Variations de l'hydraulicité en France

River flow variations in France

PAR M. COUTAGNE

INGÉNIEUR-CONSEIL, ANCIEN ÉLÈVE DE L'ÉCOLE POLYTECHNIQUE

La période trentenaire 1927-1956 se caractérise par un débit moyen normal. La Seine à Paris accuse les mêmes valeurs au cours de cette série et de celle de 1851-1950. Ce fait est établi à partir des précipitations relevées à Auxerre et des bonnes corrélations pluviométriques qui existent entre les résultats de ces deux stations. On a analysé les deux époques humide et sèche des trente années récentes dans le bassin de la Seine, puis dans les autres bassins français.

The thirty year period from 1927 to 1956 is characterized by normal average flow. Average flows for the Seine at Paris during this period are the same as for 1851 to 1950. This fact was determined from rainfall measurements made at Auxerre and correlations between these two stations for rainfall and river flow are good. The two wet and dry periods of the last thirty years are analysed for the Seine basin and then for other French river basins.

Il est évidemment intéressant de connaître la valeur moyenne et la variabilité des débits d'un bassin pendant une très longue période, mais c'est le plus souvent difficile.

Or, la série trentenaire 1927-1956 des débits de la Seine à Paris présente les mêmes chiffres

moys annuels que la série séculaire 1851-1950 : c'est ce que montre la première partie.

Et cette règle, valable pour la Seine, est généralisable aux autres grands bassins français ainsi qu'on le verra dans la deuxième partie.

I. — DÉBITS DE LA SEINE A PARIS DE 1851 à 1950

1° VARIATIONS DES PRÉCIPITATIONS QUINQUENNALES A AUXERRE.

L'équivalence des deux séries de 30 et 100 ans est fondée sur les précipitations. A défaut d'une statistique qui reste à établir, on considère une seule station témoin : Auxerre (Yonne).

Auxerre 1927-56 = Auxerre 1851-1950 = 653 mm

Pour les 50 ans de la période 1891-1940, les

précipitations moyennes du bassin atteignent 728 mm (d'après les moyennes départementales établies par M. Grisolle) et celles d'Auxerre 674 mm. On admet donc :

précipitations bassin =

précipitations Auxerre $\times 1,08$ (728/674)

période centenaire 1851-1950 :

Auxerre 653 mm

bassin $653 \times 1,08 =$ 705 mm

(*) Cette étude est un résumé par J. DE BEAUREGARD, ingénieur à Electricité de France, de quatre notes de M. Aimé COUTAGNE.

La figure 1 porte en abscisse le temps, en ordonnée la pluviosité en % de la période cente-

FIG. 1

naire 1851-1950. Le graphique est établi d'après des moyennes quinquennales mobiles. On a encadré quelques séries quinquennales remarquables. En bas du graphique, on a porté les moyennes décennales fixes.

A noter :

- l'abondance remarquable des 20 ans 1910-1930, succédant à 40 ans de déficit 1860-1900 et précédant le déficit des années 40;
- l'absence de 1949 dans les années minima.

La corrélation entre les débits de la Seine et les précipitations d'Auxerre pour les 30 ans 1927-1956 est de la formule :

$$\frac{Q}{Q_0} - 1 = 1,7 \left(\frac{H}{H_0} - 1 \right) \quad R = 0,88$$

Q = débits

H = précipitations

Les indices ₍₀₎ correspondent à la moyenne de la période, et les lettres sans indice à une année particulière.

Ce coefficient de corrélation s'améliore si l'on tient compte en plus des précipitations de l'année antérieure :

R = 0,92 avec la formule :

$$\frac{Q}{Q_0} - 1 = 1,7 \left(\frac{H}{H_0} - 1 \right) + 0,56 \left(\frac{H'}{H_0} - 1 \right)$$

Le signe (') concerne l'année antérieure.

Valeurs numériques :

Déficit d'écoulement :

$$D = 653 \times 1,08 - 193 = 512 \text{ mm}$$

Quotient d'écoulement :

$$C = 193/705 = 0,27$$

$$K = Q/H_2 = 0,39$$

2° HYDRAULICITÉS COMPARÉES DE LA SEINE A PARIS. — MESURES ET CALCULS.

La série de 30 ans de mesures à Paris comporte deux périodes à peu près égales, la première particulièrement humide, la seconde particulièrement sèche.

La période humide 1927-1941=15 ans est présentée dans le graphique 2. $R = 0,91$.

Valeurs numériques :

$$D = 767 - 227 = 540 \text{ mm}$$

$$C = 0,29$$

$$K = 0,40$$

La période sèche 1944-1955 = 12 ans.

$$R = 0,93$$

Pour la figure 3, les valeurs numériques sont :

$$D = 644 - 158 = 486 \text{ mm}$$

$$C = 0,25$$

$$K = 0,38$$

FIG. 2

Fig. 3

En période sèche, le déficit est plus faible et l'influence des précipitations de l'année précédente plus marquée qu'en période humide.

3° HYDRAULICITÉS COMPARÉES DE LA SEINE A MELUN. — MESURES ET CALCULS POUR LA PÉRIODE 1890-1930.

D'après les quatre années communes 1927-1930, on peut écrire que le module de Paris vaut 1,55 fois celui de Melun, alors que le rapport des bassins versants (BV) est égal à 1,64.

4° VARIATIONS DU DÉBIT DÉCENNAL A PARIS PENDANT UN SIÈCLE.

La période unitaire est la décennie (10 années consécutives), chaque point du graphique

de la figure 4 représentant une moyenne décennale fixe.

Sur la période centenaire 1851-1950, les débits ont été successivement :

- Calculés d'après Auxerre, avec le coefficient 1,08 pendant ce siècle, dont on retiendra les 40 années : 1851-1890;
- Rétablis d'après Melun, avec le coefficient 1,55 pendant les 40 années : 1891-1930;
- Mesurés à Paris, directement pendant les 20 dernières années : 1931-1950.

On passe des précipitations aux débits par la formule $Q = 0,66 H - 237$ déduite de la formule indiquée dans le 1°) en remplaçant Q_0 et H_0 par leur valeur numérique : 193 et 653 mm.

On passe des mm aux m³/s en divisant les débits exprimés en mm par 0,71.

Débits d'après Auxerre :

$$Q_1 = \frac{Q}{0,71} = \frac{Q}{31\,536/44\,320} = \frac{Q \text{ mm} \times 44\,320 \text{ km}^2}{31\,536 \text{ s}}$$

Débits d'après Melun :

$$Q_2 = Q \text{ Melun} \times 1,55$$

La concordance de Q_2 avec Q_1 est particulièrement satisfaisante pour les deux décennies 1891-1900 et 1911-1920.

Débits mesurés directement à Paris Q_3 .

La série centenaire Q est déduite de Q_1 Q_2 Q_3 .

Le maximum décennal est 1911-1920.

Le minimum 1941-1950. Le maximum vaut 1,5 fois le minimum.

Quant aux débits annuels extrêmes, nous les estimons par interpolation ainsi :

$$1921 \dots Q = 255 \text{ (Loire)} \times 0,31 = 79 \text{ m}^3/\text{s}$$

$$1910 \dots Q = 2\,026 \text{ (Loire)} \times 0,32 = 648 \text{ m}^3/\text{s}$$

Le coefficient 0,32 résulte des débits observés en 1930 et 1931 à Paris et à Montjean.

D'où un rapport des modules extrêmes égal à 8 environ, comme pour la Loire.

Ces estimations comportent une part d'incertitudes, mais l'intérêt qu'elles présentent suffit à les justifier.

La moyenne trentenaire 1927-1956 et la moyenne centenaire 1851-1950 s'équivalent autour de 275 m³/s.

Fig. 4

II. — DÉBITS DE QUELQUES FLEUVES ET RIVIÈRES FRANÇAIS de 1927 à 1956

1° 1927-56. DÉBITS MOYENS NORMAUX DE TRÈS LONGUE PÉRIODE.

Si les précipitations d'Auxerre pendant les trente années 1927-1956 et le siècle 1851-1950 sont équivalentes, d'où par déduction de corrélations les débits de la Seine à Paris pendant ces mêmes périodes, la règle supporte une gé-

néralisation. Le tableau II donne pour 15 stations françaises la valeur de ces modules et leur variabilité.

Ces 30 dernières années enregistrent des moyennes annuelles de débits très voisines des moyennes englobant des périodes plus longues, excédant même parfois un siècle (tableau I).

TABLEAU I

	BV km ²	1927-1956 30 ans m ³ /s	Longue période m ³ /s	
Le Rhin à Bâle.....	35 925		1 026	1808-1957 = 150 ans
Le Rhin à Rheinfelden.....	34 550	1 026		
La Loire à Montjean.....	110 000	879?	843?	1880-1949 = 70 ans
L'Isère à Beaumont.....	11 500	324	317 330	1920-1956 = 37 ans 1904-1956 = 53 ans
La Durance à Mirabeau.....	11 920	186	191	1904-1956 = 53 ans

2° 1927-56. PÉRIODE TRÈS CONTRASTÉE.

Loire : écart moyen : 35,6 % contre 30,9 % (1880-1949).

Les écarts d'hydraulicité sont d'autant plus grands que le bassin est moins arrosé. Ainsi le Rhône à Génissiat n'a que 11,9 % d'écart moyen contre 35,6 % pour la Loire. Avec un écart moyen de 33,7 %, la Seine a une « variabilité annuelle » du même ordre de grandeur que la Loire : ce n'est pas un cours d'eau pondéré, ce qu'explique sa faible pluviosité, les fluctuations pluviales étant d'autant plus grandes que les précipitations sont faibles.

3° 1927-1956. SÉRIE QUI COMPORTE DEUX PÉRIODES SUCCESSIVES DE 15 ANS NETTEMENT DIFFÉRENCIÉES, LA PREMIÈRE EXCÉDENTAIRE, LA SECONDE DÉFICITAIRE.

C'est ce qui ressort nettement du tableau II. L'écart entre les deux hydraulicités de ces deux périodes est d'autant plus grand que le bassin est moins arrosé et moins nival (ou glaciaire).

Ainsi le Rhône à Génissiat (glaciation = 9 %) et le Rhin à Bâle (glaciation = 1,5 %) ont entre

ces deux périodes un rapport d'hydraulicité de 1,09 et 1,10; ce même rapport monte à 1,44 pour la Seine et 1,67 sur la Loire.

4° 1927-1956. ANNÉES EXTRÊMES : 1930 MAXIMUM, 1949 MINIMUM.

Toutefois les débits de 1930 ont été inférieurs à ceux de 1910.

Et ceux de 1949 supérieurs à ceux de 1921, sauf dans le Sud-Ouest, où 1925 a été plus déficitaire en 1921.

Ainsi sur la Loire :

1910..... 2 026 m³/s contre 1 563 en 1930

1921..... 253 m³/s contre 293 en 1949

La période sèche de 15 ans a comporté des années particulièrement chaudes qui ont entraîné la dégradation des réserves glaciaires dans les Alpes, en compensant la pénurie pluviale, et augmenté le déficit d'écoulement dans les bassins à régime pluvial. En particulier, l'année 1949 a dépassé de 1,5° la moyenne centenaire.

Il faudrait surtout vérifier que la *saison chaude*, époque de la fusion, juin-juillet-août, a

TABLEAU II

1927-1956 : DÉBITS ANNUELS, EN FRANCE, ET LEUR VARIABILITÉ

BASSINS	— 1 —		— 2 —			— 3 —	— 4 —		— 5 —		— 6 —		— 7 —		Bassins principaux
	km ²	Altitude moyenne m	Q m ³ /s	q l/s/km ²	Q' mm	%	Max.	Année	Min.	Année	1927-1941 h ₁	1942-1956 h ₂	h ₁ /h ₂	H _{moy}	
Rhin Suisse.....	34 550	1 100	1 026	29,7	937	13,7	127	1939	62	1949	105	95	1,10	1 425	Rhin
Rhône à Génissiat.....	10 900	—	361	33,1	1 045	11,9	132	1930	71	1949	104,5	95,5	1,09	1 500	Rhône
Rhône au Teil.....	70 000	—	1 484	21,2	669	21,8	144	1930	55	1949	112,6	87,4	1,29	1 200	
Isère à Beaumont.....	11 500	1 330	324	28,0	885	18,6	143	1951	55	1949	106,3	93,7	1,13	1 400	
Durance à Mirabeau.....	11 900	1 290	186	15,7	490	23,7	190	1936	60	1944	110	90	1,22	1 100	
Ain à Cize-Bolozon.....	2 560	720	96	37,5	1 182	23,9	170	1935	59	1953	106	94	1,13	1 750	
Fier à Vallières.....	1 350	1 350	41,3	30,6	965	26,9	167	1930	46	1949	114	86	1,33	1 500	
Seine à Paris.....	44 300	—	271,7	6,12	194	33,7	176	1930	37	1949	118	82	1,44	700	Seine
Loire à Montjean.....	110 000	—	879(?)	8,0	252	35,6	170	1930	33	1949	125	75	1,67	770	Loire
Loire à Gien.....	36 000	—	360	10,0	315	34,5	161	1930	33	1949	123	77	1,60	850	
Creuse à Eguzon.....	2 400	445	29,7	12,4	390	34,3	165	1930	29	1949	123	77	1,60	925	
Dordogne à Cénac.....	8 700	610	178	20,5	645	27,8	151	1930	45	1953	116	84	1,38	1 150	Dordogne
Dordogne à Argentat.....	4 400	775	100	22,7	715	28,1	159	1930	43	1949	117	83	1,41	1 200	
Garonne à Mas-d'Agenais...	52 000	—	546(?)	10,5(?)	331(?)	28,0	163	1930	35	1949	117	83	1,41	900	Garonne
Lot à Cajarc.....	7 000	845	125,3	17,9	564	27,8	166	1935	29	1949	119	81	1,47	1 100	

(1) *Superficie et altitude moyenne.*

(2) *Débits en m³/s, l/s/km² et en mm.*

(3) *Ecartis moyens en % du débit moyen.*

(4) *Hydraulicité maximum, et année correspondante.*

(5) *Hydraulicité minimum, et année correspondante.*

(6) *Hydraulicités 1927-1941 et 1942-1956, et rapport.*

(7) *Précipitations (ordre de grandeur).*

FIG. 5

été plus chaude que la moyenne des températures de ces mêmes mois : ce ne fut pas toujours le cas ces dernières années.

5° Les précipitations portées à l'avant-dernière colonne du tableau II ne sont *qu'indicatives*. Elles ont été le plus souvent estimées d'après un déficit d'écoulement admis *a priori*.

L'absence de statistiques pluviales, par bassins versants, ne permet pas de fixer avec plus d'exactitude le déficit d'écoulement et ses variations locales d'après les différentes régions françaises. *Grosso modo*, nous estimons le déficit moyen à 510 mm pour le bassin de la Seine, à 525 pour celui de la Loire, à 540 pour la Garonne, et à 530 (peut-être même 550) pour le Rhône au Teil. En tout cas, des 3 facteurs : Précipitations (H), Ecoulements (Q) et Evaporations (E), ce dernier est de beaucoup le moins variable.

6° 1927-1956, VARIATIONS ANNUELLES DE L'HYDRAULICITÉ DANS LES GRANDS BASSINS FRANÇAIS (fig. 5).

Entre la Loire — qui occupe dans notre pays une situation centrale — et les 3 autres grands fleuves français, la Seine, la Garonne et le Rhône, les coefficients de corrélation sont assez élevés :

Loire-Seine $R = 0,92$

Loire-Garonne $R = 0,94$

Loire-Rhône $R = 0,90$

Nous terminons par les graphiques de distribution de fréquence, avec ajustement de la loi de Galton, et des diagrammes des fréquences partielles sur les 70 ans de 1887 à 1956, des précipitations d'Auxerre et des modules de la Seine et de la Loire (fig. 6, 7, 8).

DISTRIBUTION DE FREQUENCE DES PRECIPITATIONS ANNUELLES D'AUXERRE

1887 - 1956 = 70ans

DIAGRAMME DES FREQUENCES PARTIELLES

FIG. 6

DISTRIBUTION DE FREQUENCE DU DEBIT ANNUEL DE LA SEINE A PARIS

1887 - 1956 = 70ans

DIAGRAMME DES FREQUENCES PARTIELLES

FIG. 7

DISTRIBUTION DE FREQUENCE DU DEBIT ANNUEL
DE LA LOIRE A MONTJEAN
1887 - 1956 = 70 ans

DIAGRAMME DE FREQUENCES PARTIELLES

Fig. 8

Cet article condense quatre études que l'on pourra trouver à la Société Hydrotechnique de France, 199, rue de Grenelle, Paris (VII^e).

COMMENTAIRE

Président : M. DEYMIÉ

M. le Président remercie M. COUTAGNE pour sa vaste synthèse sur les variations de l'hydraulicité en France et M. DE BEAUREGARD d'avoir su dégager de cette synthèse les éléments essentiels et de les avoir rendus assimilables, dans le temps qui lui était imparti.