

# NOUVELLES MÉTHODES DE RECHERCHE HYDROLOGIQUE DANS LES RÉGIONS ARIDES

par

J. RODIER,

*Ingénieur en Chef à Electricité de France  
Chef du Service Hydrologique  
de l'Office de la Recherche Scientifique et Technique Outre-Mer  
Coordinateur du Réseau de Correspondants  
de la Commission de Coopération Technique en Afrique  
au Sud du Sahara pour l'Hydrologie*

Dans les régions arides de la zone tropicale, il est assez rare que l'on ait recours à l'écoulement superficiel pour résoudre les différents problèmes d'alimentation en eau. Dans les conditions habituelles, l'évaporation (quatre mètres par an environ) absorberait la majeure partie de l'eau que l'on pourrait mettre en réserve derrière des barrages. Cependant les études de cette forme de l'écoulement restent nécessaires pour les raisons suivantes : dans le cas particulier de gorges très encaissées, des réservoirs du type classique peuvent se concevoir; la création de réserves dans les sables du lit exige la connaissance de quelques données d'hydrologie superficielle; enfin, l'alimentation des nappes ne peut être étudiée de façon quantitative que si les divers processus du cycle hydrologique font l'objet de mesures.

En effet, si on définit les zones arides par des précipitations annuelles inférieures à 200-300 mm, on constate, en Afrique Tropicale, que l'alimentation des nappes ne peut pas se produire, en général, par infiltration directe des précipitations. Il faut qu'il y ait eu auparavant concentration des apports par ruissellement, d'où la nécessité d'étudier ces apports.

Or, cette étude est difficile; l'écoulement se produit sous forme de crues rares et de très faibles durées; la densité de population très faible ne permet pas d'organiser un système d'observations permanentes; les lits sont instables.

L'irrégularité, dans le temps des débits, défie la statistique et, dans l'espace, la dégradation hydrographique rend très difficiles les transpositions dès que les bassins versants dépassent quelques km<sup>2</sup>. Pour ces raisons, les objectifs à atteindre devront être modestes : Quel est l'ordre de grandeur du volume s'écoulant en année moyenne? Pendant quelle durée? Quelles sont ses caractéristiques en année humide de fréquence décennale? Y a-t-il des années sans écoulement? Quel est l'ordre de grandeur des fortes crues? Peut-on avoir une idée de la crue maximum? Et, enfin, dans le cas exceptionnel où l'écoulement est permanent, quel est le minimum annuel?

Il est impossible de répondre à ces questions avec les seules données dont on dispose habituellement : relevés d'un seul pluviomètre peu représentatifs du climat de la région, simples indications plus ou moins incomplètes et toujours qualitatives sur l'écoulement dans certains oueds.

Il est difficile de remédier à cette situation, car la densité de population très faible et l'activité économique peu importante dans ces régions ne justifient pas les frais d'études considérables qui seraient nécessaires.

Au Sud du Sahara, où les crues ne sont susceptibles de se produire que pendant une période de trois mois, de juillet à septembre, une méthode d'études a donné des résultats satisfaisants.

Les principes sont les suivants :

- Les *précipitations* sont observées sur l'ensemble de la région que l'on veut étudier, pendant une courte période : trois ans; les relevés de la station de référence fournissent des données suffisantes pour étudier les variations interannuelles des précipitations.
- *Un ou deux bassins expérimentaux* sont utilisés pour l'estimation des débits de crues provoquées par chaque averse individuelle dans les régions les plus accidentées qui, en fait, sont les seules à alimenter les cours d'eau.
- *Des études extensives sur les crues des grands cours d'eau* fournissent des éléments directs sur leur régime hydrologique, complétés par les résultats des bassins expérimentaux.

En pratique, il est procédé à trois séries d'opérations :

a) Un réseau général de pluviomètres, comprenant surtout des totalisateurs, est installé dès le début des études. Chaque fois que cela est possible, un pluviomètre enregistreur relève les intensités des averses, caractéristique très importante pour la détermination du volume de ruissellement.

b) Sur un bassin expérimental bien représentatif, les précipitations sont observées en même temps que les écoulements qui en résultent. Ce bassin est pourvu, suivant ses dimensions, de six à douze pluviomètres et de deux enregistreurs d'intensité qui font d'ailleurs partie du réseau général. Une station de jaugeage équipée d'un limnigraphe permet d'enregistrer les débits. Il est parfois possible d'aménager le bassin expérimental au voisinage d'un grand cours d'eau sur lequel est alors installée une station de jaugeage où les débits sont facilement suivis de façon continue.

c) L'étude extensive est effectuée par une série de tournées effectuées pendant la saison où peuvent se produire les averses. L'observation du ou des bassins expérimentaux est d'ailleurs limitée à cette période. Sur des itinéraires recoupant les principaux cours d'eau en plusieurs points, on reconnaît les traces des dernières crues, on procède à une série de mesures s'il y a écoulement dans ces rivières et on visite les pluviomètres totalisateurs. L'observation du niveau des mares ou des réservoirs fournit également des indications précieuses.

# A NEW METHOD OF HYDROLOGICAL RESEARCH IN ARID REGIONS

by

J. RODIER,

Chief Engineer, Electricité de France  
Head of the Hydrological Service  
of the Office for Scientific and Technical Research Abroad  
(ORSTOM)  
Coordinator of the Panel of Hydrological Correspondents  
of the Commission for Technical Co-operation  
in Africa South of the Sahara

*In the arid regions of the tropical zone, surface runoff rarely provides an answer to the problems of water supply. Under prevailing conditions, evaporation (about 13 ft per year) would absorb the greater part of the water which could be stored in dams. It is nevertheless necessary to study this form of flow for the following reasons: in the particular case of very deep gorges traditional type reservoirs may be envisaged; knowledge of certain data pertaining to surface hydrology is necessary to the creation of reserves in the sands of river beds; lastly, the ground water recharge cannot be studied from the quantitative aspect unless measurements of the various processes of the water cycle are recorded.*

*If the arid areas are defined as those areas receiving annual rainfall of less than 8-12 inches (200-300 mm), it is found that, in Tropical Africa, the water-table cannot, in general, be supplied by direct infiltration of rainfall. A necessary condition to such supply is previous concentration of surface runoff, whence the need to study this runoff.*

*However, such research presents difficulties: flow takes place in the form of rare floods of short duration; low density of populations hinders the organization of a system of permanent observation; the river beds are constantly changing.*

*The irregularity of flow, in time, defies statistics and, in space, once the watershed exceeds an area of several square kilometers, transposition is difficult because of hydrographic degradation. For these reasons, the objectives to be aimed at must be limited, e.g.: What is the volume of flow in an average year? Throughout what period? What are the characteristics of flow for one wet year of any given frequency? Are there years without flow? What is the approximate volume of flow during heavy spates? Is it possible to obtain an idea of the maximum spate flow? Finally, in the very rare cases of permanent flow, what is the annual minimum?*

*The data normally available is too limited to provide answers to these questions. It consists in: measurements recorded from a single rain-gauge and scarcely representative of the area's climate; more or less incomplete and always qualitative indications of the flow in certain wadis.*

*It is difficult to remedy this situation, for the low density of population and the lack of any considerable economic activity in such areas do not justify the considerable expenditure required to carry out the necessary research.*

*South of the Sahara where floods are only likely to take place during a three-monthly period, from July to September, a particular method of research has given satisfactory results. It is based on the following principles:*

- *During a short period — 3 years — rainfall is observed over the whole study area. Record obtained from the Reference Station provide sufficient data for the study of inter-annual variations in rainfall.*
- *One or two experimental catchments serve for estimating spate flow resulting from each individual storm in the hilliest areas which, in fact, alone supply water courses.*
- *Extensive study of spate flow of the large water courses provides direct information concerning their hydrological systems. This information is complemented by the results from the experimental catchments.*

*In practice, three series of operations are undertaken:*

a) *A general network of rain-gauges, mainly comprising long period storage gauges, is installed from the beginning of the research project. Whenever possible, the intensity of the individual storms should be recorded by a rainfall intensity recorder, intensity being a particularly important factor in volume of surface runoff.*

b) *Rainfall and flow are observed simultaneously on an experimental catchment particularly representative of area. Depending on its area, this catchment is equipped with 6 to 12 rainfall gauges and 2 rainfall intensity recorders which, moreover, are integrated in the general network. Flow is recorded at a river gauging station equipped with a water level recorder. It is sometimes possible to locate the experimental catchment near a large water course. In such cases, a river gauging station is installed on the water course facilitating constant observation of flow.*

c) *Extensive study is carried out by effecting a series of rounds during the season when there is likelihood of storms. Observation of the experimental catchment (or catchments) is also limited to this period. When itineraries cut across the main water courses at several points the marks left by the most recent spates are noted and a series of measurements is taken if the stream is flowing. The storage gauges are visited at the same time. Observation of the level of ponds or reservoirs also provides precious information.*

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

41

Collection de Référence

n° 32751

Des études complémentaires d'évaporation et de transports solides sont effectuées sur le bassin expérimental.

Les études sont menées par deux spécialistes : un ingénieur et un technicien. L'ingénieur se charge de l'étude extensive des cours d'eau qui exige des mesures et surtout des reconstitutions délicates des débits. Il assure en même temps le contrôle du réseau de pluviomètres et dirige l'aménagement du bassin expérimental.

Le technicien effectue les observations et les mesures sur ce bassin expérimental et à la station climatologique qui y est installée.

Les conditions très difficiles de ces zones désertiques marquent les études, de caractères particuliers :

1° La circulation reste difficile dans presque tous les cas; les vols ou sabotages d'appareils sont fréquents, les frais d'études doivent rester peu élevés. En conséquence, les installations sont sommaires et le matériel léger. Les totalisateurs, par exemple, sont constitués par de simples récipients pourvus, à la partie supérieure, d'un anneau réglementaire. Une couche d'huile empêche l'évaporation. Ils sont placés dans des tas de grosses pierres, par l'hydrologue lui-même, à des endroits connus de lui seul... et qu'il est capable de retrouver.

Les stations de jaugeage pour bassins expérimentaux utilisent parfois des déversoirs naturels. On utilise aussi des petits téléphériques très légers. Dans certains cas, les lits des petits cours d'eau ont été stabilisés par des lignes de gabions. Les stations sur cours d'eau importants sont simplement pourvues d'un câble de faible diamètre tant que la largeur de la section n'est pas prohibitive.

Dans tous les cas, l'emploi de maçonnerie ou de béton en quantité notable est à écarter. On abandonne même parfois les types de passerelles de jaugeage en tubes métalliques qui sont employées fréquemment sur les bassins expérimentaux des zones plus humides.

Les jaugeages réguliers de très fortes crues exigeraient des installations très coûteuses. On utilise systématiquement des flotteurs pour l'emploi desquels des méthodes correctes ont été mises au point. La grande difficulté, dans ce cas, est de suivre la variation du profil en travers au fur et à mesure de l'évolution de la crue. Dans toute la mesure du possible, on utilisera des sections stables pour ce genre de mesures.

2° La très faible densité et le caractère nomade de la population ne facilite pas la mise en place du réseau : tout sédentaire sachant lire est pourvu d'un pluviomètre ordinaire. Les enregistreurs isolés sont pourvus d'un gardien si possible. Pour augmenter le nombre des enregistreurs d'intensité, l'ingénieur itinérant emporte avec lui un de ces appareils qui peut fournir des données tout à fait valables si le régime des précipitations est homogène. Cet enregistreur est souvent à lecture directe, auquel cas il est constitué simplement par un pluviomètre percé et une éprouvette. La pluie constituant une des rares distractions et la principale préoccupation de l'hydrologue, on peut être sûr qu'il mettra au point un excellent diagramme.

3° Le seul caractère particulier de l'exploitation du bassin expérimental est le très faible effectif employé sur le bassin. Il se pose, en effet, de redoutables problèmes de ravitaillement.

4° Les tournées extensives posent à la fois un pro-

blème de mesures et de déplacement. Autant que possible, les points où l'itinéraire recoupe les cours d'eau doivent être des sections de contrôle, au lit stable. Des échelles peuvent y être installées en permanence. S'il y a crue au passage de l'hydrologue, il ne peut généralement pas poursuivre sa route, ce qui est sans inconvénient puisqu'il doit alors mesurer le débit jusqu'à ce que la décrue soit assez avancée. Il s'empresse alors de vérifier si les bassins voisins ont également donné lieu à écoulement, et il rejoint rapidement les sections aval du même cours d'eau pour essayer d'y effectuer d'autres mesures, jusqu'aux plaines d'épandage à l'extrémité aval où il vérifie l'ampleur des inondations.

Mais, souvent, il arrive trop tard. En arrivant peu de temps après la crue, il est assez facile, au désert, de reconstituer la ligne d'eau correspondant au maximum. Elle est marquée par de fins délaissés qui ne disparaissent qu'après une quinzaine de jours au moins. L'emploi d'échelle à maximum peut faciliter ce travail, bien qu'aucun type de ces échelles ne soit tout à fait satisfaisant. Une étude topographique du lit permet alors de calculer le débit avec une formule d'écoulement, par exemple, la formule de MANNING. La valeur du coefficient est déterminée par les mesures régulières déjà effectuées sur des cours d'eau du même type.

On a trouvé, par exemple, que pour des lits réguliers de 30 à 300 pieds (1) de large avec des pentes de 1,5 à 5 ‰, une hauteur d'eau de 1 à 2 pieds, le coefficient variait en général entre 0,028 et 0,034. Il peut croître jusqu'à 0,065 si le débit est très faible et le lit encombré de rochers ou d'arbustes. On peut atteindre, au contraire, pour les mêmes pentes 0,02 si la hauteur dépasse 3 pieds et si le lit est très régulier.

L'hydrologue cherche, en même temps, les traces de crues plus anciennes. Mais là encore, ce n'est pas un point de niveau maximum qu'il faut chercher mais une ligne, ce qui évite toute erreur et facilite le calcul du débit.

Bien entendu, l'étude du remplissage des mares, lacs et réservoirs apporte des renseignements précieux.

Chaque fois que c'est possible, on installe une station de mesure permanente ou un simple limnigraphe, ce dernier autant que possible dans une section rocheuse. Il est contrôlé par l'hydrologue itinérant et doit souvent être protégé par un gardien.

On voit que le responsable de l'étude extensive doit avoir des dons d'observations et d'esprit critique et une bonne connaissance des phénomènes de l'écoulement dans ces régions.

5° Les résultats varient beaucoup en fonction des facilités de circulation. S'il est possible d'employer des véhicules tous terrains, ce qui suppose que les itinéraires de tournées ne traversent pas de plaines d'inondations en terrains argileux, l'hydrologue se déplace beaucoup plus rapidement que l'onde de crue. Il peut alors aboutir à une vue d'ensemble assez complète de l'écoulement pendant la saison des pluies. Mais s'il doit recourir au chameau, ses observations de débits sont beaucoup plus fragmentaires.

N.D.L.R. :

(1) Pour lecture exacte en Français des chiffres traduits littéralement de l'Anglais se rapporter aux concordances suivantes :

1 Pied = 30,38 cm,

1 Pouce = 2,34 cm,

1 Mille = 1.609,31 m,

1 Mille carré = 259 hectares.

Complementary studies of evaporation and sediment load are affected on the experimental catchment.

The research work is carried out by specialists: a senior hydrologist and an assistant. The senior hydrologist carries out an extensive study of the water courses. Such study requires nice measurements and still nicer reconstitution of flow. At the same time he checks the rain-gauge network and directs work on the experimental catchment.

The assistant's task consists in making observations and taking measurements on the experimental catchment and at the weather station installed there.

Research in these desert areas takes on a special character because of the very difficult conditions in obtaining them:

1° Transport is almost always a problem, theft or sabotage of instruments is frequent, outlay for research must be kept down to a minimum. Consequently, installations are of a summary nature and equipment is light. For example, the long-period storage gauges consist in simple recipients provided with a standard ring at the top. A layer of oil prevents evaporation. The hydrologist personally sites the rain-gauges in a heat of large stones in places known only himself (and which will be able to again).

Natural weirs can sometimes be used as river gauging stations on experimental catchments. Small, very light cableways are also used. In certain cases, the beds of small water courses are stabilised with gabions. Stations on large water courses are simply equipped with a light cable provided that section width is not too great.

The use of masonry or concrete in any quantity should never be envisaged. Even the foot-bridges composed of iron tubing of the type often used on experimental catchments in wetter regions are ruled out.

Regular gauging of very strong spates would require very costly installations. Thus floats for which correct use methods have been perfected are constantly employed. The great difficulty with this method is to follow the variation of the cross section as the spate develops. As far as possible stable cross sections are to be used for measurements involving this method.

2° The very low density and the nomadic nature of the population is a handicap to the installation of a network: all sedentary inhabitants able to read are provided with an ordinary rain-gauge. The isolated long-period storage gauges are protected by a watchman if possible. In order to increase the number of readings of rainfall intensity recorders the senior hydrologist takes one with him on his round. This instrument provides him with perfectly valid data provided that rainfall conditions are homogeneous. This recorder is often of the direct reading type, consisting in a simple gauge with an aperture and a measuring tube. As rain constitutes one of the rare diversions as well as the main interest of the hydrologist it is certain that he will draw a first-rate graph.

3° The only particular characteristic of research work on experimental catchments lies in the very small number of people engaged on them. This is because of the great difficulty in obtaining supplies.

4° The rounds involving long distance set problems both of measurements and of transport. Whenever possible, the points of the itinerary which cut back on to the water course must be control sections with a stable bed. Limnometric staff can be installed permanently at these points. If the water course is in spate when the hydrologist arrives there he is generally prevented from continuing on his way but is no handicap because his task then is to measure flow until the spate reaches a fairly advanced stage of subsidence. He next hurries to see if there has been any flow in the adjoining catchments and, losing no time, picks up the same water course further downstream in order to try and take further measurements there, continuing just as far as the dissipating area at the downstream limit where he checks the degree of flooding. Often, he will arrive too late. Nevertheless, in the desert, by arriving a short time after the flood, it is marked by small debris which do not disappear until at least a fortnight afterwards. The use of a maximum staff may facilitate this task, although none of these staffs give complete satisfaction. Flow can then be calculated from a topographical study of the bed and a flow formula, e.g. MANNING'S formula. The value of the coefficient is determined from regular measurements already taken on water courses of the same type.

For example, it has been found that, in the case of even beds of 30 to 300 ft width, with slopes ranging from 1,5 to ‰ and a depth of water of 1 to 2 ft, the coefficient generally varies between 0,028 and 0,034 it may be as high as 0,065 if flow is very weak and the bed cluttered up with rocks and bushes. On the other hand, for the same slopes, the coefficient may drop to 0,02 if depth exceeds 3 ft and if the bed is very even. The itinerant hydrologist seeks, meanwhile, for the marks of old spates. There again it is not a point but a line of maximum level which is to be sought. This obviates all error and facilitates calculation of flow.

Naturally, observation of the filling up of ponds, lakes and reservoirs provides precious information.

Whenever possible a permanent measuring station or a simple recorder is installed, the latter being placed in a stony section as far as possible. It is checked by the itinerant hydrologist and often has to be protected by a watchman.

It is evident that the person responsible for the extensive study must possess the gift of observation and a critical mind as well as a good knowledge of the phenomena of the flow in these regions.

5° Results obtained vary greatly depending on transport facilities. If vehicles of the « jeep » type can be used, and this presupposes that itineraries do not cross flood plains on clayey soils, the hydrologist can travel much faster than spate flow. Under these circumstances he can form a good overall idea of flow during the rainy season. But if he is obliged to use camel transport his observation of flow is much more fragmentary.

6° Par contre, le climat au Sud du Sahara présente un élément favorable : les averses pouvant donner lieu à écoulement se produisent uniquement pendant la période juillet, août et septembre, de sorte que la présence sur le terrain de l'ingénieur hydrologue est limitée à 3 mois ou 3 mois et demi et celle de l'agent technique à 4 ou 5 mois. Le reste de l'année, ils sont affectés à d'autres études, ce qui réduit considérablement les dépenses.

Les premières études de ce genre ont été entreprises en 1957 dans le *Massif de l'Ennedi*, au Nord-Est du Tchad. C'était un essai sur lequel nous ne fondions pas de très grands espoirs, la hauteur de précipitations annuelles était très faible, de l'ordre de 4 pouces (1). Malgré une année déficitaire, nous avons été surpris par les résultats obtenus. Il a été possible de tracer une carte sommaire des précipitations qui a mis en évidence la faible valeur du gradient pluviométrique avec l'altitude dans ces régions. Plusieurs mesures directes de débits ont pu être effectuées, de nombreuses estimations de débits maxima ont été faites *a posteriori*. Le volume annuel, débité par quelques petits cours d'eau, a pu être sommairement évalué. Le bassin expérimental a mis en évidence un bon rendement en ruissellement, même pour des averses de hauteur inférieure à un demi-pouce ainsi que la violence des crues sur les petits bassins. On a obtenu ainsi les premières valeurs d'évaporation sur bac pour ces régions. Il a été décidé de reprendre ces études les années suivantes.

En 1958, une seconde campagne a été effectuée, toujours dans le Massif de l'Ennedi, avec un autre bassin expérimental. Les fortes précipitations enregistrées, cette année, ont permis d'évaluer les débits de crues de fréquences assez rares : périodes de retour de 5 à 20 ans pour un certain nombre de cours d'eau et période de retour de 10 ans sur le bassin expérimental. Les chiffres suivants ont été obtenus :

- Pour des bassins de 3 à 4 milles carrés :  
200 à 800 pieds cubes par seconde par mille carré (2).
- Pour des bassins de 50 à 70 milles carrés :  
70 à 160 pieds cubes par seconde par mille carré.
- Pour des bassins de 150 à 230 milles carrés :  
35 à 90 pieds cubes par seconde par mille carré.
- Pour des bassins de 380 à 600 milles carrés :  
2,3 à 10 pieds cubes par seconde par mille carré.

En 1959, une troisième campagne a pu être entreprise dans le Massif de l'Ennedi. Elle comportait notamment l'étude complète d'un cours d'eau de moyenne impor-

(1) Dans ces régions désertiques, la hauteur de précipitations moyennes doit être prise avec un sens très restrictif car les valeurs annuelles sont très irrégulières.

(2) Suivant les bassins.

tance. Elle a bien mis en évidence l'effet de la dégradation hydrographique sur les débits de crue, qui n'est plus que de 0,50 pied cube par seconde par mille carré pour un bassin de 3.000 milles carrés.

En même temps, le Massif de l'Aïr, au Nord de la République du Niger, faisait l'objet d'études du même genre. Dans ce massif qui reçoit en moyenne 5 à 6 pouces par an, la possibilité d'utiliser des véhicules (non sans peine) et d'installer le bassin expérimental près d'un grand cours d'eau a conduit à des résultats beaucoup plus complets. Il a été possible d'évaluer le volume de ruissellement total fourni par le massif, qui atteint en année assez humide  $5,3 \times 10^9$  pieds cubes pour 10.500 milles carrés.

Les chiffres de crues de fréquences assez rares (5 à 15 ans) ont pu être ainsi évalués dans ce massif de l'Aïr :

- Pour un bassin de 1 mille carré :  
1.500 pieds cubes par seconde par mille carré.
- Pour un bassin de 40 à 60 mille carrés :  
90 à 450 pieds cubes par seconde par mille carré, suivant le sol et la pente.
- Pour un bassin de 450 milles carrés :  
40 pieds cubes par seconde par mille carré (dégradation peu marquée).

Ce massif est probablement celui qui ruisselle le plus au Sud du Sahara. Transports solides, évaporation, écoulement d'inféro-flux ont pu être étudiés. On a vérifié que là aussi le gradient pluviométrique était faible.

En 1959 également, une campagne analogue a été effectuée dans les *Massifs du Brakna et du Tagant*, dans le Sud de la Mauritanie, avec deux bassins expérimentaux, dont l'un était déjà suivi depuis deux ans. On a pu calculer ainsi les crues de fréquences assez rares et les volumes annuels pour différentes fréquences : données essentielles pour l'aménagement des réservoirs qui étaient prévus dans cette région.

\*\*

Ces études ne sauraient fournir, pour les valeurs des débits mesurés ou estimés, la même précision que pour les régions humides. L'inconvénient n'est pas très grave, car l'extrême irrégularité interannuelle ne permettrait pas de tirer de chiffres précis tout le profit qu'on devrait en attendre. En outre, elles ne sont guère à envisager pour des hauteurs de précipitations annuelles inférieures à 2 ou 3 pouces car, dans ces cas, une année sur deux au moins, les résultats de la campagne seraient nuls. Enfin, elles mettent les exécutants à dure épreuve : l'été est la période la plus pénible de l'année et la nécessité de circuler coûte que coûte impose de véritables exploits sportifs. Mais, actuellement, ces méthodes semblent les seules efficaces pour obtenir des données quantitatives sur le ruissellement dans ces régions.

6° On the other hand, climate South of the Sahara presents a favorable element: storms from which flow is likely to result, take place only during the period July-August-September, thus the time spent on the terrain by the hydrologist is limited to 3 or 3-½ months and that spent by the assistant to 4 or 5 months. They are assigned to other research for the rest of the year and this considerably reduces costs.

The first research of this type was undertaken in 1957 in the Ennedi Massif, North-East of Tcbad. No great hopes were founded on this trial in an area of very low annual rainfall (about 4 inches) (1). In spite of a year of lower than average rainfall surprising results were obtained. It was possible to draw up an approximate rainfall map which brought out the low value of the rainfall gradient as a function of altitude.

Several direct measurements of flow were taken and numerous estimations of maximum flow were made at posteriori. A rough estimate was made of the annual volume of flow from several small water courses. Study of the experimental catchment showed the high percentage of runoff coming from the storms of even less than ½ inch as well as the violence of spates on small catchments. The first values of evaporation using evapometric pans were also obtained for these areas. It was decided to continue research the years following.

In 1958, again in Ennedi Massif, a second programme, of research was implemented. Heavy rainfall that year made possible the evaluation of spate flow of unusual frequency: return period of 5 to 20 years for a certain number of water courses and return period of 10 years for the experimental catchment. The following figures were obtained:

- For catchments of 3 to 4 square miles:  
200 to 800 cubic feet per second per square mile (2).
- For catchments to 50 to 70 square miles:  
70 to 160-cubic feet per second per square mile.
- For catchments of 150 to 230 square miles:  
35 to 90 cubic feet per second per square mile.
- For catchments of 380 to 600 square miles:  
2.3 to 10 cubic feet per second per square mile.

In 1959, a third research programme was undertaken in the Ennedi Massif. It comprised, in particular, the thorough study of a medium-sized water course. The effect of hydrographic degradation on spate flow brought

(1) In these desert areas, the expression "mean annual rainfall" has a very restricted sense as annual totals are extremely variable.

(2) Depending on the catchment.

out clearly in this study and shown to be not more than 0,05 cubic feet per second per square mile for a catchment of 3,000 square miles.

Research of the same nature was carried out simultaneously in the Air Massif in the North of Niger Republic. This massif receives an annual rainfall of 5 to 6 in. and the fact that vehicles could be used (though not without difficulty) and that the experimental catchment was located near a large water course made it possible to obtain much more complete results. It was possible to estimate the total volume of runoff coming from the massif. In a fairly wet year total runoff is  $5.3 \times 10^9$  cubic feet for an area of 10,500 square miles.

Thus it was possible to estimate the figures for spates of fairly rare frequency (5 to 15 years) in the Air Massif:

- For a catchment of 1 square mile:  
1,500 cubic feet per second per square mile.
- For a catchment of 40 to 60 square miles:  
90 to 450 cubic feet per second per square mile depending on soil and slope.
- For a catchment of 450 square miles:  
40 cubic feet per second per square mile (little hydrographic degradation).

Runoff from this massif is probably greater than from any other South of the Sahara. Solid load, evaporation and underflow were studied. Here again it was found that the pluviometric gradient is low.

In the same year (1959), a similar research programme was carried out in Brakna and Tagant Massifs, in the South of Mauritania, on two experimental catchments, one of which had been under observation for two previous years. Once again a spate flow of fairly rare frequency and the annual volume of flow for various frequencies were calculated providing fundamental data for the installation of reservoirs projected for the area.

Research of this nature cannot provide measurements or estimates of flow value of the same precision as in the humid regions. This is not a particularly grave handicap as the great inter-annual irregularity of rainfall would make it impossible to get as much out of the figures as might be expected. Furthermore, such research is scarcely to be envisaged in the case of total annual rainfalls of less than 2 to 3 inches for in such cases, at least one year out of two, the results obtained would be worthless.

A final point is that such research involves great hardships for those who undertake it: Summer is the most trying season of the year and the necessity of keeping on the move at all costs imposes veritable feats of endurance. However, up to the present, this method seems to be the only effective one for obtaining quantitative data on runoff in these areas.

# TERRES ET EAUX

Revue Internationale  
de l'Hydraulique et  
de l'Équipement rural

14<sup>e</sup>  
ANNÉE

# n° 38

1<sup>er</sup> et 2<sup>e</sup> TRIMESTRES 1962

FONDATEUR :

**GEORGES DROUHIN**, Ingénieur-Conseil; Président  
de l'Association Française pour l'Étude des  
Irrigations et du Drainage, Membre du Collège  
d'Experts de l'UNESCO pour la zone aride.

CONSEILLER SCIENTIFIQUE :

**MARGUERITE RICHARD**, Docteur ès sciences

DIRECTEUR RESPONSABLE : **ÉLISE NOUËL**

ÉDITIONS "TERRES & EAUX"

117, RUE DES POISSONNIERS, PARIS (18<sup>e</sup>)  
TÉLÉPHONE : MON 56-30

Prix du numéro... 11 NF

ABONNEMENTS (4 NUMÉROS)

France... 38 NF

Etranger... 50 NF

RÉGISSEUR PUBLICITAIRE : **HÉRAL PUBLICITÉ**  
23, rue Tronchet, PARIS (8<sup>e</sup>) - Tél. : ANJ. 15-26

C.C.P. PARIS 1109-605

## Sommaire

### SPECIAL AFRIQUE NOIRE

~~LA POLITIQUE DE L'EAU EN AFRIQUE NOIRE..... 2~~  
~~par **Pierre Merlin**, Ingénieur en chef des Ponts-et-  
Chaussées.~~

~~EN MANIÈRE DE BREF HISTORIQUE..... 6~~  
~~par **Jean Archambault**.~~

~~LA VALLÉE DU SÉNÉGAL..... 8~~  
~~par **M. I. Chéret**, Ingénieur des Ponts-et-Chaussées.~~

~~NOUVELLES MÉTHODES DE RECHERCHE HYDROLO-  
GIQUE DANS LES RÉGIONS ARIDES..... 40~~  
~~par **J. Rodier**, Ingénieur en chef à Electricité de France.~~

~~ÉTUDES D'HYDROLOGIE SUPERFICIELLE EN RÉGIONS  
SUBDÉSERTIQUES ET DÉSERTIQUES D'AFRIQUE  
NOIRE..... 46~~

~~par la Section Hydrologique de l'Office de la Recherche  
et Technique d'Outre-Mer.~~

~~"TERRES ET EAUX" à travers le monde..... 74~~

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

20 DEC. 1968

O. R. S. T. O. M. Fonds Documentaire

N° : 32751 - 32752

Cote : B

La reproduction ou traduction des articles publiés dans TERRES ET EAUX n'est  
autorisée qu'avec l'accord de la Direction de la Revue.