

CRUES EXCEPTIONNELLES DES GRANDS FLEUVES DE L'AFRIQUE TROPICALE A L'OUEST DU CONGO

par Jean RODIER

Service Hydrologique de l'O.R.S.T.O.M., Paris

L'extension des mesures hydrométriques, la durée enfin acceptable des périodes d'observations aux stations de base et l'avancement des monographies du Niger, du Sénégal, du Logone et du Chari, permettent actuellement de procéder, dans de bonnes conditions, à un examen d'ensemble de leurs régimes et c'est pour nous un plaisir d'offrir en respectueux hommage à M. le Professeur Pardé cette bien modeste contribution à l'étude des crues exceptionnelles, partie de l'hydrologie pour laquelle il a toujours montré une prédilection bien connue de tous.

Si on limite le Niger à Tombouctou, ces quatre cours d'eau constituent, avec le Nil à Assouan ⁽¹⁾, un ensemble cohérent, bien sympathique aux hydrologues car leur régime obéit à des règles particulièrement simples, ce qui n'est pas très usuel en hydrologie. En particulier, les crues exceptionnelles conservent ces excellentes dispositions.

Tous ces cours d'eau présentent des crues monogéniques résultant essentiellement de la plus ou moins grande abondance des pluies de la « mousson d'Afrique », lesquelles affectent en même temps l'ensemble de chacun des bassins intéressés. Ceci s'oppose au cas du Congo à Brazzaville dont les crues peuvent être d'origine polygénique. La zone d'alimentation principale correspond, dans les quatre cas, à un même régime : le régime tropical de transition boréal. Nous n'avons pas compris, dans cet ensemble, la Bénoué, la Sanaga et l'Oubangui, cours d'eau plus méridionaux dont les régimes présentent quelques divergences avec ceux des bassins faisant l'objet de cette étude.

L'altitude est, en général, assez peu élevée, la proportion de ces bassins au-dessus de 1 000 m n'est jamais très importante et, dans

(1) La partie équatoriale du bassin du Nil fournit en définitive, après la traversée des bassins du Sud, un débit peu variable qui, au point de vue statistique, correspond pratiquement à une constante ; tout se passe, pour le calcul des crues exceptionnelles, comme si on avait affaire à l'ensemble Nil bleu, Atbara, Sobat.

O. R. S. T. O. M.

11 DEC. 1958 Collection de Référence

n°/2631

l'ensemble, le relief est peu marqué ou modéré suivant les cas. Dans les mêmes conditions, on peut considérer le sous-sol comme imperméable. Tous ces cours d'eau se dirigent vers le Nord ou le Nord-Ouest, vers des régions de plus en plus arides. L'évaporation est forte : on constate, sur réservoir de grande surface, une évaporation annuelle variant de 1 800 mm à 2 200 mm, si l'altitude reste inférieure à 400 m. Les pluies commencent en avril et mai et durent jusqu'en octobre dans les bassins supérieurs où elles donnent lieu, dès le mois de juin et de juillet, à une succession de pointes de crues se fondant en une seule, quand la superficie du bassin dépasse 100 000 km².

Cette courbe est généralement assez simple; parfois même (Chari à Fort-Lamy), c'est presque une courbe en cloche et on trouve une corrélation souvent assez serrée entre le débit maximal annuel et le module annuel ; il est à prévoir que l'on retrouvera, pour une même année, des conditions analogues d'un bassin à un bassin voisin.

En effet, le coefficient de corrélation K a été trouvé égal aux valeurs suivantes :

- corrélation Chari-Nil (1933-1957) K = 0,72
- corrélation Niger-Chari (1933-1957) K = 0,55
- corrélation Sénégal-Niger (1907-1957) K = 0,89

(Chari à Fort-Lamy, Nil à Assouan, Niger à Koulikoro, Sénégal à Bakel.)

La corrélation est d'autant plus lâche que la distance est plus grande : ceci est bien visible pour le Niger et le Chari. La distance entre les zones d'alimentation Fouta Djallon et Est de l'Adamaoua est telle qu'il convient de ne pas se montrer trop difficile.

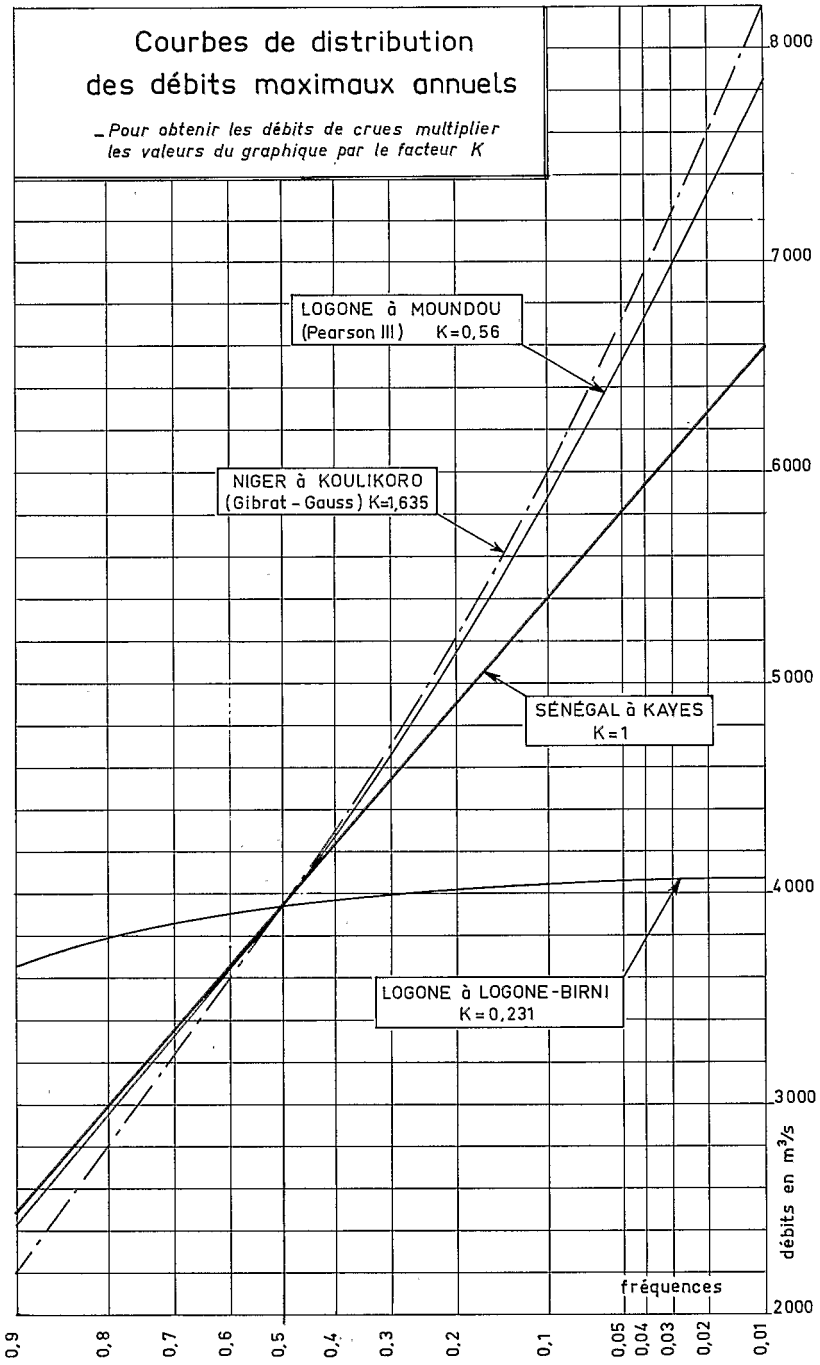
Ceci nous conduit à jeter un bref coup d'œil sur le Nil puisque ses valeurs maximales présentent une corrélation acceptable avec l'un de nos quatre cours d'eau. Or, ce fleuve est un des mieux connus du monde, mais si l'on considère que l'analyse des 60 ans de relevés du Sénégal a exigé de très gros efforts d'analyse critique, on mesurera ce qu'il a fallu mettre en œuvre pour tirer parti de données de valeurs éparses sur environ 4 000 ans. Les observations du nilomètre de Rodah, qui sont utilisables pour une période de plus de 1 000 ans, montrent que les hauteurs maximales du Nil présentent une distribution symétrique. Mais ne cherchons pas tant de précision, étant donné le caractère un peu qualitatif de ces relevés (incertitude sur le décalage éventuel du zéro, sur les variations du lit, sur l'exagération systématique supposée des hauteurs moyennes ou faibles), disons simplement que le Nil ne présente pas une distribution dans laquelle figureraient quelques valeurs très rares se détachant nettement des autres, comme c'est le cas pour les régimes désertiques ou les cours d'eau des régions à cyclones. On peut même, dans cet ordre d'idée, affirmer que, pour la période antérieure aux relevés du nilomètre en remontant jusque vers 2 000 avant Jésus-Christ, il n'y a pas eu de crue extraordinaire telle que le débit aurait atteint, par exemple, le double de la valeur correspondant au niveau le plus élevé enregistré à Rodah, car les destructions auraient été telles que les chroniques en auraient conservé le souvenir, dans une région telle que la

vallée du Nil où toute la vie est concentrée au bord du fleuve. On peut conclure de tout ceci qu'il n'est pas déraisonnable d'utiliser des relations de distribution ajustées sur des courbes expérimentales portant sur un nombre d'années suffisant pour calculer des crues de période de retour de 500 ou 1 000 ans : on ne peut pas en dire autant pour bien des cours d'eau du monde.

Or les causes physiques de ces caractères de régularité des distributions expérimentales, causes sur lesquelles nous reviendrons plus loin, sont les mêmes pour le Sénégal, le Niger, le Chari et le Logone, et ceci est bien mis en lumière par les corrélations que nous avons présentées plus haut. Ceci nous autorise donc et c'est là un fait capital, à extrapoler très loin nos courbes expérimentales, après ajustement à une distribution théorique, sous réserve bien entendu d'un échantillon statistique suffisant.

Un second fait devient alors fort important : c'est la nature de ces relations de distributions. Dans leur bief aval, tous ces cours d'eau présentent des plaines d'inondation extrêmement importantes; la largeur des plaines d'inondation atteint souvent plusieurs dizaines de kilomètres. Dans ces conditions, une crue de fréquence rare arrivant de l'amont s'étale dans ces plaines où la presque totalité des apports se perd par évaporation; dans le chenal ou les chenaux principaux, la surélévation du plan d'eau est faible, le débit augmente peu et, en pratique, la courbe des débits maximaux en fonction de la période de retour tend vers une asymptote. Or ces cours d'eau coulant vers des climats de plus en plus arides ne reçoivent que très peu de nouveaux apports et seuls les débits transitant dans les chenaux alimentent les biefs situés plus à l'aval. Pour ces biefs inférieurs on se trouvera donc, pour une raison physique bien nette, en présence d'une courbe de distribution dissymétrique, les valeurs maximales des crues annuelles tendant vers une limite finie. Par rapport à une courbe de fréquence cumulée normale, représentée par une droite en coordonnées gaussiennes, la courbe sera plongeante vers les forts débits. Ceci est le cas pour le Logone Inférieur où il est extrêmement net, pour le Niger à l'aval du delta intérieur et pour le Sénégal Inférieur. C'est à peine sensible pour le Chari qui présente peu d'effluents et des plaines d'inondation moins larges que dans les cas précédents.

Dans la partie amont des bassins, au contraire, les plaines d'inondation sont inexistantes ou de largeur modérée, l'amortissement des crues est moins important et on retrouve des distributions également dissymétriques mais dans le sens habituel, c'est-à-dire que la courbe de densité de fréquence présente par rapport à l'abscisse du maximum de fréquence des écarts de débit plus importants pour les crues de débits plus élevés que pour celles de débits plus faibles, de même fréquence. La courbe des fréquences cumulées s'élèvera donc au-dessus de la droite correspondant à la distribution de Gauss. Il s'ensuit qu'en cheminant de l'amont vers l'aval, le cours d'eau présentera des distributions hypergaussiennes à l'amont, hypogaussiennes en aval. Il est donc logique qu'il arrive un moment où la distribution sera gaussienne et c'est bien ce qui se produit, par exemple, pour le Chari à Fort-Lamy et le Sénégal à Kayes.



GRAPHIQUE 1

On trouvera, sur le graphique ci-après, les courbes correspondant aux trois cas présentés. Pour faciliter cette comparaison, nous avons conservé la courbe relative à la station de Kayes avec ses débits réels et nous avons divisé les ordonnées des autres courbes par le rapport K égal au rapport de la valeur médiane du débit de crue annuelle du fleuve considéré, à la même valeur pour la station de Kayes.

Nous sommes amenés à faire, sur ces courbes de distribution, les remarques suivantes :

1° Le passage de la distribution hypergaussienne à la distribution hypogaussienne n'est pas toujours aussi régulier. Il peut être troublé par un affluent assez important. Il peut l'être également par une courbe d'étalonnage trop imprécise dont l'extrapolation donne lieu à des débits sous-estimés ou surestimés. C'est précisément le cas pour la station de Bakel avec une distribution hypergaussienne entre deux stations à distribution normale, mais les bilans hydrologiques ont montré que la partie haute de la courbe de tarage conduisait à des débits surestimés et ceci confirme une idée chère au Professeur Pardé : on ne peut faire de statistiques valables sans de bonnes observations et de bonnes mesures suivies d'une analyse critique approfondie.

2° Si nous nous en tenons à des bassins de superficie supérieure à 1 000 km², les courbes de fréquences peuvent utiliser les relations de Gibrat-Gauss, de Pearson III ou de Goodrich mais, en général, la distribution est telle qu'il n'y a pas de très grands écarts entre crue centenaire et crue décennale (ceci est encore plus net pour la Sanaga et surtout l'Oubangui). Une des raisons de cette faible irrégularité tient à ce que les précipitations de la saison des pluies sont toujours nettement supérieures à ce qui serait nécessaire pour assurer l'écoulement. On le voit bien car, dans certaines régions qui ne font pas partie de la zone étudiée ici, comme par exemple, le Dahomey (ou le Nord-Est du Brésil), les précipitations annuelles plus irrégulières arrivent parfois difficilement à donner lieu à écoulement et, dans ces conditions, la distribution des débits de crue exceptionnelle est beaucoup plus irrégulière.

3° On ne saurait en dire autant des petits bassins ou des très petits bassins, les premiers parce que la crue cesse d'être monogénique, les seconds parce qu'elle est due à la hauteur de précipitation journalière dont la distribution est plus irrégulière que la hauteur de précipitation annuelle et que cette irrégularité est encore accentuée par l'influence peu régularisatrice de la plus ou moins grande humidité du sol.

Les principaux résultats sont donnés dans le tableau ci-après. Ils concernent quelques stations typiques. Les débits de crue pour la période de retour de 500 ans ne sont donnés qu'à titre indicatif. Pour le calcul d'un ouvrage, il serait bon de prendre, en plus, une marge de sécurité. En valeur spécifique, ces débits ne sont pas trop élevés; si on considère les crues centenaires, on trouve :

— Pour les distributions hypergaussiennes : des valeurs comprises entre 13,5 et 126 l/s.km², mais le cas de Fort-Archambault (13,5) est très spécial car le Chari est alimenté par les marécages de

L'Aouk produisant une très faible crue pour une très grande superficie. Plus généralement, on doit trouver entre 60 et 120 l/s.km².

*Débits de crues de fréquences rares
sur le Sénégal, le Niger, le Chari et le Logone*

Cours d'eau	Superficie du bassin versant (km ²)	Crue médiane (m ³ /s)	Crue période retour 10 ans (m ³ /s)	Crue période retour 100 ans (m ³ /s)	Crue période retour 500 ans (m ³ /s)
Falémé à Kidira G	28180	1880	2670	3300	
Sénégal à Kayes G	168900	3930	5400	6560	7200
Sénégal à Dagana G	282700	2460	3130	3670	3950
Niger à Koulikoro + G	120000	6400	9850	13400	15000
Niger à Diré - G	330000	2330	2640	2700	
Logone à Moundou + G	34900	2200	3310	4400	4700
Logone à Laï G	60320	2520	3400	4150	
Logone à Logone Birni - G	76000	930	936	944	
Chari à Fort-Archambault + G	193000	1400	1800	2600	
Chari à Fort-Lamy # G	600000	3620	4580	5360	

G : distribution gaussique + G : hypergaussique - G : hypogaussique

Pour les distributions gaussiques, si on met la Falémé à part, on trouve entre 9 et 60 l/s.km². Mais Chari et Sénégal comprennent des portions importantes de bassins presque endoréiques. Si ces régions n'existaient pas, il faudrait plutôt compter entre 20 et 60 l/s.km².

Les valeurs correspondant aux distributions hypogaussiques sont encore plus faibles mais, là, l'influence des zones à caractère endoréique est encore plus grande.

On doit noter que, pour certains cours d'eau à profil en long très plat comme le Bani, on atteint beaucoup plus tôt la distribution gaussique. Pour d'autres à relief accidenté, beaucoup plus tard.

On peut conclure en disant que les causes principales du caractère régulier de ces crues sont :

- 1° le caractère monogénique des crues avec, pour facteur unique, l'abondance plus ou moins grande des pluies de « mousson d'Afrique »,
- 2° le fait que la hauteur totale des précipitations dans les zones d'alimentation est nettement supérieure au minimum nécessaire à l'apparition de l'écoulement,
- 3° la faible pente générale du profil en long,
- 4° l'existence de larges plaines d'inondation soumises à une évaporation intense.

Que l'un de ces caractères change et les crues deviennent beaucoup plus irrégulières :

— S'il se produit des averses cycloniques, ce sont les mêmes crues irrégulières qu'à Madagascar. Si la hauteur de précipitations annuelle est plus faible, c'est la distribution très dissymétrique du Dahomey ou du Nord-Est du Brésil. Si le cours d'eau était un jour endigué, on retrouverait des distributions plus proches de celles d'Europe Occidentale. Si la pente est forte on retrouve le régime de certains cours d'eau du Sud-Ouest du Cameroun.

Il convient donc d'utiliser ces résultats avec prudence et de ne pas les extrapoler, sans vérification très minutieuse, à une région tropicale quelconque du Monde.

BIBLIOGRAPHIE

Nous ne citerons que les ouvrages que nous avons le plus utilisés :

HURST (H. E.). — Le Nil, Paris, Payot, 1954, 302 p., 1 carte, 19 fig.

PARDÉ (M.). — Sur la puissance des crues en diverses parties du Monde. *Geographica*, Département de Géographie Appliquée de l'Institut El Cano, Faculté des Lettres de Saragosse, Année VIII, 1961, 293 p.

RODIER (J.). — Régimes hydrologiques de l'Afrique Noire à l'Ouest du Congo. Paris, O.R.S.T.O.M., 1964 (diffusion Gauthier-Villars), 137 p.

Documents de la Section Hydrologique de l'O.R.S.T.O.M., principalement :

- Monographie du Niger, ronéotypée, O.R.S.T.O.M., 1958-1961;
- Monographie du Sénégal, ronéotypée, O.R.S.T.O.M., 1966;
- Monographie du Logone, ronéotypée (en préparation);
- Monographie du Chari, ronéotypée (en préparation).

HYDROLOGIE

MÉLANGES

OFFERTS PAR SES AMIS ET DISCIPLES

A

MAURICE PARDÉ

*Professeur Honoraire de Potamologie
à l'Université de Grenoble*

RODIER (J.)

Travaux exceptionnels des grands fleuves de
l'Afrique tropicale à l'ouest du Congo.

EXTRAIT

Editions OPHRYS

B 12631