

de la COOPERATION

Stage Infrastructure

PARIS

72
M
DOCUMENTATION

L'HYDROLOGIE
au Service des Travaux Publics et Ruraux
en Régions intertropicales

par

Pierre DUBREUIL
Directeur de Recherches à l'ORSTOM.

ORSTOM
HYDROLOGIE
DOCUMENTATION

70987

ORSTOM Fonds Documentaire
N° : 33 358
Cote : B

Conférence du
15 septembre 1965

Les aménagements du domaine hydraulique que sont appelés à prévoir, calculer et contrôler les ingénieurs des Travaux Publics ou du Génie Rural dans les régions intertropicales ne sont pas de nature différente de ceux qui sont mis en oeuvre en région industrialisée. Les données hydrologiques indispensables à la conception de ces aménagements ne sont pas non plus originales, mais les méthodes d'analyse et de synthèse nécessaires à leur élaboration présentent des particularités qu'il est utile de préciser.

1. - Aménagements hydrauliques et données hydrologiques -

L'aménagement hydraulique appartient à divers types selon le degré d'intervention sur le régime d'écoulement des cours d'eau :

- soit au type protection contre l'écoulement naturel (ouvrages d'art routiers ou ferroviaires de franchissement des thalwegs, ouvrages d'assainissement urbain, digue de protection riveraine contre les inondations ...)
- soit au type prélèvement au fil de l'eau (ouvrage dérivateur du débit d'étiage pour production d'énergie électrique, alimentation en eau d'un canal navigable, irrigation ou adduction d'eau potable ...)
- soit au type prélèvement avec régularisation par création de retenus (mêmes ouvrages que le type précédent).

Si pour l'édification d'un aménagement du type protection, peut suffire la connaissance du régime des crues, celle des étiages convient pour l'aménagement au fil de l'eau tandis que la régularisation exige généralement une connaissance complète du régime des eaux (apports annuels, répartition mensuelle, étiages et crues).

En résumé, plus un aménagement est coûteux plus l'utilisation des eaux qu'il permet nécessite une connaissance précise et détaillée des éléments caractéristiques du régime hydrologique.

On peut dresser un tableau simplifié de la nature de cette connaissance du régime hydrologique :

- a) - Apports annuels (module en m³/s ou lame écoulée en mm ou volume en m³)
 - valeurs caractéristiques (moyenne, médiane ...)
 - paramètres de dispersion (écart-type, coefficient de variation ...)
 - valeurs remarquables pour certaines récurrences (5, 10, 20, 50 ans ...)
 - persistance chronologique (succession d'années sèches ou humides)
- b) - Répartition mensuelle en % de l'apport annuel
 - données caractéristiques pour un mois déterminé : (moyenne, dispersion ...)
- c) - Etiages
 - loi de décroissance du tarissement
 - valeurs du débit caractéristique d'étiage (ou du débit absolu, ou du débit du mois le plus faible ...) : moyenne, médiane, dispersion, etc ...
- d) - Crues
 - forme de l'hydrogramme -type
 - débit caractéristique de crue (débit maximal pour une certaine durée de 1 heure à 1 mois) : valeurs centrales, dispersion, valeurs remarquables ...
 - volume lié à un débit de crue d'une fréquence donnée.

Les éléments hydrologiques de ces 4 groupes varient tous dans le temps et dans l'espace. Les méthodes d'analyse sont d'abord fonction du temps c'est-à-dire de la plus ou moins longue période d'observations des cours d'eau ; elles sont ensuite de type différent selon les superficies des bassins versants.

En régions intertropicales, les observations hydrométriques de longue durée sont peu nombreuses en regard des observations climatologiques, et plus spécialement pluviométriques. Cet état de fait justifie le classement des méthodes d'analyses hydrologiques en 3 grands ensembles,

le 2ème n'étant qu'un palliatif du 1er, tandis que le 3ème offre des solutions originales pour les bassins de superficie modeste :

- α) méthodes statistiques directes et les observations hydrométriques sont de longue durée pour les éléments des 4 groupes a, b, c et d.
- β) méthodes générales de corrélations hydro-pluviométriques pour les éléments des groupes a, b, et c quand les observations hydrométriques sont de courte durée.
- γ) méthodes particulières de transformation des pluies en débits pour les crues quand les observations directes sont également insuffisantes.

2. - Méthodes statistiques d'analyse hydrologique -

L'analyse statistique directe des débits observés est possible quand la période d'observations dépasse un certain seuil croissant avec l'irrégularité du régime : 10 ans pour le régime équatorial de forêt en Guyane, 20 ans pour les régimes tropicaux et sahéliens d'Afrique centrale, 50 ans pour le régime semi-désertique du nord-est brésilien ... etc ...

Les éléments nécessaires à l'analyse statistique sont extraits des observations du réseau hydrométrique. Sauf pour les régions très accidentées (îles des Antilles, de la Réunion, de Nouvelle-Calédonie), le réseau hydrométrique fournit des renseignements pour des bassins supérieurs à 1000 km² environ.

Les études correspondantes sont généralement effectuées pour un grand bassin ; on a coutume de les appeler des monographies hydrologiques. On y trouve, outre l'analyse ponctuelle (aux stations du réseau) de tous les éléments du régime hydrologique, une synthèse étendue à la surface étudiée mettant en évidence la variation desdits éléments avec la superficie drainée. L'interpolation pour un cours d'eau et une station déterminés est relativement facile.

De sa propre instigation ou à celle de divers organismes gouvernementaux et internationaux, l'ORSTOM a réalisé (ou achevé) de nombreuses monographies en régions intertropicales :

Logone au Tchad
Ouémé au Dahomey
Mono au Togo
Bandama en Côte d'Ivoire
Agnéby "
Niger en Afrique de l'Ouest
Sénégal "
Ikopa - Betsiboka. à Madagascar
Kouilou - Niari au Congo - Brazzaville
Cours d'eau de Guyane
Jaguaribe au Brésil ... etc ...

Une vision panoramique partielle en est offerte dans "les régimes hydrologiques en Afrique Noire à l'Est du Congo" de J. RODIER (ORSTOM 1964).

Les résultats d'analyse statistique se présentent généralement sous la forme de moyennes, d'écart-types et de valeurs remarquables.

Plus la distribution dans le temps d'une variable est dissymétrique, moins la moyenne offre d'intérêt pratique. Il faut alors s'attacher plus spécialement à la médiane (plus faible que la moyenne) et à l'intervalle interquartile (groupant 50 % des probabilités d'apparition de la variable) pour l'établissement des projets.

Les échantillons analysés étant généralement de durée modeste, les valeurs caractéristiques qu'on en extrait n'approchent la vraie valeur (correspondant à un échantillon infini) qu'avec une certaine marge d'erreur qu'il est important de connaître. Cette marge d'erreur croît avec l'intervalle de confiance que l'on choisit : 50 - 75 - 90 - 95 % dans la plupart des cas.

Par exemple, le module moyen d'une rivière déduit des observations vaut 1 300 m³/s ; mais sa vraie valeur peut occuper une position quelconque dans un intervalle de 1 260 - 1 340 ou 1 230 - 1 380 m³/s par exemple avec 75 ou 95 % de chance.

Enfin, la connaissance de la persistance chronologique est du plus haut intérêt pour les calculs de régularisation interannuelle d'un cours d'eau.

Les 3 notions : représentativité de la moyenne, intervalle de confiance et persistance chronologique dont l'importance n'est apparue que récemment, éclairent et améliorent nettement les résultats d'analyse statistiques qui sont offerts dans les monographies hydrologiques aux ingénieurs projeteurs.

3. - Méthodes générales de corrélations hydropluviométriques -

Quand les observations hydrométriques sont de trop courte durée, et qu'il existe des observations pluviométriques de plus longue durée, on peut augmenter la série des débits par l'établissement d'une corrélation entre les débits et les pluies réalisées sur la période courte des débits observés ; l'obtention d'une série de débits allongée permet d'appliquer les méthodes statistiques du § 2.

Les corrélations hydro-pluviométriques simples s'effectuent soit à l'échelle annuelle soit à l'échelle mensuelle ; elles peuvent être étendues à l'échelle journalière pour la connaissance des étiages si l'on peut établir, en outre, une relation entre débit d'étiage et débit du mois le plus faible.

Ces corrélations sont établies graphiquement sans rechercher la forme analytique de liaison pluies-débits ; si les pluies interviennent sous plusieurs facteurs, la méthode des déviations résiduelles est employée pour répartir les écarts aléatoires entre les corrélations débit - facteur principal de pluie et les corrélations secondaires correctives du débit en fonction des facteurs secondaires de pluie.

N'ayant pas de forme déterminée pour un régime hydrologique donné, la corrélation hydro-pluviométrique ne peut être employée que pour étendre une série de débits déjà observés, et non pour constituer, sans donnée expérimentale, une série de débits à partir de la seule connaissance des pluies.

Bien entendu, les valeurs calculées par corrélation ont une dispersion moindre que les valeurs observées et leur introduction dans une série de débits diminue généralement les valeurs des paramètres de dispersion ; on doit tenir compte de cette temporisation des méthodes de corrélation.

Les méthodes générales de corrélation hydro-pluviométriques entrent donc dans le cadre de l'édification des monographies hydrologiques dont elles permettent l'amélioration du contenu.

4. - Méthodes particulières de transformation des pluies en débits -

Leur emploi est requis pour l'analyse des crues quand les données du réseau sont insuffisantes : durée d'observations trop courte, surface de bassin trop petite.

Les méthodes particulières de transformation pluies-débits s'appliquent donc à toutes sortes de bassins :

- aux bassins de toute dimension pour le calcul de la forme et de l'importance des crues de fréquence rare (crue maximale probable des projets de retenue)
- aux petits bassins hors du domaine d'observation du réseau (moins de 1000 km² sauf exceptions déjà citées) pour toutes les crues.

Selon la surface des bassins, on fait appel à des opérateurs de transformation pluies - débits tantôt globaux (hydrogramme unitaire), tantôt complexes (hydrogramme synthétique).

Le procédé de l'hydrogramme unitaire (à l'issue d'une averse homogène dans l'espace, l'hydrogramme d'un bassin déterminé admet une forme type et une importance fonction de l'intensité de l'averse) s'applique sur des petits bassins versants qui ne dépassent pas la superficie généralement couverte par une précipitation. En régions intertropicales, l'orage ou tornade, forme courante de la pluie, couvre de 10 à 50 km² : tel est le domaine d'emploi du procédé.

Après 1 à 4 années (selon l'abondance de la pluviosité) d'études des précipitations et des débits enregistrés de manière continue sur un bassin versant représentatif (d'un certain milieu physique) ou expérimental (transformation artificielle d'un élément naturel, déforestation par exemple, et examen de son influence sur le régime des eaux), on possède les éléments de détermination :

- a) de l'hydrogramme type du bassin
- b) du coefficient de ruissellement - fraction de la pluie transformée en débit - qui croît avec la hauteur de précipitation et l'état d'humidité IH du terrain lui-même, fonction croissante des pluies antérieures P_a et décroissante des intervalles de temps t_a séparant ces pluies de l'événement pluie - crue étudié (IH est de la forme $\in P_a \cdot t_a^{-n}$ ou $\in P_a \cdot e^{-t_a}$).

Connaissant le régime des précipitations journalières locales, on peut calculer n'importe quelle crue.

Le procédé de l'hydrogramme synthétique s'applique à toutes les superficies de bassin trop grandes pour l'emploi de celui de l'hydrogramme unitaire, soit au delà de 50 km² par exemple. On recompose l'hydrogramme de crue d'un bassin déterminé à partir des précipitations en utilisant un découpage du temps et de l'espace tel qu'à l'intérieur des intervalles élémentaires Δt et Δs , les éléments physiques (hauteur de pluie, coefficient de ruissellement) soient constants. Puis l'on compose ces hydrogrammes élémentaires en tenant compte de leur origine dans le temps et l'espace (introduction de la notion de temps de parcours à l'exutoire du bassin à partir de zones isochrones) et en leur appliquant une fonction d'étalement (forme analytique arbitraire) pour apprécier leur évolution jusqu'à l'exutoire.

L'ajustement des paramètres (découpage en zones isochrones, fonction d'étalement ...) s'effectue en minimisant les écarts entre hydrogramme calculé et hydrogramme observé. Il faut donc une base expérimentale préalable. L'hydrogramme synthétique établi, on peut calculer n'importe quelle crue connaissant les caractéristiques du régime des précipitations et du coefficient de ruissellement.

Sur le plan pratique, l'ORSTOM a réalisé près de 80 bassins représentatifs ou expérimentaux en régions inter-tropicales (surtout en Afrique). Les analyses d'observations ont permis d'établir pour chaque bassin les fonctions de variation du coefficient de ruissellement et de calculer les crues de récurrence 1 et 10 ans.

On en trouve un résumé assez complet ^{dans} "Débits de crues exceptionnelles sur les bassins représentatifs et expérimentaux d'Afrique Noire d'expression française" publié par J. RODIER dans les Cahiers d'Hydrologie de l'ORSTOM (n° 2 - Fév. 1965).

Dans le domaine pluviométrique, l'étude complète des précipitations journalières (valeurs remarquables de diverses récurrences de 1 à 100 ans déterminées aux stations pluviométriques et abaques d'extension pour un lieu quelconque en fonction de la pluviosité annuelle ; valeurs des intensités et durées d'averses pour les mêmes récurrences et abaques d'extension) est achevée pour le SENEGAL, la MAURITANIE, le MALI, la HAUTE-VOLTA et le NIGER ; elle est en cours pour les autres états africains de langue française (Publications ORSTOM de Y. BRUNET-MORET pour le Comité Inter-Africain d'Etudes Hydrauliques sous le titre d'"Etude générale des averses exceptionnelles en Afrique Occidentale").

5. - Utilisation pratique des résultats d'études hydrologiques -

Les méthodes d'analyse hydrologiques brièvement décrites dans les paragraphes 2 à 4 donnent une masse de résultats directement applicables aux stations hydrométriques et aux bassins étudiés ; mais pour connaître les éléments du régime hydrologique en un lieu quelconque d'une région où des études hydrologiques ont été faites sur des bassins ou cours d'eau voisins, il faut disposer d'une synthèse des résultats précédents et d'un mode d'emploi de cette synthèse.

Si la synthèse s'effectue naturellement dans le cadre des monographies de grands bassins où la superficie drainée est le facteur principal de variation des éléments hydrologiques, et dont l'influence est aisée à mettre en évidence, le problème est beaucoup plus complexe pour les petites surfaces sur lesquelles les éléments hydrologiques restent étroitement dépendants de la pluviosité et du milieu physique.

Les études de M. BRUNET-MORET déjà citées fournissent la matière de synthèse du facteur pluviosité représenté par la hauteur annuelle de précipitations et les hauteurs journalières de pluie de diverses récurrences.

Le milieu physique peut être caractérisé par 2 facteurs essentiels, estimés selon des échelles arbitraires de variation :

- la pente ou relief avec les classes R_1 à R_6 quand la pente moyenne passe de moins de 5 à plus de 100 m/km pour un bassin unité de 25 km²
- la perméabilité des sols également classée de P_1 à P_5 en ordre croissant

et un facteur secondaire lié à la pluviosité

- la couverture végétale divisée en 8 classes de V₁ à V₈ en ordre décroissant de son rôle protecteur du sol de la forêt classée au terrain urbanisé.

A divers degrés, variables de l'un à l'autre, les éléments du régime hydrologique sont fonction de ces facteurs physiques.

Si l'on travaille dans une zone à pluviosité homogène (régime sahélien, tropical ou équatorial ...) le rôle du facteur végétation peut être négligé dans un premier stade. On peut affecter à chaque bassin représentatif ou expérimental étudié par l'ORSTOM, comme à un bassin quelconque, une étiquette de milieu physique groupant relief et perméabilité R2 P2, R3 P1 ... etc ...

Pour le classement d'un bassin dans un certain groupe, on peut se reporter à la note "Contribution à l'étude d'implantation de bassins représentatifs de régions hydrologiques homogènes" parue dans le n° 2 des Cahiers d'Hydrologie de l'ORSTOM (Fév. 1965).

On a cherché à établir les fonctions de variation des éléments hydrologiques par rapport à ces groupements P₁ R₁ et à la superficie drainée entre 0 et 100 km² à partir des résultats d'observation réunis.

Ce travail a été réalisé pour les éléments suivants permettant le calcul de la crue décennale (toute autre récurrence entre 1 et 10 ans aurait pu être également choisie ; des coefficients de passage seront à établir ultérieurement pour passer de la récurrence décennale à toutes les autres) :

- coefficient de ruissellement
- temps de base de l'hydrogramme (ou durée du ruissellement)
- temps de montée " (ou temps séparant l'arrivée du ruissellement de son maximum).
- rapport de forme " (ou quotient du débit maximal au débit moyen E_m du ruissellement durant le temps de base

La publication de référence est d'Octobre 1965 :
"Premiers essais d'étude générale du ruissellement sur les bassins expérimentaux et représentatifs d'Afrique tropicale" par J. RÔDIER et C. AUVRAY (Colloque AIHS de BUDAPEST).

Pour l'ingénieur utilisateur, le mode d'emploi des diverses publications d'analyses et de synthèses mentionnées ci-dessus peut être résumé de la manière suivante :

- a) - Pour un grand bassin (supérieur à 1000 km² environ), consulter la monographie hydrologique si elle existe. Si le site de projet est sur un cours d'eau étudié, l'interpolation en fonction de la superficie drainée est suffisante ; si le site n'est pas sur un cours d'eau étudié, il faut tenir compte de la pluviosité et de la géomorphologie du bassin pour choisir le cours d'eau de référence.

S'il n'y a pas de monographie, consulter l'Annuaire hydrologique de l'ORSTOM (1947 à 1959) ou directement le Service Hydrologique pour connaître les résultats les plus susceptibles de servir de base de comparaison

- b) - Pour un petit bassin (moins de 100 km²), déterminer ses caractères pluviométriques puis son étiquette physique $R_1 P_1$ afin d'utiliser les abaques de calcul de la crue décennale ; pour l'estimation des apports annuels, faire des recoupements avec les renseignements fournis par les grands bassins.

Les données utilisables disponibles sont encore incomplètes. Les travaux de l'ORSTOM tendent à les compléter dans un bref délai pour les principaux points suivants :

- a) poursuite des monographies des grands bassins
b) établissement des fonctions de variation des apports annuels moyens pour toutes surfaces
c) extension des abaques de calcul des crues décennales aux régions intertropicales hors du continent centre africain.
d) établissement des fonctions de variation par rapport au milieu physique des paramètres de calcul des crues pour les bassins moyens (100 à 1000 km²) par le procédé de l'hydrogramme synthétique (fonction d'étalement et répartition en zones isochrones).

Pour faciliter ces travaux et en augmenter la précision, le maintien des bases expérimentales est indispensable : poursuite des observations sans discontinuité aux postes des réseaux hydrométriques, réalisations d'études sur bassins représentatifs entre 100 et 1000 km² tout particulièrement.