

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, et débouchent sur ce que l'auteur a appelé l'hydrogramme standard.

SUMMARY

The geographical transposition of the results obtained from representative and experimental watersheds is a matter of regressions based upon geomorphological characteristics of these watersheds. Therefore, the lumped model for the transformation of precipitations into runoff, generally used for small sized basins, must be simplified and standardized in order to be defined, in any case, by the same parameters. Moreover, the elements of the hydrograph, especially the base time, are to be determined by a very strict process providing with "consistent" estimates. These new necessary conditions lead to see again the methods used till now for scientific purposes in operating the data from small watersheds, to the so-called "standard hydrograph".

Au cours des dernières années, une grande part de l'activité des hydrologues a été orientée vers la recherche d'opérateurs capables de transformer une chronique de données climatologiques (essentiellement pluies ou neige + températures), en une chronique de débits à l'exutoire du bassin sur lequel est appliquée ladite chronique climatologique. On sait actuellement qu'un tel opérateur ne peut être universel dans des conditions optimales d'utilisation. Un des facteurs dominants, caractérisant le champ d'application d'une méthode particulière, est la taille du bassin de drainage. Eu égard à ce dernier critère, qu'il convient du reste de préciser par des considérations d'homogénéisation spatiale tant climatique que morphologique, on distingue deux types généraux d'opérateurs, schématisés sur la figure 1 :

- les opérateurs globaux qui font intervenir « en bloc » les caractéristiques du bassin;
- les opérateurs matriciels qui permettent, jusqu'à un certain point, de considérer et de faire intervenir séparément différentes parties du bassin.

Les opérateurs globaux conviennent d'autant mieux que le bassin est plus petit et que les conditions climatiques et géomorphologiques sont plus homogènes.

L'hydrogramme standard, qui fait l'objet de la présente communication, procède de la technique des opérateurs globaux. Comme nous l'exposerons plus loin, il est né de la nécessité d'une définition stricte des paramètres de forme en vue de la transposition géographique. C'est une notion qui devra être complétée ultérieurement par celle de la standardisation des autres éléments de l'opérateur global, problème qui sera évoqué mais qui n'a pas encore donné lieu à une recherche systématique.

* Communication présentée au colloque de l'AIHS à Fort Collins, septembre 1967.

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

Collection de Référence

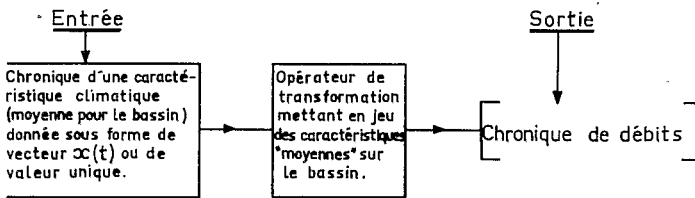
5 SEPT 1968

B n^o /2325

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 modéliser chaque portion « ruisselante » de la chronique des apports en un hydrogramme élémentaire.

Opérateur global



Opérateur matriciel

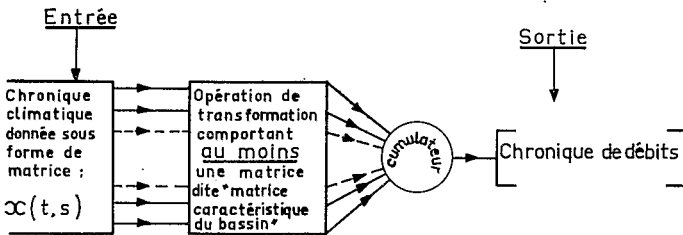


Fig. 1

Cette dernière opération a beaucoup d'analogie avec l'opération mathématique d'intégrale fonctionnelle qui, sous l'hypothèse la plus simple de composition linéaire, s'exprime par la relation :

$$y(t) = \int_{-\infty}^t h(t, \tau) x(t-\tau) d\tau$$

Nous n'entrerons pas ici dans la polémique de la linéarité, qui n'a rien à voir avec notre

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 étapes (étalement et transport) et surtout en agissant séparément sur les différents éléments du bassin avant de recomposer le tout dans un cumulateur linéaire, ce qui aboutit à une construction en quelque sorte progressive de l'hydrogramme résultant, tandis que dans la première la mise en forme d'un volume ruisselé, qui intéresse obligatoirement la totalité du bassin, se fait en une seule opération, l'hydrogramme type, noyau de la transformation, intégrant par définition toutes les opérations d'étalement et de transfert.

2. PROBLÈME DE LA SYNTHÈSE DANS LA TRANSPOSITION GÉOGRAPHIQUE — NÉCESSITÉ DE LA STANDARDISATION

Toujours dans l'optique du modèle global, si la synthèse d'une crue, correspondant à un épisode pluvieux donné, est faite pour un bassin qui a été étudié dans ce but, les éléments de l'opérateur sont connus de la manière suivante :

- la fonction de forme, en l'occurrence l'hydrogramme type, caractéristique hydraulique du bassin, a été étudiée à partir des hydrogrammes de ruissellement correspondant à des averses dites « unitaires », courtes, suffisamment intenses et homogènes. On supposera que cet hydrogramme type est effectivement invariant, invariance qui n'est pas toujours vraie et qui est de toute manière approximative;
- la fonction de réduction, par exemple le coefficient de ruissellement, se traduit par une ou plusieurs régressions mettant *en jeu* des caractéristiques de l'averse génératrice de la crue et les conditions d'humectation du sol immédiatement avant l'averse; ces dernières conditions sont le plus souvent exprimées par un indice tiré des précipitations antérieures à l'averse. Lorsque l'épisode pluvieux considéré comprend plus d'une averse ou une averse de durée trop longue pour qu'elle corresponde à la définition de l'averse unitaire, il est nécessaire de décomposer en averses plus élémentaires et de tenir compte de l'évolution de la fonction de réduction à l'intérieur de l'épisode pluvieux.

Si l'on admet l'hypothèse de la composition linéaire des ruissellements élémentaires, la reconstitution de la crue de ruissellement afférente à l'épisode pluvieux s'obtient par addition des hydrogrammes partiels, dérivés des éléments unitaires de cet épisode au moyen de l'opérateur décrit ci-dessus, convenablement décalés dans le temps. Il suffit donc de connaître le processus d'une opération élémentaire que l'on trouvera, schématisé, sur la figure 2.

Les deux fonctions de transformation composant l'opérateur global sont elles-mêmes complexes, définies par une infinité de paramètres si on les accepte dans toute leur particularité. En effet, la fonction de réduction se présente par exemple sous forme de 1, 2 ou plusieurs courbes de régression d'une forme monotone et croissante absolument quelconque, tandis que l'opérateur de forme, ou hydrogramme type, ne comporte qu'une courbe dont la forme peut également varier à l'infini. Pour l'opération décrite au début de ce paragraphe, c'est-à-dire application de l'opérateur au bassin même sur lequel il a été étudié, cela ne présente pas d'inconvénient. Par contre, l'acceptation d'une telle structure rend impossible toute transposition géographique.

Admettons que l'on ait étudié une série de bassins représentatifs dans des conditions climatiques et géomorphologiques variées, et dégagé pour chacun de ces bassins un opérateur de transformation pluie-débit particulier. On pourra, certes, par des considérations d'analogie purement qualitatives (même si on se base sur des résultats chiffrés), utiliser les résultats acquis pour le calcul des crues sur des bassins non étudiés, mais l'incertitude des résultats sera grande et le fruit d'efforts pénibles et coûteux bien mal utilisé.

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.

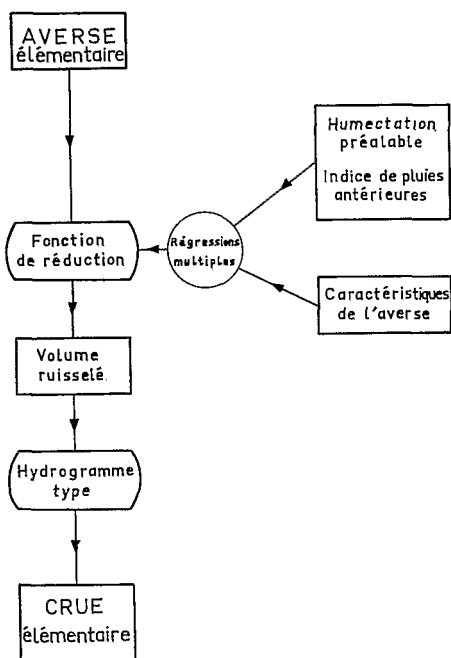


Fig. 2

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 la transformation elle-même ne fait pas l'objet du présent papier, nous ne compliquerons pas inutilement le problème.

Les caractéristiques géomorphologiques sont extrêmement nombreuses. Dans une étude préliminaire destinée à sélectionner les paramètres de ce type convenant le mieux pour le ruissellement et pour la mise en valeur agricole, les chercheurs de la Tennesy Valley avaient

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 globaux de transformation des précipitations en débits de ruissellement, consiste à déduire 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 efficaces 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 n'importe comment les éléments de l'opérateur trouvé pour chaque bassin particulier, de manière à exprimer cet opérateur par quelques paramètres. Il faut de plus que la forme paramétrique générale soit la même pour tous les bassins étudiés et, bien entendu, pour tous les bassins qui feront l'objet d'une transposition. C'est pourquoi nous avons adopté l'expression de « standardisation » de l'opérateur global.

Nous n'avons pas encore étudié de façon approfondie la standardisation de la fonction de réduction, mais il est aisé de s'en faire une idée générale. Cette fonction peut s'exprimer soit directement par une relation entre la lame d'eau ruisselée H_R et la lame d'eau précipitée H_P , soit par l'intermédiaire du coefficient de ruissellement $K_R = H_R/H_P$. Dans les deux cas on obtient une expression générale de la forme :

$$H_R = f(I_a, H_P)$$

ou

$$K_R = g(I_a, H_P)$$

I_a désigne un indice des pluies antécédentes et H_P la hauteur de l'averse. On peut ajouter un troisième facteur relatif à l'intensité de l'averse, mais son influence propre sur le ruissellement est en général difficile à mettre en évidence; cependant, dans un modèle assez général il sera bon de tenir compte sommairement et globalement de l'intensité en introduisant comme paramètre supplémentaire et globalement de l'intensité en introduisant comme paramètre supplémentaire la durée du corps de l'averse c'est-à-dire le temps pendant lequel l'intensité n'est pas inférieure à un seuil pris généralement égal à 10 mm/h. On désignera par D_c cette durée du corps. En s'en tenant au coefficient de ruissellement, la relation de régressions multiples s'écrit :

$$K_R = g(I_a, H_P, D_c)$$

Dans le procédé d'analyse actuel de l'ORSTOM, cette relation de régression, établie graphiquement par la méthode des résidus, n'est pas paramétrique. Du point de vue de l'analyse et de la synthèse appliquée au même bassin, ce n'est pas un inconvénient; au contraire, l'absence de paramètres confère à la fonction une grande souplesse et permet de l'adapter au mieux

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 les résultats expérimentaux, de cette partie du programme, n'a pas encore été abordée. Cependant, pour ne pas trop laisser flotter une impression de « vague » sur ce champ de recherches très important, nous donnerons quelques indications sur une des voies d'accès possibles.

Il convient d'examiner d'abord le cas de l'indice des pluies antérieures qui doit lui-même comporter des paramètres d'ajustement puisqu'il semble bien que deux indices identiques ne puissent convenir à deux terrains de perméabilités différentes. Une des formes les plus utilisées est une sommation à décroissance exponentielle :

$$I_a = \sum_{t=0}^{\infty} P_a(t) e^{-\alpha t}$$

où $P_a(t)$ désigne une pluie antérieure à l'averse étudiée et séparée de celle-ci par un intervalle de temps t . On a fait remarqué souvent que l'indice ainsi calculé exagère l'influence des fortes pluies antérieures. En effet, à partir du moment où une pluie donne lieu à un ruissellement généralisé, un excédent ne peut se traduire par une humectation plus grande du terrain, donc ne peut avoir une influence sur le coefficient de ruissellement d'une averse ultérieure. Par contre, la durée de la pluie préliminaire a une influence marquée qui n'est traduite qu'indirectement par la forme de l'indice : précisément par la hauteur de la pluie qui est tout de même corrélée avec la durée. De sorte que si l'on veut tenir compte de ces remarques, l'équation ci-dessus devrait être assortie de la condition :

— si

$$P_a(t) \geq P_{\text{lim}}$$

on prend

$$P_a(t) = P_{\text{lim}} + \beta(P_a(t) - P_{\text{lim}}).$$

On peut aussi mettre l'indice sous la forme :

$$I_a = \sum_{t=0}^{\infty} \left[P_{\text{lim}} + \beta(P_a(t) - P_{\text{lim}}) \right] e^{-\alpha t}$$

avec

$$P_a(t) - P_{\text{lim}} = 0$$

si

$$P_a(t) \leq P_{\text{lim}}$$

I_a est ainsi standardisé par une fonction à trois paramètres, ce qu'on exprimera par :

$$I_a[\alpha, \beta, P_{\text{lim}}]$$

Le coefficient de ruissellement s'exprime en fonction de la hauteur précipitée H_p et des pertes occasionnées par l'infiltration, la rétention de surface etc.

$$K_R = 1 - \text{Pertes}/H_p$$

Toutes choses égales d'ailleurs, les pertes sont d'autant plus élevées que la durée de l'averse est plus longue. Au contraire, un fort indice de pluies antécédentes favorise le ruissellement, donc diminue les pertes. Il est assez logique d'admettre que l'influence de la durée du corps est linéaire. Pour I_a , l'hypothèse de linéarité est une de celles qui peuvent être faites. Une relation que l'on peut admettre comme hypothèse de travail au départ est donc :

$$K_R = 1 - \frac{1 + AD_c}{(BI_a + C)H_p}$$

En tenant compte de la forme complexe de I_a , les paramètres de la fonction « Réduction » standardisée de l'opérateur global sont au nombre de 6 :

$$\alpha, \beta, P_{lim}, A, B, C$$

Chacun de ces paramètres sera mis en régression avec les paramètres géomorphologiques. Notons que les nouvelles relations de régression ainsi définies ne nécessitent pas une forme paramétrique.

Nous allons maintenant passer à l'étude de l'hydrogramme standard à proprement parler.

3. PROPOSITIONS POUR UN HYDROGRAMME STANDARD — RECHERCHE DE FORMES STABLES POUR LES PARAMÈTRES DE DÉFINITION

On sait que dans les méthodes d'analyse classiques l'hydrogramme naturel afférent à une averse dite unitaire est séparé en plusieurs composants appelés traditionnellement : ruissellement pur, ruissellement retardé ou écoulement hypodermique et écoulement « de base » ou « souterrain ». Suivant les auteurs, le degré d'analyse, l'importance relative des trois modes supposés d'écoulement, on les considère tous les trois, ou deux seulement et parfois même un seul. Nous reviendrons tout à l'heure sur ce point; quoi qu'il en soit l'opérateur global ne peut porter que sur la partie « ruissellement » de l'écoulement, que cette partie se limite au ruissellement pur ou qu'elle englobe l'hypodermique.

Considérons donc un hydrogramme de ruissellement qui, rappelons-le, doit correspondre obligatoirement à une averse unitaire et homogène, au sens donné habituellement à ces termes. Il s'agit tout à la fois de le simplifier en lui donnant une forme capable d'être entièrement déterminée par un nombre restreint de paramètres, et de le standardiser, c'est-à-dire d'adopter la même forme, aux valeurs des paramètres près, pour tous les hydrogrammes de tous les bassins, au moins de ceux qui sont dans la zone d'extension étudiée.

Or un hydrogramme peut épouser des formes extrêmement variées que l'on ne sera jamais capable de rendre par une fonction générale quel que soit le nombre de ses paramètres. Tout ce qu'on peut dire en fait, a priori, de la réaction d'un bassin à une averse unitaire, c'est que ce bassin engendrera un débit de ruissellement croissant de zéro à un maximum, puis décroissant de ce maximum à zéro. On a déjà préconisé de nombreuses formes analytiques, notamment la fonction gamma qui effectivement ressemble beaucoup aux crues de ruissellement que l'on trouve dans les manuels d'hydrologie à titre d'exemple; la courbe en est fort élégante, mais on ne trouve pas, dans la nature, une crue sur dix qui justifie un recours préférentiel à cette forme particulière.

Dans ces conditions, il nous a paru préférable d'adopter une représentation encore plus simple que la fonction gamma et se rapportant directement aux éléments de l'hydrogramme qui nous paraissent absolument essentiels; c'est-à-dire :

- le temps de base ou durée du ruissellement (T_b);
- le temps de montée (T_m);
- le rapport du débit maximal Q_M mesuré sur l'hydrogramme de ruissellement au débit ruisselé moyen Q_m ;

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

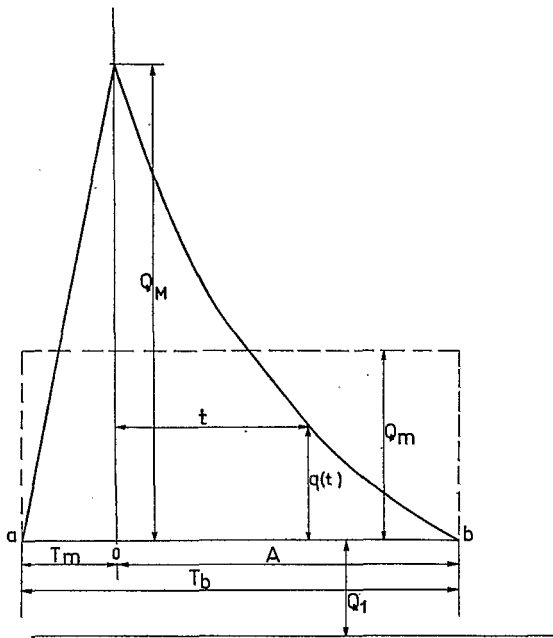


Fig. 3

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 .

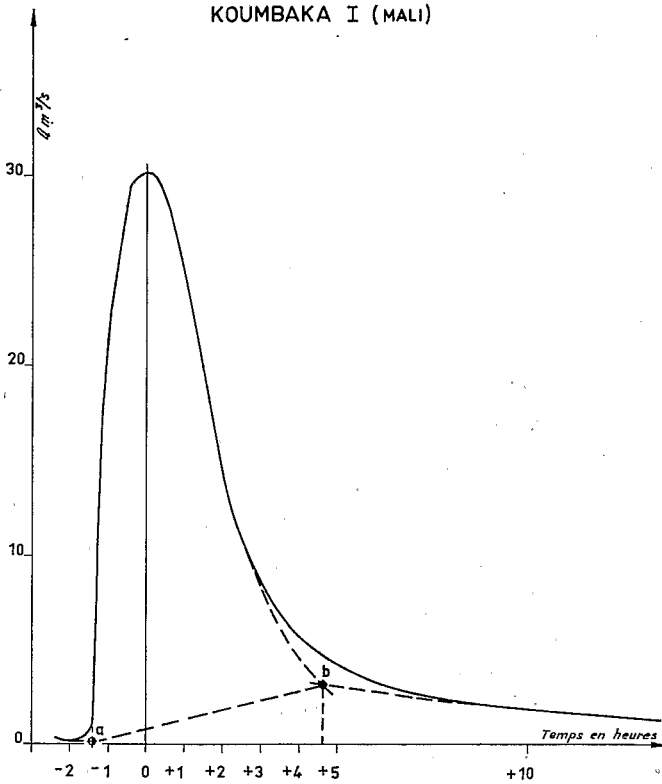


Fig. 4

Ce n'est pas dans la recherche d'une forme analytique que réside la difficulté de l'hydrogramme standard. Beaucoup plus délicate est, lors de l'analyse, l'estimation des paramètres fondamentaux. Au nombre de ceux-ci, on compte en effet le temps de base T_b qui a une énorme influence sur les résultats au moment de la synthèse. Or, la décomposition classique de l'hydrogramme naturel, telle que nous l'avons évoquée précédemment, ne permet guère une détermination stable de T_b . On a vu qu'il y a déjà quelque arbitraire, dans le choix du ruissellement à prendre en compte, et, même ce choix arrêté, la technique de séparation des écoulements, bien suffisante du point de vue volumétrique, est très imprécise pour la mesure du temps de base. Dans l'analyse scientifique pour l'étude même du cycle de l'eau et du ruissellement, de même que pour la détermination de l'hydrogramme type et son application au même bassin, la notion de temps de base n'a qu'une importance toute relative et la méthode classique con-

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 .

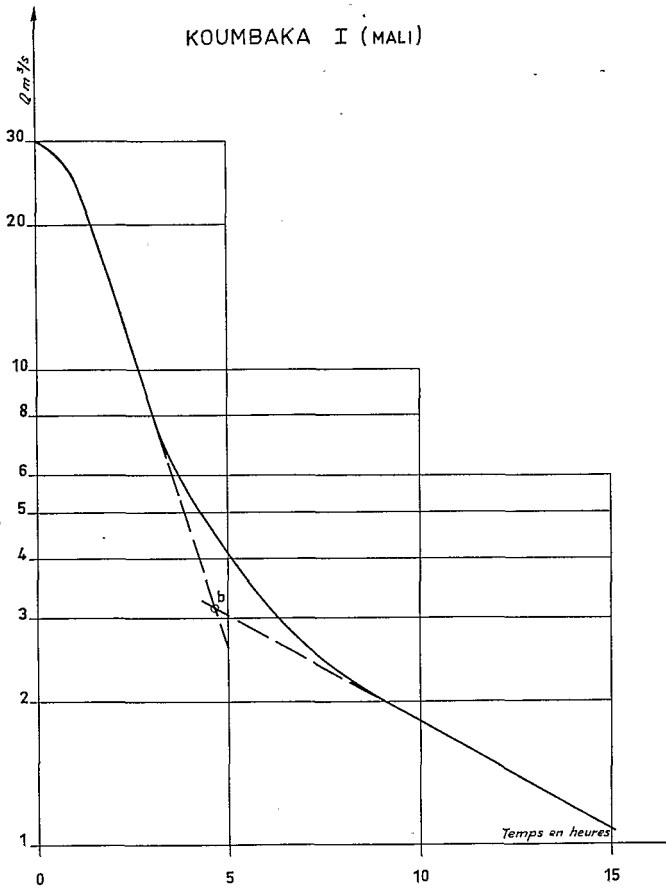


Fig. 5

Un hydrogramme naturel particulier étant donné, l'estimation du temps de base consiste à fixer sur cet hydrogramme le début et la fin du ruissellement. Nous traiterons le problème sur un exemple concret : une crue qui s'est produite sur le bassin de Koumbaka I, en République du Mali. L'hydrogramme naturel de cette crue est tracé sur la figure 4; l'heure d'arrivée du maximum est prise comme origine des temps.

Le démarrage du ruissellement est en général assez net. Il se produit toutefois assez souvent qu'une configuration particulière du bassin, dans sa partie aval, provoque, même sous une averse homogène, un ruissellement précoce de faible importance, en avance sur le gros de la

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 précoce peut conduire à une valeur très particulière de T_b , sans intérêt pour le fonctionnement de l'ensemble du bassin. Cette particularité risque de ne pas être représentée avec suffisamment de finesse par les différents paramètres caractérisant la géomorphologie du bassin; il est donc préférable de ne pas en tenir compte pour l'établissement de l'hydrogramme standard.

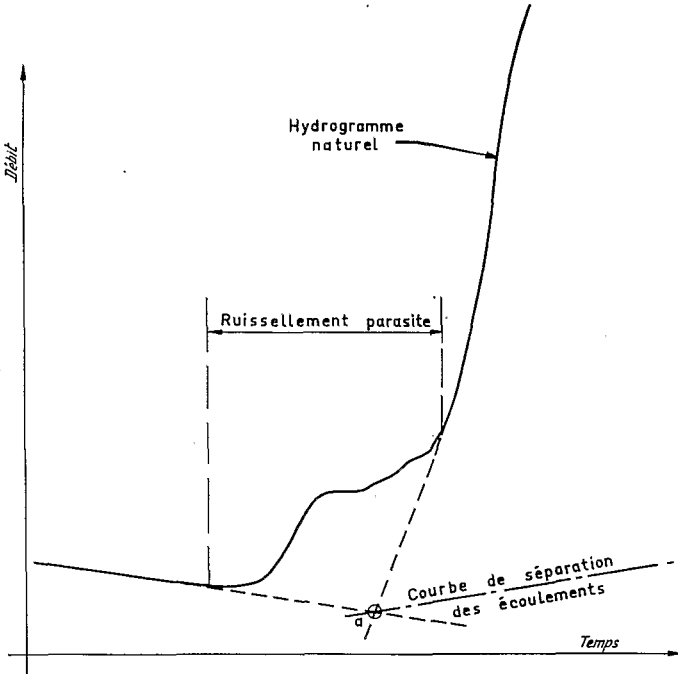


Fig. 6

En pratique, on s'appuiera sur la courbe de montée franche de la crue que l'on prolongera vers le bas par la tangente. On prolongera de la même manière la courbe de décrue précédant la crue analysée. Le point d'intersection de ces deux prolongations sera adopté comme marquant le début du ruissellement. Un exemple de la construction est donné sur le graphique de la figure 6; c'est du point « a » d'intersection que partira la courbe de séparation des écoulements. Une construction analogue a été faite pour l'hydrogramme de Koumbaka, mais l'effet de ruissellement parasite y est pratiquement inexistant.

Pour déterminer la fin du ruissellement que, si nous osions, nous appellerions le ruissellement standard, on reporte la branche descendante de l'hydrogramme naturel en graphique semi-logarithmique comme une analyse classique des écoulements (fig. 5). Mais au lieu de rechercher différents points de cassure, dont l'interprétation n'est du reste pas aussi sûre qu'on veut bien le dire, on s'appuie sur les deux parties les plus nettes de la courbe obtenue, c'est-à-dire la décrue franche et le tarissement vrai (régime non influencé), que l'on prolonge par une droite.

Le point d'intersection, point « b » de la figure 5, est considéré d'autorité comme marquant

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) :

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

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

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

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

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

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

$$\alpha = 1,97$$

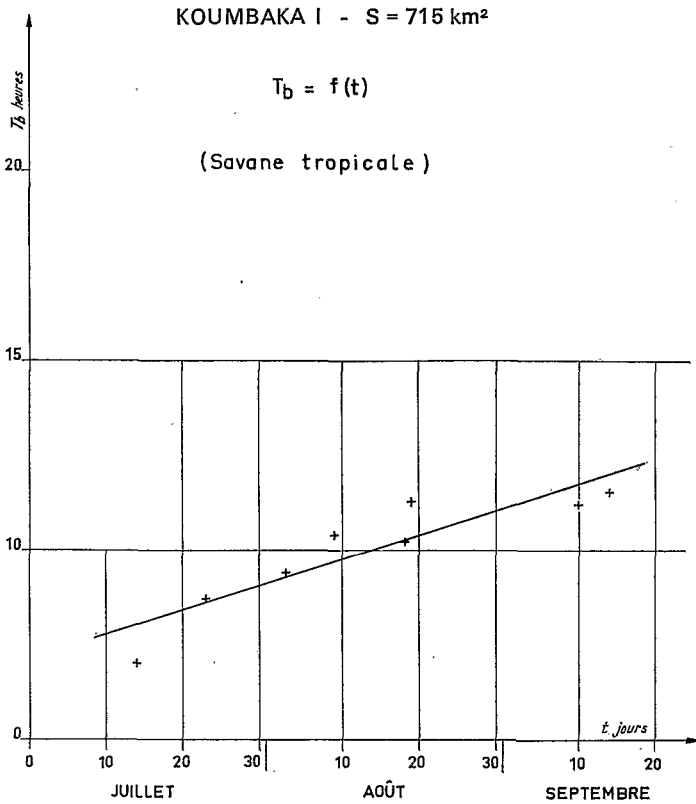


Fig. 7

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

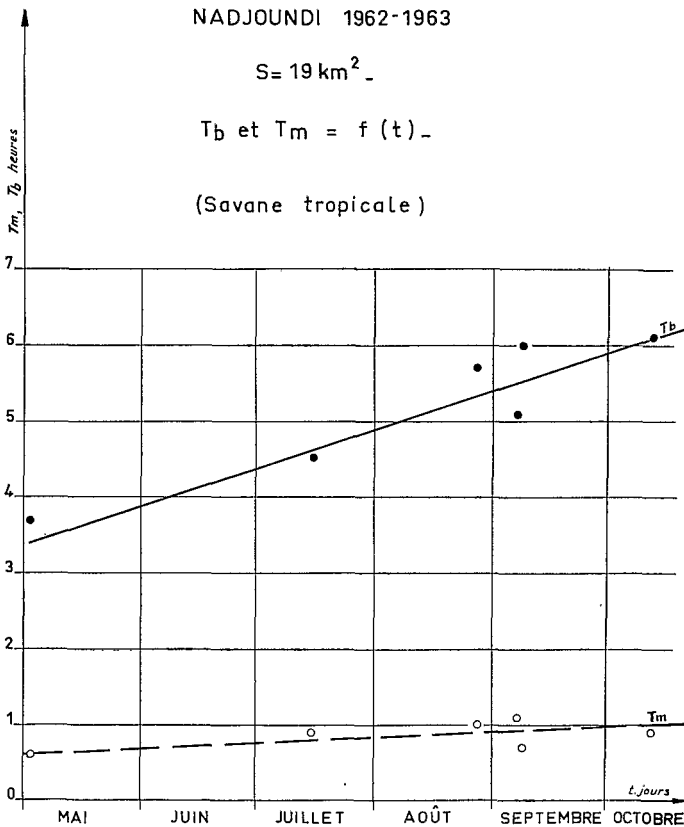


Fig. 8

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 végétation herbacée. Plusieurs variables ont été utilisées pour caractériser l'état de la végétation. Celle qui s'est révélée jusqu'à présent la plus efficiente est tout simplement la date de la crue.

L'effet de cette évolution de la végétation est d'autant plus marqué que le pays est plus aride, ce qui était également prévisible. Le graphique de la figure 7 montre, pour le bassin de Koumbaka I, 71 km², climat soudanien typique, prédominance de la végétation herbacée, la variation de T_b avec la date de la crue. Le graphique a été établi à partir de toutes les crues unitaires observées durant trois campagnes.

La figure 8 montre, dans les mêmes conditions, la variation du temps de base et du temps de montée sur le bassin de Nadjoundi, 19 km², savane, climat tropical. En forêt, cette influence disparaît complètement, comme le montre le graphique de la figure 9 se rapportant au bassin de l'Amitioro, 2,75 km², forêt mésophile.

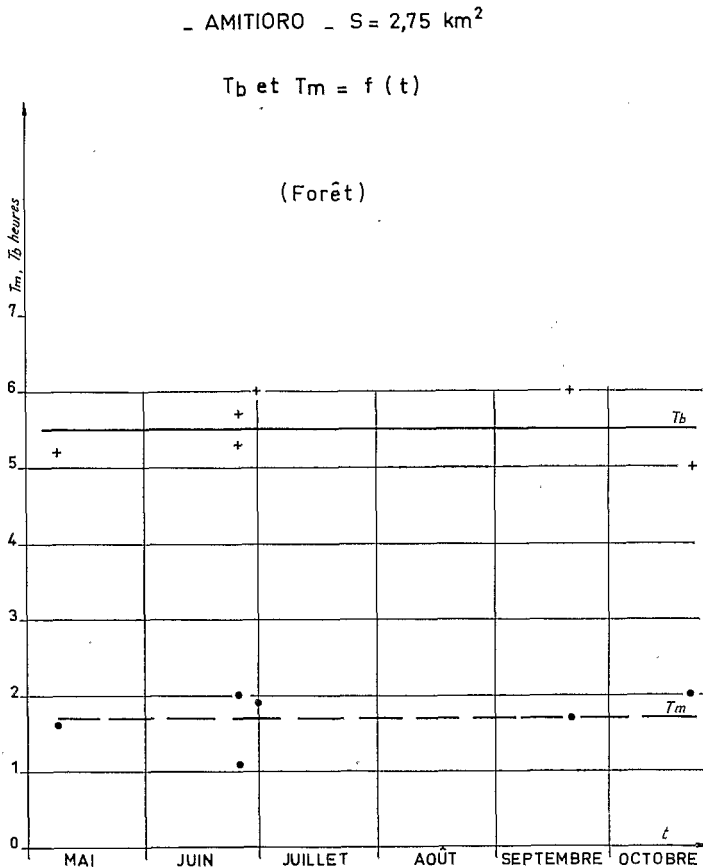


Fig. 9

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.