

Un bilan hydrologique au XVII^e siècle

PAR J.C.I. DOOGE

DEPARTMENT OF CIVIL ENGINEERING, UNIVERSITY COLLEGE, CORK, IRELAND

Plus de cent ans avant le début de l'ère chrétienne, Héron l'Ancien utilisait déjà la méthode volumétrique pour mesurer le débit des sources. Il est presque certain que la mesure des chutes de pluie remonte à la même antiquité. Ce n'est qu'à la fin du xvii^e siècle, toutefois, que des comparaisons quantitatives entre les chutes de pluie et leur écoulement furent effectuées. Le premier essai d'une telle comparaison était primitif dans la forme; les unités de mesure étaient mal définies, et les calculs contenaient des erreurs; même l'identité de ce précurseur

en hydrométrie est sujette à discussion. Cette première étude est néanmoins digne d'intérêt.

Le présent article traite de la comparaison entre les chutes de pluie et leur écoulement, faite en 1674 dans la région de la Seine supérieure, et des calculs plus précis publiés en 1686 par Mariotte, calculs basés sur l'étude d'un bassin plus étendu. Enfin, cet article traite aussi de la question, souvent débattue et jamais résolue, de l'identité de l'auteur de la première étude.

LA COMPARAISON DE 1674

Un livre publié à Paris en 1674 sur *L'origine des fontaines* tentait de démontrer par des calculs que « la pluie et la fonte des neiges suffisent à alimenter perpétuellement les sources et les rivières ». L'ouvrage apportait ainsi une contribution au débat, vieux de plusieurs siècles, sur l'origine des sources : sont-elles alimentées par les infiltrations d'eau de pluie ou par des eaux provenant de l'intérieur de la terre? Une deuxième édition fut publiée en 1678, et un assez long extrait en parut dans les « Travaux Philosophiques de la Société Royale de Londres » du 22 novembre 1675. Le livre en question, « par un auteur français », représentait le premier essai d'application d'une mesure quantitative à la question située au centre du débat : découvrir si les chutes de pluie étaient suffisantes pour fournir de l'eau à toutes les sources et rivières. La thèse quantitative, améliorée par Mariotte (et de nouveau, cent ans plus tard, par de la Méthière), eut un effet décisif sur le résultat du débat; néanmoins, l'infiltration ne fut universellement admise comme origine des sources que deux cents ans plus tard.

L'auteur de l'ouvrage publié en 1674 compara les chutes de pluie et leur écoulement en prenant pour sujet d'étude la Seine, de sa source à Aignay-le-Duc. Il calcula l'écoulement continu du bassin versant comme étant de 36 millions 1/2 de muids, laissant plus de 188 millions de muids, soit cinq fois autant, pour « couvrir les pertes telles qu'irrigation des arbres et des plantes, évaporation et crues exceptionnelles de la rivière

DE L'ORIGINE DES FONTAINES.



A PARIS,

Chez PIERRE LE PETIT, Imprimeur & Libraire
ordinaire du Roy, rue saint Jacques
à la Croix d'or.

M. DC. LXXIV.

AVEC PRIVILEGE DE SA MAIESTE.

Fig. 1

LE ROYAUME DE FRANCE

divisé suivant les Gouvernements généraux.

PAR LE S^r ROBERT Geographe ord. du Roi

Avec Privilège

1750.

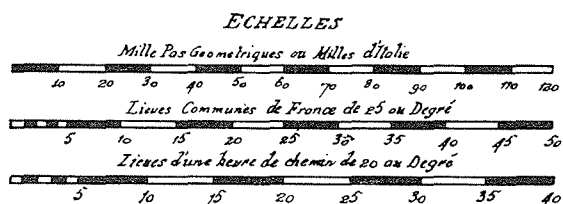
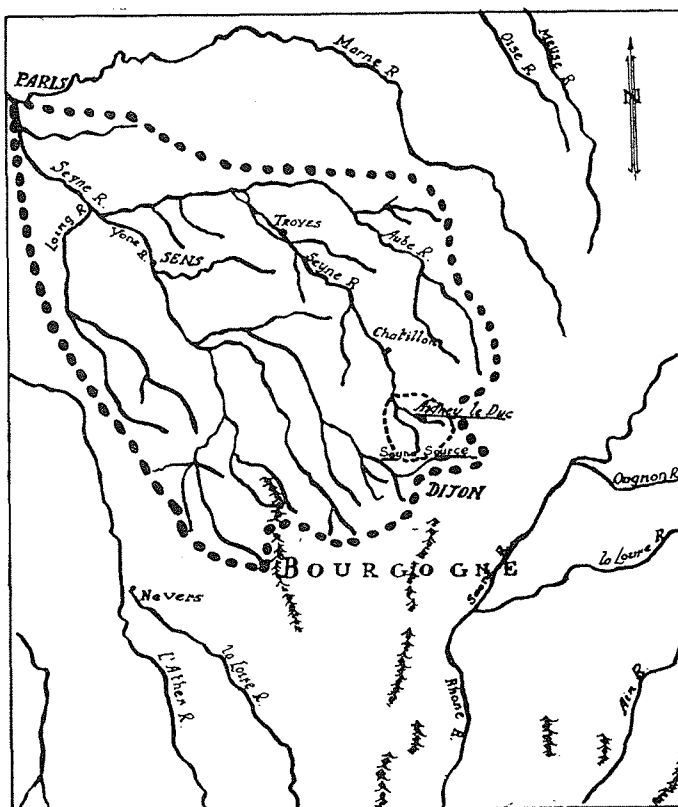


FIG. 2



sous l'influence directe des pluies ». La méthode employée pour arriver à ces chiffres présente un certain intérêt : elle est exposée ci-dessous.

Le bassin versant soumis à l'étude était celui de la Seine supérieure jusqu'à Aignay-le-Duc, où ce fleuve reçoit un petit affluent. L'auteur estima à 3 lieues la longueur du fleuve jusqu'à cette ville. Les cours d'eau les plus proches de chaque côté étaient à environ 2 lieues « Etant donné que ces cours d'eau ont, comme la Seine, besoin d'eau pour entretenir leur débit », l'auteur évalua à deux lieues la largeur moyenne du bassin versant de la Seine. Il en conclut que le bassin de la Seine supérieure correspondait à un réservoir dont la surface serait de 6 lieues carrées, ou 31 millions 1/4 de brasses carrées.

L'auteur donne les chiffres suivants comme hauteurs pluviométriques :

- Octobre 1668 - Octobre 1669 : 18 pouces 7/12
- Octobre 1670 - Octobre 1671 : 8 pouces 1/2
- Janvier 1673 - Janvier 1674 : 27 pouces 1/2

et donne la moyenne comme étant 19 pouces 7/36. Nous trouvons là une bien surprenante erreur de calcul, car il est évident que la moyenne est 18 pouces 7/36 et non 19 pouces 7/36. Cependant, pour éviter toute confusion, nous conserverons le chiffre erroné dans l'exposé qui suit. L'auteur calcule ensuite le volume d'eau correspondant à une telle chute de pluie tombant au cours d'une année sur un bassin ver-

sant de 6 lieues carrées. Etant donné qu'un pouce multiplié par une brasse carrée égale trois pieds cubiques, et puisqu'il y a 8 pieds cubiques dans un muid, le calcul devrait être le suivant :

$$\begin{aligned} \text{Volume de la précipitation} &= \\ 31\ 1/4 \text{ millions de brasses carrées} &\times 19,7/36 \text{ pouces} \times 3 \\ &= 224\ 934\ 896 \text{ muids.} \end{aligned}$$

L'auteur donne, comme résultat du calcul, 224 899 942 muids, la légère différence provenant sans doute de l'abandon des décimales.

Pour évaluer l'écoulement, l'auteur compara le débit de la Seine supérieure à celui de la rivière des Gobelins près de Versailles, débit dont la mesure avait donné 50 pouces. Il évalua, par comparaison, le débit de la Seine à 1 200 pouces, « coulant continuellement, et compensant son petit volume à la source par celui qu'elle atteint en approchant Aignay-le-Duc ». L'auteur indique que le pouce utilisé comme unité de mesure de l'eau courante est considéré comme donnant de 70 à 140 muids en 24 heures; pour sa part, il estime le pouce équivalant à 83 muids en 24 heures. L'écoulement peut être ainsi calculé :

$$\begin{aligned} \text{Volume d'écoulement} &= 1\ 200 \text{ pouces} \times 83 \times 365 \text{ jours} \\ &= 36\ 354\ 000 \text{ muids,} \end{aligned}$$

tandis que le chiffre donné par l'auteur est 36 453 600 muids

Les résultats obtenus par l'auteur donnent le

volume d'écoulement comme égal au sixième du volume des précipitations, montrant ainsi que, dans ce cas, les pluies étaient plus que suffisantes pour alimenter le débit de la rivière. Le point le plus faible de la démonstration est l'évaluation de l'écoulement, mais même sur ce point l'approximation est bonne. Si l'on considère que ses calculs d'estimation étaient basés sur le débit moyen entre la source et Aignay-le-Duc et non (comme cela aurait dû être le cas) sur le débit à Aignay-le-Duc, la valeur du 1/6 du volume des précipitations est une appréciation assez exacte du flot continu, dont les crues ont été exclues. A tout prendre, ce premier essai de comparaison des chutes de pluie et de leur écoulement est très honorable.

L'auteur termine son exposé par un commentaire valable pour tous les hydrologues :

« Je sais très bien que cette déduction n'est pas une certitude, mais qui pourrait en donner une meilleure? Néanmoins, et telle qu'elle est, je pense qu'elle est plus satisfaisante que la simple assertion de ceux qui prétendent qu'il ne pleut pas assez pour fournir suffisamment d'eau à l'écoulement ininterrompu des rivières. »

L'auteur fait observer que, dans les régions de faible précipitation, le débit d'été est très réduit par suite de la disparition, par fonte, de la neige sur les montagnes et que dans les régions privées de pluie les rivières sont alimentées par les pluies d'autres régions, comme dans le cas du Nil.

CALCULS DE MARIOTTE

Une version améliorée de la comparaison de 1674 fait partie du *Traité du mouvement des eaux et des autres corps fluides*, de Mariotte,

publié en 1686 [2], deux ans après la mort de l'auteur. Les chapitres traitant du problème des sources ne constituent qu'une petite partie du

PARTIE
SEPTENTRIONALE
 DU GOUVERNEMENT GENERAL
DE BOURGOGNE
 Par le S. Robert Geographe
 ordinaire du Roi
 Avec Privilege 1752.

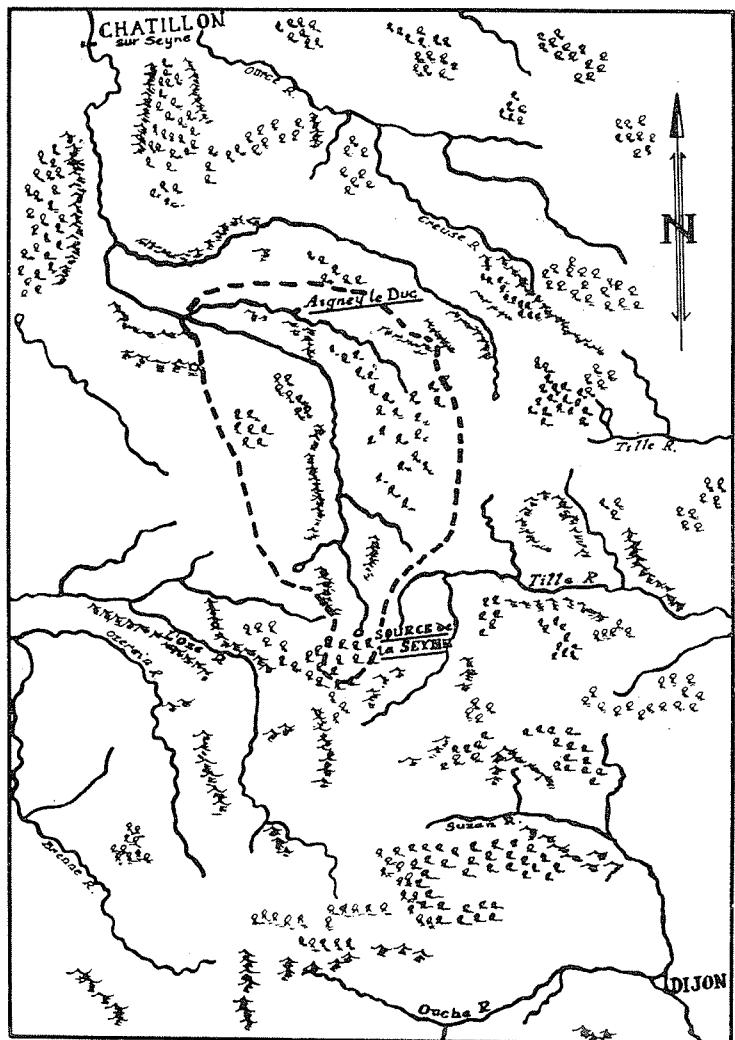


FIG. 3

livre de Mariotte, livre qui représente un événement marquant dans l'histoire de l'hydraulique. La contribution de Mariotte au débat sur l'origine des sources doit avoir eu beaucoup plus d'influence que celle du premier auteur, en raison de la grande circulation du livre et de sa traduction en anglais et en allemand. Il est peut-être bon de mentionner ici que quelques auteurs modernes traitant du sujet paraissent identifier le premier auteur à Mariotte. Les raisons militent pour le rejet de cette hypothèse seront données dans la dernière partie du présent chapitre.

Mariotte prit pour base d'étude de sa comparaison entre les précipitations et leur écoulement le bassin versant de la Seine au-dessus de Paris. Il en estima la longueur à 60 lieues et la largeur à 50, ce qui donnait une surface de 3 000 lieues carrées. Mariotte mentionne que, six ou sept ans plus tôt, il avait commencé des expériences de jaugeage des pluies à Dijon. Ces expériences l'avaient conduit à estimer la précipitation annuelle à 17 pouces, au lieu des 19 pouces $7/36$ trouvés par l'auteur de 1674. Pour ses calculs du volume d'eau disponible, Mariotte choisit comme chiffre de précipitation annuelle le chiffre de sécurité de 15 pouces. Le volume des pluies est alors calculé comme suit :

15 pouces :

= 45 pieds cubiques/brasse carrée,

= $45 \times 5\,290\,000$,

= 238 050 000 pieds cubiques/lieue carrée,

ce qui donne un volume de 714 150 000 000

pieds cubiques pour un bassin de captation de 3 000 lieues carrées.

Pour faire une estimation de l'écoulement, Mariotte étudia les conditions de la Seine au-dessus de Pont-Royal. Il considéra la largeur comme étant de 400 pieds et la profondeur (qui varie de 2 à 10 pieds) comme étant en moyenne de 5 pieds, ce qui donnait une surface de section de 2 000 pieds carrés. Mariotte remarqua qu'en temps de crue un bâton emporté par la rivière, au milieu du courant, descendait à la vitesse d'un homme marchant très vite, vitesse qu'il fixa à 250 pieds par minute. Pour des courants moyens avec profondeur d'environ 5 pieds, Mariotte estima la vitesse de surface à 150 pieds par minute et choisit comme vitesse moyenne 100 pieds par minute. Ainsi, une surface moyenne de 2 000 pieds carrés et une vitesse moyenne de 100 pieds à la minute donnent un écoulement de 200 000 pieds par minute, ce qui correspond à un volume annuel de 105 milliards 120 000 000 pieds cubiques. Comme le fait remarquer Mariotte, cet écoulement est inférieur au sixième de la précipitation calculée.

L'exposé ci-dessus l'a montré, les calculs de Mariotte quant au débit ont une base plus solide que ceux du premier auteur, mais le résultat en est approximativement le même.

Pour autant que l'auteur du présent article le sache, il n'y a pas eu d'autre avance dans l'analyse quantitative du cycle hydrologique pendant les cent ans suivants, à l'exception du calcul approximatif par Halley de la relation entre l'évaporation de la Méditerranée et sa réception d'eaux affluentes.

QUI ÉTAIT L'AUTEUR DE L'OUVRAGE DE 1674?

La publication en 1674 de la première comparaison entre les chutes de pluies et leur écoulement est d'une telle importance dans le développement de l'hydrologie que nous aimerions savoir quelque chose de l'homme qui en est responsable. Malheureusement, aucun nom d'auteur n'apparaît sur la publication originale, ni sur la seconde édition en 1678. Des auteurs plus récents ont attribué l'ouvrage à un certain nombre de personnes.

Dans son œuvre classique, *Grundwasser und Quellenkunde* [3], Keilhack considère Mariotte (1620-1684) comme le pionnier de l'hydrologie quantitative. Il parle de Mariotte comme donnant 19 pouces $7/36$ pour la hauteur pluviométrique moyenne de trois ans à Dijon. Il est probable, cependant, que cela indique plutôt une mauvaise interprétation du texte de Mariotte que la connaissance du travail de 1674. Bien que Mariotte

ait été au courant de l'étude antérieure, la distinction entre ses mesures des chutes de pluie à Dijon et celles données par l'ouvrage de 1674 est bien apparente. Les calculs sont présentés dans le même ordre dans les deux cas, il est vrai, mais des unités différentes sont utilisées (des muids en 1674 et des pieds cubiques par Mariotte) et, de plus, la valeur du muid est différente dans les deux textes. La méthode très primitive d'estimation de l'écoulement utilisée par l'auteur de 1674 est très éloignée du système expérimental minutieux qui apparaît dans tous les travaux de Mariotte.

Dans l'édition de 1809 d'un résumé des *Travaux philosophiques de la Société Royale*, le livre sur « L'origine des fontaines », publié en 1674, est attribué à Denis Papin [4]. Ce dernier, bien connu par ses travaux sur l'air comprimé, était venu de Paris en 1675 pour travailler avec Robert

Boyle à la Société Royale, où il resta jusqu'en 1688. Comme Adams [5] le fait remarquer, cette attribution du travail à Papin n'apparaît pas dans les premières éditions des *Travaux philosophiques*, où le livre est indiqué comme écrit « par un auteur français anonyme ». Ceci affaiblit grandement l'évidence en faveur de la thèse donnant Papin comme auteur, en particulier si l'on tient compte que l'extrait du livre sur les fontaines dans la première édition des *Travaux* suit immédiatement un extrait d'une « Communication par M. Papin sur quelques expériences concernant la pompe à air » (publiée à Paris en 1674).

L'ouvrage sur « L'origine des fontaines » a été englobé dans les *Travaux Physiques Réunis*, de C. et P. Perrault, publiés en 1721 à Leyde, et où l'ouvrage fut attribué à Pierre Perrault. Une collection similaire, publiée à Amsterdam en 1727, l'englobe également. M. de Brémond a publié en français, en 1739 [6], une table des matières des *Transactions of the Royal Society*; dans cet index, le résumé de 1685 sur l'origine des fontaines est dénommé : « Extrait du traité publié à Paris en 1674 sur l'origine des fontaines (par M. Perrault) ». La *Biographie Universelle* [7], publiée en 1823, donne Pierre Perrault comme l'auteur de cet ouvrage. La *Nouvelle Biographie Générale* [8], publiée en 1862, indique également le livre comme étant l'œuvre de Pierre Perrault et mentionne son inclusion dans les *Travaux Réunis* publiés à Leyde en 1721. Adams [5] a attribué l'ouvrage à Pierre Perrault sur la foi de la citation dans la *Nouvelle Biographie Générale* et du fait que son propre exemplaire du livre portait la mention : « par Pierre Perrault » écrite à l'encre. Des écrivains plus récents sur l'histoire de la Science ont cité Adams comme justifiant l'hypothèse selon laquelle Perrault serait l'auteur.

A première vue, il semblerait que cette liste

apporte une preuve évidente que Pierre Perrault (1608-1680) ait écrit l'ouvrage de 1674 sur l'origine des fontaines. Cependant, il est fort possible que toutes ces références découlent de l'inclusion de l'ouvrage dans la publication de Leyde de 1721. Cette dernière, qui donne par erreur Pierre Perrault comme étant membre de l'Académie Française, a été publiée longtemps après la mort de Perrault et de ses frères. En l'absence de toute confirmation contemporaine, l'attribution de cet ouvrage à Pierre Perrault semble devoir rester plutôt une hypothèse qu'une certitude.

Pierre Perrault était le fils d'un avocat et avait lui-même étudié le droit. Sous Colbert, il avait été nommé Receveur Général de Paris, mais on rapporte qu'il aurait payé certains de ses créanciers avec l'argent du Trésor. Il avait plusieurs frères, dont l'un, Nicolas, était un théologien de valeur; un autre, Claude, était naturaliste et auteur, en même temps qu'architecte du Louvre, tandis que le troisième, Charles, joua un grand rôle dans l'organisation de l'Académie Française et a également laissé un nom par ses écrits, principalement ses contes [9]. Il est intéressant de noter que la traduction de Vitruve par Claude Perrault a été publiée en 1673. Comme Vitruve était un défenseur de la théorie tendant à démontrer que pluies et neiges sont à l'origine des sources (Livre VIII, chapitre 3), ce fait peut avoir été à l'origine de l'intérêt montré par Pierre Perrault à l'égard du problème des chutes de pluies et de l'écoulement de leurs eaux.

Il paraît probable que l'honneur d'avoir été le premier à utiliser des méthodes quantitatives dans l'analyse du cycle hydrologique appartient à Pierre Perrault. Bien que primitive et grossière par certains de ses détails, la méthode utilisée était fondamentalement saine et l'auteur — Perrault ou un autre — apporta une immense contribution à la naissance de l'hydrologie scientifique.

BIBLIOGRAPHIE

- (1) Anonyme : « L'origine des fontaines », Paris, 1674.
- (2) MARIOTTE : « Traité du mouvement des eaux et des autres corps fluides ». Paris, 1686.
- (3) KEILHACK : « Grundwasser und Quellenkunde ». Berlin, 1912.
- (4) *Philosophical Transactions of the Royal Society* (abridged). 1809 edition. Vol. 2, page 242.
- (5) ADAMS : « Rainfall and Runoff », *Science*. Vol. 67, p. 500, 1928.
- (6) Table des Mémoires imprimés dans les *Transactions Philosophiques de la Société Royale de Londres*, Paris, 1739.
- (7) *Biographie Universelle, Ancienne et Moderne*. Vol. XXXIII, Paris, 1823.
- (8) *Nouvelle Biographie Générale*. Vol. 39. Paris, 1862. Paris, 1739.
- (9) A. HALLAYS : « Les Perrault ». Paris, 1926.

Quantitative hydrology in the 17th century

BY J.C.I. DOOGE

DEPARTMENT OF CIVIL ENGINEERING, UNIVERSITY COLLEGE, CORK, IRELAND

Over a hundred years before the start of the Christian era, the volumetric method was used by Hero of Alexandria to measure the flow of springs. The measurement of rainfall is almost certainly of equal antiquity. It was not until the end of the 17th Century, however, that any quantitative comparison of rainfall and runoff was made. The earliest attempt at such a comparison was crude in form, the units were inadequately defined and the arithmetic

was faulty; even the identity of this pioneer in hydrometry is open to dispute. Nevertheless this first study is worthy of attention. The present paper deals with the comparison of rainfall and runoff on the Upper Seine made in 1674, with Mariotte's improved calculation for a larger catchment published in 1686 and with the vexed question of the identity of the author of the earlier work.

THE 1674 COMPARISON

In a book on the "Origin of Fountains" printed at Paris in 1674, a calculation is made to show that "The Rain and Snow-waters are sufficient to make Fountains and Rivers run perpetually". The work was thus a contribution to the centuries old debate as to the origin of springs—whether they are supplied by percolating rainfall or by water originating in the interior of the earth. A second edition was published in 1678, and a lengthy abstract appeared in the Philosophical Transactions of the Royal Society for November 22nd, 1675. The book in question "by a French Author" was the first attempt to apply a quantitative test to a central theme of the debate—whether or not the rain falling on the surface of the ground is sufficient to supply water to all the rivers and springs. The quantitative argument, which was improved on by Mariotte (and again, a hundred years later, by de la Methiere) had a decisive effect on the outcome of the debate; even so, the universal recognition of percolation as the origin of springs was not achieved for a further two hundred years.

The author of the 1674 volume compared the rainfall and runoff for the Seine from its source to Aignay-le-Duc. He calculated the sustained runoff from the catchment as 36 1/2 million muids, leaving over 188 million muids, or five times as much, to "furnish for losses such as

the feeding of trees, herbs, vapours and extraordinary swellings of the river while it rains". The manner in which these figures were arrived at is of some interest and is discussed below.

The catchment examined was the Upper Seine down to Aignay-le-Duc, where a rivulet enters. The author estimated the length of the river down to this point as 3 leagues. The nearest streams on either side were found to be about 2 leagues away. "As these rivulets require water to maintain them as well as the Seine", the author takes the mean width of the area supplying the Seine as 2 leagues. He thus concludes that the basin of the Seine corresponds to a reservoir whose surface area is 6 square leagues, or 31 1/4 million square fathoms.

The author gives, the following measured results for rainfall :—

October 1668-October 1669 :	18 inches 7 lines
October 1670-October 1671 :	8 1/2 inches
January 1637-January 1674 :	27 1/2 inches

and gives the average as 19 inches and 2 1/3 lines. Here we have a puzzling error in arithmetic, as the average is clearly 18 inches and 2 1/3 lines. However, to avoid confusion the incorrect figure of 19 inches 2 1/3 lines will be maintained in the subsequent discussion. The author then proceeds to calculate the volume of water corresponding to such a rainfall falling

in a year on a catchment of 6 square leagues. Since one inch by one square fathom equals 3 cubic feet, and since there are 8 cubic feet in a muid, the calculation should go as follows :—

$$\begin{aligned} \text{rainfall volume} &= \\ & \frac{31\ 1/4 \text{ million sq. fathoms} \times 19.7/36 \text{ ins.} \times 3}{8} \\ & = 224,934,896 \text{ muids.} \end{aligned}$$

The author gives the result of the calculation as 224,899,942 muids, the small difference probably arising from rounding.

To estimate the runoff the author compared the flow of the Upper Seine with that of the Gobelins River near Versailles, which had been measured as 50 inches. He estimated the flow of the Seine by comparison as 1,200 inches, "always running, compensating the less quantity it has at its source with the greater it has towards Aignay-le-Duc". The author mentions that the inch used as a measure of flowing water has been held to yield in 24 hours anything from 70 to 144 muids; he himself takes the inch as equivalent to 83 muids in 24 hours. The runoff can thus be calculated as :

$$\begin{aligned} \text{runoff volume} &= 1,200 \text{ inches} \times 83 \times 365 \text{ days} \\ & = 36,354,000 \text{ muids,} \end{aligned}$$

while the figure given by the author is 36,453,600 muids.

The author's results give runoff as one-sixth the rainfall, thus showing that in this case rainfall was more than adequate to supply the river flow. The weakest part of the comparison is the estimate of runoff, but even here he appears to have made a good approximation. If we recall that his estimate was, apparently, for the average flow between the source and Aignay-le-Duc, and not (as it should have been) for the flow at the latter point, the value of one-sixth of the rainfall is a fair estimate of the sustained flow from which floods have been excluded. All in all, this first attempt to compare rainfall and runoff was a very creditable one.

The author closes his discussion with a comment in which he speaks for all hydrologists when he says :—

"I am well aware that this deduction is not sure, but who can give a surer? However such as it is, I think it is more satisfactory than a bare negative as is that of those who pretend it rains not enough to furnish sufficient quantities of water for the constant running of rivers."

The author remarks that in areas of low rainfall the summer flow becomes very small as the snow on the mountains is diminished by melting, and that in areas of no rainfall rivers are fed from rain in other countries, as in the case of the Nile.

MARIOTTE'S CALCULATION

An improved version of the 1674 comparison was included in Mariotte's "Traité du mouvement des eaux et des autres corps fluides" published in 1686 [2], two years after the author's death. The section dealing with the problem of springs is only a small part of Mariotte's book, which is a landmark in the history of hydraulics. Due to the wide circulation of this book, and its translation into English and German, Mariotte's contribution to the debate on the origin of springs must have been far more influential than that of the earlier author. It is, perhaps, well to mention here that some modern writers on the subject appear to identify the earlier author with Mariotte. The reasons for rejecting this hypothesis are given in the final section of the paper.

Mariotte based his comparison of rainfall and runoff on the Seine catchment above Paris. He estimated this area to be 60 leagues in length and 50 in breadth, giving an area of 3,000 square leagues. Mariotte mentions that 6 or 7 years before he had initiated rain gauge experiments

at Dijon. From these he estimated the annual rainfall as 17 inches, which he compares with the 19 inches $2\ 1/3$ lines found by the 1674 author. For purposes of calculating the water available from rain, Mariotte took the rainfall at the "safe" figure of 15 inches. The volume of rainfall is computed as follows :

$$\begin{aligned} 15'' &= 45 \text{ cubic feet/square fathoms,} \\ &= 45 \times 5,290,000, \\ &= 238,050,000 \text{ cubic feet/square league,} \end{aligned}$$

so that for the catchment of 3,000 square leagues the volume will be 714,150,000,000 cubic feet.

To estimate the runoff Mariotte observed conditions in the Seine above Pont Royal. The width is taken as 400 feet and the depth (which varies from 2 feet to 10 feet) averaged as 5 feet, thus giving a sectional area of 2,000 square feet. Mariotte observed that in flood time a stick carried in mid-stream went as swiftly as a man walking very fast, which he put at 250 feet per minute. For average flows when the depth is about 5 feet, Mariotte estimated the surface

velocity as 150 feet per minute, and took the mean velocity as 100 feet per minute. The mean area of 2,000 square feet and the mean velocity of 100 ft. per minute combine to give a discharge of 200,000 cubic feet per minute, which corresponds to an annual volume of 105,120,000,000 cubic feet. As Mariotte remarks this runoff is less than one-sixth of the estimated rainfall.

As can be seen from the above account, Mariot-

te's estimate of the flow is on a sounder basis than that of the earlier author, and the result is approximately the same. As far as the present writer is aware, there was no further advance in the quantitative analysis of the hydrological cycle for another hundred years, except for the estimate by Halley of the relation between the evaporation from the Mediterranean and the inflow into it.

WHO WAS THE 1674 AUTHOR?

The publication in 1674 of the first comparison of rainfall and runoff is such a landmark in the development of hydrology that we would like to know something of the man responsible. Unfortunately, no author's name appears on the original publication, or on the second edition of 1678. Subsequent writers have attributed the work to a number of individuals.

Keilhack in his standard work "Grundwasser und Quellenkunde" [3] regards Mariotte (1620-1684) as the pioneer of quantitative hydrology. He writes of Mariotte measuring the 3-year average rainfall at Dijon as 19 inches and 2 1/3 lines. It is probable, however, that this represents a misreading of Mariotte's text rather than a knowledge of the 1674 work. Though Mariotte was clearly aware of the earlier work, the distinction between his rainfall measurements at Dijon and those of the 1674 volume is quite clear. The calculation is set out in the same order in each case, but different units are used (muids in 1674 and cubic feet by Mariotte) and, furthermore, the size of the muid is different in the two texts. The extremely rough method of estimating runoff used by the 1674 author is quite foreign to the careful experimental approach shown in all of Mariotte's work.

In the 1809 abridged edition of the Philosophical Transactions of the Royal Society, the book on the "Origin of Springs" published in 1674 is attributed to Denis Papin. The latter was a noted worker in pneumatics who came from Paris to work at the Royal Society with Robert Boyle in 1675, and remained there until 1688. As pointed out by Adams [5], this ascription of the work to Papin does not appear in the earlier editions of the Philosophical Transactions, where the book is described as "by an anonymous French author". This weakens greatly the evidence for Papin's authorship, especially since the abstract of the book on Springs in the original Transactions follows immediately after another abstract of "A Paper

by M. Papin on some experiments made in the Air Pump (published in Paris 1674)".

The work on "The Origin of Fountains" was included in the Collected Physical Works of C. & P. Perrault published at Leyden in 1721 and there ascribed to Pierre Perrault [7]. It is also included in a similar collection published at Amsterdam in 1727. A French index to the Transactions of the Royal Society was published by M. de Bremond in 1739 [6]. In it the 1685 abstract of the Origin of Springs is listed as "Extrait du Traité publié à Paris en 1674 sur l'Origine des Fontaines (par M. Perrault)". The Biographie Universelle [7] published in 1823 gives Pierre Perrault as the author of the work. The Nouvelle Biographie Générale [8] published in 1862 also lists the book as the work of Pierre Perrault and mentions its inclusion in the Collected Works published at Leyden in 1721. Adams [5] attributed the work to Pierre Perrault on the basis of the entry in Nouvelle Biographie Générale and of the fact that his own copy of the book had "par Pierre Perrault" written on it in ink. Later writers on the history of science have quoted Adams as the authority for Perrault's authorship.

At first sight this list would appear to be conclusive evidence that Pierre Perrault (1608-1680) wrote the 1674 work on the Origin of Springs. However, there is always the possibility that all of these references stem from the inclusion of the work in the Leyden publication of 1721. The latter collection, which mistakenly states that Pierre Perrault was a member of the French Academy, was published long after the death of Perrault and his brothers. In the absence of any contemporary confirmation Perrault's authorship would appear to remain a probability rather than a certainty.

Pierre Perrault was the son of a lawyer, and was himself trained for the law. He was appointed Receiver General for Paris under Colbert, but is said to have satisfied his creditors

at the expense of the Exchequer. Of his brothers, Nicholas was a noted theologian, Claude was a naturalist and author, as well as architect of the Louvre, while Charles played a large part in the organisation of the Académie Française, and is also remembered for his writing, notably his fairy tales [9]. It is interesting to note that Claude Perrault's translation of Vitruvius was published in 1673. As Vitruvius was a proponent of the theory that rain and snow formed the origin of springs (Book VIII, Chapter 3),

this may have been the source of Pierre Perrault's interest in the subject of rainfall and runoff.

It would appear probable that the honour of first using quantitative methods in the analysis of the hydrological cycle belongs to Pierre Perrault. Though crude in some of its detail, the method was fundamentally sound, and the author—Perrault or another—made an immense contribution to the emergence of scientific hydrology.

NOTRE FRONTISPICE

EYTELWEIN (1764-1848)

Combien, parmi ceux qui utilisent un enregistreur sur bande de papier, savent-ils qu'ils en sont redevables à Jean Eytelwein? Né à Francfort-sur-le-Main le 31 décembre 1764, engagé à 15 ans dans un régiment d'artillerie prussien, Johann Albert Eytelwein quitta en 1787 le service de l'armée avec le grade de lieutenant.

Devenu ingénieur, il fut en 1809 nommé membre du conseil des bâtiments en Prusse, fonctions qui furent étendues territorialement en 1816. Entre autres missions importantes, il fut chargé de régulariser divers cours d'eau, dont l'Oder et le Niemen, et de construire plusieurs ports, dont ceux de Memel et de Swinemünde.

Ce fut pour étudier le mouvement des soupapes dans le bélier hydraulique qu'il imagina la présentation graphique des déplacements par un crayon asservi à la soupape et frottant sur une bande de papier qu'un mouvement d'horlogerie déplaçait dans le sens convenable; procédé qui fut appliqué depuis lors à tous les genres de dynamomètres. Il dota également la Prusse d'un système uniforme de poids et mesures.

Membre de l'Académie des Sciences de Berlin en 1803, correspondant de celle de Paris en 1846, il écrivit de nombreux ouvrages parmi lesquels certains méritent d'être particulièrement cités pour l'influence qu'ils eurent sur l'avancement des sciences dans leur pays d'origine: *Handbuch der Mechanik fester Körper und der Hydraulik* (Berlin, 1801), dans lequel il proposa, en particulier, pour les canaux découverts, une formule encore inédite et proche parente de celle — antérieure, mais alors inconnue — de Chézy; *Handbuch der Statik fester Körper* (Berlin, 1808), *Handbuch der Perspektive* (Berlin, 1810), *Untersuchungen über die Bewegung des Wassers* (1818), dans lesquels, reprenant la question de la formule des canaux découverts pour laquelle il avait été un novateur, il publia deux formules de type identique à celles de Prony, mais avec des paramètres différents; *Grundlehren der höhern Analysis* (1824), *Auflösung höherer numerischer Gleichungen* (Berlin, 1837).

Eytelwein mourut à Berlin le 18 août 1848.

EYTELWEIN (1764-1848)

How many of us who use strip chart recorders know that we owe them to Johann Eytelwein?

Born in Frankfurt-on-Main on December 31st 1764, Johann Albert Eytelwein joined a Prussian artillery regiment at the age of 15 and left the army in 1787 with the rank of lieutenant.

He then became an engineer and in 1809 was appointed a member of the Prussian Public Works Council, his territorial responsibility being further extended in 1816. In addition to other important activities, he was made responsible for training works on various rivers including the Oder and the Niemen and for the construction of several harbours such as Memel and Swinemünde.

It was when he was investigating the motion of valves in hydraulic rams that he had the idea of representing such motion graphically by connecting a pencil to the valve and using it to mark a strip of paper made to move past the pencil in the right direction by means of clockwork. Since then this method has been applied to all types of dynamometers. He also standardized weights and measures in Prussia.

*He became a member of the Berlin Academy of Sciences in 1803 and a correspondent of the Paris Academy in 1846. He wrote much, and of his works the following deserve particular mention because of the influence they had on the advancement of science in his country: *Handbuch der Mechanik fester Körper und der Hydraulik* (Berlin, 1801) in which he presented an, at that time, unpublished formula, which is closely related to, but anteceded Chézy's formula, which was then unknown, *Handbuch der Statik fester Körper* (Berlin, 1808), *Handbuch der Perspektive* (Berlin, 1810), *Untersuchungen über die Bewegung des Wassers* (1818), in which, once again taking up the formula for open channels which he introduced, he published two formulas of an identical type to those of Prony, but with different parameters; *Grundlehren der höhern Analysis* (1824), *Auflösung höherer numerischer Gleichungen* (Berlin, 1837). Eytelwein died in Berlin on August 18th 1848.*