

RAPPORT DE 2^{ème} ANNEE D'ELEVE

R. GALLAIRE

Juin 1979.

GENTRE ORSTOM DE DAKAR
Service Hydrologique

Après une année de formation théorique effectuée au Bureau Central Hydrologique et au laboratoire de Géologie dynamique de l'Université de PARIS VI, ma deuxième année de spécialisation a eu pour cadre successivement les îles du CAP-VERT et le SENEGAL.

Cette spécialisation a revêtu un double aspect :

- pratique, à plusieurs niveaux :
 - dans l'installation, l'utilisation et l'entretien du matériel hydrométéorologique,
 - dans la formation du personnel local, la collecte des données brutes, leur traitement en vue de les rendre opérationnelles ;
- théorique :
 - dans la recherche des indices les plus significatifs des phénomènes enregistrés, en tenant compte des travaux et expériences réalisés antérieurement dans des domaines identiques,
 - dans la mise au point et la présentation des résultats, au sein d'un groupe de travail, en liaison parfois avec d'autres sections de recherche : Géologie, Pédologie...

I. LES ASPECTS PRATIQUES DE LA SPECIALISATION

- a) Dès mon arrivée à SAO NICOLAU (République des Iles du CAP-VERT) le 1er septembre 1973, j'ai été confronté avec les problèmes de mise en route et de gestion de 2 stations météorologiques :
- une complète à FAJA de CIMA, à l'intérieur de l'île, comprenant des appareils aussi divers que anémomètre, solarimètre, pluviographe, thermographe, hydrographe, psychromètre, thermomètres à maxima et minima, bacs à évaporation "ORSTOM" et de "classe A", évaporomètre PICHE ;
 - une simplifiée à CACHAÇO, sur le littoral nord, comprenant seulement psychromètre, thermomètres à maxima et minima, évaporomètre PICHE.
- J'avais d'autre part, sur deux petits bassins versants distants de 17 km, la charge d'un réseau de 13 pluviomètres et de 2 stations hydrométriques.

Pour les stations météo, les Services locaux du Ministère du Développement Rural (M.D.R.) m'ont adjoint un technicien qu'il a fallu former, malgré l'obstacle de la langue (créole portugais), aux lectures et à l'entretien du matériel. Mais grâce à ce technicien, j'ai pu recevoir jusqu'en janvier 1979 des relevés météo qui ont permis d'effectuer d'intéressantes comparaisons entre la saison des pluies et la saison sèche.

De même pour les pluviomètres, quelques lecteurs ont-ils été formés, il est vrai, avec plus ou moins de réussite.

Pour la pluviométrie, une déjà longue tradition de lecture (1945 à nos jours) fait que les observations ont été, après mon départ, sans doute, correctement effectuées. Mais pour les stations météo exigeant au moins deux visites journalières, il apparaît que leurs observations n'aient pu se prolonger après janvier 1979, faute de moyens de transport, mais aussi d'intérêt porté à ces relevés.

Au niveau hydrologique, un phénomène à caractère exceptionnel s'est produit le 26 septembre.

Les mesures nécessaires à son analyse ont été difficiles en raison :

- de sa rapidité de passage,
- des dégâts causés aux voies de communication et aux appareils enregistreurs par la violence des éléments,
- d'une inadaptation du matériel de mesure des vitesses.

En fonction des circonstances, un maximum d'observations, parfois de fortune, ont été réalisées lors de l'évènement et au cours des jours qui ont suivi :

- le 26 septembre :
 - mesures de vitesse au flotteur (en décrue),
 - prise d'échantillons d'eau en vue de déterminer l'importance des transports solides ;
- au cours des jours suivants :
 - étude des délaissés de crue,
 - enquête auprès des indigènes et réalisation de documents photographiques,

- . coupe et prélèvement dans un atterrissement en vue de déterminer les secteurs du bassin versant les plus soumis à l'érosion,
- . détermination topographique des nouveaux profils en long et en travers des ribeiras au niveau des stations de jaugeage.

Après le passage de la crue, il a fallu remettre en état le matériel endommagé :

- échelle limnimétrique arrachée à VILA de RIBEIRA BRAVA,
- tubes de limnigraphe colmatés aux 2 stations,
- moulinet faussé lors de l'essai de prise de vitesse.

La synthèse des observations de cette mission hydrologique CAP-VERT financée par le F.A.C. de la République française s'est effectuée à DAKAR au cours des mois qui ont suivi.

Le rapport joint présente l'ensemble des résultats obtenus.

- b) A mon retour au SENEGAL à la mi-novembre, j'ai effectué, en compagnie du Chef de Section : M. J. LERIQUE, le tour du réseau hydro-métrique national dont la gestion appartient depuis juillet 1978 aux services locaux de l'Hydraulique, mais dont la plupart des stations-clés continuent à être suivies par l'ORSTOM.

Très vite, Monsieur LERIQUE m'a demandé de programmer les tournées nécessaires -tant sur le bassin du fleuve Sénégal que sur ceux de la Gambie et de la Casamance- au contrôle de ces stations-clés.

Ainsi, chaque mois, deux tournées ont été organisées, l'une sur le fleuve Sénégal, l'autre sur le haut bassin de la Gambie et sur celui de la Casamance.

En compagnie d'un technicien sénégalais du Service, j'ai assuré la moitié de ces tournées, qui m'ont demandé 1 jour sur quatre et fait parcourir 15 000 km, en 5 mois.

Ces tournées mensuelles comportaient :

- un contrôle du fonctionnement des limnigraphes : vérification de la hauteur à l'échelle et de l'heure indiquée occasionnellement :
- . la remise en marche des mécanismes,

- la remise en état des éléments d'échelle et leur rattachement à la borne de référence grâce à l'emploi du matériel topographique,
- le débouchage des tubes envasés ;
- la collecte et le remplacement des feuilles et bandes-diagramme ;
- une visite au lecteur chargé d'effectuer les lectures à l'échelle 2 fois par jour (vérification et collecte des feuilles de hauteur d'eau) ;
- à certaines stations-clés, des jaugeages de contrôle destinés à vérifier la courbe de tarage ; ainsi sur le fleuve Sénégal (en dehors de la zone soumise à l'influence de la marée) à BAKEL et sur la Falémé (principal affluent rive gauche) à KIDIRA.

Comme la plupart des stations du SENEGAL, ces deux dernières, compte tenu de la faiblesse des pentes et de la mouvance des fonds sableux, présentent des courbes de tarage non univoques et soumises d'année en année à des variations sensibles.

Les débits à BAKEL, situé juste à l'aval de la confluence avec la Falémé, servant de référence à la plupart des études et projets d'aménagement du fleuve Sénégal (O.M.V.S.), il paraît effectivement essentiel de suivre de très près l'évolution de la station.

Six jaugeages ont donc été réalisés par mes soins à BAKEL et KIDIRA au moulinet G31, à partir d'un ZODIAC se déplaçant le long d'un câble tendu entre les deux rives sénégalaise et mauritanienne. L'un des jaugeages a été réalisé, de façon concluante, grâce au cercle hydrographique.

En CASAMANCE, quelques jaugeages ont été réalisés à gué au micro-moulinet sur :

- la CASAMANCE à KOLDA,
- le TIANGOL DIANGUINA à SATEL-SARA,
- la KHORINE à MADINA OMAR,
- la KAYANGA amont au pont de NIAPO,
- la KAYANGA aval au pont de WASSADOU.

Remarque : Au cours des tournées en CASAMANCE, des prélèvements d'eau ont été régulièrement effectués dans les secteurs soumis

à l'influence maritime. Sur le terrain, le conductivimètre a donné une première indication en millimho. Au laboratoire, à DAKAR, la détermination de l'activité ionique a permis d'exprimer cette salinité en g/l.

II. PARTIE THEORIQUE

1. L'exploitation et le contrôle d'une partie du réseau posait automatiquement le problème de la maintenance des appareils.

Sous le contrôle du Chef de Section, j'ai donc assuré l'intendance du matériel hydrométrique :

- approvisionnement en bandes-diagramme, systèmes inscripteurs...,
- commande des pièces de rechange (mouvements d'horlogerie...).

2. L'arrivée au bureau de la Section des données brutes hydrologiques nécessite un certain nombre d'opérations avant traitement :

- recensement des données recueillies au cours de la tournée sur un planning ;
- contrôle des feuilles de lecture de hauteurs d'eau et des enregistrements en vue de déceler une faute flagrante de lecture, une erreur de transcription ou de calage ;
- correction éventuelle des diagrammes et bandes-diagramme des divers appareils relevés, après contrôle des dérives de temps et de hauteur.

Ce travail a dû être réalisé sur la bande de la KAYANGA Amont relevée en décembre. L'appareil avait mal fonctionné pendant 3 mois. Deux contrôles intermédiaires avaient pourtant été effectués avec recalage dans le temps et modification de l'avance, mais le résultat était insuffisant. D'où un travail long et fastidieux de correction de cet enregistrement.

3. Les dépouillements

Ils surviennent lorsque les données brutes ont subi cette première vérification :

- à partir des lectures de hauteur d'eau réalisées normalement à 8 H et 16 H, il est établi une valeur moyenne journalière.
- Pour les enregistrements limnigraphiques, le calcul de la hauteur

moyenne journalière est effectué à partir de 4 points également espacés. Dans le cas de marégraphes, les 4 points retenus sont les 2 pleines et basses mers journalières. On parvient ainsi à la mise sur pied d'un fichier mensuel de hauteurs d'eau pour chaque station. Ce travail est, la plupart du temps, confié au personnel local. Un contrôle est réalisé régulièrement.

- Le dépouillement des jaugeages est toujours effectué par celui qui a pratiqué la manipulation sur le terrain.

Au cours des six derniers mois, j'ai ainsi pu réaliser une dizaine de jaugeages dont 3 à la station de BAKEL.

Dans le but de vérifier la valeur du débit obtenue grâce à la méthode des paraboles, j'ai aussi procédé au traitement des données par la méthode arithmétique et celle des isodromes.

Comme j'avais déjà pu le constater lors de mon stage d'hydro-métrie de 1ère année, les trois méthodes traitées avec soin donnent des résultats assez proches les uns des autres. Pour une même hauteur à l'échelle : $H = 1,38$ m, les débits obtenus ne varient que de 3 % :

$Q = 64$ m³/s par la méthode des isodromes

à $Q = 66$ m³/s par la méthode des paraboles, la plus couramment employée.

La méthode arithmétique ayant donné une valeur intermédiaire de $Q = 65,5$ m³/s. À partir des observations et des résultats des dépouillements, un certain nombre d'exercices de recherche appliquée sont entrepris.

4. Correction des courbes de tarage

Chaque résultat de jaugeage est reporté sur la courbe de tarage de la station qu'il vient compléter ou vérifier.

Pour les stations de BAKEL et de SARE SARA, il apparaît que les derniers jaugeages figurent un nouveau tracé. Les stations sont donc détarées, tout au moins en basses-eaux.

Pour SARE SARA, depuis 2 ans, le Service avait accumulé suffisamment de mesures pour que je puisse tracer une nouvelle courbe de tarage.

À BAKEL, la dernière campagne de jaugeage date de 1976. Les mesures réalisées l'année dernière et cette année en basses-eaux indiquent qu'il y a un détarage croissant de la station dans le sens d'une augmentation

du débit pour une même hauteur à l'échelle (environ 3 % l'année dernière, 7 % cette année). Une campagne de jaugeage doit être entreprise en 1979. Elle devrait permettre la correction éventuelle de la courbe retenue jusqu'alors. Un bureau d'étude a cru bon, dès cette année, et sur la foi de quelques jaugeages, d'établir une nouvelle courbe de basses-eaux destinée à une étude de navigabilité. Pour cette étude l'évolution va certes dans le sens de la sécurité, mais cette courbe paraît ne pas être encore suffisamment étayée.

5. Etablissement des barèmes

Ils s'effectuent à partir de la courbe de tarage et donnent en par cm de hauteur à l'échelle la variation des débits.

Au B.C.H., leur établissement se fait automatiquement à partir de 99 points caractéristiques de la courbe considérée comme une succession de tronçons de paraboles.

A DAKAR, en l'absence de traitement automatique, la correspondance s'obtient point par point ou à partir de tronçons de droite très courts.

6. C'est à partir des barèmes et des données brutes (les relevés de hauteur d'eau journaliers) que sont établies les données de base hydrologiques présentées par l'annuaire.

Pour chaque station, on établit ainsi :

- la situation géographique :
 - . longitude,
 - . latitude,
 - . altitude du 0 échelle par rapport au nivellement général I.G.M. ;
- une présentation générale de la station comprenant :
 - . un historique des installations et du fonctionnement,
 - . un exposé des problèmes particuliers relatifs à l'étalonnage (nombre de jaugeages...),
 - . les relevés caractéristiques normaux : H max, H mini, Q max, Q mini ;
- les caractéristiques de l'année hydrologique considérée (synchrone de l'année pluviométrique : du 1er mai au 31 avril) qui comprennent :
 - . l'état des relevés limnimétriques,
 - . les données de la ou des crues (H, Q, date),
 - . les données de l'étiage (H, Q, date) ;

- les données de base hydrologiques, en particulier :

- le débit moyen annuel (ou module) brut en m^3/s et spécifique en $l/s/km^2$,
- le volume correspondant écoulé en milliards de m^3 ,
- la lame d'eau écoulée correspondante en mm.

Pour chaque station, les caractéristiques essentielles sont présentées sous forme de tableaux illustrés par des graphiques :

- tableau des relevés limnimétriques moyens journaliers en cm ;
- graphique représentant la variation de ces relevés au cours de l'année ;
- tableau des débits moyens journaliers établi d'après les barèmes, donnant les débits moyens mensuels et le module ;
- graphique reprenant la variation de ces débits journaliers au cours de l'année hydrologique.

Pour les stations où un étalonnage n'a pas été réalisé, seules les données limnimétriques sont présentées.

Enfin certaines stations étant soumises à l'influence maritime, la variation de la salinité en g/l est indiquée sur le même graphique que celui de la variation des hauteurs d'eau.

Mais l'annuaire hydrologique fait aussi le point des principales caractéristiques pluviométriques de l'année.

Ainsi la tendance de l'année est définie par rapport à une normale de 30 années (1931-1960) pour 11 stations synoptiques. Le déficit de l'année 1977 apparaît important et il rejaille sur l'écoulement dont une petite étude comparative est effectuée pour la station-clé de BAKEL. Avec un module de $324 m^3/s$ le déficit par rapport à la moyenne est de 55 %, et le H max de 7,03 m a une fréquence au dépassement de 95 % .

Ces données hydrologiques sont représentatives de la situation de sécheresse affectant à l'heure actuelle l'ensemble du SENEGAL et du monde sahélien.

En annexe, un certain nombre de documents sont produits par l'annuaire :

- une carte du réseau hydrométrique du SENEGAL,

- une carte présentant à la fois le tracé des isohyètes normales et celles de l'année 1976,
- un tableau de la pluviométrie mensuelle de l'ensemble des stations du SENEGAL,
- un graphique présentant l'évolution de la hauteur de la crue du SENEGAL entre BAKEL et ROSSO. L'amortissement consécutif à la modification des profils de la vallée est remarquable.

L'établissement de cet annuaire a mobilisé pendant plusieurs mois le potentiel de la Section. Plus que tout autre, il apparaît comme un travail d'équipe, et s'il ne présente pas de problèmes de recherche particuliers, il pose des problèmes techniques d'organisation des données, de synthèse, de coordination et de contrôle au niveau des différents services participant à son élaboration : Cartographie, Dactylographie, Reprographie.

Mais cet annuaire 1977-1978 étant le quatrième que la Section produit, il ne fait pas de doute que sa préparation a bénéficié de l'expérience relative aux 3 précédents.

La mise au point du rapport CAP-VERT et les activités conduisant à l'élaboration des données de base et de l'annuaire hydrologique ont été les deux traits essentiels de cette deuxième année de spécialisation.

7. Cependant, il m'a été donné de participer à un certain nombre d'expériences et d'études ponctuelles relatives surtout à la prévision des crues et des étiages sur le fleuve Sénégal.

a) Dans ce cadre, s'intègrent les deux expériences de télétransmission des données limnimétriques et pluviométriques tentées par la Section lors de mon arrivée à DAKAR.

Ces expériences avaient pour but de comparer et de vérifier la fiabilité de l'annonce et de la prévision des crues à partir de deux systèmes différents :

- le système ARGOS, utilisant le satellite Tiros N à partir de la station de KAOLACK ;
- le système METEOSAT, utilisant le satellite du même nom à partir de la station de SAINT LOUIS.

Chacun des deux systèmes est adaptable aux appareils de mesures hydrométriques et pluviométriques couramment employés, en l'occurrence des limnigraphes OTT X ou XX et des pluviographes Précis Mécanique. Chacun

des deux systèmes comprend un codeur, un transmetteur, une antenne et une batterie d'accumulateurs.

Malgré un cheminement relativement indirect dans les 2 cas (SAINT LOUIS - METEOSAT - DARMSTADT (R.F.A.) - PARIS - DAKAR) (KAOLACK - TIROS N - SUTLAND (USA) - TOULOUSE - PARIS - DAKAR), les données traduites en clair étaient retransmises à DAKAR-YOFF par le canal normal GTS en quelques heures, ; moins de deux heures pour le système METEOSAT. En vue de vérifier le bon fonctionnement du système, une expérience était tentée à chacun de mes passages à KAOLACK : 25 impulsions étaient commandées manuellement par basculement des augets du pluviographe. Ces basculements ont été fidèlement retransmis à DAKAR en mm de pluie. De même pour les hauteurs d'eau, une correspondance précise a pu être établie entre les données des dépouillements limnigraphiques et les données retransmises à DAKAR.

R : Chacun des 2 systèmes a parfaitement fonctionné et le choix entre les 2 est difficile en fonction des avantages et inconvénients qui apparaissent complémentaires :

- Argos est plus simple à installer, moins coûteux, mais ses possibilités sont limitées, au niveau de la quantité des observations transmises (256 bits disponibles par message), au niveau la durée d'existence du système.
- METEOSAT est plus performant (5200 bits disponibles son temps de transmission est plus court) et sa longévité est assurée. Mais sa mise en place est plus délicate et plus onéreuse.

Malgré le problème posé par sa durée de vie le système ARGOS risque d'être retenu en fonction :

- de sa simplicité (la base est construite par "Electronique Marcel Dassault")
- de son plus faible coût les 256 bits disponibles étant finalement suffisants à la transmission des données essentielles hauteur de pluie et hauteur d'eau.

L'intérêt du système de télétransmission est qu'il est plus fiable que les systèmes classiques téléphoniques ou radios toujours soumis à aléas.

Ces expériences pourraient être renouvelées prochainement en liaison avec les études de prévision menées par l'O.M.V.S. dans le cadre des projets de barrage de DIAMA et MANANTALI dont il faudra assurer une protection des chantiers.

A plus long terme, ces prévisions devraient permettre à la programmation des crues artificielles destinées aux cultures de décrue dans la vallée du Sénégal.

b) Dans le même cadre de la détermination des crues et des étiages sur le fleuve Sénégal, le Service Hydrologique de DAKAR reçoit fréquemment la visite de représentants de bureaux d'étude chargés d'actions ponctuelles d'aménagement et désireux de consulter le Service avant de retenir les dates ou caractéristique de l'étiage ou de la crue à venir en fonction de certains débits limités.

Ainsi, ai-je été amené à pratiquer quelques exercices du type détermination de la date d'un certain débit d'étiage à BAKEL, à partir de la date du débit charnière de $300 \text{ m}^3/\text{s}$ dont le principe est exposé dans la monographie du fleuve Sénégal.

c) Mais l'ORSTOM fonctionne lui-même parfois comme un bureau d'étude. Ainsi la section vient de se voir confier sur convention avec le Cabinet LOUIS BERGER International, l'étude Hydrologique du marigot de Baïla dont j'assurerai la phase de terrain au cours de l'hivernage 1979.

Cette étude, devant durer un an, doit permettre d'établir :

- les caractéristiques du climat :

- hauteur des pluies annuelles et mensuelles,
- la fréquence et la répartition des précipitations,
- l'évaporation et l'évapotranspiration,
- les températures et les vents,
- la durée et l'importance de l'ensoleillement ;

- l'hydrologie des marigots de Baïla et d'OUPOUEL, en particulier :

- le débit en eau douce des têtes de marigots,
- le régime des crues et courbes de tarissement
(une corrélation avec les données climatiques doit être tentée)
- l'étude de la remontée de la marée dans les marigots et le mouvement de l'onde salée,
- L'influence des précipitations sur la pénétration de la marée.

Dans le cadre de cette convention, j'ai établi courant Mai le programme des implantations et de l'étude. A la fin du même mois, j'ai procédé à la pose de 4 marégraphes OTT R20, à celle de 2 pluviographes et 4 pluviomètres de manière à créer une couverture efficace du bassin.

Selon les termes de la convention, j'ai fourni un rapport préliminaire sur le programme d'exécution.

CONCLUSION :

Ainsi, au terme de cette 2ème année de spécialisation, il apparaît que les aspects hydrologiques abordés ont été aussi nombreux que variés.

Aux pratiques de terrain représentés par les choix d'implantation, l'installation, l'exploitation et l'entretien du matériel, se sont superposés Les problèmes méthodologiques du recueil et de la critique des données brutes, de la mise au point des données de base en vue de la constitution de l'annuaire hydrologique.

D'autre part, l'étude des caractéristiques de 2 petits bassins versants de l'île de SAO NICOLAU m'a permis de me familiariser avec quelques aspects de la recherche appliquée en hydrologie. Cette expérience sera utile à la réalisation de l'étude que je dois réaliser cet été sur le Marigot de Baïla; bien que les conditions naturelles en soient tout à fait différentes.

Enfin les expériences de télétransmission technique prometteuse; auxquelles il m'a été permis de participer très modestement, ont particulièrement retenu mon attention par les horizons nouveaux qu'elles ouvrent au niveau du problème toujours fondamental en hydrologie de la prévision et de l'annonce des crues.