

Cahiers O. R. S. T. O. M.
série HYDROLOGIE

Vol. XI, n° 2 - 1974

DÉCENNIE HYDROLOGIQUE INTERNATIONALE
RÉSUMÉS DES RÉSULTATS DE RECHERCHES
OBTENUS PAR LA FRANCE
SUR BASSINS REPRÉSENTATIFS

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

PARIS

1974

« La loi du 11 mars 1957 n'autorisant, aux termes des alinéas 2 et 3 de l'article 41, d'une part, que les « copies ou reproductions strictement réservées à l'usage privé du copiste et non destinées à une utilisation collective » et, d'autre part, que les analyses et les courtes citations dans un but d'exemple et d'illustration, « toute représentation ou reproduction intégrale, ou partielle, faite sans le consentement de l'auteur ou de ses ayants droit ou ayants cause, est illicite » (alinéa 1^{er} de l'article 40).
« Cette représentation ou reproduction, par quelque procédé que ce soit, constituerait donc une contrefaçon sanctionnée par les articles 425 et suivants du Code Pénal. »

Sommaire

Présentation de l'activité française en matière de bassins représentatifs au cours de la décennie hydrologique internationale, par P. DUBREUIL.

Résumés des résultats de recherches :

- le bassin représentatif de la haute vallée de la Doller,
- les bassins versants d'investigation du Blavet, par A. RAMPON,
- le bassin versant d'investigation de l'Orgeval, par G. OBERLIN,
- le bassin d'investigation du Real Collobrier,
- le bassin représentatif de Nantua-Sylans, par A. ORAND,
- le bassin versant des Blaves, par E. SIWERTZ,
- le bassin versant de l'Eyre (sous bassin du Bouron),
- le bassin de Miélan, par P. MUTIN et A. CARRIÈRE,
- le bassin représentatif de la Bruche,
- le bassin représentatif de Saugras,
- le bassin versant de l'Alrance, par H. DOSSEUR et A. GUILBOT,
- le bassin représentatif de la Diège,
- les bassins d'investigation de la Vézère : sous bassins de Coly et de l'Elle,
- le bassin représentatif du Gardon d'Anduze,
- le bassin de l'Hallue, par P. de la QUÉRIÈRE,
- le bassin représentatif de la crique Virgile (Guyane), par P. DUBREUIL,
- le bassin représentatif de la crique Cacao (Guyane), par G. VUILLAUME,
- le bassin représentatif de la crique Grégoire (Guyane), par G. VUILLAUME et M. HOEPFFNER,
- le bassin représentatif de la Dumbea (Nouvelle-Calédonie), par G. VUILLAUME,
- les bassins représentatifs de l'ORSTOM étudiés hors du territoire français, par J. RODIER.

ABSTRACT

This special issue of the « Cahiers ORSTOM, Série Hydrologie » is dedicated to the representative basins in France and more precisely to the research results collected during the International Hydrological Decade IHD.

In the first paper, P. DUBREUIL — member of the UNESCO working group on representative and experimental basins — gives a general appraisal of the french activities in this field.

An historical summary of the scientific development of R and E basins investigations shows that in France were published successively :

- a general inventory of the basins in operation (1966),
- a catalogue of basic data of the same basins (1969).

During the same period, ORSTOM — a french governmental agency for scientific research out of France — did similar publication (1972) with basic data of about one hundred basins widely distributed into tropical countries.

It is important to point out that the number of R and E basins in operation is about 20 in the territory of France.

Following the way indicated by IHD, France has consequently decided to publish a national summary of research results.

The first paper, already mentioned, stresses the principal aims of the investigations : physiographic influence on hydrological cycle, water movement in the unsaturated zone, use of neutronic probe and artificial tracers, modelling... etc.

Then are published the summaries of research results for each one of the french basins. These papers have been established by the different scientists in charge of these basins. Although they followed a general scheme, they orientated their paper in order to show the originality of their investigation.

Consequently this special issue must be considered as a summary and not as a synthesis of the french researchs in R and E basins.

At last, is presented the activity of ORSTOM in the same field because it is about twice more important that the french one (limited to the territory of France) and because it covers a lot of climates from arid to equatorial ones.

In conclusion, it is obvious that research on R and E basins has already furnished good results to french development and to scientific knowledge. But it is also obvious that this research has to be carried on.

The future objectives in France principally are water and pollution monitoring, flood forecasting and experimental basins devoted to agricultural effects on hydrological cycle such as diffusion of chemical fertilizers and land regrouping.

ORSTOM is also intensifying its research on R and E basins with some special topics such as :

- *flood genesis from tropical cyclones,*
- *influence of soil permeability in humid forest,*
- *erosion and runoff in the mediterranean countries,*
- *use of rain simulating techniques,*
- *experimental basins dedicated to deforestation.*

RESUMEN

Este número especial de los « Cahiers ORSTOM, Série Hydrologie » está dedicado a las cuencas representativas en Francia, y mas precisamente a los resultados de pesquisa conseguidos durante el Decenio Hidrológico Internacional DHI.

En el primero artículo, P. DUBREUIL, miembro del grupo de trabajo de la UNESCO sobre las cuencas representativas y experimentales, da una vista general de las actividades francesas en este campo.

Un resumen historico del desarrollo científico de las investigaciones en cuencas R y E enseña que en Francia fueran publicados sucesivamente :

- *Un inventario general de las cuencas en operación (1966),*
- *Un catálogo de los datos básicos para las mismas cuencas (1969).*

Durante el mismo periodo, ORSTOM — una agencia del gobierno para las investigaciones científicas fuera de Francia — realizó un catálogo conteniendo los datos básicos de aproximadamente 100 cuencas repartidas en las zonas tropicales.

Vale la pena precisar que el numero de cuencas R y E operadas en Francia esta del orden de 20.

Siguiendo las orientaciones del Decenio, Francia tomó la decisión de publicar un resumen nacional de los resultados de pesquisas. El primer artículo, ya citado, hace resaltar los principales objetivos de estas pesquisas : influencia de las características fisiográficas en el ciclo hidrológico, movimiento del agua en la zona no saturada del suelo, uso de técnicas neutrónicas y de trazadores, uso de modelos... etc.

Después, estan publicados los resúmenes de los resultados de pesquisas para cada cuenca. Estos artículos fueran puestos por escrito por los hidrólogos encargados de los estudios en estas cuencas.

Ellos han seguido un plano general pero tomando alguna libertad para oferecer una mejora vista de las pesquisas originales desarrolladas en cada cuenca.

En consecuencia, no se debe considerar este número especial como una síntesis pero sólo como un conjunto de resúmenes de pesquisas en el campo de las cuencas R y E.

Por fin, esta presentado la actividad de ORSTOM en este campo porque ésta representa por lo menos duas veces lo hecho en Francia (dentro del territorio) y porque ésta toca varios climas desde el árido hasta el ecuatorial.

Para concluir, es evidente que esta pesquisa en las cuencas R y E ya suministró provechosos resultados al servicio del desarrollo economico frances y de los conocimientos científicos. Pero, es tambien claro que esta pesquisa tiene que ser proseguida.

Los futuros objetivos en Francia, estan principalmente la operación fiscalizada del agua y de su contaminación, la previsión de las crecidas y las cuencas experimentales dedicadas a los efectos agrícolas en el ciclo hidrológico — especialmente la difusión de los abonos y reconstitución de terrenos desmembrados.

Por su parte, ORSTOM tiene el animo de intensificar la pesquisa en las cuencas R y E en las principales direcciones que sigen :

- *formación de las crecidas proveniente de los ciclones tropicales,*
- *influencia de la permeabilidad de los suelos en las selvas húmedas,*
- *erosión y escurrimiento de superficie en la zona mediterranea,*
- *uso de las técnicas de lluvia simulada,*
- *cuencas experimentales dedicadas al desmonte.*

Présentation de l'activité française en matière de bassins représentatifs au cours de la décennie hydrologique internationale

P. DUBREUIL

Directeur de recherche à l'ORSTOM,
Service Hydrologique.
Membre du groupe de travail sur les bassins représentatifs
et expérimentaux de l'UNESCO (DHI)

En avril 1963, l'UNESCO établissait un document rassemblant des « Propositions en faveur d'une Décennie Hydrologique Internationale » à l'élaboration duquel nous avons pris part en qualité de consultant. Dans les principes généraux du programme international proposé, il était envisagé des recherches sur bassins-types afin :

- a) D'appréhender l'influence de l'environnement physique sur l'écoulement,
- b) D'accroître les connaissances sur les ressources en eau de régions mal connues.

La réunion préparatoire d'experts dans le domaine de l'hydrologie scientifique, tenue à l'UNESCO du 20 au 29 mai 1963, s'inspirant de ce document, recommandait la mise en œuvre de la Décennie Hydrologique Internationale et incluait les bassins-types dans le programme de celle-ci.

Ces bassins-types étaient alors classés en plusieurs groupes :

- Les bassins représentatifs de régions naturelles caractéristiques dont l'hydrologie devait être mieux connue,
- Les bassins expérimentaux destinés à mesurer l'incidence sur le régime hydrologique de la modification d'éléments de l'environnement physique (reboisement, pâturage...),
- Les bassins vigies et les bassins repères chargés d'être les témoins des effets sur le régime hydrologique de l'évolution normale d'une région pour les uns et de l'absence d'intervention humaine pour les autres.

Les dénominations choisies étaient adoptées et sont devenues classiques depuis.

A cette époque, la France commençait tout juste sur son territoire les études dans ce domaine, puisque quatre bassins étaient mis en service en 1962 et 1963 et qu'auparavant, seul existait le bassin d'Alrance depuis 1950 (gestion Electricité de France).

Durant la même période 1950-1963, l'Office de la Recherche Scientifique et Technique Outre-Mer — ORSTOM — avait mis en place et exploité, sur budget français, environ 35 ensembles de bassins pour la plupart représentatifs : 5 d'entre eux étaient situés dans la France d'Outre-Mer, les autres dans 10 pays de l'Afrique de l'Ouest intertropicale et à Madagascar.

La Décennie Hydrologique Internationale, à partir de 1964, a donné une impulsion certaine aux études sur ces bassins types ou d'investigation. La France n'a pas été la dernière à s'inspirer de cette impulsion.

En 1966, la Délégation Générale à la Recherche Scientifique et Technique — DGRST — et la Délégation à l'Aménagement du Territoire et à l'Action Régionale — DATAR — faisaient réaliser un inventaire de ces bassins en France, par le Bureau d'Etudes Permanent — BEP — créé dans le cadre de l'Action concertée Eau de la DGRST, pour coordonner, conseiller et assister les études entreprises en ce domaine. Ainsi voyait le jour un « Rapport d'enquête sur les bassins versants représentatifs et expérimentaux en France » (M. MERMILLOD, auteur), qui dénombrait 18 bassins sur le territoire métropolitain.

Quelques années plus tard, le BEP sous la direction de M. ROCNON, publiait les « Données de base des bassins versants d'investigation en France » (DGRST - DATAR, avril-septembre 1969) qui concernaient cette fois 21 ensembles de bassins dont 5 dans les départements et territoires d'Outre-Mer.

Le tableau sur l'historique des bassins français montre bien qu'entre l'Enquête de 1966 et les Données de base de 1969, un seul nouveau bassin avait été mis en place, c'est-à-dire que le « régime de croisière » de la recherche scientifique française en ce domaine, avait très vite été atteint dès le début de la Décennie.

Le recueil des Données de base négligeait les 3 premiers bassins de l'Enquête de 1966, lesquels à vrai dire, étaient plutôt des stations ou terrains d'observations ponctuelles des problèmes de la neige et de la glace. Ce recueil par contre, accueillait les bassins exploités par l'ORSTOM en France d'Outre-Mer.

Il est bon ici et pour mémoire, de dire que durant la Décennie, l'ORSTOM a en outre exploité, sur budget français, 12 autres bassins dans 7 pays d'Afrique intertropicale et à Madagascar. On peut donc dire aujourd'hui que l'ORSTOM a exploité 51 ensembles de bassins sur crédits français et un nombre presque identique sur crédits

étrangers durant la période 1951-1969 (1), le total intéressant outre la France d'Outre-Mer, les territoires de 16 Etats des régions intertropicales.

Ces deux recueils des données de base collectées par la France sur bassins d'investigation, s'inspiraient des recommandations de l'UNESCO pour la promotion de la Décennie Hydrologique Internationale, tout particulièrement à travers les activités du Groupe de Travail sur les bassins représentatifs et expérimentaux.

À côté de cette tâche de recensement des bassins et d'inventaire des données de base, ce Groupe de Travail élaborait un « Guide international des pratiques en matières de recherches sur les bassins représentatifs et expérimentaux » publié sous la direction de C. TOEBES et V. OURYVAEV par l'UNESCO en 1970 (380 p.).

À ce Guide ont collaboré plusieurs Français :

— J. BERNIER, d'Electricité de France,

— F. FOURNIER, de l'ORSTOM,

— J. JACQUET, d'Electricité de France, représentant français au Groupe de Travail (auquel nous avons succédé en 1973),

— M. ROCHE, de l'ORSTOM,

— J. RODIER, de l'ORSTOM, également membre du Groupe de Travail en qualité de représentant de l'OMM.

Le même Groupe de Travail a tenu sa dernière réunion en juin 1973, à Coblenz (RFA).

Il a, à cette occasion, examiné les modalités de publication des compléments au Guide et de mise en chantier de la deuxième édition révisée de ce même Guide.

Il a également adopté un projet de macroclassification internationale des bassins afin d'assurer leur représentativité régionale sans ambiguïté, sur le plan physico-climatique aussi bien qu'hydrologique. Il a mis sur pied un système d'échange de données en matière de bassins représentatifs afin de permettre la comparaison des divers modèles déterministes opérationnels en ce domaine. Dans ce système, la France a accepté de faire figurer les données de 2 de ses bassins, ceux de l'Orgeval et de la Crique Grégoire (Guyane).

HISTORIQUE DES BASSINS FRANÇAIS

| Nom de bassin | Enquête 1966 | Données de base 1969 | Résultats de recherches 1974 |
|----------------------------------|--------------|----------------------|------------------------------|
| Station du Col de Porte | + | | |
| Bassin glaciaire de Chamonix | + | | |
| Bassin glaciaire de Saint-Sorlin | + | | |
| La saignerie à Alrance | + | + | + |
| Santoire et Tarentaine | + | + | |
| Diège | + | + | + |
| Miélan { Ossen | + | + | + |
| { Gimone | | + | |
| { Auvignon | | + | |
| Orgeval | + | + | + |
| (Gapeau)-Real Collobrier | + | + | + |
| Doller | + | + | + |
| Blavet | + | + | + |
| Bruche | + | + | + |
| Vézère { Elle | + | + | + |
| { Coly | | | |
| Hallue | + | + | + |
| Eyre | + | + | + |
| (Evian-Thonon) Blaves | + | + | + |
| Nantua-Sylans | + | + | + |
| Saugras | + | + | + |
| Gardon d'Anduze | | + | + |
| Cr. Cacao | | + | + |
| Cr. Virgile | | + | + |
| Cr. Grégoire | | + | + |
| Duplessis | | + | + |
| Dumbea | | + | + |

N.B. — Les bassins d'Outre-Mer n'ont pas été inventoriés dans l'enquête de 1966.

(1) P. DUBREUIL, « Recueil des données de base des bassins représentatifs et expérimentaux. Années 1951-1969 ». ORSTOM 1972. 916 p.

Enfin, le dit Groupe de Travail a « souligné la grande importance qu'il attache à l'établissement de résumés nationaux des résultats de recherches » en suggérant que soient pris comme exemples, ceux déjà publiés par les Etats-Unis, la Nouvelle-Zélande et l'URSS.

C'est donc tout naturellement en nous inspirant des recommandations de cette réunion de Coblenz que nous avons entrepris de réunir en une seule publication, les résumés des résultats de recherches obtenus par les Français, sur des bassins versants d'investigation.

Notre rôle s'est borné à dresser un plan-type de résumé à partir des exemples étrangers et à rédiger un premier résumé à titre de modèle, celui de la Crique Virgile. Ces deux documents ont été adressés à tous les responsables des recherches menées sur les bassins figurant dans l'ouvrage « Données de base... » du BEP, 1969.

Il est en effet évident que la rédaction de tels résumés de recherches ne pouvait être faite que par les responsables eux-mêmes.

En conséquence, et contrairement aux ouvrages d'enquête et de données de base précédents qui étaient des synthèses, la présente publication n'est que le collationnement ou la juxtaposition des 19 résumés de résultats de recherches qu'ont bien voulu rédiger les responsables de 19 bassins (sur 21 avec données de base 1969). Pour que cette publication soit complète et reflète bien toute l'œuvre des scientifiques français de ces récentes années, il nous a paru nécessaire de faire suivre les 19 résumés précédents d'un article de synthèse sur les résultats de recherches obtenus par l'ORSTOM dans ses bassins situés hors de France d'outre-mer.

Les lecteurs voudront bien ne pas s'étonner et nous excuser de la relative absence d'homogénéité de cette publication et du léger déséquilibre entre résumés dûs aussi bien à la concision de certains auteurs qu'à la prolixité — toute relative — d'autres auteurs.

Nous sommes malgré tout persuadés que le document qui est maintenant présenté constitue un bon tableau national des résultats de recherches obtenus par les Français en matière de bassins représentatifs, au moment où s'achève la Décennie Hydrologique Internationale.

Ainsi un bilan substantiel des résultats de recherches peut-il être dressé, dont nous tentons de faire ci-dessous une évocation pas nécessairement exhaustive...

Le comportement hydrologique détaillé, c'est-à-dire à l'échelle de tous les éléments du bilan hydrique, de petits bassins versants est maintenant bien connu pour divers milieux répartis dans toute la France. L'influence du milieu sur le comportement hydrologique a été particulièrement analysé (massif Armoricaire, molasses du piedmont pyrénéen, haut bassin granitique du Tarn, forêt guyanaise, etc.).

A côté de la formation de l'écoulement superficiel, un effort certain a été fait en direction de la recherche du comportement du sol — zone non saturée — dans le mécanisme de l'alimentation des nappes (Orgeval, Hallue, Karst sous-cévenol...).

Les techniques modernes du contrôle de l'humidité des sols par sonde neutronique (bassin de Miélan) et du traçage artificiel (bassin des Blaves, d'Orgeval, de l'Eyre) ont été utilisées avec succès ce qui implique la mise au point de méthodologies opérationnelles sur le terrain et l'obtention de résultats significatifs. Il en a été de même de l'application des modèles à la compréhension des phénomènes aussi bien à l'échelle globale du bassin (modèles déterministes sur la Diège, le Réal Collobrier, l'Orgeval, le Gardon d'Anduze) qu'à celui de l'alimentation de la nappe (modèle bidimensionnel d'écoulement et modèle de convolution pluie débit pour la nappe de craie de Picardie).

En matière de bassins versants d'investigation, l'activité scientifique française ne devait pas s'arrêter là. Comme on peut le constater à la lecture des principaux résumés publiés, beaucoup de bassins français ont moins de dix ans et les travaux de recherches entrepris ne sont pas tous terminés.

Dans d'autres cas, les premiers résultats obtenus ont permis d'orienter les recherches vers de nouveaux objectifs.

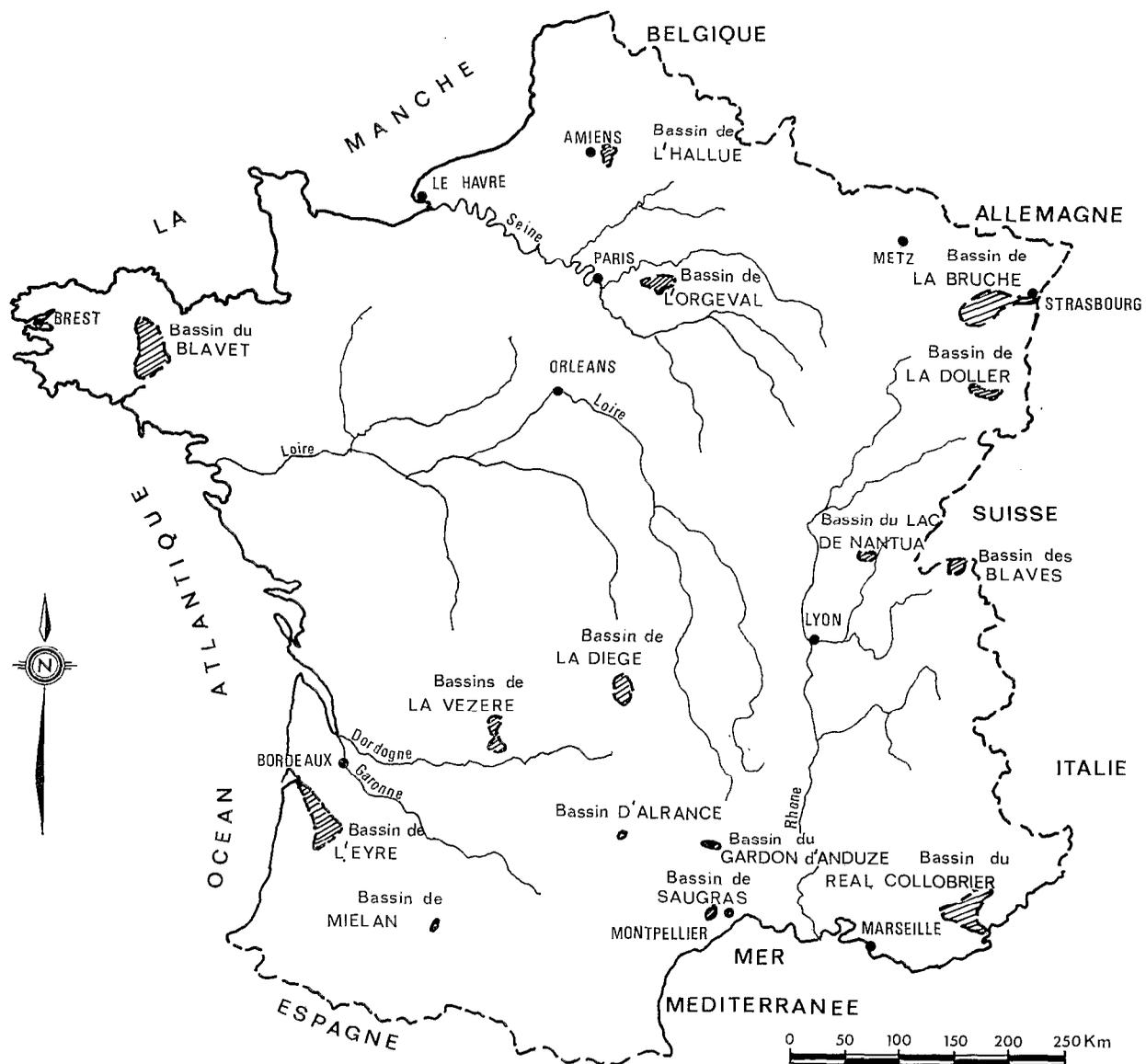
Une tendance à l'application pratique des résultats de recherche déjà visible, va se confirmer avec divers objectifs, tels que :

- Contrôle de la gestion d'aquifère (Hallue),
- Contrôle de la pollution des eaux par les rejets agricoles (Orgeval),
- Introduction à la prévision des crues (Gardon d'Anduze).

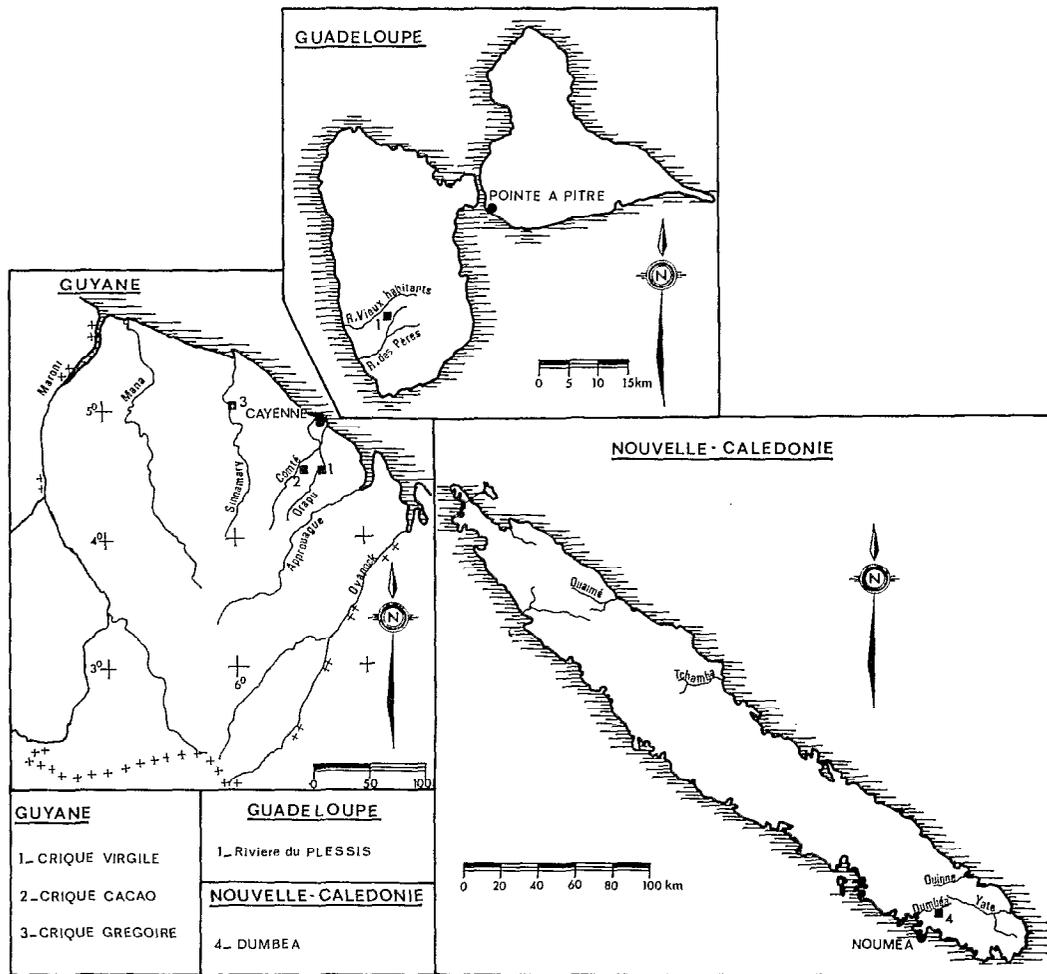
On peut noter également qu'à côté de l'étude de l'influence du drainage artificiel des terrains cultivés sur l'écoulement (Orgeval), se met en place un projet d'étude de l'influence du remembrement dans le bocage breton. C'est l'aspect expérimental des bassins types jusqu'ici un peu négligé en France.

Outre-Mer enfin, l'ORSTOM poursuit l'exploitation de 15 bassins. A leur sujet, il faut noter les principales orientations suivantes :

- La continuation des recherches sur la formation des crues en pays de cyclones (Antilles, Calédonie),
- La recherche de l'influence de la perméabilité des sols sous forêt équatoriale sur l'écoulement et des causes physico-génétiques des variations de cette perméabilité selon les sols,
- Le début de recherches sur le comportement hydrologique du milieu méditerranéen (Tunisie),
- L'intensification des études de l'érosion et du transport solide liées à celles de l'écoulement en régime de pluie naturelle ou simulée sur le terrain,
- La recherche sur bassin expérimental de l'influence de la mise en culture des prairies sur le bilan hydrique (savane d'altitude malgache).



Plan de situation des bassins versants représentatifs en France



Guadeloupe - Guyane - Nouvelle-Calédonie
 Situation des bassins représentatifs et expérimentaux

Résumé des résultats de recherches sur le bassin représentatif de la haute vallée de la Doller (département du Haut-Rhin)

1. ORGANISME GESTIONNAIRE

Ministère de l'Agriculture :

- Avant 1972 : Direction départementale de l'Agriculture du Haut-Rhin, *Arrondissement Sud* (Cité Administrative 68000 Mulhouse),
- Depuis 1972 : *Service régional de l'Aménagement des Eaux Alsace* (24, Grand-Rue, 68000 Horbourg-Wihr).

2. THÈME DE RECHERCHES

- Hydrologie d'un bassin naturel situé sur le versant alsacien du massif vosgien,
- Relations avec les principaux facteurs physiques et climatiques.

3. DESCRIPTION DU BASSIN

Situation :

Le haut bassin de la Doller (en amont du village de Sewen) est situé à moins de 5 km au sud-est du Ballon d'Alsace, plus précisément entre les latitudes 47° 46' N et 47° 48' N et les longitudes 4° 30' E et 4° 35' E.

Caractères physiques et morphologiques :

Superficie = 8,9 km² (à la station limnigraphique de Doller-aval = exutoire du bassin),

Altitude moyenne = 865 m,

Indice de compacité = 1,18 ; indice de pente global = 0,15 m/m,

Densité de drainage = 2,01,

Unités morphologiques : montagnes vosgiennes entaillées profondément par les deux cours d'eau principaux, la Doller et le Wagensthalbach (affluent de la Doller sur sa rive gauche).

Géologie :

Le bassin de la Doller proprement dit (5,6 km²) est constitué par les roches détritiques et pyroclastiques du faciès « Culm » (andésites, labradorites et tufs volcaniques emballés dans des schistes et des grauwackes), alors que le Wagensthalbach coule dans la majeure partie de son cours sur des terrains granitiques (b.v. = 3,3 km²).

La Doller est orientée SE-NW, le Wagensthalbach : E-W.

Climat :

Le régime pluviométrique est à caractère océanique, dû à une dominance des vents humides d'ouest à sud-ouest, avec contraste de deux saisons :

— saison humide d'hiver (maximum en décembre et janvier),

— saison sèche en été (de mai à octobre, avec maximum secondaire en août, dû aux orages).

Le maximum de saison froide, combiné avec des températures assez basses dues à une altitude moyenne relativement forte (> 800 m), se marque généralement par un enneigement assez important et durable.

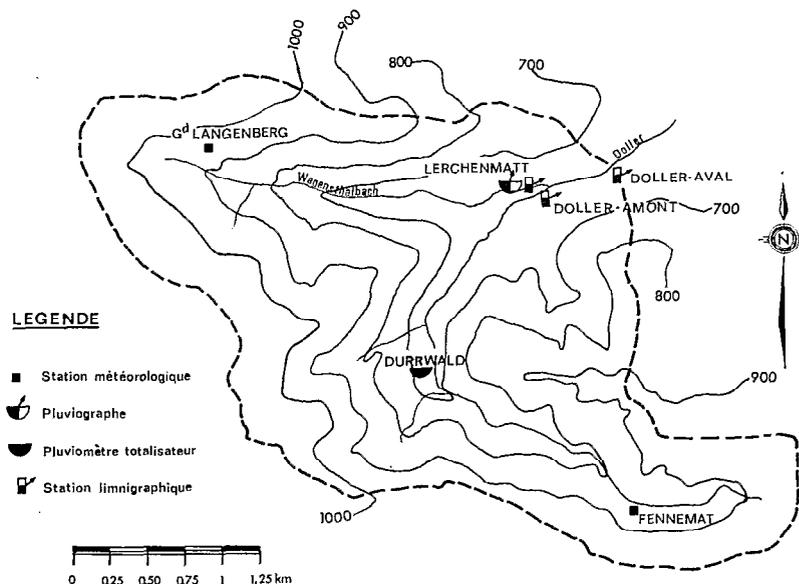
Végétation :

La couverture forestière est très dense sur ce bassin (80% environ de la superficie totale), composée essentiellement de conifères (sapins) ou de hêtres, suivant l'exposition des versants.

Les replats et les fonds des vallées principales sont le domaine d'une végétation herbacée très pauvre.

Équipement (cf. carte jointe) :

- 3 stations limnigraphiques en service depuis 1962 (Doller-aval, Doller-amont et Wagensthalbach),
- 2 stations météorologiques complètes (Fennematt et Grand Langenberg installées en 1959),
- 1 pluviographe non chauffant (Lerchenmatt) en service depuis 1962,
- 1 pluviomètre totalisateur (à Durrwald) en service depuis 1958.



Haute vallée de la Doller en amont de Sewen
Équipement climato-hydrologique (en service au 1^{er} janvier 1973)

4. PRINCIPALES PUBLICATIONS

— M. BESLON et A. PAYARD, 1962, Etudes climatologiques et hydrologiques de la Haute Doller. Ministère de l'Agriculture, Service du Génie rural et de l'Hydraulique agricole, département du Haut-Rhin,

— C. WITTEMANN, 1970, Les conditions de l'écoulement dans les bassins de la Haute Doller et du Wagensthalbach (Mémoire présenté pour la Maîtrise). Université de Strasbourg, Centre de Géographie appliquée.

5. RÉSULTATS OBTENUS

Remarques. — Les résultats obtenus jusqu'alors, au point de vue climatologique, ne correspondent pas à ceux que l'on serait en droit d'attendre pour un tel bassin.

En effet, bien que les stations de Fennematt et Grand-Langenberg soient installées depuis 1959, le fonctionnement de l'appareillage mis en place entre 1959 et 1966, n'a jamais donné satisfaction (appareillage expérimental et usagé). Aussi les résultats possédés pour cette période à ces postes, sont-ils très épisodiques et certainement douteux, ce qui ne permet pas d'établir de bilans annuels valables ou d'en déduire des relations pluie-débits fiables.

En 1968, ces postes d'observation ont été rééquipés avec un matériel nouveau, toujours en fonctionnement actuellement.

Les premiers résultats que nous pouvons donner aujourd'hui, suite au réaménagement des stations de Fennematt et du Grand-Langenberg en 1968, sont extraits en majorité du Mémoire de Mlle WITTEMANN (1970), qui, dans le domaine climatologique, ne donne qu'une présomption des phénomènes réels dans ce secteur des Vosges, ce travail n'ayant pu porter que sur *une seule année de relevés corrects* (année 1969).

Aucune autre étude de synthèse n'ayant encore été réalisée à ce jour sur une plus longue période (par exemple 1968-1973 = 5 ans), pour ce résumé nous avons complété les premiers renseignements de 1970 par des résultats issus directement des observations faites entre 1970 et 1973.

5.1. PRÉCIPITATIONS

Abondance moyenne :

Environ 2 000 mm de précipitation (= pluie + neige) par an, sur la totalité du bassin versant = 8,9 km².

Nombre de jours de précipitations :

Entre 180 et 190 jours en moyenne, avec 75 jours de neige environ.

Gradient pluviométrique :

Difficile à mettre nettement en évidence sur un bassin aussi réduit, car des facteurs prépondérants, tels que l'exposition par rapport aux vents dominants, interfèrent sur le facteur altitude.

Résultats annuels ponctuels (moyenne 1968-1972) :

| | |
|--------------------------|-------------|
| Lerchenmatt (600 m) | = 1 640 mm |
| Durrwald (685 m) | = 1 945 mm |
| Fennematt (830 m) | = 1 670 mm |
| Grand Langenberg (915 m) | = 2 160 mm. |

5.2. ÉCOULEMENT

Débits moyens annuels (période 1962-1969) :

| Doller-amont (B.V. = 5,6 km ²) | | Wagensthalbach (B.V. = 3,3 km ²) | | Doller-aval (B.V. = 8,9 km ²) | |
|---|---------------------|---|---------------------|--|---------------------|
| m ³ /s | l/s.km ² | m ³ /s | l/s.km ² | m ³ /s | l/s.km ² |
| 0,205 | 39,4 | 0,153 | 46,4 | 0,420 | 47,2 |

L'importance des modules spécifiques (≥ 40 l/s.km²) est indicatif de forts coefficients d'écoulement et d'une très bonne alimentation en général, mais avec une différenciation assez marquée entre les deux sous-bassins de la Doller proprement dit, et du Wagensthalbach, ce dernier ayant dans l'ensemble un écoulement plus fort (46,4 l/s.km² contre 39,4 l/s.km² pour la Doller) dû essentiellement au support géologique différent énoncé précédemment.

Déficits d'écoulement (D) et coefficient d'écoulement (C) annuels :

- a) sur l'ensemble du bassin (8,9 km²) $\left\{ \begin{array}{l} D = 470 \text{ mm} \\ C = 79\% \end{array} \right.$
- b) au niveau des sous-bassins : — Doller $\left\{ \begin{array}{l} D = 580 \text{ mm} \\ C = 74\% \end{array} \right.$
- Wagensthalbach $\left\{ \begin{array}{l} D = 790 \text{ mm} \\ C = 64\% \end{array} \right.$

Régime de l'écoulement :

Coefficient mensuel de débit (CmD) (moyenne 1962-1969) :

| | J | F | M | A | M | J | J | A | S | O | N | D |
|---|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|
| Doller-aval B.V. = 8,9 km ² | 1,25 | 1,20 | 1,73 | 1,74 | 0,83 | 0,47 | 0,18 | 0,54 | 0,67 | 0,58 | 1,45 | 1,42 |

Soit un régime de type pluvio-nival avec hautes eaux hivernales (maxima très marqués en mars-avril dus à des fontes de neige successives très brutales, mais très courtes); basses eaux en été (étiage accentué en juillet).

Les crues :

Les crues importantes, nous l'avons dit précédemment, se situent en général en fin d'hiver ou au début du printemps. Les conditions de l'écoulement pendant la crue sont alors souvent modifiées par la présence d'une importante couverture neigeuse, qui accélère l'écoulement et fournit un volume d'eau supérieur à celui correspondant à la seule pluie ayant engendré la crue.

Par contre, une analyse de crue d'été (25-26 juillet 1969) a été faite sur une remontée des eaux après une période de sécheresse marquée, c'est-à-dire au moment où les facteurs négatifs pour l'écoulement sont prépondérants (sol sec et évapotranspiration maximum).

Résultats relatifs à une averse d'intensité 20-30 mm/h :

| | Wagensthalbach (B.V. = 3,3 km ²) | Doller (B.V. = 5,6 km ²) |
|-----------------------------|---|---|
| Temps de réponse | 5 à 10 mn | 5 à 10 mn |
| Temps de montée - tm | 1 h 30 mn | 1 h 45 mn |
| Temps de concentration - tc | 1 h 15 mn | 2 h 20 mn |
| Temps de ruissellement - tr | 2 h 15 mn | 3 h 20 mn |

5.3. AUTRES FACTEURS CLIMATIQUES

Températures :

Régime thermique de montagne, présentant de fortes variations journalières. Des influences de caractère océanique viennent se conjuguer au facteur altitude, ce qui réduit les amplitudes annuelles. Moyenne annuelle des températures entre + 6 et + 8 °C, avec des maxima absolus de l'ordre de + 25 à + 30 °C (sous abri) et des minima absolus pouvant atteindre — 15 à — 20 °C (sous abri).

Exemple. — Moyenne des températures mensuelles (en °C) au Grand-Langenberg pour 1971.

| J | F | M | A | M | J | J | A | S | O | N | D | Moyenne annuelle |
|-------|-------|-------|-------|--------|--------|--------|--------|--------|-------|-------|-------|---------------------|
| + 1,1 | — 0,7 | — 1,5 | + 8,8 | + 12,1 | + 11,0 | + 16,8 | + 15,4 | + 11,5 | + 9,4 | + 2,8 | + 3,0 | + 7,5 |

Evaporation :

Evaporation Piche (sous abri) au Grand-Langenberg, pour les mois de mai à octobre : entre 350 et 400 mm en moyenne (d'après les années 1969-1971).

En comparaison, l'évaporation donnée par un bac circulaire (dit « de classe A » de l'US Weather Bureau, bac placé au-dessus du niveau du sol) semble être d'environ 20% inférieure à celle du Piche.

Nota. — Pendant les mois d'hiver (novembre à avril), ce facteur climatique peut être considéré comme nul au vu des températures moyennes relativement basses et de l'humidité relative de l'air élevée (environ 80% en moyenne).

6. CONCLUSIONS

Les résultats présentés dans ce résumé, dont certains sont basés sur un nombre très restreint d'observations, devront être repris et explicités dans une étude générale de synthèse établie à partir des données récentes en notre possession (période 1968-1973).

Toutefois ces premiers résultats renseignent d'ores et déjà sur les principales caractéristiques climato-hydrologiques qui peuvent se rencontrer sur un bassin vosgien identique à celui de la Haute Doller.

Résumé des résultats de recherches sur les bassins versants d'investigation du Blavet (1962-1967)

(A.) Rampon

1. ORGANISME GESTIONNAIRE

Ministère de l'Agriculture CTGREF, 92160 Antony.

2. THÈME DE RECHERCHES

Détermination des réserves hydrogéologiques non permanentes d'été, en région de socle, à partir d'une méthode simple et éventuellement à partir de coefficients relevant directement des Sciences de la Terre.

3. DESCRIPTION DES BASSINS

Dans le bassin versant général du Blavet, quatre bassins versants élémentaires, sur un substratum différent, ont été choisis (BV I à BV IV) qui ont fait l'objet de la même étude. Chacun d'eux est défini par une station de jaugeage.

3.1. CARACTÈRES PHYSIOGRAPHIQUES ET CLIMATIQUES

3.1.1. *Bassin versant général*

Région : Bretagne (cf. page 78).

Cours d'eau : Blavet.

Exutoire } latitude : 47° 50' 00" N,
 } longitude : 3° 12' 30" W Paris.

Superficie : 1 930 km².

Altitude minimum et maximum : 10 et \neq 300 m.

Hydrographie : voir page 79.

Géologie : schistes et granites (page 80).

Climat : océanique (cf. § 3.1.2.2.).

Autres caractéristiques : voir bassins versants élémentaires.

3.1.2. Bassins versants élémentaires (sous-bassins)

3.1.2.1. Complexe physique

TABLEAU 3.1.2.1.
QUELQUES CARACTÉRISTIQUES PHYSIQUES DES BASSINS

| Nom des sous-bassins | B.V. I Plounevez- Quintin | B.V. II (I + II) Gouarec | B.V. III Guénin | B.V. IV Quistinic |
|--------------------------------------|---------------------------------|--|--|----------------------------|
| Période d'étude (1) | 1964-1967 | 1964-1967 | 1964-1967 | 1963-1967 |
| Superficie en km ² | 104 | 235 | 316 | 48 |
| Indice compacité K | 1,28 | 1,38 | 1,22 | 1,25 |
| Indice de pente Ip | 0,066 | 0,071 | 0,059 | 0,098 |
| Indice de pente globale Ig | 3,47 | 4,11 | 2,79 | 7,14 |
| Altitudes extrêmes en m | ≠ 300-173 | ≠ 300-128 | ≠ 160-39 | ≠ 160-38 |
| Densité drainage | 2,42 | 2,07 (2) 1,43 (3) | 1,25 | 2,00 |
| Géologie en % | granites 100 | granites = 65,8 schistes = 34,2 | schistes = 100 | granulite = 100 |
| Sols (4) | sol brun acide | sol brun acide | sol brun acide | sol brun acide |
| Végétation % | bois-herbage = 35 | bois-herbage = 20 | bois-herbage = 20 | bois-herbage = 35 |
| Hydrogéologie : | | | | |
| — terrain | — arène | — arène ou altération de schistes et grabens sédimentaires | — altération des schistes et grabens sédimentaires | — arène |
| — nappe | — diaclases fragmentaire | — diaclases fragmentaire (2) (3) | — diaclases fragmentaire | — diaclases fragmentaire |
| Hydropédologie : | | | | |
| — réserves maximales du sol | 75 mm | 77 ou 128 mm | 120 à 138 mm | 79 mm |
| — perméabilité de l'horizon humifère | 0,6 · 10 ⁻⁵ m/s | 0,6 ou 0,2 10 ⁻⁵ m/s | 0,2 · 10 ⁻⁵ m/s | 0,6 · 10 ⁻⁵ m/s |

(1) Les stations de jaugeages ont été prises en compte dès 1968, par le SRAE de Rennes.

Actuellement, un sous-bassin du BV III, défini par une nouvelle station de jaugeage, gérée également par le SRAE de Rennes, est à l'étude (Bilan - Erosion des sols après remembrement).

(2) Granites porphyroïdes.

(3) Schistes de Chateaulin.

(4) Avec : — en bas fond sur granites, des tourbes oligotrophes et très rarement des pseudogleys,

— en bas fond, sur schistes, des semi-gleys et plus rarement des gleys.

3.1.2.2. Climatologie

Climat océanique type. Distribution temporelle des précipitations étendue dans l'année (150 jours par an), distribution spatiale (isohyètes) relativement homogène.

TABLEAU 3.1.2.2.
QUELQUES VALEURS AU COURS DE LA PÉRIODE 1965 A 1967 A GOUAREC (G) OU ROSTRENEN (R)

| Eléments du climat | Valeurs mensuelles extrêmes | Total moyen ou modules annuels |
|--------------------------------|-----------------------------|--------------------------------|
| Pluviométrie (G) | 25,0-157,0 mm | 1 043 mm |
| Evapotranspiration Bouchet (G) | 7,0- 74,0 mm | 457 mm |
| Température (R) | 4,2- 15,5 °C | 9,8 °C |
| Insolation (R) | 39,0-181,0 heures | 1 354 heures |
| Humidité relative de l'air (R) | 80,7- 91,0% | 85,4% |

CARTE D'ENSEMBLE

Générale :

- Limite de bassin versant général
- Limite de bassin versant élémentaire
- ~ Cours d'eau
- 200m Courbe topographique
- Localité

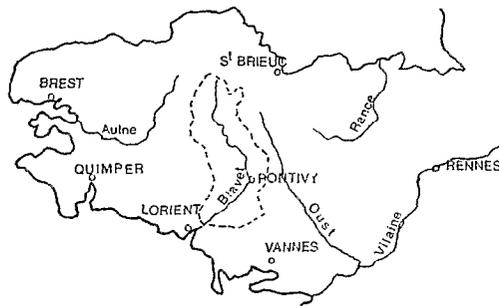
Hydrométrie :

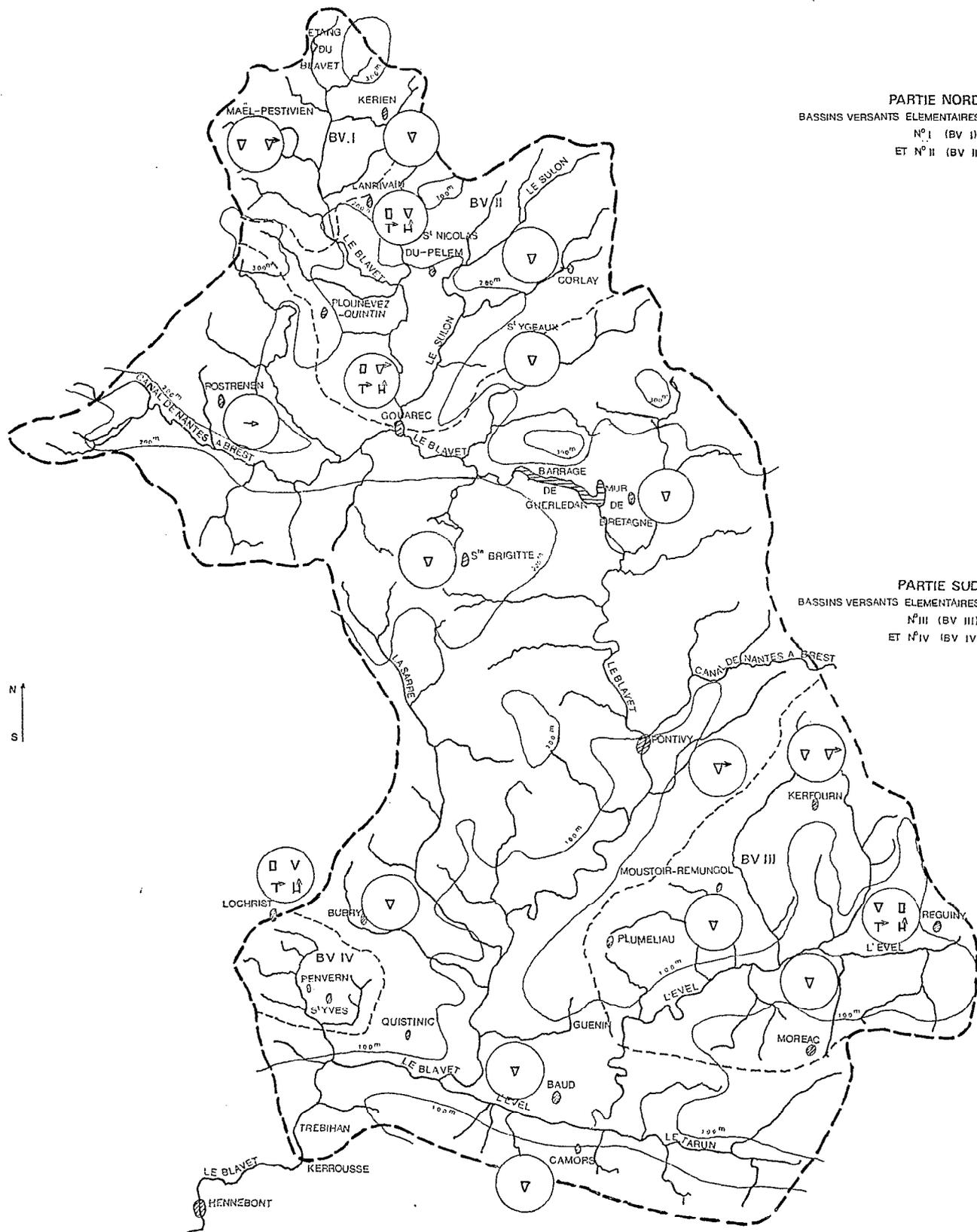
-  Station de jaugeage (avec limnigraphie aux B.V. I, II, III et IV)

Climatologie :

-  Station ou poste d'observation
- v Pluviomètre
- T Thermographe
- Evaporomètre Piche
- ∇ Pluviographe
- H Hygrographe
- Station météorologique nationale (Station synoptique d'observation).

Situation du Bassin versant général :

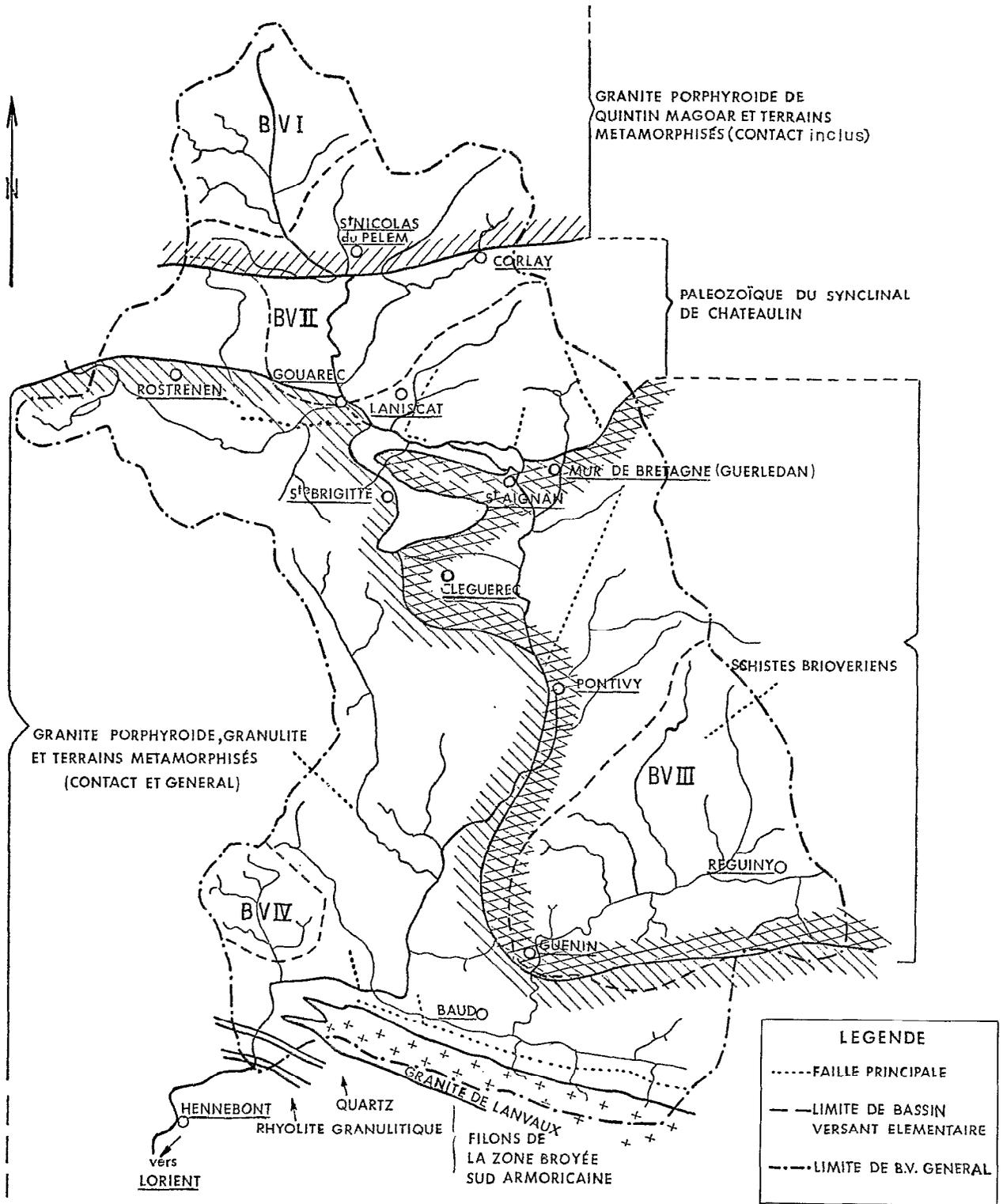




PARTIE NORD
 BASSINS VERSANTS ELEMENTAIRES
 N° I (BV I)
 ET N° II (BV II)

PARTIE SUD
 BASSINS VERSANTS ELEMENTAIRES
 N° III (BV III)
 ET N° IV (BV IV)

Bassin versant du Blavet



Blavet
Lithologie - Esquisse géologique

3.1.2.3. Hydrométrie

Variation du débit mensuel à Gouarec (1965-1967) = 0,9 à 9 m³/s.
Le débit moyen annuel correspond à une lame d'eau de 466 mm.

3.1.2.4. Observations

Des résultats mensuels concernant les précipitations, les débits moyens, l'évaporation à partir du Piche, les températures moyennes de l'air ont été fournis, pour chacun des bassins élémentaires à propos de l'enquête BEP (1) d'avril 1969. Ont également été donnés, pour cette enquête, les résultats mensuels concernant l'évaporation sur bac et l'insolation mesurée à la station de la météorologie nationale à Rostrenen, ainsi que des résultats concernant les qualités chimiques des eaux de rivières et de puits dans les bassins étudiés.

Ces résultats peuvent encore être consultés dans les publications [3], à diffusion pratiquement confidentielle et [5] à diffusion moins restreinte.

3.2. DISPOSITIF DE MESURES ET D'OBSERVATIONS

Cf. page 79 et tableau 3.2. ci-après.

TABLEAU 3.2.
ÉQUIPEMENT ET OBSERVATIONS

| Nature des observations | Stations ou nombre de points d'observations | Fréquence des observations ou des mesures | Période d'exploitation | Forme des données d'observations | Pas de temps | Remarques |
|--|---|--|-----------------------------|-----------------------------------|-------------------------|----------------------------|
| Précipitations | 13 (1) + 1 (2) + 6 (3) | Quotidiennes ou diagramme hebdomadaire | Depuis 1964 1966 ou 1967 | Relevés ou pluviogrammes | Journalier | |
| Thermographe | 4 (1) + 1 (2) | Quotidien | Depuis 1965 et | Relevés ou diagrammes | Journalier | |
| Hydrographe Piche | 4 (1) + 1 (2) | diagramme hebdomadaire | 1966 à 1969 | | Journalier | |
| Mesures météorologiques diverses | 1 (2) | Normes météorologiques nationales | Depuis 1954 | Normes météorologiques nationales | Journalier | |
| Débits | 4 (1) + 1 (3) | Diagrammes hebdomadaires | Depuis 1912 (3) ou 1964 | Diagrammes | Journalier | |
| Piézométrie (Puits) | 18 (granites) | Tous les 15 jours pendant 3 mois d'été et 3 mois d'hiver | 1963 1964 1967 | Relevés | Cf. fréquence | |
| Résistivités | 126 (puits) 82 (rivières) | Juin 1967 | — | Relevés | Cf. fréquence | |
| Hydrogéochimie | Pluie = 5 à 9 Puits = 19 Rivière = 14 | 3 prélèvements en hiver 3 prélèvements en été | 1963 1964 | Relevés | Cf. fréquence | |
| Profils pédologiques | 220 (1) | 1 | — | Relevés | Cf. fréquence | |
| Pédochimie et pédophysique (Granulométrie-Réserves-Perméabilité) | 129 (1) | 1 | — | Relevés | Cf. fréquence | |
| Lysimètres (Région voisine) | Quimper (INRA) | Analyses chimiques trimestrielles | Depuis 1954 | Relevés | Cf. fréquence mensuelle | Corrélation avec B.V. N° 1 |

(1) Bassins versants élémentaires.

(2) Parc météo national à Rostrenen. SSO (Station Synoptique d'Observations).

(3) Bassin versant général (Station usine de Guerledan en ce qui concerne les débits).

(1) Bureau d'Etudes Permanent, Paris.

4. PRINCIPALES PUBLICATIONS

- [1] COPPENET (M.) et RAMPON (A.) - 1967 - Contribution à l'étude des sols granitiques et schisteux de Bretagne. Le bassin versant du Blavet. *Annales agronomiques*, Versailles, 18 (5), pp. 455-484.
- [2] RAMPON (A.) - 1969 - Mesures de pendages et de directions de fractures dans des granites. Considérations théoriques et application à la circulation souterraine de l'eau. *Rev. de géographie physique et de géologie dynamique*, Paris, (2), vol. XI, fasc. 2, pp. 177-187.
- [3] RAMPON (A.) - 1971 a - Contribution à l'étude pédologique et hydrogéologique de la Bretagne centrale. Le Blavet et ses affluents. Thèse d'Etat, Paris, ronéo. CTGREF de Paris-Antony, Antony, 109 planches dessins, 12 planches photographies, 773 p.
- [4] RAMPON (A.) - 1971 b - Les sciences de la Terre dans l'étude des bassins versants représentatifs. Le Blavet en Bretagne centrale. *Rev. de géographie physique et de géologie dynamique*, Paris, vol. XIII, fasc. 4, pp. 383-402.
- [5] RAMPON (A.) - 1972 - Contribution à l'étude des facteurs du bilan de l'eau. Les bassins versants élémentaires représentatifs du Blavet. Ronéo. CTGREF de Paris-Antony, Antony, 58 planches dessins, 7 planches photographiques, 354 p.

5. RÉSULTATS OBTENUS

5.1. RÉSULTAT PRINCIPAL

Cette étude démontre comment des considérations et des mesures relevant des Sciences de la Terre permettent d'extrapoler à des unités d'une certaine dimension, des résultats obtenus en des secteurs à surface forcément limitée. Elle fait connaître, dans le domaine de la recherche, une manière de chiffrer l'évapotranspiration effective *in situ* à l'échelle d'un bassin par un bilan trimestriel. D'où une nouvelle méthode de bilan, nouvelle dans le sens où tous les termes (P, ET, RSD, Q) (1) sont connus et où l'on peut ainsi, par différences logiques, mesurer l'évolution mensuelle des réserves hydrogéologiques non permanentes et l'apport des réserves au débit en été.

Ceci permet de connaître le déficit intermensuel moyen DF_m qui donne la lame d'eau correspondant au volume des réserves non permanentes de l'eau souterraine pendant la période déficitaire de l'été, dans une région de socle où l'exploitation des lois de tarissement est irréalisable du fait de la fréquence des pluies. La formule $DF_m = \frac{DF_r \times P_a}{12}$ exprime le DF_m en fonction de la pluviométrie annuelle P_a et d'un coefficient défini selon le type de substratum et calculé grâce à la méthode en question. Un calcul d'erreur démontre que ces coefficients sont significativement différents.

D'une manière plus générale, au demeurant, des calculs d'erreurs ainsi que des analyses statistiques par diagrammes (stéréogramme) ou régressions ou encore par application de lois ou de tests (en tectonique, pédologie, climatologie, hydrogéologie, hydrologie de surface) conduisent à des conclusions sans ambiguïtés.

5.2. RÉSULTATS PARTICULIERS

Dans le plan de la thèse qui en rend compte, les disciplines traitées apparaissent par les titres des chapitres. L'analyse qui en relève conduit à des résultats particuliers, résultats dont certains valent, semble-t-il, d'être signalés :

En pédologie :

Le rapport de l'humidité équivalente à l'humidité au point de flétrissement est de l'ordre de 2, dans le cas des sols sur granites et de 3 pour les sols sur schistes, ce qui permet d'évaluer aisément le point de flétrissement selon le substratum (il existe entre les deux types de substrat, une différence statistique dans leur granulométrie (2) ; le calcul des réserves hydro-pédologiques d'autre part, sur prélèvement et en fonction de la position topographique des sols ainsi que des surfaces correspondantes, gagnerait et ferait gagner à être systématiquement appliqué au cours de telles études. Il en est de même du principe qui consiste à faire intervenir non pas les variations de profils hydriques, mais la variation de la réserve maximum disponible dans le sol en fonction de la pluviométrie et de l'évapotranspiration. Ce principe conduit à des déterminations de la réserve en eau relativement simples et prati-

(1) P = Précipitation ; ET = Evapotranspiration ; RSD = Réserve du sol disponible (à partir des réserves maximum du sol RMS) ; Q = Débit.

(2) Par ailleurs assez proche l'une de l'autre, puisque les granites induisent des sols limoneux à tendance sableuse et les schistes des sols limoneux à tendance argileuse.

cables, qui restent suffisamment précises à cette échelle du temps et de l'espace. Enfin, des analyses pédo-chimiques de magnésium et de matières organiques font apparaître que la circulation de l'eau dans l'horizon humifère, souvent indépendante « du sous-humifère », peut être assimilée au ruissellement hypodermique ; l'existence de ce ruissellement hypodermique n'exclut pas, d'ailleurs, l'existence d'un retard au ruissellement que des auteurs invoquent à propos de l'analyse des hydrogrammes.

En climatologie :

L'intensité des précipitations est la plus fréquente à 1 mm/h, mais peut atteindre, sur trois ans, 24 mm/h; le fait que 80% des pluies aient une intensité comprise entre 0 et 4 mm/h permet de montrer, en faisant intervenir la perméabilité des terrains (mesurée dans l'horizon superficiel) que l'infiltration, dans la plus grande majorité des cas, n'est pas limitée en terrain plat par une trop forte intensité de la pluie, même en région schisteuse.

D'autre part, la détermination de la période végétative relève pratiquement du seul ensoleillement dans ces climats (c'est vraisemblablement la loi du facteur limitant) et l'exposition des stations de mesures de l'évapotranspiration en vallée (x) ou sur une butte (y) induit une différence assez sensible pour que l'on puisse exprimer la relation entre les deux par l'équation : $y = 1,4x + 14,2$. Il est également démontré que l'évapotranspiration BOUCHER, EB, rend compte des variations effectives, mesurées en place, de l'évaporation dans les bassins (elle demande néanmoins un réajustement, par le bilan trimestriel évoqué plus haut) ; cette technique paraît, en cela, préférable à l'usage de formules climatologiques d'évapotranspiration qui font intervenir un élément au moins, d'ordre trop général (latitude par exemple).

En hydrogéologie et hydrologie de surface :

Le chapitre hydrogéologie réalise déjà une synthèse des chapitres précédents ; il y apparaît que la structure hydraulique souterraine correspond à un complexe de réservoirs (porosité d'interstice) et d'un système de fractures et failles (constituants des drains mineurs et des drains majeurs). Ceci confirme les études d'ordre lithologique et tectonique et ressortit à des résultats relevant d'observations aux affleurements, de l'hydrogéochimie, de la piézométrie, de mesures de résistivité des eaux (qui rapportée à l'amplitude piézométrique, conduit à un coefficient de potentiel des réserves permettant de montrer une alimentation latérale en certains bassins), relevant de la recherche de tritium dans les eaux (ce qui confirme que l'eau souterraine a une origine ni trop profonde ni ancienne et que le bilan n'est pas faussé par l'intervention d'eaux juvéniles), relevant également de la corrélation drainage en lysimètre de sol granitique \times écoulement en bassin versant granitique (qui montre l'existence de pertes d'eau par le bassin versant en hiver, ce qui est important dans l'interprétation du bilan). Le régime hydropiézométrique, ainsi que la corrélation coefficient d'écoulement \times déficit d'écoulement font apparaître une période neutre ou période remarquable de transition entre l'excédent des réserves en hiver et leur déficit en été, période qui, avec le déphasage pluie-débit, sert de base à l'établissement du bilan.

Parmi les conséquences de ce type de bilan, il faut mentionner que :

— La réserve pédologique maximum utile du sol se chiffre encore en millions de mètres cubes, dans le plus petit des bassins et qu'il est dangereux de négliger cet élément dans un bilan de l'eau en des bassins versants analogues,

— Sur une moyenne de trois ans, on a ici : $ETR = ETP$,

— On peut déterminer une infiltration annuelle,

— On peut définir, dans l'évolution interannuelle des réserves hydrogéologiques, trois périodes principales (excédentaire, neutre ou déficitaire) qui sont caractéristiques d'un régime hydraulique ou importante dans l'établissement d'un bilan (période neutre).

6. CONCLUSIONS PRATIQUES

6.1. APPLICATION PRATIQUE IMMÉDIATE OU DIFFÉRÉE DES RÉSULTATS

Il est devenu possible de chiffrer rapidement les ressources non permanentes en eau de l'ensemble du massif armoricain ou d'un massif ancien semblable, pendant la période critique de l'été, en fonction de la pluviométrie annuelle et de coefficients géopédologiques tels qu'ils ont été calculés pour des terrains granitiques ou métamorphisés (et assimilables) et des terrains schisto-greusés (et assimilables).

Ces coefficients peuvent être appliqués à d'autres types de régions et de climats, sous réserve cependant d'un contrôle, voire d'un réajustement, par la méthode de bilan proposée (en testant un bassin versant représentatif dans chacune des grandes régions d'un territoire, région homogène à une certaine échelle sur le plan des sciences de la Nature).

6.2. INCIDENCES

Pour un nouveau programme de recherche actuellement en cours en Bretagne, et qui consiste à mesurer les effets du remembrement sur l'hydraulique et l'érosion des sols dans un bassin versant, un tel bilan sera — avec

(A.) Rampon

la mesure directe de l'érosion entre autres — un des éléments permettant de comparer ce qui se passe dans un bassin versant expérimental avant et après les opérations connexes du remembrement (arasement de nombreux talus du bocage).

Il est souhaitable d'autre part, que des résultats particuliers retiennent l'attention de certains chercheurs plus spécialisés, les incitant éventuellement à quelque développement (coefficient d'aire relative, par exemple, proposé en géomorphologie).

Sur le plan d'une incidence plus générale une telle étude tend également à démontrer, par l'exemple qu'elle constitue, l'importance du rôle des sciences de la Terre dans ce domaine. Ce rôle intervient au stade de la conception du programme, de son déroulement et des développements physiques, chimiques et mathématiques qu'il implique, au stade du dépouillement (même dans le choix de certains découpages des diagrammes pour les opérations sur ordinateurs qui sont désormais utilisés par les équipes), de l'exploitation et de l'interprétation des résultats. Il permet aussi d'infirmer ou de confirmer — par recoupement lorsque aucun autre procédé n'est possible — bien des hypothèses qui ne manquent pas d'être soulevées en cours de recherche.

Antony, 23 novembre 1973.

A. RAMPON.

Résumé des résultats de recherches sur le bassin d'investigation de l'Orgeval (Bassin Parisien, France)

(G.) Oberlin

1. ORGANISME GESTIONNAIRE

Ministère de l'Agriculture CTGREF, Division Hydrologie, Parc de Tourvoie, 92160 Antony.

2. THÈMES DE RECHERCHES ET D'ÉTUDES

2.1. PRÉALABLE : RÉCOLTE ET TRAITEMENTS DE BASE DES DONNÉES

- Etablissement de chroniques de pluies, débits et variables climatologiques classiques ;
- Amélioration de la chaîne de récolte et de traitement des mesures pluviographiques ;
- Mesures d'humidité du sol ;
- Essais de nouveaux matériels de mesure, en particulier de codeurs ;
- Méthodes en matière de traitement de base des données et chaînes de programmes automatiques.

2.2. HYDROLOGIE GÉNÉRALE

- Plan-type pour études de base abordant rapidement tous les aspects habituels du cycle hydrologique ;
- Répartition spatiale des précipitations ;
- Estimation de l'évapotranspiration réelle (ETR) d'un bassin.

2.3. INFLUENCES HUMAINES SUR LE RÉGIME ET LA QUALITÉ DES EAUX D'ÉCOULEMENT

- Influence du drainage agricole sur l'écoulement ;
- Analyse de la pollution agricole.

3. DESCRIPTION DE L'ENSEMBLE DES BASSINS (voir carte)

Situation :

- Sous-affluent de la Marne, dans le Bassin Parisien ;
- Entre 48° 47' et 48° 55' de latitude N, 3° et 3° 15' de longitude E.

Caractéristiques physiques :

- Superficies contrôlées de : 7 - 24,7 - 45,7 - 104 km² ;
- Altitude moyenne de 150 m, bassins de plateau ;
- Pentés faibles, dénivelée spécifique (DUBREUIL) de 24 m environ ;
- Densité de drainage fortement améliorée par un réseau artificiel de drains agricoles ;
- Réseau hydrographique radial.

Pédologie, géologie :

- Terrain sédimentaire non plissé ;
- Sols à pseudo-gley, avec traces de lessivage, peu perméables ;
- Limons argileux en surface ; nappes locales à faible profondeur (lentilles calcaires ou sableuses).

Climat :

- Subhumide tempéré à frais ;
- Température moyenne entre 10 °C et 11 °C, moyennes mensuelles variant de 3 °C à 19 °C (valeurs inter-annuelles) ;
- Pluies équiréparties dans l'année, plus intenses en été.

Utilisation des sols :

- 5% (amont) à 20% (aval) de forêt ;
- 95% (amont) à 80% (aval) de cultures et prairies ;
- zones urbaines négligeables ;
- 80% (amont) à 40% (aval) de sols drainés par drains enterrés.

Équipement :

- 4 stations hydrométriques équipées (1) ;
- 6 stations de mesure de débits d'étiages, non équipés ;
- 21 pluviographes ;
- 1 station météorologique complète (données enregistrées, pour la plupart, depuis 1962) ;
- 1 parcelle de 620 m² avec mesures de piézométrie, humidité du sol et débits drainés.

Code de macro-classification DHI :

50 - 3 - 1 - 0 - 1 - 9 - 0 - 3.

4. PRINCIPALES PUBLICATIONS

- *Bulletins Techniques du Génie Rural*, de 1968 à 1972, nos 89, 90, 92, 93, 109, 112. CTGREF, Parc de Tourvoie, 92160 Antony (France).
- « Une méthode d'estimation de l'ETR ». CTGREF et DGRST, 1973.
- Nombreuses notes, annuaires, thèses, etc. Demander la liste au CTGREF.

5. RÉSULTATS OBTENUS

5.1. DONNÉES D'OBSERVATION

Les chroniques de débits, quasi continues depuis 1962 (les lacunes ont été comblées par corrélations inter-stations) ont vu leur qualité nettement améliorée depuis 1966, date à laquelle des travaux d'aménagement de stations (seuils, déversoirs, etc.) ont essayé de remédier aux difficultés rencontrées jusqu'alors, d'ailleurs tout à fait habituelles en hydrométrie. Malgré ces améliorations, la procédure d'interpolation entre jaugeages, avec abandon correspondant de la méthode « hauteur-débit », reste nécessaire et appliquée en étiage (3 à 6 mois par an).

Les chroniques de pluies, de qualité convenable depuis 1963-1964, ont fait l'objet d'importants travaux ces dernières années pour résoudre des problèmes sur lesquels butent tous les Services : contrôle de la pluie enregistrée dans les pluviographes, courbes de tarage des pluviographes, dépouillement semi-automatique avec corrections, etc.

L'automatisation des traitements de base, menée en collaboration avec un service voisin (BETSH), se présente actuellement sous la forme d'un ensemble d'une douzaine de programmes formant 3 à 4 chaînes de traitement (hauteurs-débits, pluies, toute variable climatologique primaire ou secondaire, humidité du sol) interconnectées entre elles pour des motifs de souplesse et de sécurité. Les chroniques enregistrées sont codées (cartes) au pas de temps (PdT) variable (fichier de base d'où sont extraits les PdT fixes désirés) ; les chroniques non enregistrées sont codées au PdT journalier. L'ensemble de ces programmes et des fichiers, permettent l'édition de bilans avec un nombre de variables largement suffisant compte tenu des possibilités de mesures : précipitations, débits entrants, débits sortants, ETR, variation des réserves en eau, infiltration, erreur de fermeture du bilan.

(1) Auxquelles s'ajoute une station de contrôle sur le réseau de drainage de la parcelle expérimentale de la base de Boissy-le-Chatel, citée ci-après.

Divers essais de limnigraphes ont été menés pour proposer des améliorations. Citons en particulier l'adjonction d'enregistreur à bande témoin (graphique) pour le contrôle des limnigraphes à bande perforée. Un prototype à capteur de pression avec jauges de contrainte, électronique immergée, horloge à affichage, etc., a conduit à abandonner cette filière de mesure, sauf sur un point : le codage direct des données sur un support lisible en clair. Cette synthèse, recherchée depuis des années, peut être réalisée par un compteur imprimant, à caractère compatible avec un lecteur optique. De plus, ce compteur peut être monté sur les appareils conventionnels. Les essais, tant de l'appareil que des traitements automatiques des données ainsi récoltées, sont satisfaisants.

Un réseau dense de tubes de mesure d'humidité et de densité du sol, associé à quelques mesures pondérales (prélèvements, fosses, etc.), ont permis de mettre au point une méthode statistique simple et semi-automatique d'étalonnage d'une sonde γ -neutronique. Les variations de stocks d'eau du sol superficiel (1,5 m et 3 m) sont ainsi régulièrement mesurées.

5.2. HYDROLOGIE GÉNÉRALE

Avant d'utiliser ces informations dans des études spécialisées, il a été procédé à l'élaboration d'« études de base » abordant le plus grand nombre d'aspects du cycle de l'eau sur le bassin. Les études de base ont fait l'objet d'un plan-type utilisant des méthodes rapides à mettre en œuvre ; de ce fait, elles devraient être applicables sur tout bassin sérieusement observé, quel que soit son objectif spécialisé. Toute étude particulière ultérieure (recherche, projet, application, urgence, etc.) bénéficierait alors de ce dégrossissage qui en limiterait les tâtonnements préalables et servirait aussi de contrôle.

Si l'on se réfère à la surface de référence de 25 km², voici quelques caractéristiques du régime de l'Orgeval (valeurs interannuelles) :

- Module de l'ordre de 7 l/s.km²,
- Débits mensuels variant de 1 à 20 l/s.km²,
- Débit journalier maximal annuel de l'ordre de 120 l/s.km²,
- Débit instantané maximal annuel de l'ordre de 160 l/s.km²,
- Débit instantané maximal décennal de l'ordre de 400 l/s.km²,
- Coefficient d'écoulement annuel de l'ordre de 30% (10% en été, 50% en hiver),
- Précipitations limite d'écoulement direct variant de 1 à 3 mm en hiver à plus de 10 mm en été,
- Rendement approchant 100% pour certaines averses d'hiver tombant sur sol très saturé,
- Crues essentiellement hypodermiques (temps de montée minimal : 7 h), rarement de ruissellement pur (temps de montée : 2 h),
- Etiages très différenciés, malgré l'apparente homogénéité du bassin : DC₃₅₅ variant de 1 à 0,3 l/s.km² au-dessous du niveau imperméable et de 1 à 0,1 l/s.km² au-dessus.

L'étude de la répartition spatiale des précipitations a permis d'esquisser deux réseaux de courbes :

- Coefficient d'abattement en fonction de la surface et de la (fréquence de la) pluie locale, au PdT journalier ;
- Probabilité d'avoir une pluie locale (de fréquence) donnée en un point quelconque d'une surface S.

Il ne semble pas, quoique cela ne puisse pas encore être prouvé à cause des importants problèmes d'échantillonnage, que la densité du réseau influe sensiblement sur les résultats. Cela voudrait dire que le réseau est suffisamment dense (1 poste pour 5 km²) pour le climat du bassin. Par ailleurs, la densité de ce réseau a permis de l'utiliser en tant que contrôle des essais de radar pluviométrique menés par la Météorologie Nationale et le CNET (Centre National d'Etudes des Télécommunications).

Une méthode de calcul d'ETR a été mise au point pour améliorer l'écriture des bilans, nécessaire dans plusieurs cas : contrôle des données, amélioration de la fonction de rendement des modèles, etc. L'indépendance de l'estimation d'ETR par rapport à la réserve en eau du bassin (sol essentiellement) a été voulue, pour la rigueur de l'écriture du bilan. Enfin, l'utilisation exclusive des données climatologiques habituelles était une des hypothèses de travail. Cela a conduit à négliger, voire abandonner, les estimations d'ETP et à se contenter d'une approche d'ETR par le rayonnement net, les albédos étant peut être un peu forcés pour compenser les termes négligés de convection. La méthode a fait l'objet d'un programme de calcul automatique et est valable en zone subhumide homogène. Les contrôles sur bassin et parcelle ont donné de bons résultats.

5.3. INFLUENCE HUMAINE SUR LE RÉGIME ET LA QUALITÉ DES EAUX D'ÉCOULEMENT

L'influence du drainage sur l'écoulement a buté sur deux difficultés : la difficulté de cartographier le réseau de drainage à l'échelle du bassin et le manque de bassins de comparaisons non drainés. Il nous paraît cependant possible d'avancer les estimations suivantes :

- Ruissellement pur pratiquement relégué aux cas rares d'intensités fortes (moins d'une crue de ruissellement par an) ;
- Prédominance d'un écoulement de type hypodermique (infiltration quasi totale de l'eau dans le sol), à temps de réponse nettement supérieur (eau transitant par le sol superficiel, puis les drains) à celui du ruissellement pur ;

— Volume d'écoulement total peut-être supérieur, compte tenu de la diminution de l'infiltration profonde et, sans doute, de l'ETR en été (sol desséché plus précocement).

L'application d'un modèle à réservoir (CREC) à un PdT d'abord journalier, puis de 2 heures, a confirmé la prééminence de l'écoulement de type hypodermique.

Des expériences de pluies artificielles (10 mm/h) menées par le CEA (1) sur la parcelle de 620 m², de pair avec des traçage artificiels, ont montré que l'infiltration était quasi instantanée sur les 60 à 80 cm de sol, pour peu que le sol soit un peu humecté. Même dans le cas où le sol était relativement sec, l'infiltration est rapide, compte tenu de sa relative imperméabilité au sens habituel (granulométrie). Si l'effet « piston » est probable, surtout sur sol humide, la rapidité de passage des traceurs a montré qu'il y avait aussi une infiltration directe de l'eau tombée non négligeable. Dans tous les cas, les maximums de débit de drainage ont été obtenus à l'arrêt de l'arrosage (durée 1 heure environ), ce qui confirme l'extrême rapidité de la fonction de transfert.

Quoique les coefficients de restitution (de rendement) de l'eau et, surtout, des traceurs aient toujours été relativement faibles, il est à craindre que les « traceurs » que sont les fertilisants et les pesticides ne réagissent de la même manière. Des études sont en cours pour préciser ce point ; elles concernent d'abord le réseau hydrographique principal et les nappes. Selon les résultats globaux ainsi trouvés, une analyse plus fine sera effectuée sur des parcelles de quelques hectares. Grâce à la présence sur place des hydrologues depuis plus de dix ans, des liens ont été tissés avec certains exploitants agricoles du bassin et la collaboration qui en découle pourra permettre d'approcher le bilan des produits agricoles utilisés.

D'autres mesures, utilisant des traceurs naturels et effectuées sur bassin de 7 km², ont confirmé les résultats précédents et ont permis d'avancer des hypothèses concernant la part des effets « piston » et d'infiltration directe.

6. CONCLUSIONS

L'orientation des recherches et études menées sur le bassin de l'Orgeval, a presque toujours été dirigée par des besoins essentiellement pratiques : réaliser des études ou mettre au point des méthodes qui répondent aux questions d'actualité en matière d'aménagement des eaux. C'est ainsi que certains aspects parmi les plus modestes, ont eu les applications immédiates les plus fréquentes à l'intérieur et à l'extérieur du Ministère de l'Agriculture :

- Amélioration des mesures pluviométriques ;
- Méthodes générales de gestion de réseaux hydrologiques ;
- Chaîne cohérente de traitements automatiques de base des données ;
- Utilisation régionale des données récoltées ;
- Estimation des étiages de bassins peu observés ;
- Répartition spatiale des précipitations, etc.

D'autres aspects devraient faire l'objet d'applications pratiques immédiates :

- Diffusion de la chaîne des traitements de base ;
- Essais d'estimation d'ETR sur divers bassins ;
- Etudes hydrologiques de base, selon le plan mis au point, pour de nombreux bassins où les données le permettent ;
- Utilisation du codeur à ruban numérique, y compris sur les réseaux anciens à matériel conventionnel, etc.

Enfin, l'aspect le plus durable des résultats du bassin réside probablement dans le fait qu'ont été récoltées, pendant plus de dix ans, des données relatives à une zone bien caractérisée : plateau agricole à culture intensive et à drainage, en climat subhumide tempéré.

Antony, le 29 novembre 1973.

G. OBERLIN.

(1) Commissariat à l'Énergie Atomique.

Résumé des résultats de recherches sur le bassin d'investigation du Real Collobrier

1. ORGANISME GESTIONNAIRE

Ministère de l'Agriculture, Centre technique du Génie rural, des Eaux et des Forêts (CTGREF), Groupement d'Aix-en-Provence, Section : Génie rural, BP 92, 13603 Aix-en-Provence.

2. THÈMES DE RECHERCHE

Détermination des caractères hydrologiques propres à la région méditerranéenne et particulièrement des phénomènes averses-crues.

3. DESCRIPTION DE BASSIN (voir carte jointe)

Situation :

Bassin hydrographique du Gapeau.

Description sommaire :

Ensemble de 9 bassins emboîtés et imbriqués de superficies diverses de 1 à 70 km².

Géologie :

Schistes et micaschistes des Maures.

Climat :

Méditerranéen.

Végétation :

Méditerranéenne.

Équipement :

9 stations hydrométriques,

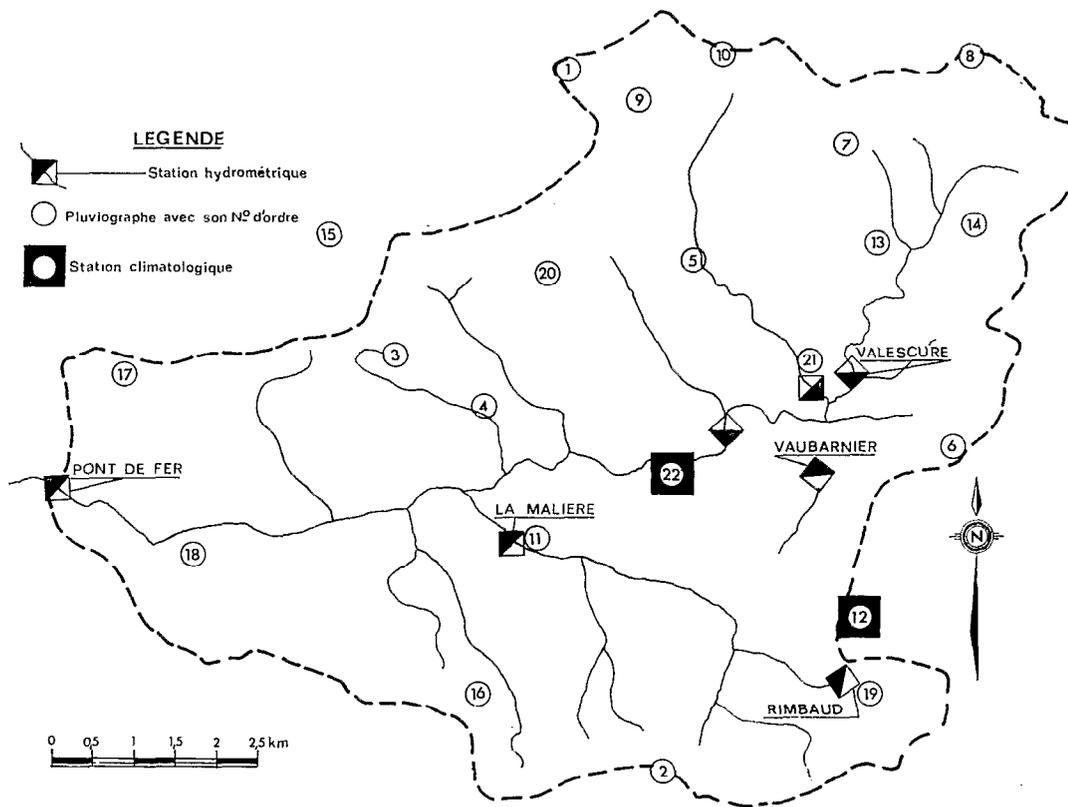
27 postes pluviographiques,

2 stations climatologiques,

Période de fonctionnement continu à partir du 1^{er} janvier 1966.

4. PRINCIPALES PUBLICATIONS

GILLY (S.) – 1967 – Le bassin du Gapeau : problèmes d'équipement et d'organisation. *Bull. sect. géog.*, t. LXXX pp. 217-233.



Carte de situation Réal Collobrier

CAMBON (J.-P.) - 1970 - Bassin versant du Gapeau. Etude du complexe physique. *Bull. tech. GR*, n° 105.

Anonyme - octobre 1970 - Relevé des résultats acquis sur le bassin du Gapeau, sous-bassin du Réal Collobrier (période 1965-1970), CI d'Aix-en-Provence, CERAFER.

Anonyme - 1972 - Bassin du Réal Collobrier. Présentation et description. CTGREF.

CAMBON (J.-P.) - avril 1971 - Remarques à l'occasion de deux crues exceptionnelles survenues sur le bassin du Réal Collobrier. CI d'Aix-en-Provence, CERAFER.

GUILBOT (A.) - Application d'un modèle conceptuel de liaison pluie-débit aux données du bassin du Gapeau. a) Le bassin de Sainte-Anne, réalisé en collaboration avec le laboratoire d'hydrologie (SMERS), Montpellier, 1972.

b) Les bassins de la Malière et du Pont de Fer.

5. RÉSULTATS OBTENUS

1) Le bassin versant du Réal Collobrier a connu essentiellement jusqu'à ce jour, une phase de recueil de données que l'on peut qualifier d'intensive. L'accent étant mis essentiellement sur une collecte aussi minutieuse que possible d'une information de qualité et aussi exhaustive que possible des divers paramètres hydrologiques et ce, sur un réseau dense.

2) Des analyses fragmentaires de résultats ont été entreprises à l'occasion de réalisations techniques permettant d'établir des relations concernant les crues. Elles ont mis en évidence :

a) l'existence de deux types de crues : l'un automnal à crue brutale dû à des pluies intenses ; l'autre printanier à crue beaucoup plus lente. (Notons à ce sujet que le modèle conceptuel rend bien compte des secondes, mais assez mal des premières.)

b) Une relation assez fine liant dans cette région les débits de crue à la surface ; ce qui a permis d'établir un moyen de calcul des crues pour la région mauresque.

6. CONCLUSIONS

Les résultats obtenus ont permis d'atteindre un des buts poursuivis : meilleure connaissance des débits à évacuer lors de la construction de petits barrages. Il reste maintenant à parfaire cette connaissance et surtout à disposer de séries plus longues pour pouvoir étendre les résultats à des phénomènes de fréquence plus élevée.

Résumé des résultats de recherches sur le bassin représentatif de Nantua-Sylans (Ain, France)

(A.) Orand

1. ORGANISME GESTIONNAIRE

Institut National de la Recherche Agronomique (INRA), Station d'Hydrobiologie Lacustre, 13, quai de Rives, 74203 Thonon-les-Bains.

2. THÈME DE RECHERCHES

Détermination des paramètres hydrologiques permettant d'établir un bilan hydrique du lac de Nantua. Mise en évidence d'apports sous-lacustres. Relation pluie-débit.

3. DESCRIPTION DU BASSIN (voir carte topographique et d'équipement)

Situation :

Bassin hydrographique de l'Oignin.
Coordonnées à l'exutoire : 3° 15' E et 46° 10' N.
Altitudes extrêmes du bassin : 475 m à 1 127 m.

Caractères physiques et morphologiques :

Superficie : 50,29 km².
Altitude moyenne : 850 m.
Indice de compacité : 1,77.
Indice de pente global : 34,6 m/km.
Densité de drainage : 0,683.
Réseau hydrographique très haché.
Zone de plateaux faillés entaillés par une cluse.

Géologie (sols) :

Jurassique et crétacé ; perméable, relief karstique.
Sols bruts d'érosion (éboulis).
Sols calcimorphes dits rendzines.

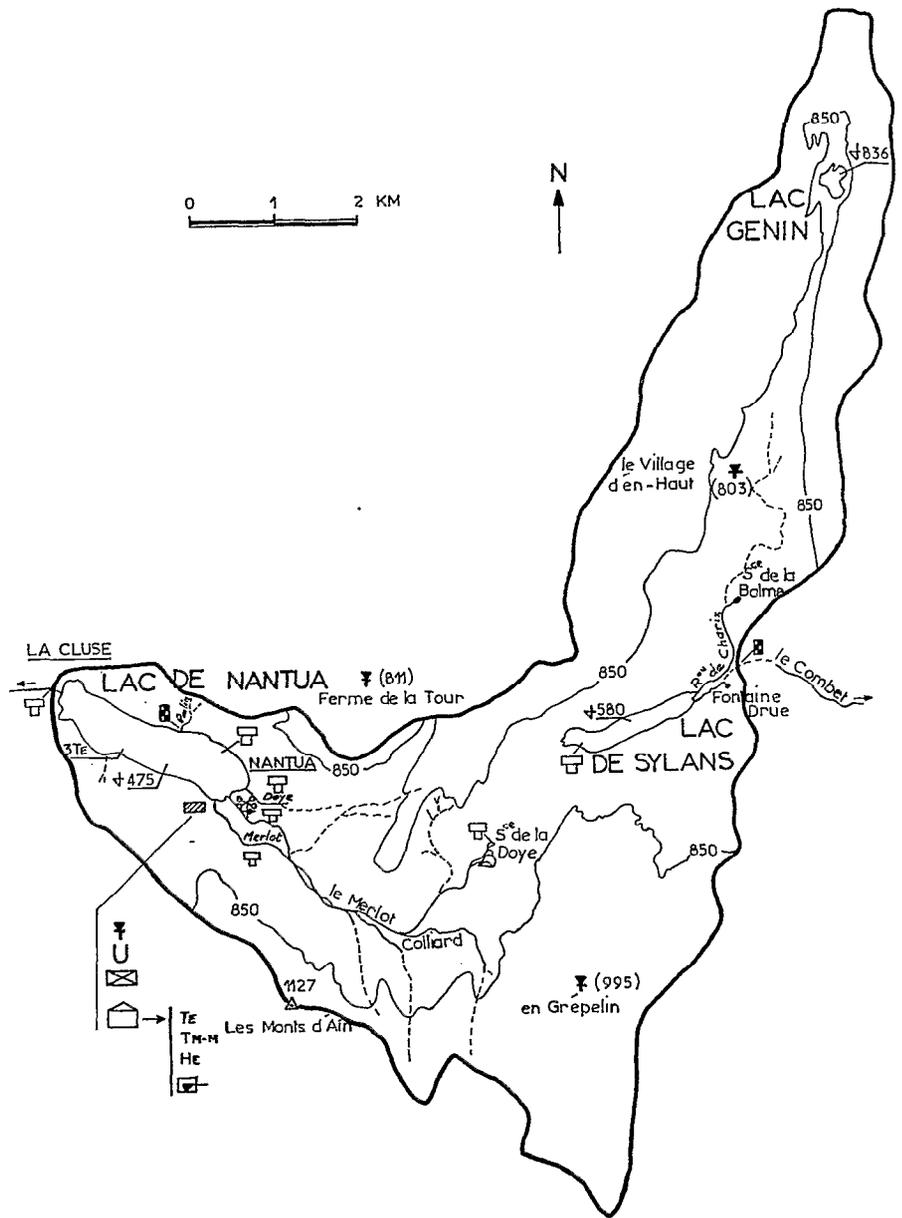
Climat :

Continental à influence océanique.
Températures moyennes mensuelles minima et maxima : — 6,7 °C à 19,7 °C en 1966, à 811 m d'altitude.

Végétation :

28,5% de cultures.
65,3% de forêts.
4,0% de lacs.
2,2% de zone urbaine.

-  Echelle limnimétrique
-  Limnigraphe
-  Déversoir
-  Station de jaugeage volante
-  Source captée
-  Parcelle de ruissellement
-  Piézomètre (+ enregistreur)
-  Tube pour sonde à neutron
-  Puits tensiométrique
-  Thermomètre dans le sol
-  Parc météorologique
-  Abri météorologique
-  Pluviomètre simple
-  Pluviographe
-  Pluviomètre totalisateur
-  Cuve à neige (Table à neige)
-  Case lysimétrique
-  Bac classe « A »
-  Bac Colorado
-  Evaporomètre Piche
-  Anémomètre à compteur
-  Anémomètre enregistreur
-  Girouette enregistreuse
-  Mesure d'ensoleillement
-  Thermomètre simple
-  Thermomètre enregistreur
-  Thermomètre maxi - mini
-  Psychromètre
-  Hygromètre enregistreur
-  Barographe



Bassin versant de Nantua-Sylans - AE 56 19

Équipement :

- 7 stations hydrométriques : seuil naturel.
 4 stations pluviométriques, altitude : 475, 811, 803, 1 000 m.
 1 station météo : — température air,
 — humidité,
 — ensoleillement,
 — vent,
 — pression barométrique,
 — température eau lac 3 niveaux.

4. PRINCIPALES PUBLICATIONS

- ORAND (A.) et GAGNAIRE (J.) - 1969 - Quelques données préliminaires sur l'hydrologie du lac de Nantua. *Bull. Sect. Geog.*, 80, pp. 235-256.
 ORAND (A.) et FEUILLADE (J.) - 1971 - Rapport à l'Agence de Bassin Rhône-Méditerranée-Corse, 7 p.
 FEUILLADE (J.) et ORAND (A.) - 1973 - Étude des apports des rivières dans le lac de Nantua (Ain) (*en préparation*).

5. RÉSULTATS OBTENUS

5.1. QUANTITÉ ET QUALITÉ DES DONNÉES COLLECTÉES

Pluviométrie :

Nous utilisons des pluviographes CERF à augets basculeurs de 2 000 cm² de surface de réception, tambour à rotation hebdomadaire ou à table déroulante. Ces pluviographes ont été répartis sur l'ensemble du bassin (voir carte).

Débitmétrie :

Limnigraphe OTT, type X à rotation hebdomadaire ou mensuelle.

Trois limnigraphes donnent les variations de niveaux des plans d'eaux : lac de Sylans, Résurgence de la Doye, lac de Nantua.

Trois limnigraphes nous renseignent sur les débits des affluents principaux du lac de Nantua : Doye, Merlot Nord, Merlot Sud.

Un limnigraphe enregistre les variations de niveau de la rivière Bras du Lac (BdL) exutoire du lac de Nantua.

Météorologie :

L'étude des paramètres météorologiques principaux (température, ensoleillement, vents, température eau) à proximité du lac de Nantua, peut présenter de l'intérêt pour expliquer certains mécanismes de l'eutrophisation du lac (courants induits par les vents ou par les différences de température de l'eau) (énergie reçue par le plan d'eau). En hydrologie, ces paramètres permettent l'évaluation de la lame d'eau évaporée.

5.2. PROCÉDURES DE TRAITEMENTS ET D'ANALYSES UTILISÉES

— La méthode des déviations résiduelles nous a permis de déterminer douze équations donnant le débit mensuel à l'exutoire du bassin à partir des pluies mensuelles à une station représentative du bassin.

Ces équations sont de la forme :

$$Q_i = A_0 + A_1 P_i + A_2 P_{i-1} + A_3 P_{i-2} + A_4 \sum_{j=3}^{i-6} P_j$$

Nous avons choisi le cas particulier où la loi de composition est linéaire. Chaque pluie intervient de façon linéaire dans le calcul du débit.

Un essai avec une loi de composition non linéaire, dite « à mémoire » du type :

$$Q_i = f_i (P_i \cdot P_{i-1} \cdot P_{i-2} \dots) + f_{i-1} (P_{i-1} \cdot P_{i-2} \dots) + f_{i-2} (\dots)$$

a donné un coefficient de corrélation multiple très faible.

— Le bilan hydrique du lac de Nantua a été déterminé mois par mois, de 1966 à 1972. Son équation est de la forme :

$$I_n m = Q_s - [(P - E) s + (P_1 - e) S + I m - H s]$$

dans laquelle :

- Qs est le débit mensuel à l'émissaire en 10^3 m^3 ,
- (P — E) s le volume correspondant au bilan (pluie-évaporation \times surface du lac), si $E > P$, P — E est pris égal à zéro,
- (P₁ — e) S le volume correspondant au bilan (pluie-évaporation) \times surface du BV direct,
- Im la somme des débits contrôlés en amont du lac,
- H la variation du volume du lac (H > 0 si le niveau augmente),
- In m le débit mensuel non mesuré en 10^3 m^3 .

Compte tenu de la faible importance du facteur évaporation dans l'expression du bilan, l'évaporation a été calculée par la formule de Thornwaithe affectée d'un coefficient de latitude. Cette formule donne des totaux annuels de 580 à 640 mm pour la période 1965-1972. Résultats légèrement plus élevés que ceux obtenus par la formule de Turc. Ces chiffres sont en accord avec ceux déterminés pendant la même période et par la même méthode sur le bassin versant des Blaves, voisin de Thonon.

5.3. DESCRIPTION DÉTAILLÉE

5.3.1. Débit mensuel

Débit mensuel en 10^3 m^3 à l'exutoire d'après les pluies mensuelles en mm à la station représentative du bassin versant.

La station pluviométrique choisie est celle de la Ferme de la Tour (F de T), 811 m. Cette station est située à l'altitude voisine de la moyenne du bassin versant. En 1966, la comparaison entre la lame d'eau moyenne annuelle sur le BV (1 875 m) et la lame d'eau précipitée à la Ferme de la Tour (1 871 m), nous permet de considérer cette station comme représentative.

Nous avons pu disposer des résultats de la Station Pluviométrique Météorologique Nationale placée à Nantua. La série ininterrompue 1949-1968 a été choisie pour établir la valeur de l'année moyenne (col. 1). Les corrélations entre notre poste FdT et celui de la Météorologie Nationale de Nantua, sont faites sur les résultats de quatre années consécutives 1965-1968 (col. 2 et 3). Le coefficient de corrélation entre les valeurs est de 0,93. On peut déduire la pluie mensuelle à la FdT de la pluie à la MN à Nantua, par l'équation :

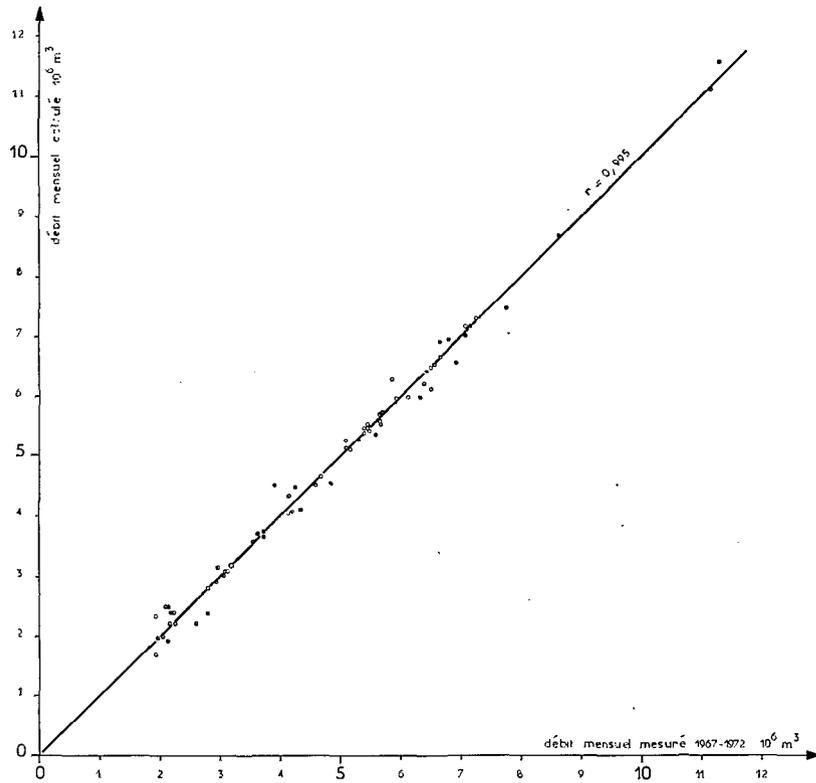
$$\text{FdT mm/mois} = 1,00 \text{ MN Nantua mm/mois} + 32,15.$$

Le coefficient de corrélation entre les points et la droite, est de 0,87.

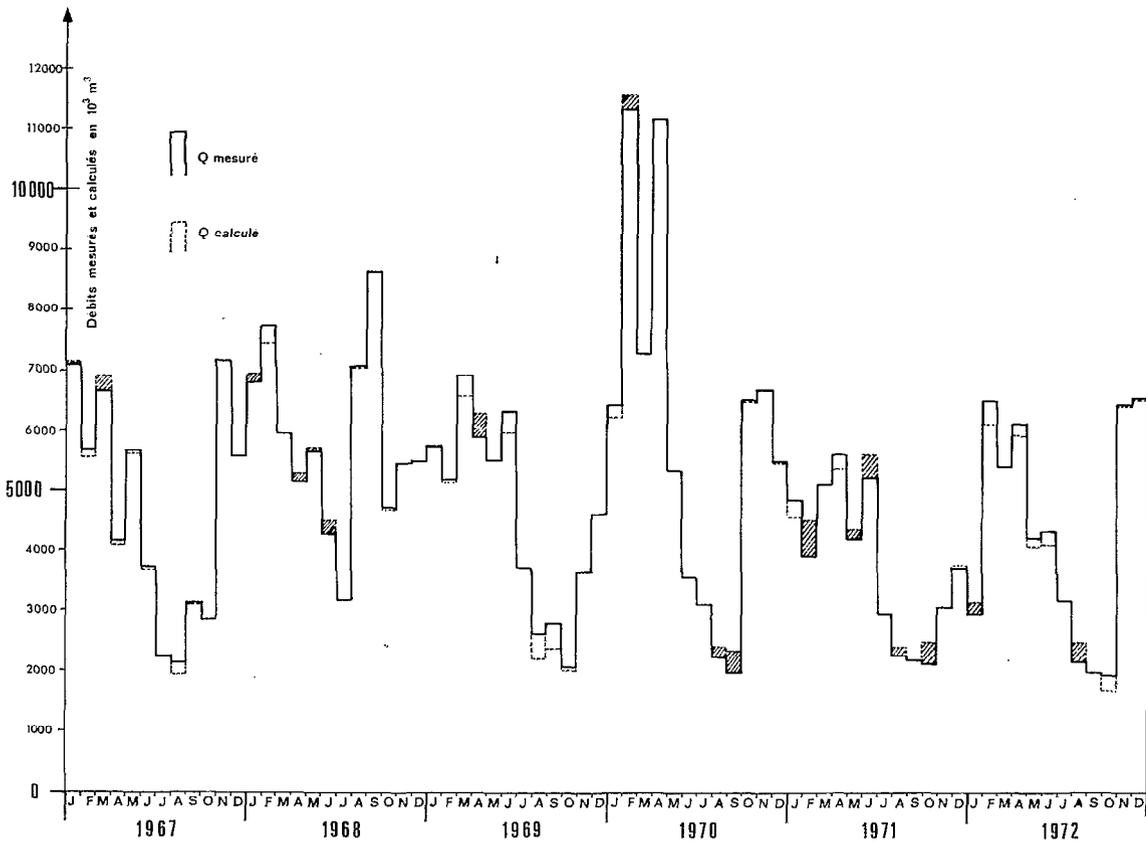
| Mois | Météorologie nationale Nantua moyenne mensuelle (49-68) mm | Météorologie nationale Nantua moyenne mensuelle (65-68) mm | FDT moyenne mensuelle (65-68) mm |
|-----------|---|---|--|
| Janvier | 115,0 | 115,9 | 173,0 |
| Février | 105,3 | 101,1 | 128,9 |
| Mars | 114,3 | 106,2 | 150,8 |
| Avril | 102,3 | 111,7 | 130,5 |
| Mai | 114,0 | 162,0 | 183,5 |
| Juin | 119,7 | 76,3 | 102,3 |
| Juillet | 86,4 | 106,0 | 111,5 |
| Août | 132,7 | 145,3 | 164,0 |
| Septembre | 126,7 | 193,5 | 214,3 |
| Octobre | 110,3 | 92,0 | 109,9 |
| Novembre | 152,1 | 151,8 | 217,9 |
| Décembre | 141,4 | 186,7 | 251,1 |
| Total | 1 420,2 | 1 548,5 | 1 937,7 |

5.3.2. Relations pluie-débit

Entre la station pluviométrique FdT et la station de jaugeage BdL, nous avons établi un ensemble de douze équations mensuelles. Données : résultats pluviométriques mensuels FdT, 1967-1972 ; résultats débitométriques mensuels BdL, 1967-1972.



Nantua. Le bras du lac



Bassin de Nantua-Sylans
Station Bras du Lac 1967-1972

L'ensemble des résultats est consigné dans le tableau I.

TABLEAU I

| | Station FDT | Coefficients affectant les pluies des mois : | | | | | $\sum_{i=3}^{i-6}$ | Station BDL |
|-----------|--|--|----------------|----------------|----------------|----------------|--|--|
| | | i | i - 1 | i - 2 | | | | |
| | Pluie moyenne/mois 1967-1972 mm | A ₀ | A ₁ | A ₂ | A ₃ | A ₄ | Coefficient corrélation multiple | Débit moyen mensuel 1967-1972 10 ³ m ³ |
| Janvier | 136,5 | 7 200 969 | 18 220 | 15 735 | — 19 622 | — 5 253 | 0,984 | 5 639 |
| Février | 157,3 | 3 897 202 | 22 963 | 14 216 | — 1 209 | — 4 220 | 0,980 | 6 715 |
| Mars | 130,7 | 1 024 898 | — 11 629 | 16 395 | — 5 106 | 7 880 | 0,951 | 6 218 |
| Avril | 151,7 | 1 070 744 | 25 083 | — 0 651 | 8 729 | 0 284 | 0,991 | 6 337 |
| Mai | 144,8 | 1 469 432 | 20 410 | 11 135 | — 1 578 | — 1 281 | 0,972 | 5 074 |
| Juin | 162,1 | 539 548 | 15 848 | 14 688 | 2 365 | — 1 777 | 0,930 | 4 566 |
| Juillet | 70,4 | 841 025 | 10 986 | 6 585 | 1 401 | 0 281 | 0,998 | 3 047 |
| Août | 150,2 | — 2 012 450 | 22 481 | 6 494 | 1 295 | 1 795 | 0,979 | 3 082 |
| Septembre | 138,2 | — 2 482 644 | 14 178 | 17 068 | 9 404 | 1 256 | 0,990 | 3 443 |
| Octobre | 99,5 | — 4 971 926 | 20 369 | 11 036 | 1 615 | 8 569 | 0,988 | 3 355 |
| Novembre | 206,0 | — 33 075 871 | 103 783 | 27 987 | 14 377 | 23 390 | 0,999 | 5 408 |
| Décembre | 121,8 | — 17 573 853 | 4 005 | 68 146 | 9 461 | 14 059 | 0,995 | 5 213 |
| Total | 1 669,2 | | | | | | | 58 097 |

La forme générale de la relation pluie - débit est :

$$Q_i = A_0 + A_1 P_i + A_2 P_{i-1} + A_3 P_{i-2} + A_4 \sum_{i=3}^{i-6} P.$$

Exemple. — Le débit du mois de juillet est lié aux pluies des mois de juillet, juin, mai, et à la somme des pluies de janvier à avril, par la relation suivante :

$$Q_{Jt} 10^3 \text{ m}^3/\text{mois} = 841 025 + 10 986 P_{Jt} + 6 585 P_{JN} + 1 401 P_{MI} + 0,281 \sum_{Jt}^{Av} P$$

avec un coefficient de corrélation de 99,8%.

Les coefficients de corrélation mensuels varient de 93,0 à 99,9%.

5.3.3. Bilan hydrique du lac de Nantua

Ces bilans mensuels et annuels ont été dressés pour la période 1966-1972. Les résultats sont consignés dans les quatre tableaux joints en annexe.

Le résultat essentiel est un excédent permanent des sorties sur les entrées totales. La moyenne de cet excédent annuel exprimé en % des débits à l'émissaire, est de 23% pour la période considérée. Il varie de 16% en 1971 à 26,6% en 1969. Pendant le même temps, les apports totaux au lac de Nantua ont varié de 37,7 10⁶ m³ en 1971 à 55,1 10⁶ m³ en 1970, le volume d'eau évacuant le lac passant de 45,1 10⁶ m³ en 1971 à 71,0 10⁶ m³ en 1970.

Les variations des excédents sont plus importantes à l'échelle mensuelle tout en restant toujours positives (à une exception près, très voisine de zéro, pour le mois de septembre 1970). Ces écarts en % du débit mensuel à l'exutoire du lac varient de — 0,3, septembre 1970, à 39,9% en janvier 1970.

Un calcul de régression polynomiale entre les débits mensuels de l'exutoire et le total des entrées donne les résultats suivants :

Coefficient de corrélation entre I total mensuel et QS mensuel sur 84 couples de valeurs : 0,97.

Coefficient de corrélation entre la droite d'équation :

$$QS 10^3 \text{ m}^3/\text{ms} = 311,28 + 1,22 I \text{ tot. } 10^3 \text{ m}^3/\text{ms}$$

et les couples de points : 0,94.

6. CONCLUSIONS

a) Dans le programme de recherche plus général qui a comme ambition la lutte contre l'eutrophisation du lac de Nantua et dans le but de réduire le développement de l'algue *Oscillatoria Rubescens* dans le lac, les éléments du bilan hydrique participent à une meilleure connaissance du milieu. Ces résultats mettent en évidence un apport souterrain probable assez important.

b) Suite à la mise en place du collecteur d'eaux usées ceinturant le lac de Nantua, il s'avère nécessaire, d'évaluer avec plus de précision, ce que ce collecteur soustrait au milieu lacustre et ce qu'il y a lieu de faire pour parachever l'action entreprise pour améliorer l'état du lac.

La fréquence des analyses physicochimiques sur le réseau des rivières est actuellement trop faible pour permettre d'établir avec précision des bilans chimiques mensuels.

Thonon, le 22 novembre 1973.

A. Orand.

Légende des tableaux du bilan hydrique mensuel

| | |
|------------|---|
| (1) Pl | Pluie moyenne sur le lac |
| (2) E | Evaporation d'après Thornwaithe |
| (4) Pbs | Pluie moyenne sur le bassin versant direct du lac |
| (5) Dd | Drainage direct au lac |
| (6) Im | Apport par les rivières |
| (7) et (8) | Variation mensuelle du volume du lac |
| (9) | Volume évacué par l'émissaire |
| (10) Inm | Part non mesurée du bilan |
| (12) I tot | Total des entrées dans le lac |

BILAN HYDRIQUE MENSUEL DU LAC DE NANTUA

| 1966 | Pl mm (1) | E mm (2) | Pl-E 10 ³ m ³ (3) | Pbs mm (4) | Dd 10 ³ m ³ (5) | Im 10 ³ m ³ (6) | VI mm (7) | VI 10 ³ m ³ (8) | Q 10 ³ m ³ (9) | I nm 10 ³ m ³ (10) | I nm/Q % (11) | I tot 10 ³ m ³ (12) |
|-------|-----------------|----------------|---|------------------|---|---|-----------------|---|--|--|---------------------|---|
| J | 125,6 | 8 | 166 | 147,2 | 485 | 5 901 | — 390 | 550 | 7 623 | 521 | 6,8 | 7 102 |
| F | 189,1 | 24 | 233 | 196,8 | 604 | 5 732 | — 90 | 127 | 7 265 | 569 | 7,8 | 6 696 |
| M | 99,6 | 16 | 118 | 115,7 | 347 | 3 486 | 110 | — 155 | 5 099 | 1 303 | 25,5 | 3 796 |
| A | 137,0 | 49 | 124 | 146,9 | 340 | 3 929 | — 200 | 282 | 6 245 | 1 570 | 24,8 | 4 675 |
| M | 125,8 | 78 | 67 | 132,7 | 189 | 3 196 | — 110 | 155 | 5 178 | 1 571 | 30,3 | 3 607 |
| J | 63,7 | 104 | — 57 | 94,8 | 0 | 1 592 | — 30 | 42 | 2 278 | 701 | 30,7 | 1 577 |
| J | 103,2 | 103 | 0 | 112,3 | 31 | 1 747 | — 20 | 28 | 2 919 | 1 113 | 38,1 | 1 806 |
| A | 91,4 | 99 | — 11 | 93,5 | 0 | 1 289 | 10 | — 14 | 1 997 | 733 | 36,7 | 1 264 |
| S | 51,5 | 82 | — 43 | 61,2 | 0 | 1 216 | — 50 | 71 | 2 023 | 779 | 38,5 | 1 244 |
| O | 176,9 | 58 | 168 | 182,6 | 433 | 2 275 | 210 | — 296 | 3 392 | 812 | 23,9 | 2 580 |
| N | 188,8 | 11 | 251 | 205,0 | 677 | 3 467 | 390 | — 550 | 6 113 | 2 268 | 37,1 | 3 845 |
| D | 251,0 | 8 | 343 | 278,3 | 944 | 6 916 | 120 | — 169 | 11 249 | 3 215 | 28,5 | 8 034 |
| Total | 1 603,0 | 640 | 1 359 | 1 767,0 | 4 050 | 40 746 | — 50 | 71 | 61 381 | 15 155 | 24,7 | 46 226 |

BILAN HYDRIQUE MENSUEL DU LAC DE NANTUA

| 1967 | Pl mm (1) | E mm (2) | Pl-E 10 ³ m ³ (3) | Pbs mm (4) | Dd 10 ³ m ³ (5) | Im 10 ³ m ³ (6) | VI mm (7) | VI 10 ³ m ³ (8) | Q 10 ³ m ³ (9) | I nm 10 ³ m ³ (10) | I nm/Q % (11) | I tot 10 ³ m ³ (12) |
|-------|-----------------|----------------|---|------------------|---|---|-----------------|---|--|--|---------------------|---|
| J | 79,5 | 0,0 | 112 | 94,5 | 329 | 4 313 | — 470 | 663 | 7 094 | 1 677 | 23,6 | 5 417 |
| F | 120,0 | 9,1 | 156 | 122,5 | 396 | 3 767 | 230 | — 324 | 5 637 | 1 642 | 29,1 | 3 995 |
| M | 121,4 | 25,3 | 135 | 138,0 | 393 | 4 406 | — 180 | 254 | 6 676 | 1 488 | 22,2 | 5 188 |
| A | 54,6 | 32,7 | 31 | 62,1 | 103 | 2 519 | — 130 | 183 | 4 139 | 1 303 | 31,4 | 2 836 |
| M | 199,7 | 72,9 | 179 | 211,8 | 485 | 3 738 | 150 | — 212 | 5 664 | 1 474 | 26,0 | 4 190 |
| J | 50,8 | 83,8 | — 46 | 54,0 | 0 | 2 319 | — 240 | 338 | 3 724 | 1 113 | 29,8 | 2 611 |
| J | 35,6 | 119,1 | — 118 | 43,5 | 0 | 1 619 | — 40 | 56 | 2 240 | 683 | 30,4 | 1 557 |
| A | 96,9 | 103,7 | — 10 | 104,2 | 2 | 1 543 | — 10 | 14 | 2 140 | 591 | 27,6 | 1 549 |
| S | 147,7 | 68,5 | 112 | 163,6 | 335 | 2 190 | 70 | — 99 | 3 122 | 584 | 18,7 | 2 538 |
| O | 91,4 | 62,0 | 41 | 98,9 | 129 | 1 910 | 120 | — 169 | 2 809 | 898 | 31,9 | 1 911 |
| N | 208,5 | 26,3 | 257 | 221,3 | 680 | 5 657 | 20 | — 28 | 7 176 | 610 | 8,5 | 6 566 |
| D | 109,2 | 0,0 | 154 | 122,4 | 428 | 3 421 | 140 | — 197 | 5 451 | 1 645 | 30,1 | 3 806 |
| Total | 1 315,1 | 603,5 | 1 003 | 1 436,8 | 3 280 | 37 403 | — 340 | 479 | 55 872 | 13 708 | 24,5 | 42 164 |

BILAN HYDRIQUE MENSUEL DU LAC DE NANTUA

| 1968 | Pl mm (1) | E mm (2) | Pl-E 10^3 m^3 (3) | Pbs mm (4) | Dd 10^3 m^3 (5) | Im 10^3 m^3 (6) | VI mm (7) | VI 10^3 m^3 (8) | Q 10^3 m^3 (9) | I nm 10^3 m^3 (10) | I nm/Q % (11) | I tot 10^3 m^3 (12) |
|-------|-----------------|----------------|-----------------------------------|------------------|---------------------------------|---------------------------------|-----------------|---------------------------------|--------------------------------|------------------------------------|---------------------|-------------------------------------|
| J | 194,8 | 1,4 | 273 | 223,1 | 773 | 3 830 | — 80 | 113 | 6 804 | 1 815 | 26,6 | 4 989 |
| F | 113,7 | 14,9 | 139 | 118,4 | 361 | 4 548 | 60 | — 85 | 7 757 | 2 794 | 36,0 | 4 963 |
| M | 70,9 | 28,6 | 60 | 77,1 | 169 | 4 755 | 110 | — 155 | 5 936 | 1 007 | 18,6 | 4 829 |
| A | 93,6 | 52,8 | 58 | 106,0 | 185 | 3 637 | — 100 | 141 | 5 120 | 1 099 | 21,4 | 4 021 |
| M | 168,4 | 70,8 | 138 | 182,3 | 389 | 3 851 | 60 | — 85 | 5 645 | 1 352 | 23,9 | 4 293 |
| J | 97,4 | 99,1 | — 2 | 106,7 | 26 | 2 444 | — 230 | 324 | 4 246 | 1 454 | 34,2 | 2 792 |
| J | 81,4 | 116,5 | — 49 | 92,2 | 0 | 1 895 | — 70 | 99 | 3 147 | 1 202 | 38,1 | 1 945 |
| A | 263,3 | 94,9 | 237 | 293,9 | 694 | 5 321 | 430 | — 606 | 7 087 | 1 441 | 20,3 | 5 646 |
| S | 251,7 | 69,4 | 257 | 265,6 | 684 | 5 560 | — 180 | 254 | 8 627 | 1 872 | 21,6 | 6 755 |
| O | 60,8 | 59,3 | 2 | 65,7 | 22 | 3 445 | — 210 | 2 964 | 4 692 | 927 | 19,7 | 3 765 |
| N | 120,9 | 21,4 | 140 | 133,5 | 391 | 3 838 | 50 | — 71 | 5 413 | 1 116 | 20,6 | 4 297 |
| D | 160,9 | 8,2 | 215 | 185,5 | 618 | 4 576 | 200 | — 282 | 5 450 | 323 | 5,9 | 5 127 |
| Total | 1 678,0 | 637,3 | 1 467 | 1 850,0 | 4 312 | 47 700 | 40 | — 57 | 69 924 | 16 502 | 23,6 | 53 422 |

BILAN HYDRIQUE MENSUEL DU LAC DE NANTUA

| 1969 | Pl mm (1) | E mm (2) | Pl-E 10^3 m^3 (3) | Pbs mm (4) | Dd 10^3 m^3 (5) | Im 10^3 m^3 (6) | VI mm (7) | VI 10^3 m^3 (8) | Q 10^3 m^3 (9) | I nm 10^3 m^3 (10) | I nm/Q % (11) | I tot 10^3 m^3 (12) |
|-------|-----------------|----------------|-----------------------------------|------------------|---------------------------------|---------------------------------|-----------------|---------------------------------|--------------------------------|------------------------------------|---------------------|-------------------------------------|
| J | 107,4 | 7,5 | 141 | 114,1 | 372 | 3 327 | 0 | 0 | 5 714 | 1 874 | 32,7 | 3 840 |
| F | 97,4 | 0 | 137 | 118,3 | 413 | 3 044 | 20 | — 28 | 5 168 | 1 602 | 30,9 | 3 566 |
| M | 126,2 | 23,9 | 144 | 135,5 | 389 | 4 739 | — 180 | 254 | 6 935 | 1 409 | 20,3 | 5 526 |
| A | 130,0 | 39,9 | 127 | 143,4 | 361 | 4 100 | 180 | — 254 | 5 885 | 1 551 | 26,3 | 4 334 |
| M | 134,2 | 82,4 | 73 | 146,9 | 225 | 3 665 | — 180 | 254 | 5 468 | 1 251 | 22,8 | 4 217 |
| J | 207,7 | 83,1 | 176 | 224,3 | 493 | 4 566 | 110 | — 155 | 6 331 | 1 251 | 19,7 | 5 080 |
| J | 76,5 | 118,5 | — 59 | 77,6 | 0 | 2 460 | — 210 | 296 | 3 694 | 997 | 26,9 | 2 697 |
| A | 85,0 | 103,1 | — 25 | 93,8 | 0 | 1 913 | 10 | — 14 | 2 631 | 757 | 28,7 | 1 874 |
| S | 83,1 | 77,8 | 7 | 93,5 | 55 | 1 794 | — 20 | 28 | 2 792 | 908 | 32,5 | 1 884 |
| O | 5,6 | 50,8 | — 64 | 7,9 | 0 | 1 324 | — 30 | 42 | 2 045 | 743 | 36,3 | 1 302 |
| N | 169,2 | 18,9 | 212 | 187,6 | 589 | 2 237 | 130 | — 183 | 3 660 | 805 | 21,9 | 2 855 |
| D | 104,2 | 0 | 147 | 121,4 | 424 | 2 496 | — 50 | 70 | 4 604 | 1 467 | 31,8 | 3 137 |
| Total | 1 326,5 | 605,9 | 1 016 | 1 464,3 | 3 321 | 35 665 | — 220 | 310 | 54 926 | 14 615 | 26,6 | 40 312 |

BILAN HYDRIQUE MENSUEL DU LAC DE NANTUA

| 1970 | Pl mm (1) | E mm (2) | Pl-E 10 ³ m ³ (3) | Pbs mm (4) | Dd 10 ³ m ³ (5) | Im 10 ³ m ³ (6) | VI mm (7) | VI 10 ³ m ³ (8) | Q 10 ³ m ³ (9) | I nm 10 ³ m ³ (10) | I nm/Q % (11) | I tot 10 ³ m ³ (12) |
|-------|-----------------|----------------|---|------------------|---|---|-----------------|---|--|--|---------------------|---|
| J | 41,6 | 4,8 | 52 | 87,9 | 290 | 4 039 | 370 | — 521 | 6 420 | 2 560 | 39,9 | 3 860 |
| F | 261,3 | 4,2 | 362 | 298,5 | 1 027 | 7 653 | 50 | — 70 | 11 330 | 2 358 | 20,8 | 8 972 |
| M | 134,1 | 4,9 | 182 | 159,4 | 539 | 4 673 | — 70 | 98 | 7 280 | 1 788 | 24,6 | 5 492 |
| A | 220,9 | 28,0 | 272 | 251,6 | 780 | 7 784 | — 20 | 28 | 11 167 | 2 303 | 20,6 | 8 864 |
| M | 95,3 | 66,6 | 40 | 96,7 | 105 | 3 355 | — 290 | 408 | 5 308 | 1 420 | 26,8 | 3 888 |
| J | 133,7 | 112,2 | 30 | 140,6 | 99 | 2 642 | 40 | — 56 | 3 538 | 823 | 23,3 | 2 715 |
| J | 77,1 | 111,9 | — 49 | 78,7 | 0 | 2 303 | — 130 | 183 | 3 099 | 662 | 21,4 | 2 437 |
| A | 87,2 | 109,6 | — 31 | 90,2 | 0 | 1 907 | — 30 | 42 | 2 215 | 297 | 13,4 | 1 958 |
| S | 97,4 | 78,6 | 26 | 104,4 | 90 | 1 810 | — 20 | 28 | 1 949 | — 5 | — 0,3 | 1 954 |
| O | 227,4 | 39,8 | 264 | 133,1 | 675 | 4 711 | 140 | — 197 | 6 520 | 1 068 | 16,4 | 5 452 |
| N | 191,4 | 23,9 | 236 | 200,2 | 615 | 4 680 | 190 | — 267 | 6 680 | 1 416 | 21,2 | 5 264 |
| D | 52,7 | 0 | 74 | 79,5 | 277 | 3 578 | — 230 | 324 | 5 486 | 1 233 | 22,5 | 4 253 |
| Total | 1 620,1 | 584,5 | 1 458 | 1 748,8 | 4 497 | 49 115 | 0 | 0 | 70 992 | 15 923 | 22,4 | 55 069 |

BILAN HYDRIQUE MENSUEL DU LAC DE NANTUA

| 1971 | Pl mm (1) | E mm (2) | Pl-E 10 ³ m ³ (3) | Pbs mm (4) | Dd 10 ³ m ³ (5) | Im 10 ³ m ³ (6) | VI mm (7) | VI 10 ³ m ³ (8) | Q 10 ³ m ³ (9) | I nm 10 ³ m ³ (10) | I nm/Q % (11) | I tot 10 ³ m ³ (12) |
|-------|-----------------|----------------|---|------------------|---|---|-----------------|---|--|--|---------------------|---|
| J | 131,0 | 0 | 185 | 135,0 | 471 | 3 454 | 250 | — 352 | 4 842 | 1 085 | 22,4 | 3 757 |
| F | 56,6 | 2,9 | 76 | 61,3 | 203 | 2 619 | — 230 | 324 | 3 885 | 663 | 17,1 | 3 222 |
| M | 122,0 | 0 | 172 | 126,1 | 440 | 3 533 | 100 | — 141 | 5 087 | 1 083 | 21,3 | 4 004 |
| A | 131,2 | 52,6 | 111 | 137,4 | 295 | 4 140 | 120 | — 169 | 5 586 | 1 209 | 21,6 | 4 377 |
| M | 86,3 | 81,0 | 7 | 95,6 | 51 | 2 925 | — 220 | 310 | 4 145 | 852 | 20,6 | 3 293 |
| J | 223,7 | 92,2 | 185 | 236,8 | 504 | 4 020 | 120 | — 169 | 5 222 | 682 | 13,1 | 4 540 |
| J | 25,2 | 121,2 | — 135 | 20,6 | 0 | 2 320 | — 210 | 296 | 2 929 | 448 | 15,3 | 2 481 |
| A | 131,1 | 114,7 | 23 | 136,5 | 76 | 2 028 | 40 | — 56 | 2 252 | 181 | 8,0 | 2 071 |
| S | 62,6 | 73,3 | — 15 | 78,5 | 18 | 1 860 | — 50 | 70 | 2 182 | 249 | 11,4 | 1 933 |
| O | 54,1 | 46,2 | 11 | 71,1 | 87 | 1 817 | — 10 | 14 | 2 123 | 194 | 9,1 | 1 929 |
| N | 121,4 | 6,8 | 161 | 158,5 | 529 | 2 536 | 120 | — 169 | 3 073 | 2 | 0,1 | 3 071 |
| D | 40,5 | 0,9 | 56 | 33,9 | 115 | 2 911 | 40 | — 56 | 3 725 | 699 | 18,8 | 3 026 |
| Total | 1 185,7 | 591,9 | 837 | 1 291,3 | 2 789 | 34 163 | 70 | — 70 | 45 051 | 7 347 | 16,3 | 37 704 |

BILAN HYDRIQUE MENSUEL DU LAC DE NANTUA

| 1972 | Pl mm (1) | E mm (2) | Pl-E 10 ³ m ³ (3) | Pbs mm (4) | Dd 10 ³ m ³ (5) | Im 10 ³ m ³ (6) | VI mm (7) | VI 10 ³ m ³ (8) | Q 10 ³ m ³ (9) | I nm 10 ³ m ³ (10) | I nm/Q % (11) | I tot 10 ³ m ³ (12) |
|--------------|-----------------|----------------|---|------------------|---|---|-----------------|---|--|--|---------------------|---|
| J | 38,8 | 4,9 | 48 | 51,4 | 162 | 2 475 | — 100 | 141 | 2 960 | 134 | 4,5 | 2 826 |
| F | 142,4 | 16,6 | 177 | 148,6 | 461 | 4 396 | 130 | — 183 | 6 518 | 1 667 | 25,5 | 4 851 |
| M | 84,4 | 30,4 | 76 | 85,6 | 193 | 3 937 | — 50 | 70 | 5 395 | 1 119 | 20,7 | 4 276 |
| A | 123,3 | 37,1 | 121 | 131,3 | 329 | 4 219 | 10 | — 14 | 6 128 | 1 473 | 24,0 | 4 655 |
| M | 66,1 | 68,8 | — 4 | 76,0 | 25 | 2 597 | — 20 | 28 | 4 218 | 1 572 | 37,2 | 2 646 |
| J | 120,4 | 88,4 | 45 | 140,8 | 183 | 2 874 | 20 | — 28 | 4 335 | 1 261 | 29,0 | 3 074 |
| J | 68,5 | 112,4 | — 62 | 80,6 | 0 | 2 254 | — 110 | 155 | 3 173 | 826 | 26,0 | 2 347 |
| A | 87,2 | 98,9 | — 16 | 107,4 | 29 | 1 847 | — 20 | 28 | 2 167 | 279 | 12,8 | 1 888 |
| S | 43,7 | 61,2 | — 25 | 52,0 | 0 | 1 665 | — 30 | 42 | 1 986 | 304 | 15,3 | 1 682 |
| O | 78,6 | 47,6 | 44 | 80,6 | 115 | 1 950 | 130 | — 183 | 1 943 | 17 | 0,8 | 1 926 |
| N | 206,2 | 22,7 | 259 | 225,4 | 707 | 4 633 | 110 | — 155 | 6 450 | 1 006 | 15,6 | 5 444 |
| D | 95,5 | 7,7 | 124 | 104,1 | 336 | 4 455 | — 90 | 127 | 6 567 | 1 525 | 23,2 | 5 042 |
| Total | 1 155,1 | 596,7 | 787 | 1 283,8 | 2 540 | 37 302 | — 20 | 28 | 51 840 | 11 183 | 21,5 | 40 647 |

**Résumé des résultats de recherches
sur le bassin versant des Blaves
Code DHI AE 6614**

(E.) Siwertz

1. ORGANISME GESTIONNAIRE

Ministère de l'Éducation nationale, Université de Paris VI, Centre de Recherches Géodynamiques, avenue de Corzent, 74203 Thonon. Tél. 71-10-66.

2. THÈME DE RECHERCHES

Détermination des paramètres hydrométéorologiques, hydrologiques et hydrogéologiques d'un bassin versant de moyenne montagne. Détermination de la recharge et évaluation des temps de renouvellement des formations aquifères.

3. DESCRIPTION DU BASSIN (pages 105 et 106)

Situation :

Bassin hydrographique du Rhône,
Coordonnées à l'exutoire : coordonnées Lambert II, 156,7-918,6, feuille 20 000^e, Thonon, n° 5, IGN.

Caractères physiques et morphologiques :

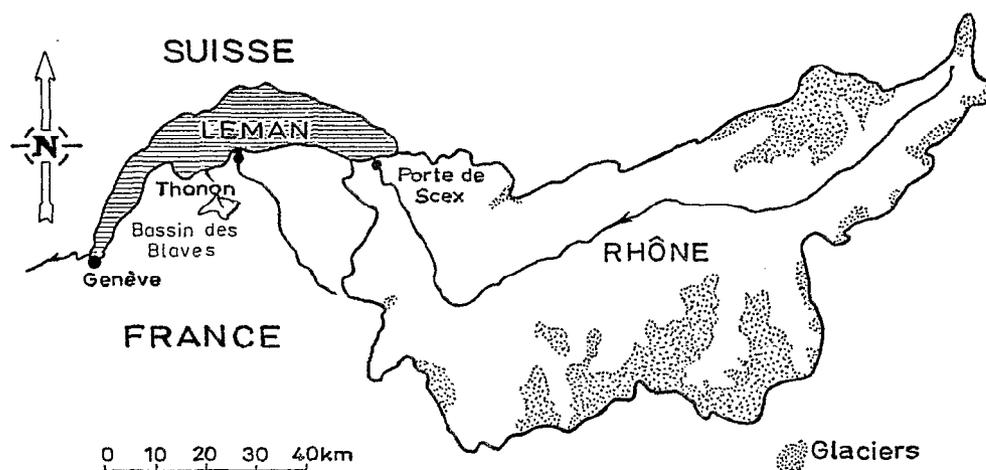
Superficie : 24 km².
Altitudes : maximale, 1 411 m ; moyenne, 710 m ; minimale, 540 m.
Indice de compacité : $K = 1,26$.
Indice de pente : $I_g = 110$ m/km.
Densité de drainage = 1,04.

Géologie (sol) :

Zone frontale des nappes préalpines : grès et calcaires avec un recouvrement quaternaire de 20 à 200 m d'épaisseur.

Sur les formations quaternaires, sols calcimorphes (sols humiques carbonatés) et sols hydromorphes (localement tourbeux).

4 nappes superposées dans les formations quaternaires.

*Climats :*

Moyenne annuelle, période 1966-1973 :

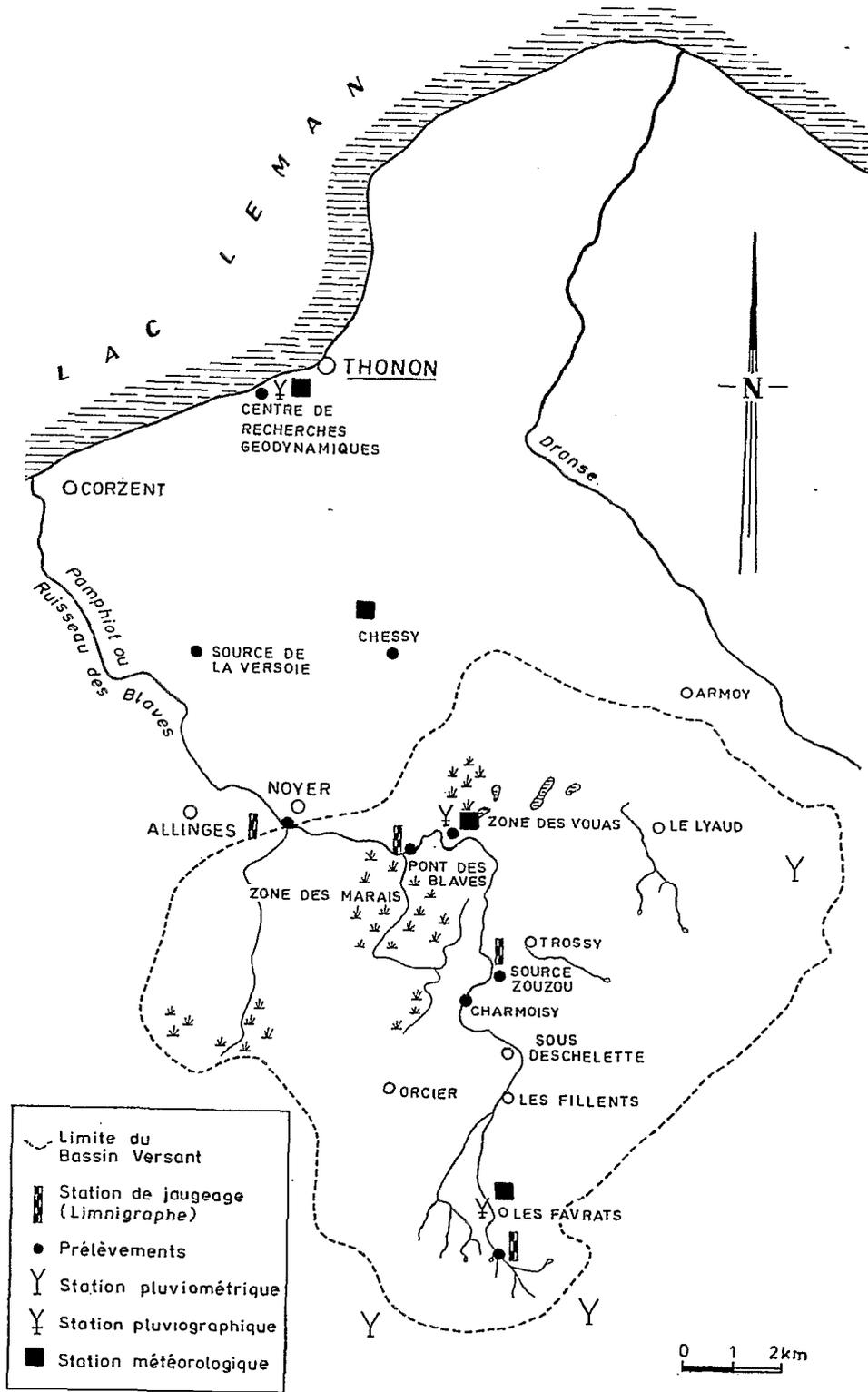
| | | | |
|---------------------------|-------------------------------|----------------------------|---------------------------|
| Station de Thonon (400 m) | Températures | moyenne mensuelle maximale | 22° |
| | | moyenne mensuelle minimale | - 3° |
| | | moyenne annuelle | 9° |
| Station de Thonon (400 m) | Pluviométrie | moyenne 1966-1973 | 800 mm |
| | | année centennale sèche | 615 mm |
| | | année centennale humide | 1 375 mm |
| | | année moyenne | 1 000 mm |
| | Evapotranspiration | potentielle | 610 mm |
| | | réelle (mesurée) | 400 mm |
| | Humidité relative | | 77% |
| | Radiation globale | | 285 cal/j/cm ² |
| Bassin des Blaves | Gradient pluviométrique | (+) | 0,6 mm/m |
| | Gradient thermométrique | (-) | 0,55°/100 m |
| | Gradient d'évapotranspiration | (-) | 0,2 mm/m |

Végétation :

55% forêt conifères et feuillus,
 35% prairies et cultures,
 10% marais.

Équipement actuel (page 106) :

3 stations hydrométriques (limnigraphes sur seuil naturel),
 1 station à déversoir triangulaire,
 4 stations météorologiques (pluviographes, thermographes, évaporomètres, bacs et lysimètres),
 4 postes pluviométriques,
 2 postes piézométriques.
 Tous les appareils à enregistrement hebdomadaire. Période de fonctionnement : continue depuis 1968.



Bassin versant expérimental des Blaves

4. PRINCIPALES PUBLICATIONS

BLANC (P.), DRAY (M.), OLIVE (Ph.) – 1969 – Nouvelles données sur les caractéristiques chimiques et isotopiques des eaux du complexe Quaternaire de la région de Thonon-les-Bains (Haute-Savoie). *Rev. Géogr. Alpine*, 57, 4, pp. 823-830.

BAKALOWICZ (M.), OLIVE (Ph.), SIWERTZ (E.) – 1970 – Sur la position respective des niveaux d'Armoy et du conglomérat des Dranses. *CR Acad. Sc.*, 271, pp. 892-895.

CROUZET (E.), HUBERT (P.), OLIVE (Ph.), SIWERTZ (E.), MARCE (A.) – 1970 – Le tritium dans les mesures d'hydrologie de surface. Détermination expérimentale du coefficient de ruissellement. *Journ. Hydrol.*, 11, pp. 217-229.

DRAY (M.) – 1970 – Etude hydrogéologique du Quaternaire de la région de Thonon (Haute-Savoie). *Thèse*, Paris, 146 p., 111 fig., 31 tabl.

HUBERT (P.), MARCE (A.), OLIVE (Ph.), SIWERTZ (E.) – 1970 – Etude par le tritium de la dynamique des eaux souterraines. *CR Acad. Sc.*, 270, pp. 908-911.

BLAVOUX (B.), DRAY (M.) – 1971 – Les sondages dans le complexe Quaternaire du Bas-Chablais et leurs enseignements stratigraphiques. Leur intérêt pour l'hydrogéologie et l'hydrochimie régionales. *Rev. Géogr. Phys. Géol. Dyn.*, 13, 1, pp. 17-34.

DRAY (M.) – 1971 – Le sondage de Chessy (Haute-Savoie). Contribution nouvelle à la géologie du Quaternaire du Bas-Chablais. *Arch. Sc. Genève*, 24, 1, pp. 57-72.

SIWERTZ (E.) – 1973 – Etude expérimentale par le tritium et l'oxygène-18 de l'infiltration sur les lysimètres et le bassin versant de Thonon. *Thèse*, Paris, t. 1, 170 p., 41 fig., 15 tabl.; t. 2, 121 p., 20 fig., 71 tabl.

SIWERTZ (E.), VIEILLEFON (J.) – Décembre 1972 – Conséquences d'un double mécanisme de l'infiltration sur la minéralisation et la pollution éventuelle des eaux souterraines. Colloque sur la Pollution et la Protection des Eaux de la Région Rhône-Alpes.

5. RÉSULTATS

a) Evaluation quantitative des différents termes du bilan (période 1968-1972) :

$$Q_E + P = ET + Q + Q_s \pm \Delta R$$

| | |
|--|-----------------|
| Q _E = débit souterrain et superficiel vers l'intérieur du bassin | = 0 mm |
| P = précipitations totales | = 1 150 ± 60 mm |
| ET = évapotranspiration | = 330 ± 70 mm |
| Q = débit superficiel global vers l'extérieur du bassin (ruissellement, écoulement à l'étiage, écoulement capté) | = 450 ± 20 mm |
| Δ R = variation des réserves (superficielles) | = - 50 ± 20 mm |
| Q _s = débit souterrain vers l'extérieur du bassin | = 420 ± 170 mm |

Le débit souterrain alimentant les nappes à l'extérieur du bassin est donc de 13 l/s.km², soit du même ordre que le débit d'écoulement superficiel.

b) La dynamique de l'eau sur ce bassin a fait l'objet de la mise au point d'un modèle mathématique utilisant comme programme d'entrée la concentration en tritium E_n de la recharge annuelle (Tableau I) cette concentration a été calculée à partir des précipitations à l'aide d'un modèle de circulation dans la zone non saturée et les résultats confrontés avec des mesures réalisées sur cases lysimétriques.

TABLEAU I
CONCENTRATIONS EN TRITIUM E_n DANS LA RECHARGE SUR LE BASSIN DES BLAVES

| Année | Année |
|-------|----------|
| 1952 | 15 UT |
| 1953 | 20 UT |
| 1954 | 140 UT |
| 1955 | 140 UT |
| 1956 | 70 UT |
| 1957 | 110 UT |
| 1958 | 150 UT |
| 1959 | 200 UT |
| 1960 | 180 UT |
| 1961 | 130 UT |
| 1962 | 210 UT |
| 1963 | 930 UT |
| 1964 | 1 410 UT |
| 1965 | 603 UT |
| 1966 | 267 UT |
| 1967 | 188 UT |
| 1968 | 171 UT |
| 1969 | 187 UT |
| 1970 | 164 UT |
| 1971 | 151 UT |

Le modèle a été réalisé à partir d'une hypothèse de mélange en postulant que les sorties S_n , c'est-à-dire la concentration en tritium à l'exutoire du système aquifère, était une fonction linéaire des entrées E_n . Dans une première approximation, on a considéré que le volume de la recharge était constant d'une année à l'autre.

On peut donc écrire :

$$S_n = a_0 E_n + a_1 E_{n-1} + a_2 E_{n-2} + a_p E_{n-p}$$

soit sous la forme condensée :

$$S_n = \sum_{p=0}^{p=\infty} a_p E_{n-p} \quad \text{avec} \quad \sum_{p=0}^{p=\infty} a_p = 1.$$

De plus, on a été amené à supposer l'homogénéisation des nappes à l'échelle annuelle, ce qui se traduit par la relation :

$$S_n = \alpha E_n + \lambda (1 - \alpha) S_{n-1}.$$

La recharge de teneur E_n se mélange donc à la nappe homogène et de teneur S_{n-1} à la fin de l'année $n - 1$, et ceci dans des proportions respectivement α et $1 - \alpha$, α étant un paramètre compris entre 0 et 1, que nous avons appelé coefficient de recharge. λ est le facteur de décroissance du tritium égal à 0,95 pour un an. Cela nous a conduit à prendre $a_p = \alpha (1 - \alpha)^p$, ce qui satisfait bien la condition :

$$\sum_{p=0}^{p=\infty} \alpha (1 - \alpha)^p = 1.$$

Finalement, et en tenant compte de la décroissance du tritium, les sorties S_n s'expriment en fonction des recharges E_n par la relation :

$$S_n = \sum_{p=0}^{p=\infty} \alpha (1 - \alpha)^p \lambda^p E_{n-p}.$$

Toutes les recharges antérieures déterminent l'état de la nappe, mais cette influence est pondérée par $\alpha (1 - \alpha)^p$ qui diminue rapidement.

On obtient ainsi une série de valeur théorique de S_n (Tableau II) qu'il est aisé de comparer aux concentrations moyennes annuelles effectivement mesurées dans l'aquifère.

Sur le tableau ci-dessous figurent les résultats de cette comparaison pour deux systèmes aquifères du bassin des Blaves. Le sous-bassin de Charmoisy (5,7 km²) mesuré à l'exutoire et la nappe superficielle de la Versoie.

| Année | Valeurs calculées en UT * $\alpha = 0,4$ | Versoie en UT | Valeurs calculées en UT $\alpha = 0,35$ | Charmoisy en UT |
|-------|--|------------------|---|--------------------|
| 1965 | 714 | 709 | 677 | — |
| 1966 | 514 | 447 | 511 | — |
| 1967 | 368 | 365 | 382 | — |
| 1968 | 278 | 292 | 296 | 282 |
| 1969 | 233 | 235 | 248 | 256 |
| 1970 | 199 | 216 | 210 | 207 |
| 1971 | 174 | 198 | 183 | 174 |

* L'Unité Tritium correspond à une concentration d'un atome de tritium pour 10¹⁸ atomes d'hydrogène.

Les résultats de l'ensemble du bassin (p. 110) indiquent un coefficient de corrélation de 0,90. Près de 1 000 analyses isotopiques ont été réalisées.

Implication du modèle :

— La hauteur d'eau de la recharge annuelle doit être constante d'une année à l'autre. C'est généralement le cas sous nos latitudes.

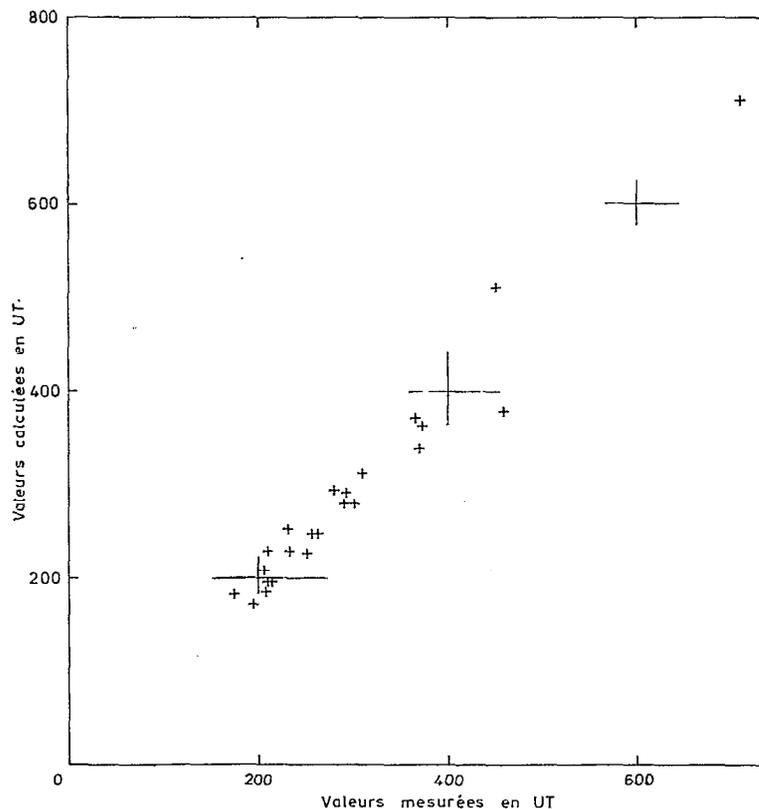
— Tout se passe comme si les eaux d'infiltration se mélangeaient à des nappes elles-mêmes homogènes. Il est évident que la réalité est plus complexe, mais à l'échelle annuelle et sur un bassin bien circonscrit, la dynamique réelle des eaux souterraines est plus proche de ce modèle que des circulations de « type piston ».

TABLEAU II
CONCENTRATIONS EN TRITIUM S_n CALCULÉES EN FONCTION DE α COEFFICIENT DE RECHARGE

| Année | 0,05 | 0,10 | 0,15 | 0,20 | 0,25 | 0,30 | 0,35 | 0,40 | 0,45 | 0,50 |
|-------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|
| 1952 | 15 | 15 | 15 | 15 | 15 | 15 | 15 | 15 | 15 | 15 |
| 1953 | 15 | 15 | 15 | 15 | 16 | 16 | 16 | 17 | 17 | 17 |
| 1954 | 20 | 27 | 33 | 40 | 46 | 53 | 59 | 65 | 72 | 78 |
| 1955 | 25 | 37 | 48 | 58 | 68 | 77 | 85 | 93 | 101 | 107 |
| 1956 | 26 | 38 | 49 | 58 | 66 | 72 | 77 | 81 | 84 | 86 |
| 1957 | 29 | 44 | 56 | 66 | 74 | 81 | 86 | 90 | 93 | 96 |
| 1958 | 34 | 53 | 68 | 80 | 91 | 99 | 106 | 111 | 116 | 121 |
| 1959 | 41 | 65 | 85 | 101 | 115 | 126 | 135 | 144 | 151 | 157 |
| 1960 | 46 | 73 | 95 | 113 | 127 | 138 | 147 | 154 | 160 | 165 |
| 1961 | 48 | 76 | 97 | 112 | 123 | 131 | 136 | 140 | 142 | 143 |
| 1962 | 53 | 86 | 109 | 127 | 140 | 150 | 157 | 164 | 169 | 173 |
| 1963 | 95 | 166 | 228 | 282 | 332 | 379 | 423 | 465 | 507 | 547 |
| 1964 | 156 | 283 | 396 | 497 | 589 | 675 | 755 | 829 | 899 | 965 |
| 1965 | 171 | 302 | 410 | 498 | 571 | 630 | 677 | 714 | 741 | 760 |
| 1966 | 168 | 285 | 371 | 432 | 473 | 499 | 511 | 514 | 507 | 494 |
| 1967 | 161 | 263 | 328 | 366 | 384 | 388 | 382 | 368 | 350 | 329 |
| 1968 | 154 | 242 | 290 | 312 | 316 | 309 | 296 | 278 | 260 | 242 |
| 1969 | 148 | 225 | 262 | 275 | 272 | 262 | 248 | 233 | 220 | 208 |
| 1970 | 142 | 209 | 237 | 242 | 235 | 223 | 210 | 199 | 189 | 181 |
| 1971 | 135 | 194 | 214 | 214 | 205 | 194 | 183 | 174 | 167 | 161 |

TABLEAU II (suite)
CONCENTRATIONS EN TRITIUM S_n CALCULÉES EN FONCTION DE α COEFFICIENT DE RECHARGE

| Année | 0,55 | 0,60 | 0,65 | 0,70 | 0,75 | 0,80 | 0,85 | 0,90 | 0,95 |
|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| 1952 | 15 | 15 | 15 | 15 | 15 | 15 | 15 | 15 | 15 |
| 1953 | 17 | 18 | 18 | 18 | 19 | 19 | 19 | 19 | 20 |
| 1954 | 84 | 91 | 97 | 103 | 109 | 116 | 122 | 128 | 134 |
| 1955 | 113 | 118 | 123 | 127 | 131 | 134 | 136 | 138 | 139 |
| 1956 | 87 | 87 | 86 | 85 | 84 | 81 | 79 | 76 | 73 |
| 1957 | 98 | 99 | 100 | 101 | 102 | 103 | 105 | 106 | 108 |
| 1958 | 124 | 128 | 131 | 134 | 137 | 140 | 142 | 145 | 148 |
| 1959 | 163 | 169 | 174 | 178 | 182 | 187 | 190 | 194 | 197 |
| 1960 | 169 | 172 | 175 | 177 | 178 | 179 | 180 | 180 | 180 |
| 1961 | 144 | 143 | 143 | 141 | 140 | 138 | 136 | 134 | 132 |
| 1962 | 177 | 180 | 184 | 187 | 191 | 194 | 198 | 202 | 206 |
| 1963 | 587 | 627 | 666 | 704 | 743 | 781 | 819 | 856 | 893 |
| 1964 | 1 026 | 1 084 | 1 138 | 1 188 | 1 234 | 1 276 | 1 315 | 1 350 | 1 382 |
| 1965 | 770 | 774 | 770 | 761 | 745 | 725 | 700 | 671 | 638 |
| 1966 | 476 | 454 | 430 | 404 | 377 | 351 | 327 | 304 | 284 |
| 1967 | 307 | 285 | 265 | 247 | 231 | 217 | 206 | 198 | 192 |
| 1968 | 225 | 211 | 199 | 190 | 183 | 178 | 175 | 173 | 172 |
| 1969 | 199 | 192 | 188 | 185 | 184 | 183 | 184 | 185 | 186 |
| 1970 | 175 | 172 | 169 | 168 | 167 | 166 | 166 | 165 | 165 |
| 1971 | 158 | 156 | 154 | 153 | 153 | 152 | 152 | 152 | 151 |



Comparaison entre les concentrations en tritium mesurées et calculées
Bassin versant des Blaves (période 1968-1971)

Application :

La connaissance de l'âge moyen T des eaux souterraines permet d'évaluer le volume d'eau V , intervenant dans les circulations à l'échelle du bassin, c'est-à-dire les réserves dynamiques du bassin.

Le coefficient de recharge α étant compris entre 0,35 et 0,4, l'âge moyen de l'eau calculé par la relation $T = \frac{2 - \alpha}{2 \alpha}$ est égal à environ deux ans.

La recharge annuelle dv étant de 820 ± 130 mm, la relation $T = \frac{V}{dv}$ permet de calculer V qui est donc de $1\ 800 \pm 290$ mm, soit pour l'ensemble du bassin, $43.10^6 \pm 6.10^6$ m³.

Les hypothèses de circulation avancées supposent des relations spatiales bien définies entre les différentes formations aquifères. Ces relations ont été vérifiées par l'analyse des concentrations en oxygène-18 dans les précipitations (à Thonon) et dans l'eau des divers aquifères du bassin. On met ainsi en évidence deux relations :

$$\delta^{18} O = 0,55 t - 13,8 \text{ (précipitations),}$$

$$\delta^{18} O = - 0,0025 h - 8,1 \text{ (eau souterraine),}$$

où $\delta^{18} O$ est la concentration en oxygène-18 de l'eau exprimé en ‰ d'écart par rapport au standard international SMOW, t est la température en degré C, et h l'altitude en mètres.

La comparaison entre les concentrations mesurées dans les pluies et dans les eaux souterraines fait apparaître un enrichissement de 0,5 à 1‰ dû aux processus d'évapotranspiration, phénomène confirmé par les mesures réalisées sur les lysimètres du Centre de Recherches Géodynamiques.

Ces relations permettent de calculer simplement l'altitude moyenne de l'aire d'alimentation d'une formation aquifère.

Développement prévu :

— Les mesures hydrométéorologiques se poursuivent sur le bassin dans le but d'améliorer la connaissance du bilan,

— Une étude de l'évolution en fonction du temps de la qualité chimique durant l'infiltration et le transit souterrain de séjour est en cours.

Thonon, le 28 janvier 1974.

E. SIWERTZ.

Résumé des résultats de recherches sur le bassin versant de l'Eyre, (sous-bassin du Bouron, Gironde)

1. ORGANISME GESTIONNAIRE

Centre d'Hydrogéologie de l'Université de Bordeaux I, avenue des Facultés, 33405 Talence et Service Régional d'Aménagement des Eaux d'Aquitaine.

2. THÈMES DE RECHERCHES

Détermination des paramètres et établissement des bilans hydrologiques et hydrogéologiques sur un bassin considéré comme représentatif de l'ensemble du massif sableux des Landes de Gascogne.

3. DESCRIPTION DU BASSIN

Situation :

Bassin du Bouron, affluent de droite de l'Eyre, à l'amont du Moulin du Moine ($x = 352,69$; $y = 245,23$; $z = 25,3$).

Caractères physiques et morphologiques :

Superficie : 30,75 km².

Altitude moyenne : 62,5 m.

Indice de compacité : 1,28.

Indice de pente : 3,00 m/km.

Densité de drainage : 1,45.

Réseau hydrographique convergent, à écoulements temporaires, sauf pour le collecteur principal.

Relief très adouci de plateaux sableux. Versant de raccordement au ruisseau principal.

Géologie (sols) :

Formation quaternaire du sable des Landes, avec quelques lentilles argileuses peu profondes.

Podzols plus ou moins hydromorphes à alios sur 95% de la superficie.

Nappe phréatique peu profonde, permanente.

Climat :

Tempéré océanique.

Températures extrêmes : 32° à — 4 °C; moyenne : 12 °C.

Précipitations annuelles : 1'200 mm.

Végétation :

Forêt de pins maritimes.

Rares et petites zones de cultures.

Équipement :

- 3 stations hydrométriques à déversoir :
 - Moulin du Moine : depuis 1967,
 - Pinot : novembre 1968 à mars 1970,
 - Ambeliet : novembre 1968 à mars 1970.
- 3 pluviographes : février 1969 à avril 1970.
- 2 thermographes : février 1969 à avril 1970.
- 1 station humidimétrie et tensiométrie : janvier 1972 à janvier 1973.

4. PRINCIPALES PUBLICATIONS

- CASENAVE (A.) – 1970 – Contribution à l'étude de l'alias. Thèse 3^e cycle, Bordeaux, 200 p., 22 pl.
- HOSTEINS (B.) – 1971 – Etude des principaux paramètres hydrologiques du bassin du Bouron. Ecoulements de surface. Evapotranspiration, Géochimie (Méthode des Chlorures). Thèse 3^e cycle, Bordeaux, 240 p., 33 pl.
- SAINTE-MARTIN (H.) – 1973 – Etude journalière *in situ* du bilan hydrique au-dessus d'une nappe phréatique. Thèse Docteur-Ingénieur, Bordeaux, 170 p., 25 fig.

5. RÉSULTATS OBTENUS

Pédologie :

L'étude pédologique détaillée du bassin, associée à l'observation des variations d'humidité dans la zone non saturée et des fluctuations du niveau de la nappe phréatique tend à montrer que celle-ci joue un rôle primordial dans la migration de l'alumine et surtout du fer. L'alias à faible profondeur joue un rôle important sur l'infiltration et favorise l'évapotranspiration.

Ruissellement :

Le ruissellement vrai ou hypodermique peut être considéré comme négligeable. L'eau drainée par les fossés est celle de la partie superficielle de la nappe phréatique et représente environ la moitié du débit du cours d'eau à l'exutoire.

Evapotranspiration et bilan :

Le bilan général par la méthode des chlorures est en accord avec le bilan établi par les méthodes classiques. Au droit d'une station de mesures détaillées dans la zone non saturée, il a été possible d'évaluer les parts respectives de l'évapotranspiration et de l'alimentation de la nappe.

Les données détaillées concernant le comportement de la nappe, n'ont pas encore été élaborées.

Résumé des résultats de recherches sur le bassin de Miélan

(P.) Mutin et (A.) Carrière

1. ORGANISME GESTIONNAIRE

Compagnie d'Aménagement des Côteaux de Gascogne, GERSAR, 685, route d'Arles, BP 4001, 30001 Nîmes.

2. THÈMES DE RECHERCHES

L'objectif de la recherche vise à résoudre, uniquement à partir des séries de données climatiques, les problèmes posés par la prévision des ressources en eau et plus généralement, par toutes formes de prévision hydrologique.

Le modèle de simulation des écoulements, basé sur l'analyse physique des mécanismes du cycle de l'eau aux différents stades intermédiaires, sera calé sur le régime non saturé.

Nous avons donc été amenés à étudier le « réservoir sol » ici de nature argileuse, quant à son influence sur le rendement du ruissellement et plus généralement sur l'évolution du cycle de l'eau.

L'hypothèse de travail retenue, attribue un rôle fondamental au milieu non saturé et en particulier à l'état de saturation du sol quant à la formation et à l'évolution des écoulements.

Le plan de travail qui en découle, a été le suivant :

1^{re} phase : utilisation des données existantes au début des travaux (recueillies en 1966-1967 et 1967-1968) pour l'étude des deux relations principales devant former l'ossature du modèle :

— Etude des processus d'évolution des stocks d'eau en fonction des états climatologiques antérieurs,

— Etude des relations entre le coefficient du ruissellement et la teneur en eau des sols avec détermination de la tranche efficace de sol à prendre en compte dans cette relation.

2^e phase : affinage des relations précédemment établies en particulier par l'extension du champ de l'étude aux mesures des années 1968-1969 et 1969-1970.

3^e phase : établissement et calage du modèle définitif. Reconstitution des écoulements observés, analyse des écarts.

Des liaisons de travail extrêmement régulières se sont établies avec le « groupe eau » du service de Radioagronomie du Centre d'Études Nucléaires de Cadarache, pour tout ce qui concerne l'étalonnage et le dépouillement des mesures neutroniques de l'humidité du sol. Les programmes de traitement mis au point par notre équipe, ont été laissés, au CNEG, à la disposition d'utilisateurs éventuels.

Dans le cadre de ses liaisons, une réflexion commune a pu se développer sur des possibilités nouvelles de certaine adaptation de la méthode neutronique pour l'analyse du milieu non saturé.

Des liaisons nombreuses et efficaces, ont été aussi établies avec l'Institut de Mécanique des Fluides de Toulouse.

Enfin nous avons pu recentrer nos travaux par rapport à l'ensemble de ce qui était fait, dans le même domaine ou dans des domaines voisins par d'autres laboratoires à l'occasion des réunions trimestrielles du groupe d'études « du milieu non saturé » organisées par le Secrétariat Permanent pour l'Études des Problèmes de l'Eau.

3. DESCRIPTION DU BASSIN

Le bassin versant de Miélan (Gers) a une superficie de 10,2 km². Il a la forme schématique d'un rectangle orienté sud-nord. L'altitude varie de 380 à 240 m.

La couverture végétale comprend 14% de surfaces boisées, 76% de surfaces agricoles et 10% de surfaces nues.

La géologie du bassin est représentative d'une vaste région de piedmont pyrénéen.

Le substratum molassique du Miocène continental est recouvert, en particulier sur le versant occidental, par des alluvions anciennes, des colluvions diverses et des limons soliflués.

Ces dépôts récents se composent, de bas en haut, d'un banc plus ou moins continu de galets et de graviers, d'un mètre d'épaisseur, surmonté de 7 m de limons argileux.

Les écoulements souterrains s'organisent en une nappe captive de côteaux et une nappe alluviale de vallée. La température moyenne annuelle est de l'ordre de 12 °C, les précipitations annuelles sont de l'ordre de 885 mm.

Le bassin versant est pourvu de :

- 1 station de jaugeages et d'enregistrement limnimétriques,
- 2 stations climatologiques,
- 1 réseau de 23 pluviomètres totalisateurs,
- 1 réseau de 23 piézomètres,
- 1 réseau de 25 postes de mesure neutronique de l'humidité des sols,
- 1 puits de mesure des pressions interstitielles des sols.

4. PRINCIPALES PUBLICATIONS

GASCOGNE (C. A. C.) – novembre 1969 – Etude des mouvements de l'eau dans un sol argileux (bassin de Miélan), DGRST, 17 p.

MUTIN (P.), CARRIÈRE (A.) – Calage sur le régime non saturé d'un modèle mathématique de simulation des écoulements d'un bassin versant. CAGG pour DGRST, 2 tomes.

5. RÉSULTATS OBTENUS

5.1. ÉTUDE DES PROCESSUS D'ÉVOLUTION DES STOCKS D'EAU EN FONCTION DES ÉTATS CLIMATOLOGIQUES ANTÉRIEURS

a) *Etat hydrique du sol :*

L'intérêt de la méthode neutronique pour la mesure de l'humidité des sols réside essentiellement, dans le caractère rapide et non destructif des opérations. Celles-ci, peuvent être répétées au même endroit à des époques différentes. Cette technique est particulièrement bien adaptée à l'étude de l'évolution dans le temps des humidités et des stocks d'eau.

L'étalonnage de l'humidité neutronique, a été abordé sur le plan expérimental (comparaison entre la valeur donnée par la sonde et la valeur trouvée par l'analyse le même jour) et sur le plan théorique (détermination théorique du taux de comptage de l'appareil).

b) *Etude de la désaturation des sols en fonction des états climatologiques antérieurs en l'absence d'épisodes pluvieux :*

Sur l'ensemble des quatre années de mesure, il a été mis en évidence, une quarantaine d'épisodes secs dont la durée varie de trois à quinze jours.

L'analyse de ces épisodes a montré que le débit de désaturation est de la forme :

$$\frac{E}{\theta} = \alpha S + \beta$$

où E est le débit de désaturation moyen journalier de l'épisode en mm/jour.

θ est la moyenne des températures moyennes journalières en °C,

α et β des coefficients qui dépendent de la tranche de sol considérée.

5.2. ÉTUDE DE LA RELATION EXISTANT ENTRE COEFFICIENT DE RUISSELLEMENT ET HUMIDITÉ DU SOL

a) *Etude de la répartition spatiale de la pluie :*

Les valeurs des 23 pluviomètres totalisateurs ont permis d'évaluer, la pluie moyenne tombée sur le bassin. Différentes méthodes ont été essayées.

b) *Calcul du coefficient de ruissellement :*

La séparation des écoulements a été faite par la méthode classique des trois droites.

c) *Détermination de la relation entre le coefficient de ruissellement et la teneur en eau du sol :*

Nous avons mis en corrélation, le coefficient de ruissellement et le stock d'eau du sol immédiatement antérieur à l'épisode considéré.

Tous les points représentatifs s'alignent autour d'une droite dont les coefficients changent avec la tranche de sol considérée.

C'est la tranche 0-40 cm qui donne la meilleure corrélation :

$$CR = 0,373 S - 50,266 \quad (r = 0,930).$$

5.3. ETUDE DE LA RESATURATION AU COURS D'UN ÉPISODE PLUVIEUX

Cette loi établie sur une vingtaine d'épisodes pluvieux est de la forme :

$$\frac{DS}{P} = \alpha S + \beta$$

où DS est l'augmentation de stock en mm/jour,

P la pluie totale tombée sur le bassin en mm,

α et β des coefficients.

5.4. ÉTABLISSEMENT DU MODÈLE ET RECONSTITUTION DES DÉBITS OBSERVÉS

a) *Le modèle :*

Il est basé sur l'équation du bilan :

$$P = \text{EVAP} + \text{DS} + \text{R} + \text{I}$$

où P est la pluie,

EVAP est l'évaporation,

DS est l'augmentation de l'humidité du sol,

R est le ruissellement (lame d'eau équivalente),

I est l'apport à la nappe,

le tout en mm.

b) *Reconstitution des débits observés :*

Il y a correspondance intégrale entre les épisodes de crue reconstitués par le calcul et ceux effectivement observés.

Par contre, la corrélation dans le temps des écoulements mesurés et calculés, montre un net déphasage qui est dû au fait que le modèle utilisé ne fait intervenir aucune constante de temps : le ruissellement a lieu immédiatement le jour de la pluie.

6. CONCLUSION

Cette étude aura permis de dégrossir le problème mal connu de l'infiltration de l'eau dans le sol.

De plus, le modèle « pluie-débit » qui a été conçu grâce à cette étude, peut être d'ores et déjà applicable directement, bien qu'il n'ait été calé que sur le bassin versant représentatif et que son pouvoir d'extrapolation à un bassin plus grand reste encore à être démontré.

Si on s'en tient à une estimation globale des ruissellements, le modèle donnera des résultats très acceptables, mais il ne faudrait pas vouloir descendre à une échelle inférieure à l'épisode de crue.

Les points les plus délicats de cette étude ont été :

- La répartition spatiale de la pluie,
- La détermination correcte du ruissellement,
- Le calcul de la resaturation sous une averse.

Ces différents points pourraient être étudiés avec plus de précision, grâce à des techniques plus évoluées que celles utilisées dans cette étude, notamment le problème de la répartition spatiale de la pluie, grâce à l'emploi de méthodes statistiques d'interpolation.

La prochaine étude que le GERSAR doit entreprendre dans le cadre du Secrétariat Permanent pour l'Étude des Problèmes de l'Eau est justement l'étude plus précise de ces différents points en prenant notamment une échelle de temps beaucoup plus petite.

P. MUTIN et A. CARRIÈRE.

**Résumé des résultats de recherches
sur le bassin représentatif de la Bruche
(Alsace, France)**

1. ORGANISME GESTIONNAIRE

Université Louis-Pasteur de Strasbourg, Centre de Géographie Appliquée (LA n° 95 du CNRS), Section Hydrologie, 43, rue Gœthe, 67000 Strasbourg.

2. THÈME DE RECHERCHES

- Détermination du seuil d'apparition du ruissellement et variation du coefficient de ruissellement en fonction de l'état de saturation du sol et des valeurs de pente,
- Transports solides liés aux débits.

3. DESCRIPTION DU BASSIN

Situation :

Bassin hydrographique du Rhin (sous-bassin de l'III).
Coordonnées à l'exutoire : 7° 42' 48" E ; 48° 34' N.

Caractères physiques et morphologiques (Géologie) :

- Ensemble du bassin de la Bruche :
Superficie : 740 km².
Altitude moyenne : 400 m.
Indice de compacité : 1,55.
Indice de pente global : 11,4 m/km.
Densité de drainage : 0,99.
Géologie : Grès 30,5% ; Granite-Cristallins 15,7% ; Schistes-Grauwackes 14,2% ; Rhyolites 4,1% ; Calcaires-Marnes 9,9% ; Alluvions et Loess 25,6%.
- Sous-bassins emboîtés :

| | | Rothaine | Halle | Basse de Russ | Haute Mossig |
|------------------------|--------------------|----------|-------|---------------|--------------|
| Superficie | (km ²) | 7,5 | 2,9 | 8,3 | 10,3 |
| Indice de compacité | | 1,1 | 1,1 | 1,3 | 1,4 |
| Indice de pente global | m/km | 142 | 226,0 | 90,0 | 76,0 |
| Densité de drainage | | 1,3 | 1,3 | 1,4 | 0,9 |
| Altitude moyenne | m | 880,0 | 740,0 | 660,0 | 710,0 |
| Géologie | Grès | | 26,5% | | 100% |
| | Granite | 75% | | 74% | |
| | Schiste | 25% | 73,5% | 26% | |

Climat :

Type tempéré océanique.

Températures extrêmes sur 30 ans à Strasbourg : — 23°, + 37°.

Précipitations cycloniques l'hiver ; de convection l'été. Moyenne annuelle : 1 276 mm (Rothau).

Végétation :

— Ensemble du bassin :

Vallée : Forêt prédominante (Conifères, Feuillus), Prés et friches.

Plaine : Cultures diverses.

— Sous-bassins emboîtés :

Forêt (Conifères, Feuillus ou mixte), de 90 à 98% selon les bassins,

Prés et friches, les 2 à 10% restants.

Equipement :

a) *Hydrométrie :*

— sur les drains principaux :

4 stations hydrométriques sur la Bruche (dépendant du SRAE Alsace ou du CGA (station de Mutzig),

1 station sur la Mossig aval (SRAE Alsace).

— Pour les bassins emboîtés :

1 station par affluent avec déversoir sommaire et limnigraphe.

b) *Pluviométrie :*

— pour l'ensemble du bassin : pluviomètres du réseau Météo + pluviomètres additionnels gérés par le CGA,

— Pour les bassins emboîtés, 6 pluviographes au total.

c) *Abris météorologiques :*

1 ou 2 abris par bassin emboîtés, équipés de thermographe, hygrographe, Piche.

Conditions de fonctionnement du réseau :

Période de fonctionnement des appareils variable, d'octobre 1965 à novembre 1973 (du fait de la réalisation progressive de l'équipement),

Réseau visité hebdomadairement,

Personnel affecté au réseau : deux personnes.

4. PRINCIPALES PUBLICATIONS

HIRSCH (F.) — 1965 — Recherches sur le bassin de la Bruche. Une méthode d'analyse hydrologique. *Bull. Fac. Lettres de Strasbourg*, pp. 287-299.

HIRSCH (F.) — 1967 — Bassin représentatif de la Bruche. Intensité des pluies dans le bassin. *Bull. Fac. Lettres de Strasbourg*, pp. 443-456.

MAIRE (G.), SCHERER (J.-C.) — 1970 — Application de la méthode des traceurs radioactifs pour l'étude des transports de galets par la Bruche à Urmatt. *Bull. Fac. Lettres de Strasbourg*, pp. 289-298.

BAUMERT (A.) — 1971 — Etude du comportement hydrologique des bassins de la Rothaine et de la Haute-Mossig. Mémoire de Maîtrise, ronéo. CSA, Strasbourg, 153 p.

VINVENT (M.) — 1972 — Analyse comparée de quelques hydrogrammes de ruissellement dans le bassin de la Bruche. *Rev. Géogr. de l'Est*, pp. 69-87.

5. RÉSULTATS OBTENUS

5.1. QUANTITÉ, QUALITÉ DES DONNÉES. MODE DE DÉPOUILLEMENT

Les données collectées depuis 1965, sont de valeur très inégale. Avant 1969, toutes les stations limnigraphiques étaient au fil de l'eau, ce qui, pour les torrents étudiés, entraînait d'incessants détarages. La réalisation de déversoirs sommaires a pratiquement supprimé cet inconvénient et des courbes de tarage correctes ont pu être établies ; toutefois le maintien en l'état des stations pose encore des difficultés. Pour les données pluviométriques, l'un des

problèmes principaux a été l'enregistrement « au mieux » des précipitations sous forme nivale. Après divers tâtonnements, l'adoption de systèmes de chauffage artisanaux nous a permis d'atteindre à peu près cet objectif. Pour pallier les défaillances des enregistreurs, nous avons adapté dans les pluviographes, un système de comptage d'impulsions, inspiré par les appareils à transmission à distance (hors de nos moyens financiers). De ce fait les lacunes à l'échelle de temps hebdomadaire ou mensuelle ont été supprimées ; seules surviennent encore des lacunes à l'échelle de temps journalière ou horaire.

Le dépouillement des enregistrements pluviométriques vise à la connaissance de quantités de précipitations durant une série d'averses de durées connues et d'intensités au quart d'heure. La définition d'intensités constantes a été abandonnée après trois années de dépouillement du fait de la longueur de l'opération. Le début de montée de l'eau dans le drain, correspondant à une averse donnée, est également apprécié au quart d'heure, sur le limnigramme.

5.2. ETUDE DES INTENSITÉS CONSTANTES

L'étude des intensités constantes sur trois années a permis de dresser des courbes intensités constantes-durées-fréquences pour quatre stations pluviométriques du bassin montagneux. Ces courbes se sont révélées très semblables et on a été amené à la conclusion qu'elles traduisent une réalité régionale. Regroupées pour cette raison, les quatre courbes expérimentales ont conduit à une formulation générale :

$$i = \frac{a}{(t + b)^n} \quad \begin{array}{l} i \text{ en mm/h} \\ t \text{ en mn} \end{array}$$

a étant une fonction de P (= probabilité) uniquement et n pouvant être ici considéré comme une constante, on obtient finalement :

$$i = \frac{P + 5,985}{0,943 P + 0,074} (t - 1)^{-0,67}$$

Courbes théoriques et courbes expérimentales se révèlent alors en bon accord.

5.3. ANALYSE COMPARÉE DE QUELQUES HYDROGRAMMES DE RUISSELLEMENT

Cette analyse résultant d'averses de forte intensité et de courte durée, fournit un coefficient de corrélation linéaire $R = -0,9756$, hautement significatif, entre le temps de base des crues et la pente moyenne des bassins, un coefficient de corrélation linéaire $R = -0,9942$, hautement significatif entre le débit de pointe (en % de volume écoulé) et la forme du bassin. Toutefois, il s'agit là d'une première approche du problème, non systématique, en fonction d'un petit nombre d'événements hydropluviométriques sélectionnés et d'hypothèses simplificatrices, approche qui appelle nécessairement compléments et généralisation.

5.4. ETUDE DIRECTE DU SEUIL DE RUISSELLEMENT

Cette étude est conçue comme l'étude de la réponse hydrologique (ou de la « non-réponse ») du cours d'eau à un certain nombre d'événements pluviométriques survenant dans son bassin versant. Ce seuil n'est pas fixe, mais lié à l'état de saturation du sol. Cette conception a entraîné la constitution de deux fichiers (écoulements et précipitations) et la confection d'un programme de calcul adéquat, permettant le passage d'un fichier à l'autre.

L'analyse vise à déterminer pour chaque bassin, dans un premier temps, des probabilités de ruissellement en fonction de divers caractères de la pluviosité et de l'état du sol, par la suite à comparer ces résultats, bassin par bassin, de façon à estimer le rôle des caractéristiques physiques du bassin versant dans le déclenchement du ruissellement.

La première phase de cette analyse est en cours et l'on peut faire état d'indications partielles. C'est ainsi que pour le bassin de la Halle, par exemple, et sur une série étudiée de 1 112 averses, la fréquence de déclenchement du ruissellement s'élève de 17% pour des intensités maximum par quart d'heure, de 0 à 5 mm/h à 62% pour des intensités maximum par quart d'heure supérieures à 35 mm/h. Si l'on considère plusieurs caractères à la fois, la réalité est plus complexe du fait des interactions entre phénomènes ; ainsi toujours pour la Halle, avec le même échantillonnage d'averses, si l'on considère une intensité moyenne durant l'averse, faible (0-5 mm/h), la fréquence de déclenchement du ruissellement passe de 4% si la quantité précipitée lors de l'averse est de 0,4 à 0,6 mm, à 43% si cette quantité atteint 2,0 à 3,5 mm et 74% si elle atteint 12,5 à 25 mm, ce qui par conséquent, met en évidence le rôle de la durée de l'averse ; toutefois, avec des intensités moyennes plus fortes, on ne retrouve pas la même progression en fonction de la quantité précipitée : ceci tient en partie à la nature même des phénomènes, en partie à l'insuffisante densité du réseau en postes pluviométriques (d'où d'apparentes anomalies qui résultent en fait de l'extrême variabilité spatiale des précipitations d'ordre horaire ou journalier).

5.5. ETUDE DES TRANSPORTS SOLIDES

Cette étude s'est réalisée au moyen de deux campagnes successives de traceurs radioactifs dans le lit de la

Bruche, en deux points du cours (Urmatt et Duppigheim). Elle a permis de montrer la lenteur de la migration des galets : à Urmatt, dans un tronçon quasi-rectiligne, à la suite de crues d'hiver dont la plus importante était de $50 \text{ m}^3/\text{s}$, la distance moyenne de déplacement était de 140 m (galets de 6 à 16 cm) et la masse charriée en un an restait inférieure à 2 000 tonnes. Ces résultats étaient en désaccord total avec ceux obtenus par le calcul au moyen des formules habituelles. A Duppigheim, en 1970, dans un secteur à méandres et pour des crues d'ordre décennal ($140 \text{ m}^3/\text{s}$), les 9/10^e des galets marqués n'ont pas dépassé 90 m de trajet ; or durant cette même période, l'activité érosive de la rivière a été intense : un sapement de 2,5 m de haut face au bief étudié, a reculé de 12 m, libérant un volume de matériel de quelques 3 000 m^3 , tandis qu'un gros banc de sables et de galets se mettait en place à l'aval immédiat. Ces faits prouvent de façon indubitable, l'existence d'une substitution de charge à cet endroit et sont en concordance absolue avec les conclusions de l'étude sédimentologique antérieure, démontrant la valeur des méthodes sédimentologiques d'étude des migrations de galets dans les cours d'eau.

**Résumé des résultats de recherches
sur le bassin représentatif de Saugras
(Hérault, France)
(mise en service : 1965)**

1. ORGANISME GESTIONNAIRE

Laboratoire d'Hydrogéologie, Professeur C. DROCUE, Université des Sciences et Techniques du Languedoc, 34060 Montpellier CEDEX. Tél. 72-29-44, poste 609.

2. THÈMES DE RECHERCHES

Détermination des facteurs du bilan hydrogéologique en terrain calcaire karstifié, contenant une nappe permanente (réseaux de fissures). Etude des relations pluie-piézométrie-débit.

3. DESCRIPTION DU BASSIN

Situation :

Bassin hydrographique de l'Hérault. Zone sous-cévenole à 40 km du littoral méditerranéen.

Caractères physiques et morphologiques :

Superficie :

0,46 km² (1 km sur 0,5 km environ). Le bassin est une colline calcaire, entièrement ceinturée par un talus marneux. Le sommet est légèrement tabulaire.

Géologie :

Synclinal perché de calcaires de l'Eocène supérieur (Lutétien). Au centre du synclinal, l'épaisseur est de 100 m. Ces calcaires renferment une « nappe » permanente qui repose sur des marnes de l'Eocène moyen et inférieur, imperméables (épaisseur : 150 m).

Climat :

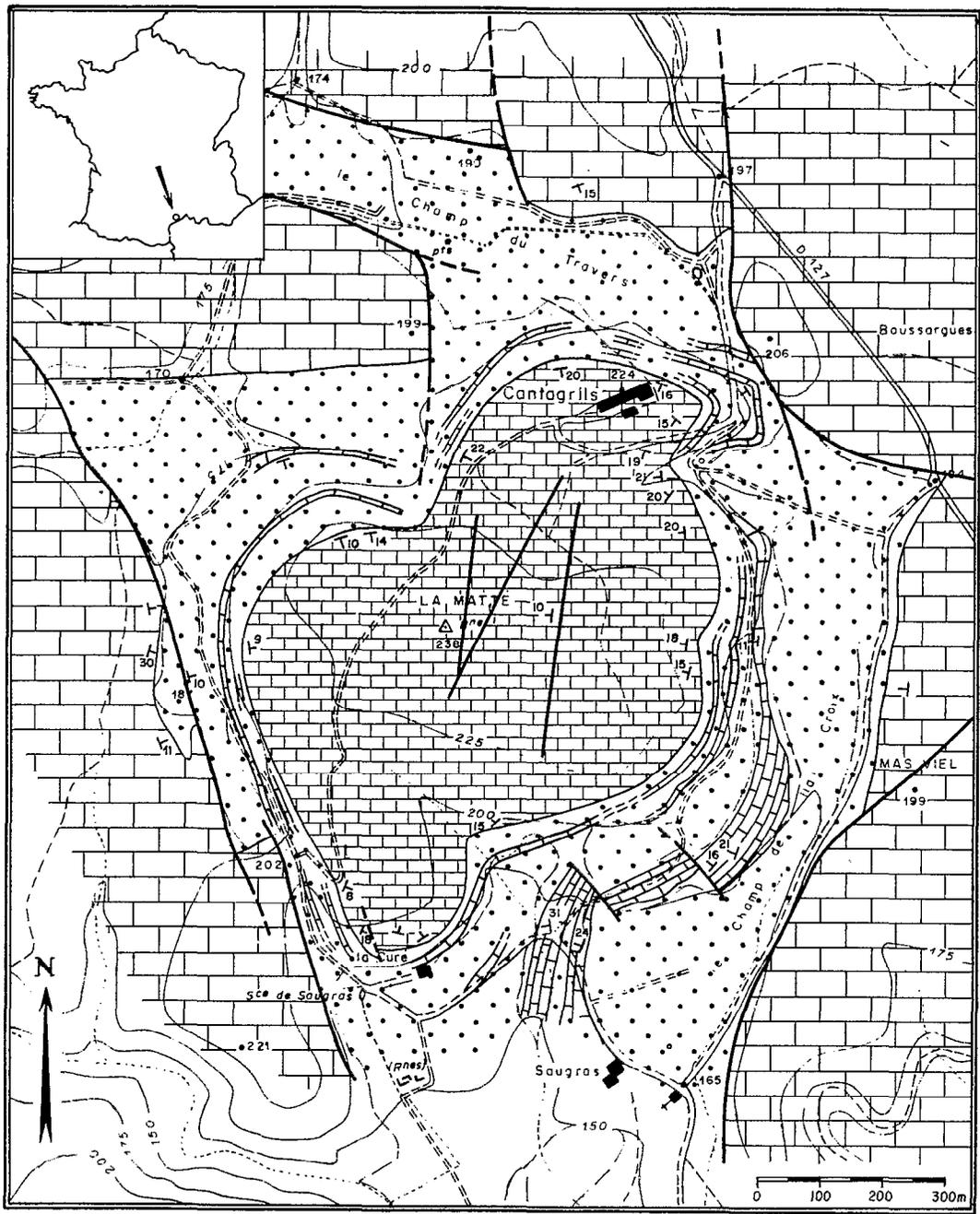
Climat méditerranéen. Pluviométrie moyenne annuelle : 800 m avec environ 10 à 20 jours de pluies supérieures à 10 mm.

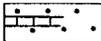
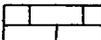
Végétation :

Couverture : 50% de lapiaz et cailloutis et 50% de taillis. Pas de cultures, quelques habitations. Urbanisation en cours.

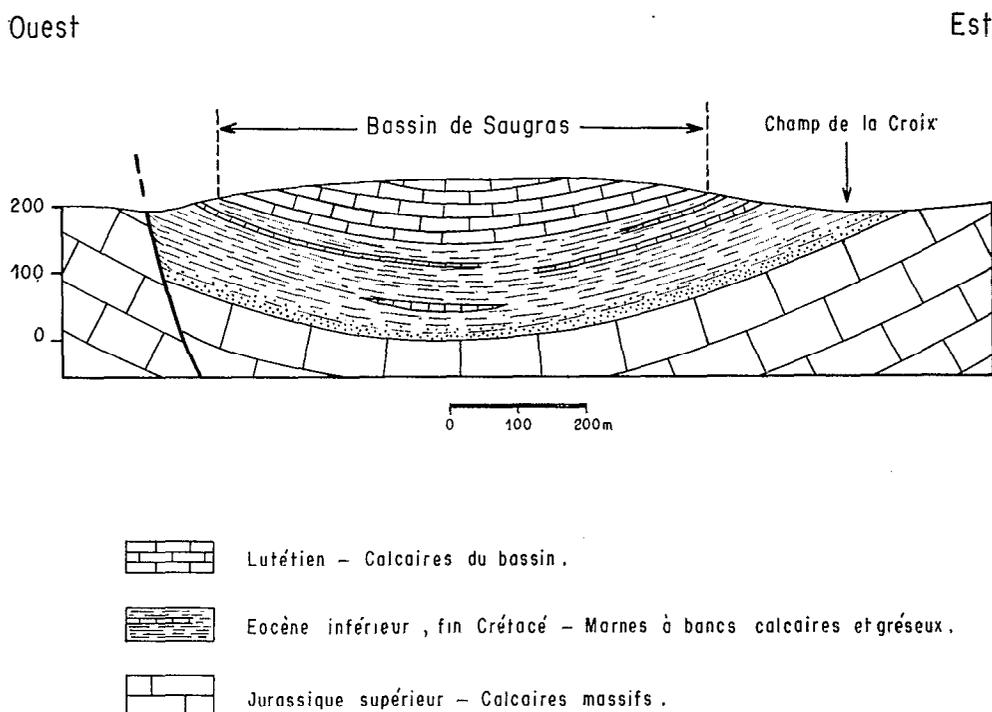
Équipement :

Il n'y a pas de ruissellement sur le bassin, les mesures portent donc sur les écoulements souterrains et sur la pluviométrie.



- | | |
|---|---|
| <ul style="list-style-type: none">  Lutetien . Calcaires lacustres  Eocène inférieur et moyen et Crétacé terminal . Marnes , grès et bancs calcaires . Epaisseur 150m .  Jurassique supérieur . Calcaires massifs épaisseur supérieure à 500m . | <ul style="list-style-type: none">  Limite de faciès  Faille ou diaclase importante  18 ∟ Pendage et valeur en degrés |
|---|---|

Carte géologique du bassin de Saugras



Coupe structurale type du bassin de Saugras

Trois sources dont une seule est pérenne évacuent les eaux souterraines, à la périphérie de l'affleurement calcaire. L'équipement est constitué par :

- 3 stations de jaugeage, avec déversoirs triangulaires et enregistreurs,
- 4 forages piézométriques, profonds de 60 m, équipés d'enregistreurs de niveaux,
- 11 pluviomètres et pluviographes de 1965 à 1969. Actuellement, 4 appareils en service,
- 1 thermo-hygromètre et 1 évaporomètre Piche de 1965 à 1969.

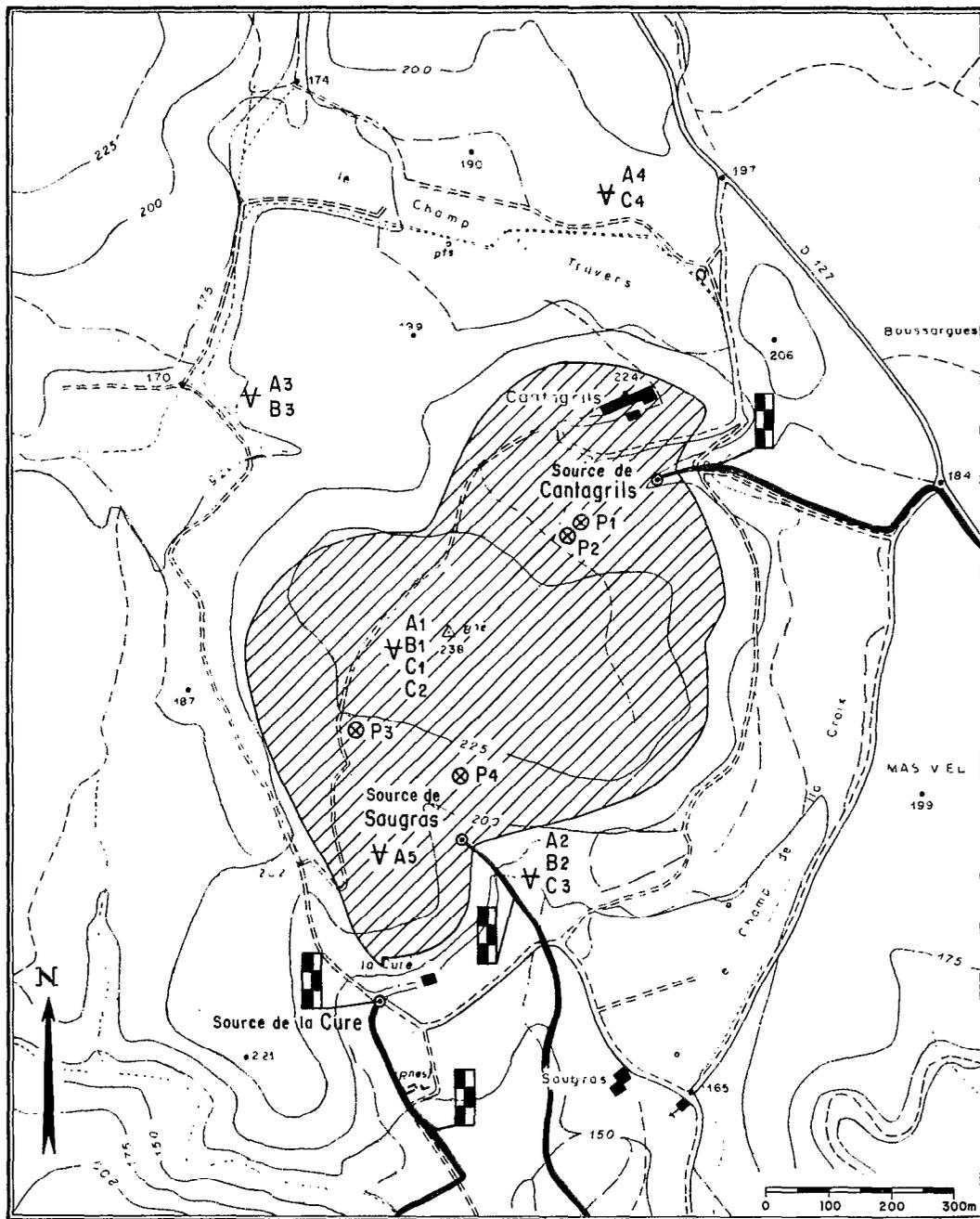
4. PRINCIPALES PUBLICATIONS

- DROGUE (C.) - 1965 - Un bassin témoin en terrains calcaires, le bassin de Saugras (France). AIHS Symposium de Dubrovnik, pp. 383-386, 3 fig.
- DROGUE (C.) - 1969 - Résultats des études menées sur le bassin témoin de Saugras. Faculté des Sciences de Montpellier, Bureau d'Etudes Permanent (DGRST), Paris, t. I, 82 p., 27 pl.
- DROGUE (C.) - 1971 - Coefficient d'infiltration, ou infiltration efficace sur les roches calcaires. Colloque d'hydrogéologie en pays calcaire. *Annales Scientifiques de l'Université de Besançon*, 3^e série, fasc. 15, pp. 124-130.
- MARTINEZ (F.) - 1973 - L'évapotranspiration réelle sur le bassin de Saugras. Publication du Laboratoire d'Hydrogéologie, Faculté des Sciences de Montpellier, 29 p., 3 fig.
- CHEMIN (J.) - Application du modèle Méro, à l'aquifère calcaire du bassin de Saugras (*en cours de préparation*).

5. RÉSULTATS OBTENUS

5.1. Premier bassin témoin en terrain calcaire, le bassin de Saugras a permis pour la *première fois*, de dresser le bilan des écoulements dans ce type d'aquifère.

Pour cela on s'est attaché à obtenir un maximum de précision sur les mesures, et à en définir le degré d'incertitude.



- ⊙ Source
- ▣ Station de jaugeage
- ⊗ Piézomètre et désignation

- ▽ A1 Station pluviométrique et désignation des pluviomètres.
- A : Association à 1,5 m
- B : Association à 0,5 m
- C : Enregistreur

Bassin de Saugras
 Equipement hydro-météorologique

L'étude de la pluviométrie a été abordée sur un réseau de 11 pluviomètres et pluviographes (sur 0,46 km²). On a démontré la bonne représentativité des pluviomètres installés, par la comparaison des données sur des couples de pluviomètres (à 1,5 et 0,5 m). La moyenne des écarts entre les deux indications pour un intervalle de confiance de 95%, est toujours inférieure à 5% de la pluie tombée sur le pluviomètre à 1,5 m à l'échelle mensuelle.

Les écarts moyens entre les différents postes pluviométriques sont, par exemple, de 2,8% entre les postes A₁ et A₂ et de 6,8% entre les postes A₁ et A₄.

Par rapport aux écarts précédents, donc aux précisions à attendre de ce genre de mesures, ils ne sont pas significatifs de hauteurs pluviométriques différentes. On peut estimer que chaque poste est une mesure ponctuelle d'une même valeur de pluie.

Ceci permet de calculer une hauteur pluviométrique avec un intervalle de confiance : l'erreur à craindre sur la valeur de 24 mois de pluie, sur l'ensemble du bassin, est de 2,3% au seuil de probabilité de 5%.

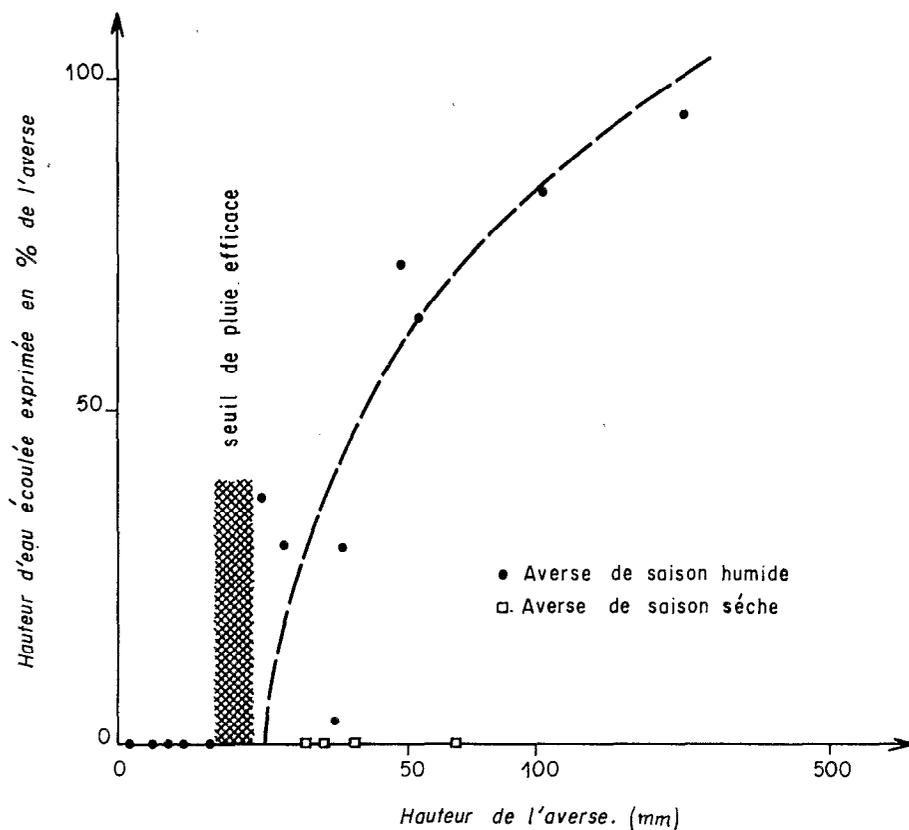
En ce qui concerne les écoulements, on vérifie que les débits qui pourraient percoler au travers du substratum marneux, sont négligeables (27 sondages et essais LEFRANC, perméabilité de 3,10⁻⁹ m/sec., débit probable de 0,046 l/s, soit une lame de 1,3 mm sur le bassin).

Finalement l'incertitude maximale à craindre sur l'évaluation du débit d'écoulement est de 7,5% sur 24 mois.

L'expression du bilan en hauteur de pluie, évacuée aux sources, sera obtenue avec une incertitude de 10% environ.

Les modules spécifiques obtenus pour l'écoulement sont de 13 l/s.km² en 1966 et 10,7 l/s.km² en 1967. Le seuil de pluie minimale efficace est de 20 mm en saisons humides. En fin de saisons sèches, ce seuil est considérablement plus élevé (supérieur à 63 mm). Pour la période 1966-1967, 82% des jours de pluie sont sans influence sur les eaux souterraines.

A l'échelle de la crue, l'infiltration efficace va de 0 à 90%. Sur une longue période, la hauteur d'eau écoulee aux sources correspond à 40% ± 4% de la pluie reçue par le bassin.



Bassin de Saugras

Importance de la lame d'eau écoulee en fonction de la hauteur de l'averse

5.2. La différence entre les valeurs de la pluie et de l'écoulement aux exutoires permet d'obtenir l'évapotranspiration réelle ou déficit d'écoulement, en l'absence de variation des réserves (pas de ruissellement ni de pertes profondes).

Le déficit d'écoulement calculé avec les méthodes de A. COUTAGNE, L. TURC et C. W. THORNTHWAITTE et à l'aide du modèle mathématique de F. MERO, montre que seul, ce dernier permet de rendre compte avec une excellente précision, du déficit d'écoulement réel.

Dans le tableau ci-dessous, le modèle MERO a été calé sur les trois premiers cycles et vérifié sur les deux cycles suivants.

DÉFICITS D'ÉCOULEMENTS RÉELS ET CALCULÉS

| Cycle | Déficit observé | Coutagne | Ecart | Turc | Ecart | Thornt. | Ecart | Méro | Ecart |
|-------|-----------------|----------|-------|-------|--------|---------|-------|-------|-------|
| A | 575 ± 48 | 661 | + 15% | 684 | + 12% | 643 | + 12% | 573 | 0% |
| B | 1 018 ± 116 | 816 | — 20% | 772 | — 25% | 1 213 | + 20% | 1 001 | — 2% |
| C | 613 ± 79 | 782 | + 12% | 668 | + 9% | 615 | 0% | 608 | — 1% |
| D | 570 ± 61 | 702 | + 23% | 588 | + 3% | 596 | + 4% | 571 | 0% |
| E | 599 ± 107 | 816 | + 36% | 682 | + 14% | 748 | + 25% | 622 | + 2% |
| Total | 3 375 ± 414 | 3 746 | + 11% | 3 326 | — 1,5% | 3 815 | + 13% | 3 375 | 0% |

6. CONCLUSION

Pour la première fois, on a pu mesurer directement l'infiltration efficace, dans un aquifère karstique, et appliquer un modèle pluie débit (modèle MERO) à un tel système.

Les résultats obtenus vont permettre par extrapolation, l'étude des grands ensembles karstiques dont certains paramètres hydrogéologiques sont difficilement mesurables.

C'est ainsi que la première application se fait actuellement sur le bassin de la source du Lez (débit moyen annuel supérieur à 1,5 m³/s) voisin de Saugras, et présentant un grand intérêt économique (alimentation en eau de Montpellier et de trente communes rurales).

L'exploitation de toutes les informations recueillies sur le bassin n'est pas encore terminée, en ce qui concerne notamment les relations pluie-piézométrie et piézométrie-débit (publication prévue pour début 1975).

Résumé des résultats de recherches sur le bassin versant d'Alrance

(H.) Dosseur et (A.) Guilbot

1. ORGANISME GESTIONNAIRE

Electricité de France, Direction des Etudes et Recherches LNH, Groupe Hydrologie, 6, quai Watier, 78400 Chatou.

Laboratoire d'Hydrologie et d'Aménagement des Eaux, Université des Sciences et Techniques du Languedoc, place Eugène-Bataillon, 34060 Montpellier CEDEX.

2. THÈME DE RECHERCHE

- Etude analytique des facteurs du bilan hydrologique.
- Relations pluie-débit. Prévision des débits à partir des précipitations.
- Définition d'une méthodologie d'études d'hydrologie analytique.
- Mise à l'essai d'appareillage et de nouvelles méthodes d'investigation.
- Formation d'hydrologues.

3. DESCRIPTION DU BASSIN

Situation géographique :

Région : Aveyron.

Bassin hydrographique : Garonne.

Sous-bassin : Tarn.

Coordonnées géographiques à l'exutoire : longitude 2° 42' E, latitude 44° 08' N.

Complexe physique du bassin :

Superficie (A) en km² : 3,15.

Altitudes, extrêmes : 765-960 m ; moyenne : 890 m.

Indice de compacité (K) : 1,11.

Longueur (L) du rectangle équivalent en km : 2.

Orientation aux vents dominants : S-E et N-W.

Indice de pente (Ip) « Roche » : 0,29.

Indice de pente global (Ig) en m/km : 90.

Densité de drainage (D) : 1,7.

Terrains géologiques :

Roches cristallophylliennes

Nature

Importance en % de la surface

| Migmatites | Granites | Alluvions |
|------------|----------|-----------|
| 89 | 10 | 1 |

Caractéristiques du sol :

| | | |
|-------------------------------|---|------------------------|
| Nature | Arènes perméables (altération de surface) | Eluvions sabloargileux |
| Importance en % de la surface | 90 | 10 |

Végétation :

| | | | | |
|-------------------------------|--|----------|--------|----------|
| Nature | Bois | Cultures | Landes | Prairies |
| Importance en % de la surface | 9 | 10 | 11 | 60 |
| Hydrogéologie | Nappes d'altération superficielle réserves très faibles, extension très limitée | | | |

Bassins emboîtés, adjacents ou voisins :

Nom du bassin : Alrance amont, Station B.

Période de fonctionnement : 1967-1973.

Superficie en km² : 1,77.

Altitudes extrêmes : 960-810 m.

Terrain géologique : Migmatites

Nature et importance en % 100

Caractéristiques du sol : Arènes perméables Eluvions

Nature et importance en % 90 10

Hydrogéologie : nappes d'altération superficielle, réserves très faibles.

4 PRINCIPALES PUBLICATIONS

CAPPUS (P.) - 1953 - Le calcul des crues. Résultats obtenus sur le terrain expérimental d'Alrance (Mémoires et Travaux de la SHF), *La Houille Blanche*, n° A.

CAPPUS (P.) - 1954 - Étude de l'évapotranspiration sur un bassin de faible étendue. Publication n° 38 de l'AIHS. Assemblée générale de Rome, t. III.

SERRA (L.) - 1954 - La précision des mesures pluviométriques. Publication n° 36 de l'AIHS, Rome, t. II.

CAPPUS (P.) - 1967 - Répartition des précipitations sur un bassin versant de faible superficie. Comptes rendus et rapports de l'AIHS, Toronto, t. I.

JACQUET (J.) - 1960 - Répartition spatiale des précipitations à l'échelle fine et précision des mesures pluviométriques. Comptes rendus et rapports de l'AIHS. Assemblée générale d'Helsinki.

CAPPUS (P.) - 1960 - Bassin expérimental d'Alrance : étude des lois de l'écoulement. Application au calcul et à la prévision des débits. (Mémoires et Travaux de la SHF). *La Houille Blanche*, n° A.

JACQUET (J.) - 1963 - Étude comparative des appareils de mesure de l'évaporation et de l'évapotranspiration sur un bassin expérimental. Comptes rendus et rapports de l'AIHS. Assemblée générale de Berkeley.

DOSSEUR (H.) - 1965 - Bassin expérimental d'Alrance : contribution à la définition des caractéristiques d'état du bassin pour la prévision hydrologique. Thèse doctorat de 3^e cycle. Faculté des Sciences de Montpellier.

TARDY (H.) - 1967 - Bassin expérimental d'Alrance : composition chimique des eaux, rapport du Laboratoire de Géologie et de Paléontologie de Strasbourg.

FORTIN (J.-P.) - 1973 - La détermination de l'évapotranspiration réelle en vue de son application à des modèles paramétriques de synthèse des débits en hydrologie. Thèse de doctorat 3^e cycle. Université des Sciences et Techniques du Languedoc, Montpellier.

5. MESURES EFFECTUÉES SUR CE BASSIN

Mesures de débit :

Avec limnigraphes, divers déversoirs et jaugeurs avec canal d'aménée en béton.

Mesures de pluviométrie :

Dès 1950, 12 pluviomètres étaient installés. Le bassin comporte aussi une demi-douzaine de pluviographes,

dont certains sont chauffants. Il faut ajouter à cet ensemble déjà important, 2 nivomètres totalisateurs ainsi que des pluviomètres de différentes surfaces réceptrices, installés temporairement.

Mesures de température de l'air :

- Par thermomètres ordinaires, à minimum et à maximum,
- Par thermographes.

Mesures de température dans le sol.

- Mesures de l'humidité de l'air et du sol* (hygromètres, psychromètres).
- Mesures d'insolation* (héliographes, domes solarimétriques).
- Mesures de la vitesse et de la direction du vent.*
- Mesures de la pression atmosphérique.*
- Mesures d'évaporation* (évaporomètre Piche, bacs et cases lysimétriques).
- Mesures piézométriques.*
- Mesures de ruissellement.*

Mises à part les mesures de pluviométrie et celles de débits, les mesures sont effectuées dans deux parcs climatologiques (A et G) équipés en 1970, de stations d'enregistrements automatiques donnant sous forme de tableaux imprimés, les résultats des mesures de 2 h en 2 h.

Depuis 1971, ces essais d'automatisation ont été abandonnés. Un effort particulier a été porté sur la mise en forme des données. L'unique observateur de terrain responsable des mesures et de l'entretien des appareillages, collecte, élabore les données de base chaque semaine, porte les relevés et dépouille directement sur feuilles de données Fortran, imprimées spécialement, ce qui permet la perforation à Montpellier, ainsi que la critique et la réalisation des annuaires.

Les paramètres retenus sont les suivants :

- Débits* : de 2 h en 2 h, de 0 h à 24 h, aux stations A, B, aux sources A, F.
- Pluies* : de 2 h en 2 h, de 0 h à 24 h, aux stations A, G, H, F.
- Vitesse du vent à la station G* (donnée journalière).

Percolation des lysimètres :

- G 1 station G (de 2 h en 2 h)
- A 1 station A (de 2 h en 2 h)
- A 2 station A (de 2 h en 2 h)
- A 3 station A (donnée journalière)
- A 4 station A (donnée journalière)

Bac colorado : à la station G (donnée journalière).

Niveau d'eau sous le sol (donnée journalière).

Evaporation Piche (station G).

Températures : maximum }
 minimum } sous abri
 moyenne }

Humidité : sous abri.

6. ÉTUDES D'INTERPRÉTATION ET DE SYNTHÈSE DE RÉSULTATS RÉALISÉES OU EN COURS

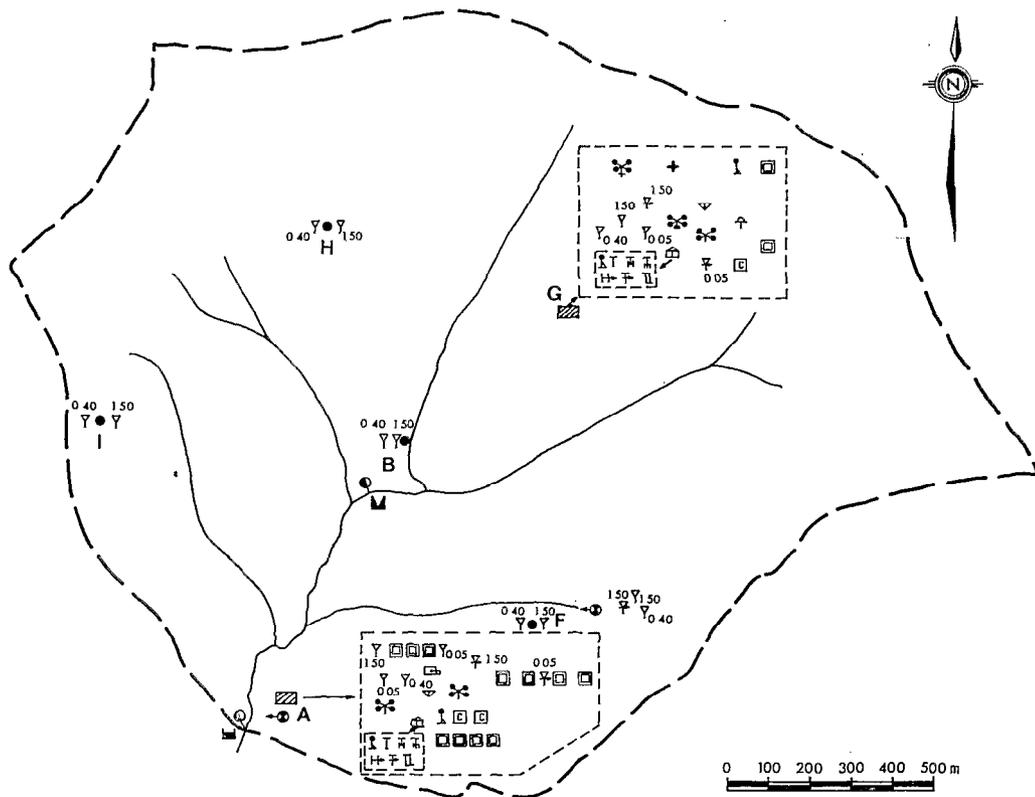
6.1. ETUDES

6.1.1. Précipitations :

- Etude de la précision des mesures pluviométriques et de la répartition de la pluie à l'échelle fine. Influence du facteur vent.
- Etude de la répartition de la pluie sur une aire de 3 km² : représentation des stations pluviométriques.
- Mise au point de tests de contrôle des emplacements des pluviomètres.

6.1.2. Evaporation. Evapotranspiration :

- Relations entre bilans des lysimètres et bilans du bassin.
- Etude des facteurs conditionnels de l'évaporation.
- Détermination de l'évapotranspiration réelle.



Bassin d'Alrance
Equipement du bassin au 1^{er} janvier 1970

- | | |
|---------------------------|---------------------------------------|
| Parc météo | Source captée |
| Abri météo | Pluviomètre à 1,50 m au dessus du sol |
| Thermomètre simple | Pluviographe |
| Thermomètre mini | Case lysimétrique |
| Thermomètre maxi | Bac colorado |
| Thermographe | Pile solarimétrique |
| Hygrographe | Héliographe Jordan |
| Psychromètre | Anémomètre à compteur |
| Evaporomètre Piche | Anémomètre à impulsions |
| Déversoir H Flume | Anémomètre enregistreur |
| Déversoir à parois minces | Girouette enregistreuse |
| Station de jaugeage | Limnigraphe sur puits |

6.1.3. *Écoulement :*

- Calcul des hydrogrammes à partir des précipitations.
- Théorie explicative de la formation de l'écoulement : rôle des surfaces saturées du bassin.
- Étude du tarissement du bassin et de ses fluctuations dues à l'évaporation.

- Etude des sources. Séparation des phases de l'écoulement.
- Composition chimique des eaux.

6.2. RÉSULTATS OBTENUS

6.2.1. On dispose sur le bassin d'Alrance, de séries hydroclimatologiques de bonne qualité sur plus de vingt ans d'observations. L'information recueillie concerne la quasi totalité des principaux paramètres conditionnant ou caractérisant les transferts d'eau sur un bassin versant de petite superficie.

L'analyse de cette information a été effectuée à l'aide de toute la gamme des méthodes actuelles de l'hydrologie de surface.

6.2.2. Malgré les petites dimensions du bassin et une apparente homogénéité structurale d'ensemble, les facteurs conditionnels de l'écoulement sont caractérisés par une absence d'uniformité liée surtout aux disparités de nature géomorphologique.

Sur le plan climatique, on met en évidence d'une part les vallées et dépressions bien encaissées et bien abritées des vents, et d'autre part les plateaux très exposés aux vents et à l'insolation.

Ces disparités ont une incidence très importante sur le processus de formation de l'écoulement et conduisent à distinguer deux zones d'activité hydrologique :

- Une zone d'activité permanente relativement restreinte en superficie (environ 10% du bassin), mais jouant un rôle prépondérant dans la formation du ruissellement.

- Cette zone est représentée par les terrains continuellement saturés des dépressions et vallées constituées d'éluvions fins peu perméables.

- Une zone d'activité temporaire représentant près de 90% de la superficie totale et constituée de terrains à forte perméabilité très favorables à l'infiltration.

La répartition spatiale des précipitations est également fortement hétérogène et de plus, assez variable. Elle est essentiellement fonction de l'exposition aux vents d'où l'importance du choix du site dans la mesure des précipitations.

6.2.3. Le régime pluviométrique est de type transitoire entre un régime montagneux et un régime méditerranéen.

La pluviométrie moyenne annuelle est de 1 249 mm (période 1952-1969) avec une répartition saisonnière assez homogène et un coefficient moyen de niviosité de 15%.

Les averses ne sont pas très intenses. L'intensité moyenne de l'averse décennale de durée correspondant au temps de concentration (6 h) est de 9 mm/h. L'averse décennale de durée 5 mn a une intensité estimée à 100 mm/h.

6.2.4. Le déficit d'écoulement moyen annuel est de 510 mm.

Une étude particulière (1963) a permis de vérifier la théorie de BOUCHET sur l'évapotranspiration réelle.

Les pertes par évapotranspiration sont assez importantes et sont susceptibles d'entraîner des fluctuations appréciables des hydrogrammes de tarissement.

6.2.5. L'écoulement est permanent et de type pluvial.

Le module est estimé à 21,5 l/s.km², ce qui correspond à une lame d'eau écoulee de 676 mm. La variabilité interannuelle est faible.

Les étiages sont généralement très sévères avec un minimum observé inférieur à 0,5 l/s.km².

Les débits caractéristiques sont les suivants (en jours dépassés ou égalés par an) :

| | | |
|--------|-----|---------------------|
| DC 10 | 80 | l/s.km ² |
| DC 30 | 55 | l/s.km ² |
| DC 180 | 13 | l/s.km ² |
| DC 335 | 1,9 | l/s.km ² |
| DC 355 | 1 | l/s.km ² |

6.2.6. Les crues sont constituées en quasi totalité par du ruissellement hypodermique, qu'il n'est généralement pas possible de distinguer du ruissellement superficiel.

L'hydrogramme unitaire type de ruissellement, correspondant à une averse de 1 h, dure pratiquement 6 h. Pour 1 mm de lame ruisselée, le débit maximal de l'hydrogramme est de 275 l/s.

Le coefficient de ruissellement Cr est très faible (généralement entre 3 et 20%). Pour les crues de fréquence décennale il atteint à peine 30%.

C_r est essentiellement fonction du niveau de la nappe phréatique qui peut être contrôlée par le débit souterrain de base au début de la crue.

C_r varie peu avec le montant P des précipitations, tant que $P < 20$ mm ; ensuite C_r est fonction croissante de P .

En première approximation C_r peut être estimé par le rapport de la superficie variable des zones saturées à la superficie totale du bassin.

6.2.7. L'hydrogramme du débit souterrain de crue est indépendant de la rétention par la couverture végétale et de l'intensité de la pluie.

L'instant du maximum se situe environ 6 h après la pointe de crue, le débit maximum du débit souterrain de crue est obtenu par le produit du montant P des précipitations par un coefficient qui ne dépend que du débit de base initial.

6.2.8. La mise en évidence de lois de l'écoulement permet donc sur le bassin d'Alrance, le contrôle de l'état de saturation à partir de quelques paramètres simples et la possibilité de calculer les débits à partir des précipitations.

Les résultats obtenus peuvent être considérés comme caractéristiques des régions de moyenne montagne en terrain cristallin imperméable fortement altéré en surface et sous climat tempéré froid et pluvieux.

Résumé des résultats de recherches sur le bassin représentatif de la Diège (plateau de Millevaches, France)

1. ORGANISME GESTIONNAIRE

Electricité de France, Direction des Etudes et Recherches LNH, Groupe Hydrologie, 6, quai Watier, 78400 Chatou, jusqu'en 1970.

Laboratoire d'Hydrologie et d'Aménagement des Eaux, Université des Sciences et Techniques du Languedoc, place Eugène-Bataillon, 34060 Montpellier CEDEX (France), de 1971 à septembre 1973.

2. OBJECTIFS DE RECHERCHES

Bassin représentatif du plateau de Millevaches (socle ancien cristallin du Massif Central). Prévision à court terme des débits à partir de la pluie.

Mise au point de méthodes d'investigation en Hydrologie analytique à diverses échelles d'espace.

3. DESCRIPTION DU BASSIN (voir carte)

Région : plateau de Millevaches (ouest du Massif Central).

Bassin hydrographique : Dordogne.

Sous-bassin : Diège.

Coordonnées géographiques à l'exutoire : longitude : 2° 16' E ; latitude : 45° 35' N.

Altitudes du bassin : extrêmes : 954-620 m ; moyenne : 775 m.

Superficie (A) : 225 km².

Indice de compacité (K) : 1,42.

Longueur (L) du rectangle équivalent en km : 30,7.

Indice de pente (Ip) « Roche » : 0,036.

Indice de pente global (Ig) : 5,87 m/km.

Terrains géologiques :

Nature (calcaire, granite, etc.)

Importance en % de la surface

| Migmatites | Granite | Gneiss |
|------------|---------|--------|
| 70 | 20 | 10 |

Caractéristiques du sol :

Nature (perméabilité, altérations, etc.)

Altération superficielle de terrains cristallins sur toute la surface

Végétation :

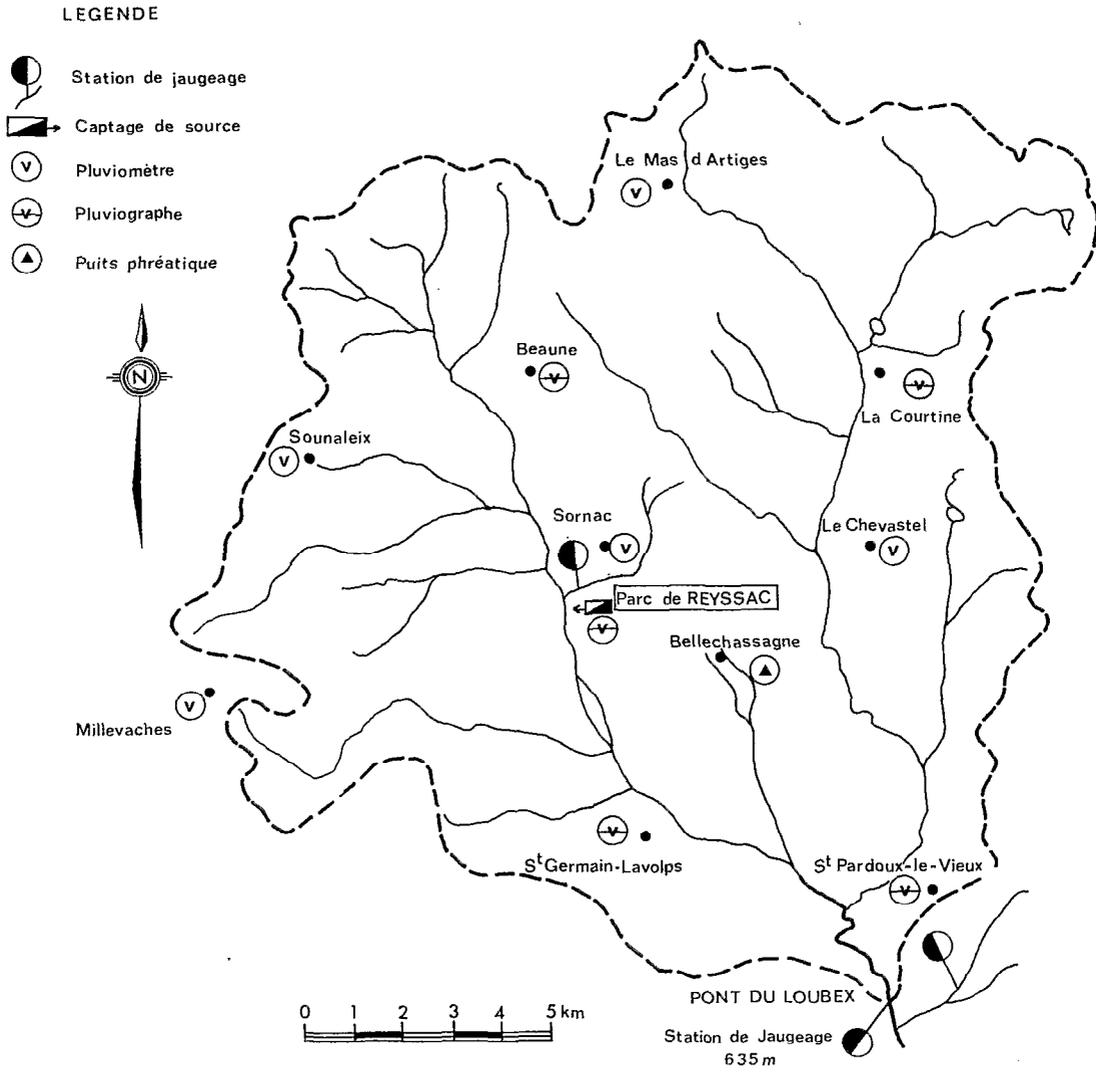
Nature

Importance en % de la surface

| Forêts | Landes | Prés-cultures |
|--------|--------|---------------|
| 50 | 30 | 20 |

Hydrogéologie

Nappes d'altération superficielle peu profondes, peu étendues



Bassin de la Diège (225 km²)
Equipement hydrologique

ÉQUIPEMENT HYDROMÉTRIQUE

| Station | Altitude (m) | Installée en | Situation | Equipement |
|---------------------|--------------|----------------|---|--|
| Pont-du-Loubeix | 620 | 1948 | Sur la Diège (contrôle l'ensemble du bassin : 225 km ²) | Limnigraphe OTT type X (réduction 1/5) |
| Sornac | 690 | 1966 | Sur le ruisseau de Sornac (affluent de la Diège) (contrôle les débits d'un bassin de 4,04 km ²) | Seuil épais, horizontal triangulaire pour le contrôle des faibles débits Limnigraphe OTT type X (réduction 1/5) |
| St-Pardoux-le-Vieux | 690 | 1966 | Sur la Vergne (affluent de la Diège, bassin de 2,55 km ²) | Limnigraphe OTT type X (réduction 1/5) |
| Source de Reyssac | 710 | Captée en 1966 | | Déversoir Thomson triangulaire à 30° Limnigraphe OTT type X/43 (réduction 1/1) |
| Bellechassagne | 740 | | | Puits équipé d'un limnigraphe OTT type X (réduction 1/10) |

ÉQUIPEMENT CLIMATOLOGIQUE

Un parc climatologique dont l'autonomie est hebdomadaire, est implanté à Reyssac II (730 m) depuis 1968 et a remplacé l'ancien parc de Reyssac I installé en 1961.

Il comporte l'appareillage suivant :

1 abri météorologique type ONM renfermant :

- 1 thermographe Richard,
- 1 hygrographe Richard,

1 parcelle de ruissellement de 49 m² de superficie :

- 1^{er} horizon à 0,25 m de la surface avec enregistrement de l'écoulement,
- 2^e horizon à 0,25 m de la surface avec mesure de l'écoulement par capacité jaugée,

2 cases lysimétriques A et A 1 de 0,785 m² de surface, 1 m de profondeur, avec couvert végétal et sans nappe,

1 pluviographe à augets basculeurs équipé d'un système de chauffage électrique,

L'atmudographe qui équipait le bac « Cachera » enterré a été maintenu sur le bassin, mais sans qu'on fasse de mesures.

4. PRINCIPALES PUBLICATIONS

D'HARCOURT (G.) - 1962 - La crue d'octobre 1960 sur la Diège. *La Houille Blanche*, n° B.

JACQUET (J.) - 1962 - Les études d'Hydrologie analytique sur bassins versants expérimentaux. Bulletin du CREC, n° 2.

CORMARY (Y.), ANGLES (M.) - 1971 - Etude des relations pluie-débit sur le bassin de la Diège (Action concertée DCRST-Laboratoire d'Hydrologie de Montpellier, n° 7).

AUBIN (F.), GUILBOT (A.) - 1972 - Application de l'analyse spectrale aux données hydrologiques du bassin expérimental de la Diège. Laboratoire d'Hydrologie de Montpellier, n° 13.

BERNEY (O.) - 1972 - Détermination du pas de mesure utile de l'évapotranspiration potentielle. Rapport de Stage USTL, Montpellier.

CORMARY (Y.), GUILBOT (A.) – Etude des relations pluie-débit sur trois bassins expérimentaux. CR de fin de contrat DGRST, nos 70, 72, 544. Laboratoire d'Hydrologie de Montpellier, 1972, n° 41. Texte proposé au congrès OMM-UNESCO, Berne, août 1973.

Viennent s'ajouter à ces publications, les notes relatives aux résultats de mesures de 1962 à 1972, à raison de une par an.

5. QUANTITÉ ET QUALITÉ DES DONNÉES COLLECTÉES

DONNÉES TRANSMISES

| Forme des données | Stations | Données élaborées |
|---|---|---|
| <i>Précipitations</i> | | |
| — Bordereaux de pluviométrie journalière | Le Chevastel Soulaneix Le Mas d'Artiges Saint-Pardoux Sornac | Critique (comparaison, données DTG, relevés observateurs) |
| — Données DTG pluie journalière (réseau EDF) | La Courtine Saint-Germain Millevaches | P 1 |
| — Calques des pluviogrammes (échelle journalière) | Reyssac II Baune | et |
| — Bordereaux de pluie de 2 h en 2 h | Reyssac II | P 3 |
| <i>Débits</i> | | |
| — Dépouillements de 2 h en 2 h et — Débit moyen journalier | Pont-du-Loubeix Saint-Pardoux Source de Reyssac Ruisseau de Sornac | Critique (calcul du débit moyen journalier) D 1 |
| <i>Profondeur d'eau sous le sol</i> | | |
| — Calque (échelle journalière) | Bellechassagne | Profondeur de l'eau sous le sol (modèle X 1) |
| <i>Données du parc climatologique</i> | | |
| — Calque thermométrie, hygrométrie | Reyssac II | T moyenne journalière (T 1) Humidité relative moyenne journalière (X 1) |
| — Calque lysimètre sans nappe (A et A 1) parcelles de ruissellement (échelle journalière) | Reyssac II | Modèle X 1 : percolation du lysimètre A Modèle X 1 : percolation du lysimètre A 1 Modèle X 1 : lame d'eau ruisselée |

Définition des X 1, X 2, X 3.

Les données de base sont transmises au centre de gestion et mises sous forme d'X 1, X 2, X 3.

- Les X 1 définissent, pour une station donnée, les valeurs journalières d'un paramètre X pour une année complète;
- Les X 2 définissent, pour une station donnée, les valeurs mensuelles d'un paramètre X pour l'ensemble des années de mesure;
- Les X 3 définissent, pour un bassin donné, donc pour plusieurs stations, les valeurs journalières du paramètre X pour un mois complet.

DONNÉES BI-HORAIRES DU BASSIN DE LA DIEGE

Débites de 2 heures en 2 heures à Pont-du-Loubex

| Année | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 | 12 |
|-------|---|---|---|---|---|---|---|---|---|----|----|----|
| 1961 | | | | | | | | | | | | |
| 1962 | | | | | | | | | | | | |
| 1963 | | | | | | | | | | | | |
| 1965 | | | | | | | | | | | | |
| 1967 | | | | | | | | | | | | |
| 1968 | | | | | | | | | | | | |
| 1969 | | | | | | | | | | | | |
| 1970 | | | | | | | | | | | | |
| 1971 | | | | | | | | | | | | |
| 1972 | | | | | | | | | | | | |

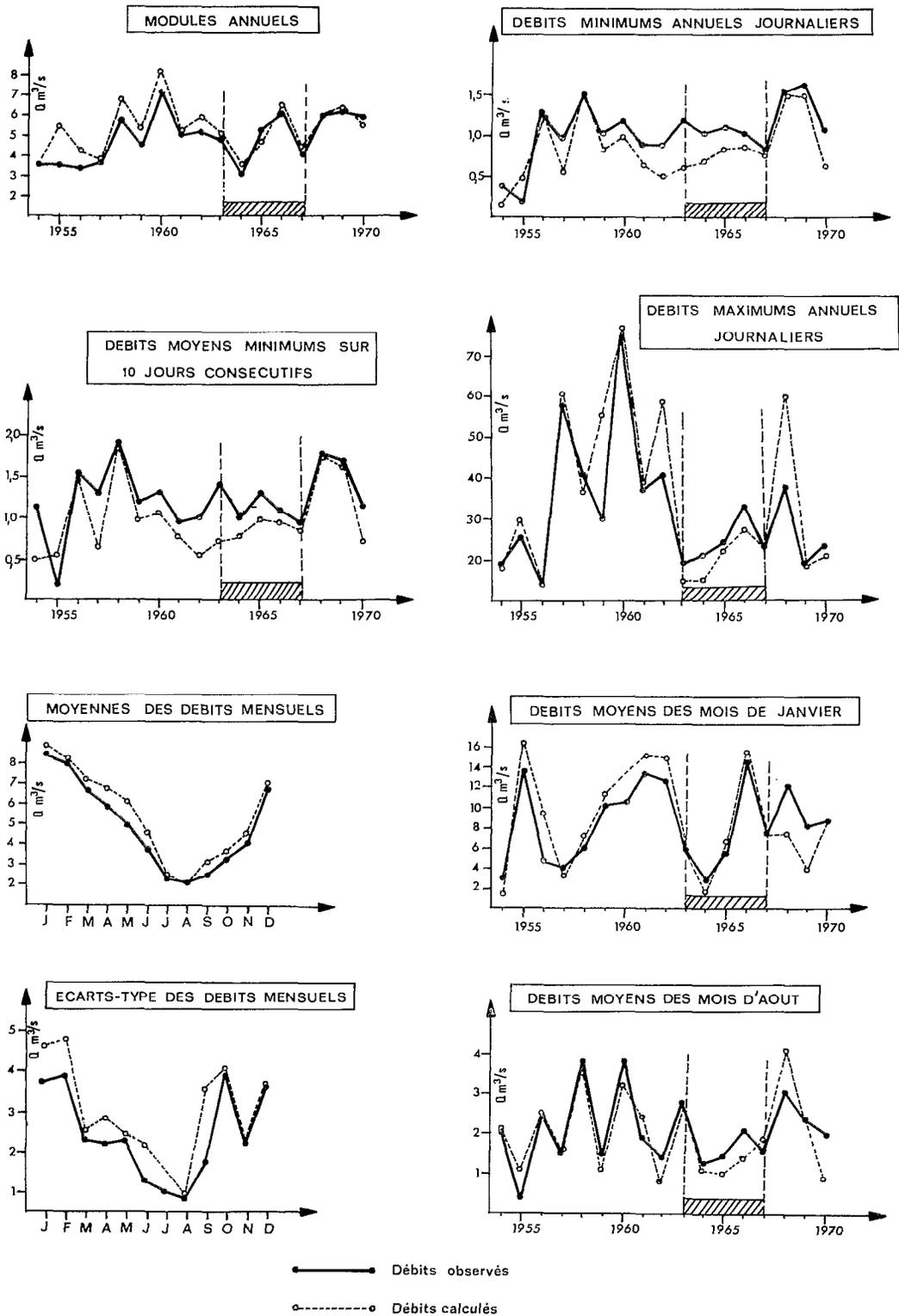
Pluie de 2 heures en 2 heures à Saint-Germain-Lavolps

| Année | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 | 12 |
|-------|---|---|---|---|---|---|---|---|---|----|----|----|
| 1961 | | | | | | | | | | | | |
| 1962 | | | | | | | | | | | | |
| 1963 | | | | | | | | | | | | |
| 1964 | | | | | | | | | | | | |
| 1966 | | | | | | | | | | | | |
| 1967 | | | | | | | | | | | | |
| 1968 | | | | | | | | | | | | |
| 1969 | | | | | | | | | | | | |
| 1970 | | | | | | | | | | | | |

Pluie de 2 heures en 2 heures à La Courtine

| Année | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 | 12 |
|-------|---|---|---|---|---|---|---|---|---|----|----|----|
| 1966 | | | | | | | | | | | | |
| 1967 | | | | | | | | | | | | |
| 1968 | | | | | | | | | | | | |
| 1969 | | | | | | | | | | | | |
| 1970 | | | | | | | | | | | | |

Une méthode systématique de dépouillement a été utilisée. Il y a quelques années, le Laboratoire avait testé une méthode de dépouillement des pluviogrammes par digitalisation sur machine D-MAC. Il s'agit en fait de traduire l'enregistrement dans un système (x, y), puis de transformer ces données « digitalisées » en données bi-horaires. La méthode a été reprise, améliorée et étendue au dépouillement des limnigrammes. Dix années de pluie et de débit ont été ainsi traitées.



Bassin expérimental de la Diège
 Etude et critique des débits générés sur 1954-1970 avec le jeu de paramètres obtenu par calage du modèle CREC sur 1963-1967
 avec la pluviométrie de Saint-Germain-Lavolps

6. RÉSULTATS OBTENUS ET CONCLUSIONS

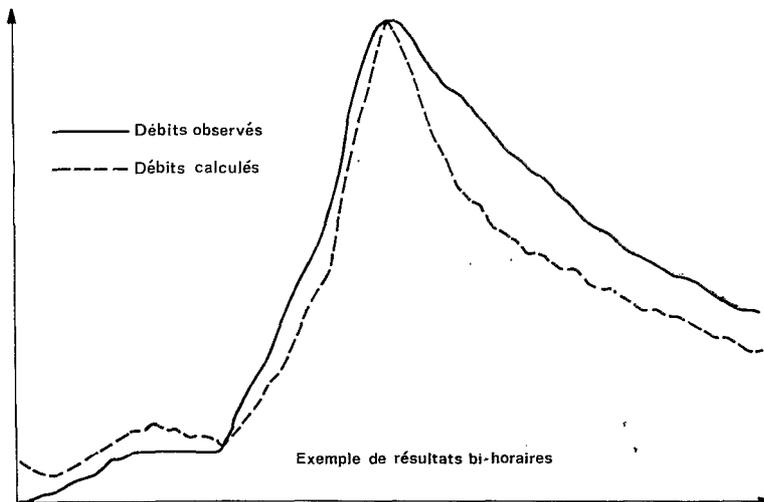
Comme tout bassin représentatif, le bassin versant de la Diège constitue en lui-même, un outil de recherche privilégié en ce qui concerne les mécanismes mis en jeu par le cycle hydrologique naturel.

Dans le cadre d'une action concertée groupant trois bassins versants dont celui de la Diège, le Laboratoire d'Hydrologie de Montpellier a établi un modèle de liaison pluie-débit permettant la reconstitution des séries de débits observés à partir des séries concomitantes de pluie et autorisant une meilleure connaissance des mécanismes hydrologiques considérés à l'échelle de ces bassins.

Diverses étapes ont été nécessaires, telles que :

- Choix du schéma et mise au point de modèles de liaison pluie-débit ;
- Réglage du modèle et mise au point d'un processus de détermination numérique des paramètres ;
- Choix d'un critère d'écart ;
- Vérification de la validité du modèle par comparaison aux séries observées (au niveau des caractéristiques statistiques des principales grandeurs hydrologiques) ;
- Etude de la convergence de ces méthodes en présence d'erreurs aléatoires sur les données d'entrées ;
- Analyse spectrale et temporelle des séries entrée-sortie (choix du pas de temps des entrées, détermination du décalage pluie-débit par analyse spectrale).

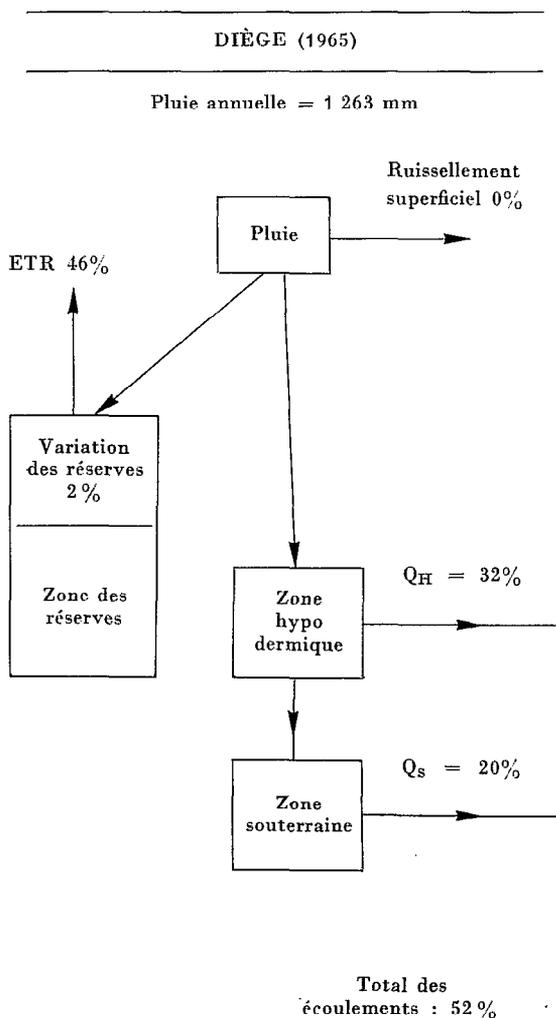
Ceci a permis de définir une méthodologie générale d'utilisation qui devrait permettre à long terme, l'identification des relations liant les caractéristiques physiques d'un bassin et les paramètres du modèle, identification nécessaire dans le cas d'application du modèle à des bassins non contrôlés.



Bassin expérimental de la Diège
Crue du 13 janvier 1962

MODÈLE CREC : EXEMPLE DE BILAN ANNUEL

L'année utilisée a été choisie en fonction de la représentativité du comportement moyen du bassin (modèles, maximum journalier...)



BILAN DE LA RÉPARTITION DES ÉCOULEMENTS
(issu du modèle CREC)
Bassin de la Diège

| Etat de la zone hypodermique (mm) | Écoulement de la zone hypodermique (%/24 h) | Alimentation de la zone souterraine (%/24 h) |
|-----------------------------------|---|--|
| 1 | 0,1 | 0 |
| 5 | 0,5 | 0 |
| 10 | 1 | 0 |
| 20 | 2 | 0 |
| 40 | 4 | 3,5 |

Résumé des résultats de recherches sur les bassins d'investigation de la Vézère: sous-bassins de Coly et de l'Elle

1. ORGANISME GESTIONNAIRE

A l'origine, convention du 25 avril 1966 passée entre le Centre Français d'Information de l'Eau (CEFIE), agissant en temps que gestionnaire du BEP et l'Entente Interdépartementale Corrèze-Dordogne.

Responsable scientifique : Direction Départementale de l'Équipement de la Dordogne, Service Hydrologique Centralisateur du Bassin de la Dordogne, 24016 Périgueux.

2. THÈME DE RECHERCHES

Étude des deux problèmes suivants :

- Rendement des averses sur des terrains géologiquement et pédologiquement différents ;
- Formation et propagation des crues.

3. DESCRIPTION DES BASSINS

Trois bassins sont étudiés :

- Larnaudie en amont de Coly (affluent rive gauche de la Vézère),
- Ayen en amont de l'Elle (affluent rive droite de la Vézère),
- Serre-Bru sur un affluent de l'Elle (rive droite de la Vézère).

Le complexe physique de chacun de ces bassins est résumé dans le tableau suivant :

| Nom du bassin | Larnaudie | Ayen | Serre-Bru |
|--|--|---|--|
| Longitude | 1° 16' 44" | 1° 18' 20" | 1° 14' 20" |
| Latitude | 45° 59' 47" | 45° 16' 52" | 45° 09' 15" |
| Altitude de base (m) | 204 NGF | 180 NGF | 120 NGF |
| Altitude moyenne (m) | 262 NGF | 275 NGF | 243 NGF |
| Période de fonctionnement | 1967-1973 | 1967-1973 | 1968-1973 |
| Superficie en km ² (A) | 0,70 | 4,70 | 0,65 |
| Indice de compacité (K) | 1,20 | 1,20 | 1,13 |
| Longueur du rectangle en km | 1,23 | 3,16 | 0,84 |
| Indice de pente (Ip) | 0,21 | 0,24 | 0,35 |
| Indice de pente global (Ig) | 73 m/km | 49 m/km | |
| Densité de drainage (D) | 0,79 | 1,06 | 2,30 |
| Altitude extrême (en m) | 305 NGF | 376 NGF | 276 NGF |
| Orientation des vents dominants | OSO | OSO | OSO |
| Terrain géologique | Calcaire : — santorien 55% — conacien 40% Sidérolithique 5% | Grès permien 50% Calcaire 50% | Grès grossiers |
| Caractéristiques du sol perméabilité (p) | Très perméable p = 0,018 l/s.m ² | p = 0,06 à 0,09 | Imperméable |
| Végétation | Bois 90% Châtaigniers, chênes, pins Prairies 10% | Prairies sur les prés noyés au pied des falaises calcaires | Bois 22,8% Prairies et cultures sur les sidérolithiques (vignes, céréales) |
| Hydrogéologie | Sources en amont | Nappe phréatique circulation karstique | Ruissellement |
| Equipement | 1 seuil de jaugeage 1 limnigraphe OTT type XX : 1/2,5 3 pluviographes 10 pluviomètres (2 actuellement) 1 bac colorado 1 abri météo complet : — baro-thermo hygrographe — 1 Piche — 1 thermomètre maxi-mini | 2 seuils de jaugeage 2 limnigraphes OTT 1/5 3 pluviographes 1 abri météo : — thermo-hygrographe — Piche — thermomètre maxi-mini 2 limnigraphes sur puits | 1 seuil de jaugeage 1 limnigraphe OTT type XX 1/5 3 pluviographes 1 abri météo : — thermo-hygrographe — Piche — thermomètre maxi-mini 1 limnigraphe sur puits |

4. PRINCIPALES PUBLICATIONS

— Influence de la géologie sur le ruissellement.

LACAZEDIEU (G.) – 1970 – Etude hydrogéologique et géochimique de bassins expérimentaux dans les sous-affluents de la Vézère. Thèse de 3^e cycle.

— Etudes des facteurs géologiques de ruissellement.

Résultats obtenus en 1969 et 1970 sur les bassins versants d'Ayen et de Larnaudie.

Résultats obtenus en 1971 et 1972 sur les bassins versants d'Ayen, de Larnaudie et de Serre-Bru.

5. RÉSULTATS OBTENUS

La nette différence de structure géologique entre le bassin d'Ayen en majeure partie gréseux et moyennement perméable et le bassin de Larnaudie à substratum calcaire karstique, se reflète très nettement dans la forme des hydrogrammes à l'exutoire.

À Ayen, les pointes de crues ont atteint, en 1968, 25 à 30 fois la valeur du débit moyen ; après une longue période de temps sec, le débit est extrêmement faible.

À Larnaudie, les pointes de crues n'ont pas dépassé 4 à 5 fois la valeur du débit moyen. Le débit de temps sec est relativement plus soutenu ; le gradient des courbes de tarissement est beaucoup plus faible qu'à Ayen.

Les minuscules pics qui apparaissent parfois sur les hydrogrammes de Larnaudie, comme apports de ruissellement superficiel, sont dus à l'existence d'une zone saturée de très faible superficie en bordure du ruisseau. Ils se produisent seulement si l'épisode pluvieux est suffisamment long (de l'ordre de 24 h) ou si l'intensité de la pluie est suffisamment forte (de 5 à 10 mm/h).

À l'exutoire d'Ayen, le débit de ruissellement superficiel est très important dans les hydrogrammes de crue. Lorsque les épisodes ne se chevauchent pas, il est relativement facile de séparer le débit de ruissellement (superficiel et retardé) du débit de source. Le rendement de la pluie (rapport de la quantité d'eau passée à l'exutoire au cours d'un épisode donné à la quantité de pluie tombée) varie dans une très large plage (de 0,04 en août à 0,55 en décembre-janvier).

La période d'observation dont les résultats ont été dépouillés est encore trop courte pour qu'on puisse établir une corrélation correcte avec les paramètres météorologiques et les paramètres d'état du sol. Nous ne doutons pas toutefois que des corrélations parfaitement significatives puissent être obtenues si la période d'exploitation du bassin peut se prolonger pendant quelques années.

Enfin, en ce qui concerne le ruissellement superficiel et le ruissellement retardé, la pédologie paraît devoir fournir de meilleurs index que la géologie.

6. CONCLUSIONS

Les enseignements que nous pouvons tirer de l'étude entreprise sur les bassins représentatifs peuvent se résumer ainsi :

1) Cette étude a permis de mettre en évidence l'existence de microclimats au sein d'un petit bassin : ceci pose le problème du nombre d'appareils et de leur répartition spatiale pour l'établissement du bilan ;

2) De montrer que la végétation influe peu sur la forme de l'hydrogramme tout au moins dans des bassins perméables. Son rôle est négligeable en période d'hiver ;

3) De faire ressortir l'importance de la présence d'une nappe alluviale ou phréatique dans un bassin. Elle constitue une barrière ou un réservoir qui contribue à l'écrêtement naturel des crues.

En ce qui concerne l'équipement des bassins, en dépit des variations importantes constatées dans certains cas (bassin de Serre-Bru en particulier), il ne semble pas que la multiplicité des postes pluviométriques apporte beaucoup plus de précision. Par contre, de la position des points de mesure d'humidité du sol et de la fréquence des mesures dépend largement la validité des conclusions que l'on peut en tirer. Dans des bassins rocheux toute mesure d'humidité apparaît illusoire. Il y a là un problème d'équipement difficile à résoudre.

Dans un petit bassin, les paramètres locaux peuvent prendre une importance prépondérante, tandis qu'ils sont lissés dans un grand bassin : l'extrapolation des résultats quantitatifs d'un petit bassin à un grand reste donc difficile.

On ne doit pas pour autant conclure à l'inutilité de ce type de recherches, qui mettent en évidence la variabilité des facteurs influant sur le ruissellement et la genèse des crues.

Enfin, il convient d'admettre que si l'extrapolation nous paraît difficile, cela peut résulter simplement de ce que les paramètres principaux n'ont pas été dégagés et qu'en conséquence, il faut les rechercher dans le cadre de « bassins gigognes ».

Résumé des résultats de recherches sur le bassin représentatif du Gardon d'Anduze (Région Languedoc, France)

1. ORGANISME GESTIONNAIRE

Agence de Bassin Rhône-Méditerranée-Corse, 31, rue Jules-Guesde à Pierre-Bénite. Convention d'étude passée avec le Ministère de l'Équipement et du Logement, Service de la Navigation Rhône-Saône, 2, rue de la Quarantaine, 69005 Lyon.

2. THÈME DE RECHERCHES

Étude des relations pluie-débit sur un bassin versant type soumis au climat méditerranéen, en vue de la prévision des crues à partir des prévisions de pluie à court terme.

3. DESCRIPTION DU BASSIN

Situation :

Bassin hydrographique du Gardon d'Anduze.
Coordonnées à l'exutoire : 44° 3' 30" N et 3° 59' 17" E.

Caractères physiques et morphologiques :

Superficie : 545 km².
Altitudes allant de 125 à 1 100 m.
Indice de compacité : 1,33.
Indice de pente global : 22,7 m/km.
Réseau hydrographique : en forme de fourche à deux dents sans lit majeur important.
Unités géomorphologiques : montagnes peu élevées, mais relief très accidenté.

Géologie (sols) :

Schistes des Cévennes : 60%.
Granites arénisés : 16,6%.
Calcaires formation karstique : 16,3%.
Formations triasiques gréseuses : 5,0%.
Gneiss de Peyrolles : 2,1%.
Sur ces formations géologiques : sols colluviaux d'épaisseur très variable à humus peu évolué, en général favorables à l'infiltration.

Climat :

Méditerranéen.
Saison humide de novembre à mai ; saison sèche de mai à septembre ; saison de pluies orageuses pouvant occasionner des crues violentes, septembre-octobre.
Lame d'eau tombée sur le bassin versant : de 1,5 à 2,5 m par an.
Évaporation Thornthwaite : 650 à 750 mm/an.

Végétation :

Landes, cultures, prairies : 40%.
 Forêt : 60% ; l'essence dominante est le châtaignier.
 Chêne vert abondant, notamment dans la partie aval du bassin.
 Résineux apportés récemment par le Fonds Forestier National.

Équipement :

8 stations hydrométriques,
 10 stations pluviométriques (totalisateurs),
 7 stations pluviométriques (pluviographes),
 4 stations météorologiques (pluviographes, thermographes sous abri, bac Colorado).
 Tout matériel pour mesure des débits.
 Période de fonctionnement : à partir de 1969 et 1970.

4. PRINCIPALES PUBLICATIONS

1969 – Application de la Spectrographie d'arc à la mesure des débits en rivières.
 1972 – Synthèse des crues du Gardon de Sainte-Croix, 80 p., nombreux graphiques.

5. RÉSULTATS OBTENUS

L'étude des relations pluie-débit à l'aide d'un modèle nécessite la connaissance :

- Des pluies et des débits, pour caler les paramètres du modèle ;
- D'une loi d'infiltration, pour faire fonctionner le modèle.

Ceci a pu être mené à bien moyennant la présence à plein temps de deux agents sur le terrain pour faire les mesures et entretenir le matériel.

Les données suivantes ont été obtenues :

| Mesure | Unité | Fréquence | Présentation | Période |
|-------------------|--|---|------------------------------------|---------|
| Pluie | mm/h (1) | Enregistrement | Cartes perforées | 1969 |
| Hauteur d'eau | m (1) | Enregistrement | Cartes perforées | 1969 |
| Débits | m ³ /s | Transformation à partir de courbes de tarage | Sortie imprimante et graphiques | 1969 |
| Température | ° C | Enregistrement | Tableaux | 1970 |
| Evaporation | mm | Semaine | Tableaux | 1970 |
| Vent | Normes MN | Enregistrement | Tableaux | 1970 |
| Humidité des sols | $\frac{\text{Poids eau}}{\text{Poids sec}} \times 100$ | Carottages chaque semaine | Tableaux et graphiques | 1970 |

(1) Pour certaines crues violentes, on est descendu à un pas de temps de dépouillement de 1/2 heure, et le 1/4 heure est possible pour certaines stations pluviométriques.

Les événements averse-crue ont été isolés et servent au traitement des données à l'aide d'un modèle de relation pluie-débit de type déterministe (dérivé des travaux de HOLTAN, CRAWFORD, LACROIX) et fonctionnant provisoirement par crue. Son utilisation en modèle continu avec changement de pas de temps pour les périodes sans pluie est à l'étude.

Ce modèle est appliqué sur des bassins partiels. La combinaison et la propagation des débits seront obtenues à l'aide d'un modèle dérivé de celui de Kalinin-Milinkov.

Anonyme

Des résultats obtenus par application du modèle sur deux bassins partiels, il résulte que le problème le plus ardu consiste en la détermination automatique des conditions initiales d'humidité du bassin. L'exploitation des mesures d'humidité est difficile, et leur relation avec les paramètres climatiques, si elle existe, n'est pas encore connue.

Cette étude est en cours et pourra provoquer une modification du modèle si nécessaire.

Résumé des résultats de recherches sur le bassin de l'Hallue

(P.) de La Quèrièrè

1. ORGANISME GESTIONNAIRE

Bureau de Recherches Géologiques et Minières.

2. THÈME DE RECHERCHES

Les études effectuées sur le bassin de l'Hallue poursuivent un double but :

— D'une part, une meilleure connaissance des mécanismes d'alimentation de l'aquifère pour la prévision d'exploitation dans la gestion des nappes d'eau souterraines ;

— D'autre part, l'extension de ces données à l'ensemble de la nappe de la craie qui couvre le vingtième de la surface de la France.

Ces deux thèmes ont finalement pour conséquence l'amélioration constante des moyens de traitement des données et de leur application à des réseaux d'observation des nappes d'eau souterraine plus étendus et moins détaillés. Ces traitements doivent donc être fiables, souples, rapides et économiques.

3. DESCRIPTION DU BASSIN

3.1. CARACTÈRES

3.1.1. *Situation*

Picardie, affluent de la rive droite de la Somme, 10 km en amont d'Amiens.

3.1.2. *Caractères géomorphologiques*

Forme triangulaire.

Superficie : 219 km².

Compacité : 1,46.

Indice de pente : 0,069.

Altitude maximale : 160 m ; minimale : 27 m.

Densité de drainage : 0,068.

Longueur du cours d'eau pérenne, 15 km (année normale).

Pente moyenne : 2,4/1 000.

3.1.3. *Caractères climatiques*

Climat type océanique.

Hauteur de pluie annuelle : 740 mm (5 ans).

Température annuelle : 10°3.

Evaporation (Piche) annuelle : 550 à 650 mm.

Hygrométrie : 80%.

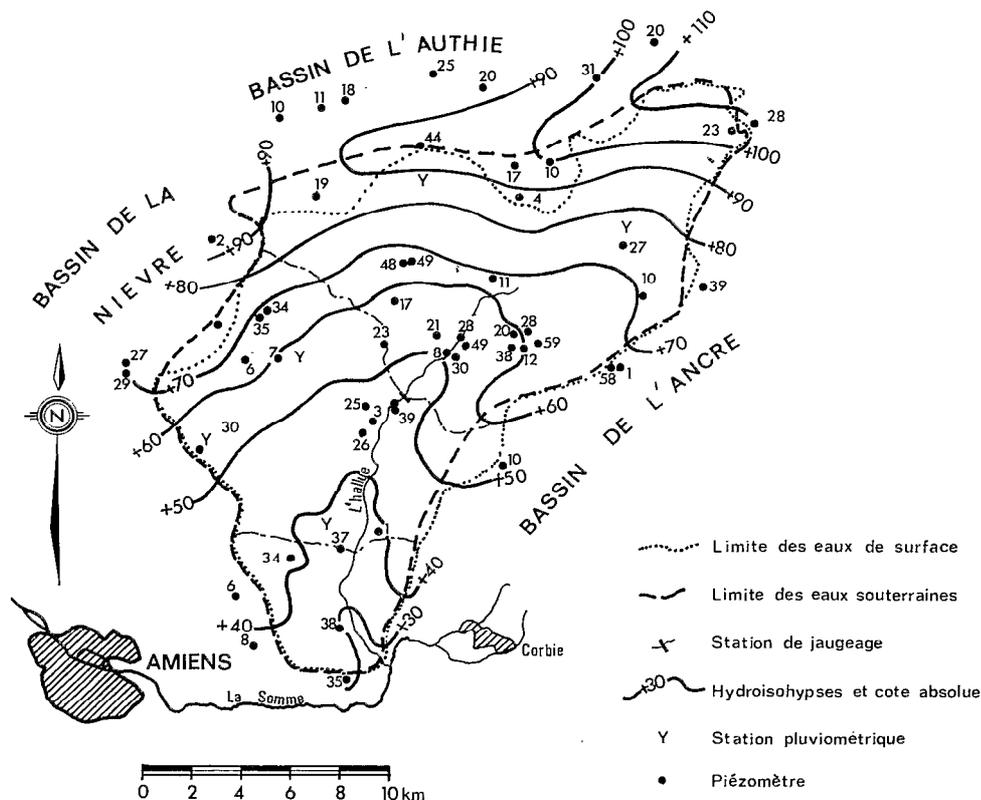
Insolation : 1 500 à 1 700 h/an.

Vent secteur ouest prédominant ; vitesse moyenne : 2,5 à 3 m/s.

3.1.4. Caractères de milieu

— Limons de plateaux (2 m d'épaisseur) et formation résiduelle à silex sur craie du Sénonien et du Turonien.
— Activité agricole, cultures (betteraves, céréales) et prairies sur 195 km², bois (feuillus) sur 14 km², surface habitée : 6 km².

— Nappe de la craie contenue dans le Sénonien et le Turonien supérieur épais de 40 m (vallée), à 100 m (plateaux) considéré comme milieu poreux. La nappe est unique, alimentée par les pluies et drainée par les vallées sèches et la rivière ; ses limites (crête piézométrique) correspondent approximativement aux limites topographiques et son exutoire est celui du cours d'eau. Son épaisseur moyenne est de 35 m environ et sa profondeur pratiquement nulle dans la vallée, atteint 50 m sous les plateaux. Elle soutient la rivière dont elle régularise les écoulements (débit moyen annuel sur sept ans, 1,5 m³/s). Les fluctuations du niveau piézométrique varient de 0,50 m dans la vallée, de 0 à 5 m à proximité de celle-ci et des limites et de 5 à 7 m dans la partie médiane du bassin.



Bassin de l'Hallue
Hydroisohypses de la nappe de la craie

3.2. DISPOSITIFS DE MESURE

3.2.1. Climatologie

— 10 pluviomètres à relevés journaliers de 1966 à 1970, hebdomadaires ensuite.
— 2 parcs simplifiés (pluviographe, thermo-baro-hygrographe, 1 anémomètre et 1 évaporomètre de Piche).
— 1 parc complet au centre du bassin avec les mêmes appareils que précédemment, mais équipés d'un anémomètre enregistreur, d'un héliographe et d'un bac d'évaporation.

3.2.2. Hydrologie

— 5 seuils minces ou épais équipés de limnigraphes dont 4 sur le cours permanent de la rivière.

3.2.3. Hydrogéologie

- 60 puits fermiers ou forages servant de piézomètres choisis parmi 200 points dont 7 équipés de limni-graphes, mesures manuelles bimensuelles à bimestrielles.
- Jaugeage binannuel de 10 sources principales (hautes et basses eaux).

4. PRINCIPALES PUBLICATIONS

- LA QUERIERE (de) (P.), ROUX (J.-C.) – 1969 – Validité des jaugeages périodiques pour le calcul des lames d'eau annuelles et mensuelles dans les bassins crayeux de Picardie. Mémoires du BRGM, n° 76.
- LA QUERIERE (de) (P.) – nov.-déc. 1970 – *Bull. Société linnéenne*, 3^e sem., n° 1.
- CANCEIL (M.) – déc. 1972 – International symposium on incertainties in hydrologic and water resources systems. University Tucson Arizona (USA).
Rationalisation des mesures piézométriques à l'aide de technique d'analyse multivariante.

5. RÉSULTATS OBTENUS

5.1. Les observations montrent l'étroite relation de la rivière et de la nappe, l'effet tampon de celle-ci sur la variabilité des événements pluvieux.

5.2. Les informations traitées sont les données de pluie, de température, de débit et de niveaux piézométriques, elles sont relatives à une période de 5 ans (1966 à 1970).

5.3. Les procédés de traitement utilisés sont les suivants :

- Un modèle mathématique DRTRA (direct en régime transitoire) calé sur les informations piézométriques et de débit (assisté d'un calcul automatique de la formule de Thornthwaite et du modèle Méro);
- Une déconvolution (G. de MARSILY, ENSMP) pour déterminer la fonction de transfert pluie-débit;
- Une analyse statistique sur les données pluie et niveaux de nappe cherchant, d'une part, à dégrossir le problème et à les réduire (optimisation), d'autre part, pour alléger le coût de leur acquisition et de leur traitement.

5.4. RÉSULTATS OBTENUS

5.4.1. Modèle mathématique DRTRA

C'est un programme général simulant un écoulement bidimensionnel d'une nappe en régime transitoire, assimilation acceptable étant donné la faible amplitude des fluctuations en regard de l'épaisseur de la nappe. Le domaine est considéré comme une cuvette aux parois imperméables et la cote topographique du sol est imposée comme une borne aux variations piézométriques. La lame d'eau infiltrée a été calculée par les méthodes de Thornthwaite et de Méro. Les paramètres hydrodynamiques (T et S) ont été répartis suivant des pompages d'essai dans des zones analogues car aucune opération de ce type n'a pu être effectuée sur le bassin.

Le modèle a été calé sur la période 1966-1967 et on a simulé l'écoulement de 1967 à 1970. La réponse est satisfaisante pour la reconstitution des débits (excepté la période de hautes eaux de 1970) et la piézométrie globale; la restitution des historiques piézométriques locaux sur une longue période n'est pas satisfaisante quant à l'amplitude des fluctuations mais les périodes de hautes eaux et d'étiage correspondent assez bien. Enfin, l'emploi de la méthode de Méro améliore les ajustements comparativement à ceux fournis par Thornthwaite.

La simulation a été représentative de l'écoulement d'ensemble à 15% près, précision satisfaisante pour le choix d'un régime d'exploitation de la nappe, et méthode économique pour l'évaluation des paramètres hydrodynamiques par rapport aux mesures *in situ*.

5.4.2. Déconvolution

Il s'agit de déterminer la fonction de transfert θ qui existe entre la hauteur de pluie et le débit de la rivière; ce qui revient à caler la meilleure fonction θ représentant de façon approchée la relation pluie-débit.

$$S(t) = \int_{-\infty}^t E(\xi) \theta(t - \xi) d\xi$$

S = débit E = pluie

On minimise la somme des carrés des écarts entre la sortie S et le produit de convolution $\theta \times E$:

$$\text{Min} \sum_{y=y_{\min}}^{y'=y_{\max}} \left[S(y) - \sum_{i=y-n}^i E(i) \varphi(y-i) \right]^2.$$

Les meilleurs ajustements sont obtenus avec les méthodes d'évaluation de l'évapotranspiration de Turc et de Thornthwaite en prenant en compte une réserve facilement utilisable nulle. Le modèle Méro donne une fonction de transfert très satisfaisante et un ajustement légèrement moins bon, cependant satisfaisant ; par contre, il reproduit mieux les débits de l'étiage 1969.

Quelques opérations supplémentaires ont été effectuées : groupage des pluviomètres (meilleur ajustement avec un seul P 6 situé au centre du bassin à Contay). La réduction de l'unité de temps (de 10 à 5 jours) améliore l'ajustement, mais le progrès ne justifie pas l'augmentation du temps de calcul. La désaisonnalisation des données n'a pas donné de résultats convaincants.

Pour utiliser cette méthode de déconvolution, il apparaît nécessaire de posséder deux axes de mesure de débit et trois axes de pluie. Tous les calculs ont montré qu'à partir de mars ou avril, les pluies n'influencent plus le débit. On peut donc après avoir calé θ prédire le débit jusqu'à la fin de l'été ; cette prévision d'ailleurs pessimiste, permet de fournir une estimation du débit minimum garanti de l'exutoire. Sur 4 ans (1967 à 1970) la prévision est excellente pour 1967, assez bonne mais pessimiste pour deux années (1968 et 1970), trop pessimiste en 1969.

5.4.3. Analyse statistique des données de pluie et de niveaux de nappe

5.4.3.1. Données pluie

Les informations ont été traitées par un programme d'analyse factorielle des correspondances. Les informations journalières ne présentent pas de redondance significative dans l'espace et une réduction importante du réseau aura pour conséquence une perte d'information substantielle. Par contre, la redondance entre pluviomètres à l'échelle mensuelle est beaucoup plus forte que précédemment. Finalement pour le traitement du domaine saturé, étant donné l'effet tampon du réservoir, l'information mensuelle bien autocorrélée spatialement supporte une réduction des points d'observation. Par contre, si l'on veut traiter le domaine non saturé, il semble nécessaire, étant donné la diversification des informations, de garder une information journalière aussi riche que possible spatialement parlant.

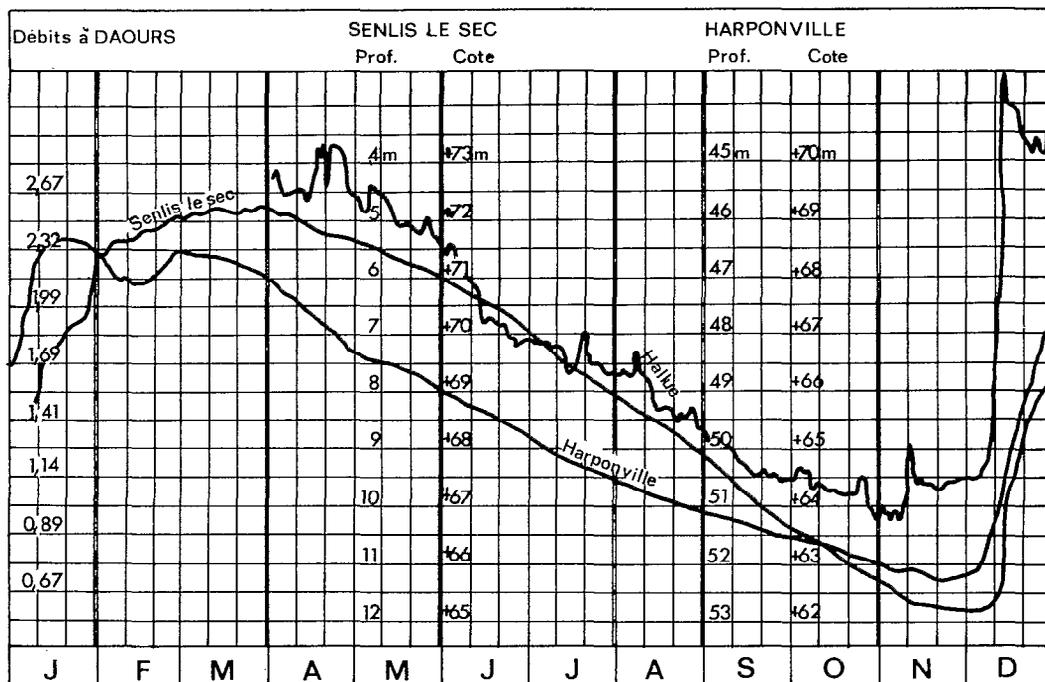
5.4.3.2. Données niveaux

Les données très structurées ont été traitées par un programme de l'analyse en composantes principales. L'information piézométrique peut être considérée comme un scalaire, elle est fortement autocorrélée. Il est possible de reconstituer globalement un mois de mesure et on peut construire un modèle de reconstitution de mesures (optimisation du réseau) simple et robuste donnant pour 95% des observations, une prévision des niveaux à 60 cm près.

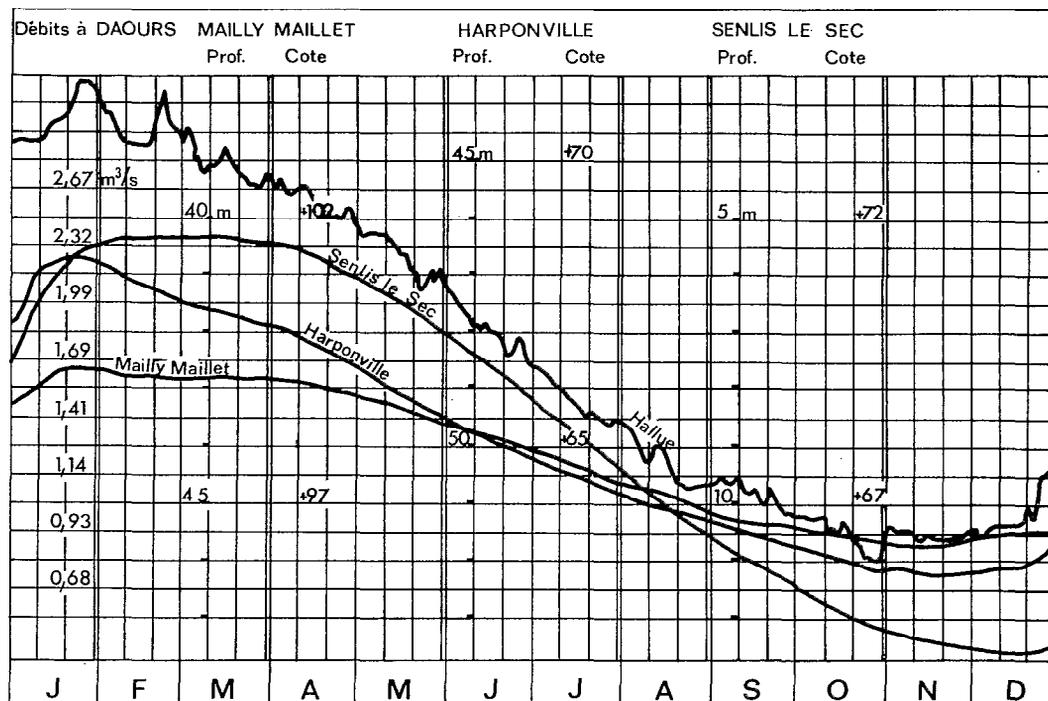
6. CONCLUSIONS

L'étude du bassin de l'Hallue a permis de prévoir les relations pluie-débit-nappe. Le modèle DRTRA permet de simuler les écoulements dans les bassins de craie à 15% près (en l'absence d'une connaissance précise des paramètres hydrodynamiques) et de choisir un régime d'exploitation de la nappe. La déconvolution permet une prévision des débits à court et moyen terme. L'étude statistique des données pluviométriques et piézométriques permet d'optimiser le réseau de mesures (à l'échelle mensuelle suffisante pour traiter le domaine saturé). On dispose donc d'outils suffisamment efficaces pour amorcer la gestion d'aquifères morcelés en bassins considérés comme naturellement indépendants (cas de la Picardie et de la Normandie).

Mont-Saint-Aignan, le 30 octobre 1973.



Hydrogramme de l'Hallue à Daours et fluctuation de la nappe (année 1966)



Hydrogramme de l'Hallue et fluctuation de la nappe (année 1967)

Résumé des résultats de recherches sur le bassin représentatif de la Crique Virgile (Guyane)

(P.) Dubreuil

1. ORGANISME GESTIONNAIRE

Office de la Recherche Scientifique et Technique Outre-Mer (ORSTOM), Service Hydrologique, 19, rue Eugène-Carrière, 75018 Paris.

Section Hydrologie du Centre ORSTOM de Cayenne (Guyane).

2. THÈME DE RECHERCHES

Détermination analytique des caractères hydrologiques d'un bassin représentatif de la forêt dense humide, sur terrains schisteux accidentés sous climat équatorial très pluvieux.

3. DESCRIPTION DU BASSIN (voir carte topographique et d'équipement)

Situation :

Bassin hydrographique du Mahury.

Coordonnées à l'exutoire : 4° 31' 5" N et 52° 19' 21" W.

Caractères physiques et morphologiques :

Superficie : 7,6 km².

Altitude moyenne : 60 m.

Indice de compacité : 1,14.

Indice de pente global : 28,4 m/km.

Densité de drainage : 3,32.

Réseau hydrographique radial à lit majeur soumis à inondations.

Unités géomorphologiques : collines.

Géologie (sols) :

58% de sols ferrallitiques très désaturés sur schistes (60% d'argile).

42% de sols hydromorphes lessivés à gley sur alluvions fluviales (15-25% d'argile).

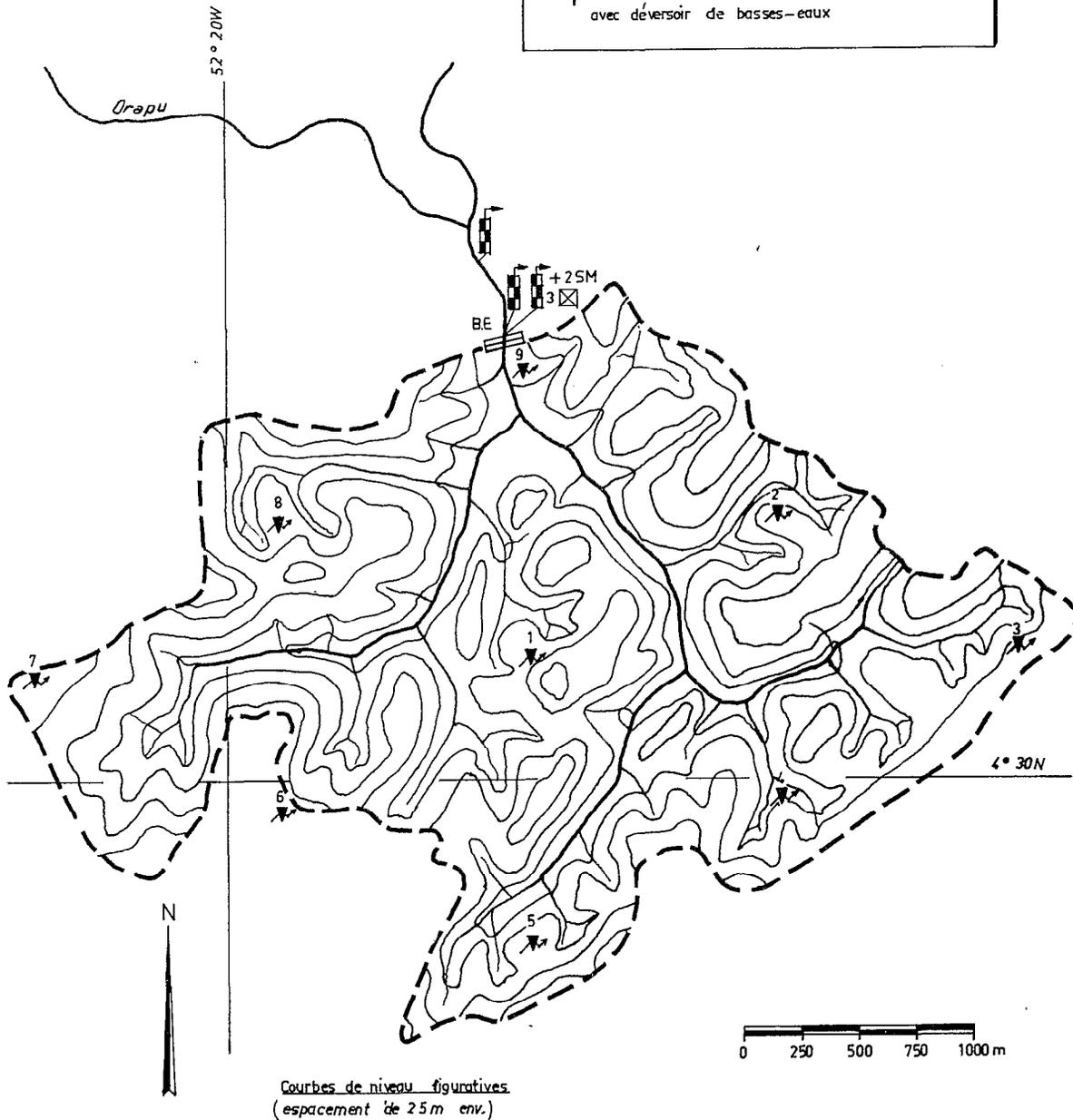
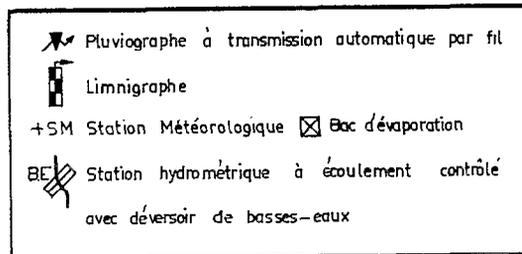
Nappe permanente.

Climat :

Equatorial de transition à températures maximales de 29 à 32 °C et minimales de 21 à 23 °C.

Evaporation annuelle sur Piche de 1 050 mm.

Précipitations sous forme d'averses ou de type « mousson » dépassant 300 mm de décembre à juillet, et atteignant un total annuel de 4 200 mm.



Bassin représentatif de la Crique Virgile
Carte topographique et d'équipement

Carte de référence I. G. N. : Cayenne-Régina
Photographies aériennes :

Végétation :

Forêt dense humide.
Aucune culture.

Équipement :

1 station hydrométrique canalisée à déversoir de basses eaux,
9 pluviographes à transmission par fil vers station centrale,
2 stations météorologiques complètes : l'une sous forêt, l'autre au sommet d'une tour de 30 m (cime de la strate forestière),
Période de fonctionnement continue, de juin 1959 à mai 1962.

Code de macroclassification internationale :

00.6.3.1.0.9.0.5.

4. PRINCIPALES PUBLICATIONS

1963 - Le bassin expérimental de la Crique Virgile (Guyane française). Rapport préliminaire. ORSTOM, Service Hydrologique, Paris, multigr., 73 p., plus annexes.
FOUCEROUZE (J.) - 1964 - Quelques problèmes de bioclimatologie en Guyane française. *Agronomie Tropicale*, n° 3, pp. 291-346.

5. RÉSULTATS OBTENUS

5.1. Premier bassin représentatif implanté en forêt vierge, le bassin de la Crique Virgile a tout d'abord posé des problèmes logistiques propres au milieu qu'il a fallu résoudre. L'accès par voie d'eau obligatoire, a obligé de choisir la station dans un bief sous remous de l'aval d'où il en est résulté une technique de détermination du débit à partir des relevés de deux limnigraphes donnant la pente hydraulique. Le déplacement sous forêt très difficile, a obligé d'installer un réseau de télétransmission par fil des informations pluviographiques (enregistrement de chaque basculement d'auget sur une table déroulante centralisant 9 voies émettrices) dont les pannes fréquentes au début, ont peu à peu été réduites à un niveau acceptable (15 à 20%).

L'information hydropluviométrique collectée est donc, malgré quelques lacunes, de qualité satisfaisante et couvre trois années hydrologiques.

Son analyse a été effectuée à l'aide de la méthodologie classique reposant sur la discrimination des événements averse-crue et sur la recherche d'un modèle global, hydrogramme type, de la transformation pluie-débit.

5.2. Malgré la forte teneur en argile des sols des hauteurs, la profonde altération des schistes et la capacité de rétention élevée des sols hydromorphes de bas-fonds font que la réaction positive (crue ou augmentation nette du débit de base) du bassin, a une précipitation qui ne se produit que si celle-ci dépasse 8 mm, 24 h après une pluie antérieure, 15 mm après 3 jours sans pluie et 25 mm après 8 jours.

Cette limite au ruissellement bien qu'élevée, est souvent franchie dans un climat où il pleut 270 jours par an, dont 110 en moyenne reçoivent plus de 10 mm.

Les crues sont composées en proportion dominante de ruissellement hypodermique ou retardé, la part du ruissellement rapide n'étant importante que si la précipitation est abondante et comporte un corps à caractère orageux ayant de fortes intensités (plus de 50 mm/h). Les crues de caractère unitaire ou typique découlent évidemment de ces averses intenses, les autres crues étant de forme plus molle. L'hydrogramme type médian du bassin, déduit de 7 crues de caractère unitaire, dure 8 h avec un temps de montée de 2 h 15, le temps de réponse à l'averse étant alors de 2 h 30. Le débit maximal de cet hydrogramme vaut 5,5 m³/s pour 76 000 m³ (ou 10 mm de lame ruisselée).

Les coefficients de ruissellement des crues Kr se situent en majorité dans l'intervalle 25 à 50%. Une analyse de ces coefficients par la méthode des déviations résiduelles, a abouti au schéma d'équations suivant :

$$Kr = 50,8 \log P - 45,6 \quad (1)$$

$$\Delta Kr = 0,448 IS - 9,8 \quad (2)$$

avec P précipitation moyenne sur le bassin en mm.

IS indice de saturation préalable calculé par l'équation :

$$IS = \Sigma (Pa - le) \cdot ta^{-1,5}$$

Pa pluie antérieure en mm,

le lame écoulée lors de la pluie antérieure, en mm,

ta espace de temps séparant la pluie P de la pluie antérieure en jours.

Le coefficient de ruissellement croît avec le logarithme de la pluie moyenne pour un indice de saturation moyen voisin de 22 mm/j et sa vraie valeur s'écarte de cette valeur moyenne proportionnellement à l'indice de saturation, selon l'équation (2).

L'utilisation combinée de l'hydrogramme type et du modèle précédant de transformation pluie-débit, permet de calculer une crue provoquée par une précipitation de fréquence choisie, par exemple décennale. Sur une averse décennale de 165 mm, le coefficient de ruissellement est évalué à 70% sachant l'indice de saturation à 35 mm/j ; la crue composée de 4 hydrogrammes-types décalés de 2 h, a un maximum de 38 m³/s soit 5 000 l/s.km². Parmi les événements observés, une pluie de récurrence sensiblement décennale avait donné un écoulement peu inférieur (de 15%), mais avec un débit de pointe plus faible (25 m³/s) par suite de la forme plus allongée et moins intense de la précipitation.

En trois ans, quatre autres crues ont donné des maximums supérieurs à 13 m³/s.

5.3. L'écoulement est permanent. Les réserves importantes emmagasinées durant la longue saison des pluies par un manteau d'altération profond et à forte capacité de rétention, permettent le soutien des étiages d'août à novembre à un niveau élevé. Un débit caractéristique d'étiage moyen de plus de 20 l/s.km² est concevable. Le module moyen est estimé à 80 l/s.km². La variabilité interannuelle doit être faible ; l'année 1961 très déficitaire en précipitation (récurrence décennale) en donne une certaine idée avec un module réduit à 50 l/s.km² et un étiage caractéristique de seulement 13 l/s.km².

5.4. La disposition d'une tour atteignant le sommet de la forêt, a permis d'étudier les variations micro-climatiques que l'on peut résumer ainsi :

a) Si les températures minimales varient peu, au contraire les températures maximales croissent nettement de moins de 0° 1/m entre le sol et 18-20 m, de près de 0° 3/m entre 20 et 30 mètres, ce qui conduit à des écarts de 4 à 5° entre sol et sommet des arbres (1 à 2° par temps couvert).

b) L'humidité relative décroît vers le sommet des arbres surtout en fin de journée (ensoleillement, température élevée) de 10 à 20%.

En conséquence, l'évaporation au Piche est beaucoup plus intense au-dessus que sous la forêt ; cinq fois plus en période sèche, dix fois plus en période pluvieuse. Ces grandes différences sont dues à la fois aux écarts thermiques et hygrométriques remarquables, mais aussi à l'action du vent, nulle sous la forêt.

6. CONCLUSIONS

Les résultats obtenus éclairent la connaissance que l'on avait des régimes hydrologiques guyanais, proches voisins de ceux de l'Amazonie et bons témoins de la forêt équatoriale, à travers le réseau hydrométrique classique en précisant le mécanisme de formation de l'écoulement sur terrains schisteux.

Les conséquences sur le programme de recherches en Guyane ont été de deux ordres :

a) Pour le bassin de la Crique Virgile, l'application d'un modèle déterministe continu à la transformation pluie-débit a été envisagée, ainsi qu'une analyse de la forme caractéristique des hydrogrammes des précipitations.

b) L'exploitation de bassins représentatifs sur les autres grandes unités géologiques du bouclier guyanais a suivi celle du bassin de la Crique Virgile : Crique Cacao sur roches vertes de 1964 à 1966 et Crique Grégoire sur granites depuis 1968. Une synthèse ultérieure du mécanisme d'écoulement avec recherche du rôle de différenciation joué par le substratum pourrait clore ce programme.

Paris, septembre 1973.

Résumé des résultats de recherches sur le bassin représentatif de la Crique Cacao (Guyane)

(G.) Vuillaume

1. ORGANISME GESTIONNAIRE

Office de la Recherche Scientifique et Technique Outre-Mer (ORSTOM), Service Hydrologique, 19, rue Eugène-Carrière, 75018 Paris.
Section Hydrologique du Centre ORSTOM de Cayenne (Guyane).

2. THÈME DE RECHERCHE

Détermination analytique des caractères hydrologiques d'un bassin représentatif de la forêt dense et humide sur roches vertes basiques très accidentées dans une région à climat équatorial.

3. DESCRIPTION DU BASSIN (voir carte topographique et d'équipement)

Situation :

Bassin hydrographique du Mahury.
Coordonnées à l'exutoire : 4° 34' 08" N et 52° 27' 44" W.

Caractères physiques et morphologiques :

Superficie : 13 km².
Altitudes : 28-338 m.
Indice de pente global : 85,8 m/km.
Densité de drainage : 4,07.
Réseau hydrographique radial-arête à orientation tectonique rectangulaire.
Unités géomorphologiques : montagnes.

Géologie (sols) :

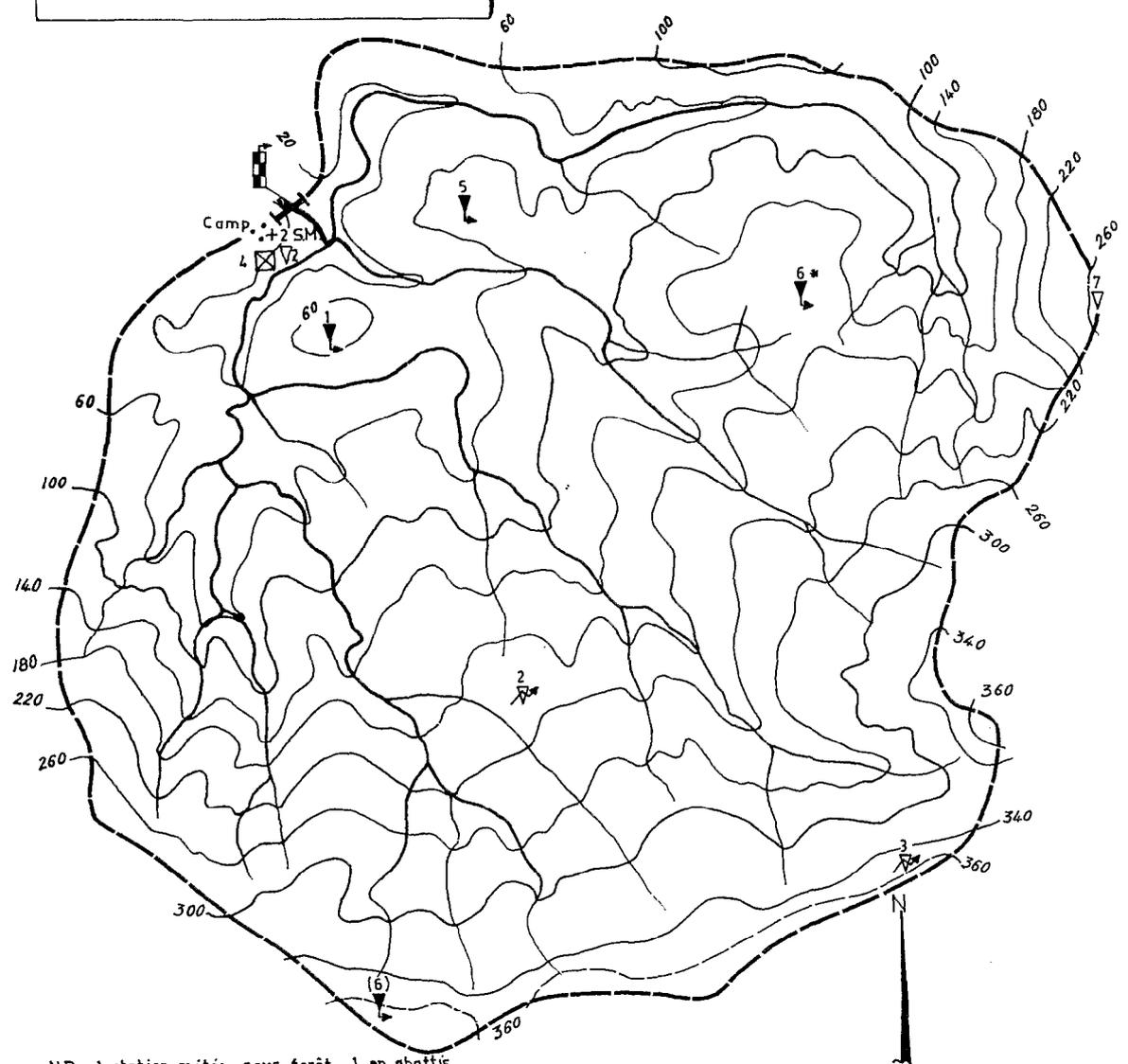
92% de sols ferrallitiques fortement désaturés typiques sur laves volcaniques Paramaka, sous-groupes induré (49%), rajeuni (25%) et modal, 45 à 80% d'argile, 3% de même sol, induré, sur colluvions ferrallitiques, 5% de sols hydromorphes minéraux à gley d'ensemble, sur alluvions fluvio-marines.

Formation géologique : 100% de roches vertes (laves ou schistes andésitiques), épaisseur moyenne 15 m.

Climat :

Équatorial de transition à températures maximales 29 à 32 °C et minimales 21 à 23 °C.
Évaporation annuelle sur Piche de 1 050 mm.
Précipitations sous forme d'averses complexes ou de type « mousson » dépassant 300 mm de décembre à juillet, et atteignant un total annuel voisin de 4 000 mm.

- ▽ Pluviomètre ▼ Pluviographe
- ⊗ Pluviomètre télétransmetteur
- ⊞ Limnigraphe + S.M. Station météo.
- ⊠ Bac d'évaporation
- ⊞ Station hydrométrique d'écoulement naturel.



N.B. 1 station météo sous forêt 1 en abattis.
 6* Appareil installé jusqu'au 15.5.66
 (6) Nouvel emplacement de l'appareil à partir du 17.5.66

Bassin représentatif de la Crique Cacao
 Carte topographique et d'équipement

Carte de référence I.G.N.: Cayenne
 Photographies aériennes:
 Dessin provisoire

Végétation :

Forêt dense humide.
Aucune culture.

Equipement :

1 station hydrométrique canalisée, enregistrement par limnigraphe,
7 pluviographes à transmission par fil vers station centrale,
2 stations météorologiques complètes : l'une en clairière, l'autre sous forêt.
Période de fonctionnement : continue de juillet 1964 à mai 1966.

Code de macroclassification internationale :

00.6.3.1.0.9.0.5.

4. PRINCIPALES PUBLICATIONS

HOORELBECK (J.) et LEMETAIS (L.) – 1972 – Le bassin représentatif de la Crique Cacao. ORSTOM, Service Hydrologique, Paris, multigr., 33 p. plus annexes.

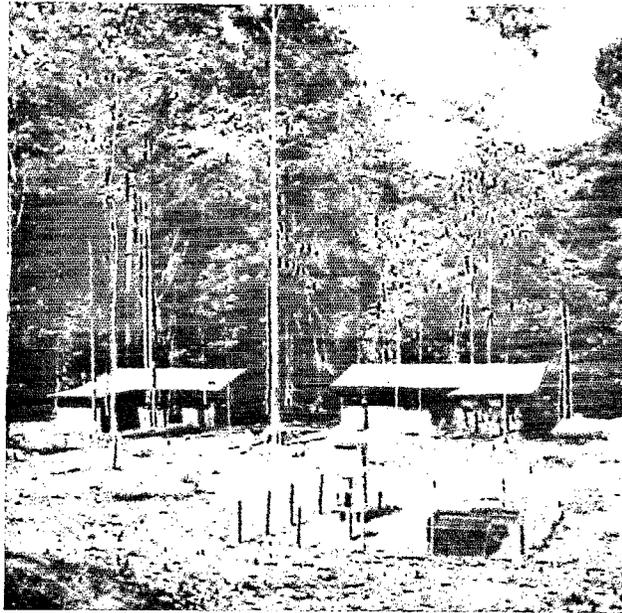
5. RÉSULTATS OBTENUS

5.1. Second bassin représentatif implanté en forêt vierge, après celui de la Crique Virgile (1959 à 1962), le bassin de la Crique Cacao a affronté sensiblement les mêmes problèmes inhérents au milieu. La station hydrométrique, pour laquelle un site classique (sans influence d'une courbe de remous) a pu être adopté, a été canalisée à une hauteur suffisante pour contenir toutes les crues enregistrées ; la relation hauteur-débit qui est donc particulièrement fiable a permis de traduire avec précision l'information limnimétrique, complète, à quelques lacunes près au cours de la phase d'installation. L'appareillage pluviométrique est celui qui avait été utilisé sur le bassin de la Crique Virgile (télétransmission par fil d'une impulsion électrique provoquée par chaque basculement d'auge, enregistrement simultané sur une table déroulante de centralisation) ; la détérioration rapide du support de transmission de ce matériel déjà usagé, en milieu équatorial, et sa maintenance onéreuse ont entraîné l'abandon du système d'enregistrement centralisé, mais n'ont pas obéré la collecte classique des résultats sur chaque pluviographe.

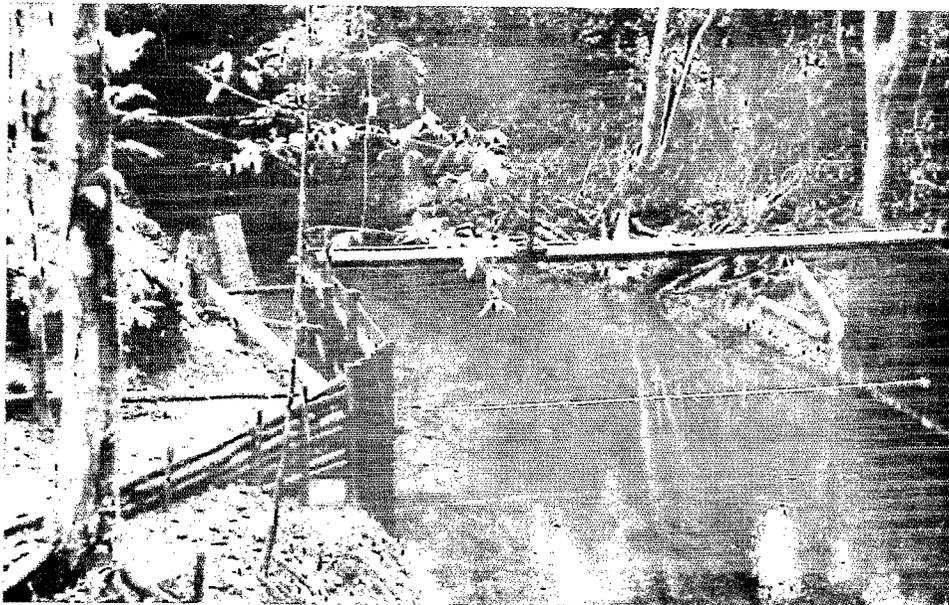
La qualité de l'information hydropluviométrique est donc très satisfaisante. La quantité est un peu faible (moins de deux années), mais en raison d'un projet d'exploitation forestière prévu pour 1966, il a fallu interrompre l'étude ; ce qui est d'autant plus regrettable que les deux années observées présentent un déficit pluviométrique important.

L'analyse a été conduite suivant le processus classique basé sur la discrimination des événements averse-crue et sur la recherche d'un hydrogramme-type, modèle global de la transformation pluie-débit.

5.2. La distribution spatiale des précipitations est fortement influencée par les conditions orographiques rencontrées sur le bassin par les vents dominants d'E-N-E et il en a été tenu compte lors de la détermination des aires d'influence de chacun des appareils enregistreurs. L'obstacle naturel, dressé presque normalement aux vents dominants, partage le bassin en deux parties inégales, appelées nord et sud (rapport des superficies de 1 à 3) dont les émissaires confluent à l'amont immédiat de la station hydrométrique. En conséquence, l'analyse des événements averse-crue est effectuée en dissociant le volume ruisselé en deux écoulements censés provenir des deux parties du bassin, dans le même rapport que celui des superficies ; cette hypothèse d'identité d'aptitude au ruissellement engendre deux fonctions de ruissellement $V(P)$ dont les courbes représentatives sont affines par rapport à l'axe de P , proportionnellement aux superficies concernées. Un certain nombre d'averses ayant provoqué du ruissellement n'a affecté que la partie nord du bassin située au vent (partie ayant la plus faible surface) ce qui a permis de tracer la courbe qui lui est afférente $V_n(P_n)$; la courbe relative à la partie sud $V_s(P_s)$ a alors été obtenue par affinité. Connaissant les précipitations affectant chaque partie, et par conséquent les ruissellements engendrés par chacune d'elles, le ruissellement total s'obtient par $\bar{V} = V_n + V_s$. La courbe relative à une quelconque partie du bassin est l'enveloppe inférieure du nuage de points (V, P) représentant les crues de cette partie ; elle est donc la fonction de ruissellement à saturation minimale. Les écarts à cette courbe seront réduits en introduisant un facteur secondaire tenant compte de l'état d'humidité du terrain, en l'occurrence l'indice de saturation I_s suivant :



La station climatologique de la Crique Cacao dans la clairière ouverte en forêt (Abattis)



Détail de la station limnimétrique de la Crique Cacao

$$I_s = \sum_{j=1}^{j=5} (P_j \leq 20) + P'_a$$

somme des pluies des cinq jours précédant la crue et du jour même avant l'averse cause de la crue ; les pluies antérieures sont limitées chaque jour à 20 mm car on peut considérer que, sous forêt humide, le réservoir constitué par le sol est saturé au-delà d'un certain seuil de précipitation et qu'alors la pluie excédentaire ruisselle et n'est pas régénératrice de ce réservoir. Les courbes de régression $\Delta V (I_s)$ des deux parties du bassin sont également affines dans le rapport 1 à 3, ce qui confirme l'hypothèse d'égale aptitude au ruissellement.

Un deuxième facteur secondaire est décelable, l'intensité maximale en 30 mn, mais l'insuffisance de l'échantillon n'a pas permis d'établir une loi de régression.

5.3. La dichotomie ruissellement-infiltration est conditionnée par deux séries de facteurs : d'une part, la dominance de sols à cuirasse plus ou moins profonde sur le glacis des pentes et de sols tronqués par l'érosion à sous-sol imperméable, l'importance du relief sur une grande partie du bassin, la rareté des nappes alluviales qui sont favorables au ruissellement ; d'autre part, la structure farineuse des sols argileux même très évolués, la teneur non négligeable en matières organiques et en concrétions dans l'horizon superficiel, l'abondance de terriers et de souches déracinées qui sont propices au drainage interne et à la rétention hydrique.

Les coefficients de ruissellement des crues (ruissellement pur et ruissellement hypodermique confondus) sont généralement faibles et ne dépassent 20% que si sont conjuguées une forte saturation et une intensité maximale élevée. Par contre, les coefficients d'écoulement mensuels sont importants et le coefficient annuel a atteint 70% en 1965, seule année totalement observée. Les précipitations n'ont donc pour effet que de gonfler temporairement le débit de base, beaucoup plus par l'intermédiaire du ruissellement retardé que du ruissellement pur qui n'est jamais important sous forêt.

Sur l'ensemble des quatorze crues analysées, trois seulement sont de caractère unitaire ; l'hydrogramme-type médian du bassin qui en est déduit s'étend sur 6 h avec un temps de montée de 1 h 50, un débit maximal de 1,83 m³/s pour une lame ruisselée de 1 mm (ou 13 000 m³ de volume ruisselé).

L'utilisation de cet hydrogramme-type combinée au modèle de transformation pluie-débit permet de calculer la crue correspondant à une précipitation de fréquence donnée. L'averse de fréquence décennale, estimée à 160 mm, peut être répartie à l'expérience des observations effectuées en 210 mm sur la zone nord et 140 mm sur la zone sud. La crue correspondante est considérée comme le résultat de trois pluies égales et unitaires, décalées de 1 h 30 ; la saturation initiale est estimée, suivant les zones, respectivement à 60 et 55 mm. L'hydrogramme résultant de la composition des trois hydrogrammes unitaires présente un débit maximal ruisselé de 35 m³/s ; le volume total écoulé étant de 350 000 m³ (lame de 27,2 mm), le coefficient de ruissellement moyen atteint 17% (respectivement 7, 10 et 28% pour les trois phases).

Avec un débit de base de 3 m³/s lors du maximum, le débit maximal écoulé d'une crue due à une averse de fréquence décennale peut être estimé à 38 m³/s (près de 3 000 l/s.km²). La plus forte crue enregistrée (25 m³/s) résulte d'une averse de 110 mm (réurrence inférieure à un an) sur un terrain moyennement saturé ; la crue de fréquence annuelle devrait atteindre 20 à 22 m³/s.

5.4. L'écoulement est permanent et grâce aux bonnes potentialités de rétention des sols dues à leur structure, les étiages de septembre à novembre sont bien soutenus, même à l'issue d'une année à pluviosité déficitaire, telle que celle qui a été complètement observée : alors que le module annuel de 1965 a été de 0,8 m³/s (62 l/s.km²), l'étiage absolu n'est pas descendu en-dessous de 0,17 m³/s en octobre, mois dont le module a été de 0,23 m³/s (18 l/s.km²). Malgré cette carence des précipitations, le coefficient d'écoulement annuel a atteint 70%, le déficit d'écoulement (800 mm) étant de l'ordre de l'évaporation enregistrée sur bac (900 mm).

En année moyenne et avec un même coefficient d'écoulement, le module spécifique serait d'au moins 78 l/s.km².

6. CONCLUSION

Il est certes, regrettable que des considérations extérieures (exploitation forestière) aient entraîné l'abandon prématuré de cette étude, mais les résultats enregistrés n'en constituent pas moins un ensemble de données non négligeables lorsque sera entreprise la synthèse des informations hydropluviométriques des bassins guyanais. Si cette synthèse était menée à bien, il n'est pas interdit d'espérer pouvoir extrapoler les résultats obtenus sur ce bassin de la Crique Cacao et de remédier ainsi à la brièveté des observations.

Résumé des résultats de recherches sur le bassin représentatif de la Crique Grégoire (Guyane)

(M.) Hoepffner et (G.) Vuillaume

1. ORGANISME GESTIONNAIRE

Office de la Recherche Scientifique et Technique Outre-Mer (ORSTOM), Service Hydrologique, 19, rue Eugène-Carrière, 75018 Paris.

Section Hydrologique du Centre ORSTOM de Cayenne (Guyane).

2. THÈME DE RECHERCHES

Détermination analytique des caractères hydrologiques d'un bassin représentatif de la forêt dense et humide, sur terrains granitiques dans une région à climat équatorial très pluvieux.

3. DESCRIPTION DU BASSIN (voir carte topographique et d'équipement)

Situation :

Bassin hydrographique du Sinnamary.

Coordonnées à l'exutoire du bassin global : 5° 05' 42" N et 53° 03' 00" W.

Caractères physiques et morphologiques :

Le bassin global S 2 (12,4 km², altitudes 10 à 180 m) contient un bassin S 1 (8,4 km², altitudes 30 à 180 m), qui est le bassin principal de l'étude ; un petit bassin S 3 (0,24 km², altitudes 15 à 68 m) lui est adjacent.

Respectivement, pour les bassins S 1, S 2, S 3, les principaux caractères sont les suivants :

Indices de compacité : 1,22-1,52 et 1,28.

Densités de drainage : 4,8-4,9 et 6,2.

Indices de pente globaux : 15,4-11,9 et 5,0 m/km.

Le réseau hydrographique du bassin global est en arête, le lit majeur étant soumis à débordements.

Unité géomorphologique : collines.

Géologie (sols) :

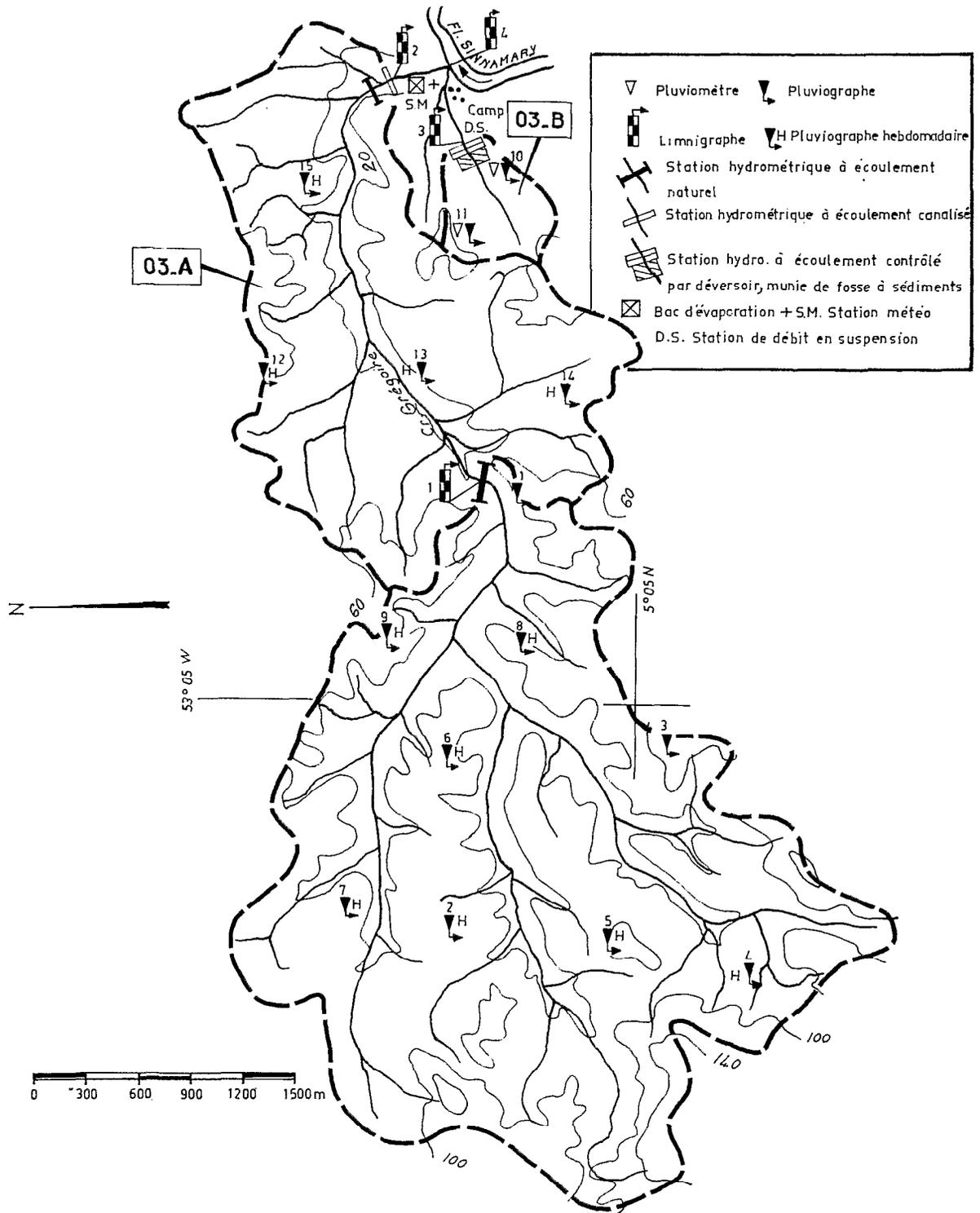
Respectivement 77-81 et 100% de sols ferrallitiques fortement désaturés sur matériau gneissique ou granito-migmatitique (10 à 20% d'argile dans l'horizon A, 25 à 45% dans l'horizon B).

20-13 et 0% de sols ferrallitiques hydromorphes sur colluvions sablo-argileuses de bas de pente (10 à 15% d'argile).

3-6 et 0% de sols hydromorphes minéraux à pseudo-gley sur dépôts sablo-argileux de fond de vallée.

L'aptitude au drainage interne et à la rétention est élevée dans l'horizon supérieur (20 à 40 cm) des sols ferrallitiques désaturés ; en-dessous, le matériau se compacte rapidement et devient imperméable vers 50-100 cm.

Nappe.



Bassin représentatif de la Crique Grégoire
Carte topographique et d'équipement

Carte de référence I.G.N. : IRACOUBO S.E. NB 22 VII 2 b 1/100 000
Photographies aériennes : I.G.N. 01-50 (Nos 405-406) Guyane Française

Climat :

Equatorial de transition à températures maximales de 29 à 32 °C et minimales de 21 à 23 °C.

Evaporation annuelle sur Piche de 970 mm.

Précipitations sous forme d'averses ou de type « mousson » dépassant 300 mm de décembre à juillet et atteignant un total annuel de 3 600 mm.

Végétation :

Forêt dense et humide.

Aucune culture.

Equipement :

1 station limnigraphique à contrôle aval par seuil naturel ; à l'amont d'une chute, pour S 1,

1 station à radier bétonné équipée de deux limnigraphes pour S 2,

1 fosse à sédiments munie d'un déversoir triangulaire, enregistrement par limnigraphe, pour S 3,

16 pluviographes à augets basculeurs,

1 station météorologique complète en clairière.

Période de fonctionnement : de 1968 (1970 pour S 3) à 1972.

Code de macroclassification internationale :

00.6.3.1.0.9.0.3.

4. PRINCIPALES PUBLICATIONS

HOEFFNER (M.) - mars 1974 - Les bassins versants de la Crique Grégoire. Rapport préliminaire. ORSTOM, Section Hydrologique du Centre de Cayenne, 2 tomes, multigr. 107 p., plus tabl. et fig.

BLANCANEUX (Ph.) - 1971 - Etude pédologique au 1/30 000 du bassin versant de la Crique Grégoire, Centre ORSTOM de Cayenne.

5. RÉSULTATS OBTENUS

5.1. L'étude de l'ensemble des bassins de la Crique Grégoire constitue le troisième volet de l'observation de bassins représentatifs sur les grandes unités géologiques du bouclier guyanais, après les bassins de la crique Virgile et de la Crique Cacao. Les mêmes difficultés d'accès, d'implantation et de maintenance ont été rencontrées et surmontées de manière identique. Les observations pluviométriques sont satisfaisantes, la longueur de l'étude palliant la faible densité du réseau au cours des deux premières années. La station hydrométrique scientifiquement la plus importante (S 1) a été parfaitement observée de mai 1968 à décembre 1972 ; les quelques rares lacunes dues à des pannes d'appareillage ont été comblées par corrélation avec les débits observés à l'exutoire du bassin global, lorsque ceux-ci étaient mesurables. En effet, cette station S 2, malgré un réhaussement artificiel du radier se trouve dans la courbe de remous des hautes eaux du Sinnamary ; lors de ce contrôle aval, la détermination du débit doit être effectuée à partir des relevés de deux limnigraphes donnant la pente hydraulique, mais à ce jour, les jaugeages ne sont pas assez nombreux pour étayer suffisamment la fonction hauteur-débit de cet écoulement non-univoque. Les lacunes à la fosse à sédiments (station S 3) ont été nombreuses au début, mais les anomalies de fonctionnement du limnigraphe ont été rapidement éliminées.

Avec une qualité constamment améliorée au cours des cinq campagnes, c'est au total 765 crues qui ont pu être analysées pour les trois bassins, dont 264 pour le bassin S 1 de 8,4 km².

L'analyse de l'information hydropluviométrique a été effectuée de manière classique ; discrimination des événements averse-crue et établissement d'un hydrogramme-type, modèle global de la transformation pluie-débit.

5.2. Bien que la capacité de rétention soit élevée dans l'horizon supérieur, la rapide décroissance de la porosité à faible profondeur des sols ferrallitiques désaturés et la proportion peu importante des sols hydromorphes font que la plupart des précipitations se traduisent par des crues à l'exutoire, cette manifestation étant liée à l'état de saturation du terrain. Ainsi, pour le bassin S 1, il suffira d'une averse de 3 mm tombant 10 heures après une pluie antérieure, 5 mm après 24 heures ou 7,5 mm après 5 jours sans pluie, pour assister à un gonflement notable du débit de base. Au cours des cinq années d'études, en moyenne 175 averses chaque année, sur un effectif de 315, ont dépassé

5 mm, générant ainsi un nombre élevé de crues. Ces crues sont naturellement composées en majeure partie de ruissellement pur qui présente généralement un volume cinq fois supérieur au ruissellement hypodermique sur le bassin S 1.

L'hydrogramme-type médian de ce bassin S 1, obtenu à partir de six crues de caractère unitaire ramenées à une lame ruisselée de 10 mm (84 000 m³), se caractérise par un temps de montée de 2 h 50, un débit maximal de 6,4 m³/s et un temps de base de 7 h 30. L'averse unitaire se signale par un corps d'intensité supérieure à 12 mm/h durant de 20 mn à 1 heure.

Sur le bassin S 3, l'hydrogramme-type médian (avec cinq crues) de même lame ruisselée (2 400 m³) dure 1 h 45, le débit maximal de 1 350 l/s étant atteint 35 mn après le début de la crue.

L'utilisation de l'ordinateur a permis une recherche originale de la fonction de ruissellement à appliquer à une quelconque averse pour en déterminer la lame ruisselée induite. Étant donné un événement averse-crue caractérisé principalement par sa lame ruisselée L et son facteur primaire pluie moyenne P, on pose comme hypothèse que le point (L, P) est situé sur une hyperbole admettant une tangente nulle à l'origine et possédant une première asymptote de pente unité coupant l'axe des P à une abscisse A positive. Si l'on se fixe une valeur B de la pente de la deuxième asymptote de l'hyperbole, l'ensemble des événements averse-crue engendrera une famille d'hyperboles, chacune étant indiquée par le paramètre A que l'on tente d'explicitier par l'introduction d'un ou plusieurs facteurs secondaires. Pour le bassin S 1, le meilleur ajustement (écart absolu moyen minimal entre les lames ruisselées observées et calculées) est obtenu pour une pente B de la deuxième asymptote égale à + 2,00 et pour un paramètre A lié à un indice de saturation :

$$\log A = - 0,00004 \text{ SAT} + 8,40880$$

avec $\text{SAT} = \sum_{t=1}^{t=5} \text{Pa}_t \cdot e^{kt}$, c'est-à-dire saturation due aux précipitations Pa des cinq jours précédant l'averse

considérée, avec un exposant de pondération k dont la valeur optimale est, dans ce cas, de - 1,0. Le logarithme de A (valeur de l'abscisse P à son intersection avec la première asymptote — de pente unité — à l'hyperbole définie plus haut) varie en sens inverse de la saturation ; pour une averse donnée, la valeur de A diminue donc lorsqu'on augmente la saturation, ce qui déplace vers le haut l'hyperbole afférente traduisant ainsi l'accroissement de la lame ruisselée.

Ce modèle de transformation pluie-débit, utilisé conjointement avec l'hydrogramme-type, autorise la recherche de la crue liée à une précipitation de fréquence choisie. La hauteur moyenne journalière de fréquence décennale peut être estimée à 150 mm après abattement ; cette précipitation composée de trois averses unitaires de 40, 40 et 70 mm de 1 heure chacune et espacées de 2 heures, intervenant sur un terrain moyennement saturé, donne une crue (résultante de trois hydrogrammes-types ayant respectivement des coefficients de ruissellement de 20, 40 et 60%) qui présente un débit maximal de ruissellement de 34 m³/s avec un temps de montée de 6 heures et un temps de base de 12 heures. Compte-tenu du débit de base et du débit dû à l'écoulement hypodermique, le débit maximal de la crue provoquée par l'averse décennale peut être estimé à 36 m³/s, soit 4 300 l/s.km². Le plus fort événement observé sur ce bassin S 1 a atteint 32 m³/s pour une précipitation qui peut être qualifiée de biennale quant à ses caractéristiques : 23 mm en 1 heure, 18 mm en 30 minutes, 57 mm en 2 heures. Au cours des cinq ans, six autres crues ont dépassé 20 m³/s.

Par un processus identique, la crue de fréquence décennale estimée sur le bassin S 3 (0,24 km²) doit atteindre un débit maximal ruisselé de 4,4 m³/s et un débit total de 4,6 m³/s (19 000 l/s.km²). Il a été enregistré une crue de débit maximal 3,4 m³/s, qui peut être considérée comme étant de fréquence biennale.

5.3. L'écoulement est permanent, mais en raison des caractéristiques pédologiques (cf. 5.2.) les étiages d'octobre à novembre sont relativement sévères, de 75 à 190 l/s en moyenne mensuelle pour des modules annuels de 470 à 690 l/s (étiages absolus de 52 à 115 l/s), sur le bassin S 1. Les débits spécifiques d'étiage absolu des trois bassins semblent liés entre eux par une loi linéaire bien que le bassin S 3 ne soit qu'adjacent aux deux autres (lesquels participent d'un même thalweg sans apport intermédiaire conséquent) ce qui impliquerait une alimentation du petit bassin par une nappe commune. L'étiage absolu le plus faible (52 l/s à S 1, soit 6 l/s.km²) pourrait être de fréquence décennale, eu égard à la faible pluviosité de l'année où il a été observé et surtout à la rigueur relative de la saison sèche où il s'est manifesté.

Les lames transitant annuellement par l'exutoire du bassin S 1 sont liées linéairement à la pluviosité de l'année par :

$$H_e = 0,8 P - 700$$

à condition que les six mois de saison sèche (juillet à décembre) de l'année précédente aient totalisé au moins 1 000 mm. Sinon, il est nécessaire d'introduire un facteur correctif, lié à cette donnée pluviométrique, facteur qu'il n'a pas été possible d'explicitier, une seule saison sèche n'ayant pas atteint le seuil présumé de 1 000 mm.

Les coefficients d'écoulement annuels, de l'ordre de 55 à 65%, sont naturellement liés à l'abondance de la pluviosité de l'année, mais surtout à l'intensité de la saison sèche précédente.

5.4. Le bassin S 3 de 0,24 km², équipé d'une fosse à sédiments et d'un déversoir était principalement destiné à l'appréhension du phénomène d'érosion sous forêt par la recherche de ses facteurs principaux d'ordre pluviométrique et l'essai de détermination de ses composantes (transports en suspension et charriage).

A partir d'environ 80 événements étudiés, on peut résumer les observations suivantes :

— La proportion de l'érosion par charriage par rapport à l'érosion totale reste à peu près constante (environ 40%) quelle que soit la crue ;

— L'érosion par mise en suspension sera d'autant plus brutale (rapport élevé des concentrations maximale et moyenne) que la lame ruisselée est importante, suivant la relation :

$$\frac{C_M}{C_m} = 0,14 H_r + 0,67 ;$$

— Dans un système de coordonnées E_T (H_r), les points représentant l'érosion totale par rapport à la lame ruisselée forment un nuage à tendance hyperbolique dont la dispersion peut être réduite en utilisant un facteur de correction prenant en compte l'important du débit maximal liquide de la crue.

On remarque, par ailleurs, que les concentrations des matières en suspension, très variables au cours d'une crue (de 10 à 300 mg/l) atteignent leur valeur maximale en même temps que le débit liquide et restent relativement stables (2 à 5 mg/l) lors des étiages.

A l'échelle de l'année, l'érosion n'est pas un phénomène spectaculaire, de l'ordre de 0,55 t/ha en 1972 (ou 0,03 mm d'ablation par ha). Cela tient aux caractéristiques pédologiques (peu d'éléments fins en surface, compacité des sables et des argiles en place, densité du réseau racinaire subhorizontal) et à la présence d'une végétation aérienne épaisse et continue qui amortit les intensités des averses. Dans le bilan général, on remarque qu'il suffit de quelques précipitations importantes pour assurer la quasi-totalité de l'érosion.

Les matériaux charriés présentent des courbes granulométriques dont les médianes se situent à 0,4-0,6 mm en étiage et à 0,7-1,4 mm en crue ; le pourcentage en éléments fins (< 50 μ), négligeable en crue (1%) atteint au maximum 12% en étiage ; la proportion de sables grossiers est remarquablement stable (70%) alors que celle des refus à 2 mm croît de 15% (étiage) à 25% (crue) au détriment des sables fins.

Les sédiments transportés en suspension sont composés en majeure partie d'éléments fins (38% de MO, 35% d'argile), les éléments supérieurs à 200 microns ne représentant que 12%.

5.5. Les mesures d'infiltration indiquent une forte propension au cheminement horizontal des eaux dans le sol, déplacement facilité par la présence des racines qui ne peuvent se développer en profondeur. Les vitesses de percolation enregistrées sont en moyenne de 2.10⁻⁶ m/s avec l'appareil Muntz à anneau de garde, de 5.10⁻⁵ m/s à une profondeur de 20 cm et de 2.10⁻⁵ m/s à 60 cm avec la méthode Porchet.

Des profils hydriques ont été mensuellement relevés à 50 m à l'amont de l'exutoire (au même site que les mesures d'infiltration), pendant 18 mois. Les valeurs extrêmes des humidités se caractérisent par un stock d'eau d'environ 400 mm (sur 2 m) en étiage avec une teneur en eau à peu près constante sur tout le profil (10-12%) d'une part, et d'autre part, par un stock d'environ 650 mm avec des teneurs de 15 à 18% jusqu'à 1 m et supérieures ou égales à 20% de 1 à 2 m ; dans l'un et l'autre cas, la teneur minimale se situe à 30-50 cm.

6. CONCLUSION

Cinq années d'étude, dont trois vraiment complètes donnent une connaissance presque totale des régimes hydrologiques des bassins guyanais sur socle granitique et forment une approche acceptable de l'érosion de ces bassins.

Pour plus de rigueur, il a été décidé :

— De poursuivre ces études pendant au moins deux années, en souhaitant que l'une d'elles soit pluviométriquement déficitaire afin d'établir les lois de tarissement ;

— De préciser les caractéristiques des averses sous couvert végétal par l'installation de pluviographes en forêt, les appareils étant jusqu'alors en clairière artificielle ;

— D'intensifier les prélèvements d'éléments transportés en suspension sur le bassin S 3 pour évaluer plus précisément l'érosion totale ;

— d'installer une parcelle expérimentale de 150 m² où seront étudiés le ruissellement, l'érosion et le lessivage oblique dans les sols ferrallitiques fortement désaturés ;

— De mettre au point un modèle déterministe continu applicable à la transformation pluie-débit sur le bassin S 3.

En possession de ces résultats complémentaires, il sera intéressant d'effectuer la synthèse des recherches sur les bassins guyanais en tentant la liaison des phénomènes de ruissellement au niveau de l'influence de substratum.

Résumé des résultats de recherches sur le bassin représentatif de la Dumbea (Nouvelle-Calédonie)

(G.) Vuillaume

1. ORGANISME GESTIONNAIRE

Office de la Recherche Scientifique et Technique Outre-Mer (ORSTOM), Service Hydrologique, 19, rue Eugène-Carrière, 75018 Paris.
Centre ORSTOM de Nouméa (Nouvelle-Calédonie).

2. THÈME DE RECHERCHES

— Fournir les données de base au projet d'alimentation en eau de la ville de Nouméa (régime des apports, étiages et crues exceptionnelles, capacité du réservoir, etc.);

— Détermination analytique des caractères hydrologiques d'un bassin représentatif de la côte sud-ouest de l'île (savane arborée claire sur péridotites à relief notable) soumise à une pluviosité abondante de caractère cyclonique.

3. DESCRIPTION DU BASSIN (voir carte topographique et d'équipement)

Situation :

Bassin hydrographique de la Dumbea.
Coordonnées à l'exutoire 22° 03' 37" S et 166° 31' 19" E.

Caractères physiques et morphologiques :

Dans sa partie amont, la rivière Dumbea a une configuration dite radiale-arête (partage en deux branches d'importance semblable); à l'origine, les deux formateurs ont été observés, mais hormis les deux premières campagnes, seules les données de la branche Est ont été dépouillées et interprétées; après cinq années, un affluent du thalweg commun a aussi été équipé mais l'interprétation des données de ce petit bassin n'a pas été effectuée, les potentialités de l'émissaire principal satisfaisant au premier thème de recherches. Les caractéristiques exposées ci-après ne sont donc pas celles de la branche Nord (32,2 km²), ni de l'affluent (la Couvelée, 39,9 km²), mais celles de la branche Est (dotée d'un barrage pour l'alimentation en eau de Nouméa).

Superficie : 56,2 km².

Altitudes : 210 à 910 m.

Indice de compacité : 1,11.

Indice de pente global : 93,4 m/km.

Densité de drainage : 4,97.

Réseau hydrographique radial à lit mineur très marqué (gorges et rapides).

Unité géomorphologique : montagnes.

Orientation aux vents dominants : sous le vent.

Géologie (sols) :

90% de sols ferrallitiques rouges à cuirasse ou lits de concrétions sur péridotites et serpentines.

10% de sols ferromagnésiens rouge-foncé.

Nappe permanente à alimentation et drainage internes.

Climat :

Tropical austral très pluvieux, sans saison marquée, à influence maritime ; températures maximales de 24 à 32 °C, minimales de 16 à 23 °C.

Évaporation annuelle sur bac ORSTOM de 1 050 mm.

Précipitations sous forme d'averses complexes ou de type cyclonique dépassant 175 mm, de novembre à juin, et atteignant un total annuel de 2 600 mm.

Végétation :

Savane arborée à degré de défrichement modéré.

Équipement :

Période de fonctionnement continue depuis 1963 pour les deux branches et depuis 1968 pour l'affluent. Sur la branche Est, un limnigraphe enregistre les variations du plan d'eau d'un barrage de retenue ; les précipitations sont mesurées par 1 pluviographe hebdomadaire et 6 pluviomètres totalisateurs, puis à partir de 1970, par 1 pluviographe hebdomadaire et 7 pluviographes mensuels.

4. PRINCIPALES PUBLICATIONS

MONIOD (F.), CRUETTE (J.), MLATAC (N.) – avril 1964 – Alimentation en eau de la ville de Nouméa. Etude hydrologique des deux branches de la Dumbea. ORSTOM, Service Hydrologique, IFO, Paris, 49 p., multigr. plus fig. et annexe.

Auteurs divers – 1964, 1965, 1967, 1969 et 1971 – 5 notes complémentaires.

JOUARY (A.-M.), POISSONNET (J.-C.), MACKENZIE (A.) – mai 1972 – Etude hydrologique de la Dumbea. Note complémentaire 1972. ORSTOM, Service Hydrologique, Centre de Nouméa, BCEOM, 13 p. multigr., plus fig.

5. RÉSULTATS OBTENUS

5.1. La branche Est de la Dumbea était déjà équipée d'un barrage-voûte déversoir servant à l'alimentation de Nouméa ; devant l'accroissement des besoins et en raison du faible dimensionnement de l'ouvrage existant, dont la capacité à supporter les étiages sévères devenait aléatoire, il était nécessaire de rechercher d'autres approvisionnements. Avant tout, il convenait de déterminer les divers paramètres propres à ce type d'installation, apports naturels, étiages et crues exceptionnels. Les résultats enregistrés au cours des premières campagnes sur la branche Nord, ont montré qu'elle ne répondait pas aux normes minimales du projet et que seule, la branche Est, était satisfaisante. Le limnigraphe a été installé sur une culée du barrage existant et il enregistre les variations du plan d'eau calme de la retenue au droit du déversoir ; la précision reste acceptable en étiage malgré la grande largeur du déversoir par corrélation avec une station limnimétrique de basses eaux installée à l'aval dans une section naturelle. En raison des grandes difficultés de déplacement (terrain très accidenté), l'appareillage pluviométrique a d'abord été essentiellement constitué de pluviomètres totalisateurs ; certains pluviographes qui les ont remplacés ont, à l'origine, eu de nombreuses défaillances dues à des défauts de conception. Hormis ces quelques lacunes, l'information hydropluviométrique est de bonne qualité et représente, dans l'état actuel des dépouillements, la quantité importante de neuf années d'observation.

5.2. Le bassin de la Dumbea se caractérise par un relief très accidenté, par une homogénéité de roches remarquables, une imperméabilité totale à faible profondeur, sauf quelques failles et zones de broyage et par des précipitations à fortes intensités. Tous ces éléments concourent à provoquer des crues brutales, alimentées par des torrents et riches en transports solides de toutes tailles. L'utilisation de pluviomètres totalisateurs pendant la plus grande partie de l'étude et la très grande variabilité de la pluviosité sur le bassin en raison des conditions orographiques (les précipitations varient généralement du simple à l'aval au triple à l'amont), rendent aléatoire la discrimination des événements averse-crue et par conséquent, l'établissement d'un hydrogramme-type de ruissellement. Néanmoins l'observation de la crue provoquée par le cyclone Colleen en 1969 (débit maximal 1 150 m³/s) permet d'établir l'hydrogramme de crue exceptionnelle qui serait constitué de deux crues simples décalées de 2 heures et résultant d'une précipitation maximale de 325 mm en 3 heures consécutives ; le débit de pointe serait alors de 1 400 m³/s (soit 25 m³/s.km²) et le coefficient de ruissellement de 75%. Ce coefficient varie peu d'une crue à l'autre pour les précipitations importantes et la forme des crues est étroitement liée à celle des averses ; le débit maximal dépend beaucoup de la spontanéité des précipitations, ce qui se traduit par des crues maximales de l'année très différentes d'une campagne à l'autre : sans tenir compte de la crue due à Colleen, le plus fort événement enregistré a été de 650 m³/s, mais pendant trois années sur neuf, le débit maximal n'a pas dépassé 90 m³/s.

5.3. Les caractéristiques hydrologiques de la période 1963-1971 sont les suivantes : la lame ruisselée annuelle médiane est de 1 860 mm (valeurs extrêmes 1 140 et 3 330 mm) pour une pluviosité moyenne médiane de 2 490 mm (valeurs extrêmes 1 950 et 3 950 mm), ce qui donne un coefficient de ruissellement médian élevé de 73,4% ; l'irrégularité interannuelle est élevée et le module moyen est de 3,43 m³/s. Au niveau des débits moyens mensuels, on constate une bonne corrélation entre les précipitations et les écoulements, en raison de la faible capacité de rétention précédemment indiquée ; en conséquence, dès lors que la pluviosité présente un déficit soutenu pendant une longue période, les étiages peuvent être sévères, la valeur la plus faible enregistrée étant 290 l/s, la médiane 356 l/s (soit 6,3 l/s.km²). Le débit caractéristique d'étiage interannuel est de 370 l/s, c'est-à-dire qu'en neuf années d'observation, les débits ont été inférieurs à cette valeur pendant 90 jours.

6. CONCLUSIONS

Les résultats obtenus sont d'une très grande valeur sur le plan des ressources en eau, puisqu'ils ont permis de déterminer toutes les caractéristiques du bassin propres à mener à bien un projet d'adduction d'eau, en particulier l'estimation statistique des volumes de retenue à prévoir pour diverses valeurs des débits de captage envisagés.

Hydrologiquement, l'information dépouillée n'est pas négligeable puisqu'elle peut servir de base de comparaison avec d'autres bassins représentatifs proches, tels que ceux de la Plaine des Lacs, et de la Ouinne. Mais il sera utile d'y intégrer toute l'information collectée ; avec l'appoint des enregistrements pluviographiques nombreux sur le bassin depuis 1970, il sera possible d'effectuer une analyse plus approfondie par le schéma classique (hydrogramme-type) du modèle global de transformation pluie-débit, ainsi qu'une étude de variation des précipitations avec l'altitude.

Le bassin de la Dumbea reste pour l'avenir le seul bassin français témoin des phénomènes hydrologiques engendrés par les cyclones du Pacifique.

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'Amitiro, 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.

A C H E V É D' I M P R I M E R
S U R L E S P R E S S E S D E S
I M P R I M E R I E S R É U N I E S
D E C H A M B É R Y
3, R U E L A M A R T I N E, 3
7 3 - C H A M B É R Y
E N J A N V I E R M C M L X X V
N° 6810

