

*Extrait de la publication de l'A.I.H.S.
XII^e Année N^o 4 1967, pp., 19-33*

ESSAI DE DÉFINITION D'UN HYDROGRAMME STANDARD*

MARCEL ROCHE

Ingénieur en Chef à Électricité de France

*Chef du Département Recherche Fondamentale au Service Hydrologique de l'ORSTOM
Professeur à l'ENGREF*

RÉSUMÉ

La transposition géographique des résultats obtenus sur les bassins représentatifs et expérimentaux met en jeu des régressions s'appuyant sur les caractéristiques géomorphologiques de ces bassins. Pour cela, le modèle global de transformation précipitations-débits, généralement utilisé pour les bassins de taille réduite, doit être simplifié et standardisé de manière à être dans tous les cas défini par les mêmes paramètres. De plus, les éléments de l'hydrogramme, surtout le temps de base, doivent être déterminés par un protocole très strict fournissant des évaluations « consistantes ». Ces nécessités nouvelles conduisent à revoir les méthodes de traitement des données jusqu'alors en usage pour des fins scientifiques.

1. GÉNÉRALITÉS SUR LES OPÉRATEURS GLOBAUX

Un opérateur global est formé essentiellement de deux éléments :

- une fonction de « réduction » qui, appliquée à un élément de la chronique des apports, fournit la part de cet élément qui participera au ruissellement. Rappelons que, dans le cas d'un problème nival, la chronique des apports est fournie par les quantités d'eau rendues par la fonte disponibles pour le ruissellement. Ces apports sont considérés « globalement » sur le bassin et désignés par conséquent par leur moyenne géographique;
- une fonction de « forme » capable de modeler chaque portion « ruisselante » de la chronique

Opérateur global

sujet, pas plus que nous ne discuterons le cas des intégrales fonctionnelles non linéaires. Disons seulement que l'hypothèse linéaire est amplement illustrée par la très large mise en pratique de l'hydrogramme unitaire, méthode dans laquelle la fonction noyau $h(t, \tau)$ est représentée pratiquement par l'hydrogramme type du bassin.

Une des différences essentielles entre un opérateur global et un opérateur matriciel est que, dans la seconde technique, la mise en forme d'un volume ruisselé se fait généralement en deux

C'est alors qu'intervient la notion que nous allons essayer de dégager aujourd'hui : celle de standardisation de l'opérateur global. Cette standardisation consiste essentiellement à affecter aux deux termes de l'opérateur une forme paramétrique. L'idée n'est pas nouvelle en soi, surtout en ce qui concerne l'hydrogramme type, mais nous nous proposons de la schématiser dans son ensemble, de la simplifier même, tout en montrant les nombreuses implications que comporte sa mise en œuvre. Ceci fait, nous examinerons plus particulièrement le problème de la standardisation de l'hydrogramme-type, conduisant à ce que nous avons appelé l'hydrogramme standard, non pas parce qu'il constitue la part la plus importante du problème de l'opérateur global, mais parce que c'est celui dont nous avons commencé l'étude pratique.

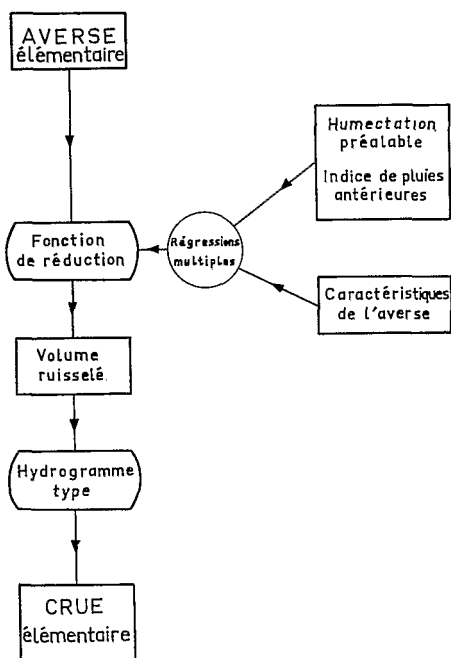


Fig. 2

Du point de vue hydrologique, un bassin est défini par :

- ses caractéristiques climatologiques;
- ses caractéristiques géomorphologiques.

Dans l'opération de transformation pluies-débits, l'essentiel de la caractéristique climatologique la plus intéressante est contenue dans les données d'entrée : séquence pluvieuse sur laquelle doit s'exercer l'opérateur de transformation ou séquence de températures + stock neigeux initial s'il s'agit d'une étude de crue nivale. D'autres caractéristiques climatiques peuvent avoir une conséquence non négligeable sur le ruissellement mais, comme l'étude de

commencé avec environ 80 paramètres. L'analyse factorielle de cet ensemble a montré qu'il convenait d'en conserver 20 à 25. P. Dubreuil, dans une étude préliminaire effectuée pour l'ORSTOM, a retenu en première analyse 13 paramètres concernant le sol et 10 paramètres purement morphologiques, auxquels on doit ajouter les paramètres concernant la végétation, qui ne sont pas encore clairement définis; il est probable que des analyses ultérieures modifieront cette sélection dans le sens d'une plus grande simplicité.

Tout le problème de la transposition géographique, dans le domaine des opérateurs

des paramètres géomorphologiques d'un bassin donné les fonctions de réduction et de forme qui lui sont propres. Cela suppose qu'une série de mesures hydrologiques, pluviométriques et géomorphologiques adéquates ont été effectuées sur un nombre relativement important de bassins, que des relations ont été établies entre les opérateurs globaux déduits des mesures hydrologiques et pluviométriques et les paramètres géomorphologiques mesurés, supposés efficients du point de vue du ruissellement.

Cela suppose également qu'on a pu déterminer un certain nombre de paramètres représentant totalement, et avec une précision suffisante, l'opérateur global de transformation. Or, comme nous l'avons déjà dit, les composantes de cet opérateur, qu'il s'agisse de l'opération de réduction ou de l'opération de transfert et d'étalement, n'ont aucune raison de se plier à des règles simples caractérisées par un nombre restreint de paramètres. Il faudra donc obligatoirement simplifier pour pouvoir obtenir ce nombre restreint de paramètres qui, mis en régression avec les caractéristiques géomorphologiques, seront seuls capables d'assurer la transposition géographique des opérateurs globaux.

En fait, il ne suffit pas de simplifier, il importe comment les éléments de l'opérateur trouvés

aux résultats expérimentaux. Dans le domaine de la transposition géographique, ce n'est plus possible; en effet, que mettre alors en régression avec les facteurs géomorphologiques?

Il est donc indispensable, pour cette dernière fin, de rendre paramétrique la relation de régression et pour cela de lui affecter une forme analytique. Si l'on ne veut pas multiplier inconsidérément les paramètres, on sera tenu de « simplifier » les régressions obtenues par la méthode des résidus; comme les paramètres introduits devront avoir la même signification quel que soit le bassin, on devra également « standardiser » la forme des courbes, c'est-à-dire finalement la partie de l'opérateur global relative à la fonction de réduction.

Il y a bien entendu trente-six façons d'opérer cette standardisation et le choix final sera nécessairement le fruit d'un compromis. Comme nous l'avons dit, l'étude détaillée basée sur

Toutes choses égales d'ailleurs, les pertes sont d'autant plus élevées que la durée de l'averse

soit

$$\alpha = Q_M/Q_m.$$

Quant à la forme, pour la branche ascendante on adoptera une droite et pour la branche descendante un segment d'exponentielle. Tout ceci a été étudié en détail dans un article intitulé « Recherche d'un hydrogramme standard » publié dans le Cahier de l'ORSTOM, série Hydrologie, n° IV, 1, 1967. Dans cet article nous avons étudié également une forme décroissante hyperbolique qui donne des résultats assez voisins. La forme exponentielle est un peu plus

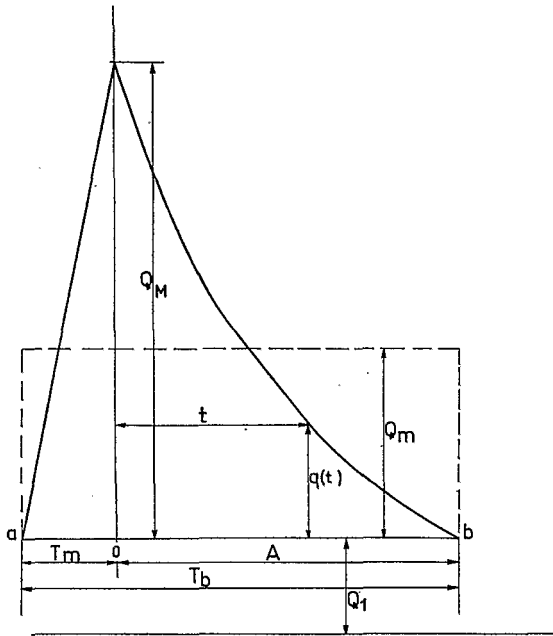


Fig. 3

facile à manipuler, c'est la seule raison pour laquelle nous l'adopterons définitivement. La figure 3 montre l'hydrogramme ainsi obtenu avec ses différents éléments. L'équation de la branche descendante est :

$$q = Q_M [(1+m)e^{-xu} - m]$$

avec

$$u = t/A$$

$$m = 1/(e^x - 1)$$

$$A = T_b - T_m$$

$$B = T_b/\alpha - T_m/2$$

$$\lambda = B/A$$

$$x/(e^x - 1) + \lambda x = 1$$

Par définition, l'hydrogramme standard est la forme q/Q_M . Il est donc entièrement défini à partir des trois paramètres fondamentaux : T_b , T_m et α .

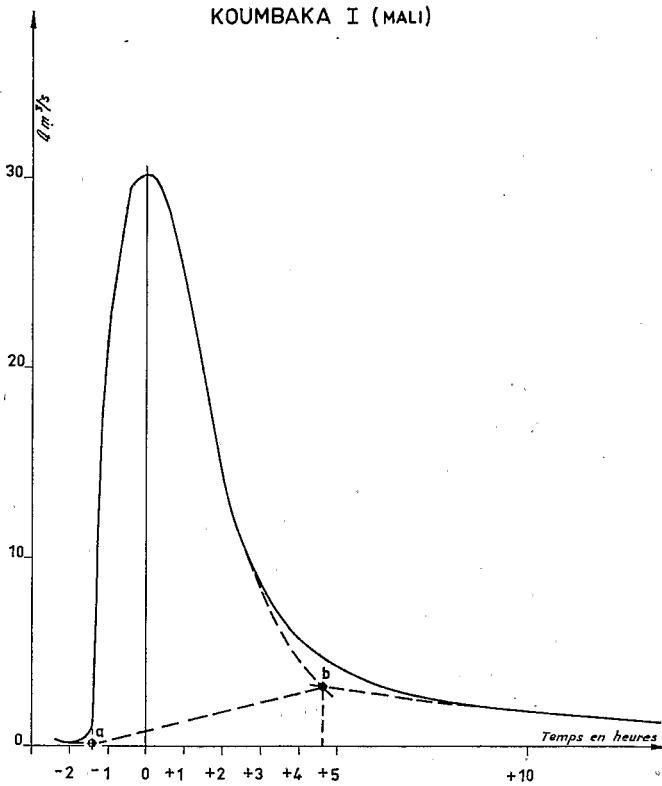
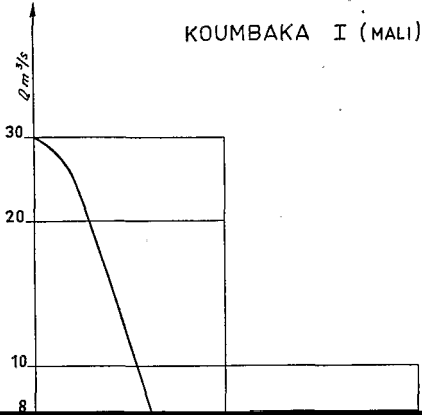


Fig. 4

Ce n'est pas dans la recherche d'une forme analytique que réside la difficulté de l'hydrogramme standard. Beaucoup plus délicate est la détermination de la forme standard.

vient très bien; pour la transposition géographique des résultats où l'estimation de T_b joue un rôle capital, elle ne peut être retenue.

C'est pourquoi nous proposons, pour l'hydrogramme standard, une autre définition de la séparation des écoulements et du temps de base, définition conventionnelle, plus artificielle, mais plus significative et permettant une estimation plus stable des valeurs numériques de T_b .



crue. Tout se passe alors comme si on avait deux hydrogrammes superposés, l'un de faible volume correspondant au ruissellement dans le tronçon le plus aval de la rivière, l'autre traduisant l'évolution de la crue en un point situé plus à l'amont. L'existence de cette montée

la fin du ruissellement. L'intérêt de la construction est de faire l'impasse sur l'écoulement hypodermique qui, s'il existe, a rarement des limites bien définies; par contre, la courbe de tarissement et la courbe de décrue franche sont généralement bien connues et se coupent sous un angle dont le sommet est très facile à localiser. Les résultats de l'opération, reportés sur la figure 4, montrent la décomposition standardisée de l'hydrogramme naturel. Il ne reste plus qu'à en tirer les valeurs des paramètres. On trouve, dans le cas de Koumbaka I (71 km²) :

$$T_m = 1,3 \text{ h}$$

$$T_b = 6,0 \text{ h}$$

$$A = 4,7 \text{ h}$$

$$Q_M = 29,2 \text{ m}^3/\text{s}$$

$$V_r = 327\,600 \text{ m}^3 \text{ (volume ruisselé)}$$

$$Q_m = 14,8 \text{ m}^3/\text{s}$$

$$\alpha = 1,97$$

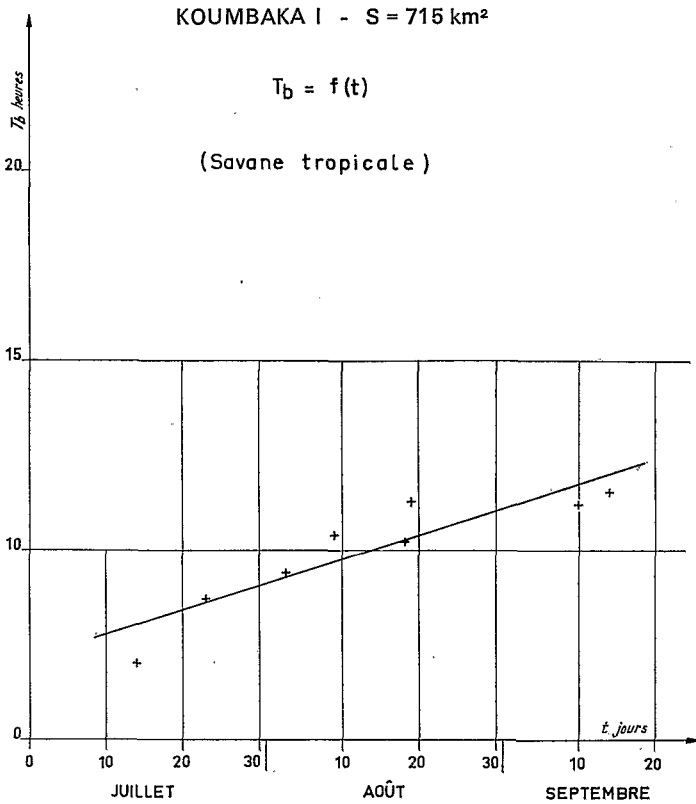


Fig. 7

Lorsqu'on a analysé dans cette optique tous les résultats disponibles sur un bassin donné, on calcule des valeurs moyennes ou médianes des paramètres fondamentaux T_m , T_b et α , que l'on adopte comme valeurs des paramètres de l'hydrogramme standard.

Nous insistons encore une fois pour dire que cette analyse ne doit être faite que pour des crues provenant d'averses unitaires et homogènes au sens habituel des termes; la condition est peut-être encore plus sévère que pour l'établissement de l'hydrogramme type, à cause de la déformation pouvant résulter, pour le temps de base, d'un défaut d'homogénéité de l'averse.

4. ÉTUDE SUR L'HYDROGRAMME STANDARD

Le Service hydrologique de l'ORSTOM a entrepris l'étude systématique des hydrogrammes accumulés sur les quelques 170 bassins représentatifs qu'il a exploités sous climats tropicaux, du point de vue de l'hydrogramme standard. Les dépouillements effectués jusqu'à ce jour ne permettent pas encore d'étudier l'effet de la géomorphologie sur les paramètres de l'hydrogramme standard. Cependant, la plus grande stabilité de l'estimation de ces paramètres, par rapport aux résultats des autres méthodes d'analyse, permet de mettre en relief avec plus de

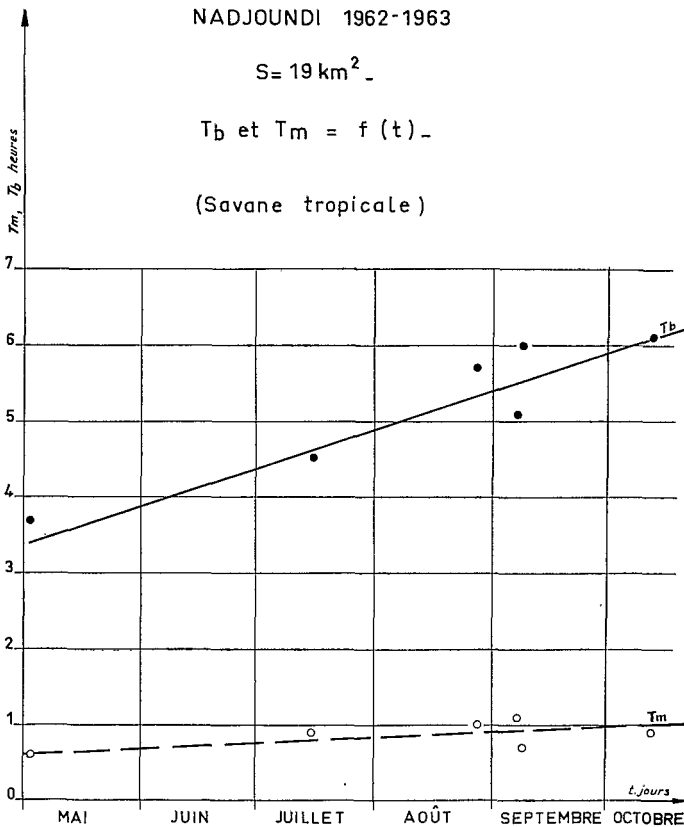


Fig. 8

netteté qu'auparavant l'influence de facteurs secondaires tels que la variabilité du couvert végétal au cours de la saison des pluies.

Comme il fallait s'y attendre, le temps de base et le temps de montée croissent à mesure que progresse la saison des pluies et ceci est dû manifestement à la croissance progressive de la

CONCLUSION

Il semble, à première vue, que l'hydrogramme standard tel qu'il a été défini dans cette note soit un instrument convenable pour la transposition géographique des résultats; il en sera probablement de même pour la fonction de réduction standardisée. Les dépouillements et interprétations ultérieurs permettront de confirmer ou d'infirmer cette hypothèse.

Est-ce à dire que l'on doit renoncer à toute autre méthodologie mise en œuvre pour l'étude des opérateurs globaux? Certainement pas. La standardisation est destinée à fournir aux régressions géomorphologiques des paramètres et des valeurs robustes, ceci bien entendu au détriment de la finesse de l'analyse. Il serait souhaitable, par contre, que le dépouillement des bassins représentatifs et expérimentaux comporte systématiquement, outre les analyses scientifiques qui pourraient être jugées utiles par le chercheur, une analyse standard portant sur les quelques crues présentant d'indiscutables caractéristiques unitaires et homogènes.