

24
A2E3
M111
GOVERNEMENT GENERAL
DE L'AOF

DIRECTION GENERALE
DES TRAVAUX PUBLICS

SERVICE DE L'HYDRAULIQUE

Archives
CIRCULAIRES
THEORIQUE ET PRATIQUE
D'HYDRAULIQUE FLUVIALE



Dakar, 5 Mai 1954

11111

CIRCULAIRE HYDROLOGIQUE

L'Hydrologie fluviale étudie les variations des régimes des cours d'eau et leurs causes. (facteurs conditionnels du régime)

Les débits des cours d'eau sont observés à des stations de jaugeage et inscrite sur des relevés, base de toute étude hydrologique.

I - Facteurs conditionnels du régime.

Les facteurs conditionnels du régime sont, pour les principaux, la pluviométrie, le régime des vents, la température, l'état hygrométrique de l'air, l'évaporation, la condensation, la couverture végétale du sol, sa nature géologique, le relief et la forme du bassin versant.

L'hydrologue étudie ces différents facteurs à l'aide des relevés des stations météorologiques, en ce qui concerne la climatologie, par une inspection rapide du terrain et des études sur cartes pour les autres facteurs.

En pratique, seule la climatologie fait l'objet d'études poussées, à partir des relevés des stations météorologiques, en général.

On étudie le plus souvent, les précipitations moyennes mensuelles et annuelles, on en déduit la répartition des pluies sur les bassins versants à étudier en traçant un réseau de courbes d'égale pluviométrie ou isohyètes. Ce réseau de courbes permet de calculer les précipitations totales, annuelles ou mensuelles sur le bassin versant. Dans le cas de très grands bassins versants pourvus d'un assez grand nombre de pluviomètres on peut éviter de passer par l'intermédiaire des isohyètes pour calculer les précipitations totales annuelles, il suffit alors de faire la moyenne arithmétique des hauteurs d'eau aux différents pluviomètres.

Enfin, en liaison avec cette étude, il y a lieu de rechercher des traces des plus fortes crues : destructions d'ouvrages ou de villages par exemple; l'étude de documents anciens ou de traditions orales peut permettre parfois de retrouver la valeur approchée des plus fortes crues qui se sont produites depuis 60 ou même 100 ans. Aucun renseignement n'est à négliger dans ce domaine.

Dans tout ce qui précède, on a montré comment il était possible de dégager toutes les caractéristiques d'un régime hydrologique bien observé et d'en déduire des règles applicables à des bassins versants voisins. quels sont les moyens de

CIRCULAIRE THEORIQUE

L'Hydrologie fluviale étudie les variations des régimes des cours d'eau et leurs causes. (facteurs conditionnels du régime).

Les débits des cours d'eau sont observés à des stations de jaugeage et inscrites sur des relevés, base de toute étude hydrologique.

I - Facteurs conditionnels du régime.

Les facteurs conditionnels du régime sont, pour les principaux, la pluviométrie, le régime des vents, la température, l'état hygrométrique de l'air, l'évaporation, la condensation, la couverture végétale du sol, sa nature géologique, le relief et la forme du bassin versant.

L'hydrologue étudie ces différents facteurs à l'aide des relevés des stations météorologiques, en ce qui concerne la climatologie, par une inspection rapide du terrain et des études sur cartes pour les autres facteurs.

En pratique, seule la climatologie fait l'objet d'études poussées, à partir des relevés des stations météorologiques, en général.

On étudie le plus souvent, les précipitations moyennes mensuelles et annuelles, on en déduit la répartition des pluies sur les bassins versants à étudier en traçant un réseau de courbes d'égale pluviométrie ou isohyètes. Ce réseau de courbes permet de calculer les précipitations totales, annuelles ou mensuelles sur le bassin versant. Dans le cas de très grands bassins versants pourvus d'un assez grand nombre de pluviomètres on peut éviter de passer par l'intermédiaire des isohyètes pour calculer les précipitations totales annuelles, il suffit alors de faire la moyenne arithmétique des hauteurs d'eau aux différents pluviomètres.

Enfin, en liaison avec cette étude, il y a lieu de rechercher des traces des plus fortes crues : destructions d'ouvrages ou de villages par exemple; l'étude de documents anciens ou de traditions orales peut permettre parfois de retrouver la valeur approchée des plus fortes crues qui se sont produites depuis 60 ou même 100 ans. Aucun renseignement n'est à négliger dans ce domaine.

Dans tout ce qui précède, on a montré comment il était possible de dégager toutes les caractéristiques d'un régime hydrologique bien observé et d'en déduire des règles applicables à des bassins versants voisins, quels sont les moyens de

trouver les principales caractéristiques d'un régime observé depuis un an ou deux seulement.

On procédera comme suit :

- 1° - On examinera le bassin versant sur carte et sur le terrain (pentes, nature du sol, forme du réseau hydrographique, etc...). La nature de la couverture végétale peut souvent donner une première indication de la pluviométrie.
- 2° - On étudiera soigneusement tous les relevés pluviométriques. Si ces relevés sont trop peu nombreux, chercher en interrogeant des personnes connaissant bien la région à se faire une idée qualitative de la répartition et de la violence des crues.
- 3° - Installer le plus tôt possible une échelle, la tarer à titre provisoire, étudier les débits compte tenu de l'hydraulicité générale dans la période d'observation (examen de la pluviométrie), on pourra obtenir directement un certain nombre de renseignements précieux sur : les étiages : durée d'utilisation des radiers, pendant quelle période le lit de la rivière est à sec, pendant quelle période la nappe se maintient-elle dans le lit, si le débit est permanent, niveau minimum de l'eau; les crues : largeur du lit, granulométrie des alluvions délaissées de crues, périodes pendant lesquelles telle route a été coupée, période de navigabilité, etc... Sur les variations de l'hydraulicité : consulter les anciens des villages sur les limites maxima atteintes par le fleuve, dates auxquelles certains ouvrages ont été emportés, etc...

Moins fréquemment, on étudie les écarts :

- écarts des précipitations annuelles par rapport à la moyenne annuelle (en vue des variations interannuelles du module),
- écarts de précipitations mensuelles par rapport aux différentes moyennes,
- écarts des précipitations journalières, courbes de fréquences (pour études de crues).

Ces dernières études nécessitent un travail de dépouillement très important; elles sont essentielles pour les études de crues de bassin versant moyen, supérieur à 500 Km².

L'étude des écarts permet en général de vérifier la qualité des observations.

Indépendamment des pluviomètres des services météorologiques, les hydrologues auront à utiliser les résultats des pluviomètres qu'ils devront installer eux-mêmes surtout pour l'étude de petits bassins versants. Ces pluviomètres auront pour but soit de donner un réseau plus dense des stations, donc de préciser la répartition des pluies sur le bassin versant, soit par des observations horaires de

préciser la répartition des précipitations dans le temps.

Dans ce dernier cas, les hydrologues auront à effectuer, en outre des études précisées plus haut, l'étude des écarts horaires, en vue de l'analyse et de la prévision des crues.

L'étude des variations de température, de l'état hygrométrique de l'air, de l'évaporation, de la condensation est intéressante. Il y aura lieu de considérer les moyennes; les moyennes de dix ans suffisent. L'étude des variations interannuelles de ces deux facteurs peut expliquer les anomalies dans les variations des courbes de tarissement et du déficit d'écoulement d'une année à l'autre. Dans la presque totalité des cas, les observations des stations météorologiques sont suffisantes, mais dans certains cas particuliers, il y aura intérêt à préciser la répartition des températures moyennes sur le bassin versant et surtout à installer des appareils de mesures d'évaporation (évaporomètres ou bacs, suivant le cas).

L'étude des vents peut-être faite à partir des stations météorologiques. Il est bon que l'hydrologue connaisse tout au moins de façon qualitative, la carte des vents du bassin versant et les conséquences de l'exposition des diverses parties du bassin versant.

La couverture végétale donne des indications précises sur la répartition de la pluviométrie. Il est nécessaire que l'hydrologue connaisse les définitions des divers types de végétation et parvienne à les identifier sans hésitation sur le terrain.

La nature géologique du sol, qui est liée à l'étude des nappes souterraines, est surtout importante en ce qui concerne la perméabilité ou l'imperméabilité du terrain. Ce caractère du bassin versant, sans grande importance sur les fortes crues et les crues exceptionnelles détermine la valeur des débits d'étiage des petits et des moyens bassins versants.

La forme du bassin versant et la nature du relief peuvent être utiles à connaître pour les études de crues.

II - Observations des débits des cours d'eau.

L'exploitation normale d'une station de jaugeage comporte :

- a) - l'aménagement de la station,
- b) - l'étalonnage,
- c) - l'organisation des observations,
- d) - le classement des résultats.

1° - Aménagement de la station.

L'emplacement de la station est déterminé à la suite d'études sur cartes et de reconnaissances sur le terrain.

Les conditions à remplir, indépendamment des conditions purement hydrauliques, sont, surtout en A.O.F., des conditions d'accès et la possibilité de disposer

d'un observateur lorsque l'on ne peut pas y installer un limnigraphe.

L'étude du régime d'un cours d'eau en une section donnée de son cours exige l'aménagement d'une station de jaugeage principale sur le cours d'eau lui-même, et souvent, en outre, l'installation de plusieurs stations secondaires sur les affluents surtout si les régimes de ces affluents sont assez différents les uns des autres.

La station principale peut être assez loin de la section à étudier, l'essentiel est que le débit passant à la station soit sensiblement le même, c'est-à-dire que les affluents échappant aux mesures n'aient qu'une importance relative faible ou que les pertes par évaporation soient faibles entre section à étudier et station de jaugeage.

Dans la presque totalité des cas, les mesures de débits comportent :

- a) la lecture des hauteurs d'eau,
- b) - l'étalonnage de la courbe hauteurs d'eau-débits.

Les installations devront donc porter sur :

- a) - un dispositif permettant de relever directement ou indirectement la hauteur d'eau (échelles limnimétriques, limnigraphes, marégraphes).
- b) - les aménagements nécessaires à l'étalonnage de la station (station de jaugeage proprement dite).

Ces derniers aménagements comportent notamment :

- un léger débroussaillage si nécessaire,
- un ou plusieurs repères de nivellement (indispensables)
- le balisage éventuel de la section théorique (cas de très longs fleuves) (1)
- un câble fixe éventuellement,
- une portière ou des pirogues à laisser à demeure,
- une série de repères le long de la rive s'il y a lieu d'effectuer des mesures de pentes,
- éventuellement plusieurs échelles dans ce dernier cas.

Les aménagements a) et b) peuvent être placés à une certaine distance, dans ce cas, on doit prévoir des repères de nivellement près de l'échelle d'une part, et à l'emplacement où s'effectuent les jaugeages d'autre part. Toutes ces installations doivent être réalisées sous le contrôle direct de l'hydrologue.

2° - L'étalonnage de la station de jaugeage.

(1) - En cas de jaugeages aux flotteurs il y aura lieu de baliser deux sections voisines.

Il s'agit d'effectuer une série de mesures de débits pour des hauteurs d'eau différentes.

Ces mesures peuvent être effectuées :

- soit par déversoir, (pour les petits bassins versants, 100 ou 200 Km² au maximum),
- soit aux flotteurs,
- soit au moulinet sur perche (bassins versants inférieurs à 3 ou 4.000 km² ou débits d'étiage de grands bassins versants),
- soit au moulinet avec saumons (bassins versants supérieurs à 3 ou 4.000 km² en eaux moyennes ou en hautes eaux),
- soit par mesures de pentes ou observations de deux échelles (écoulement assez régulier, lit bien connu).

Il est recommandé d'utiliser simultanément deux procédés à la fois, l'un plus rapide tel que mesure de pente ou flotteurs fournira des recoupements et évitera toute erreur grossière.

Pour qu'une courbe d'étalonnage soit bien établie, il faut que les points de jaugeage soient bien répartis sur la courbe hauteurs - débits, que le débit le plus faible ayant fait l'objet d'un jaugeage soit voisin du débit d'étiage absolu (moyenne interannuelle) et que le débit le plus élevé ne soit pas trop inférieur à la crue décennale.

Ainsi la courbe est bien déterminée et les extrapolations nécessaires vers le haut et le bas de la courbe ne sont pas trop importantes lorsqu'il s'agit d'étudier les crues ou les étiages exceptionnels. Pour des rivières à écoulement relativement régulier comme la plupart des fleuves d'A.O.F., il suffit de 6 ou 7 points.

Lorsque le lit de la rivière est mobile, il faut prévoir l'étalonnage d'une courbe tous les ans ou tous les deux ans; ce phénomène est assez rare en Afrique heureusement et en général, on peut utiliser la même courbe à peu près indéfiniment. Toutefois, le lit varie légèrement dans presque tous les cas et il est souvent nécessaire de modifier à intervalles réguliers la partie inférieure de la courbe (observation des débits d'étiage). On peut dans certains cas éviter des jaugeages de contrôle de basses eaux en installant une échelle de basses eaux en un point à fond fixe.

L'étalonnage régulier d'une station peut demander plusieurs années (celui du NIGER à KOULIKORO a été commencé en 1923, il n'est pas encore tout à fait achevé actuellement).

Aussi, pour pouvoir utiliser rapidement les relevés limnimétriques ou établir une courbe d'étalonnage provisoire qui peut ne comporter que trois ou quatre points de jaugeages bien répartis surtout vers les hautes eaux. Ces jaugeages peuvent

d'ailleurs être effectués moitié au flotteur, moitié au moulinet. Les résultats des jaugeages au moulinet et au flotteur doivent être soigneusement comparés dans les plus petits détails. On doit établir :

- le coefficient vitesse superficielle moyenne pour les jaugeages au moulinet et vitesse moyenne suivre soigneusement les variations de vitesse avec la hauteur.

- Des calculs hydrauliques s'appuyant si possible sur des mesures de pentes permettent de recouper ces données et facilitent l'extrapolation.

Dans ces conditions, il est possible pour un seul hydrologue d'effectuer simultanément l'étalonnage provisoire de quatre ou cinq stations en un an si les stations ne sont pas trop éloignées et s'il dispose de bons moyens de transport. L'étalonnage définitif se poursuit les années suivantes.

La courbe d'étalonnage provisoire ou définitive doit toujours porter mention des points de mesures. Dans le même ordre d'idées, tous les relevés et calculs des jaugeages doivent rassembler en dossier, un par jaugeage, qui seront conservés soigneusement pour permettre tout contrôle ultérieur;

3° - Organisation des observations.

Les relevés de hauteurs d'eau, qu'ils soient effectués par limnigraphe, marégraphe ou par des observateurs, doivent être l'objet des plus grands soins, car ils constituent les données de bases de l'hydrologie.

On s'attachera tout particulièrement à la continuité et à l'exactitude des observations.

Les agents chargés de changer les feuilles de limnigraphes ou de marégraphes ou les observateurs d'échelles, devront donc être recrutés avec les plus grandes précautions, être rémunérés de façon équitable et régulière et contrôlée périodiquement par les hydrologues. On vérifiera que l'agent chargé de changer les feuilles sur les tambours est capable d'effectuer correctement cette opération.

Dans les cas où il est difficile de trouver sur place un observateur donnant des garanties suffisantes, on devra recruter cet agent assez loin de la station et l'installer dans le village le plus voisin.

Le contrôle des observateurs devra être combiné avec des jaugeages aux stations correspondantes de façon à tirer le meilleur parti des tournées des hydrologues.

Le matériel enregistreur devra être soumis à des visites régulières où il sera soumis à des vérifications systématiques.

Dans le cas d'échelles limnimétrique, l'observateur relève directement la cote sur une feuille mensuelle qu'il transmettra à l'hydrologue et reporte cette cote sur un cahier annuel qu'il garde.

La transmission des résultats devra être réglementée de façon stricte.

Elle doit être effectuée de telle façon que le risque de retard ou surtout de pertes de documents soit réduit au minimum.

Le meilleur procédé, chaque fois que cela est possible, consiste à faire ramasser périodiquement les relevés par l'hydrologue lui-même. Ce dernier reproduit les relevés mensuels en quatre exemplaires qu'il doit collationner lui-même, quatre exemplaires dont l'original sera à envoyer au Chef du Service Hydraulique. L'un de ces quatre exemplaires sera à transmettre à l'Office de la Recherche scientifique Outre-Mer. En principe, l'hydrologue doit envoyer ces pièces tous les trimestres. Il doit pouvoir ne pas être astreint à des dates fixes pour ces envois, car pendant certaines périodes de l'année où le programme est particulièrement chargé, l'hydrologue devrait interrompre des tournées pour recopier ses relevés et les expédier à date fixe. Il en résulterait une gêne importante pour son travail.

Les hydrologues expédient des relevés de hauteur limnimétriques. Lorsque la station de jaugeage est étalonnée définitivement, ils peuvent expédier des relevés de débits, mais cela ne doit pas les dispenser d'envoyer les relevés de hauteurs d'eau et surtout l'original.

Outre les stations de jaugeages régulièrement exploitées, l'hydrologue peut installer des stations de jaugeages relevées de façon discontinue pour l'étude de certaines crues. Il peut également, lors de ses tournées, être amené à effectuer des mesures de débits sommaires sans même installer de stations, lorsqu'il s'agit par exemple, de chercher la répartition des apports entre plusieurs affluents, l'importance relative de différents bras, étudier l'importance relative des débits d'étiage, etc...

4° - Classement.

Le classement du Service Hydraulique portera sur les pièces suivantes :

- a) - administration des services (personnel, matériel, comptabilité, etc...) pour mémoire. Il y aura intérêt à classer ces documents dans un autre classement que les résultats d'études.
- b) - renseignements généraux sur la situation des stations (cartes, croquis de situation, etc...)
- c) - renseignements concernant les facteurs conditionnels du régime et en particulier les relevés pluviométriques.
- d) - relevés limnimétriques.
- e) - dossiers de jaugeages.
- f) - études particulières, monographies, etc...
- g) - documentation générale.

Le classement comprendra :

- 1° - un classement général comportant :
 - la documentation générale,
 - la documentation concernant l'A.O.F. dans son ensemble,
 - les techniques d'emploi du matériel.
- 2° - Un classement par territoire. Chaque classement de territoire comprendra
 - 1) un dossier correspondance qui groupera la correspondance technique de l'hydrologue du territoire : transmission de documents, opérations de jaugeages, contrôle des observateurs, en un mot, tous renseignements permettant de juger de la qualité des mesures et des observations.
 - 2) un dossier rapports groupant : rapport d'activité mensuel, rapport de fin d'année, rapports particuliers de l'hydrologue.
 - 3) une série de dossiers : un par bassin versant.

Chacun de ces dossiers comprendra :

- A) - un sous dossier études générales concernant le bassin versant, les monographies s'il y en a.
- B) - un sous-dossier renseignements généraux (cartes à différentes échelles, profils en long, renseignements topographiques, géologiques, renseignements concernant la végétation).
- C) - un sous-dossier climatologie dont l'essentiel sera constitué par les relevés pluviométriques : on aura intérêt à grouper sous une forme facile à consulter, les pluviométries moyennes annuelles et mensuelles des diverses stations.
- D) - un sous-dossier sous forme de cahiers facile à consulter, contenant les feuilles annuelles de débits aux diverses stations pour toutes les années d'observations.
- E) - un sous-dossier contenant les fiches de stations. Chaque fiche rassemble tous les renseignements concernant la station.
- F) - une série de sous-dossiers relatifs chacun à une station de jaugeage. Ces derniers sous-dossiers, beaucoup moins fréquemment consultés que les précédents comporteront :
 - a) - une chemise renseignements généraux : cartes, croquis de situation, profils en travers, renseignements topographiques pour le rattachement de l'échelle.
 - b) - une chemise contenant les relevés de débits.
 - c) - une chemise comportant tous les originaux des relevés limnimétriques.
 - d) - une chemise comportant tous les dépouillements de jaugeage, chaque dépouillement dans une chemise spéciale, comportant si possible un profil en travers sur papier calque.
 - e) - une fiche de récapitulation des jaugeages.
- G) - un sous-dossier études particulières : évaporation, crues, petits bassins versants, etc...

Le classement de chaque hydrologue devra s'inspirer de ce cadre.

III - INTERPRETATION DES RESULTATS

La connaissance parfaite du régime d'un fleuve à une station donnée exige :

- 1° - d'observer les débits à la dite station de façon continue pendant une période de quarante ans environ.
- 2° - de connaître les hauteurs des plus fortes crues depuis 2 ou 300 ans.

Aucun fleuve d'Afrique, sauf le NIL, n'a été observé depuis une période assez longue. Toutefois, la période d'observation continue peut être abaissée à une vingtaine d'années. En effet, nous venons de traverser une période remarquablement sèche et nous ne risquons pas de surestimer les modules moyens ni les débits de basses eaux. Il n'en reste pas moins que l'on ne possède que des indices sur les fortes crues observées antérieurement à 1920 pour la plupart des cours d'eau d'Afrique Noire. Notre connaissance directe des crues exceptionnelles restera longtemps insuffisante.

Dans la plupart des cas rencontrés dans la pratique, il n'existe aucune station installée avant le commencement de l'étude.

La méthode générale à utiliser pour déterminer les caractéristiques du régime hydrologique à étudier consiste :

- 1° - à installer une ou plusieurs échelles le plus tôt possible et à les relever soigneusement pendant deux ans au moins.
- 2° - à étalonner ces échelles.
- 3° - à recueillir toutes les données pluviométriques existantes concernant le bassin versant.
- 4° - à comparer, d'une part les variations de débits pendant la courte période d'observation, d'autre part les variations des précipitations pendant la période généralement beaucoup plus longue des observations pluviométriques avec les mêmes caractéristiques de bassins versants étudiés depuis longtemps; on identifiera le régime du cours d'eau à étudier à un régime bien connu pour lequel on possèdera toutes les caractéristiques.

Les observations directes (débits et pluviométrie), dont on disposera pour le bassin versant à étudier, permettront même d'effectuer quelques légères corrections par rapport au régime de référence. La plus grande prudence s'impose dans la détermination des termes correctifs.

Il est donc essentiel, pour bien connaître tous les régimes hydrologiques d'Afrique Noire, de reprendre l'exploitation de toutes les anciennes échelles, de les niveler si elles ne le sont pas, de les tarer et de rechercher les anciens relevés; on pourra ainsi obtenir très rapidement des relevés de débits portant sur des périodes de dix, vingt et même trente ans pour

certaines échelles. Ces études devront même porter sur des échelles installées en vue d'étude d'équipement actuellement sans intérêt.

Il semble que le nombre des échelles installées en Afrique Noire soit tel que l'on puisse avoir, dans un an, une connaissance suffisante de tous les régimes s'échelonnant du régime équatorial pur au régime subdésertique avec tous les régimes de transition, sauf pour les très petits bassins versants pour lesquels seules les observations pluviométriques peuvent nous donner des indications pour le moment.

L'effort des hydrologues doit donc porter :

- 1° - sur la remise en exploitation de toutes les anciennes échelles,
- 2° - sur l'étude directe des petits bassins versants,
- 3° - sur l'installation de nouvelles stations susceptibles de donner des renseignements directs sur les cours d'eau intéressés par un aménagement en projet ou en cours de réalisation.

Bien connaître un régime donné, c'est connaître, jusque dans ses plus petits détails, la courbe annuelle des débits et ses variations d'une année à l'autre, la courbe des débits moyens n'est qu'une grossière image.

Pour simplifier les comparaisons, on utilise un certain nombre de caractéristiques que l'on aura à déterminer pour tous les bassins versants bien connus.

Le débit moyen annuel ou module, en $m^3/sec.$

Pour avoir une réelle valeur, le module doit correspondre à la moyenne de dix à vingt années d'observation : module moyen ou à la valeur médiane des modules de la même période, ou module médian.

Le module rapporté au Km^2 de bassin versant ou module spécifique, permet de comparer les modules de différents bassins versants, lorsqu'il s'agit de bassins versants homogènes d'assez grandes dimensions. La notion de module spécifique suppose, en effet, que le module est proportionnel à la superficie du bassin versant ce qui n'est exact qu'approximativement.

Le débit minimum semi-permanent ou débit médian suppose le tracé de la courbe des débits classés.

Pour schématiser la courbe de variation moyenne annuelle, on utilise les débits moyens de hautes eaux, de basses eaux, d'eaux moyennes, ou mieux, les débits moyens mensuels.

Il s'agit, bien entendu, des moyennes effectuées sur toute la période d'observation. On peut également considérer les débits spécifiques correspondants

Le débit caractéristique d'étiage ou débit au-dessus duquel la rivière descend dix jours par an et le débit d'étiage absolu définissent les minima.

Le débit de crues annuel définit le maximum.

On a intérêt, pour toutes ces caractéristiques, à prendre non pas les valeurs moyennes, mais les valeurs médianes (valeur dépassée pendant la moitié des années d'observation).

Enfin, caractéristiques plus difficiles à déterminer, les crues exceptionnelles :

- crue décennale (débit maximum annuel de probabilité 1/10)
- crue centenaire (débit maximum annuel de probabilité 1/100)
- crue millénaire (débit maximum annuel de probabilité 1/1000)

Enfin, on peut calculer le volume annuel. Les variations de ce volume d'une année à l'autre constituent les variations interannuelles de l'hydraulicité.

La courbe la plus simple représentant le régime serait la courbe moyenne annuelle, cette courbe est assez inexacte par suite du décalage dans le temps des maxima ou minima d'une année à l'autre. Il en résulte une certaine distorsion. Il est préférable de considérer une année réelle voisine de l'année moyenne; on représente ainsi beaucoup mieux la forme de la courbe et l'irrégularité des débits; il est commode de porter sur le même graphique une année sèche et une année moyenne.

Lorsque la période d'observation est assez longue, on a intérêt à tracer également les courbes de fréquence.

La courbe de variations de hauteurs d'eau à l'échelle, la seule que l'on possède avant le tarage de la station, ne fournit pas beaucoup de renseignements. Elle peut donner des impressions très fausses sur l'irrégularité de la rivière et sur les volumes des crues.

L'ensemble de toutes ces caractéristiques définit le régime.

Pour bien comprendre ce régime, il est nécessaire d'étudier simultanément les facteurs conditionnels et surtout la pluviométrie.

La comparaison la plus simple consiste dans la détermination du coefficient de ruissellement $R = \frac{Q}{P}$ ou mieux, du déficit d'écoulement $D = P - Q$ qui, lui, varie beaucoup moins. Sa valeur moyenne est assez caractéristique d'un climat donné. La détermination de D est très importante car elle permet de calculer le module à partir des précipitations annuelles pour la période antérieure à la remise en service de la station de jaugeage.

Il peut être intéressant, dans le cas de bassins versants bien connus, d'estimer l'indice d'aridité annuel :

$$a = \frac{P}{T + 10} \quad \begin{array}{l} (P : \text{pluviométrie annuelle}) \\ (T : \text{température moyenne}) \end{array}$$

ou mieux, les indices d'aridité mensuels :

$$a = \frac{P \times 12}{T + 10}$$

et de rechercher une corrélation entre les valeurs obtenues et le coefficient d'écoulement, on pourra ainsi trouver certaines indications permettant d'estimer le coefficient d'écoulement dans le cas de bassins versants mal connus.

Les coefficients d'écoulement mensuels présentent peu de signification en général. Pour de grands bassins versants, l'écoulement correspond en moyenne à des précipitations tombées 15 jours ou un mois auparavant et le jeu des réserves souterraines mal connues complique le bilan hydrologique. Toutefois, ils fournissent des recoupements permettant de découvrir des erreurs grossières ou des anomalies dans l'alimentation.

Pour des bassins versants de moyenne importance, le coefficient d'écoulement du second ou du troisième mois d'hivernage, alors que le terrain est à peu près saturé, permet de se faire une idée des conditions d'écoulement au moment des crues exceptionnelles.

Enfin, pour les bassins versants de moyennes ou de faibles dimensions, il est très intéressant de faire des bilans ou des études analytiques de crues.

Pour chaque averse, on étudie simultanément la courbe des variations des précipitations, la courbe des variations des débits qui en résulte, les conditions générales de l'écoulement à cette époque, (surtout la saturation du sol) et on cherche un certain nombre de rapports entre ces deux courbes de façon à pouvoir reconstituer la courbe de crues correspondant à une averse donnée. Pour cette étude analytique, on pourra utiliser la méthode américaine des "unit-hydrograph". On devra, toutefois, appliquer cette méthode avec discernement car les hydrologues américains disposent de données pluviométriques beaucoup plus complètes que celles que l'on peut obtenir en A.O.F. et de courbes empiriques pour déterminer les divers coefficients à employer, courbes empiriques qui ne s'appliquent pas obligatoirement aux climats tropicaux.

Avant cette étude analytique, on procédera à une étude statistique des précipitations.

Enfin, en liaison avec cette étude, il y a lieu de rechercher des traces des plus fortes crues : destructions d'ouvrages ou de villages, par exemple; l'étude des documents anciens ou de traditions orales peut permettre parfois

de retrouver la valeur approchée des plus fortes crues qui se sont produites depuis 60 ou même 100 ans. Aucun renseignement n'est à négliger dans ce domaine.

Dans tout ce qui précède, on a montré comment il était possible de dégager toutes les caractéristiques d'un régime hydrologique bien observé et d'en déduire des règles applicables à des bassins versants voisins, quels sont les moyens de trouver les principales caractéristiques d'un régime observé depuis un an ou deux seulement.

On procédera comme suit :

- 1° - On examinera le bassin versant sur carte et sur le terrain (pentes, nature du sol, forme du réseau hydrographique, etc...). La nature de la couverture végétale peut souvent donner une première indication de la pluviométrie.
- 2° - On étudiera soigneusement tous les relevés pluviométriques. Si ces relevés sont trop peu nombreux chercher en interrogeant des personnes connaissant bien la région à se faire une idée qualitative de la répartition et de la violence des crues.
- 3° - Installer le plus tôt possible une échelle, la tarer à titre provisoire, étudier les débits compte tenu de l'hydraulicité générale dans la période d'observation (examen de la pluviométrie), on pourra obtenir directement un certain nombre de renseignements précieux sur : les étiages durée d'utilisation des radiers, pendant quelle période le lit de la rivière est à sec, pendant quelle période la nappe se maintient-elle dans le lit, si le débit est permanent, niveau minimum de l'eau.

Les crues : largeur du lit, granulométrie des alluvions délaissées de crues, périodes pendant lesquelles telle route a été coupée, période de navigabilité, etc... Sur les variations de l'hydraulicité : consulter les anciens des villages sur les limites maxima atteintes par le fleuve, dates auxquelles certains ouvrages ont été emportés, etc.

On s'attachera, d'après ces renseignements à classer le régime dans une catégorie déterminée. La pluviométrie annuelle et la connaissance du déficit d'écoulement correspondant au régime donné permet d'estimer le module annuel en liaison avec les premières observations hydrométriques. On pourra de même déterminer les débits moyens mensuels à condition de bien connaître la pluviométrie. On comparera les résultats trouvés aux caractéristiques du régime de référence, on cherchera à retrouver les causes des écarts par rapport à ce régime.

Une année d'observation, s'il s'agit d'une année voisine de la moyenne permet de se faire une idée des débits d'étiage moyens, c'est insuffisant pour retrouver la valeur des étiages extrêmes.

De même, une année d'observations peut, en général, suffire pour donner une idée des débits de crues moyens, compte tenu de l'hydraulicité de l'année considérée.

Les crues exceptionnelles devront être calculées à partir des relevés pluviométriques suivant les règles trouvées dans l'étude analytique des bassins versants de même régime, ou des premières études analytiques de crues sur le bassin versant considéré. Les quelques renseignements recueillis sur les anciennes crues fourniront des recoupements précieux. Quant aux variations interannuelles des débits, on ne peut s'en faire une idée que par les résultats trouvés sur des bassins versants bien connus de régimes hydrologiques identiques et situés dans une région voisine.

On constate l'intérêt d'études extrêmement poussées sur les bassins versants pour lesquels on possède une longue série d'observations pluviométriques et limnimétriques.

CIRCULAIRE GÉNÉRALE A DESTINATION DU SERVICE

HYDROLOGIQUE DE L'A. O. F.

1/ - ECHELLES LIGNIMÉTRIQUES -

A/ - Réalisation

Le but est de construire un ensemble solide et résistant, facile à poser sur le terrain, et préparé à l'avance à l'atelier.

Une reconnaissance permettra de distinguer le type d'échelle le mieux approprié, le nombre de tronçons, la longueur de chaque tronçon, et la façon de les fixer.

L'échelle proprement dite sera constituée le plus souvent possible des éléments suivants :

1) - un JPN ou fer, profilé en double T comportant des pattes de scellement ou apointé suivant le cas.

2) - Un madrier de bois sec, résistant à l'humidité, maintenu à l'intérieur du fer par une série de boulons encastrés (si possible tous les 50 ou 75 cm). Ce madrier sera avantageusement recouvert d'une couche de peinture protectrice (à base de carbonyl par exemple).

3) éléments d'échelle gradués et écaillés de 1 m, de longueur, vissés sur le madrier avec interposition de rondelles de plomb, si possible à trous par élément d'un m. Vis à bois de 40 m/m, au moins ou mieux tirefonds spécialement fabriqués.

Une précision de 2 mm pour les graduations est très suffisante. Un observateur instruit peut apprécier le mm.

Les chiffres doivent être de la plus grande taille possible et très visibles.

4) - Un certain nombre de tirants, si cela est nécessaire fixés sur le fer profilé, comportant des pattes de scellement aux extrémités.

B/ - CHOIX DE L'EMPLACEMENT

- Par priorité, choisir un endroit aisément accessible tenant compte des possibilités d'y recruter un observateur admissible.
- Il faut que l'échelle descende au dessous des plus basses eaux (environ 0m 50) et dépasse le niveau des plus hautes eaux prévues (environ 1 m).

- Il faut qu'on puisse lire le ou les tronçons d'un endroit accessible facilement (rives, ponts, ou épi rocheux)
- On choisira l'époque des plus basses eaux pour poser l'échelle.
- Ne pas hésiter à utiliser plusieurs tronçons. Ne pas exagérer la hauteur du premier tronçon de telle façon qu'en hautes eaux, les corps flottants passent nettement au dessus. Les tronçons de hautes eaux étant mieux protégés, puis- qu'ils ne se trouvent pas comme le premier en plein courant.
- Orienter son choix sur un endroit bien protégé de l'amont.
- Eviter de se placer dans un cul de sac ou au centre d'un tourbillon car quel- ques débris flottants (branchages, feuilles, etc.....) dissimulant le pied de l'échelle peuvent suffire à décourager un observateur peu zélé.
- L'échelle ne sera pas obligatoirement au droit de la station de jaugeage, mais il est préférable, lors des mesures de débit, que la proximité soit respectée.
- L'échelle doit intéresser le cours d'eau dans sa totalité, et non un secteur particulier quelconque (cas d'une échelle installée sur l'un des bras d'un cours d'eau)
- L'écoulement au droit de la station limnimétrique doit être ou fluvial ou tor- rentiel, de préférence fluvial, il est utile de s'assurer qu'il est impossible de passer de l'un à l'autre.
- Si possible s'assurer de l'existence d'un seuil régulateur ou naturel à l'aval présentant une excellente défense contre les remous (cas d'une fosse profonde ou d'un bief) mais il faut que ce seuil, barre rocheuse ou zone de rapides, réponde, aux conditions suivantes :

1) - invariabilité du fond permettant une constance de la cour-
be d'étalonnage

2) - débouché et pente suffisants pour que le remous d'exhaus-
sement en haute eau ne parvienne pas jusqu'à la station limnimétrique. L'exis-
tence de ce phénomène exige en effet l'installation d'une station de pente et
n'est toujours pas recommandable.

- La station limnimétrique devant toujours se trouver dans un secteur à écoule-
ment permanent :

1) - pour une rivière à forte pente moyenne : nous recommandons
un fond et des parois homogènes (par exemple rocher) dans le sens du profil en
long, une vitesse d'écoulement suffisante, pour assurer le transit des maté-
riels solides.

2) - pour une rivière à faible pente moyenne, par exemple avec
seuils et biefs successifs (cas des rivières coulant sur de vastes plateaux

gréseux) où le débit solide s'effectue pendant les crues et le creusement du fond à l'étiage, l'emplacement optimum se trouve à l'entrée de longues et profondes fosses :

ces biefs jouant le rôle de régulateur de débit et l'influence du creusement au niveau des rapides ne se transmettant pas jusqu'au lieu des mesures de hauteurs d'eau.

- La variation du rayon hydraulique, en fonction de la cote d'eau doit être autant que possible continue. Toute variation brusque se traduit théoriquement par un point anguleux sur la courbe d'étalonnage de la station ($Q = f(h)$).

Se méfier particulièrement de ce fait dans le cas des rivières coulant à l'étiage dans une faille rocheuse située elle-même dans le lit de la rivière. De ce fait toute extrapolation de la courbe $Q = f(h)$ pour des débits de très hautes eaux par exemple, peut engendrer des erreurs importantes.

Dans le cas le plus courant l'extrapolation par la tangente, donne des résultats par défaut. Dans le cas d'un canon ou d'un surplomb les résultats sont par excès.

Dans toute extrapolation, toujours avoir présent à l'esprit qu'il ne s'agit pas d'un problème de géomètre, mais de l'interprétation d'un phénomène naturel à multiples paramètres.

Toutes les conditions précédentes, étant respectées, on s'assure ainsi une variation continue de deux facteurs i (pente sup.) et R_h (rayon hydraulique) d'où une variation continue de Q

$$Q = S_c V R_h i :$$

en effet la variation S est liée à celle de R_h

- D'une manière tout à fait générale, s'assurer rapidement de l'horizontalité transversale du plan d'eau. Pour cela éviter toujours de disposer une échelle dans une courbe. Le problème de la mesure des hauteurs d'eau est suffisamment complexe, sans y faire intervenir encore la force centrifuge, la sédimentation sur une rive et l'affouillement sur l'autre.

- Caler les différents tronçons de l'échelle au moyen d'un nivellement rapide

- Rattacher toujours l'échelle après sa pose à un repère fixe et invariable dans le temps

C - INSTALLATION DE L'ECHELLE -

Une fois l'emplacement repéré, il s'agit d'installer l'échelle, plusieurs cas peuvent se présenter.

I) - Rivière coulant dans une faille rocheuse dont les parois sont pratiquement verticales.

- Il sera commode de fixer le long de l'apic le fer profilé préparé à l'avance au moyen de pattes boulonnées sur les faces latérales du fer et scellées dans le rocher.

...../.....

- s'assurer que les parties basses de l'échelle seront parfaitement visibles.
- si l'on se trouve à proximité de chûtes, penser à la vapeur d'eau et au brouillard pendant la période des hautes eaux.

2) - Rivières coulant dans un lit entièrement rocheux

Il n'est pas alors toujours aisé de trouver un rocher présentant un à pic convenable pour fixer le fer et dont la partie inférieure soit toujours immergée d'une profondeur d'au moins 50 cm (niveau auquel il faut amener la partie inférieure des graduations).

Parfois une petite dérochage à la barre à mine suffit.

Dans le cas contraire, le problème qui se pose est de fixer l'échelle par son pied, et ce, dans l'eau.

Voici dans ce cas un procédé commode :

Choisir si possible une table rocheuse horizontale (grès) perforer l'encastrement pour les pattes de scellement sur le rocher au bout du fer profilé à la barre à mine en travaillant dans l'eau.

Placer au dessus une buse en béton de 60 ou 80 cm de diamètre

Etancher la partie de la buse reposant sur le rocher (chiffons, papier d'emballage de ciment, argile, etc...)

Epuiser l'eau à l'intérieur de la buse.

Dès lors l'opération de scellement de l'échelle introduite à l'intérieur peut se faire au sec. On termine par le remplissage de la buse au moyen d'un béton grossier.

On prévoit à l'atelier un élément d'un mètre d'échelle fixé à l'extérieur de la buse, soit par colliers métalliques, soit, par scellements.

Des tirants fixés à l'extrémité supérieure du fer profilé et scellés sur des rochers émergés terminent l'installation.

3) - Rivières dont les berges sont constituées de sable, terre, vase.

Dans ce cas choisir un fer profilé très lourd dont l'extrémité sera appointie au chalumeau.

Enfoncer le fer dans l'eau près de la rive en choisissant un endroit toujours immergé, soit au moyen d'une masse, soit au moyen de cordages disposés en manège : des tractions répétées et simultanées en tournant suffisant à enfoncer le fer.

...../.....

Les tirants supérieurs, seront fixés sur des pieux battus sur la berge ou scellés dans de petits massifs de maçonnerie.

Ce type d'échelle se présentera fréquemment à proximité d'un bac.

Prendre garde que l'échelle après son installation ne puisse servir en aucune façon à l'amarrage du bac.

D - ENTRETIEN DES ECHELLES ET CHOIX DE L'OBSERVATEUR -

- Eviter de placer ou remplacer toute échelle en bois peinte. Les graduations s'effacent très rapidement et les lectures sont ou faussées ou interrompues.
 - Veiller à la bonne conservation du bois et au bon état des scellements.
 - S'assurer que l'échelle émaillée se trouve toujours bien plaquée sur le madrier de bois, car dans le cas contraire, le courant peut suffire à l'arracher définitivement.
 - Pour les échelles plantées ou montées sur pieux battus, s'assurer de temps en temps par un rapide coup de niveau qu'il n'y a pas eu enfoncement.
 - Il va sans dire que l'on choisira comme observateur le plus instruit et le plus sérieux des habitants du village le plus proche. (instituteur, commerçant ou ancien tirailleur)
 - Prévoir et agiter la question du remplacement de l'observateur en cas d'absence.
 - Faire toujours les visites sans prévenir et se rendre à l'échelle avant de consulter le carnet de l'observateur.
- A défaut d'habitant suffisamment qualifié, ne pas hésiter à déplacer un agent des T.P. par exemple, et à l'installer à proximité de l'échelle.
- Exiger une régularité absolue dans l'envoi des relevés.
 - Lui faire parvenir sa rémunération très régulièrement.
 - Fournir tout le matériel nécessaire, papier, crayons, carnets, gomme et un mètre, en quantité raisonnable pour éviter tout éventuel petit commerce.
 - Le mètre peut servir, en cas de rupture d'échelle ou de dépassement à assurer les observations par un moyen de fortune.

II/ - STATIONS DE JAUGEAGES -

Choix de l'emplacement

- Le plus près possible de l'échelle
- Facilement accessible

Il peut être également intéressant d'utiliser la méthode chimique de jaugeage qui donne de bons résultats jusqu'à 15 m³/s environ un matériel de mesure restreint.

L'avantage de cette méthode est qu'elle s'applique précisément très bien dans les cas où le jaugeage au moulinet est pratiquement impossible.

D'une façon ou d'une autre, il est nécessaire à chaque mesure de débit de repérer la section de jaugeage et d'observer l'échelle limnimétrique au début et à la fin des opérations.

Si l'on note pour chaque jaugeage fait en un point déterminé d'un cours d'eau, la hauteur du niveau d'eau correspondant à l'échelle on obtient en reportant sur un graphique les hauteurs limnimétriques en abscisses et les débits en ordonnées, une série de points caractérisant chacun des jaugeages.

Et en reliant ces points ou plutôt en suivant par la méthode des moindres carrés un tracé qui passe entre eux de façon à se conformer le mieux à la moyenne de leurs indications on obtient une courbe d'allure parabolique tournant sa concavité vers l'axe des abscisses et qui est la courbe de tarage ou encore courbe de débits de la station envisagée.

Cette courbe est la base de toute étude d'une station hydraulique. Elle permet de transformer les observations limnimétriques en débits.

Cela suppose naturellement que le lit du cours d'eau reste stable. C'est ce qu'il faut s'efforcer de déterminer. Dans le cas contraire, il faudra faire subir aux observations limnimétriques une correction en rapport avec l'élévation ou la surélévation constatée. Ceci mène alors à la détermination de la courbe d'étalonnage de la station.

Nous donnons dans la prochaine circulaire des indications sur la pratique du jaugeage au moulinet, sur la façon de rédiger les comptes rendus de jaugeage et sur la manière d'exploiter la courbe d'étalonnage de la station en vue de l'étude hydrologique proprement dite, du régime de la rivière.