

LES CLASSIQUES DE LA MÉCANIQUE DES FLUIDES ET DE L'HYDRAULIQUE

SÉRIE PUBLIÉE SOUS LA DIRECTION DE ENZO O. MACAGNO

Les textes de cette série seront publiés sans corrections d'aucune sorte, excepté lorsqu'il s'agira d'erreurs typographiques évidentes. Le lecteur sera ainsi confronté avec le texte original tel qu'il se présentait. Les traductions seront aussi littérales que possible, de façon à permettre l'accès le plus direct au texte original.

Les suggestions concernant les textes à inclure dans cette série seront les bienvenues, spécialement si des indications précises sont données, dans le cas d'articles très longs ou de livres, sur les parties considérées comme les plus importantes.

CLASSICAL WORKS IN FLUID MECHANICS AND HYDRAULICS

A SERIES SELECTED BY ENZO O. MACAGNO

No attempt to correct errors, if they would be detected, will be made, unless they appear as obvious misprints. Each reader will be confronted with the original writing as it was. Translations in this series are intended to be quite literal with the purpose of providing an access as direct as possible to the original form of the writing.

Suggestions to include material in this series will be most welcome, especially if indications are given of the excerpts that are considered valuable in the case of long papers or books.

JOHN SMEATON (1724-1792)

AN EXPERIMENTAL ENQUIRY CONCERNING THE
NATURAL POWERS OF WATER AND WIND TO TURN MILLS AND OTHER MACHINES
DEPENDING ON A CIRCULAR MOTION

Read before the Royal Society, May 3 and 10, 1759

Excerpts

RECHERCHES EXPÉRIMENTALES SUR L'EAU ET LE VENT
CONSIDÉRÉS COMME FORCES MOTRICES APPLICABLES AUX MOULINS
ET AUTRES MACHINES A MOUVEMENT CIRCULAIRE

Lu devant la Société Royale de Londres, les 3 et 10 mai 1759

Extraits

tirés de la traduction française par P. S. GIRARD, Ingénieur en chef des Ponts et Chaussées,
Directeur du Canal de l'Ourcq et des Eaux de Paris, Membre de l'Institut d'Égypte, etc.,
publiée à Paris (COURCIER) et La Haye (IMMERZEELE et Compagnie) en 1810

AN EXPERIMENTAL INQUIRY
 CONCERNING THE
 NATURAL POWERS
 OF WATER AND WIND
 TO TURN
 MILLS AND OTHER MACHINES
 DEPENDING ON
 A CIRCULAR MOTION

Read before the Royal Society, May 3 and 10, 1759¹

What I have to communicate on this subject was originally deduced from experiments made on working models, which I look upon as the best means of obtaining the outlines in mechanical inquiries. But in this case it is very necessary to distinguish the circumstances in which a model differs from a machine in large; otherwise a model is more apt to lead us from the truth than towards it. Hence the common observation, that a thing may do very well in a model that will not answer in large. And, indeed, though the utmost circumspection be used in this way, the best structure of machines cannot be fully ascertained, but by making trials with them, when made of their proper size. It is for this reason that though the models referred to, and the greater part of the following experiments, were made in the years 1752 and 1753, yet I deferred offering them to the Society, until I had an opportunity of putting the deductions made therefrom in real practice, in a variety of cases, and for various purposes; so as to be able to assure the Society that I have found them to answer.

PART I.²

CONCERNING UNDERSHOT WATER WHEELS

PLATE I. Fig. 1. is a perspective view of the machine for experiments on water-wheels;

PLATE II. Fig. 2. is a section of the same machine, wherein the same parts are marked with the same letters as in Fig. 1.

Fig. 3. represents one end of the main axis: with a section of the movable cylinder, marked O in the preceding figures.

The word *Power*, as used in practical mechanics, I apprehend to signify the exertion of strength, gravitation, impulse, or pressure, so as to produce motion: and, by means of strength,

1. This paper was awarded a gold medal by the Royal Society of London, and was made part of a book published in 1794 under the title: *Experimental Enquiry concerning the Natural Powers of Wind and Water to turn Mills and other Machines depending on a Circular Motion. And an Experimental Examination of the Quantity and Proportion of Mechanic Power Necessary to be employed in giving Different Degrees of Velocity to Heavy Bodies from a State of Rest. Also New Fundamental Experiments upon the Collision of Bodies.*

2. Part II of this paper was entitled "Concerning Overshot Wheels", and was read before the Royal Society on May 24, 1759.

RECHERCHES
 EXPERIMENTALES SUR L'EAU
 ET LE VENT
 CONSIDÉRÉS
 COMME FORCES MOTRICES
 APPLICABLES AUX
 MOULINS ET AUTRES MACHINES
 A MOUVEMENT CIRCULAIRE

Lu devant la Société Royale de Londres, les 3 et 10 mai 1759¹

Les recherches contenues dans ce Mémoire sont le résultat d'expériences faites originairement sur des modèles de machines. Je regarde ce moyen comme le meilleur de ceux à l'aide desquels on peut obtenir le degré de précision dont les recherches relatives à la mécanique-pratique sont susceptibles; mais, en l'employant, il importe de distinguer les circonstances par lesquelles un modèle diffère d'une machine exécutée de grandeur naturelle; autrement un petit appareil est plutôt propre à nous écarter de la vérité qu'à nous y conduire. De là l'observation générale, qu'un essai peut réussir très-bien sur un modèle, et n'avoir point de succès lorsqu'on le répète sur une grande machine; en effet, quelques soins qu'on apporte à des expériences de ce genre, on n'est pleinement assuré d'avoir donné à une machine la meilleure construction possible, qu'après l'avoir soumise elle-même à l'épreuve. C'est pour cette raison qu'ayant, dès les années 1752 et 1753, fait exécuter les modèles que je vais décrire, et recueilli la plus grande partie des expériences dont je vais rendre compte, j'ai différé de les offrir à la Société, jusqu'à ce que j'aye eu l'occasion de vérifier les conclusions tirées de ces expériences dans un si grand nombre de cas, que je peux répondre de leur accord avec les résultats de la pratique.

PREMIÈRE PARTIE²

DES ROUES A AUBES

PLANCHE I^{re}. Fig. I^{re}. — Vue perspective de l'appareil qui a servi aux expériences sur les roues à aubes.

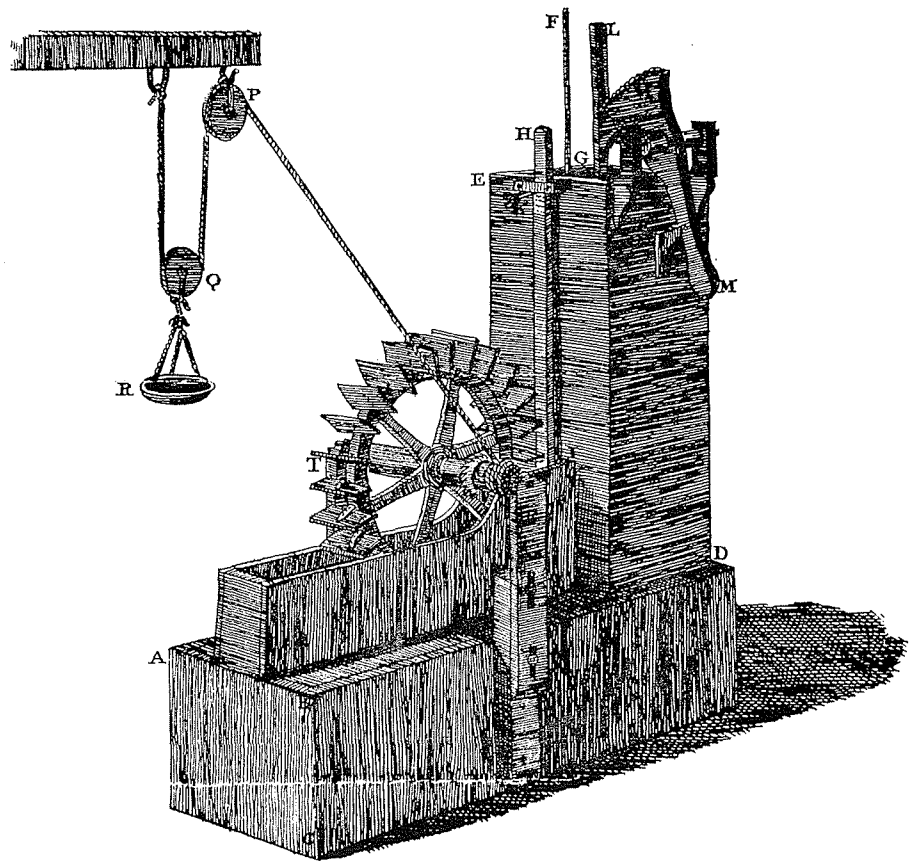
PLANCHE II. Fig. 2^e. — Coupe de la même machine, où les mêmes objets sont indiqués par les mêmes lettres que dans la figure première.

La figure 3^e représente une des extrémités de l'arbre de la roue, avec une coupe du cylindre mobile indiqué par la lettre O sur les figures précédentes.

Le mot *puissance*, tel qu'on l'emploie dans la *mécanique-pratique*, signifie l'exercice d'une force telle que la pesanteur, l'impulsion ou la pression appliquée à produire le mouvement.

1. Une médaille d'or fut attribuée par la Société Royale de Londres à ce mémoire, qui fut inclus dans un livre publié en 1794 (voir ci-contre, dans la note se rapportant au texte anglais, le titre de ce livre).

2. La deuxième partie de ce mémoire, intitulée : « Des roues à augets ou frappées par-dessus », fut lue devant la Société Royale de Londres le 24 mai 1759.



Scale of Inches to Fig. 3.

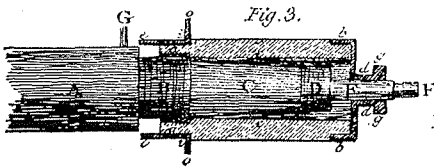
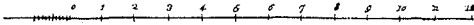


Fig. 3.

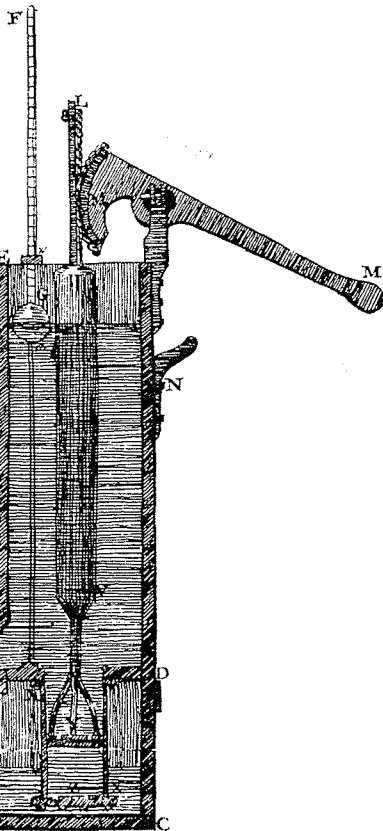
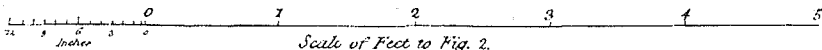


Fig. 2.



Scale of Feet to Fig. 2.

gravitation, impulse, or pressure, compounded with motion, to be capable of producing an effect; and that no effect is properly mechanical, but what requires such a kind of power to produce it.

The raising of a weight, relative to the height to which it can be raised in a given time, is the most proper measure of power; or, in other words, if the weight raised is multiplied by the height to which it can be raised in a given time, the product is the measure of the power raising it; and, consequently, all those powers are equal, whose products, made by such multiplication, are equal: for if a power can raise twice the weight to the same height, or the same weight to twice the height, in the same time that another power can, the first power is double the second: and if a power can raise half the weight to double the height, or double the weight to half the height, in the same time that another can, those two powers are equal. But *note*, all this is to be understood in case of slow or equable motion of the body raised; for in quick, accelerated, or retarded motions, the *vis inertiae* of the matter moved will make a variation.

In comparing the effects produced by water-wheels, with the powers producing them; or, in other words, to know what part of the original power is necessarily lost in the application, we must previously know how much of the power is spent in overcoming the friction of the machinery, and the resistance of the air; also, what is the real velocity of the water at the instant that it strikes the wheel; and the real quantity of water expended in a given time.

From the velocity of the water, at the instant that it strikes the wheel, given, the height of head productive of such velocity can be deduced, from acknowledged and experimented principles of hydrostatics: so that, by multiplying the quantity, or weight of water, really expended in a given time, by the height of a head so obtained, which must be considered as the height from which that weight of water had descended in that given time, we shall have a product, equal to the original power of the water, and clear of all uncertainty that would arise from the friction of the water in passing small apertures: and from all doubts, arising from the different measures of spouting waters, assigned by different authors. On the other hand, the sum of the weights raised by the action of this water, and of the weight required to overcome the friction and resistance of the machine, multiplied by the height to which the weight can be raised in the time given, the product will be equal to the effect of that power; and the proportion of the two products will be the proportion of the *power* to the *effect*; so that by loading the wheel with different weights successively, we shall be able to determine at what particular load, and velocity of the wheel, the effect is a *maximum*.

The manner of finding the real velocity of the water, at the instant of its striking the wheel; the manner of finding the value of the friction, resistance, &c. in any given case; and the manner of finding the real expense of water, so far as concerns the following experiments, without having recourse to theory; being matters upon which the following determinations depend, it will be necessary to explain them.

To determine the Velocity of the Water striking the Wheel

It has already been mentioned, in the reference to the figures, that weights are raised by a cord winding round a cylindrical part of the axis. First, then, let the wheel be put in motion by the water, but without any weights in the scale; and let the number of turns in a minute be 60: now it is evident, that

La *puissance*, par l'emploi de ces forces mises en action, est capable de produire un certain effet. Ainsi aucun effet n'est, à proprement parler, mécanique, mais exige toujours, pour avoir lieu, l'action d'une puissance de ce genre.

L'élévation d'un poids à hauteur déterminée, dans un temps donné, est la mesure la plus propre d'une *puissance* quelconque; ou, en d'autres termes, si le poids élevé est multiplié par la hauteur de son ascension, en un temps donné, le produit sera la mesure de la puissance qui l'élève; et conséquemment les puissances seront égales toutes les fois que les produits de cette multiplication seront égaux. Car si une puissance peut élever un poids double à la même hauteur, ou un même poids à une hauteur double dans le même temps qu'une autre puissance, la première sera double de la seconde; et de même, si une puissance peut élever la moitié au double de la hauteur, ou le double du poids à une hauteur sous-double dans le même temps qu'une autre puissance, l'une et l'autre seront égales entre elles. Cela ne doit s'entendre cependant que dans le cas où le mouvement du corps élevé est uniforme; car si ce mouvement était accéléré ou retardé, la force d'inertie du mobile apporterait quelque changement à ce qui vient d'être dit.

Pour comparer les effets des roues à eau avec les puissances qui produisent ces effets, c'est-à-dire pour connaître la portion de la puissance originaire qui est perdue dans son application, il faut déterminer quelle partie de cette puissance est consommée à vaincre le frottement de la machine et la résistance de l'air. Il faut aussi déterminer quelle est la vitesse de l'eau à l'instant où elle frappe la roue, et la quantité dépensée en un temps donné.

La vitesse de l'eau, à l'instant où elle frappe la roue, étant connue, la hauteur de la charge génératrice de cette vitesse peut être déduite des principes de l'hydrostatique; de sorte qu'en multipliant le volume ou le poids de l'eau réellement dépensée, en un temps donné, par la hauteur de la charge ainsi déterminée, hauteur qui peut être considérée comme celle d'où le volume d'eau dépensé est descendu, on obtient une expression de la puissance débarrassée de toutes les incertitudes qui peuvent naître du frottement de l'eau qui s'écoule par de petits orifices, et de tous les doutes que différents auteurs ont élevés sur la mesure des eaux courantes.

D'un autre côté, si l'on ajoute le poids élevé par l'action de cette eau, au poids nécessaire pour vaincre le frottement et la résistance de la machine, et que l'on multiplie leur somme par la hauteur à laquelle le tout peut être élevé en un temps donné, le produit sera égal à l'effet de la puissance. Le produit de la quantité d'eau dépensée par la hauteur de sa chute, comparé au produit de la somme des poids élevés par la hauteur de leur ascension, donnera le rapport de la *puissance* à l'*effet*. Ainsi, en chargeant successivement la roue de différents poids, et en tenant compte de leurs élévations respectives, on pourra déterminer la charge et la vitesse de la roue auxquels correspond le *maximum* d'effet.

Les procédés particuliers que nous avons employés pour trouver la vitesse réelle de l'eau au moment où elle frappe la roue, pour trouver la valeur du frottement, de la résistance de l'air, etc.; enfin pour assigner la dépense effective de l'eau, avec un degré de précision convenable, sans avoir recours à la théorie, nous ayant fourni les résultats des expériences dont nous allons rendre compte; il est nécessaire, avant d'aller plus loin, de faire connaître ces procédés.

Détermination de la vitesse de l'eau qui frappe les aubes de la roue

On a déjà dit, dans l'explication des figures, que les poids sont élevés par une corde qui s'enroule sur une partie cylindrique de l'arbre de la roue.

Supposons d'abord que la roue mise en mouvement par l'eau, sans qu'il y ait aucun poids dans le plateau de balance que la corde tient suspendu, fasse 60 révolutions en une minute. Il est évident que, si elle n'éprouvait ni frottement ni résistance,

was the wheel free from friction and resistance, that 60 times the circumference of the wheel would be the space through which the water would have moved in a minute, with that velocity wherewith it struck the wheel; but the wheel being encumbered by friction and resistance, and yet moving 60 turns in a minute, it is plain that the velocity of the water must have been greater than 60 circumferences before it met with the wheel. Let now the cord be wound round the cylinder, but contrary to the usual way, and put a weight in the scale; the weight so disposed (which may be called the *counter-weight*) will endeavour to assist the wheel in turning the same way as it would have been turned by the water: put, therefore, as much weight into the scale as, without any water, will cause it to turn somewhat faster than at the rate of 60 turns in a minute; suppose 63; let it now be tried again by the water, assisted by the weight; the wheel, therefore, will now make more than 60 turns; suppose 64: hence we conclude the water still exerts some power in giving motion to the wheel. Let the weight be again increased so as to make $64\frac{1}{2}$ turns in a minute without water: let it once more be tried with water as before; and suppose it now to make the same number of turns with water as without, viz. $64\frac{1}{2}$: hence, it is evident, that in this case the wheel makes the same number of turns in a minute, as it would do if the wheel had no friction or resistance at all, because the weight is equivalent thereto; for, was it too little, the water would accelerate the wheel beyond the weight, and, of too great, retard it; so that the water now becomes a *regulator* of the wheel's motion; and the velocity of its circumference becomes a measure of the velocity of the water.

In like manner, in seeking the greatest product or *maximum* of effect, having found by trials what weight gives the greatest product, by simply multiplying the weight in the scale by the number of turns of the wheel, find what weight in the scale, when the cord is on the contrary side of the cylinder, will cause the wheel to make the same number of turns the same way, without water. It is evident that this weight will be nearly equal to all friction and resistance taken together; and, consequently, that the weight *in* the scale, with twice³ the weight of the scale, added to the back or counter-weight, will be equal to the weight that could have been raised, supposing the machine had been without friction or resistance; and which multiplied by the height to which it was raised, the product will be the greatest effect of that power.

The Quantity of Water expended is found thus:—

The pump made use of for replenishing the head with water was so carefully made, that, no water escaping back by the leathers, it delivered the same quantity of water at every stroke, whether worked quick or slow; and as the length of the stroke was limited, consequently, the value of one stroke (or, on account of more exactness, 12 strokes) was known by the height to which the water was thereby raised in the head; which, being of a regular figure, was easily measured. The sluice, by which the water was drawn upon the wheel, was made to stop at certain heights by a peg; so that when the peg was in the same hole, the aperture for the effluent water was the same. Hence the quantity of water expended by any given head, and opening of the sluice, may be obtained: for, by observing how many strokes a minute was sufficient to keep up the surface of the water at the given height, and multiplying the number of strokes by the value of each, the water expended by any given aperture and head in a given time will be given.

These things will be further illustrated by going over the *calculus* of one set of experiments.

L'espace que l'eau parcourrait dans une minute, avec une vitesse égale à celle du choc, serait égal à 60 fois le développement de la circonférence de la roue; mais comme le mouvement de cette roue est retardé par le frottement et la résistance de l'air, il est évident, quoique sa vitesse ait été de 60 tours par minute, que celle de l'eau avant de la frapper doit avoir été plus grande.

Supposons maintenant que la corde soit enroulée sur le tambour, en sens contraire du sens ordinaire, c'est-à-dire de telle sorte qu'un poids ou contre-poids mis dans le plateau, concoure avec le choc de l'eau à faire tourner la roue dans le même sens; supposons encore que ce contre-poids soit tel que, sans le secours de l'eau, il puisse imprimer à la roue une vitesse un peu plus grande que celle de 60 tours par minute; de 63 tours, par exemple: dans cet état de choses, que la roue soit soumise de nouveau à l'action du courant, on conçoit que cette action étant secondée par celle du contre-poids, la roue fera plus de 63 tours. Admettons qu'elle en fasse 64, nous en concluons que l'eau exerce encore une certaine influence pour la production du mouvement.

Que l'on augmente maintenant ce contre-poids, de manière qu'agissant seul il imprime à la roue une vitesse de $64\frac{1}{2}$ dans une minute; qu'étant soumise de nouveau au choc de l'eau, on suppose qu'elle fasse dans le même temps précisément le même nombre de tours, c'est-à-dire $64\frac{1}{2}$, il est clair que, dans ce cas, la roue se mouvra précisément de la même manière que si elle n'éprouvait ni frottement ni aucune autre résistance, parce que le contre-poids leur fait équilibre. En effet, si ce contre-poids était trop faible, l'eau agissant en même temps que lui, imprimerait à la roue une plus grande vitesse que celle que le contre-poids seul lui imprime; et s'il était trop grand, le choc de l'eau retarderait cette vitesse. Ainsi l'eau devient le *régulateur* du mouvement de la roue, et la vitesse de la circonférence de celle-ci devient la mesure de la vitesse de l'eau.

Cela posé, on procédera de la manière suivante dans la recherche du plus grand produit, ou du *maximum* d'effet de la machine.

Après que l'expérience aura fait connaître le poids qui, multiplié par le nombre de révolutions de la roue, donne le plus grand produit; on trouvera, comme on vient de le dire, celui qui, mis dans le plateau et agissant seul dans le même sens que l'eau, fait faire à la roue dans le même temps le même nombre de tours. Il est évident que ce contre-poids sera, à très-peu près, égal au frottement et à la résistance pris ensemble. La somme de ce contre-poids, de la charge du plateau élevée par la roue, et de deux fois le poids de ce plateau³, sera donc le poids total qui aurait été élevé, en supposant que la machine n'eût éprouvé ni frottement ni résistance; et par conséquent, cette charge totale, multipliée par la hauteur de son ascension, donnera pour produit le plus grand effet de la *puissance*.

Evaluation de la quantité d'eau dépensée

La pompe dont on a fait usage pour remplir d'eau le réservoir supérieur avait été exécutée avec tant de soin que, ne perdant point d'eau par les cuirs du piston, elle en fournissait précisément la même quantité à chaque coup, soit que le mouvement en fût accéléré ou ralenti; et comme l'amplitude de ce mouvement était déterminée, le produit d'un seul coup, ou plus exactement le produit de 12 coups de piston était connu par l'élévation de l'eau dans le réservoir, dont les dimensions régulières rendaient le jaugeage facile. La vanne sous laquelle l'eau s'écoulait sur la roue, pouvait être fixée à une certaine hauteur, au moyen d'une cheville. On connaissait ainsi la quantité d'eau dépensée sous une charge quelconque par un orifice donné: il suffisait en effet d'observer combien il fallait de coups de piston dans une minute pour tenir l'eau du réservoir à une hauteur déterminée, et de multiplier le nombre de coups par le produit de chacun d'eux. Cela va s'éclaircir par le calcul d'une série d'expériences.

3. The weight of the scale makes part of the weight both ways.

3. Le poids du plateau fait partie de la charge, dans les deux cas.

Specimen of a Set of Experiments

The sluice drawn to the first hole
 The water above the floor of the sluice..... 30 inches.
 Strokes of the pump in a minute..... 39 1/2
 The head raised by twelve strokes..... 21
 The wheel raised the empty scale, and made turns in a min. 80
 With a counter weight of 1 lb. 8 oz. it made..... 85
 Ditto, tried with water..... 86

No.	Weight lb. oz.	Turns in a Min.	Product
1	4 0	45	180
2	5 0	42	210
3	6 0	36 3/4	217 1/2
4	7 0	33 3/4	236 3/4
5	8 0	30	240 maximum.
6	9 0	26 1/2	238 1/2
7	10 0	22	220
8	11 0	16 1/2	181 1/2
9	12 0	ceased working *	

Counter-weight, for 30 turns without water, 2 oz. in the scale.

N.B. The area of the head was 105.8 square inches.

Weight of the empty scale and pulley, 10 oz.

Circumference of the cylinder, 9 inches.

Circumference of the water-wheel, 75 ditto.

Reduction of the above Set of Experiments

The circumference of the wheel, 75 inches, multiplied by 86 turns, gives 6450 inches for the velocity of the water in a minutes; 1/60 of which will be the velocity in a second, equal to 107.5 inches, or 8.96 feet, which is due to a head of 15 inches; and this we call the *virtual* or *effective* head⁴.

The area of the head being 105.8 inches, this multiplied by the weight of water of the inch cubic, equal to the decimal .579 of the ounce avoirdupoise, gives 61.26 ounces for the weight of as much water as is contained in the head, upon 1 inch in depth, 1/16 of which is 3.83 pounds: this multiplied by the depth 21 inches, gives 80.43 lbs. for the value of 12 strokes; and, by proportion, 39 1/2 (the number made in a minute) will give 264.7 lbs. the weight of water expended in a minute.

Now, as 264.7 lbs. of water may be considered as having descended through a space of 15 inches in a minute, the product of these two numbers, 3970, will express the *power* of the water to produce mechanical effects; which were as follow:

* N. B. When the wheel moves so slow as not to rid the water so fast as supplied by the sluice, the accumulated water falls back upon the aperture, and the wheel immediately ceases moving.

4. This is determined upon the common maxim of hydrostatics, that the velocity of spouting waters is equal to the velocity that a heavy body would acquire in falling from the height of the reservoir; and is proved by the rising of jets to the height of their reservoirs nearly.

Exemple d'une série d'expériences

La vanne étant arrêtée au premier trou : hauteur de l'eau dans le réservoir au-dessus du seuil de la vanne..... 30 pouces
 Nombre des coups de piston dans une minute. 39 1/2
 12 coups de piston élèvent l'eau dans le réservoir, de..... 21
 La roue chargée du plateau vide, faisait dans une minute..... 80 révolut.
 Avec un contre-poids d'une livre huit onces, elle faisait..... 85
 Par l'action simultanée de l'eau et du contre-poids, elle faisait..... 86

Numéros des expériences	Poids liv.	Nombre de tours dans une minute	Produits
1	4	45	180
2	5	42	210
3	6	36 3/4	217 1/2
4	7	33 3/4	236 3/4
5	8	30	240 maximum
6	9	26 1/2	238 1/2
7	10	22	220
8	11	16 1/2	181 1/2
9	12	La roue s'est arrêtée *	

Le contre-poids agissant seul, pour produire une vitesse de 30 tours par minute, était de..... 2 onces
 La section horizontale du réservoir de pression était de..... 105 po. 8 car.
 Le poids du plateau vide et de la poulie était de.. 10 onces
 La circonférence du cylindre sur lequel la corde s'enroule était de..... 9 pouces
 La circonférence de la roue était de..... 75

Résumé de la série d'expériences précédentes

La circonférence de la roue qui est de 75 pouces, étant multipliée par 86, nombre de ses révolutions en une minute, donne 6450 pouces pour l'expression de la vitesse de l'eau dans le même temps. Cette vitesse étant divisée par 60, le quotient 107 po,5 est la vitesse par seconde, laquelle est due à une charge de 15 pouces, que nous appellerons *charge virtuelle* ou *effective*⁴.

La section transversale du réservoir, de 105 pou,8 superficiels, étant multipliée par le poids d'un pouce cubique d'eau, qui est de 0,579 de l'once *avoir du poids*, on aura 61 onces,26, ou 3 liv,83 pour le poids d'une tranche horizontale du réservoir d'un pouce d'épaisseur. Ce poids multiplié par 21 pouces, hauteur de l'eau au-dessus du seuil de la vanne, donne 83 liv,43 pour le produit de 12 coups de piston; et pour le produit de 39 coups 1/2, fournis et dépensés dans une minute, 267 liv. 7/10.

Maintenant, ces 267 liv. 7/10 d'eau doivent être considérées comme descendues de 15 pouces de hauteur dans une minute. Le produit de ces deux nombres, ou 3970, exprimera donc la puissance de l'eau pour engendrer les *effets mécaniques* dont voici l'expression.

* Quand la roue se meut assez lentement pour ne point entrainer l'eau fournie par la vanne à mesure qu'elle est frappée, cette eau retourne en arrière vers l'orifice, et la roue cesse aussitôt de se mouvoir.

4. Ceci est fondé sur cette règle générale d'hydrostatique, que la vitesse des eaux jaillissantes est égale à celle qu'un corps pesant acquerrait en tombant de la hauteur du réservoir qui les fournit, règle qui se trouve à peu près confirmée par l'expérience.

The velocity of the wheel at the *maximum*, as appears above, being multiplied together, the product is 1266, which expresses the effect produced at a maximum: so that the proportion of the *power* to the *effect* is as 3970 : 1266, or as 10 : 3.18.

	lbs.	oz.
The weight in the scale at the maximum	8	0
Weight of the scale and pulley.....	0	10
Counter-weight, scale, and pulley.....	0	12
Sum of the resistances.....	9	6
	or lbs. 9.375	

Now, as 9.375 lbs. are raised 135 inches, these two numbers being multiplied together, the product is 1266, which expresses the effect produced at a maximum: so that the proportion of the *power* to the *effect* is as 3970 : 1266, or as 10 : 3.18.

But though this is the greatest *single* effect producible from the power mentioned, by the impulse of the water upon an undershot wheel; yet, as the whole power of the water is not exhausted thereby, this will not be the true ratio between the *power* of the water and the sum of all the *effects* producible therefrom: for as the water must necessarily leave the wheel with a velocity equal to the wheel's circumference, it is plain that some part of the power of the water must remain after quitting the wheel.

The velocity of the wheel at the maximum is 30 turns in a minute: and, consequently, its circumference moves at the rate of 3.123 feet a second, which answers to a head 1.82 inches; this being multiplied by the expense of water in a minute, viz. 264.7 lbs. produces 481 for the power *remaining* in the water after it has passed the wheel: this being, therefore, deducted from the original power 3970, leaves 3489, which is that *part* of the power which is spent in producing the effect 1266; and, consequently, the part of the power spent in producing the effect, is to the greatest effect producible thereby, as 3489 : 1266 :: 10 : 3.62, or as 11 to 4.

The *velocity of the water* striking the wheel has been determined to be equal to 86 circumferences of the wheel per minute, and the *velocity of the wheel* at the *maximum* to be 30; the velocity of the water will, therefore, be to that of the wheel as 86 to 30: or as 10 to 3.5, or as 20 to 7.

The *load at the maximum* has been shewn to be equal to 9 lbs. 6 oz. and that the wheel ceased moving with 12 lbs. in the scale; to which if the weight of the scale is added, viz. 10 ounces⁵, the proportion will be nearly as 3 to 4 between the load at the *maximum*, and that by which the wheel is stopped.

It is somewhat remarkable, that though the velocity of the wheel, in relation to the water, turns out greater than $\frac{1}{3}$ of the velocity of the water, yet the impulse of the water in the case of a *maximum* is more than double of what is assigned by theory; that is, instead of $\frac{1}{3}$ the column, it is nearly equal to the whole column.

It must be remembered, therefore, that in the present case, the wheel was not placed in an open river, where the natural current, after it has communicated its impulse to the float, has room on all sides to escape, as the theory supposes; but in a conduit, or race, to which the float being adapted, the water cannot otherwise escape than by moving along with the wheel. It is observable, that a wheel working in this manner, as soon as the water meets the float, receiving a sudden check, it rises up against the float, like a wave against a fixed object; inso-much that when the sheet of water is not a quarter of an inch thick before it meets the float, yet this sheet will act upon the whole surface of a float, whose height is three inches; and conse-

5. The resistance of the air in this case ceases, and the friction is not added, as 12lbs. in the scale were sufficient to stop the wheel after it had been in full motion; and, therefore, somewhat more than a counterbalance to the impulse of the water.

La vitesse de la roue correspondante au *maximum* d'effet, était, comme on vient de le voir, de 30 tours par minute, nombre qui, multiplié par 9 pouces, circonférence du tambour, donne 170 pouces. Mais comme le plateau était suspendu par une poulie et une double corde, le poids était élevé seulement à la moitié de cette hauteur, c'est-à-dire à 135 pouces.

	liv.	onc.
La charge du plateau correspondante au <i>maximum</i> d'effet, est de.....	8	
Le poids du plateau et de la poulie est de	0	10
Le contre-poids, le plateau et la poulie pèsent ensemble.....	0	12
La somme des résistances était par conséquent de.....	9	6 = 9 liv,375.

Ce poids de 9 liv,375 étant multiplié par la hauteur de 135 pouces à laquelle il est élevé, donne 1266 pour l'expression du *maximum* d'effet: ainsi le rapport de la puissance à l'effet, est celui de 3970-1266, ou de 10 à 3,18.

Mais quoique ce soit là le plus grand effet *simple* de l'impulsion de l'eau sur une roue à aubes, cependant comme cet effet n'épuise pas entièrement la puissance du fluide en mouvement, le rapport précédent ne sera pas le véritable rapport de cette puissance à la somme des effets qu'elle est capable de produire; car comme l'eau doit nécessairement abandonner la roue après l'avoir frappée, avec la même vitesse qu'elle a imprimée à la circonférence de cette roue, il est clair que le fluide reste, après le choc, animé d'une certaine portion de sa puissance primitive.

La vitesse de la roue correspondante au *maximum*, est de 30 tours par minute, et par conséquent sa circonférence se meut à raison de 3 pieds,123 par seconde, ce qui répond à une charge de 1 pouce,82. Multipliant cette hauteur par la quantité d'eau dépensée dans une minute, c'est-à-dire par 264 liv,7; on aura 481 pour l'expression de la *puissance* de l'eau, après qu'elle a dépassé les ailes de la roue, nombre qui, déduit de la puissance primitive 3970, donne 3489 pour la portion de la puissance réellement employée à produire l'effet 1266: donc la portion de puissance dépensée pour produire l'effet, est au plus grand effet qu'elle est susceptible de produire, comme 3489 : 1266 :: 10 : 3,63 :: 11 : 4.

La vitesse de l'eau qui frappe la roue a été trouvée égale à 86 révolutions de cette roue par minute, et la vitesse de la roue correspondante au *maximum* d'effet, a été trouvée de 30 révolutions; la vitesse de l'eau sera donc celle de la roue comme 86 : 30, ou comme 10 : 3,5, ou comme 20 : 7.

On a vu que la charge du plateau, correspondante au *maximum* d'effet, était de 9 livres 6 onces, et que la roue cessait de se mouvoir lorsque le plateau était chargé d'un poids de 12 livres, à quoi ajoutant le poids de ce plateau, qui est de 10 onces, on trouve le rapport de 3 à 4 pour celui entre la charge correspondante au *maximum* d'effet, et la charge sous laquelle le mouvement de la roue est arrêté.

Il est digne de remarque, que quoique le rapport de la vitesse de la roue à celle de l'eau soit plus grand que celui de 1 à 3; cependant l'impulsion de l'eau, dans le cas du *maximum* d'effet, est plus que double de celle qui est indiquée par la théorie; c'est-à-dire, qu'au lieu d'être due à une charge égale aux $\frac{1}{3}$ de la colonne d'eau, elle est due à peu près à la hauteur entière de cette charge.

Il faut se rappeler cependant ici que, dans le cas présent, la roue n'était pas placée sur une rivière ouverte où le courant naturel, après avoir imprimé le mouvement aux ailes, a de la place pour s'échapper de tous les côtés, comme la théorie le suppose; mais que dans la conduite ou rainure qui renferme les ailes, l'eau ne peut s'échapper autrement qu'en continuant de se mouvoir avec elles. Il faut observer que l'eau, exerçant de cette manière son action sur la roue, reçoit un choc subit à l'instant qu'elle en rencontre les aubes, et s'élève contre elles de même qu'une vague contre un obstacle fixe; d'où il arrive que, quand la lame d'eau n'a qu'un quart de pouce d'épaisseur, avant de

quently was the float no higher than the thickness of the sheet of water, as the theory also supposes, a great part of the force would have been lost, by the water dashing over the float⁶.

In further confirmation of what is already delivered, I have adjoined a table (TABLE I), containing the result of 27 sets of experiments, made and reduced in the manner above specified. What remains of the theory of undershot wheels, will naturally follow from a comparison of the different experiments together.

TABLE I

No. Numéros des expériences	Height of water in the cistern Hauteur de l'eau dans le réservoir de pression	Turns of the wheel unloaded Nombre de tours de la roue non chargée	Virtual head deduced therefrom Chute virtuelle déduite de la colonne précédente	Turns at the maximum Nombre des tours de la roue au maximum d'effet	Load at the equilibrium Charge qui arrête le mouvement de la roue	Load at the maximum Charge au maximum d'effet	Water expended in a minute Eau dépensée en une minute	Power Puissance	Effect Effet	Ratio to the power and effect Rapport entre la puissance et l'effet	Ratio of the velocity of the water and wheel Rapport entre la vitesse de l'eau et celle de la roue	Ratio of the load at the equilibrium, to the load at the maximum Rapport entre la charge fai- sant équilibre au mouve- ment et celle correspondante au maximum d'effets	Experiments Hauteur de la vanne
	In. Pouces		In. Pouces		lb. oz. P. onc	lb. oz. P. onc							
1	33	88	15.85	30	13 10	10 9	275	4358	1411	10:3.24	10:3.4	10:7.75	At the
2	30	86	15.0	30	12 10	9 6	264.7	3970	1266	10:3.2	10:3.5	10:7.4	1st hole
3	27	82	13.7	28	11 2	8 6	243	3329	1044	10:3.15	10:3.4	10:7.5	
4	24	78	12.3	27.7	9 10	7 5	235	2890	901.4	10:3.12	10:3.55	10:7.53	La cheville
5	21	75	11.4	25.9	8 10	6 5	214	2439	735.7	10:3.02	10:3.45	10:7.32	arrêtée au
6	18	70	9.95	23.5	6 10	5 5	199	1970	561.8	10:2.85	10:3.36	10:8.02	premier trou
7	15	65	8.54	23.4	5 2	4 4	178.5	1524	442.5	10:2.9	10:3.6	10:8.3	de la barre
8	12	60	7.29	22	3 10	3 5	161	1173	328	10:2.8	10:3.77	10:9.1	de la vanne

TABLEAU I

MAXIMS AND OBSERVATIONS
DEDUCED FROM THE FOREGOING TABLE
OF EXPERIMENTS

MAXIM I. *That the virtual or effective head being the same, the effect will be nearly as the quantity of water expended.*

This will appear by comparing the contents of the columns 4, 8, and 10, in the foregoing sets of experiments; as for

Example 1st, taken from No. 8 and 25. viz

No.	Virtual Head	Water expended	Effect
8	7.29	161	328
25	7.29	355	785

Now the heads being equal, if the effects are proportioned to the water expended, we shall have by maxim 1st, 161 : 355 : 328 : 723; but 723 falls short of 785, as it turns out in experiment, according to No. 25, by 62; the effect therefore of No. 25, compared with No. 8, is greater than according to the present maxim in the ratio of 14 to 13.

6. Since the above was written, I find that Professor Euler, in the Berlin Acts for the year 1748, in a memoir entitled *Maxims pour arranger le plus avantageusement les Machines destinées à élever de l'Eau par le moyen de Pompes*, page 192, § 9, has the following passage; which seems to be the more remarkable, as I do not find he has given any demonstration of the principle therein contained, either from theory or experiment; or has made any use thereof in his calculations on this subject: "Cependant dans ce cas, puisque l'eau est réfléchié et qu'elle découle sur les aubes vers les côtés, elle y exerce encore une force particulière dont l'effet de l'impulsion sera augmenté, et l'expérience, jointe à la théorie, a fait voir que dans ce cas la force est presque double, de sorte qu'il faut prendre le double de la section du fil de l'eau pour ce qui répond dans ce cas à la surface des aubes, pourvu qu'elles soient assez larges pour recevoir ce supplément de force; car si les aubes n'étaient pas plus larges que le fil ou trait d'eau, on ne devrait prendre qu'une simple section, tout comme dans le premier cas où l'aube tout entière est frappée par l'eau."

rencontrer l'aube, elle agit cependant sur toute la surface de cette aube, dont la hauteur est de 3 pouces. Si donc elle n'avait pas plus de hauteur que la lame d'eau n'a d'épaisseur, comme la théorie le suppose, l'eau perdrait une grande partie de sa force en passant par-dessus les ailes⁵.

Pour confirmer davantage ce qui vient d'être dit, je joins ici un Tableau contenant le résultat de 27 expériences faites et réduites dans l'ordre exposé ci-dessus. Ce qui nous reste à dire sur les roues à aubes s'ensuivra naturellement de la comparaison de ces différentes expériences.

RÈGLES ET OBSERVATIONS
DÉDUITES DES EXPÉRIENCES RAPPORTÉES
DANS LE TABLEAU PRÉCÉDENT

RÈGLE PREMIÈRE. — *La charge virtuelle ou effective étant la même, l'effet est à peu près comme la quantité d'eau dépensée.*

La comparaison des expériences consignées dans les 4^e, 8^e et 10^e colonnes du Tableau précédent, fournit la preuve de cette proposition.

Exemple 1^{er}, tiré des nos 8 et 25

Numéro	Charge virtuelle	Eau dépensée	Effet
8	7,29	161	328
25	7,29	355	785

Ici, les charges étant égales, nous aurons, en vertu du théorème précédent, si les effets produits sont proportionnels à l'eau dépensée,

$$161 : 355 :: 328 : 723$$

Mais le quatrième terme 723 est de 62 plus petit que l'effet donné par l'expérience.

L'effet du n^o 25, comparé avec celui du n^o 8, est donc plus grand qu'il ne serait, suivant la règle, dans le rapport de 14 à 13.

5. Depuis que ceci est écrit, je trouve dans un Mémoire de M. le professeur Euler, inséré parmi ceux de l'Académie de Berlin, année 1748, et intitulé: *Maximes pour arranger le plus avantageusement les machines destinées à élever de l'eau par le moyen des pompes*, pag. 192 § 9, le passage suivant, lequel me paraît d'autant plus remarquable, que ce professeur n'a donné, du principe qu'il contient, aucune démonstration déduite de la théorie ou de l'expérience, et n'a fait aucun usage de ce principe dans les calculs auxquels il s'est livré sur ce sujet. (Voir le texte d'Euler dans la note ci-contre, correspondant au texte anglais).

The foregoing example, with four similar ones, are seen at one view in the following Table.

Nous présentons dans le Tableau suivant cet exemple, et quatre autres semblables.

TABLE II

TABLEAU II

Examples <i>Exemples</i>	No. Tab. 1 <i>Numéros de la 1^{re} Table</i>	Virtual Head <i>Charge virtuelle</i>	Expense of Water <i>Dépense d'eau</i>	Effect <i>Effet</i>	Comparison - <i>Comparaison</i>	Variation <i>Différence</i>	Proportional Variation <i>Différence proportionnelle</i>
		Inch.	b				
1st	8 25	7.29 7.29	161 355	328 785	161 : 355 :: 328 : 723	62 +	14 : 13
2d	13 18	10.5 10.5	285 357	975 1210	285 : 357 :: 975 : 1221	11 —	121 : 122
3d	20 23	6.8 6.8	255 332	317 686	255 : 332 :: 541 : 704	18 —	38 : 39
4th	21 24	4.7 4.7	228 262	317 385	228 : 262 :: 317 : 364	21 +	18 : 17
5th	26 27	5.03 5.03	307 365	450 534	307 : 360 :: 450 : 531	3 +	178 : 177

Hence, therefore, in comparing different experiments, as some fall short, and others exceed the maximum, and all agree therewith, as near as can be expected, in an affair where so many different circumstances are concerned, we may, according to the laws of reasoning by induction, conclude the maxim true: viz., that the effects are nearly as the quantity of water expended.

On voit par la comparaison des différentes expériences indiquées dans ce Tableau, que quelques-unes donnent des résultats plus faibles, d'autres des résultats plus forts que le *maximum* d'effet. Ces résultats s'accordent avec ce *maximum*, aussi exactement qu'on doit s'y attendre dans une recherche soumise à l'influence de tant de circonstances différentes; d'où l'on peut conclure, suivant les lois de l'induction, que le théorème est vrai, c'est-à-dire que les effets sont à très-peu près comme les quantités d'eau dépensées.

MAXIM II. *That the expense of water being the same, the effect will be nearly as the height of the virtual or effective head.*

RÈGLE DEUXIÈME. — *La dépense d'eau étant la même, l'effet est, à très-peu près, comme la hauteur de la charge virtuelle ou effective.*

This also will appear by comparing the contents of columns 4, 8, and 10, in any of the sets of experiments.

Cette proposition se déduit aussi de la comparaison des résultats de quelques-unes des expériences indiquées dans les colonnes 4^e, 8^e et 10^e de la Table I.

MAXIM III. *That the quantity of water expended being the same, the effect is nearly as the square its velocity.*

RÈGLE TROISIÈME. — *La quantité d'eau dépensée étant la même, l'effet est à peu près comme le carré de la vitesse.*

This will appear by comparing the contents of columns 3, 8, and 10, in any of the sets of experiments;

Cela se prouve en comparant les résultats de quelques expériences contenues dans les colonnes 3^e, 8^e et 10^e.

MAXIM IV. *The aperture being the same, the effect will be nearly as the cube of the velocity of the water.*

RÈGLE QUATRIÈME. — *L'ouverture de la vanne étant la même, l'effet sera à très-peu près comme le cube de la vitesse de l'eau.*

This, also, will appear by comparing the contents of columns 3, 8, and 10;

Cela se déduit de la comparaison des résultats de quelques expériences contenues dans les 3^e, 8^e et 10^e colonnes de la première Table.

Lemme. It must here be observed, that if water passes out of an aperture, in the same section, but with different velocities, the expense will be proportional to the velocity; and, therefore, conversely, if the expense is not proportional to the velocity, the section of the water is not the same.

Lemme. — Il faut observer ici que si l'eau sort d'une ouverture par une même section, mais avec des vitesses différentes, la dépense sera proportionnelle à la vitesse; d'où suit la proposition inverse que, si la dépense n'est point proportionnelle à la vitesse, la section de l'ouverture n'est point la même.

OBSERVATIONS

OBSERVATIONS

OBSERV. 1. On comparing column 2d and 4th, Tab. I. it is evident that the *virtual head* bears no certain proportion to the *head of water*; but that when the aperture is greater, or the

I. — En comparant les colonnes 2^e et 4^e de la Table I, on reconnaît évidemment que la charge effective n'a aucune proportion certaine avec la hauteur de la colonne d'eau; mais que

velocity of the water issuing therefrom less, they approach nearer to a coincidence; and, consequently, in the large openings of mills and sluices, where great quantities of water are discharged from moderate heads, the head of water, and virtual head determined from the velocity, will nearly agree, as experience confirms.

OBSERV. 2. Upon comparing the several proportions between the *power* and *effect* in column 11th, the most general is that of 10 to 3; the extremes, 10 to 3.2 and 10 to 3.2 and 10 to 2.8; but, as it is observable, that where the quantity of water, or the velocity thereof; that is, where the power is greatest, the 2d term of the ratio is greatest also: we may, therefore, well allow the proportion subsisting in large works, as 3 to 1.

OBSERV. 3. The proportions of *velocities* between the *water* and the *wheel* in column 12, are contained in the limits of 3 to 1 and 2 to 1; but, as the greater velocities approach the limit of 3 to 1, and the greater quantities of water approach to that of 2 to 1, the best general proportion will be that of 5 to 2.

OBSERV. 4. On comparing the numbers in column 13, it appears that there is no certain ratio between the *load* that the wheel will carry at its *maximum*, and what will totally stop it; but that they are contained within the limits of 20 to 19, and of 20 to 15; but, as the effect approaches nearest to the ratio of 20 to 15, or of 4 to 3, when the power is greatest, whether by increase of velocity, or quantity of water, this seems to be the most applicable to large works; but as the load that a wheel ought to have, in order to work to the best advantage, can be assigned, by knowing the effect it ought to produce, and the velocity it ought to have in producing it, the exact knowledge of the greatest load it will bear, is of the less consequence in practice.

It is to be noted, that in all the examples under the last three of the four preceding maxims, the effect of the lesser power falls short of its due proportion to the greater, when compared by its maxim; except the last example of maxim 4th; and hence, if the experiments are taken strictly, we must infer, that the effects increase and diminish in a higher ratio than those maxims suppose: but as the deviation is not very considerable, the greatest being about 1-8th of the quantity in question: and as it is not easy to make experiments of so compounded a nature with absolute precision, we may rather suppose, that the lesser power is attended with some friction, or works under some disadvantage, which has not been duly accounted for; and, therefore, we may conclude, that these maxims will hold very nearly when applied to works in large.

After the experiments above-mentioned were tried, the wheel, which had originally 24 floats, was reduced to twelve; which caused a diminution in the effect, on account of a greater quantity of water escaping between the floats and the floor; but a circular sweep being adapted thereto, of such a length, that one float entered the curve before the preceding one quitted it, the effect came so near to the former, as not to give hopes of advancing it by increasing the number of floats beyond 24 in this particular wheel.

quand l'ouverture de la vanne est plus grande, ou que la vitesse de l'eau qui en sort est plus petite, ces deux quantités approchent davantage de coïncider entre elles: d'où il suit que dans les grandes ouvertures de moulins et de vannes, où de grandes quantités d'eau sont dépensées sous des charges médiocres, la hauteur réelle de la colonne et la charge effective déduite de la vitesse réelle, approcheront de la coincidence, comme l'expérience le confirme.

II. — En comparant les divers rapports de la puissance à l'effet, indiqués dans la colonne 11^e de la Table I, on voit que le rapport le plus général est celui de 10 à 3. Les rapports extrêmes sont ceux de 10 à 3,2 et de 10 à 2,28. Mais comme on observe que lorsque la quantité d'eau ou sa vitesse, c'est-à-dire, lorsque la puissance de l'eau est plus grande, le second terme du rapport précédent devient aussi plus grand; on est suffisamment fondé à admettre que le rapport dont il s'agit est celui de 3 à 1 dans les grandes machines.

III. — Les rapports des vitesses de l'eau et de la roue, indiqués dans la 12^e colonne de la Table I, sont renfermés entre les rapports de 3 à 1 et de 2 à 1. Mais comme la première de ces limites convient aux plus grandes vitesses, et la seconde aux plus grandes quantités d'eau dépensées, il s'ensuit que le rapport moyen entre les vitesses de l'eau et de la roue, sera généralement celui de 5 à 2.

IV. — En comparant les nombres portés dans la colonne 13, on voit qu'il n'y a aucun rapport constant entre la charge que la roue peut élever dans le cas du *maximum* d'effet, et celle capable d'arrêter le mouvement de la roue; mais que ce rapport est renfermé entre ceux de 20 à 19 et de 20 à 15. D'un autre côté, comme en effet ce rapport approche davantage de celui de 20 à 15 ou de 4 à 3, lorsque la puissance devient plus grande, soit par l'accroissement de la vitesse, soit par l'augmentation du volume de l'eau dépensée, il paraît que ce rapport est particulièrement applicable aux grandes machines. Quoi qu'il en soit, la charge qu'une roue doit supporter pour produire l'effet le plus avantageux, pouvant se déduire de la connaissance de cet effet et de la vitesse dont la roue doit être animée pour le produire, on voit que la détermination exacte du plus grand poids qu'elle puisse soutenir, est de peu d'importance dans la pratique.

On doit remarquer que dans tous les exemples apportés en preuve des trois dernières règles, l'effet de la puissance la plus petite est au-dessous de ce qu'il devrait être, proportionnellement à la plus grande, quand on en fait la comparaison, excepté dans le dernier exemple de la quatrième règle. Nous devons inférer de là, que si les expériences sont exactes, les effets croissent et diminuent dans un plus grand rapport que les règles ne l'indiquent. Mais comme l'écart entre ces rapports n'est pas très-considérable, le plus grand n'étant qu'environ le $\frac{1}{8}$ de la quantité en question, et que des expériences d'une nature aussi compliquée ne sont point aisées à faire avec une précision absolue, nous supposerons que la plus petite puissance est atténuée par quelque frottement, ou agit avec tel autre désavantage dont on n'a point convenablement tenu compte, et nous concluons que les règles précédentes doivent s'appliquer avec une précision suffisamment approchée aux machines exécutées en grand.

Après avoir fait les expériences dont on vient de rendre compte, on réduisit à 12 le nombre des ailes de la roue, qui était originairement de 24. Ce changement produisit une diminution d'effet, parce qu'une plus grande quantité d'eau s'échappait entre les ailes et le fond du coursier; mais ayant recouvert le fond du coursier d'une planchette circulaire, d'une longueur telle qu'une des aubes entraînât dans la courbe avant que l'aube antérieure en fût sortie, on obtint des effets qui coïncidèrent avec les précédents, au point qu'on ne put espérer de les augmenter en portant au-delà de 24 le nombre des aubes de la roue mise en expérience.