

Des covariations interfluviales

Interfluvial covariations

PAR A. COUTAGNE

INGÉNIEUR-CONSEIL
ANCIEN ÉLÈVE DE L'ÉCOLE POLYTECHNIQUE

English synopsis p. 218

RÉSUMÉ DE LA COMMUNICATION

Deux phénomènes — sans que l'un soit effectivement plus ou moins conditionné par l'autre — peuvent être en corrélation s'ils sont conditionnés l'un et l'autre simultanément par un troisième phénomène ou un certain ensemble de phénomènes. Nous appelons une telle corrélation indirecte *covariation* : les deux phénomènes ont le même développement historique, et le rapport de corrélation classique R, auquel convient mieux le nom de *rapport de covariation*, chiffre leur synchronisme, leur parallélisme, ou encore le coefficient r , employé par nous dans des études analogues, que nous désignons ici par *degré de covariation*.

NOTATIONS ET FORMULES

Pour le rappel des formules et des définitions, nous renvoyons le lecteur à notre étude « Météorologie et hydrologie », publiée dans *la Houille Blanche* (n° 3, mai-juin 1948, I. — Considérations préliminaires, pages 229, 230 et 231). Ces considérations, relatives aux corrélations pluviofluviales, s'appliquent aux covariations interfluviales par un simple changement de symboles : Q devient Y, débit d'un bassin; H devient X, débit de l'autre bassin, et l'on obtient les mêmes genres d'expressions et de relations :

Formules de probabilité intrinsèque du débit d'un cours d'eau rapporté à sa moyenne :

$$\boxed{\frac{X}{X_0} = 1 + \frac{z}{K_1}} \quad \text{et} \quad \boxed{\frac{Y}{Y_0} = 1 + \frac{z}{K_2}} \quad (1)$$

Formule de covariation théorique correspondante :

$$\boxed{\frac{Y}{Y_0} - 1 = \frac{K_1}{K_2} \left(\frac{X}{X_0} - 1 \right)} \quad (2)$$

Rapport de covariation :

$$\boxed{R = \frac{\Sigma xy}{\sqrt{\Sigma x^2 \Sigma y^2}}} \quad (3)$$

Formule de covariation associée à une formule de probabilité :

$$\boxed{\frac{Y}{Y_0} - 1 = \lambda \left(\frac{X}{X_0} - 1 \right) + \frac{z}{K}} \quad (5)$$

Degré de covariation :

$$r = 1 - \frac{\sum |y - \lambda x|}{\sum |y|} \quad (6)$$

Dans la pratique, si le coefficient λ est voisin de 1, on pourra se contenter d'admettre la proportionnalité des débits; on aura les formules simplifiées :

$$Y = \frac{Y_0}{X_0} \cdot X \quad (2')$$

et :

$$\frac{Y}{Y_0} = \frac{X}{X_0} + \frac{z}{K} \quad (5')$$

APPLICATIONS

L'étude de ces covariations interfluviales présente souvent un réel intérêt. Comme applications nous citerons les suivantes :

1° Si la covariation est positive ($R > 0$) et forte, on peut l'utiliser pour déterminer le régime d'un cours d'eau pour lequel on ne possède des observations directes que pour peu d'années, en fonction des caractéristiques fluviales d'un autre cours d'eau, dont le régime est connu d'après des observations de longue durée, pourvu qu'on ait observé les débits des deux cours d'eau pendant une certaine période commune.

2° Les covariations positives et faibles, et à fortiori les covariations négatives conduisent à des enseignements d'un autre ordre. Plus deux cours d'eau sont *saisonnièrement* ou *périodiquement* différents, plus il y a intérêt à les conjurer en vue de leur utilisation commune, de manière à obtenir un ensemble, par exemple hydro-électrique, dont la productivité soit la plus constante possible, soit au cours des différents mois, soit au cours des années successives.

3° Une autre application des covariations interfluviales réside dans le fait qu'elles permettent de contrôler, les unes par les autres, les statistiques fluviales, de les corriger, de les compléter. Mais nous devons noter à ce sujet qu'il est des cas où l'on se trouve embarrassé pour dire si un manque — ou une faiblesse de corrélation — est dû à une erreur statistique ou à la réalité des faits. D'autres considérations, par exemple pluvio ou thermofluviales, peuvent entrer en ligne de compte pour trancher la question.

4° Si deux bassins sont en forte covariation fluviale, les prévisions de débit faites pour l'un d'eux sont plus ou moins valables pour l'autre :

ce qui peut entraîner une simplification des moyens de prévision mis en œuvre et réaliser des économies d'exploitation.

CLASSIFICATION

Nous distinguerons, plus particulièrement, dans cette étude, les covariations suivantes :

- Les covariations *périodiques* par exemple *annuelles*. On étudie comparativement les débits annuels successifs de deux bassins;
- Les covariations *mensuelles particulières*, c'est-à-dire correspondant à un mois particulier, ou éventuellement à une saison de plusieurs mois successifs;
- Les covariations *mensuelles générales* : tous les mois sont considérés simultanément et indistinctement;
- Les covariations *mensuelles moyennes* — tantôt positives, tantôt négatives — résultant de la considération de l'année fluviale moyenne, c'est-à-dire des 12 coefficients mensuels de débit de l'un et l'autre des deux bassins étudiés.

Les covariations mensuelles, particulières ou générales (*b* et *c*), ne sont à envisager que s'il s'agit de deux bassins entre lesquels existe une covariation appréciable des débits annuels.

Par contre, l'étude des covariations mensuelles moyennes (*d*) n'est pas soumise à cette condition, comme nous le verrons plus loin.

EXEMPLES

Nous résumons et commentons brièvement, dans les tableaux ci-après, nos études de covariations interfluviales annuelles et mensuelles particulières (paragraphes *a* et *b* ci-dessus). Pour mieux caractériser les débits, nous avons remplacé dans les figures les symboles généraux Y et X par les initiales des cours d'eau ou des stations dont ils représentent les débits (exemple : Truyère : $Y = T$; Bés : $X = B$, etc.).

Le tableau de la figure 1 donne pour quelques couples de cours d'eau les probabilités intrinsèques (formule 1), les covariations approchées associées aux probabilités suivant formule (5) et, éventuellement, les proportionnalités de débits suivant formules (2') ou (5').

Le tableau de la figure 2 donne un plus grand nombre de covariations, mais seulement sous la forme exprimée par les formules (2) et, éventuellement, (2').

Nous donnons ci-après quelques exemples de représentations graphiques de covariations :

Débits moyens en m ³ /s (1)		Période	Rapport de corrélation $R = \frac{\sum xy}{\sqrt{\sum x^2 y^2}}$	Formules		Rendement ou degré de corrélation $r = 1 - \frac{e}{E}$	Proportionnalité $Y = \frac{Y_0 X}{X_0}$	Observations
Y ₀	X ₀			Probabilité	Corrélation			
TRUYÈRE — BÈS								
(Pont de Lanau) T ₀ = 29,1	(St-Juéry) B ₀ = 8,5	1916-1932	0,955	$\frac{T}{T_0} = 1 + \frac{z}{2,66}$	$\frac{T}{T_0} = \frac{B}{B_0} + \frac{z}{8,67}$	0,65	T = 3,4 B	Corrélations très satisfaisantes.
(Sarrans) T' ₀ = 38,5	B' ₀ = 7,7	1939-1945	0,94	sensiblement les mêmes		0,75	T' = 5,0 B	On trouve pour 1917-1945 : T calculé = 41,5 T observé = 41,8
DORDOGNE — CÈRE								
(Argentat) D ₀ = 130,5	(Laroquebrou) C ₀ = 24,1	1909-1926	0,966	$\frac{D}{D_0} = 1 + \frac{z}{2,35}$	$\frac{D}{D_0} = \frac{C}{C_0} + \frac{z}{10,2}$	0,77	D = 5,4 C	D ₀ semble pêcher par excès dans l'ensemble.
D' ₀ = 110,3	(Montvert) C' ₀ = 23,25	Année 1927-1945	0,96	$\frac{D'}{D'_0} = 1 + \frac{z}{2,5}$	$\frac{D'}{D'_0} = \frac{C'}{C'_0} + \frac{z}{9,3}$	0,76	D' = 4,7 C'	Corrélation très forte.
D' ₀ = 165,75	C' ₀ = 35,9	Mars	0,974	$\frac{D'}{D'_0} = 1 + \frac{z}{1,07}$	$\frac{D'}{D'_0} = \frac{C'}{C'_0} + \frac{z}{5,2}$	0,79	D' = 4,62 C'	<i>Idem.</i>
D' ₀ = 42,16	C' ₀ = 6,36	Août	0,91	Les écarts ne suivent pas la loi de Gauss		0,64	D' = 6,36 C'	Corrélation moins forte.
D'' ₀ = 96,24	C'' ₀ = 20,26	1939-1945	0,984	$\frac{D''}{D''_0} = 1.1 \frac{C''}{C''_0} + \frac{z}{13,15} - 0,1$		0,83	D'' = 4,75 C''	Corrélation très forte.
MARONNE — CÈRE								
(Pont de l'Estouroc) M ₀ = 16,73	(Montvert) C ₀ = 23,25	1927-1945	0,92	$\frac{C}{C_0} = 1 + \frac{z}{2,65}$	$\frac{C}{C_0} = \frac{M}{M_0} + \frac{z}{6,7}$	0,63	C = 1,39 M	Corrélation encore très forte. M ₀ peut être entaché de quelques inexactitudes.
RHONE (R) ET RHIN (R')								
R ₀ = 626	R' ₀ = 1056	1896-1925	0,85	$\frac{R}{R_0} = 1 + \frac{z}{44}$	$\left\{ \begin{array}{l} \frac{R}{R_0} = \frac{R'}{R'_0} \times 0,60 + \frac{z}{9} \\ \frac{R}{R_0} = \frac{R'}{R'_0} \times 0,60 + \frac{z}{9} \end{array} \right.$	0,55	$\left. \begin{array}{l} R = 0,57R' + 26 \\ R' = 1,28R + 252 \end{array} \right\}$	Covariation relativement forte en dépit de divergences pluviométriques (averses méditerranéennes sur le bassin du Rhône).
R ₀ = 593	R' ₀ = 1021	1826-1925	0,83					
ISÈRE A LA SONE — ISÈRE A GRENOBLE								
S ₀ = 314,7	G ₀ = 197,6	1904-1916 et 1924-1931	0,95	$\frac{S}{S_0} = 1 + \frac{z}{4}$	$\frac{S}{S_0} = \frac{G}{G_0} + \frac{z}{12,5}$	0,72	S = 1,6 G	Covariation très forte (sauf pour les trois dernières années); permettrait de compléter la série des observations de Grenoble qui présente des lacunes.
RHONE A GÉNISSAT ET ARVE								
R ₀ = 342	A ₀ = 76,5	1939-1945	0,97	$\frac{R}{R_0} = 0,7 \frac{A}{A_0} + 0,30 + \frac{z}{26,5}$			R = 3,1 A + 105	Débit du Rhône beaucoup moins variable que celui de l'Arve (influence régulatrice du Léman).

Fig. 2.

Débits moyens en m ³ /s (1)		Période	Rapport de corrélation	Formule de corrélation	Rendement ou degré de corrélation	Proportionnalité	Observations
Y ₀	X ₀		$R = \frac{\sum xy}{\sqrt{\sum x^2 y^2}}$		$r = 1 - \frac{e}{E}$		
AIN — FIER — DOUBS							
A ₀ = 93,97	F ₀ = 36,66	1939-1945	0,97	.	0,80	A = 2,56 F	Très forte covariation interfluviale.
A ₀ = 93,97	D ₀ = 31,52	—	0,99		0,86	A = 2,98 D	
F ₀ = 36,66	D ₀ = 31,52	—	0,94		0,70	F = 1,16 D	
ROMANCHE A RIOUPÉROUX (B.V. 335 Km²) — — ROMANCHE AUX CHAZEUX (B.V. 1 024 Km²)							
R ₀ = 36,2	C ₀ = 11,2	1917-1922	0,97	$\left[\frac{R}{R_0} - 1 = 1,1 \left[\frac{C}{C_0} - 1 \right] \right]$	0,72	R = 3,3 C	Corrélation très forte. Observations exactes.
ROMANCHE AU CHAMBON ET BISSORTE							
R ₀ = 7,84	B ₀ = 1,66	1939-1945	0,96	$\left[\frac{R}{R_0} - 1 = 0,7 \left[\frac{B}{B_0} - 1 \right] \right]$	0,70	R = 4,7 B	Corrélation très bonne. λ = 0,7 indique que le débit de la Romanche est moins variable que celui de la Bissorte.
DRAC AU SAUTET — ISÈRE A GRENOBLE ET A LA SONE							
D ₀ = 32,88	I ₀ = 192,4 (Grenoble)	1904-1911 1924-1931	0,72	$\frac{D}{D_0} = \frac{I}{I_0}$	0,35		Corrélation plutôt faible. Statistiques plus ou moins exactes. Anomalie 1907 due à influences météorologiques différentes.
D' ₀ = 31	I ₀ = 292 (La Sône)	1936-1945	0,94	$\left[\frac{D}{D_0} - 1 = 1,1 \left[\frac{I}{I_0} - 1 \right] \right]$	0,70	D = 0,116 I — 2,8	Covariation bien plus forte (débits du Drac probablement plus exacts).
LA ROMANCHE AU CHAMBON — LE DRAC AU SAUTET							
R ₀ = 7,84	D ₀ = 29,6	1939-1944	0,94 (année)	$\left[\frac{D}{D_0} - 1 = 1,4 \left[\frac{R}{R_0} - 1 \right] \right]$	0,71	D = 3,77 R	Bonne corrélation.
			0,98 (mai-juillet)	$\left[\frac{D}{D_0} - 1 = 1,5 \left[\frac{R}{R_0} - 1 \right] \right]$	0,83		Débit du Drac plus variable que celui de la Romanche.
GITTAZ (BEAUFORTIN) ET FIER							
G ₀ = 1780 mm	F ₀ = 44,7 m ³ /s	1927-1938 année commençant le 1 ^{er} octobre	0,83	$\left[\frac{F}{F_0} - 1 = 1,3 \left[\frac{G}{G_0} - 1 \right] \right]$	0,4		Covariation quelconque. Débits du Fier plus ou moins exacts.
GAVE DE PAU — GARONNE A VALENTINE							
P ₀ = 10,1	G ₀ = 54	1939-1945	0,98	$\left[\frac{P}{P_0} - 1 = 0,8 \left[\frac{G}{G_0} - 1 \right] \right]$	0,75	P = 0,185 G	Covariation très forte de 1939 à 1945; moins forte pour la période plus ancienne (mesures de débit peut-être moins bonnes).
P ₀ = 13,28	G ₀ = 58,8	1914-1926	0,85				
BOURNE — ISÈRE A LA SONE							
B = 19,1	I = 318	1907-1923	0,92				Corrélation assez forte : débits de la Bourne plus au moins exacts, bassin très perméable, sans rétention : surface admise pour le bassin versant 534 km ² .

Ch = 414,3 (en mm)	T ₀ = 628,7	1909-1918	0,83	$\frac{Ch}{Ch_0} - 1 = 1,4 \left[\frac{T}{T_0} - 1 \right]$	0,38		Corrélation faible surtout pour l'année 1914, plus pluvieuse sur la Truyère que sur le Cher.
C ₀ = 31,1	S ₀ = 18,8	1939-1945	0,94	$\frac{C}{C_0} = \frac{S}{S_0}$	0,73	C = 1,65 S	Corrélation très forte.

SEINE A PARIS ET RHIN A BALE

		1861-1868	0,89	$\frac{S}{S_0} - 1 = 2,02 \left[\frac{R}{R_0} - 1 \right]$			Corrélation notable, tout au moins pour la période courte étudiée. Seine plus variable : absence influence nivo-glaciaire ($\lambda = 2,02$)
--	--	-----------	------	---	--	--	--

ALPES (ISÈRE A LA SONE) — MASSIF CENTRAL (CÈRE A LAROQUEBROU-MONTVERT)

29,25 l/s km ²	29,45 l/s km ²	1891-1945	0,72				Régions complémentaires sur le plan mensuel moyen et plus ou moins homologues sur le plan périodique. Pluviosité des deux bassins à peu près la même (1.400 à 1.450 mm). Covariation assez sensible malgré la perturbation des réserves nivo-glaciaires pour les Alpes. Écarts d'hydraulicité en sens inverse 11 années sur 55 (3 années sur les 25 dernières); écart moyen : Isère : 17,47 %, Cère : 22,44 %.
---------------------------	---------------------------	-----------	------	--	--	--	--

CÈRE — TRUYÈRE

(Laroquebrou)	(Pont de Lanau)						
C ₀ = 24,1	T ₀ = 31,82	1909-1926	0,83	$\frac{T}{T_0} = 1,10 \left[\frac{C}{C_0} - 0,10 \right]$	0,38	T = 1,32 C	Régimes pluviométriques différents. La corrélation fléchit dans les années très pluvieuses (C ₀ > C ₀).
C ₀ ' = 20,2		1939-1945	0,96	$\frac{T}{T_0} = 1,10 \left[\frac{C}{C_0} - 0,10 \right]$			

BESBRE — CÈRE

C ₀ = 21,9 m ³ /s	B ₀ = 652,6 mm	1932-1945	0,88				Bassins éloignés. Discordances pluviométriques notamment pendant les années 1936 et 1937. Les débits de la Bestre laissent peut-être à désirer du point de vue de leur exactitude.
---	---------------------------	-----------	------	--	--	--	--

LOIRE A MONTJEAN ET SEINE A MELUN

L ₀ = 844	S ₀ = 193	1891-1930 annuelle	0,92	$\frac{L}{L_0} - 1 = 1,09 \left[\frac{S}{S_0} - 1 \right]$	0,61		Corrélation plus que satisfaisante vu les divergences pluviométriques. Séries industriellement exactes. Loire indicative des variations de l'hydraulicité de la plus grande partie de la France.
		saisonniers moyenne	0,96	$\frac{L}{L_0} - 1 = 1,12 \left[\frac{S}{S_0} - 1 \right]$	0,88	L = 4,32 S	

RHIN A BALE ET ISÈRE A LA SONE

R ₀ = 1020	I ₀ = 313	1891-1930 annuelle saisonniers moyenne	0,86 0,85 0,94 entre R _n et I _n — 1	$\frac{R}{R_0} - 1 = 0,72 \left[\frac{I}{I_0} - 1 \right]$	0,51	R = 3,26 I	Covariation atténuée. Possibilité de déduire variation hydraulicité dans les Alpes pendant 150 ans (débits du Rhin connus depuis 1808).
-----------------------	----------------------	---	--	---	------	------------	---

(1) Sauf Gittaz (en mm de hauteur de lame d'eau sur le bassin versant) et Alpes-Massif Central (en l/s/km²).

a) *Covariations annuelles :*

La figure 3 représente la covariation Truyère-Bès suivant la formule (5') durant la période 1916-1932.

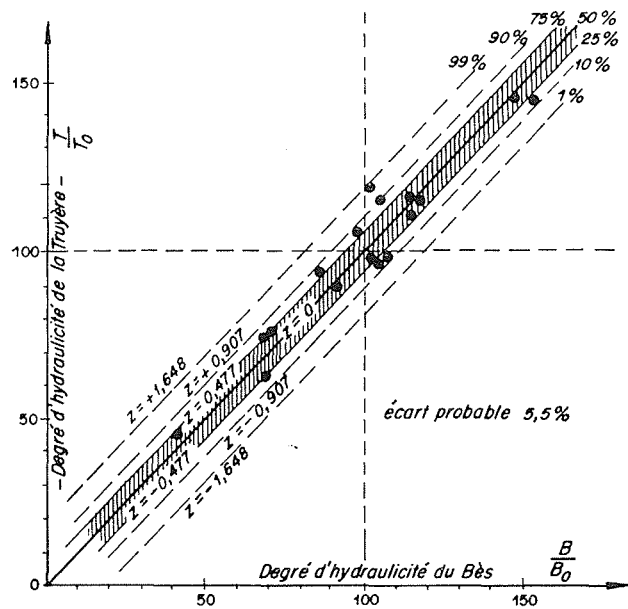


FIG. 3

La figure 4 représente la covariation Rhin-Isère, par juxtaposition des débits des deux cours d'eau rapportés à leur moyenne respective (hydraulicités annuelles) durant la période 1891-1930.

La figure 5 donne, pour le Drac au Sautet (1936-1945), un exemple de juxtaposition graphique des débits observés sur cette rivière, et de ses débits calculés par la formule de covariation

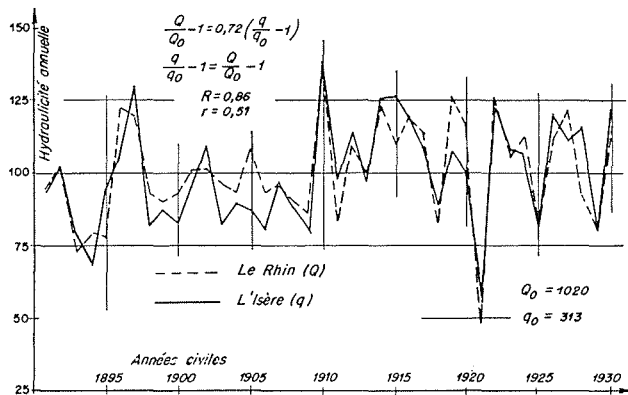


FIG. 4.

(2) en fonction de ceux de l'Isère à la Sône (hydraulicités annuelles).

b) *Covariations mensuelles particulières :*

La figure 6 représente, suivant la formule (5'),

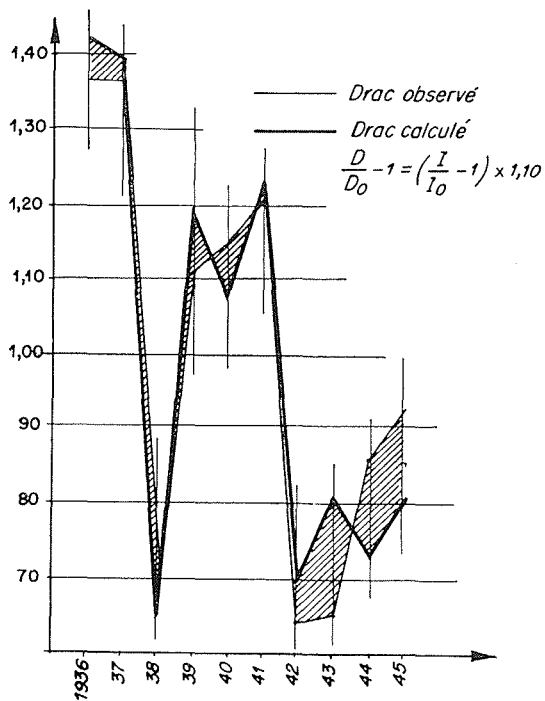


FIG. 5.

la covariation mensuelle, particulière au mois de mars pour la Dordogne et la Cère dans la période 1927-1945.

c) *Covariations mensuelles générales :*

Nous avons étudié de ce point de vue :

- 1) La Truyère et le Bès (1916-1932).
- 2) La Romanche à Rioupéroux et la Romanche aux Chazeaux (1917-1922).

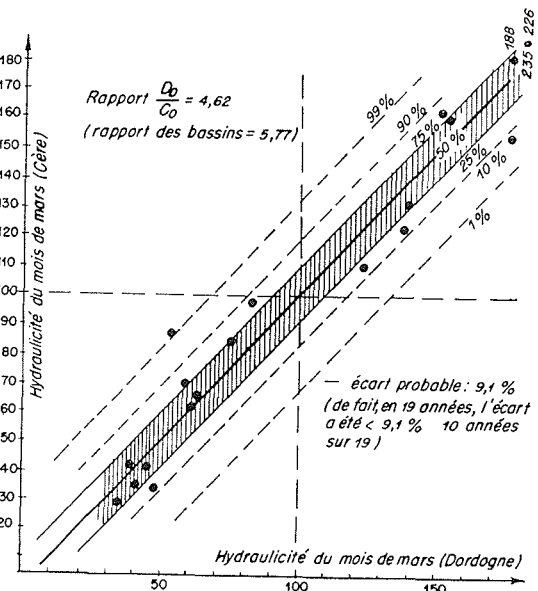


FIG. 6.

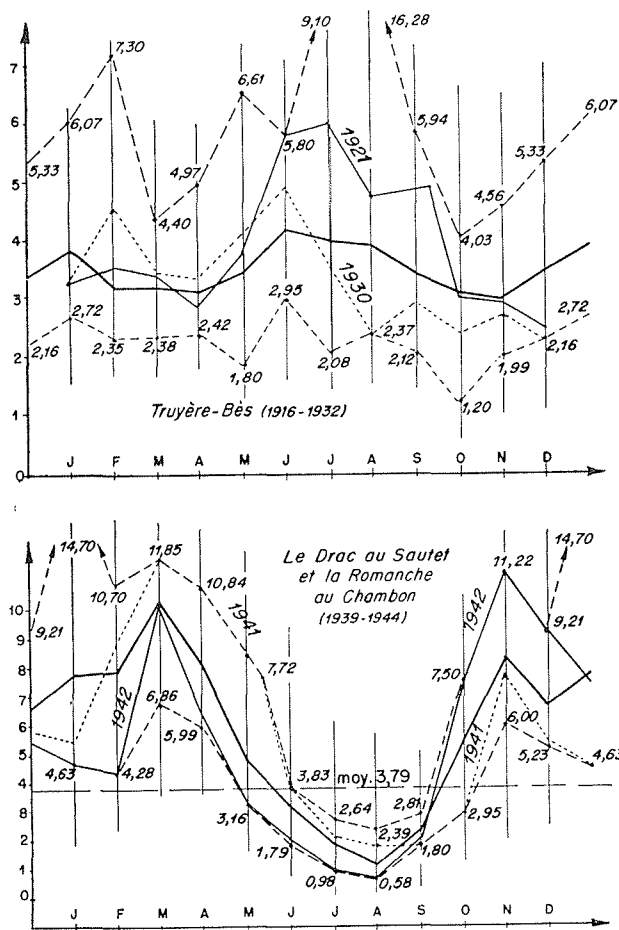


FIG. 7.

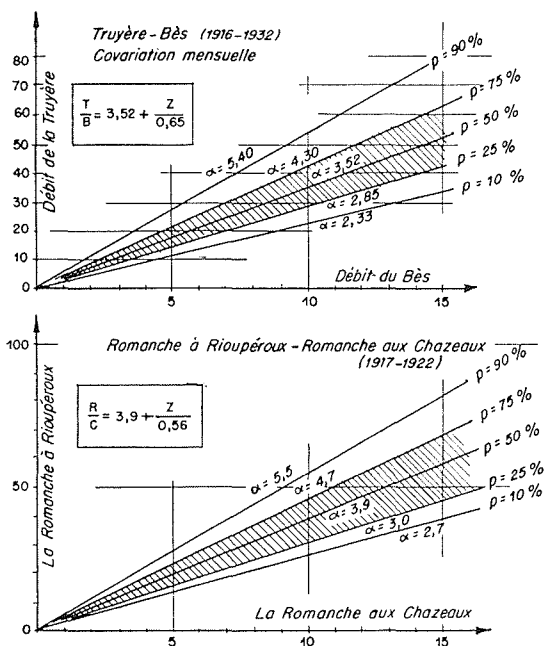


FIG. 8.

3) La Romanche au Chambon et la Bissorte (1939-1944).

4) Le Drac au Sautet et la Romanche au Chambon (1939-1944).

La figure 7, composée de deux graphiques, représente, pour les couples 1 et 4 ci-dessus, la variation $\alpha = f(t)$, au cours des douze mois de l'année, du rapport α des débits mensuels des deux bassins considérés; chaque graphique comprend les courbes moyennes, les courbes extrêmes et les courbes relatives à deux années particulières.

On peut également, comme mentionné, illustrer la covariation des débits Q_1 et Q_2 des deux bassins, par un abaque :

$$\frac{Q_1}{Q_2} = \alpha + \frac{z}{\beta}$$

ou, d'une manière plus générale :

$$Q_1 = f(Q_2, p)$$

p représentant la probabilité.

La figure 8 donne ces abaques pour les deux premiers couples ci-dessus.

Ceci admet que la variable $\frac{Q_1}{Q_2}$ suit la loi des erreurs fortuites, ce qui n'est, semble-t-il, pas le cas.

d) *Covariations mensuelles moyennes* :

De telles covariations peuvent être étudiées même sur deux bassins ayant entre eux une covariation annuelle faible ou inexistante, positive ou négative.

Le diagramme de la Romanche (fig. 9), dénote une covariation moyenne très forte (positive)

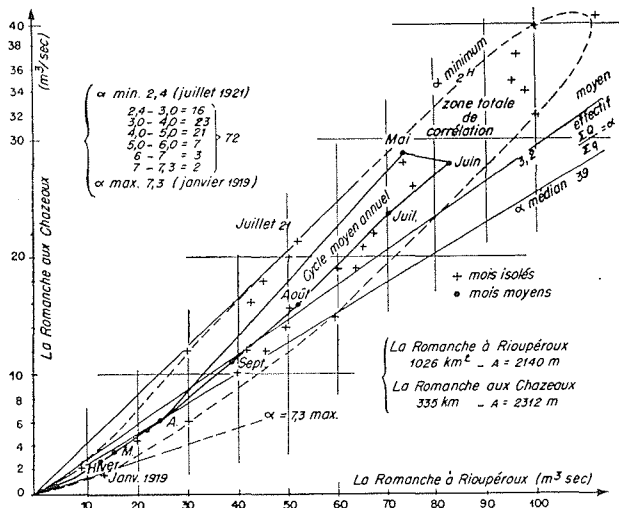


FIG. 9.

par la forme allongée du cycle moyen annuel $Q_1 = f(Q_2, t)$ et de la zone de corrélation totale.

La covariation sera par contre négative entre deux bassins, l'un à alimentation pluviale, l'autre à alimentation nivale ou nivoglaciaire.

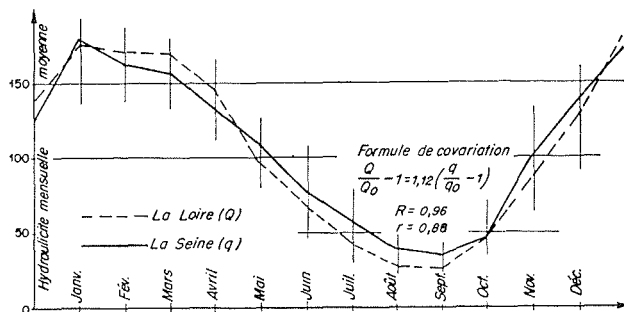
C'est grâce à de telles covariations négatives existant entre les rivières des Alpes et celles du Massif Central, par exemple, que la conjugaison des aménagements de ces deux régions permet de réaliser un ensemble saisonnier, en moyenne plus ou moins régularisé. Mais il est inutile d'insister sur ce point trop connu.

Comme exemple, citons la covariation saisonnière moyenne entre la Saône à Lyon et la Romanche à Rioupéroux, que caractérise la valeur $R = -0,73$ du coefficient de covariation.

De telles covariations sont d'ailleurs presque indépendantes des caractéristiques pluviométriques. C'est l'altitude et la température, c'est-à-dire la niviosité et la glaciation qui en déterminent la nature, positive ou négative.

e) *Covariations saisonnières moyennes de la Seine à Melun et de la Loire à Montjean :*

La figure 10 donne une idée de cette covariation très satisfaisante mentionnée dans le ta-



bleau de la figure 2; les débits de la Loire sont extraits de l'étude de MM. PARDÉ et GIBERT : *Régime du cours inférieur de la Loire* (1).

(1) Voir pages 287 et suivantes du présent numéro.

