

PRINCIPE et ORGANISATION des RESEAUX HYDROMETRIQUES
PLANIFIES en CLIMATS TROPICAUX (Pays en voie de développement).

par Marcel ROCHE.

~~70-832~~

O.R.S.T.O.M. Fonds Documentaire
N° : 33329, ex 1
Cote : B

- 1 - PRINCIPES de PLANIFICATION -

L'organisation et l'exploitation rationnelle des réseaux d'observation, tant climatiques qu'hydrologiques, a fait l'objet d'un nombre important d'études, surtout au cours des dernières années. Ces efforts sont en train de se concrétiser dans le chapitre III "PLANIFICATION des RESEAUX", du guide d'hydrométéorologie en cours d'élaboration à l'O.M.M. Nous allons passer en revue les propositions essentielles de ce guide avant d'en tirer des conclusions pratiques pour l'aménagement des réseaux en climats tropicaux, le qualificatif "tropical" étant pris au sens le plus large du terme.

La base des études hydrologiques est constituée par les renseignements obtenus à un ensemble de stations hydrométriques appelé réseau. Nous verrons par la suite ce qu'il convient de faire à ces stations ; sachons seulement pour l'instant que le programme des observations consiste à obtenir au minimum, et par tous moyens appropriés, un chronogramme des débits pour chacune d'elles. Le but final de l'opération est d'être capable de déterminer, en chaque point d'un réseau hydrographique, les caractéristiques du régime avec une précision donnée. On se doute qu'il ne peut être question de suivre les chronogrammes de débits tout le long du réseau hydrographique, et qu'il sera nécessaire de se contenter d'observations ponctuelles entre lesquelles on interpolera. C'est finalement la densité et la répartition de ces points d'observation qui sont l'objet de la rationalisation des réseaux.

Toutefois, il ne s'agit pas là d'une interpolation au sens arithmétique du terme. Chacune des caractéristiques du régime en un point donné du système hydrographique est une variable à caractère aléatoire définie, tant bien que mal, par des paramètres statistiques. La précision des interpolations dépendra donc, au premier chef, du degré de liaison, ou corrélation, entre les différents points observés. D'autre part, la connaissance des paramètres eux-mêmes en des points donnés est d'autant plus précise que les séries d'observations sont plus longues. Il en résulte deux considérations d'ordre différent concernant la connaissance des régimes hydrologiques :

- Echantillonnage, lié à la longueur des périodes d'observation aux points choisis ;
- Corrélation, dont dépend la précision des interpolations et liée à la densité du réseau

La première notion qui a fini par se dégager des différentes études est celle de réseau optimal, à laquelle se réfère tout d'abord le guide. Un tel réseau comporte une série de stations dites principales, destinées à être observées indéfiniment : ce sont elles qui sont chargées de parfaire au cours des ans la connaissance des régimes en fournissant un échantillonnage de plus en plus ample. Elles permettent également de mettre en évidence les variations de régimes provenant notamment de l'intervention humaine sur le bassin contrôlé. L'outil d'interpolation est la station secondaire dont la durée d'exploitation est réduite à un nombre fini et assez faible d'années : son rôle est de déterminer les liaisons existant entre les régimes aux différents points du réseau hydrographique et, par suite, d'établir les relations de régression définissant l'interpolation en matière d'hydrologie.

Le guide, qui se doit de conserver un caractère d'absolue généralité, s'en tient à ces définitions. Dans la réalité, il convient de préciser davantage. En effet, la notion d'interpolation ne peut évidemment pas s'appliquer à l'ensemble d'un régime défini, rappelons-le, par une série de chronogrammes annuels de débits, mais seulement à des éléments caractéristiques ou paramètres de ce régime. Or, aucun groupe de paramètres, à moins de prendre les 365 paramètres représentant les débits journaliers et de supposer qu'il s'agit d'un grand bassin, ne peut être pleinement représentatif d'un régime.

Il est donc nécessaire, pour s'y retrouver, de simplifier le schéma du régime afin de pouvoir représenter ce dernier par un nombre restreint de paramètres. En fait, ces derniers sont souvent choisis d'après la nature du problème à traiter : on peut ainsi définir le débit moyen annuel, le débit le plus fort ou le plus faible de l'année, les 12 débits mensuels, tel ou tel débit caractéristique etc... Ce faisant, on définit à chaque fois une variable, pratiquement indépendante, que l'on peut assimiler à une variable aléatoire et traiter comme telle, c'est-à-dire en rechercher la loi de distribution. C'est alors, et seulement alors, que la statistique peut faire son entrée dans le domaine de l'hydrologie et y rendre d'irremplaçables services.

La notion du réseau optimal apparaît, de ce fait, sous un jour beaucoup plus complexe. On voit percer, derrière cette notion, l'idée d'intervalle de confiance qui va traduire en termes nets ce qu'on entend par précision "suffisante" ; il s'agira en fait d'une possible variation de la valeur du paramètre considéré, attachée à une certaine probabilité que la valeur de ce paramètre ne soit pas conforme à l'attente. Autrement dit, tout choix d'une valeur d'un paramètre engage la responsabilité de l'utilisateur ; ce que va demander ce dernier à l'hydrologue, ce sera de réduire la marge d'erreur qu'il peut faire avec un risque donné, souvent représenté par une probabilité de 5 %.

Or, cette marge dépend de la loi de répartition statistique du paramètre, en particulier de ses caractéristiques de dispersion, du nombre d'années d'observations à la station principale, de la valeur du coefficient de corrélation entre les valeurs du paramètre à la station principale et au point considéré du réseau (qui peut être une station secondaire), de la précision enfin de l'estimation de ce coefficient de corrélation.

Or, il est clair qu'aucun de ces coefficients ne saurait être le même pour les différents paramètres du régime. Les modules, par exemple, les crues, les débits caractéristiques d'étiage, les débits moyens mensuels, suivent des lois de répartition tout à fait différentes avec, notamment, des coefficients de dispersion propres. Il s'ensuit qu'un réseau donnant une certaine précision statistique pour les modules, ne donnera pas du tout la même pour les crues ou les étiages.

Veuillez m'excuser d'avoir été si long sur ce sujet mais il me semble qu'il s'agit là d'un point essentiel. Même si l'on ne peut pas calculer ainsi les réseaux, il est indispensable d'avoir ces remarques présentes à l'esprit afin de faire les simplifications nécessaires en toute connaissance de cause.

L'établissement d'un réseau optimal exigerait ainsi une connaissance déjà très complète des régimes hydrologiques, ce qui est évidemment incompatible avec la réalité, puisque cet établissement a précisément pour but cette connaissance. C'est une des raisons pour laquelle le guide, se faisant l'écho de nombreux chercheurs, considère un autre type de réseau, dit réseau minimal. Il s'agit d'un réseau simplifié, suffisant pour dégager un ordre de grandeur des différents éléments des régimes dans un bassin ou dans l'ensemble d'un pays. Il est établi uniquement en se basant sur l'expérience des hydrologues, la connaissance des éléments géographiques et les quelques stations placées, souvent arbitrairement, par des pionniers de l'hydrologie, des services intéressés par tel aspect du problème ou des particuliers de bonne volonté.

A titre indicatif, le guide propose, pour les régions tropicales africaines, au sens restreint du mot "tropical", une densité minimale de 1 station pour 3 000 à 10 000 km² en plaine. En montagne, il conviendrait de resserrer le réseau, mais il est difficile de donner des directives générales.

- 2 - RESEAUX de l'actuelle AFRIQUE FRANCOPHONE -

Il ne faudrait pas croire, au vu de ce qui précède, que l'on a résolu le problème des réseaux lorsqu'une harmonieuse répartition des stations a été réalisée sur le papier. Il faut que les stations soient soigneusement installées sur le terrain, sur des emplacements bien choisis ; il faut enfin que l'exploitation de ces stations soit contrôlée de façon efficace. Nous reviendrons sur ce point.

Les réseaux de l'actuelle Afrique Francophone sont actuellement dans des états extrêmement variables. Ce fait est dû en grande partie à ce que, depuis quelques années, les hydrologues ont été accaparés au premier chef par des études spéciales souvent axées sur des problèmes généraux, mais quelquefois aussi sur des questions très particulières d'application immédiate. Il est indispensable que chaque section hydrologique dispose d'une ou deux équipes entièrement vouées à l'exploitation des réseaux.

Nous allons d'abord passer brièvement en revue les différents pays dans lesquels le Réseau Hydrologique est conseillé par l'ORSTOM, faire état de son degré d'avancement et proposer les solutions d'amélioration qui paraissent indiquées.

- COTE d'IVOIRE -

Le réseau comporte actuellement une centaine de stations. On peut considérer que le stade du réseau minimal est dépassé. Il resterait à sélectionner définitivement les stations principales, ce qui est actuellement possible ; il faudra sans doute renforcer le nombre de stations dans la bande des bassins de 1 000 à 5 000 km². Un certain nombre de stations existantes seront conservées pendant une dizaine d'années comme stations secondaires ; d'autres seront éliminées.

On peut, pour ce pays, songer dès à présent à l'établissement d'un réseau optimal qui devrait comporter 60 à 70 stations principales et à peu près autant de stations secondaires, compte tenu de l'état de développement. Une équipe "réseau" est en place, une seconde devrait être créée.

- HAUTE-VOLTA -

Officiellement, le réseau comporte une quarantaine de stations. En fait, il est pratiquement inexistant. Il serait nécessaire de faire le point

sur les stations existantes, de conserver celles qui sont exploitées depuis le plus longtemps et le moins mal, et d'examiner de très près le cas des autres. Il faudrait ensuite créer un réseau minimal à partir des quelques stations qui auront été maintenues.

L'établissement d'un réseau en HAUTE-VOLTA ne sera pas chose facile, à cause des moyens de communication très précaires en hivernage pour une grande partie du pays, et de l'état du réseau hydrographique particulièrement dégradé. Même pour un réseau minimal d'une cinquantaine de stations, une seule équipe "réseau" viendra difficilement à bout d'une exploitation correcte ; on ne pourra toutefois guère faire mieux dans l'immédiat.

- NIGER -

Il faudrait subdiviser cet état en deux parties, l'une tropicale, l'autre désertique et sahélienne beaucoup plus vaste. Du point de vue hydrologique, on distingue le Fleuve NIGER et ses affluents rive droite, les vallées dites "sèches" (MAGGIA et GOULBI de MARADI essentiellement) et le Massif subdésertique de l'AIR.

Le problème de l'intégration des zones désertiques au réseau de base sera évoqué à la fin de notre exposé. Pour le reste, le réseau du NIGER comporte une vingtaine de stations. C'est plus qu'un réseau minimal et on peut compter qu'un réseau optimal ne dépasserait pas 25 à 30 stations. Mais en fait, toutes les stations ne sont pas exploitées avec le même bonheur ; c'est surtout dans ce sens qu'un effort devra être fait. Une seule équipe sera sans doute suffisante à condition qu'elle soit dotée d'un matériel bien adapté, ce qui ne semble pas être le cas actuellement.

Les vallées sèches posent un problème d'exploitation beaucoup plus ardu que le NIGER. Bien qu'actuellement une vingtaine de stations soient installées dans cette région et qu'elles soient régulièrement suivies chaque hivernage, rares sont celles qui conviennent vraiment à la mesure des débits. C'est que les rivières y sont très particulières, dans un état de dégradation avancé avec des lits généralement instables. On rejoint un peu le problème des rivières subdésertiques. La solution serait de réaliser un blocage des lits en un certain nombre de points ; c'est une solution très onéreuse et qui demanderait à être étudiée très attentivement, mais nous la jugeons indispensable si on veut vraiment opérer de façon efficace. De toute manière, il faudrait revoir l'implantation des stations.

Deux équipes réseau, au moins, sont indispensables pour la République du NIGER.

- TOGO et DAHOMEY -

Nous passerons rapidement sur ces deux territoires pour lesquels les réseaux sont suffisants, moyennant quelques retouches de détail. Une reprise en main des observations sera néanmoins nécessaire et une équipe "réseau" devrait être créée dans chacun de ces pays. Il ne semble pas que l'exploitation pose de grandes difficultés.

- TCHAD -

Pour ce pays, nous ne traiterons également que la zone tropicale, c'est-à-dire les bassins du LOGONE et du CHARI et de la BENOUE. Nous y incluons le bassin sahélien du BATHA. Le réseau comporte une centaine de stations, ce qui constituerait un stade supérieur à celui du réseau minimal si ces stations étaient correctement réparties. En fait, il faut tabler sur une quarantaine de stations principales, peut-être moins. Le TCHAD, cependant, atteint le seuil auquel on peut envisager l'établissement d'un réseau optimal, soit cinquante à soixante stations principales environ et une soixantaine de stations secondaires. L'effort devrait porter principalement sur la reprise en main du réseau et pour ce faire, compte tenu des difficultés de déplacement, trois équipes "réseau" travaillant à plein temps seraient indispensables.

- CAMEROUN -

Une soixantaine de stations sont actuellement en service. Mais à part un réseau de base très lâche et assez bien suivi, les stations ont été implantées au hasard des projets et des demandes immédiates. Il est temps de créer au CAMEROUN une équipe exclusivement consacrée aux réseaux. Bien que le réseau minimal, compte tenu des caractéristiques de relief du pays, soit à peine atteint, il est possible de penser d'ores et déjà à l'implantation du réseau optimal qui devrait comporter au moins soixante stations principales et peut-être une cinquantaine de stations secondaires.

- REPUBLIQUE CENTRAFRICAINE -

Pour la République Centrafricaine, malgré les 56 stations inscrites au fichier, nous ne pensons pas que le moment soit venu de songer au réseau optimal. Il faudrait avant tout asseoir définitivement un réseau minimal en complétant et, au besoin, en élaguant le réseau actuel : cependant, le canevas

actuel est à peu près correct et de simples retouches de détail seraient suffisantes en ce qui concerne la distribution des stations. Par contre, un gros effort devra être fait pour le contrôle et la remise en état des stations. Une équipe uniquement vouée au réseau devra être formée ; il serait souhaitable d'en avoir deux.

- MOYEN CONGO -

C'est le type du pays où le réseau hydrométrique s'est développé de façon anarchique sous l'impulsion de besoins immédiats. Cette première phase a été indispensable pour un tas de raisons politiques et économiques, mais maintenant il convient de revoir complètement le réseau. Pour cela, il sera nécessaire de distinguer entre le bassin du KOUILOU-NIARI, pour lequel le moment semble venu de passer au réseau optimal, et le reste du pays où on devra enfin asseoir correctement un réseau minimal.

Sur les 35 stations du KOUILOU actuellement répertoriées, on devrait conserver une vingtaine de stations principales et créer un réseau secondaire de 20 à 25 stations, en puisant bien entendu dans les stations existantes. Pour le reste, le réseau actuel devrait être maintenu, avec peut-être quelques modifications de détail, mais surtout l'exploitation devrait être reprise sérieusement en main.

On conçoit difficilement un contrôle effectif sans la mise en place de deux équipes "réseau".

- GABON -

Le réseau actuel semble suffisant pour un réseau minimal, tout au moins en ce qui concerne l'OGOOUE. Celui de la NYANGA demanderait à être complété. Compte tenu de la nature très particulière du pays (forêt équatoriale), et des moyens de pénétration plutôt sommaires, il semble difficile de faire plus pour l'instant. Par contre, l'exploitation pourrait être bien meilleure ; une équipe "réseau" serait nécessaire.

- MADAGASCAR -

De tous les grands Etats africains dont nous conseillons les réseaux, c'est certainement celui qui présente les régimes les plus variés et pour lequel la densité des stations devrait être la plus forte. Actuellement, 140 stations sont inscrites au fichier de MADAGASCAR ; à peine la moitié sont suivies de façon satisfaisante, malgré le dynamisme et la compétence bien connus du chef

de la section hydrologique. C'est que les moyens mis à sa disposition sont très insuffisants.

Les rivières de MADAGASCAR sont des cours d'eau difficiles à manipuler ; les vitesses y sont souvent très fortes, les débits importants et l'instabilité des lits remet continuellement en question des étalonnages péniblement acquis. D'autre part, la variabilité très grande des régimes rend difficile l'interpolation et, à plus forte raison, l'extrapolation des caractéristiques hydrologiques. Il ne semble pas exagéré de dire que le réseau devrait comporter au moins 100 stations principales. Des résultats satisfaisants ne pourront être acquis que par la mise en place de 4 équipes "réseau" bien entraînées.

Nous n'évoquerons pas ici le cas des îles de la REUNION et des ANTILLES, de la NOUVELLE CALÉDONIE et de la GUYANE. Ces territoires soulèvent des problèmes particuliers qui devraient être étudiés séparément.

- 3 - PROPOSITIONS et DIRECTIVES GÉNÉRALES -

Il semblerait raisonnable d'entreprendre le plus rapidement possible une action "réseau" basée sur les principes suivants :

- Reprise en main, pour toutes les sections hydrologiques, des réseaux existants ;
- Pour les pays susceptibles d'accéder au réseau optimal, établissement par le chef de section d'un projet de réseau.

Le premier point suppose avant tout la création d'équipes "réseau". On entend par équipe "réseau" une brigade constituée par un agent technique hydrologue spécialisé dans ce genre d'activité, assisté d'un ou deux aides hydrologues, d'un chauffeur et d'un manoeuvre. Une telle équipe doit disposer du matériel hydrométrique adapté aux rivières qui lui sont confiées et d'un ou deux véhicules capables d'affronter, dans des conditions acceptables, les pistes qu'elle doit parcourir.

Il est indispensable que ces équipes soient affectées à leur tâche à temps complet et qu'en aucun cas elles ne puissent en être détournées pour l'exécution contractuelle d'une convention, ni pour telle étude spéciale à caractère fondamental dont l'opportunité pourrait apparaître par ailleurs. La

reprise en main exige également que l'ingénieur chef de section se penche sur le cas de chaque station, en fasse l'étude critique en se basant sur le plan suivant :

- Choix de l'implantation. Accès, nature de l'écoulement, stabilité ou instabilité du lit et de l'étalonnage, caractère univoque ou pas de la loi hauteur-débit, sensibilité de la station, influence du remous d'un affluent ;
- Etat des installations. Caractère définitif ou provisoire des échelles, accès aux plus basses eaux, solidité de l'implantation des échelles. Pour les limnigraphes, état du puits et de l'appareil, accès aux basses eaux, stabilité du plan d'eau à l'intérieur du puits, envasement rapide ou lent. Dans le cas où il n'existe qu'une échelle, les simples lectures journalières ou bi-journalières définissent-elles avec suffisamment de précision les variations du débit ? Sinon, il faudrait prévoir l'installation d'un limnigraphe. Contrôle du calage du zéro et des différents éléments.
- Conditions d'exploitation. Caractéristiques de l'observateur, possibilités d'en trouver d'autres dans les environs immédiats ou d'implanter un observateur payé à plein temps.

Ces renseignements serviront de guide au chef de section pour améliorer individuellement chacune des stations. Eventuellement, des modifications d'emplacement pourront être proposées ; dans ce cas, il sera indispensable de faire des observations simultanées à l'ancien et au nouvel emplacement pendant une période d'au moins deux ans. Il faudra d'ores et déjà prévoir l'installation systématique de limnigraphes, en commençant par les stations pour lesquelles cette opération est la plus urgente, soit qu'il ne soit pas possible de trouver un observateur sérieux, soit que la variation du débit soit trop rapide pour que de simples lectures en rendent compte avec une précision suffisante.

Le chef de section ne devra pas attendre d'avoir terminé son inventaire pour lancer son équipe ou ses équipes "réseau" sur cette opération de réfection. Lorsque le chef de section est un jeune dont l'expérience risque de ne pas être suffisante pour mener cette tâche à bien, il serait souhaitable qu'un expert soit envoyé en mission spéciale pour une durée limitée afin de le conseiller.

Les attributions d'une équipe "réseau" ne se réduisent pas à la mise en état et à l'entretien des stations de jaugeages. Elle doit :

- Sur le terrain :

- Exécuter les mesures de débit et disposer pour cela du matériel approprié ;
- Effectuer éventuellement les prélèvements pour mesures du débit solide ou analyses chimiques ;
- Contrôler l'observateur et changer les feuilles de limnigraphes s'il s'agit d'appareils longue durée. A ce propos, une équipe "réseau" ne doit jamais passer à côté d'une station de jaugeages sans contrôler l'observateur, même si cette station n'est pas explicitement inscrite à son programme de tournée ;
- Contrôler périodiquement le zéro des échelles.

Les stations devraient être visitées au moins une fois par trimestre ; certaines le seront beaucoup plus souvent. Outre les campagnes de jaugeages effectuées durant la saison des pluies, chaque station devra faire chaque année l'objet d'au moins une mesure de débit au début de la période de tarissement et d'une mesure à proximité des plus basses eaux : ces opérations doivent être considérées par les équipes "réseau" comme des obligations professionnelles ne souffrant aucune dérogation.

- Exécuter le dépouillement des mesures de débit et ceci immédiatement après chaque tournée. Le chef de section doit veiller au respect de ces consignes et exiger un horaire normal de bureau entre les tournées.

- Tenir à jour le fichier des stations et consigner en particulier toutes modifications survenant à ces stations ;

- Recueillir les relevés d'échelle, les collationner et les critiquer sérieusement immédiatement à la réception ou à la remise directe par l'observateur et les classer ;

- Dépouiller les limnigrammes, c'est-à-dire calculer pour chaque jour la hauteur moyenne à l'échelle. Les résultats sont présentés sous forme de tableau comportant pour chaque jour la hauteur moyenne et la cote maximale atteinte ; cette dernière indication doit être portée uniquement si elle correspond effectivement à une pointe de crue. Les limnigrammes originaux sont classés dans des dossiers spéciaux de manière à être aisément accessibles.

Le second point du programme, c'est-à-dire l'établissement de projets

de réseaux optimaux, devra être fait en s'inspirant de l'esprit, sinon de la lettre, des remarques faites au début de cet exposé. Nous pensons que le critère de précision sera finalement basé sur les corrélations entre modules, d'abord parce qu'il s'agit là, à notre avis, du paramètre principal du régime, ensuite parce que l'étude d'optimisation s'en trouvera grandement simplifiée. Mais ce n'est pas là une option obligatoire et il se peut qu'en certains cas on soit amené à envisager d'autres paramètres, notamment ceux qui concernent les basses eaux.

Il restera à définir la probabilité standard correspondant au degré du risque d'erreur accepté et l'amplitude relative de l'erreur, c'est-à-dire finalement l'intervalle de confiance rapporté à la valeur centrale pour une période d'observation mettons de 10 ans, durée d'activité d'une station secondaire. Le rapport du chef de section ne comportera pas tous ces calculs qui feront l'objet d'études spéciales d'un département extérieur de Recherche Fondamentale. La première ébauche de réseau optimal sera beaucoup plus intuitive et là encore, il sera nécessaire que les jeunes chefs de section puissent bénéficier des conseils d'experts qualifiés.

- 4 - RESEaux DESERTIQUES -

Jusqu'à présent, l'hydrologie des zones subdésertiques et désertiques, ainsi que la plus grande part des zones sahéliennes, a fait l'objet d'études sporadiques concentrées par voie de missions spéciales. Cette première phase a permis de rassembler très rapidement un nombre important de données pour des contrées au sujet de l'hydrologie desquelles on ignorait tout. Ce premier dégrossissage est achevé et continuer dans cette voie n'apporterait pas grand chose de plus. Il est nécessaire maintenant, si l'on veut parfaire nos connaissances de l'hydrologie de ces régions, de s'assurer des séries chronologiques suffisamment étendues, c'est-à-dire de créer un certain nombre de stations principales.

Cette opération va se heurter à des difficultés considérables ; c'est pourquoi il faudra, tout au moins au début, se limiter à un réseau très clairsemé. Un premier échantillonnage, que nous proposons pour les pays africains francophones, comprendrait :

- En MAURITANIE, une station sur l'Oued KETCHI juste à l'amont d'ALEG ;

- Au NIGER, une station sur le Kori TELOUA, à une dizaine de km en amont d'AGADES, dans l'AÏR ;
- Au TCHAD, une station sur l'Oued HAOUACH (piste de FADA), dans le MORTCHA, et une station sur l'ENNERRI N'DOU (piste de FADA), dans l'ENNEDI.

De telles stations seront très onéreuses et il faudra généralement assurer un blocage du lit pour éviter le détarage. Mais il faudra bien en passer par là pour obtenir les longues séries qui, seules, pourront préciser les caractéristiques du régime désertique. Un réseau aussi limité que celui que nous proposons ici ne résoudra certes pas complètement le problème mais nous pensons qu'il est préférable, dans ce domaine, d'avancer prudemment. De toutes façons, la mise en valeur de ces régions n'est probablement pas pour demain.