des principes et l'expérimentation donnent des résultats qui suffisent à la pratique.

Écoulement des liquides. — Expérience et règle de Toricelli.

Quand il existe dans un vase de l'eau ou un autre liquide, et qu'on perce sa paroi, le liquide s'écoule, et le niveau baisse jusqu'à ce qu'il ait atteint l'orifice.

Dans ce cas le liquide, au repos quand on ouvre l'orifice, ne prend pas d'abord toute sa vitesse; cependant le mouvement devient bientôt régulier. On va chercher quelle est cette vitesse, et comme l'expérience apprend qu'elle change avec le niveau du liquide, on la considérera dans un temps suffisamment petit pour qu'elle ne varie pas dans l'intervalle.

Les molécules du liquide sont toutes pesantes, celles de la surface supérieure sont supportées par celles qui sont au-dessous, celles-ci s'appuient sur les suivantes, et c'est sous l'empire de ces pressions, qui se communiquent et se superposent, que l'écoulement a lieu.

Si on n'entretient pas le niveau, la quantité de liquide qui

s'écoule par l'orifice correspond juste à celle qui était comprise entre le niveau primitif et le niveau abaissé.

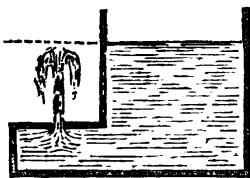
La quantité de travail dépensée par l'abaissement du liquide dans le vase est la même que si le volume qui disparaît au niveau supérieur tombait en bloc au niveau de l'orifice. S'il en était ainsi, la vitesse acquise par la chute et la force vive correspondante seraient les mêmes que dans la chute des corps solides. Mais en faisant abstraction de la viscosité et des frottements, il n'y a aucun motif pour que la force vive du liquide qui s'écoule soit moindre ; il s'ensuit que quand la paroi d'un vase est percée, le liquide s'écoule avec la vitesse qu'acquerrait un corps solide tombant du niveau supérieur du liquide à l'orifice.

Connaissant la vitesse d'écoulement qui est la même pour chaque file de molécules si tous les points de l'ouverture sont au même niveau, ou si l'orifice est suffisamment petit pour qu'on puisse l'admettre sans erreur sensible, on peut calculer le volume de liquide qui s'échappe ; on l'obtient en multipliant la vitesse de sortie par la surface de l'ouverture.

Le principe qui fait connaître la vitesse d'écoulement d'un liquide est connu sous le nom de principe de *Toricelli* ; par les raisons qu'on a dites, on a dû recourir à l'expérience pour le vérifier.

On a reconnu ainsi qu'il n'est vrai qu'à peu près ; qu'en réalité la vitesse est un peu moindre. On pouvait facilement le prévoir, car les circonstances du mouvement du liquide, dont on néglige de tenir compte, ne peuvent que diminuer la force

Fig. 76.



vive du liquide écoulé, par conséquent la vitesse de l'écoulement.

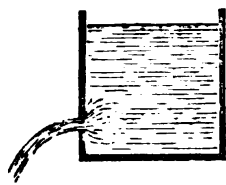
Si l'orifice est disposé (*fig. 76*) pour que le filet qui s'échappe soit vertical, d'après le principe il devrait s'élever de niveau avec le liquide qui est dans le vase. L'expérience montre qu'il y monte presque en effet.

Si le jet est horizontal (*fig. 77*), on observe que sa forme est à peu près parabolique ; que, sauf une légère déperdition de vitesse, il suit à peu près la trajectoire d'un point pesant par-

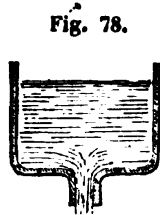
tant de l'orifice avec une vitesse horizontale égale à celle qu'il eût acquise en y tombant librement du niveau supérieur du liquide.

Influence de la forme des orifices sur l'écoulement.

L'expérience indique encore que la forme des vases et surtout des orifices influe sur la vitesse d'écoulement, beaucoup moins, il est vrai, en général, que la pesanteur du liquide, qui est le seul élément qu'on considère pour calculer la vitesse sur le principe de Toricelli.



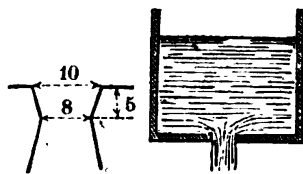
Si le liquide s'écoule du fond d'un vase et que les parois de l'ouverture se raccordent avec le fond présentant à l'orifice une partie cylindrique, d'une certaine longueur, le jet est lui-même de forme cylindrique (fig. 78).



La dépense n'est réduite alors sur celle que donne la règle de Toricelli que dans la proportion de 75 ou 80 à 100. On dit que cette dépense est la fraction 0,75 ou 0,80 de la dépense théorique.

Si la paroi de l'orifice est à angle droit sur le fond, les filets de la veine liquide ne pouvant tourner brusquement à angle droit, celle-ci se contracte à une certaine distance de l'ouverture, la veine a là un moindre diamètre qu'à l'orifice même et présente ce qu'on appelle la section contractée.

Dans ce cas, représenté fig. 79 ci-contre, la dépense n'est guère que de 0,60 à 0,62 de celle qui serait calculée sur la règle de Toricelli; il est facile de voir d'où vient la plus grande partie de cette diminution.

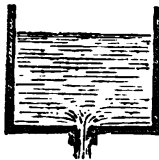


Dans le cas supposé, en effet, où l'orifice est percé dans la paroi sans raccordement avec le fond, les filets liquides qui sortent arrivent en sens inverse sur l'ouverture des deux côtés opposés. Ils sont obligés de prendre une courbure, et à une distance de l'orifice de la

moitié de son ouverture, la veine n'a guère par suite que les $\frac{2}{3}$ de la largeur même de l'ouverture. La quantité d'eau qui s'écoule traverse une section qui est au plus les 0,64 de l'aire de l'orifice, et par cette seule cause la dépense est réduite à 0,64 de ce qu'elle serait sans la contraction.

Si l'orifice se termine par un tube cylindrique de petite longueur (*fig. 80*), le liquide à l'origine du mouvement tend à sortir sans toucher les parois du tube; le mouvement fait

Fig. 80.

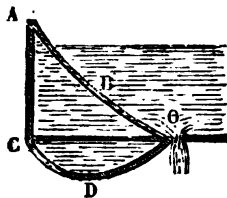


bientôt un vide qui dilate la veine, et la quantité d'eau écoulée est supérieure à celle qu'on obtient par un orifice percé à angle droit dans la paroi. Elle est inférieure toutefois à celle qui s'écoulerait par un orifice dont les bords sont raccordés au fond. La quantité

de liquide écoulée est environ 0,80 à 0,85 du débit théorique.

Ces résultats n'ont rien d'absolu, car si la forme de l'orifice influe sur l'écoulement, il est aussi facilité ou retardé par la forme même du fond du vase. On comprend qu'une forme telle que ABO (*fig. 81*) est plus favorable à un grand débit par

Fig. 81.



une même ouverture O, qu'une forme telle que ACO, et à plus forte raison qu'une forme telle que ADO.

Un ajutage conique convergent dont on munit l'orifice est favorable à la dépense qui peut aller à 0,90 du débit théorique.

On se rapproche encore plus de ce débit si on donne à l'ajutage la forme même de la veine contractée et qu'on mesure l'orifice de sortie au rétrécissement.

Mesure des sources. — Du pouce d'eau.

Soit qu'on emploie des cours d'eau à mouvoir des roues hydrauliques, à des irrigations ou pour tout autre usage, on a besoin de mesurer la quantité d'eau qu'ils donnent. Pour mesurer des sources qui ne donnent pas au delà de 2 litres par seconde, on a employé autrefois comme unité le pouce d'eau; c'est la quantité d'eau qui s'écoule par un orifice de 1 pouce de diamètre percé en mince paroi sous une charge d'eau de

1 ligne sur le sommet ou 7 lignes sur le centre. Comme vers l'orifice et par l'effet même de l'écoulement le niveau s'infléchit et que la dénivellation est de 1 ligne environ, cette charge équivaut à une charge de 8 lignes en plein réservoir. La dépense est par seconde 0,222116 litres, et par 24 heures 19^{mét. cubes},1953 ; avec ces données on peut jauger une petite source en la recevant dans une caisse. Une paroi de cette caisse est percée de plusieurs trous d'un pouce de diamètre ayant leurs centres sur une même horizontale. On débouche en tâtonnant le nombre de trous convenables pour que la charge d'eau soit de 8 lignes au milieu du réservoir. La source fournit autant de pouces d'eau qu'il y a de trous débouchés.

On a proposé de remplacer le pouce d'eau par le module d'eau correspondant à un écoulement de 10 mètres cubes en 24 heures et formant à peu près la moitié du pouce d'eau ; mais on n'a pas encore déterminé par expérience le diamètre à donner au trou et la charge qui convient.

Jaugeage direct.

Quand on fait des expériences dans un but scientifique, la seule mesure suffisamment exacte de la quantité d'eau fournie par un cours d'eau est celle qu'on obtient en recevant l'eau dans une cuve convenablement étalonnée. Ce moyen doit être préféré aussi en pratique toutes les fois qu'il est réalisable.

S'il s'agit de mesurer l'eau qui est employée dans une usine au mouvement d'une roue, le canal d'aménée de l'eau sur cette roue et le canal de fuite ayant en général une section régulière, le jaugeage est facile. La section d'un de ces canaux peut se mesurer et la question se réduit à connaître la vitesse moyenne de l'eau qui la traverse.

Le procédé le plus simple consiste alors à abandonner au courant un flotteur d'une densité à peu près égale à celle de l'eau pour que sa surface supérieure n'en dépasse pas le niveau. Ce flotteur vient naturellement sur le filet d'eau de la surface qui est le plus rapide et il le suit.

L'expérience a fait connaître que la vitesse moyenne était environ les 0,80 de la vitesse ainsi observée. De sorte qu'on

prendra les 0,80 de la vitesse ainsi obtenue par l'expérience et on multipliera par la section mouillée du canal; on saura le volume d'eau qui s'écoule dans une seconde.

Quand il s'agit d'utiliser un cours d'eau sur lequel il n'existe pas encore d'usine, et par conséquent de canal, que d'ailleurs le lit du cours d'eau est irrégulier, on ne peut sans erreur sensible y mesurer la vitesse moyenne de l'écoulement par le même procédé; cela d'autant moins que le lit est plus irrégulier.

Dans ce cas on relève le profil de la partie du lit qui est mouillée, on estime ainsi la section de ce lit, sa surface; il faut la multiplier par la vitesse moyenne de l'eau qui traverse cette section. Pour l'obtenir, on cherche la vitesse en différents points au-dessous du niveau de l'eau, et on évalue la valeur moyenne des résultats obtenus. Le flotteur donne la vitesse au niveau de l'eau pour le filet le plus rapide, mais ne peut pas servir dans la profondeur. On emploie alors le moulinet de Woltmann ou le tube de Pitot; on va faire connaître ces deux instruments.

Moulinet de Woltmann.

Le moulinet de Woltmann se compose essentiellement d'une petite roue à ailettes, très-mobile et très-légère. Les ailettes sont inclinées sur l'arbre qu'on place dans le sens du courant, et cet arbre porte une vis sans fin dont le mouvement commande les roues d'un compteur. On descend l'appareil à la profondeur qu'on veut expérimenter, et on le retire après un temps qu'on mesure exactement. L'instrument lui-même indique le nombre de tours que l'arbre a faits sous l'impression de l'eau sur les ailettes, et ce nombre fait connaître la vitesse de l'eau.

Pour graduer l'instrument, il faut chercher expérimentalement le nombre de tours qu'il doit faire, dans une minute par exemple, pour des vitesses d'eau connues. Un moyen simple et exact d'obtenir cette graduation consiste à fixer l'instrument au-dessous d'un bateau qu'on fait marcher à différentes vitesses sur une eau stagnante. Les nombres de tours indiqués par le compteur sont ceux qui correspondent aux vitesses de l'eau contre l'instrument, qui sont celles qu'on a données au bateau.

Tube de Pitot.

Le tube de Pitot, très-anciennement employé pour déterminer la vitesse sous l'eau, consiste en un tube de verre ou de métal recourbé à angle droit. On place sa longue branche verticalement, et on oppose l'autre au courant à la profondeur où l'on veut mesurer la vitesse. Théoriquement, le liquide devrait s'élever dans le tube à la hauteur correspondante à la vitesse de l'eau, à celle qui est susceptible d'engendrer cette vitesse dans la chute libre. En réalité, l'eau ne prend pas ce niveau, et la dénivellation est plus ou moins considérable suivant la construction de l'instrument. Néanmoins, bien gradué expérimentalement, par exemple par le moyen indiqué pour le moulinet de Woltmann, il donne des indications assez exactes.

Quel que soit le mode de jaugeage qu'on emploie, il est essentiel de remarquer que si le régime d'un cours d'eau est variable, ce qui est le cas le plus ordinaire, il ne peut être évalué par une seule opération. Il faut les répéter en diverses saisons et dans différents états de la rivière, et si, par exemple, on fait le projet d'une usine et qu'on ne dispose pas du temps nécessaire, y suppléer par des renseignements sur l'élévation des hautes, des basses et des moyennes eaux pendant diverses époques de l'année, et aussi chercher à connaître la durée ordinaire de ces divers régimes.

Si des usines existent déjà sur le cours d'eau qu'on veut utiliser, elles fournissent les données les plus positives qu'on peut désirer. On peut compter en général sur les volumes d'eau utilisés par les usines supérieures, en tenant compte cependant des prises d'eau faites dans l'intervalle qui diminuent notablement le volume d'eau disponible, et des affluents qui peuvent l'augmenter.

Jaugeage des cours d'eau qui passent sur un déversoir.

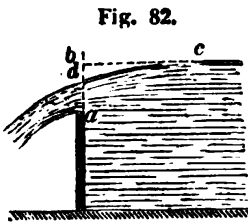
Quand, pour utiliser des eaux pour une usine, une irrigation, etc... on en barre le courant, l'eau s'élève derrière le barrage et passe sur la crête.

Le barrage forme ce qu'on appelle un *déversoir*; presque

toutes les usines présentent des écoulements de ce genre dont les circonstances offrent un moyen commode de jauger le cours d'eau.

S'il n'existe pas de déversoirs dans une usine on peut facilement en établir un.

L'eau qui s'écoule y forme une veine ou nappé à section rectangulaire qui a de largeur la largeur de l'ouverture. Son épaisseur est moindre que la charge d'eau sur le seuil, parce que le niveau s'infléchit vers l'écoulement.

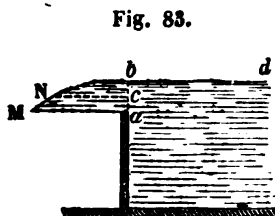


Si on suppose le déversoir et la veine coupés par un plan vertical dirigé comme le fil de l'eau, le déversoir peut être représenté par la *fig. 82*. L'inflexion de la veine de *c* vers *d* est analogue à la contraction que produisent sur l'écoulement les petits orifices.

Admettant d'abord que cet effet n'a pas lieu, on peut chercher le débit théorique de l'eau d'après la règle de Toricelli, sauf à modifier après ce premier résultat, en le réduisant à cause de l'inflexion de la veine et des autres causes qui diminuent la quantité d'eau qui s'écoule ; ainsi la contraction de la veine aux extrémités, contre les parois verticales du déversoir.

Dans l'hypothèse où on se place, la nappe liquide qui s'écoule par le déversoir se compose de tranches verticales identiques dirigées suivant l'écoulement.

Si on imagine que les filets d'eau qui passent à diverses hauteurs dans une même tranche verticale, au lieu de suivre la trajectoire parabolique de la chute, sortent horizontalement, l'ensemble des filets écoulés en une seconde, dans une même



tranche, présentera une section telle que bMa ; et le volume d'eau écoulé en une seconde par le déversoir sera le volume prismatique qui a l'aire bMa pour base et pour hauteur la largeur du déversoir (*fig. 83*).

La détermination théorique du volume d'eau écoulé en une

seconde par le déversoir revient ici à la mesure du volume du prisme qu'on vient de définir.

La courbe bNM , qui doit se raccorder en b avec le niveau supérieur de l'eau où théoriquement la vitesse est nulle, est une parabole.

En effet, si on désigne par h une hauteur bc quelconque, on aura à ce niveau $Nc^2 = 2gh$, car Nc n'est autre chose que la vitesse due à la hauteur h , laquelle est moyenne proportionnelle entre cette hauteur et la vitesse acquise par un corps qui tombe pendant deux secondes. Ainsi la courbe est telle que les carrés des longueurs, comme Nc et aM , sont à proportion des hauteurs bc et ba .

La géométrie, qui fait connaître que dans ce cas la courbe est une parabole, enseigne encore que la surface $bNMa$ est les deux tiers du rectangle construit sur ab et sur aM . Cette surface a ainsi pour expression, en représentant par H la charge ab sur le seuil du déversoir, $\frac{2}{3} H \sqrt{2gH}$. Si L est la largeur du déversoir, le prisme dont le volume est celui de l'eau écoulée, doit être mesuré par l'expression $\frac{2}{3} LH \sqrt{2gH}$, et telle est théoriquement la mesure de la quantité d'eau écoulée en une seconde par le déversoir.

L'expérience a fait connaître que pour que cette formule représentât exactement, non la dépense théorique, mais la dépense expérimentale, il fallait prendre, au lieu du coefficient 0,67, le coefficient 0,40. Le débit réel, principalement réduit par l'inflexion de la veine, est à peine les $\frac{2}{3}$ du débit théorique. Au lieu de la formule $q = 0,40 LH \sqrt{2gH}$, on peut, substituant à la lettre g sa valeur numérique, écrire pour l'expression du volume d'eau q écoulé en une seconde : $q = 1,77 LH \sqrt{H}$.

En pratique, la largeur du déversoir influe sur la contraction de la veine. Il en est de même de l'épaisseur de celle-ci; aussi à la rigueur le même coefficient 1,77 ne doit pas être employé dans tous les cas. On le force un peu pour les charges très-fortes ou très-faibles, on le réduit au contraire quand l'ouverture du déversoir est dans une telle proportion avec la largeur du canal d'amenée de l'eau que la contraction latérale se trouve exceptionnellement forte; ainsi, si

le canal d'amenée a plus du double de la largeur du déversoir.

Jaugeage de l'eau qui passe par une vanne.

Il arrive fréquemment, lorsqu'on emploie l'eau pour faire mouvoir une roue hydraulique ou pour l'irrigation, qu'on la fait passer par une vanne. C'est une paroi rectangulaire verticale ou oblique que l'on peut lever plus ou moins, et l'eau s'écoule en plus ou moins grande quantité par une ouverture rectangulaire.

Dans ce cas, la quantité d'eau qui passe par l'ouverture, si toutefois on suppose l'écoulement produit d'après le principe de Toricelli, est égale à la quantité d'eau qui s'écoulerait en déversoir, si la vanne était complètement enlevée, moins celle qui s'écoulerait en déversoir, au contraire, par un orifice correspondant à la partie mouillée de cette vanne qui est au-dessus de l'orifice et empêche l'écoulement sur toute sa hauteur. Et en effet, chaque filet liquide depuis le seuil de l'ouverture jusqu'au niveau supérieur tend à s'échapper avec une vitesse correspondante à la hauteur d'eau qui est au-dessus depuis le niveau supérieur. La partie de la vanne supérieure à l'orifice empêche le mouvement des filets correspondants; par conséquent, son effet est de retenir une quantité d'eau égale à celle qui s'échapperait en déversoir par sa partie mouillée. Cela posé, la dépense théorique a pour expression, si H est la charge d'eau sur le seuil de l'orifice, H' la charge au-dessus de l'orifice, L la largeur de cet orifice et Q la dépense :

$$Q = \frac{2}{3} L (H \sqrt{2gH} - H' \sqrt{2gH'}).$$

Cette formule théorique est obtenue en ne tenant pas compte de diverses circonstances qui diminuent la dépense, et particulièrement de la contraction de la veine. Elle ne donne pas la dépense réelle. On obtient celle-ci assez exactement en réduisant la dépense à l'aide du coefficient 0,65. Il convient de forcer un peu le chiffre ainsi obtenu pour la dépense d'eau de la vanne, si la dimension verticale de l'orifice est faible et

de le réduire au contraire un peu si cette dimension est forte.

Influence de la vitesse de l'eau en amont.

En raisonnant sur l'écoulement qui se produit par le déversoir ou la vanne, on a supposé que l'eau n'avait pas de vitesse sensible en amont de l'orifice à une certaine distance; en d'autres termes, que toute sa vitesse était due à l'écoulement. S'il en est autrement, ce qui arrive quand le canal d'aménée de l'eau au réservoir et le réservoir lui-même n'ont pas une grande largeur, cette vitesse influe sur la quantité d'eau qui s'écoule. Pour en tenir compte, il faut mesurer la vitesse moyenne de l'eau en amont de l'ouverture, regarder cette vitesse comme engendrée par une pression d'eau verticale, déterminer la hauteur correspondante et ajouter cette hauteur à la charge de l'orifice. Cette vitesse, en effet, produit le même effet sur l'écoulement que l'excédant de charge qui correspondrait.

DIX-NEUVIÈME LEÇON.

Notions sur les moteurs ou récepteurs hydrauliques. — Force ou travail absolu d'un cours d'eau. — Il y a pour tous les récepteurs une vitesse relative au maximum d'effet. — Anciennes roues à palettes planes recevant l'eau en dessous. — Roues à aubes planes emboîtées dans des coursiers circulaires.

Notions sur les moteurs ou récepteurs hydrauliques.

Les moteurs ou récepteurs hydrauliques sont les appareils en usage pour utiliser la force des chutes d'eau naturelles, soit qu'on emploie le poids de l'eau, retenue à un niveau supérieur et tombant au niveau d'un canal d'écoulement; soit qu'on utilise la force impulsive qu'elle acquiert par la vitesse de son cours; soit qu'on emploie à la fois l'action de la chute et celle de l'impulsion. Ils reçoivent la forme de roues, et, suivant que leur axe est horizontal ou vertical, on les range dans l'une ou l'autre de deux grandes classes : les roues proprement dites, et les turbines.

Les turbines, qui sont d'invention nouvelle, ont eu pour point de départ les roues à rouets très-anciennement employées dans le Dauphiné, la Bretagne, l'Algérie, la province de Constantine, etc. Il existe encore de ces rouets qui sont placés au fond d'une cuve ou cylindre en maçonnerie ou en bois de 2 mètres de profondeur, et de 1 mètre de diamètre; le rouet a un 1 mètre environ de diamètre, et 20 centimètres de hauteur; il porte 8 ou 10 aubes ou cuillers inclinées à l'horizon, et tellement courbées que leur partie inférieure est presque horizontale. La cuve présente sur sa hauteur une échancrure de 20 centimètres de large; c'est par là que vient l'eau du coursier; elle arrive avec une grande vitesse, s'infléchit suivant le contour de la cuve, et se projette sur les aubes, agissant à la fois par son impulsion et son poids.

Ces roues, inférieures d'effet utile aux roues ordinaires, et avantageuses seulement par la grande simplicité de leur con-

struction, ont successivement donné l'idée des turbines. Dans celles-ci, au lieu de faire agir l'eau par une impulsion de la circonférence au centre, on la fait descendre, au contraire, à peu près suivant l'axe de la roue, et l'impulsion a lieu du centre à la circonférence.

Les roues ordinaires, outre que leur axe est horizontal, diffèrent des rouets par leur plus grand diamètre. Elles offrent un plus grand levier depuis l'axe, à l'impulsion ou au poids de l'eau qui les fait tourner; elles occupent plus de place. L'eau au contraire, descendant au centre des turbines pour donner une impulsion vers la circonférence, celles-ci permettent d'utiliser la même force motrice avec un diamètre et un volume du récepteur moindres que par l'usage des roues et même des rouets. Ainsi, une différence très-saillante des roues et des turbines consiste dans le volume du récepteur, lequel est beaucoup moindre pour les turbines.

Cette circonstance importe quelquefois quand la place dont on dispose est restreinte, et elle est toujours d'un grand intérêt relativement au plus ou moins de constructions à faire pour que cet emplacement reçoive le moteur.

D'autre part, tandis que les roues sont en général construites en bois, les turbines emploient presque exclusivement le fer et la fonte. Jusqu'ici leur construction a été plus coûteuse que celle des roues. Elle exige plus de précision, et il faut plus de soins dans les réparations. Cela en a quelquefois fait éviter l'emploi dans les établissements écartés des ateliers de construction, et où d'ordinaire on tient à confier l'entretien des moteurs aux ouvriers de l'usine.

Ces observations du reste seront plus faciles à saisir quand on aura examiné dans le détail les différents genres de moteurs des deux systèmes.

Force ou travail absolu d'un cours d'eau.

Il faut dire préalablement comment on mesure les chutes d'eau que les récepteurs doivent utiliser.

Une chute d'eau se compose essentiellement de deux éléments, la quantité d'eau qui s'écoule et la hauteur dont on peut

la faire tomber ou qui lui communique sa vitesse d'impulsion. On a dit comment on mesurait la quantité d'eau d'un cours d'eau, son volume fait connaître son poids. Il est représenté par le même chiffre, si on fait correspondre le décimètre cube au kilogramme, et le mètre cube à la tonne de 1000 kil.

A l'égard de la chute il faut la déterminer par un nivellement. Strictement, elle devrait comprendre la hauteur correspondante à la vitesse de l'eau du canal d'aménée de l'usine, et aussi celle qui correspond à l'échappement de l'eau dans le canal de fuite. C'est, à tout compter, ce dont on dispose; mais il est évident que cette dernière hauteur ne peut pas être utilisée, et qu'en général la première ne peut l'être qu'en partie. Il faut faire une appréciation de la perte suivant les cas pour connaître la véritable mesure de la chute confiée au récepteur; et, par cela même qu'un cours d'eau sert au roulement de plusieurs usines, aucune n'utilise sa chute brute, puisqu'il y a un écoulement de chaque usine à celle qui est au-dessous.

Il est à observer de plus que le canal de fuite doit être en contre-bas de la partie inférieure de la roue; c'est encore une perte de chute, utile d'ailleurs pour éviter l'accident des roues en partie noyées. Les roues sont dans ce cas quand par les fortes eaux le niveau d'aval s'élève, et que la roue plonge en partie. Outre qu'alors la chute est diminuée de l'exhaussement de l'eau au-dessus du bas de la roue, il y a encore une perte, parce que l'eau cause un frottement et, ce qui est plus nuisible, résiste au mouvement à contre-effet.

Une roue noyée n'a pas à beaucoup près son rendement ordinaire. Cet accident à part, une roue rend plus ou moins quand son cours d'eau est variable. La roue, en effet, est combinée pour utiliser plus convenablement la chute d'une certaine quantité d'eau; s'il y a un changement, elle ne fonctionne plus dans ses conditions normales, et son effet est moindre. Dans ce sens, il existe pour tous les récepteurs une vitesse relative à un régime particulier du cours d'eau qui donne un maximum d'effet, et permet de recueillir une plus grande fraction de la force de la chute.

Comme exemple d'évaluation d'une chute d'eau, on peut se reporter à un calcul de M. Arago, de la force à recueillir d'un barrage établi sur la Seine à Paris en face de la Monnaie, un peu au-dessous du Pont-Neuf.

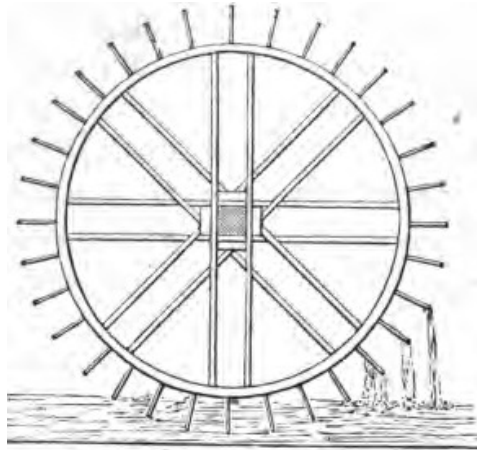
Ce bras de la Seine débite ordinairement 130 mètres cubes d'eau par seconde. Le barrage pourrait donner une chute de 1^m,50. On aurait ainsi l'équivalent de $130 \times 1,50$ mètres cubes tombant de 1 mètre en une seconde, ou $130000 \times 1,50$ kilogr.; à raison de 75 kilogr. tombant de 1 mètre en une seconde pour la force d'un cheval, c'est 2600 chevaux.

On voit par analogie quelle force énorme peut donner le barrage de certains fleuves, et l'avantage qu'on en peut recueillir en appliquant cette force à élever et à distribuer l'eau dans une grande ville ou à tout autre usage.

Roues à palettes planes.

Les roues hydrauliques les plus simples, le plus anciennement employées, sont les roues à palettes planes (*fig. 84*).

Fig. 84.



Ces roues peuvent être établies sur un bateau ou mieux entre deux bateaux. Les palettes qui garnissent la roue plongent dans le courant. D'habitude, on donne à ces palettes une hauteur du quart ou du cinquième du rayon de la roue, et on dispose l'axe à une élévation telle,

que le bord supérieur des palettes plonge.

La force vive communiquée par l'eau courante à la roue est à proportion de la masse d'eau qui rencontre les palettes et des carrés des vitesses perdues par les filets d'eau retardés dans leur mouvement.

L'expérience indique que pour utiliser ainsi le courant de l'eau, le plus avantageux est de régler la vitesse de la roue

pour que le centre des palettes ait 40 à 45 pour 100 de la vitesse de l'eau affluente.

Ces roues utilisent à peine le tiers de la force vive de l'eau qui les rencontre, et on le conçoit facilement, parce que les filets liquides arrivant avec une vitesse supérieure à celle des palettes ont un remou, reviennent en arrière avec une portion de leur vitesse.

De plus une partie de l'eau qui rencontre les palettes s'échappe de part et d'autre avant qu'elles soient sorties de l'eau; enfin ces palettes, en sortant, soulèvent à contre-effet de l'eau qui retombe en pluie fine. La simplicité de leur construction explique toutefois leur usage, malgré la perte qu'elles entraînent de la force motrice. Il faut ajouter que la force abonde dans les conditions où on les emploie d'ordinaire.

Emploi des roues dans la navigation par la vapeur.

Les roues à palettes planes sont employées aussi pour la navigation à vapeur, soit sur les rivières, soit en mer, avec cette différence essentielle relativement aux roues pendantes sur bateaux, que dans celles-ci c'est l'eau qui donne la force motrice, tandis que dans la navigation à vapeur la roue reçoit son mouvement de la vapeur, et communique le mouvement au bateau en prenant son appui sur la masse d'eau qui le supporte. On sait que sur une rivière le mouvement des roues produit des remous, des vibrations, des projections d'eau. Elles donnent lieu à une grande déperdition de force vive, et laissent beaucoup à désirer relativement à l'emploi de l'effort moteur.

En mer leur inconvénient est bien plus grave, à cause du mouvement de roulis et de tangage du bâtiment surtout dans les gros temps. Ces mouvements des vagues donnent au bâtiment des positions telles que certaines aubes choquent la masse d'eau horizontalement, et n'agissent pas pour pousser le navire, mais pour le soulever.

Une quantité énorme de la puissance motrice est ainsi absorbée au détriment de la marche. Ces inconvénients, très-graves à certains moments, peuvent être évités en marchant à

la voile, et suspendant l'action du moteur; mais alors les aubes plongées de la roue présentent une résistance très-grande au mouvement. Si on cherche à éviter cet inconvénient par un désembrayage, c'est-à-dire en rendant les roues mobiles sur leur axe, comme on dit *folles*, il en résulte une projection d'eau très-génante.

On réussit mieux à éviter les inconvénients des roues, quand on marche à la voile, en enlevant leurs palettes. Mais cette opération du désaubage est longue et dangereuse. Les roues à palettes employées à la navigation dans les canaux, dans les rivières et surtout en mer, laissent ainsi, comme on voit, beaucoup à désirer.

Emploi des hélices.

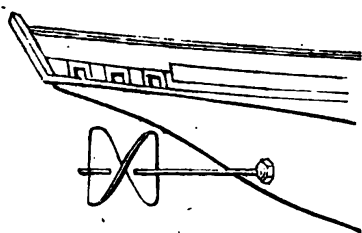
Un des meilleurs systèmes qu'on ait proposés pour remplacer les roues des bateaux avec avantage, consiste dans l'emploi d'une hélice installée à l'arrière du bateau ou du navire, sous les flots. On communique à cette hélice, ou plutôt à deux hélices placées de part et d'autre du milieu du bâtiment, car il est plus commode d'en employer une paire, un mouvement très-rapide autour de leur axe. La surface hélicoïdale, entraînée dans ce mouvement, prend son point d'appui sur la masse d'eau où elle est plongée, s'avance à la façon d'une vis, et pousse le navire. Le mouvement de la surface hélicoïdale aspire en quelque sorte l'eau suivant l'axe, et la rejette à l'opposé dans la même direction. Cette surface est ordinairement coulée en fonte. Les circonstances de leur emploi établissent une certaine analogie entre les hélices des bateaux, qui paraissent appelées à rendre de très-grands services, et les turbines.

Ce nouveau système est d'une installation extrêmement simple. Un petit diamètre suffit pour la surface hélicoïdale, et on ne lui donne qu'un tour. L'hélice, complètement plongée, produit peu de mouvement apparent dans l'eau, et seulement un sillage suivant l'axe. Cette circonstance permet d'apprécier son avantage sur les roues à palettes, car tous les mouve-

ments d'eau tumultueux que produisent les roues, ne peuvent avoir lieu qu'au détriment de la force du moteur.

La disposition de ce système, qui est fort simple, est repré-

Fig. 85.



sentée ci-contre, où on a figuré seulement une des hélices. Son axe horizontal traverse le bâtiment dans un collet fixé au bateau. La surface hélicoïdale est complètement dégagée, il faut qu'elle reçoive un mouvement très-rapide, ce qui exige beau-

coup de soins dans le montage. Cette rapidité est peut-être un inconvénient du nouveau système; elle produit une usure rapide des supports de l'axe.

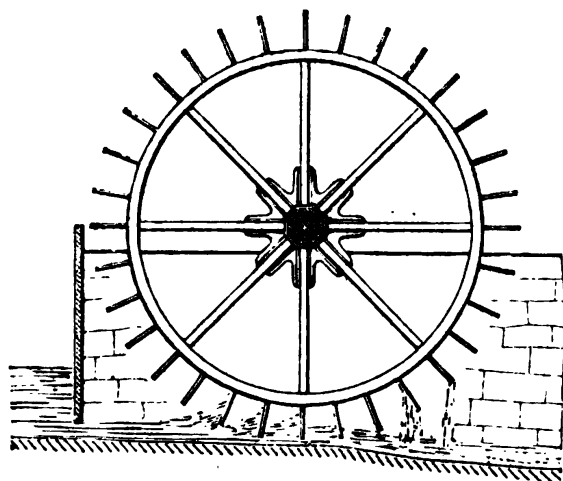
Roues à aubes planes recevant l'eau en dessous.

Les roues à aubes planes, outre leur usage dans un courant indéfini ou pour la propulsion des bâtiments, s'emploient encore dans le système des roues dites *prises en dessous*. Elles se placent alors sur un cours d'eau contre une vanne qu'on soulève pour les mettre en mouvement. L'eau sortant de la vanne a une vitesse qui correspond à la hauteur de son niveau. Elle suit un coursier horizontal, et heurte les palettes perpendiculairement; pour que l'eau n'agisse pas à contre-effet, et qu'elle se dégage facilement des palettes, le coursier reçoit un peu au delà du diamètre vertical de la roue une légère dénivellation. En laissant passer une certaine quantité d'eau sur la roue, on lui donne une vitesse qui peut s'accroître en soulevant davantage la vanne, ou en diminuant la résistance. Le travail transmis est mal utilisé, soit que la roue tourne très-vite, ou soit très-ralentie. L'expérience a appris qu'elle donne le maximum de travail quand la vitesse des palettes est un peu moins de la moitié de la vitesse de l'eau, environ 45 pour 100.

Ces roues, dont la disposition est représentée par la *fig. 86*, sont loin d'utiliser toute la force vive de la chute.

Et en effet l'eau s'échappe de la roue avec une vitesse un peu supérieure à celle des palettes, environ la moitié de celle de l'eau affluente. Elle emporte par là même le quart de la force vive disponible. Celle-ci est notablement moindre que

Fig. 86.



la force dépensée, à cause de la contraction de la veine liquide qui sort par la vanne, et des circonstances accessoires qui diminuent la dépense d'eau par cette vanne. Enfin, comme dans le cas où la roue à palettes planes est placée dans un courant indéfini, les filets d'eau en frappant les palettes reviennent en arrière et détruisent une partie de la force vive des filets affluents.

Il est très-important que les murs sur lesquels l'axe de la roue est appuyé, l'encaissent exactement. Ainsi l'eau ne peut passer dans l'intervalle; elle est ramenée sur les palettes, et on évite une des causes de déperdition de force vive signalées pour les roues pendantes sur bateaux.

Les roues à palettes ont à peu près le même rendement, 30 pour 100 au plus sur un cours d'eau ou sur un bateau; ainsi l'emploi du vannage fait perdre environ autant de force vive qu'en laissent sans effet utile les filets d'eau qui s'échappent librement de part et d'autre des palettes dans un courant indéfini; la perte causée par le vannage est même en général supérieure.

Les roues à palettes ont à peu près le même rendement, 30 pour 100 au plus sur un cours d'eau ou sur un bateau; ainsi l'emploi du vannage fait perdre environ autant de force vive qu'en laissent sans effet utile les filets d'eau qui s'échappent librement de part et d'autre des palettes dans un courant indéfini; la perte causée par le vannage est même en général supérieure.

La contraction à la sortie de l'eau par la vanne étant une des causes principales de la perte du travail moteur, on a dû chercher à l'atténuer. Il est clair que quand le vannage est droit, les filets d'eau qui descendent verticalement en suivant la vanne, tendent en quelque sorte à arrêter les filets qui sor-

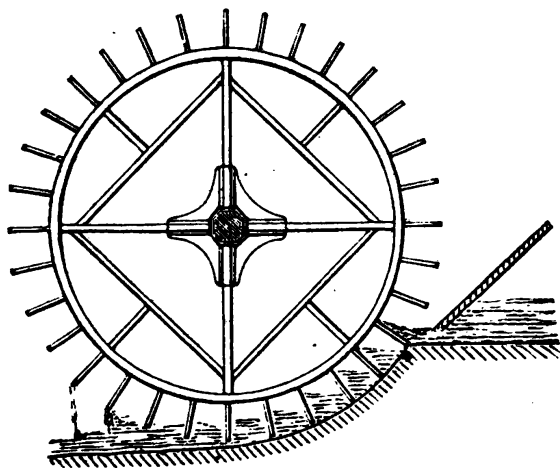
tent horizontalement; un vannage semblable produit par suite une forte contraction; elle peut être beaucoup moindre si le vannage est oblique, les filets à la sortie s'infléchissant à angle obtus.

L'inclinaison à 45° est à recommander, et l'avantage d'une vanne ainsi inclinée sur un vannage vertical est d'autant plus prononcé qu'il y a plus de pression d'eau sur l'orifice.

La perte de force vive qu'occasionne le retour en arrière des filets d'eau qui choquent les palettes fait qu'autant que possible on évite dans les roues de faire agir l'eau par impulsion. Cette perte est atténuée si l'eau vient prendre la roue par côté; cela par plusieurs motifs : parce que les filets d'eau qui choquent les palettes, les rencontrent alors obliquement et s'élèvent contre, sans revenir directement en sens inverse à contre-effet; parce que la vitesse qu'ils prennent en redescendant agit utilement sur les palettes; parce qu'enfin, quand cette vitesse est amortie, l'eau agit encore par son poids à raison de l'inclinaison des palettes.

L'avantage qu'on obtient d'une roue à palettes en y faisant venir l'eau de côté si elle est bien emboîtée dans un cour-

Fig. 87.



sier circulaire, et que l'eau sorte d'un vannage à 45° , est tel, que son rendement peut s'élever à 60 pour 100.

L'ensemble de cette roue est représenté par la *fig. 87*.

Dans certains cas, on peut disposer la roue pour que l'eau y arrive presque sans

vitesse. On la fait écouler par un déversoir, et elle tombe sur les palettes par côté, agissant par son poids. On comprend combien il importe dans ce cas que le coursier emboîte exactement la roue : autrement l'eau passant dans l'intervalle

ferait perdre beaucoup de l'effet. Il convient aussi que des contre-aubes empêchent l'eau d'entrer dans la roue au travers de la couronne; autrement l'eau en pénétrant ainsi, chargerait la roue sans aider au mouvement. La même observation s'applique aux roues sur lesquelles l'eau est amenée de côté par une vanne.

VINGTIÈME LEÇON.

Roues à aubes courbes. — Roues à auget recevant l'eau à la partie supérieure.

Roues à palettes courbes dites à la Poncelet.

Les roues à palettes planes qui reçoivent l'eau à la partie inférieure n'utilisent qu'une faible partie du travail dépensé; toutefois, comme elles ont l'avantage de marcher avec d'assez grandes vitesses et d'être d'une construction facile, M. Poncelet s'est proposé de les modifier pour augmenter leur rendement, en conservant les avantages qui leur sont propres.

A cet effet, il a remplacé les aubes planes par des aubes circulaires qui présentent leur tranche à la lame d'eau affluente. Ces aubes, emboîtées entre deux couronnes, forment des espèces d'augets. L'arc des courbes est perpendiculaire au fond des augets et coupe la circonférence extérieure sous un angle de 20 à 30 degrés, moindre ou plus grand, suivant que l'eau qui afflue sur les roues est en moindre ou en plus grande quantité.

Disposition du coursier.

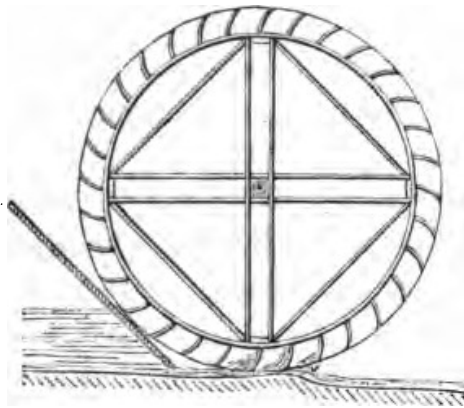
En courbant les aubes, M. Poncelet s'est proposé d'éviter le choc que produit l'eau contre ces aubes et son rejaillissement en sens inverse des filets affluents. Pour réaliser entièrement son idée, il eût fallu rendre l'arc de courbe tangent à la circonférence extérieure de la roue; mais avec cette construction, l'eau serait restée sur la roue à contre-effet. M. Poncelet, obligé de perdre par cette considération une partie de l'avantage qu'il s'était proposé, a modifié, pour le regagner, la construction du coursier. La partie tout à fait inférieure de la roue est emboîtée par un coursier exactement cylindrique, à section circulaire, avec deux centimètres de jeu, et un peu en amont le coursier est creusé de telle sorte, que l'eau s'élève pour

arriver sur les aubes, presque dans la direction de l'extrémité de la courbe qui dessine leur profil.

Là où l'eau tombe des aubes, le fond du canal est assez creusé pour que, s'échappant facilement, elle ne reste pas derrière, gênant le mouvement de la roue.

Ce système s'est peu répandu jusqu'ici, parce que tout ce qui complique tant soit peu la construction d'une roue est très-difficilement adopté par les praticiens qui l'établissent et doivent la réparer. Leur avantage est toutefois incontestable

Fig. 88.



quand il importe d'économiser l'eau. Les expériences annoncent, et cela se comprend d'après leur mode de construction, que ce système de roues, avec un vannage oblique, peut rendre 60 pour 100 du travail dépensé par le cours d'eau. Ainsi le système de M. Poncelet est aussi avantageux que les dispositions qui ont été signalées

pour prendre la roue de côté; on l'utilise pour les très-faibles chutes qui ne permettent pas de prendre ces dispositions. Ce système est représenté ci-contre (*fig. 88*); on a supposé une des couronnes enlevée pour montrer les palettes.

On peut assimiler à ce système les roues dont les palettes ne sont pas emboîtées entre deux couronnes, mais seulement courbées; celles aussi dont les aubes sont composées de deux ou trois palettes planes qui lui donnent une section polygonale. Quand les palettes ne sont pas emboîtées par les couronnes de part et d'autre de la roue, il importe naturellement pour conserver l'effet utile que le coursier les encastre avec précision.

Roues à augets.

Les roues à augets sont habituellement les plus puissantes des roues hydrauliques. Ce sont celles qui conviennent pour les chutes élevées. A cause de leur importance, on entrera dans

quelques détails sur leur construction ; on ne l'a pas fait pour les roues des autres systèmes ; mais ce qu'on va dire eût été semblable en grande partie et peut servir en ce qui concerne les autres roues.

Les roues à augets se composent essentiellement d'un arbre tournant muni à ses deux extrémités de tourillons et portant de 8 à 16 bras qui relient cet arbre à la couronne : celle-ci est munie d'un fond et porte les augets.

Arbre.

L'arbre est le plus souvent formé d'une pièce de bon bois de chêne, sa longueur est relative à la largeur de la roue. On lui donne 50 à 80 centimètres de diamètre. On le conserve rond ou on le taille octogone, sauf les extrémités qui portent les bras et que souvent on équarrit. Si l'on donnait à l'arbre entier une forme carrée, au repos de la roue, l'eau qui entre toujours un peu dans la couronne s'écoulerait mal de la face supérieure de l'arbre, et à la longue pourrait détériorer cette pièce importante. Comme on affaiblit ses extrémités par des entailles qu'on y pratique pour loger les tourillons, on les arrondit en leur donnant une légère convexité, et on les entoure de gros cercles de fer qui les consolident.

Tourillons et bras.

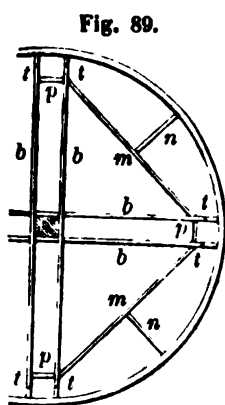
Les tourillons sont en fonte, roulant sur des coussinets en fonte également. Dans les machines bien soignées, on emploie de préférence les coussinets de bronze.

Pour des roues de 12 à 15000 kilogrammes, on donne aux tourillons un diamètre de 40 à 25 centimètres. On le réduit naturellement un peu pour les roues d'un poids moindre.

Les bras de la roue ne doivent pas traverser l'arbre pour ne pas l'affaiblir. On les réunit souvent par paires ; les deux paires, disposées en croix, laissent entre elles un carré qui forme la section de l'arbre suivant les faces de la roue. On les fixe à l'aide de coins de bois qu'on chasse avec force, et parmi lesquels on mêle quelques coins de fer.

Chacune de ces croix a quatre bras b (fig. 89), soutenant une des joues de la couronne. Il faut le plus souvent pour une roue huit bras principaux. Si elle a une grande largeur, il faut établir de la même manière, au milieu de l'axe, des bras intermédiaires.

Les bras doivent le plus souvent être reliés d'une face à l'autre de la roue par des tiges en fer rond t, t , qui préviennent leur écartement sous le poids de l'eau des augets. Ce poids d'eau agit en haut de la roue sur les bras, comme le poids d'une voûte qui tend à écarter les murs qui la soutiennent.



Quand les roues sont exposées à des secousses, ou que recevant un mouvement régulier elles ont un grand diamètre, les bras ne suffisent pas à leur donner toute la solidité désirable. On relie les bras parallèles par des pièces p perpendiculaires à leur direction, et les bras perpendiculaires par des pièces obliques m . On ajoute souvent encore des pièces n qui relient à la couronne le milieu des pièces m .

Autrefois on donnait aux bras de très-fortes dimensions; un excès dans ce genre est évidemment nuisible. Tout ce qui augmente le poids de la roue augmente le travail nécessaire pour l'ébranler et le travail passif des tourillons sur les paliers pendant le mouvement.

Quand les bois de chêne et de sapin qu'on emploie sont tout à fait sains, on peut réduire les dimensions qui étaient autrefois employées. Pour une roue de 10 mètres de diamètre, on peut réduire les bras jusqu'à un équarrissage de 18 à 20 centimètres près de l'arbre; de 12 à 15 au plus vers la couronne.

Dans certaines constructions modernes, au lieu d'assembler les bras comme il vient d'être indiqué, on les a disposés en rayons autour de l'arbre qu'on conserve alors rond ou octogone. On le munit de grosses bagues de fonte de même forme bien fixées à l'aide de coins et présentant des évidements dans les-

quels on engage les extrémités des bras. Tel est le système de la *fig.* 86 qui représente la roue à aubes planes prises en dessous.

Depuis quelques années que la fonte, le fer et la tôle sont plus employés dans la construction, on les a utilisés aussi pour les roues hydrauliques. On a fait les bras en fer forgé; ce sont des tiges de fer reliées à une extrémité à des bagues en fonte qui embrassent l'arbre en bois, et à l'autre extrémité à la couronne qui est en tôle comme les augets.

D'autres fois, on a fait l'arbre en fer forgé et on y a relié directement les bras en fer. Ces bras, dans le tour de la roue, sont alternativement croisés ou parallèles. Les bras croisés s'opposent surtout à l'écartement des faces de la roue sous le poids d'eau qu'elle supporte. Ils résistent comme les tirants de fer qui réunissent les faces opposées des roues en bois. Ces dispositions nouvelles sont avantageuses à la durée du moteur; mais il faut prendre garde que l'emploi du fer, de la fonte et de la tôle n'augmente pas trop le poids de la roue, par conséquent le frottement sur ses supports.

De la couronne et de son fond.

La couronne est formée par deux joues plates ou annulaires composées de madriers de 6 à 8 centimètres d'épaisseur. On les taille et on les assemble comme les jantes des roues de voiture. On les double extérieurement avec des planches qui ont moitié de leur épaisseur, principalement pour couvrir leurs joints et renforcer la couronne à l'extrémité des bras.

On donnait autrefois aux joues de 40 à 50 centimètres de large. Il est mieux de réduire cette dimension à 30 centimètres. On peut même souvent descendre au-dessous.

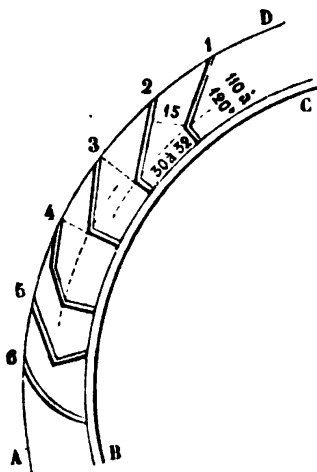
Le fond de la couronne se compose de planches transversales de 3 à 4 centimètres d'épaisseur, allant d'une joue à l'autre, on les joint comme les douves d'un tonneau. Entre les joues et dans les mortaises entaillées sur leurs faces intérieures se placent les planches ou palettes qui constituent l'auget.

Augets.

On donne différentes formes aux augets ; leur tracé importe au rendement de la roue et a été étudié avec précision (fig. 90).

Soit représenté par BC le fond de la couronne et son bord extérieur par AD ; on a donné, suivant les cas, les différentes formes 1, 2, 3, 4, 5, 6, aux cloisons de la roue.

Fig. 90.



La forme 1 s'obtient avec une palette perpendiculaire à la couronne qui, vers le fond, occupe le tiers de sa largeur, et une autre oblique faisant avec la première un angle de 110° à 120° .

La forme 2, qui n'en diffère pas essentiellement, s'obtient en prenant également une palette perpendiculaire au fond, large aussi du $\frac{1}{3}$ de la largeur de la couronne, en espaçant cette palette de la palette voisine de 30 à 32 centimètres contre le fond, et dirigeant la seconde palette à 15 centimètres de la précédente, comptés de l'angle de celle-ci.

On emploie souvent, en France, le tracé n° 3. La première palette est perpendiculaire au fond de la couronne, et prend la moitié de sa largeur. On dirige la seconde palette au point du bord de la couronne qui est sur le prolongement de la palette voisine. L'espacement des augets est encore de 30 à 32 centimètres.

On a soin que cet espacement corresponde à une division exacte de la circonférence de la roue, et même du quart de la roue ; car elle se construit habituellement en quatre parties.

Quelquefois on emploie le tracé n° 4 qui comporte trois palettes au lieu de deux ; l'extrémité de la troisième palette est encore sur le prolongement de la première palette de l'auget voisin.

La palette ainsi tracée retient bien l'eau ; mais les ouvriers écartent cette construction comme trop compliquée.

Pour obtenir, au contraire, une construction simple, on fait

quelquefois les deux palettes perpendiculaires, et on incline la première sur la couronne comme il est indiqué au n° 5.

Sans la difficulté d'exécution qu'on rencontre, et en visant surtout à ce que les augets conservent bien leur eau, il y aurait lieu de les faire courbes comme l'indique le profil n° 6. On ne le fait pas dans les roues en bois ; mais c'est, au contraire, la forme qu'on adopte pour les augets en tôle. L'avantage de cette forme a une contre-partie : ils ne s'emplissent pas bien.

Il importe naturellement que les augets d'une roue se vident facilement dès leur arrivée au point le plus bas, et surtout quand ils dépassent. Les constructions qu'on vient d'indiquer ont été combinées d'une manière favorable à cet égard. Toutefois, l'eau n'abandonnerait pas bien la palette du fond, si on ne la perceait de deux ou trois trous de 3 à 4 millimètres de diamètre ; l'air qui entre par ces trous empêche qu'un vide se forme derrière l'eau qui tombe et la retienne. Ils ont un autre avantage, celui de donner issue à l'air quand l'auget se remplit ; cela évite en partie les bouillonnements et les rejaillissements d'eau.

Quand l'auget est rempli, l'eau qui descend par ces trous d'un auget dans l'auget inférieur ne fait pas perdre d'effet utile, elle communique en descendant une petite impulsion.

Ce qui fait la différence essentielle des roues à augets d'avec les roues à palettes, c'est que l'eau agit le plus possible par son poids, et très-peu par choc. Le canal verse l'eau dans les augets presque sans vitesse.

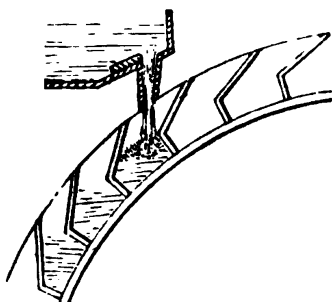
Ces roues doivent tourner avec une faible vitesse, autrement les augets se videraient en partie par l'effet de la force centrifuge, naturellement au détriment de l'effet utile.

Le même effet se produit même quand la vitesse est faible, lorsque les roues ont un petit diamètre et par suite une courbure trop prononcée.

Il est aussi difficile d'établir de trop grandes roues à augets, surtout d'une faible largeur. On est entraîné, pour leur donner de la stabilité, à leur donner trop de poids, ou à les enfermer dans de grandes constructions. Si on les laisse en prise au vent, il les gauchit.

Pour éviter de donner aux roues à augets un trop petit diamètre, on a, surtout en Angleterre, construit des roues dites à revers.

Fig. 91.



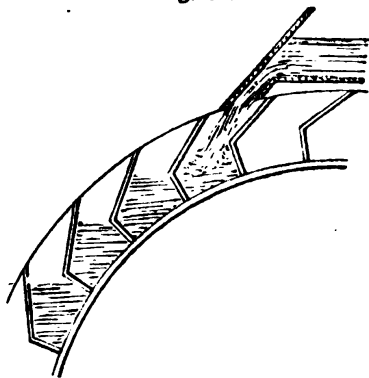
L'eau y est versée à contre-sens du mouvement de la roue. La disposition employée dans ce cas est indiquée par la *fig. 91*; elle a l'inconvénient que le versement de l'eau à contre-courant fait perdre de l'effet utile. On ne doit recourir à cette disposition que lorsque cet inconvénient est moindre que celui que produirait la force centrifuge sur une roue moins grande.

Manières de verser l'eau sur les roues à augets.

L'eau se verse diversement sur les roues à augets ordinaires, suivant que le cours d'eau est à régime à peu près constant, ou qu'au contraire son niveau peut varier.

Dans le premier cas, on fait arriver l'eau par-dessus la roue au moyen d'un canal dont le fond est d'un ou deux centimètres seulement au-dessus du fond du réservoir. On évase ce canal vers le réservoir pour faciliter l'entrée de l'eau sans remou.

Fig. 92.



Son extrémité passe à quelques centimètres au-dessus du sommet de la roue et verse l'eau dans les augets au delà. On règle la quantité d'eau qu'on verse sur la roue à l'aide d'une vanne placée à l'entrée du canal.

Si le cours d'eau est variable, le canal d'amenée sur la roue s'établit au niveau même du

fond du réservoir; on le ferme par en haut à l'aide d'une paroi inclinée, et on le termine par une buse.

Cette disposition (*fig. 92*) a le double inconvénient que le passage de l'eau dans la buse lui fait perdre de la force vive,

et que l'eau est projetée dans les augets au lieu d'y être simplement versée.

Par ces deux motifs, la chute n'est pas aussi bien utilisée que quand l'eau est versée par un canal ouvert.

On ne s'arrête à ce parti que si l'irrégularité du cours d'eau le rend indispensable ; quand l'eau a d'ordinaire une pression variable sur son orifice de sortie, il faut, en effet, pour utiliser cette pression dans ce cas, la projeter sur les augets. De plus, il faut qu'elle les atteigne au delà du sommet de la roue pour que cette projection aide au mouvement.

Ces détails sur la construction des roues doivent plutôt guider que servir de règle. Il importe surtout que le système de construction d'une roue harmonise bien ses différents éléments, qu'il soit en rapport avec la chute à utiliser et même l'emploi de la force motrice. A cet égard, il est bon de consulter l'usage du pays, pour l'utilisation de chutes semblables et de ne s'en écarter qu'en ce qu'il présente de défectueux.

VINGT ET UNIÈME LEÇON.

Rendement des diverses roues hydrauliques. — Turbines (1).

Les roues à augets, construites dans de bonnes conditions, peuvent rendre de 75 à 80 pour 100 de la force motrice de la chute dont on dispose; et il faut entendre par de bonnes conditions, que les augets reçoivent l'eau presque sans choc et en se remplissant bien, qu'ils la gardent en descendant jusqu'au bas de la roue, ce qui suppose une faible vitesse à sa circonférence; qu'en bas, ils se vident facilement pour éviter le contre-effet; et que la roue, construite solidement, soit aussi légère que possible pour réduire le frottement sur les coussinets.

On croyait autrefois qu'une roue à augets ne devait avoir qu'une vitesse à la circonférence de 1 à 2 mètres par seconde; elle peut être de 2^m,50, 3 mètres et même plus; l'essentiel, c'est que l'eau ne soit pas projetée par la force centrifuge, et, sous ce rapport, les roues d'un grand diamètre dont la courbure est moins prononcée, permettent une plus grande vitesse à la circonférence.

Si la vitesse qu'il convient de donner à la roue pour un bon rendement n'est pas celle dont on a besoin, on établit une communication de mouvement par engrenages, et on obtient la vitesse nécessaire en donnant d'autant moins de diamètre, et par conséquent d'autant moins de dents à l'engrenage auquel on transmet le mouvement, qu'on veut proportionnellement lui communiquer une plus grande vitesse angulaire.

(1) Quoique les turbines n'aient pas été indiquées explicitement au programme, on n'a pas cru pouvoir se dispenser d'en faire mention; on est entré pourtant peut-être dans moins de détails en ce qui les concerne, que si elles y eussent été mentionnées.

S'il est vrai qu'il convient de faire autant que possible une roue légère, cependant dans certains cas, en lui donnant du poids, on régularise le mouvement des mécanismes qu'elle entraîne, mais il ne faut pas prendre pour règle ce cas particulier où réellement la roue remplit deux fonctions : celle du moteur et celle du volant.

Choix des roues suivant les chutes.

On comprend, d'après le grand rendement des roues à augets, qu'on cherche à en multiplier l'usage, mais il n'est guère possible de les employer pour les très-hautes chutes au delà de 12 mètres, comme on l'a dit.

On n'avait autrefois d'autre moyen d'utiliser les chutes plus élevées que de les diviser, sauf à rendre le mouvement des roues solidaire ; actuellement, les turbines utilisent assez bien ces hautes chutes sans les partager, ce qui est avantageux, à cause de la difficulté particulière, si, par exemple, on employait deux roues, de bien associer les actions de deux moteurs.

Les hautes chutes se rencontrent naturellement dans les régions de montagnes élevées, tandis que dans les contre-forts de ces hautes chaînes on trouve plus habituellement des chutes de 5 à 6 mètres environ ; on peut utiliser celles-ci à peu près avec un égal avantage sur des roues à augets ordinaires ou sur des roues à revers. La roue rend 60 à 70 pour 100 de la force de la chute. On rencontre l'un et l'autre de ces genres de roues dans les établissements qui utilisent la force vive des eaux de ces régions. Les usines y sont plus nombreuses que dans les hautes montagnes, où la difficulté des communications ne favorise pas le développement de l'industrie.

Pour les chutes de 2 à 3 mètres environ, les meilleures roues sont les roues à palettes prises de côté et emboîtées dans un coursier circulaire, en les alimentant s'il est possible en déversoir et y versant l'eau sans la projeter.

Cela n'est possible que si le régime du cours d'eau est à peu près constant, autrement on est obligé de prendre l'eau au niveau inférieur du réservoir, et, quand elle est haute, elle

arrive sur la roue avec vitesse. Il faut alors recourir à la disposition de la roue de côté représentée par la *fig. 87*, ou à la roue à palettes courbes de M. Poncelet. Ce dernier parti est à recommander, surtout si la chute a moins de 2 mètres. On peut, si la roue est bien construite et par conséquent légère, obtenir, dans l'un ou l'autre cas, un rendement de 60 pour 100, même un peu plus.

Dès qu'on ne donne pas l'eau par un déversoir, il est bien préférable d'employer une vanne inclinée à 45° qu'une vanne verticale, c'est ce que suppose le rendement indiqué ci-dessus.

Les anciennes roues à palettes planes doivent être évitées toutes les fois qu'on attache de l'intérêt à l'économie du travail moteur, puisqu'elles n'en utilisent que le quart. Elles ne sont recommandables que quand la chute a beaucoup plus de puissance qu'on n'en a besoin, et par l'extrême simplicité de leur établissement.

Des turbines ou roues à axe vertical.

Les turbines ont eu pour point de départ la roue à rouet dont on a donné la description. Dans cette roue, qui reçoit le mouvement au fond d'une cuve par l'impulsion et le poids de l'eau, le choc de l'eau a le même désavantage qu'on a signalé pour les roues ordinaires : il produit un rejaillissement et celui-ci une grande perte de force vive.

M. Burdin, frappé de cette perte de travail moteur, a établi à Pontgibaud (Puy-de-Dôme) une roue horizontale à aubes courbes, ou turbine à évacuations alternatives, dont l'effet s'est élevé jusqu'à 67 pour 100 du travail confié.

Le canal d'aménée de l'eau, percé de trois ouvertures rectangulaires munies de trois canaux obliques, faisait arriver l'eau à la circonférence de la roue. Celle-ci portant à sa circonférence des canaux courbés inversement à l'inclinaison des canaux rectilignes supérieurs, entrainait en mouvement sous l'impulsion et le poids de l'eau du canal, présentant successivement, trois par trois, l'ouverture de ses canaux courbes au nombre de quinze, à l'ouverture inférieure des trois canaux rectilignes du canal d'aménée.

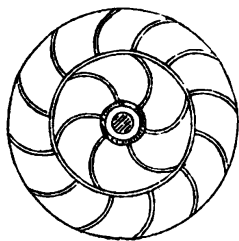
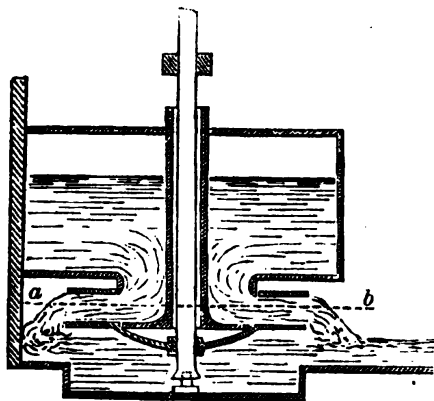
La roue était très-rapprochée des trois orifices du canal d'amenée, pour que l'eau ne s'en échappât pas sans effet. On a nommé cette roue à évacuations alternatives, parce que l'eau ne s'écoulait pas dans l'intervalle du passage des orifices des canaux courbes, de l'un à l'autre des canaux rectilignes.

Elle avait deux inconvénients principaux : l'intermittence anéantissait la vitesse de l'eau avec choc, d'où suivait une perte de force réelle ; d'autre part, pour débiter une assez faible quantité d'eau, il avait fallu employer une roue d'un grand diamètre et par conséquent d'un grand poids. Aussi ce premier essai ne s'est pas répandu dans l'industrie. Il n'en est pas de même des trois turbines dont on va parler, qui sont très-employées et d'une invention toute récente. Chacune porte le nom de son inventeur.

Turbine de M. Fourneyron.

La turbine de M. Fourneyron, dans laquelle l'eau descend vers le centre de la roue et se répand vers la circonférence, est

Fig. 93.



plus avantageuse que la précédente. Elle offrait dans sa réalisation pratique d'assez grandes difficultés : elles ont été surmontées, et, depuis, cette turbine est très-employée.

Le canal qui amène l'eau sur la roue est terminé par une espèce de chambre-réservoir dont le fond, souvent en charpente, est percé d'une ouverture circulaire.

On y ajuste une couronne annulaire en fonte, traversée dans son milieu par l'axe de rotation et la gaine qui l'enveloppe.

Cette couronne est dessinée en plan au niveau *ab* de la coupe verticale représentée par la *fig. 93*.

L'eau qui descend est obligée de s'y contourner. Les filets liquides perdent leur direction verticale et tendent à sortir horizontalement.

L'eau se divise en autant de parties qu'il y a de compartiments dans la couronne. Ceux-ci sont séparés par des cloisons verticales courbes fixées suivant la disposition indiquée par la figure. Ces directrices sont représentées au nombre de 6. Elles font sortir l'eau contre des aubes mobiles, également verticales, qui sont en nombre double ou à peu près. La *fig. 93* les représente au nombre de 12. Elles sont disposées sur une couronne reliée à l'axe par une sorte de cuvette, et lui communiquent le mouvement de rotation que les aubes mobiles prennent sous l'impression de la veine fluide.

La roue, construite en fonte et d'une seule pièce, est exempte de toutes les saillies qui déplaceraient l'eau dans son mouvement. Son fond est traversé par l'arbre auquel il est solidement fixé. Celui-ci repose sur un pivot aciéré, sur lequel son extrémité à fond d'acier forme crapaudine.

Les courbures des aubes directrices et des aubes mobiles sont inverses. Les directrices rencontrent la circonférence intérieure sous un angle de 25 à 30 degrés, et les aubes mobiles perpendiculaires à la circonférence intérieure forment avec la circonférence extérieure un angle d'environ 25 degrés.

Il existe dans le cylindre immobile un cylindre intérieur qui sert de vanne. Il porte trois tiges verticales qui permettent de soulever et d'abaisser le cylindre-vanne, d'augmenter ou de diminuer par conséquent la quantité d'eau qui afflue sur la couronne mobile.

L'ensemble des expériences faites sur les turbines Fourneyron, lesquelles sont nombreuses et tout à fait pratiques, établit qu'elles peuvent réaliser 70 pour 100 de l'effort confié. Elles sont favorables aussi bien pour les grandes que pour les moyennes ou les petites chutes et peuvent marcher sans perte notable à des vitesses très-éloignées de celle qui donne le maximum d'effet.

Quand elles sont noyées, alors même qu'elles utilisent de

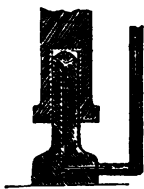
faibles chutes, elles rendent presque autant que si elles ne l'étaient pas.

Elles ont, en outre, l'avantage de n'occuper que peu de place, de pouvoir être établies dans quelque endroit d'une usine qu'on veut. Comme elles marchent à des vitesses bien supérieures à celles des autres roues, elles dispensent souvent des transmissions et du travail résistant qu'occasionne leur emploi.

Système particulier de graissage.

Le pivot de la turbine Fourneyron est sous l'eau. Si, comme à l'ordinaire, le pivot était sur l'axe et reposait sur la crapau-

Fig. 94.



dine, l'huile employée au graissage, spécifiquement plus légère que l'eau, s'échapperait pour gagner sa surface. Pour y obvier, on termine l'arbre par une cavité en forme de cloche; elle forme crapaudine, et le pivot qui est inférieur s'y engage. Cette disposition est représentée ci-contre en coupe verticale (fig. 94).

Le tourillon est percé d'un canal recourbé verticalement et qui se divise en deux branches. Il sert à faire arriver l'huile.

On a varié ce mode de graissage en faisant descendre l'huile par un canal intérieur à l'axe de la turbine. Cette disposition évite aussi l'inconvénient signalé.

Turbine de M. Fontaine Baron.

La turbine de M. Fontaine Baron diffère essentiellement de la précédente en ce que les aubes mobiles y sont formées de surfaces hélicoïdales dont la génératrice horizontale passe par l'axe de la roue. L'élément supérieur de leur directrice est sensiblement vertical et son élément inférieur est incliné à l'horizon de 20 à 30 degrés. Au-dessus de cette couronne, dont la hauteur est environ le dixième de son diamètre, est celle qui porte les aubes distributrices. Celles-ci, dont le nombre est moitié en général du nombre des aubes mobiles, sont de même des surfaces hélicoïdales engendrées par une ligne

horizontale passant par l'axe. Leur directrice est une courbe verticale vers le haut et formant vers le bas un angle de 12 à 25 degrés, et quelquefois plus, avec l'horizon.

Cette turbine présente à peu près les mêmes avantages et a le même rendement que celle de M. Fourneyron.

L'eau sort des aubes distributrices de haut en bas au lieu d'être dirigée latéralement sur les aubes mobiles, d'où suit qu'elle y agit en partie par son poids, tandis que dans la turbine de M. Fourneyron elle agit par impulsion.

Elle offrait la même difficulté pour le graissage; mais profitant d'une idée heureuse due à M. Arçon, ingénieur, M. Fontaine a placé hors de l'eau le pivot de la roue.

L'arbre mobile auquel est fixée par une sorte de cuvette la couronne des aubes mobiles, est creux et forme manchon. Au

Fig. 95.

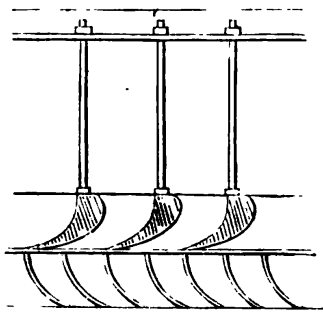


centre s'élève verticalement un arbre solidement fixé au sol du bief inférieur. L'arbre creux se recourbe hors de l'eau en une sorte d'anneau portant un pivot; au-dessus il reste plein. L'arbre fixe porte une crapaudine. Cette disposition est figurée ci-contre en coupe (fig. 95).

Les réparations, la visite et le graissage du pivot sont faciles. Quand le pivot est submergé, au contraire, les soins à donner sont très-difficiles.

Dans la turbine de M. Fontaine, chaque aube fixe porte une tige verticale semblable aux tiges qui supportent le cylindre-

Fig. 96.



vanne de la turbine Fourneyron; ces aubes ont d'ailleurs un renflement dans l'épaisseur, qui fait qu'en les abaissant on étrecit le passage de l'eau; c'est ce à quoi sert la tige de chaque aube fixée à la partie supérieure du cabinet d'eau, au moyen d'un écrou. La fig. 96 fait connaître ce détail et présente plusieurs aubes

coupées par un plan vertical un peu en dedans du cylindre extérieur des aubes fixes et mobiles.

Turbine de MM. André Koechlin et C^{ie}.

MM. André Koechlin et C^{ie} ont cherché un nouveau système qui réunit aux avantages des turbines précédentes celui d'une construction plus simple et qui entraînant moins de frais d'établissement et d'entretien.

Une grande cause de dépense dans l'établissement d'une turbine consiste dans les travaux de fondations, qui sont difficiles au-dessous du niveau d'aval et souvent dépassent les prévisions.

De plus, les turbines précédentes, établies au-dessous du niveau d'aval, ne peuvent être mises à sec qu'au moyen d'épuisements. MM. André Koechlin et C^{ie} ont, pour parer à ces difficultés, mis en pratique ce principe : que si deux biefs superposés sont mis en communication par un tuyau, qu'on en resserre la section à une hauteur quelconque, et qu'on y établisse un récepteur analogue à la turbine Fontaine Baron, on peut recueillir sur ce récepteur, à l'endroit resserré, tout le travail moteur produit par l'écoulement de l'eau dû à la différence du niveau des deux biefs.

Comme l'action de l'eau se produit simultanément par la pression de la colonne qui est supérieure au moteur, et, si on peut s'exprimer ainsi, par l'attraction de la colonne qui lui est inférieure, on a appelé cette turbine à *double effet*. La disposition des aubes directrices et des aubes mobiles est analogue à celle des turbines de M. Fontaine Baron. Le large tuyau qui met en communication les deux biefs porte à l'intérieur, sur un étranglement, les deux couronnes de la turbine qui sont en fonte. L'extrémité inférieure du tuyau doit plonger au-dessous du niveau d'aval.

La crapaudine, qui reçoit le pivot de l'arbre vertical, est placée dans l'intérieur de ce tuyau de fonte, à la hauteur la plus convenable entre les deux niveaux, pour que, quand la roue est à sec, on l'ait à portée.

Des expériences faites avec soin ont prouvé que cette turbine pouvait rendre depuis 72 jusqu'à 83 pour 100 du travail moteur. Il est à remarquer que la vitesse avec laquelle l'eau quitte

les aubes concourt à l'effet utile. Ce moteur présente aussi l'avantage que la veine affluente est moins déviée dans sa direction que dans la turbine de M. Fourneyron. Quant à la manière dont agit l'eau au-dessous du récepteur, il est évident qu'il se produit dans le tuyau une action analogue à celle qui suspend l'eau dans une cloche renversée quand on la soulève au-dessus d'un réservoir et que l'air n'y pénètre pas.

La nécessité de ne pas laisser pénétrer l'air sous la turbine pour ne pas nuire à son effet, fait comprendre pourquoi on fait descendre le tuyau au-dessous du niveau d'aval.

Ces trois turbines, depuis que l'usage du nouveau moteur s'est répandu, ont reçu des améliorations et des modifications; quelques-unes portent le nom de leur auteur. Les détails de ces nouvelles constructions nous écarteraient de notre objet.

Nous avons expliqué le principe de la turbine Fourneyron et les différences qu'ont présentées avec ce moteur les deux autres turbines employées tout d'abord. Cela, pensons-nous, doit suffire à faire comprendre et même apprécier le mérite des dispositions nouvelles, même de celles qui pourront surgir; cet objet est tellement nouveau, qu'il est à croire qu'il exercera encore l'esprit d'invention.

Autant qu'on peut se prononcer sur ce qui n'est pas, nous pensons que le progrès se trouvera en visant à simplifier la construction, l'entretien des turbines, et le système de vannage qui doit pourvoir aux irrégularités du cours d'eau.
