

Résumé des résultats de recherches sur les bassins représentatifs de l'ORSTOM étudiés hors des territoires français

J. RODIER

Conseiller scientifique à E.D.F.
Président du Comité Technique
d'Hydrologie à l'ORSTOM

1. ORGANISME GESTIONNAIRE

Office de la Recherche Scientifique et Technique Outre-Mer.

2. THÈMES DE RECHERCHES

Ils résultent des besoins directs et indirects du développement.

2.1. ÉTUDE DES DÉBITS DE RUISSELLEMENT EN FONCTION DES FACTEURS CONDITIONNELS SUR LES PETITS BASSINS

A la suite de très nombreuses destructions par les crues de petits barrages et de ponts sur les grands axes routiers, un des premiers ensembles de thèmes de recherche qui se sont imposés à l'ORSTOM couvrait la totalité des recherches fondamentales liées à la genèse des crues sur les petits bassins tropicaux. Le réseau hydrométrique sur ces petits bassins étant inexistant, les études ne pouvaient être menées que sur bassins représentatifs. Un peu plus tard, les recherches se sont étendues à l'ensemble des phénomènes liés à l'écoulement.

Les thèmes de recherches principaux sont les suivants :

2.1.1. Les intensités des précipitations pendant les orages convectifs appelés improprement « tornades » et la distribution statistique de ces intensités.

En fait, les bassins représentatifs ont également été utilisés pour le même genre de recherches sur les averses cycloniques.

2.1.2. La distribution spatiale des précipitations pendant les tornades.

2.1.3. Les recherches sur les relations pluie-débit ou plus précisément sur l'importance du ruissellement superficiel pour l'analyse du coefficient de ruissellement pendant les averses de fréquence annuelle et décennale dans les différentes conditions physiographiques.

L'influence des types de sols que l'on rencontre en zones sahéliennes, subdésertiques et désertiques ont fait l'objet de recherches particulièrement approfondies, ainsi que l'influence de la forêt tropicale.

2.1.4. L'étude de l'influence préalable de l'humidité du sol sur le ruissellement superficiel produit par chaque averse.

2.1.5. L'étude de la forme des hydrogrammes des crues élémentaires.

2.1.6. La recherche d'indications sur les limites du coefficient de ruissellement dans le cas d'averses tout à fait exceptionnelles, ceci en vue de guider les extrapolations pour l'estimation des crues exceptionnelles sur les grands bassins.

2.1.7. Les études de l'écoulement sur les bassins (débit de base + crues) dans les diverses conditions naturelles.

2.2. ÉTUDE DES DÉBITS DE CRUES EN FONCTION DES FACTEURS CONDITIONNELS SUR LES BASSINS DE MOYENNE SUPERFICIE (500 à 2 000 km²)

Il y a là une grave lacune de nos connaissances en régions tropicales.

On retrouve dans ces études les thèmes 2.1.2., 2.1.3., et 2.1.4., mais on ne retrouve pas le thème 2.1.5., car sur des bassins de cette importance, on rencontre assez rarement une forme d'hydrogramme-type et on doit abandonner les modèles globaux largement utilisés dans les thèmes 2.1.3. et 2.1.4.

2.3. ETUDE DE L'ÉROSION SUPERFICIELLE EN FONCTION DE SES FACTEURS CONDITIONNELS SUR DES SUPERFICIES PLUS GRANDES QUE LA PARCELLE EXPÉRIMENTALE

Ces recherches sont liées à celles sur le transport solide sur de petites surfaces.

2.4. ETUDE DE L'ALIMENTATION DES NAPPES

L'ORSTOM n'a étudié que certains aspects de ces problèmes, ceux qui sont liés le plus étroitement à l'hydrologie superficielle.

2.4.1. *Etude de l'alimentation des nappes dans les zones d'altération des roches cristallines à l'échelle du petit bassin versant (moins de 10 km²)*

Ceci entraîne un ensemble de recherches sur les mouvements de l'eau dans la zone non saturée et en même temps sont menées des recherches sur les liaisons entre la situation dans la zone non saturée et le ruissellement superficiel (thème 2.1.4.).

2.4.2. *Etude de l'alimentation des petites nappes alluviales dans les régions cristallines, sahéniennes ou sub-désertiques*

Ces recherches ont été effectuées à l'occasion de demandes des gouvernements intéressés, mais elles l'ont été également sur des bassins représentatifs aménagés et étudiés par l'ORSTOM de sa propre initiative et sur son propre budget, à la suite de l'établissement de son programme de recherches, lequel a été fortement orienté par le programme de la Décennie Hydrologique Internationale.

2.5. ETUDE DU BILAN HYDROLOGIQUE

Pour de nombreux bassins, cette étude vient en conclusion des recherches classées en 2.1. et 2.4., elles englobent les recherches sur l'évapotranspiration réelle.

3. RÉGIONS ÉTUDIÉES

Les dix-sept bassins représentatifs exploités par l'ORSTOM avec ses propres ressources ou grâce à des subventions de l'Administration française, sont situées en bordure du Sahara, ou dans la zone sahénienne au sud du désert (entre les isohyètes 300 mm et 750 mm), dans les régions soudaniennes, guinéennes, en forêt équatoriale et Madagascar. Ils ne concernent qu'un certain nombre de régions naturelles de ces zones puisque un grand nombre de bassins représentatifs ont été aménagés soit à la demande des pays intéressés, sur leurs propres crédits, soit antérieurement à 1965, sur budget français ou étranger.

4. PRINCIPALES PUBLICATIONS

- DUBREUIL (P.) et al. - 1972 - Recueil des données de base des bassins représentatifs et expérimentaux. Années 1951-1969. ORSTOM, Service Hydrologique, Paris, 916 p. (*impr.*).
- VUILLAUME (G.) - 1974 - L'abattement des précipitations journalières en Afrique Intertropicale. *Cahiers ORSTOM*, Série Hydrologique, vol. XI, n° 3.
- DUBREUIL (P.) - 1970 - Le rôle des paramètres caractéristiques du milieu physique dans la synthèse et l'extrapolation des données hydrologiques recueillies sur bassins représentatifs. Colloque sur les résultats des recherches sur les bassins représentatifs et expérimentaux, Wellington (N.-Z.). Publication AIHS-UNESCO, n° 96, vol. I, pp. 583-590, 2 tabl., 7 réf. bibliogr.
- RODIER (J.), VUILLAUME (G.) - 1970 - Interprétation des résultats sur quelques bassins représentatifs tropicaux. Colloque sur les résultats des recherches sur les bassins représentatifs et expérimentaux, Wellington (N.-Z.). Publication AIHS-UNESCO, n° 96, vol. I, pp. 443-454, 6 fig., 7 réf. bibliogr.
- DUBREUIL (P.) - 1973 - Le transfert d'informations hydrologiques à des bassins versants non observés. Colloque sur l'élaboration des projets d'utilisation des ressources en eau sans données suffisantes, Madrid. Publication AIHS-UNESCO-WHO, n° 108 (*sous presse*).

- RODIER (J.), AUVRAY (C.) – 1965 – Estimation des débits de crues décennales pour les bassins versants de superficie inférieure à 200 km² en Afrique occidentale. ORSTOM-CIEH, Paris, 30 p., 13 fig. (*impr.*).
- RODIER (J.) – mai 1966 – Méthodes utilisées pour le calcul du coefficient de ruissellement sur les bassins représentatifs et expérimentaux. *Cahiers ORSTOM*, Série Hydrologie, n° 4, pp. 27-38, 5 fig.
- ROCHE (M.) – 1967 – Recherche d'un hydrogramme standard. *Cahiers ORSTOM*, Série Hydrologie, vol. IV, n° 1, pp. 27-44, 24 fig.
- GIRARD (G.) – 1969 – Etude du ruissellement sur un bassin de 1 200 km² et recherche d'un modèle hydro-pluviométrique. *Cahiers ORSTOM*, Série Hydrologie, vol. VI, n° 2, pp. 43-72, 12 fig.
- VUILLAUME (G.) – 1969 – Analyse quantitative du rôle des facteurs du milieu physico-climatique sur le ruissellement et l'érosion à l'issue de bassins de quelques hectares en zone sahélienne. *Cahiers ORSTOM*, Série Hydrologie, vol. VI, n° 4, pp. 87-132, 19 fig.
- POURRUT (P.) – 1968 – Utilisation pratique de l'humidimètre à neutrons pour les mesures hydrologiques. Premiers résultats obtenus sur le bassin représentatif de la Tafaina (Madagascar). *Cahiers ORSTOM*, Série Hydrologie, vol. V, n° 2, pp. 15-32, 12 fig.
- POURRUT (P.), ZEBROWSKI (C.) – 1970 – Détermination de certaines caractéristiques intrinsèques et hydrodynamiques des sols par utilisation de méthodes neutroniques en République Malgache. *Cahiers ORSTOM*, Série Hydrologie, vol. VII, n° 1, pp. 37-62, 12 tabl., 13 fig., 3 annexes.
- DUBREUIL (P.) – 1969 – Les études analytiques de l'infiltration du mouvement de l'eau dans le sol et de l'alimentation de la nappe phréatique sur quelques bassins représentatifs de l'ORSTOM. *La Houille Blanche*, n° 8, pp. 889-896, 4 fig.
- POURRUT (P.) – 1970 – Etude fine du bilan hydrique par utilisation de la sonde à neutrons. Colloque sur les résultats des recherches sur les bassins représentatifs et expérimentaux, Wellington (N.-Z.). Publications AIHS-UNESCO, n° 96, vol. I, pp. 708-737, 17 fig., 4 réf. bibliogr.
- CAMUS (H.), BERTHAULT (C.) – 1972 – Influence du couvert végétal sur la perméabilité des sols du bassin représentatif de Korhogo (Côte d'Ivoire). *Cahiers ORSTOM*, Série Hydrologie, vol. IX, pp. 3-13, 8 fig., 4 tabl.

On trouvera, pour chaque bassin représentatif de l'ORSTOM, les résultats des observations et mesures et leur interprétation, dans les rapports multigraphiés correspondants dont les références figurent dans le Recueil des données de base des bassins représentatifs et expérimentaux, années 1951-1969 (voir première rubrique de cette liste de publications).

5. RÉSULTATS OBTENUS

5.1. RECHERCHES SUR LES PRÉCIPITATIONS

Lors des crues exceptionnelles, les bassins représentatifs apportent des informations sûres et précises qui constituent une des bases les plus importantes de toutes recherches dans ce domaine. Sur plusieurs des bassins étudiés par ORSTOM, on a pu étudier des averses tout à fait remarquables, celle qui présente le caractère le plus exceptionnel a été observée sur l'oued Zita où est tombé, en décembre 1973, une averse de 280 mm en 17 heures (débit maximal en résultant : de l'ordre de 40 m³/s.km² pour 3 km²).

La masse considérable de diagrammes de pluviomètres enregistreurs a permis de préciser la forme type des courbes d'intensité-durée pour des durées de moins d'une heure dans toute la zone tropicale (zone littorale exclue).

L'analyse systématique des précipitations journalières sur bassins représentatifs de surface supérieure à 90 km² avec sous-bassin de l'ordre de 10 km², par exemple, sur les bassins de l'oued Ghorfa, de l'Amitoro, du Bam Bam et du Risso, a permis d'arriver à des connaissances suffisantes en ce qui concerne les relations entre précipitations ponctuelles d'une fréquence donnée et précipitation moyenne sur une surface S correspondant à la même fréquence (problème de l'abattement).

On a établi une équation généralisée applicable à toute la zone tropicale et équatoriale en Afrique boréale, moyennant le réglage de deux paramètres, l'un à partir de la hauteur moyenne annuelle des précipitations, l'autre à partir de la loi de distribution des précipitations journalières (généralement PEARSON III). On a extrapolé ces résultats jusqu'à 5 000 km². Ces relations ne sont pas valables en montagne.

5.2. RELATIONS PLUIE-DÉBIT ET FORME DE L'HYDROGRAMME

Les relations pluie-débit ont fait l'objet d'analyses systématiques averse par averse, pour chaque bassin représentatif, et peu à peu les modèles à réservoir ont remplacé l'utilisation de la méthode des résidus ; par exemple, pour l'interprétation des résultats du bassin représentatif de Korhogo. Mais la méthode des résidus reste encore employée dans de nombreux cas, les facteurs du ruissellement étant généralement les suivants : la hauteur de précipitations correspondant à chaque averse et un ou plusieurs index représentant l'humidité antérieure (index de Kohler ou autre). On fait intervenir parfois un index en relation avec la forme du diagramme d'intensité de l'averse (plus simplement l'intensité du corps de l'averse dans bien des cas). On peut trouver dans les publications citées plus haut, un certain nombre d'exemples de recherches de ce genre.

Par ailleurs, on a entrepris la recherche systématique par régression multiple de l'influence des facteurs physiographiques sur le ruissellement et plus particulièrement sur le volume de la crue décennale en régions tropicales. Il y a des difficultés importantes pour introduire le facteur perméabilité du sol sous une forme globale, mais une solution est en vue.

Auparavant, une synthèse plus sommaire a conduit à l'établissement d'un ensemble de diagrammes permettant de déterminer, pour la crue décennale, le coefficient de ruissellement pour chaque zone climatique en région tropicale et sahélienne, en fonction de la superficie du bassin, d'un indice global de pente et du chiffre définissant la classe de perméabilité définie de façon très sommaire. On en a déduit des normes pour le calcul des crues décennales pour des bassins de moins de 200 km².

L'analyse des conditions de ruissellement en forêt tropicale a été effectuée sur plusieurs bassins représentatifs et les recherches ont été assez approfondies sur deux d'entre eux, mais la difficulté de bien caractériser l'influence de la perméabilité globale du sol limite jusqu'ici la généralisation des résultats obtenus à l'ensemble des bassins de la région forestière.

L'examen de l'ensemble des résultats des bassins étudiés par l'ORSTOM a permis de dégager des règles simples pour mettre au point la forme des hydrogrammes standard, point de départ des recherches systématiques valables sur les paramètres définissant cet hydrogramme, par exemple le temps de montée, le temps de réponse et le rapport K entre débit de pointe et débit moyen pendant la période de ruissellement.

Comme pour le coefficient de ruissellement, une première synthèse a été faite sur ce point, conduisant à des diagrammes définissant en régions sahéliennes et tropicales le temps de montée et de base, en fonction de la superficie du bassin versant et de l'indice global de pente. Quelques indications ont pu être dégagées sur la variation du coefficient K en fonction des facteurs les plus importants, en particulier de la couverture végétale; par exemple, ce facteur qui est généralement égal à 2,5 pour 25 km² en région sahélienne peut atteindre 4 pour la même surface, si la perméabilité est très faible et la pente forte, et toujours pour la même surface, peut descendre à 1,7 en forêt tropicale.

Les quelques averses très exceptionnelles observées sur les bassins représentatifs ont permis d'approcher la limite de la valeur du coefficient de ruissellement. Par exemple, pour l'averse citée plus haut, sur l'oued Zita, il a atteint 70-75%.

5.3. ETUDE DES DÉBITS DE CRUE SUR LES BASSINS DE MOYENNE SUPERFICIE

L'analyse nécessite la mise au point d'un modèle matriciel, ce qui a été fait notamment sur le bassin représentatif du Bam Bam en zone sahélienne. L'ajustement s'est avéré difficile par suite de l'influence des débordements.

La même analyse est en cours sur l'oued Ghorfa à l'aide d'un modèle à discrétisation spatiale.

Bien qu'on soit arrivé à des résultats encourageants pour les bassins étudiés, il reste encore beaucoup à faire pour arriver à un bon ajustement qui ouvrirait la voie à la généralisation de ces résultats.

5.4. EROSION

Elle fait actuellement l'objet de recherches sur plusieurs bassins représentatifs de l'ORSTOM de la catégorie étudiée dans ce chapitre (Sakassou, Sarki), mais jusqu'ici seul l'ensemble de bassins de Kountkouzout a fait l'objet d'une interprétation systématique.

Sur ces bassins, objet d'une forte érosion (perte de sol entre 1,4 et 18 t/ha et par an, suivant les différentes conditions), on a constaté une relation tout à fait significative entre le poids total de terre enlevée au bassin par averse et la lame ruisselée, la précipitation des vingt premières minutes de l'averse, l'intervalle de temps entre maximum de l'averse et le début de cette averse et enfin la somme des précipitations depuis le début de la saison des pluies. Une autre relation, également très significative, a été établie entre la lame d'ablation en t/ha, l'indice de pente, la teneur en argile plus limon et le pourcentage de zone cultivée, ce qui peut permettre l'extension des résultats obtenus. Ces recherches viennent compléter celles, bien connues, effectuées sur parcelles expérimentales.

Sur l'ensemble des bassins de Godola, on a pu dégager les valeurs des transports solides parallèlement à des études effectuées dans la même région sur de plus grands bassins, à l'aide des stations du réseau hydrométrique.

5.5. ETUDE DE L'ALIMENTATION DES NAPPES

Cette étude a été effectuée surtout sur les bassins représentatifs de Korhogo et de la Tafaina. Elle se poursuit actuellement sur les bassins de Sanguere et de Sakassou.

Dans les deux premiers cas, on a pu approcher le bilan hydrologique complet sur de courtes périodes. L'adaptation du modèle à discrétisation spatiale à l'ensemble du cycle hydrologique sur Korhogo est en cours, elle s'avère plutôt prometteuse. Auparavant, une première ébauche avait été réalisée avec un modèle global.

A l'occasion de ces études, le processus de l'infiltration et du ressuyage, ainsi que de façon générale, les mou-

vements de l'eau dans la zone non saturée ont été étudiés à l'échelle ponctuelle ou sur de petites surfaces sur les deux premiers bassins, grâce à l'humidimètre à neutrons. On trouvera dans les publications citées plus haut certains détails sur les résultats obtenus. La redoutable synthèse à l'échelle des bassins représentatifs est en cours. Mais là également, on a déjà pu donner, par des procédés simples, les grandes lignes des déplacements de la nappe phréatique de Korhogo, à partir des précipitations. Toujours à Korhogo, on a pu arriver à des conclusions très significatives sur l'influence de la couverture végétale sur les processus d'infiltration.

Les relations entre ruissellement superficiel et l'état des réserves hydriques dans la zone superficielle ont fait l'objet de recherches sur de très petites surfaces, mais ces recherches n'en sont qu'à leur début ; elles seront grandement facilitées par l'emploi prochain d'un simulateur de pluie.

Enfin, une série de recherches sur bassins représentatifs en zone sub-désertique a été conduite à la fois sur le volume de ruissellement des petits cours d'eau étudiés et le remplissage des nappes phréatiques contenues dans les alluvions bordant ces cours d'eau à l'aval.

Ces recherches ont fourni une première série d'indications sur ce problème fort important pour l'élevage dans ces régions.

5.6. ETUDE DU BILAN HYDROLOGIQUE

Elle est effectuée de façon complète sur les deux bassins cités en début du paragraphe précédent. Comme toujours la difficulté la plus importante est l'estimation indépendante de l'évapotranspiration réelle beaucoup plus difficile qu'en région tempérée, car ses relations avec l'évapotranspiration potentielle sont plus complexes et en zone désertique et sahélienne, il n'y a plus de relation du tout. L'évapotranspiration réelle a été abordée par trois voies : l'étude fine des mouvements de l'eau dans le sol à l'échelle ponctuelle (Korhogo, Tafaina, Sakassou), l'étude de l'évaporation et de tous ses facteurs *conditionnels* dans les grandes stations climatologiques de l'ORSTOM (N'Djamena, Bangui, Brazzaville, Lac de Bam), les bassins représentatifs étant pourvu de petites stations climatologiques qui permettent de faire le raccord.

Enfin, sur certains de ces bassins (Tafaina) des parcelles expérimentales ont été mises en place.

5.7. ETUDE DE L'INFLUENCE DE L'HOMME (bassin d'Ambatomainty)

La deuxième phase de l'étude vient à peine de commencer. Aucun résultat n'est encore disponible.

6. CONCLUSIONS

Les recherches fondamentales effectuées pendant la Décennie sur les bassins représentatifs étudiés par l'ORSTOM, en dehors du territoire français, ont fait progresser de façon importante nos connaissances scientifiques dans les régions subdésertiques, sahéliennes et tropicales. Sur certains points, elles ont conduit à des règles de calculs simples pour l'aménagement des ouvrages, mais beaucoup reste à faire notamment pour :

- Faciliter l'extension des résultats obtenus sur le ruissellement à toutes les conditions naturelles que l'on rencontre dans ces régions ;
- Permettre le calcul des données de crues sur des bassins de moyenne superficie ;
- Déterminer les facteurs de l'érosion à l'échelle du bassin versant dans les différentes conditions naturelles ;
- Arriver à une bonne compréhension des mouvements de l'eau dans la zone non saturée ;
- Fournir les éléments pour permettre de prévoir l'alimentation naturelle des nappes dans les sols d'altération ;
- Permettre de chiffrer les conséquences de l'intervention de l'homme sur le cycle hydrologique.