

CENTRE DE FORMATION DE TECHNICIENS HYDROLOGUES

- N I A M E Y -

COURS D'HYDROLOGIE

par S. PIEYNS

Hydrologue de l'O R S T O M  
Chargé de cours à l'Université de Paris VI

Avril 1978

## S O M M A I R E

	Pages
<u>Première partie</u>	
1. - <u>L'hydrologie, ses objectifs, ses méthodes et ses moyens</u>	2
1.1. Les objectifs de l'hydrologie	2
1.2. Méthodes et moyens	2
2. - <u>Les réseaux hydrologiques</u>	2
2.1. Acquisition des données	2
2.2. Théorie du développement des réseaux	2
3. - <u>Organisation d'un service hydrologique</u>	8
3.1. Le bureau central	8
3.2. Le secteur hydrométrique	8
3.3. Règles de gestion d'un secteur hydrométrique	9
3.4. Les activités de terrain	9
3.5. Les activités de bureau	10
3.6. L'annuaire hydrologique	11
4. - <u>Bassins et terrains d'investigation</u>	12
4.1. Objectifs	12
4.2. Principales consignes d'exploitation des bassins	13
4.3. Le rassemblement des données d'observation sur le terrain	15
4.4. Elaboration des données d'observation rassemblées	15
4.5. Le classement des données brutes et des documents élaborés	16
<u>Deuxième partie</u>	
1. - <u>L'hydrologie analytique</u>	18
1.1. Séparation des écoulements	18
1.2. Définitions	19
2. - <u>L'hydrogramme unitaire</u>	21
2.1. Hypothèses de base	21
2.2. Limites d'application	23
2.3. Application de l'hydrogramme unitaire	23

Troisième partie

Pages

1. - <u>Les régimes hydrologiques de la zone intertropicale</u>	24
1.1. Généralités	24
1.2. Classification des régimes hydrologiques	27
1.3. Le régime tropical pur et tropical de transition	28
 Annexes : Exercice d'application de l'hydrogramme unitaire.	 35

Ce polycopié résume les cours donnés à l'AGRHZLET à Niamey, République du Niger, du 12 au 20 Avril 1978.

Après avoir présenté l'hydrologie, ses objectifs, ses méthodes et moyens on a mis l'accent sur l'acquisition des données de terrain grâce d'une part aux réseaux hydrologiques et aux bassins versants d'investigation. Une méthodologie de classement des données a été proposée.

Dans une seconde partie on a voulu montrer ce que l'on pouvait retirer des observations de terrain, particulièrement sur les relations entre l'averse et la crue, par le biais de l'hydrologie analytique en utilisant l'hydrogramme unitaire.

La troisième et dernière partie est consacrée aux régimes hydrologiques de la zone intertropicale en insistant tout d'abord sur les régimes pluviométriques et en traitant ensuite le régime tropical pur et tropical de transition, les autres types de régime devront faire l'objet de cours dispensés par les hydrologues présents à Niamey.

## PREMIERE PARTIE

### I. - L'HYDROLOGIE, SES OBJECTIFS, SES METHODES ET SES MOYENS

L'hydrologie au sens large traite des eaux terrestres ou continentales et comporte deux branches :

- L'hydrologie de surface ou des eaux superficielles
- L'hydrogéologie ou hydrologie des eaux souterraines.

#### 1.1. Les objectifs de l'hydrologie

On peut définir à l'hydrologie deux objectifs complémentaires, un objectif scientifique et un objectif pratique.

L'objectif scientifique correspond à la recherche de la connaissance qualitative et quantitative du cycle de l'eau sur la terre, de ses diverses phases et de leur interaction, c'est l'hydrologie scientifique.

L'objectif pratique est de répondre de manière aussi précise que possible aux aménagistes, c'est l'hydrologie appliquée.

Bien que les premiers vestiges d'échelles limnimétriques datent du 7<sup>ème</sup> siècle avant J.C., en Egypte, ce n'est qu'au 1<sup>er</sup> siècle qu'apparaît la notion de cycle de l'eau et il faut attendre le 19<sup>ème</sup> siècle pour assister au développement des stations d'observation et de mesure.

Ce double objectif de l'hydrologie a naturellement entraîné deux courants de pensée, parfois antagonistes, le premier naturaliste et descriptif, le second utilisant tout l'arsenal des moyens mathématiques modernes.

Mais on peut dire que l'hydrologie a bien une nature unique puisqu'elle étudie des phénomènes occasionnels (une crue par exemple) et aléatoires c'est à dire dont l'apparition est liée au hasard. De ce fait il faut tout d'abord effectuer des mesures et des observations sur le terrain, avec tout le soin nécessaire, avant d'utiliser les ressources de la statistique et des probabilités.

#### 1.2. Méthodes et moyens

L'hydrologie, comme toute science, utilise d'une part des outils extérieurs, d'autre part des méthodes et des moyens qui lui sont propres.

##### • Outils extérieurs

Ces outils extérieurs sont ceux qui permettent à l'hydrologue de connaître le milieu dans lequel se produit le cycle de l'eau.

L'air : météorologie dynamique - climatologie

La surface du sol : géographie physique - géomorphologie - botanique

Le sol et le sous-sol : pédologie - géologie

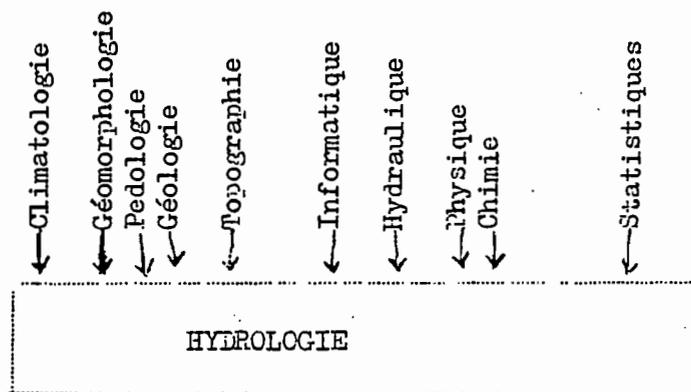
En outre l'hydrologue doit avoir de bonnes connaissances en hydraulique, savoir utiliser les statistiques et ne pas ignorer certaines techniques telles que topographie et cartographie.

- Méthodologie spécifique à l'hydrologie

Science avant tout expérimentale, l'hydrologie a besoin de mesures et d'observations. Ces mesures et ces observations ne doivent pas être anarchiques mais au contraire soigneusement planifiées dans le temps et dans l'espace. Il faudra donc choisir d'une part des sites de mesure et, d'autre part, établir des procédures de mesure.

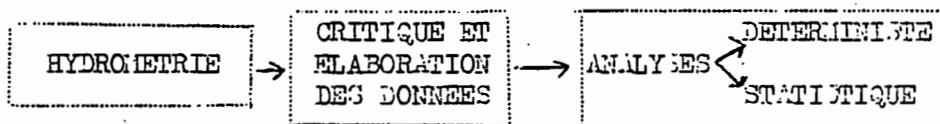
- Les moyens spécifiques de l'hydrologie sont les réseaux hydrologiques.

OUTILS EXTERNES

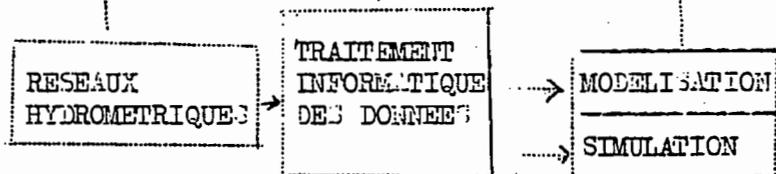


METHODS ET MOYENS PROPRES A L'HYDROLOGIE

METHODES



MOYENS



## 2. - LES RESEAUX HYDROLOGIQUES

Ils permettent d'acquérir les données nécessaires à la connaissance du cycle de l'eau, précipitations, débits, évapotranspiration, niveau des réservoirs, humidité du sol, profondeur de la nappe, qualité des eaux.

### 2.1. Acquisition des données

L'acquisition d'une donnée comporte toujours 4 phases.

Captage : c'est la mesure de la grandeur physique que l'on étudie (lecture d'une hauteur d'eau sur une échelle limnimétrique, mesure de l'eau recueillie dans un pluviomètre). Le captage se fait à travers un capteur qui est l'appareil de mesure.

Codage : présente la grandeur captée sous une forme utilisable par la suite. L'observateur note la valeur de la cote à l'échelle ou la valeur lue sur l'éprouvette sur une feuille de relevée. Pour un limnigraphe, par exemple, capteur et codeur sont associés.

Transmission : pour faire parvenir au centre de réception les données captées et codées. Ce peut être une transmission par courrier ou par radio, ou par téléphone ou encore par satellite.

Réception : qui peut être soit un simple classement, pour les relevés de hauteurs d'eau par exemple, soit un décodage pour un limnigramme ou un pluviogramme.

Selon le type de mesure que l'on effectue, l'appareil chargé du captage peut être fixe (pluviomètre) ou mobile (sonde pour mesurer la profondeur de la nappe). Les mesures peuvent être permanentes ou périodiques (enregistrement de la variation du niveau de la rivière par un limnigraphe ou observation faite par un lecteur d'échelle une ou plusieurs fois par jour).

L'acquisition de données peut être vue sous deux angles différents :

- Politique systématique d'acquisition, les stations étant alors groupées selon la nature de la grandeur mesurée en réseaux hydrologiques on parlera alors de :
  - réseau pluviométrique (mesure de la pluie),
  - réseau limnimétrique (mesure des hauteurs d'eau),
  - réseau hydrométrique (mesure des débits),
- Recherche ou expérimentation sur le cycle de l'eau, on groupera sur un espace réduit, le bassin de recherche ou d'investigation, un nombre important de stations de mesure de natures différentes.

## 2.2. Théorie de développement des réseaux

Lorsque l'on installe une station de mesure le but recherché est double. D'une part acquérir sur le site de la station des renseignements sur la grandeur que l'on y mesure, par exemple les débits s'il s'agit d'une station hydrométrique, d'autre part partir des mesures de débit à cette station, connaître avec une certaine précision les débits en un point plus ou moins éloigné. Comme il ne peut être question d'installer des stations permanentes à chaque fois que l'on a besoin d'un renseignement, il a donc fallu réfléchir et mettre sur pied une théorie du développement des réseaux, de façon à limiter le nombre des stations tout en s'assurant que le nombre était suffisant pour fournir, en chaque point, une valeur suffisamment sûre de la grandeur mesurée.

Le réseau hydrométrique comportera donc deux types de stations

- Des stations tertiaires qui sont celles qui ont été installées en premier pour répondre à des besoins locaux précis (adduction d'eau, retenue collinaire, etc...) Ces stations à la fin de l'étude pour laquelle elles ont été installées peuvent soit être supprimées, soit intégrées dans le réseau de base.

- Des stations de base qui sont permanentes, et contrôlent des bassins de taille très variable.

Evolution d'un réseau de base

- La première étape est d'obtenir un réseau hydrométrique minimal, sans lacunes importantes dans le pays ou la région concernée. On obtient ce réseau minimal par le biais d'une planification.
- La seconde étape est la mise en place du réseau hydrométrique optimal de façon à obtenir des informations de meilleure qualité. Grâce au réseau optimal on pourra, soit par le calcul direct, soit par l'estimation, soit encore par l'extension statistique déterminer une caractéristique quelconque du débit, non seulement à toute station du réseau mais encore à l'intérieur des mailles de ce réseau et aux stations tertiaires exploités pendant seulement quelques années.

Pour passer du réseau minimal au réseau optimal il faudra rationaliser.

La planification

Elle s'exécute en deux phases.

- Détermination des zones hydrologiques homogènes
  - Prise en compte des objectifs d'aménagement des ressources en eau
- Pour la première phase, on détermine des zones homogènes au plan physico-climatique en partant de l'hypothèse qu'à une telle zone correspond une zone hydrologique homogène.

Les différents facteurs retenus sont le climat, les caractéristiques du sol et du sous-sol, le relief et la végétation.

On établira donc pour chacun de ces facteurs une carte donnant les zones d'égale valeur, la superposition de toutes ces cartes permettent de définir les zones homogènes au plan physico-climatique et partant hydrologique.

Pour la seconde phase il faudra tenir compte de 3 critères prépondérants :

La précision : choix du site dans une zone stable non influencée par des ouvrages hydrauliques.

L'intérêt : il faudra rechercher les zones où les ressources sont faibles et où la demande est ou deviendra forte.

La hiérarchisation : la plupart des caractéristiques hydrologiques étant proportionnelles au logarithme de la surface du bassin on essayera de contrôler toute la gamme des superficies définies par amplitude logarithmique constante (50-100 km<sup>2</sup>, 100-250 km<sup>2</sup>, 250-500 km<sup>2</sup>)

#### La rationalisation

C'est une opération difficile qui échappe souvent à l'hydrologue car elle implique des choix socio-économiques (coût de gestion) et techniques pour lesquels il n'existe pas encore de règles précises.

La question que l'on peut maintenant se poser c'est quand doit on planifier ou rationaliser ?

En se basant sur des études effectuées par P. DUBREUIL, Inspecteur Général de Recherche à l'ORSTOM, on peut proposer la méthodologie suivante :

Supposons qu'un minimum de 10 ans d'observation soit nécessaire à deux stations pour obtenir une bonne corrélation entre elles, c'est à dire pour pouvoir estimer une caractéristique hydrologique, par exemple le débit moyen annuel à l'une des stations pour une année donnée connaissant simplement le débit moyen de l'année considérée à l'autre station. On appellera D la densité de toutes les stations hydrométriques en fonctionnement à un moment donné et D' la densité des stations ayant au moins 10 ans d'observation. La densité sera exprimée, par exemple, en nombre de stations pour 1000 km<sup>2</sup>. Il faut bien voir, qu'au moment où l'on va créer le réseau D comprend un certain nombre de stations tertiaires dont certaines seront effectivement intégrées dans le réseau de base mais dont 50 % environ seront finalement considérées comme inaptes à être conservées. On prendra donc comme seuils de choix les valeurs 2 Dm et Dm ainsi que les densités observées D et D' pour juger de l'opportunité de passer du réseau minimal au réseau optimal.

Le tableau I présente les valeurs minimales de densité pour le réseau pluviométrique et le réseau hydrométrique, valeurs recommandées par l'OMM.

Pour le réseau hydrométrique, en transformant ces valeurs en densité de station pour 1000 km<sup>2</sup>, on obtient les valeurs suivantes pour Dm en fonction du type de station.

	Dm	Dm (conditions très difficiles)
Type I	1,0 - 0,4	0,3 - 0,1
Type II	3,3 - 1,0	1,0 - 0,2
Petites îles très montagneuses	7,1 3,3	
Type III	0,2 - 0,05	

(Le second groupe de valeurs de Dm correspond aux valeurs admissibles pour des conditions très difficiles).

Le tableau II indique à quel moment, les étapes de la planification et de la rationalisation doivent être franchies, en fonction de la position de D et D' par rapport à Dm et 2 Dm.

En utilisant ces tableaux on voit par exemple que pour une région non montagneuse en climat tropical la planification deviendra urgente lorsque le nombre de stations installées pour 1000 km<sup>2</sup> dépassera 1 et qu'il faudra prévoir la rationalisation dès que l'on aura plus de 2 stations pour 1000 km<sup>2</sup>. A partir du moment où l'on aura plus d'une station possédant au moins dix années d'observation pour 1000 km<sup>2</sup> il faudra de toute façon rationaliser.

TABLEAU - I

Densité minimale du réseau pluviométrique

Type de région	Gamme de densités (Nbre de km <sup>2</sup> par station) pour conditions normales	Gamme de densités (Nbre de km <sup>2</sup> par station) pour conditions très difficiles
I- Régions non montagneuses de climats tempéré, méditerranéen et tropical	600-900	900-3,000 <sup>4</sup>
II - Régions montagneuses des climats tempéré, méditerranéen et tropical. Petites îles très montagneuses.	100-250  25	250-1,000 <sup>4</sup>
III - Régions arides et polaires	1,500-10,000 <sup>3</sup>	

1. Le dernier chiffre de la gamme est admissible quand les conditions sont exceptionnellement difficiles
2. Grands déserts exclus
3. Gamme dépendant des possibilités
4. Sous de très dures conditions, le chiffre supérieur peut être doublé.

Densité minimale du réseau hydrométrique

Type de région	Gamme de densités (Nbre de km <sup>2</sup> par station) pour conditions normales	Gamme de densités (Nbre de km <sup>2</sup> par station) pour conditions très difficiles
I - régions non montagneuses de climats tempéré, méditerranéen et tropical	Dm 1,000 - 2,500 1,0- 0,4	0,333 0,10 3,000 - 10,000
II - Régions montagneuses des climats tempéré, méditerranéen et tropical. Petites îles très montagneuses.	300 - 1,000 3,33-1,0 140 - 300 7,14-3,33	1,0 0,2 1,000 - 5,000 <sup>4</sup>
III - Régions arides et polaires	5,000 - 20,000 <sup>3</sup>	0,2-0,05

1. Le dernier chiffre de la gamme est admissible quand les conditions sont exceptionnellement difficiles
2. Grands déserts exclus
3. Gamme dépendant des possibilités
4. Sous de très dures conditions, le chiffre supérieur peut être doublé.

TABLEAU II

CRITERES de DEVELOPPEMENT du RESEAU HYDROMETRIQUE

(selon la position de la densité des stations par rapport à celle  
du réseau minimal  $D_m$ )

Densité D de toutes les stations	$D < D_m$	$D_m < D < 2 D_m$	$D > 2 D_m$
Densité D' des stations de plus de 10 ans			
$D' < D_m$	<u>Prévoir la planification</u> du réseau minimal - Rationalisation impossible	<u>Planification urgente</u> du réseau minimal - Rationalisation impossible	Planification peu utile - Prévoir la rationalisation
$D' > D_m$		Planification inutile - <u>Rationalisation</u> à faire	Planification inutile - <u>Rationalisation</u> urgente

### 3. - ORGANISATION D'UN SERVICE HYDROLOGIQUE

Le réseau hydrométrique est généralement géré par un service hydrométrique ou hydrologique indépendant ou associé au service météorologique. Ce service est souvent rattaché à un Ministère Technique (des eaux, de l'agriculture, des TP, etc..) ou à plusieurs. La structure interne dépend bien évidemment de l'importance géographique du pays, de la nature de son réseau hydrographique (fleuves principaux (Mali), fleuves côtiers (Côte d'Ivoire)) et du degré de régionalisation.

Normalement un tel service comprend :

- Un bureau central ;
- 1 ou des centres de calcul ;
- plusieurs secteurs hydrométriques.

Selon les pays on peut avoir une structure plus ou moins centralisée et parfois des services autonomes pour de grands bassins hydrographiques. Si les différents secteurs sont groupés entre eux cela revient à leur superposer une unité centrale de direction qui aura les tâches principales suivantes :

- Mise au point des méthodes de travail ;
- Gestion des fichiers ;
- Essais et commande du matériel ;
- Elaboration et traitement des données.

#### 3.1. Le Bureau Central

Le bureau central comportera donc :

- un bureau des méthodes
- un bureau du matériel : chargé de l'investissement et de la maintenance. Pour son responsable une règle d'or, faire en sorte que le matériel utilisé soit le plus souvent possible du même type pour réduire les dépenses et les délais de livraison (commande par lots importants) et stock de pièces de rechange (5 à 10 % du volume en service).
- un bureau de calcul qui a des tâches de routine ou spéciales.

#### 3.2. Le secteur hydrométrique

C'est l'unité de base du système d'acquisition des données et sa compétence est géographique. A l'intérieur de ce secteur on trouvera, un chef de secteur, un bureau administratif, un bureau technique ou de calcul, une ou plusieurs brigades de terrain.

On peut évidemment concevoir un système beaucoup plus simple où le secteur hydrométrique tient lieu de bureau central et les brigades de terrain ont une compétence géographique. Dans certains pays, Afrique du Nord par exemple, chaque station hydrométrique est sous le contrôle d'un observateur présent en permanence et qui, outre le contrôle et l'entretien de la station, assure les jaugeages et les prélèvements de routine. En cas d'évènement exceptionnel, crue ou étiage, il peut recevoir l'aide de la brigade.

### 3.3. Règles de gestion d'un secteur hydrométrique

- Il doit assurer le bon fonctionnement du dispositif d'observation.
- Il doit réaliser les mesures de débit prévues dans le programme d'étalonnage.
- Consigner les informations par écrit.

Dans le secteur c'est la brigade qui est l'élément dynamique

### 3.4. - Les activités de terrain

#### 3.4.1. Règles générales de gestion

Le secteur hydrométrique bien organisé doit avoir un programme de travail précis et détaillé pour les 6 mois à venir. Ce programme dit de routine doit être suffisamment souple pour pouvoir être modifié dans les cas d'événements imprévus, car la crue qui passe a peu de chance de se reproduire au même endroit. Ce programme doit permettre à chaque brigade d'effectuer le maximum de mesure et de contrôles dans le minimum de temps, cela en faisant le moins de déplacements possibles pour des raisons économiques et sociales. Il faudra donc tenir compte, lors de l'élaboration du plan de gestion, des caractéristiques des cours d'eau de l'évolution des débits et de la qualité des observations.

Les moyens d'accès aux stations sont un élément clé. On doit d'ailleurs en tenir compte dans l'implantation des stations, ils conditionnent en effet l'implantation des secteurs, leur type d'équipement en matériel roulant.

#### 3.4.2. Règles de fonctionnement du dispositif d'observation

Si l'on met l'accent sur les stations équipées de limnigraphes

- Nombre limité de plans types d'installation
- Adoption si possible d'un type unique de limnigraphe
- Visite périodique de maintenance, nettoyage des abords de la station, végétation, corps flottants
- Visite de contrôle de la stabilité des stations.

#### 3.4.3. Règles de bonne exécution du programme d'étalonnage

Station stable et univoque (définition)

Pour une telle station le programme optimal est simple. Il faut explorer la totalité du marnage de manière à obtenir des couples hauteur-débit régulièrement répartis dans le champ des hauteurs pour permettre un tracé précis de la courbe d'étalonnage.

- En principe pour avoir un bon étalonnage sur une station stable et univoque il faut qu'il y ait au moins 20 jaugeages.
- que ces jaugeages soient bien répartis le long du marnage sans qu'il y ait des vides supérieurs à 20 % de celui-ci.

- Ne pas laisser la partie haute du marnage sans mesures. Le débit correspondant à la plus forte cote observée ne doit pas excéder 50 % du débit maximal jaugé.

Enfin, il faut systématiquement contrôler la stabilité de la station ceci tous les ans, surtout en très basses eaux.

#### Station non-univoque

Sur une telle station il faut au minimum 1 jaugeage par courbe partielle. La solution la meilleure serait de maintenir une brigade sur la station pendant toute la saison des crues. Mais généralement on n'a pas les moyens aussi l'objectif minimal est-il le suivant :

- Effectuer une campagne de mesure de hautes eaux une année afin de bien connaître les conditions d'écoulement de crue, faire des profils en travers et mesures de pente de la ligne d'eau ;

- Effectuer un ou 2 jaugeages précis en basses eaux après chaque grande crue, avec mesure du profil en travers. Dans le cas d'écoulement intermittent, la cote d'arrêt de l'écoulement est très importante.

### 3.5. Les activités de bureau

On peut prévoir différents schémas en fonction de l'importance du réseau et des moyens de traitement disponibles. La première partie de la chaîne de gestion est de toute façon identique, en effet ce n'est qu'au moment où l'on a rassemblé les informations hauteurs d'eau et jaugeages que l'on a procédé à une première critique que l'on peut soit diriger l'information après transcodage vers le centre de calcul, soit effectuer les calculs sur place à l'aide de calculatrices simples.

Un exemple peut être pris au Service Hydrologique de l'ORSTOM où l'on a mis au point toute une chaîne de classement et de traitement des données. Le tableau III montre bien l'organisation de la chaîne de gestion d'un réseau hydrométrique.

#### Fichier des stations

Pour chaque station d'observation on a une fiche signalétique de format 125 x 200. On trouvera à la figure 1, une photocopie de recto et du verso d'une telle fiche.

Au recto, outre tous les renseignements concernant la localisation de la station et la surface du bassin versant qu'elle contrôle, on indique pour chaque jaugeage son numéro d'ordre, sa date, la hauteur à l'échelle de référence et le débit mesuré, une colonne d'observation permet par exemple de porter le nom de celui qui a réalisé la mesure.



Au verso, on indique les relevés d'échelle existants pour chaque année et mois par mois avec, par exemple, une croix si les relevés sont complets, un trait oblique pour les relevés incomplets. On peut en plus y porter toutes indications utiles sur l'historique de la station.

Ces fiches sont généralement classées par ordre alphabétique et :

1. par états (s'il s'agit d'une fédération)
2. par bassin
3. par rivière
4. par station

#### Dossiers hydrologiques

Pour chaque station cinq sous-dossiers :

1. Historique
2. Lecture d'échelles avec des intercalaires pour chaque année (figure 2)
3. Jaugeages (exemples d'une fiche de jaugeage figure 3)
4. Courbes de tarage
5. Débit avec les barèmes de traduction hauteur-débit (fig. 4) et les feuilles de débits (figure 5)

#### Fichier des données de base

A partir des résultats archivés précédemment on élabore un certain nombre de données de base. Ces données sont reportées sur des fiches de données de base (figure 6 et 7) et sur des feuilles de calcul des moyennes interannuelles (figure 8). Il s'agit là d'un exemple mais on peut concevoir d'autres documents de base, fiche de classement des crues par éventualité, graphique des déficits et des lames d'eau, graphique des modules successifs, etc...

#### REGLE GENERALE

Tout document doit être classé et daté dès sa réception.

### 3.6. L'annuaire hydrologique

On peut concevoir cet annuaire sous deux formes qui sont complémentaires.

- On réunit tous les éléments bruts d'information sur l'ensemble des stations du réseau.

Cette première forme présente deux avantages. Le premier est de fixer définitivement les données brutes sous une forme très accessible, le second avantage étant de pouvoir être publiée rapidement sous une forme simple donc peu coûteuse.

- On publie une sélection des stations les plus importantes avec les débits journaliers et les éléments du bilan annuel.

Tableau - III

## DESCRIPTION DE LA CHAINE DE GESTION D'UN RESEAU HYDROMETRIQUE

Opération de gestion	Réalisation pratique	Lieu d'exécution	Exécutant	Equipement	Forme de l'information	Lieu de classement de l'information	Organe de contrôle
1 Captage, codage de l'information Hauteur H	Observations des hauteurs d'eau fonction du temps (Ht)	Station hydrométrique	Observateur Brigade hydrométrique	Limnigraphe	Limnigramme Bande / ruban	Bureau technique secteur Id	Brigade hydrométrique
2 Captage de l'information Etalonnage E	Mesures de débits	Id	Brigade hydrométrique	de jaugeages	Carnet de jaugeages	Id	
3 Codage de l'information Etalonnage E	Dépouillements des jaugeages Tracé courbes de tarage	Bureau	Brigade hydrométrique Bureau tech. secteur (B.T.S)	de bureau	Liste de jaugeages Courbe de tarage	Id	Chef secteur
4 Critique et contrôle des informations H et E	Corrections erreurs, lacunes... etc...	Bureau	Brigade hydrométrique Bureau tech. secteur (B.T.S)	Id	-	-	Chef secteur
5 Transcodage de l'information H	1 Dépouillement limnigrammes	Bureau Centre de calcul	Brig. hydr. B.T.S. Atelier d'analyseur	Analyseur de courbe	Chroniques de coordonnées (XY)	Id Centre de calcul	Chef secteur Chef centre calcul
	2 Mise chroniques (Ht) sur support compatible (c)	Id	Atelier trait. routine	Transcodeur Programmes LIMNE sur ordinateur	Chroniques (Ht) ●	Id Secteur hydrométrique ●	Id
6 Transcodage de l'information E	Mise en équation des courbes de tarage, sur cc.	Id	Id	Programmes TARAG sur ordinateur	Caractéristiques des fonctions de tarage ●	Centre de calcul Secteur hydrométrique ●	Chef centre calcul / chef secteur
7 Traitement de l'information H	1 Transformation hauteur H - débit Q	Id	Id	Programmes TRAD sur ordinateur	Chroniques (Qt)	Centre de calcul Secteur hydrométrique ●	Id Id
	2 Elaboration données de base "Hauteurs"	Id	Id	Programmes HAUT sur ordinateur	Données de base "Hauteurs" ●	Centre de calcul Secteur hydrométrique ●	Id Id
8 Traitement de l'information Débit Q	1 Elaboration données de base "Débits"	Id	Id	Programmes DEBIT et ANNUA sur ordinateur	Données de base "Débits" ● Annuaire	Centre de calcul Secteur hydrométrique ●	Id Id
	2 Publication Annuaire	Id	Id				
9 Traitements scientifiques sur Débits / Hauteurs	Etudes spéciales d'interprétation et données pour aménagements.	Id	Atelier trait. spécialisé	Programmes spéciaux sur ordinateur	Rapports imprimés		Id Id

● Toutes ces informations sont sur support compatible et sur tableaux d'imprimé, au moins ceux-ci sont classés au Secteur hydrométrique.

OFFICE DE LA RECHERCHE  
SCIENTIFIQUE ET TECHNIQUE OUTRE-MER

SECTION : HYDROLOGIE



Rivière :

Station :

Observateur :

Relevé du mois de

JOURS	HAUTEUR à Hs.	HAUTEUR à Hs.	HAUTEUR à Hs.	OBSERVATIONS	JOURS	HAUTEUR à Hs.	HAUTEUR à Hs.	HAUTEUR à Hs.	OBSERVATIONS
1					16				
2					17				
3					18				
4					19				
5					20				
6					21				
7					22				
8					23				
9					24				
10					25				
11					26				
12					27				
13					28				
14					29				
15					30				
					31				



Flow No.

Station

STATION

Date

0.50		1.00		1.50		2.00		2.50		3.00		3.50		4.00		4.50					
H	O	H	O	H	O	H	O	H	O	H	O	H	O	H	O	H	O				
1		1		1		1		1		1		1		1		1					
2		2		2		2		2		2		2		2		2					
3		3		3		3		3		3		3		3		3					
4		4		4		4		4		4		4		4		4					
5		5		5		5		5		5		5		5		5					
6		6		6		6		6		6		6		6		6					
7		7		7		7		7		7		7		7		7					
8		8		8		8		8		8		8		8		8					
9		9		9		9		9		9		9		9		9					
0.40		0.10		0.60		1.10		1.60		2.10		2.60		3.10		3.60		4.10		4.60	
1		1		1		1		1		1		1		1		1		1		1	
2		2		2		2		2		2		2		2		2		2		2	
3		3		3		3		3		3		3		3		3		3		3	
4		4		4		4		4		4		4		4		4		4		4	
5		5		5		5		5		5		5		5		5		5		5	
6		6		6		6		6		6		6		6		6		6		6	
7		7		7		7		7		7		7		7		7		7		7	
8		8		8		8		8		8		8		8		8		8		8	
9		9		9		9		9		9		9		9		9		9		9	
0.30		0.20		0.70		1.20		1.70		2.20		2.70		3.20		3.70		4.20		4.70	
1		1		1		1		1		1		1		1		1		1		1	
2		2		2		2		2		2		2		2		2		2		2	
3		3		3		3		3		3		3		3		3		3		3	
4		4		4		4		4		4		4		4		4		4		4	
5		5		5		5		5		5		5		5		5		5		5	
6		6		6		6		6		6		6		6		6		6		6	
7		7		7		7		7		7		7		7		7		7		7	
8		8		8		8		8		8		8		8		8		8		8	
9		9		9		9		9		9		9		9		9		9		9	
0.20		0.30		0.80		1.30		1.80		2.30		2.80		3.30		3.80		4.30		4.80	
1		1		1		1		1		1		1		1		1		1		1	
2		2		2		2		2		2		2		2		2		2		2	
3		3		3		3		3		3		3		3		3		3		3	
4		4		4		4		4		4		4		4		4		4		4	
5		5		5		5		5		5		5		5		5		5		5	
6		6		6		6		6		6		6		6		6		6		6	
7		7		7		7		7		7		7		7		7		7		7	
8		8		8		8		8		8		8		8		8		8		8	
9		9		9		9		9		9		9		9		9		9		9	
0.10		0.40		0.90		1.40		1.90		2.40		2.90		3.40		3.90		4.40		4.90	
1		1		1		1		1		1		1		1		1		1		1	
2		2		2		2		2		2		2		2		2		2		2	
3		3		3		3		3		3		3		3		3		3		3	
4		4		4		4		4		4		4		4		4		4		4	
5		5		5		5		5		5		5		5		5		5		5	
6		6		6		6		6		6		6		6		6		6		6	
7		7		7		7		7		7		7		7		7		7		7	
8		8		8		8		8		8		8		8		8		8		8	
9		9		9		9		9		9		9		9		9		9		9	
0		0.50		1.00		1.50		2.00		2.50		3.00		3.50		4.00		4.50		5.00	
1		1		1		1		1		1		1		1		1		1		1	
2		2		2		2		2		2		2		2		2		2		2	
3		3		3		3		3		3		3		3		3		3		3	
4		4		4		4		4		4		4		4		4		4		4	
5		5		5		5		5		5		5		5		5		5		5	
6		6		6		6		6		6		6		6		6		6		6	
7		7		7		7		7		7		7		7		7		7		7	
8		8		8		8		8		8		8		8		8		8		8	
9		9		9		9		9		9		9		9		9		9		9	

Altitude du zéro de l'échelle : \_\_\_\_\_  
 Superficie du B V en km<sup>2</sup> : \_\_\_\_\_

Station N° : \_\_\_\_\_  
 en service depuis : \_\_\_\_\_

Année:

MOIS	JAN		FEB		MAR		AVR		MAY		JUN		JUL		AUG		SEP		OCT		NOV		DEC	
	H	Q	H	Q	H	Q	H	Q	H	Q	H	Q	H	Q	H	Q	H	Q	H	Q	H	Q	H	Q
1																								
2																								
3																								
4																								
5																								
6																								
7																								
8																								
9																								
10																								
11																								
12																								
13																								
14																								
15																								
16																								
17																								
18																								
19																								
20																								
21																								
22																								
23																								
24																								
25																								
26																								
27																								
28																								
29																								
30																								
31																								

MOYENNE ANNUELLE

ÉTAT	TOTAL																							
MENSUEL	MOYEN																							

PLUVIOMÉTRIE EN 19


DÉBITS MOYENS MENSUELS

19	-19																							
----	-----	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--

Déficit d'écoulement (mm) : \_\_\_\_\_ Dm (mm) : \_\_\_\_\_ Crue maximum observée (m<sup>3</sup>/s) : \_\_\_\_\_ Module moyen estimé à : \_\_\_\_\_  
 Coefficient d'écoulement (%): \_\_\_\_\_ Rm (%): \_\_\_\_\_ Crue centennale estimée à : \_\_\_\_\_

19-611







Cette seconde forme demande plus de travail et nécessite autant pour la préparation que pour la publication des efforts financiers importants. Les délais de publication sont évidemment beaucoup plus longs.

On a donc intérêt à prévoir une publication systématique de l'annuaire sous sa première forme année par année et de sortir à intervalles réguliers, trois ou quatre ans par exemple un ouvrage plus achevé sous la seconde forme.

#### 4. - BASSIN ET TERRAINS D'INVESTIGATION

On y effectue notamment des mesures sur les différentes composantes du cycle de l'eau, précipitation, infiltration, évaporation, ruissellement en associant à ces mesures celle des facteurs de milieu physique qui ont une influence sur ce cycle.

Ces unités d'étude peuvent se répartir en 4 sous-groupes :

- Bassins représentatifs
- Bassins expérimentaux
- Bassins témoins ou repères
- Terrains expérimentaux.

##### 4.1. Objectifs

###### 4.1.1. Le bassin représentatif

On y conduit une étude fine du cycle naturel de l'eau. Un tel bassin doit être représentatif d'une zone hydrologique homogène. Il peut soit comporter tous les types de paysages de la zone qu'il représente, soit au contraire être très homogène au plan du complexe sol-végétation, on l'appelle alors bassin élémentaire. Les études devant durer au moins cinq ans et plus souvent dix ans, il faut être assuré d'une certaine stabilité du milieu naturel. Les objectifs peuvent aussi être pratiques, (aménagement de petites dimensions).

###### 4.1.2. Le bassin expérimental

Les expérimentations portent sur l'occupation des sols. On cherche à mesurer l'influence sur le cycle de l'eau soit :

- de modifications du couvert végétal (plantation ou déforestation), d'une culture particulière ;
- de pratiques culturales diverses (banquettes anti-érosion, labour suivant les courbes de niveaux).

Les études sont longues là encore et il faut être maître de l'occupation du sol durant cette période. Ce type d'étude étant généralement onéreux on se limite à des surfaces ne dépassant pas 4 km<sup>2</sup>. Pour suivre l'évolution du cycle de l'eau il faut contrôler dans le même temps un bassin jumeau qui servira de témoin.

#### 4.1.3. Le bassin témoin et repère

Le bassin repère : est destiné à détecter d'éventuelles tendances à long terme du cycle de l'eau évolution climatique par exemple et doit donc être totalement indépendant de l'influence de l'homme.

Le bassin témoin : est en fait un bassin repère légèrement soumis à l'influence de l'homme.

#### 4.1.4. Le terrain d'expérimentation

Il s'agit d'une petite surface sans réseau hydrographique de quelques m<sup>2</sup> à quelques centaines de m<sup>2</sup>. Par exemple, station d'évaporométrie, parcelles d'érosion, d'infiltration etc....

Il faut souligner le rôle du simulateur de pluie appareil permettant de simuler à volonté des averses d'intensité et de fréquence variables dans un laps de temps très réduit, on se dégage ainsi de l'obligation d'attendre différentes saisons des pluies.

### 4.2. Principales consignes d'exploitation des bassins

Il arrive fréquemment qu'un bassin représentatif soit ouvert pour répondre à une question précise et urgente (petit aménagement par exemple). Si les documents sont archivés n'importe comment il est à craindre que si plus tard on veut utiliser les 2 ou 3 années d'étude dans un cadre plus général on perdra une bonne partie de l'information recueillie.

Il est donc nécessaire d'établir des consignes d'exploitation et de rassemblement des données de leur élaboration et de leur classement.

#### 4.2.1. Exploitation d'un bassin

On ne peut évidemment que donner ici des règles générales, le détail de l'exploitation dépendant en fait des conditions locales.

##### Plan d'équipement

Il dépend de l'étude et des moyens disponibles.

Pluviométrie : 1 pluviomètre pour 3 km<sup>2</sup> pour moins de 50 km<sup>2</sup> et pour 10 km<sup>2</sup> dans un bassin de 200 km<sup>2</sup>, pour 20 km<sup>2</sup> dans un bassin de 500 km<sup>2</sup>. En ce qui concerne les enregistreurs il faut 2 appareils dans un bassin de 25 km<sup>2</sup> et 20 % du nombre total des pluviomètres dans un bassin supérieur ou égal à 50 km<sup>2</sup>. Si le terrain est très accidenté il faut augmenter cette densité.

Climatologie : 1 station évaporométrique avec bac, son pluviomètre de contrôle et son onéomètre totalisateur.

1 abri météorologique avec mesure des températures de l'humidité de l'air et la pression.

1 appareil pour mesurer la durée de l'inso-  
lation.

### Hydrométrie

- Un limnigraphe par station, à rotation journalière avec une réduction suffisante pour suivre toutes les variations significatives du plan d'eau.

- Une station de jaugeage adaptée au régime du cours d'eau. Il est préférable de conserver le lit naturel en l'aménageant sommairement (nettoyage des berges, et du fond du lit) sur environ 10 fois la largeur et en faisant des petites digues pour canaliser les débordements. Dans les cas où l'on veut avoir une très bonne précision sur les hauteurs on peut installer un déversoir mais on préfère généralement effectuer des jaugeages au moulinet à partir d'une passerelle établie sur le cours d'eau.

### Le plan d'opération

Ce plan établi avant le début de la campagne de mesure vise à permettre l'acquisition du maximum de données, tout en étant suffisamment souple pour permettre des opérations extraordinaires.

### Les opérations de routine

- Lecture des appareils de relevés pluviométriques, climatologiques et hydrométriques.

- Contrôle des enregistreurs (engrenage des tambours de pluviographie, contrôle sur le terrain du calage des augets, nettoyage des grâmes de limnigraphes, contrôle du calage du zéro d'échelle).

- Changement des bandes d'enregistreurs

- Mesure des basses eaux au moins 1 fois par semaine pour détecter les détarages éventuels.

### Trois points sont particulièrement importants

- Il faut une heure de référence sur le bassin
- Les relevés pluviométriques et climatologiques doivent être faits aux mêmes heures locales que sur le réseau synoptique (7 et 19h).
- Il faut signaler sur les bandes d'enregistreurs tous les passages de contrôle ou de changement de bande (Heure-côte)

### Les mesures exceptionnelles

Ce sont essentiellement les jaugeages de crue ou les mesures de transport solide. Il faut donc impérativement avoir fixé à l'avance l'ordre d'intervention de l'équipe de terrain en fonction des impératifs de l'étude et des conditions locales. De même le choix des méthodes de jaugeage en fonction du type de crue. Enfin il ne faut pas oublier de relever les pluviomètres dès après la fin de l'averse qui a causé la crue.

Le responsable du chantier aura un carnet de terrain sur lequel il notera :

- les emplois du temps du personnel ;
- les observations qualitatives ;
- les anomalies ou perturbations rencontrées dans l'exécution du plan.

#### 4.3. Le rassemblement des données d'observation sur le terrain

Il ne faut pas laisser s'empiler les données de terrain, pour cela il faut les rassembler méthodiquement. Il est recommandé pour faciliter l'élaboration et le classement ultérieur, de procéder par tranche mensuelle.

Au plus tard à la fin de chaque mois on doit donc pouvoir fournir :

- fiche récapitulative des observations météorologiques journalières établie par transcription du carnet de l'observateur météo (fig. 8 bis) ;
- fiche récapitulative des précipitations journalières avec une colonne par appareil et une ligne par précipitation. On y fait également figurer les relevés des seaux des pluviographes ;
- fiche récapitulative des lectures d'échelles ;
- groupement en dossier pour chaque appareil et par ordre chronologique des pluviogrammes, des limnigrammes, des bandes enregistreuses ;
- fiche récapitulative des jaugeages ;
- on peut aussi avoir à établir des fiches récapitulatives pour les mesures de transports solides, les relevés de piézomètres,...

#### 4.4. Elaboration des données d'observations rassemblées

Cette élaboration est largement entamée sur le bassin et doit être achevée au bureau au plus tard un an après la fin de la campagne de mesure.

Il s'agit de présenter les données brutes rassemblées sous une forme directement utilisable par l'ingénieur.

Certaines données brutes établies précédemment sont considérées comme des documents originaux définitifs, ainsi les fiches récapitulatives des lectures d'échelles et des relevés piézométriques.

Les autres données doivent par contre subir des transformations importantes pour devenir des documents élaborés qui seront groupés en fiches ou en dossiers dont on peut donner un inventaire minimal.

- Une fiche récapitulative des précipitations journalières qui reproduit d'une part la fiche des précipitations journalières et d'autre part donne pour chaque pluviographe en 3 colonnes

Heure début de l'observation - Heure fin - Total enregistré ;



- Une fiche récapitulative des observations météo dépouillées et donnant pour chaque jour 2 valeurs moyennes l'une pour le jour 7 à 19 l'autre pour la nuit 19 à 7 (fig. 8 ter).

Température de l'air - humidité relative - tension de vapeur saturante moyenne - tension de vapeur moyenne, évaporation moyenne sur bac après correction pluie - évaporation sous abri - vitesse moyenne du vent, etc... ;

- Un dossier de dépouillement des jaugeages avec 3 sous-dossier ;

- celui du calcul des mesures de débit

- celui de préparation des éléments d'extrapolation avec les profils en travers et les profils en long. Il faut faire au profil en travers au droit de la section une fois avant la saison des pluies une fois à la fin et après chaque très forte crue

- celui de l'établissement du barème d'étalonnage qui est généralement provisoire et doit porter sa date d'établissement et sa période de validité.

- La fiche récapitulative par station des hauteurs moyennes journalières extraites soit des fiches récapitulatives des lectures d'échelles soit déterminées à partir du dépouillement des limni-grammes.

#### Elaboration des données relatives à l'évènement averse-crue

Il s'agit là de mettre en évidence les motifs de l'apparition de l'évènement averse-crue avec toutes les informations sur l'averse et la crue, par exemple : pluie moyenne, pluie maximale, débit moyen de la crue, débit maximal, temps de montée, temps de base, etc...

#### 4.5. Le classement des données brutes d'observations et des documents élaborés

À la fin d'une année ou d'une campagne d'observation on dispose d'une part d'une masse de données brutes d'observation vidées de leur contenu utile et d'autre part d'une masse de documents élaborés.

La première doit être mise en archives, la seconde classée. L'archive se fait chaque année ou après chaque campagne de mesure. Il se fait par ordre chronologique dans 3 ou 4 dossiers :

1er dossier : celui des renseignements généraux ;

Avec le carnet de terrain de l'hydrologue, le carnet de relevé de l'observateur climato, le carnet de relevé des observateurs d'échelles et des pluviomètres ;

2ème dossier : celui des enregistrements limnigraphiques ;

3ème dossier " " pluviographiques ;

4ème dossier : le cas échéant les enregistrements météo.

# FICHE MÉTÉOROLOGIQUE MENSUELLE — Dépouillement des observations —

STATION: \_\_\_\_\_

BASSIN: \_\_\_\_\_

MOIS: \_\_\_\_\_

JOURS	Température moyenne de l'eau °C		Température moyenne de l'air °C		HUMIDITÉ symbole U (en %)					U moyenne en %		Tension de vapeur saturante moyenne en mb		Tension de vapeur moyenne en $\frac{1}{100}$ mb		Déficit moyen de saturation en mb		Évaporation des bacs (chiffres bruts) (mm)				PLUIE au sol (mm)		Évaporation des bacs (après corr. de pluie) (mm)				Évaporation PICHE (mm)		Vitesse moyenne du VENT m/sec.		OBSERVATIONS							
	19 <sup>h</sup>	7 <sup>h</sup>	19 <sup>h</sup>	7 <sup>h</sup>	7h	11h	15h	19h	22h	19 <sup>h</sup>	7 <sup>h</sup>	19 <sup>h</sup>	7 <sup>h</sup>	19 <sup>h</sup>	7 <sup>h</sup>	19 <sup>h</sup>	7 <sup>h</sup>	19 <sup>h</sup>	7 <sup>h</sup>	19 <sup>h</sup>	7 <sup>h</sup>	19 <sup>h</sup>	7 <sup>h</sup>	19 <sup>h</sup>	7 <sup>h</sup>	19 <sup>h</sup>	7 <sup>h</sup>	19 <sup>h</sup>	7 <sup>h</sup>	19 <sup>h</sup>	7 <sup>h</sup>		19 <sup>h</sup>	7 <sup>h</sup>					
	$\frac{1}{2}$	$\frac{1}{2}$	$\frac{1}{2}$	$\frac{1}{2}$						$\frac{1}{2}$	$\frac{1}{2}$	$\frac{1}{2}$	$\frac{1}{2}$	$\frac{1}{2}$	$\frac{1}{2}$	$\frac{1}{2}$	$\frac{1}{2}$	$\frac{1}{2}$	$\frac{1}{2}$	$\frac{1}{2}$	$\frac{1}{2}$	$\frac{1}{2}$	$\frac{1}{2}$	$\frac{1}{2}$	$\frac{1}{2}$	$\frac{1}{2}$	$\frac{1}{2}$	$\frac{1}{2}$	$\frac{1}{2}$	$\frac{1}{2}$	$\frac{1}{2}$		$\frac{1}{2}$	$\frac{1}{2}$	$\frac{1}{2}$				
	(Nuit)	(Jour)	(Nuit)	(Jour)						(Nuit)	(Jour)	(Nuit)	(Jour)	(Nuit)	(Jour)	(Nuit)	(Jour)	(Nuit)	(Jour)	(Nuit)	(Jour)	(Nuit)	(Jour)	(Nuit)	(Jour)	(Nuit)	(Jour)	(Nuit)	(Jour)	(Nuit)	(Jour)		(Nuit)	(Jour)	(Nuit)	(Jour)			
1																																							
2																																							
3																																							
4																																							
5																																							
6																																							
7																																							
8																																							
9																																							
10																																							
11																																							
12																																							
13																																							
14																																							
15																																							
16																																							
17																																							
18																																							
19																																							
20																																							
21																																							
22																																							
23																																							
24																																							
25																																							
26																																							
27																																							
28																																							
29																																							
30																																							
31																																							

\* Les heures marquées d'un astérisque se rapportent au jour précédent.

#### 4.5.1. Classement des documents élaborés

Il comporte deux ensembles distincts :

1er ensemble - le dossier relatif à l'identité du bassin,  
ouvert en permanence on y trouve une rubrique globale et  
une rubrique par station hydrométrique.

- Rubrique globale avec trois sous-dossiers

- 1er sous-dossier : le procès verbal d'installation dans lequel sous forme de fiches on trouve tous les renseignements sur la localisation, l'équipement et l'exploitation du bassin ;
- 2ème sous-dossier : la représentation régionale et des caractères physiques permettant de situer le bassin dans le complexe physique régional ;
- 3ème sous-dossier : celui des renseignements généraux sur l'historique et le déroulement de l'exploitation du bassin.

- Rubrique par station

- Fiche récapitulative des mesures de débit
- Le ou les barèmes d'étalonnage
- 1 sous-dossier d'archivage des minutes de jaugeages
- 1 sous-dossier de classement des éléments d'exploitation et des éléments de calcul de l'étalonnage.

#### 4.5.2. Le classement des documents élaborés relatifs aux données d'observations proprement dites avec 4 grands dossiers

2ème ensemble -

- Le dossier climatologique - contenant les fiches récapitulatives mensuelles des données climato journalières, avec les valeurs moyennes ou totales mensuelles calculées ;
- Le dossier des précipitations - avec les fiches récapitulatives mensuelles des précipitations journalières avec les totaux mensuels. On y joint le tracé des isohyètes et le calcul de la pluie moyenne par mois et par année . ;
- Le dossier des écoulements - les fiches récapitulatives annuelles des hauteurs moyennes journalières pour chaque station par sous-dossier avec les débits moyens journaliers, moyens mensuels et annuels ;
- Le dossier des événements averse-crue
  - le tableau de la réaction du bassin
  - les événements classés chronologiquement avec en sous-dossier le tableau des hyétogrammes, le tableau des hydrogrammes.

# ARCHIVAGE et CLASSEMENT des DONNÉES

RASSEMBLEMENT DES DONNÉES BRUTES

OBS. METEO PLUIE JOUR. SAUCEAGES LECTURES D'ECHELLE ENREGISTREMENT

ELABORATION DES DONNÉES

OBS. METEO DEQUILIBRES CALCUL DES DEBITES BAREME D'ETALONNAGE

CLASSEMENT

ARCHIVAGE

- Identité bassin
- Station
- Precipitations
- Equilibrés

## DEUXIEME PARTIE

### L'HYDROLOGIE ANALYTIQUE - L'HYDROGRAPHEE UNITAIRE

Les observations de longue durée sont effectuées à des stations permanentes des réseaux hydropluviométriques. On obtient ainsi des chroniques de données qui permettent l'utilisation de méthodes statistiques. Sur les petits bassins de quelques dizaines à quelques centaines de km<sup>2</sup> on ne peut poursuivre les études indéfiniment car cela représente une charge très importante pour le service gestionnaire. Ces petits bassins font cependant très souvent l'objet d'aménagements hydrauliques qui présentent la particularité de pouvoir être calculés en acceptant un certain risque de rupture, d'une part parce que les incidences économiques de cette rupture sont limitées, d'autre part parce qu'il n'y a pas de dangers importants pour les populations. Souvent on se contentera donc de déterminer la crue ayant une période de retour de 10 ans. Pour ce type d'étude on utilise l'hydrologie analytique.

#### 1. - L'HYDROLOGIE ANALYTIQUE

A partir des données recueillies sur le bassin versant concernant les averses et les crues on va chercher à expliciter la suite des opérations qui permettent à partir d'une averse donnée d'obtenir une crue donnée. On peut dire que la conception du phénomène averse-crue est déterministe car la crue est déterminée par l'averse génératrice.

##### 1.1. Séparation des écoulements

Le ruissellement n'est autre que le solde du bilan précipitation interception, infiltration, évaporation. Au ruissellement qualifié de pur il faut ajouter le ruissellement autrefois appelé hyperdermique et qu'il semble préférable d'appeler ruissellement retardé. En effet il se s'agit pas d'un ruissellement dans les premiers centimètres du sol mais plus certainement à un ruissellement en filets très minces ou avec une lame d'eau très faible, ruissellement qui se trouve donc considérablement freiné par la rugosité du sol ou par la base de la végétation herbacée. Il peut aussi correspondre à la vidange de cavités du sol se produisant en fin de crue.

Le ruissellement que l'on observe sur un bassin est donc composé de trois parties :

le ruissellement pur,  
 le ruissellement retardé,  
 l'écoulement de base.

Cet écoulement de base correspond à la vidange des réserves en eau du bassin, vidange des nappes. Lorsque l'on veut étudier la réaction du bassin à une averse donnée il convient donc d'éliminer cet écoulement de base qui n'a pas de rapport direct avec l'averse considérée mais dépend surtout d'événements antérieurs.

Pour séparer ces écoulements on s'intéresse à la courbe de décrue, c'est à dire à la partie de l'hydrogramme qui fait suite au maximum. Si cette courbe de décrue est pure, c'est à dire non perturbée par des précipitations parasites on peut distinguer deux variations brutales de courbure qui marquent les limites entre ruissellement pur et retardé d'une part et entre ruissellement retardé et écoulement de base d'autre part. En fait ces changements de courbure n'apparaissent généralement pas nettement sur l'hydrogramme, aussi est il préférable de tracer la courbe de décrue en coordonnées semi-logarithmiques, logarithmes du débit en ordonnée et temps en abscisse. On peut alors assez facilement tracer trois droites qui représentent les 3 composantes du ruissellement. Les changements de courbure apparaissent nettement, points F1 et F2 du graphique 10 et on reporte alors ces points sur la courbe de décrue de l'hydrogramme.

Pour séparer le débit de base du ruissellement retardé on trace simplement une droite AF2, joignant le début de la crue au point F2.

Pour tracer la limite entre le ruissellement pur et le ruissellement retardé, on commence par étudier les crues qui manifestement n'ont donné que du ruissellement retardé, elles ont un temps de montée beaucoup plus long, une forme beaucoup plus molle. On fixe alors une valeur moyenne du temps de montée pour le ruissellement retardé  $t_{rh}$  et l'on fixe alors approximativement le maximum de la crue due à ce type de ruissellement, on détermine ainsi la courbe AF1.

## 1.2. Définitions

Pour la compréhension de la suite de cette seconde partie il est nécessaire de donner un certain nombre de définitions concernant la crue (hydrogramme) et l'averse (hyétogramme).

### 1.2.1. La crue

Pour une crue donnée on reporte sur papier millimétré les débits instantanés en fonction du temps et l'on dessine l'hydrogramme de crue sur lequel on va déterminer certains paramètres.

Le volume ruisselé :  $V_{r}$

Il est obtenu par planimétrage de l'hydrogramme naturel après séparation des écoulements. Généralement bien que cela ne soit pas totalement rigoureux on est conduit à prendre ensemble le ruissellement pur et le ruissellement retardé.

Le débit maximal :  $Q_{max}$

C'est la valeur maximale du débit de la crue diminuée de la partie correspondant à l'écoulement de base.

Le temps de montée :  $t_m$

C'est l'intervalle de temps séparant le début de la crue du maximum de la crue.

Le temps de base :  $T_b$

Intervalle de temps séparant le début de la crue de la fin du ruissellement retardé.

Le temps de réponse :  $t_p$

Intervalle de temps séparant le moment où 50 % de la pluie utile est tombée du maximum de la crue.

Le temps de concentration  $t_c$

C'est le temps mis par une goutte d'eau pour parvenir de l'endroit le plus éloigné du bassin à la station de mesure. Il n'est pas déterminé sur l'hydrogramme mais estimé à partir de la chronique des événements averse-crue et des caractéristiques physiques du bassin.

La lame ruisselée :  $l_r$

Rapport du volume ruisselé à la surface du bassin  $l_r = \frac{V_r}{S}$   
 $V_r$  en  $m^3$ ,  $S$  en  $km^2$  et  $l_r$  en  $mm$ .

### 1.2.2. L'averse

A partir du pluviogramme on calcule les intensités, par exemple par tranches de cinq minutes et l'on porte ces intensités exprimées en  $mm/h$  en fonction du temps pour tracer le hydrogramme.

La pluie efficace :  $P_e$

C'est la partie de l'averse ayant donné lieu à du ruissellement. Elle a une durée  $t_e$  et un volume  $V_e$ . Elle est prise à partir des plus fortes intensités.

La pluie utile :  $P_u$

Il est difficile d'affirmer que seule la pluie efficace a donné lieu à du ruissellement. Aussi on lui substitue la pluie utile qui est la partie de l'averse dont les intensités sont suffisamment fortes pour avoir pu donner lieu à du ruissellement. La durée de la pluie utile est  $t_u$  qui est supérieure à  $t_e$ , son volume est  $V_u > V_e$ .

Intensité critique :  $I_c$ 

Pour déterminer la pluie utile on se fixe généralement un seuil d'intensité critique, ce seuil étant évidemment d'autant plus élevé que le bassin est plus perméable.

La pluie nette :  $P_n$ 

De hauteur  $P_n$  et de durée  $t_n$ . C'est la partie de l'averse qui a effectivement ruisselé. Son volume  $V_n$  est donc égal au volume  $V_r$ ,  $P_n$  étant égal à  $I_r$ . Cette pluie nette apparaît en hachures sur le hyétogramme de la figure 10.

La capacité d'absorption :  $C_{am}$ 

Elle représente les pertes par infiltration mais aussi par interception, rétention de surface et évaporation au cours de l'averse. La capacité moyenne d'absorption d'un bassin tend vers une limite  $C_u$  pour un bassin complètement saturé. Comme cette variation est assez difficile à connaître on utilise donc la valeur moyenne  $C_{am} = (P_e - P_n)/t_e$ , exprimée en mm/h.

Le coefficient du ruissellement :  $K_r$ 

Exprimé en % il est égal au rapport de la lame ruisselée à la hauteur de l'averse. On parle aussi de coefficient de ruissellement utile  $K_{ru}$  lorsque l'on utilise la hauteur de la pluie utile de l'averse  $P_u$ .

2. - L'HYDROGRAMME UNITAIRE

Utilisée aux Etats Unis dès 1932 par L. K. SHERMAN, la théorie de l'hydrogramme unitaire a été largement appliquée dans le monde, notamment par l'ORSTOM sur plus de 250 bassins de la zone aride et intertropicale. Il ne s'agit ni plus ni moins que d'un modèle déterministe global qui assure la transformation dans le temps du hyétogramme en hydrogramme.

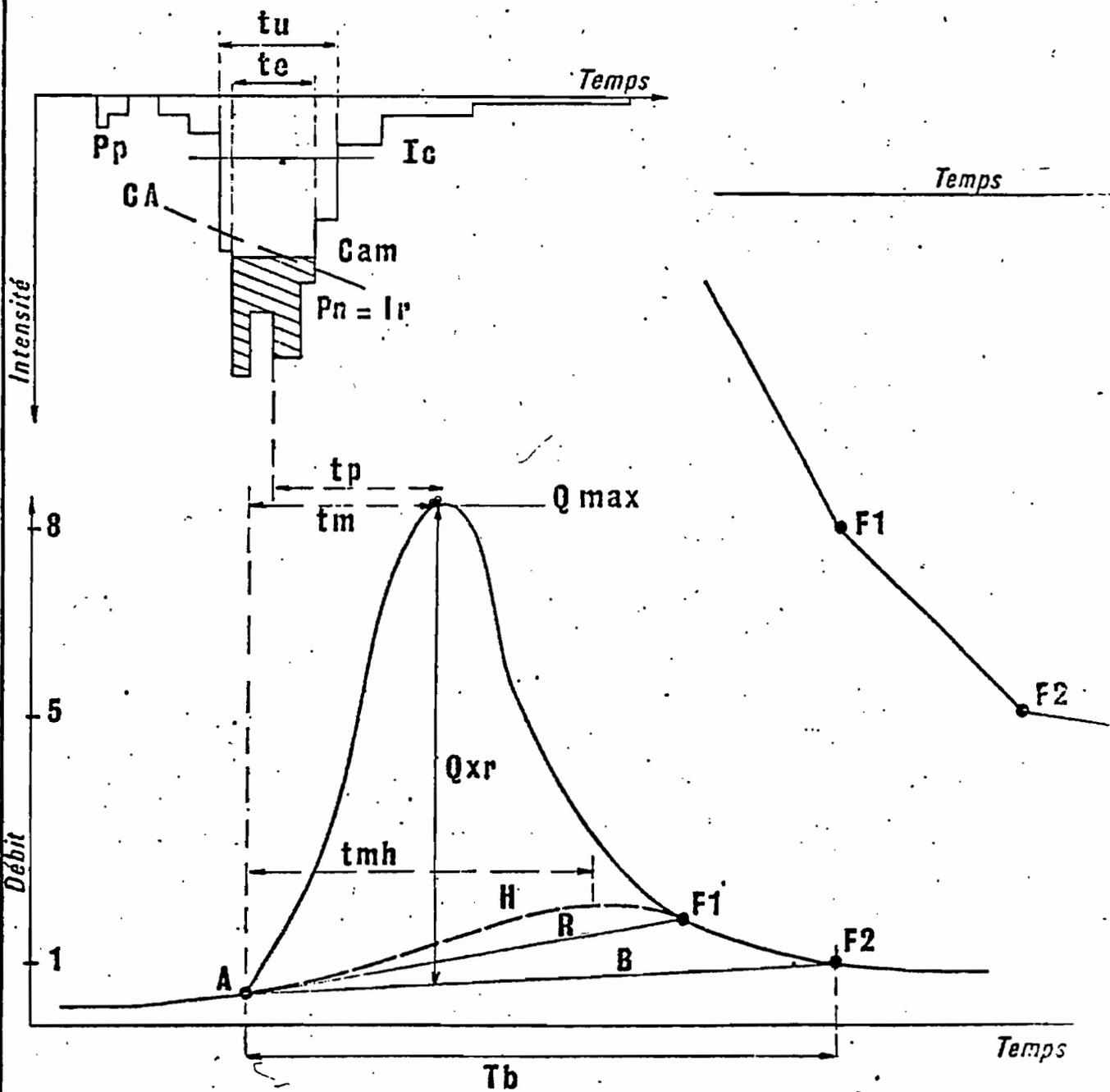
2.1. Hypothèses de base

L'hydrogramme unitaire s'applique à la partie ruissellement pur de l'écoulement ce qui nécessite au préalable la séparation des écoulements. En fait il arrive très souvent en pratique que l'on utilise l'ensemble ruissellement pur-ruissellement retardé.

Il y a au départ trois propositions fondamentales1ère proposition

Considérons une averse homogène dans le temps et dans l'espace avec une durée  $T_1$  assez grande et une intensité suffisante pour qu'il y ait du ruissellement. A cette averse va correspondre à l'exutoire du bassin un hydrogramme ayant un temps de montée  $T_1$ . Si on prend une série d'averses de durées décroissantes  $T_2, T_3, T_n$  on va à chaque fois obtenir un hydrogramme dont le temps de montée va décroître  $t_2, t_3, t_n$ , jusqu'à une valeur  $t_0$  qui correspondra à une valeur  $T_0$  de l'averse. Si la durée de l'averse diminue encore, le temps de montée de l'hydrogramme restera égal à  $T_0$  qui représente le temps de montée propre du bassin, c'est à dire que  $T_0$  est une caractéristique hydraulique.

# Valeurs caractéristiques de la pluie et de la crue à tendance unitaire



L'averse unitaire est donc une averse homogène dans le temps et dans l'espace, d'intensité suffisante pour que tout le bassin ruisselle et dont la durée est inférieure à  $T_0$ . Une telle averse pourra être traitée par la méthode de l'hydrogramme unitaire. L'hydrogramme résultant est appelé, hydrogramme unitaire du bassin considéré.

### 2ème proposition

Soit une averse unitaire de volume de ruissellement  $V_1$ . Si une autre averse donne un volume  $V_2$ , l'hydrogramme correspondant se déduit du premier par une affinité de rapport  $\frac{V_2}{V_1}$  par rapport à l'axe des temps. Ce qui veut dire que si l'on prend un point  $M_1$  sur l'hydrogramme de volume  $V_1$  d'ordonnée  $Y_1$ , le point correspondant  $M_2$  sur l'hydrogramme de volume  $V_2$  aura une ordonnée  $Y_2$  telle que  $\frac{Y_2}{Y_1} = \frac{V_2}{V_1}$ .

Si l'on appelle  $q(t)$  l'hydrogramme de référence répondant à la première proposition et  $h$  la hauteur de l'averse unitaire qui l'a engendré, tous les hydrogrammes de ruissellement du bassin répondront à la relation :  $q'(t) = \frac{h'}{h} q(t)$ .

$$k(t) = \frac{q'(t)}{S h'} = \frac{q(t)}{S h}$$

Cet hydrogramme répond à la proposition 1 et se rapporte à un volume de ruissellement unité.

### 3ème proposition

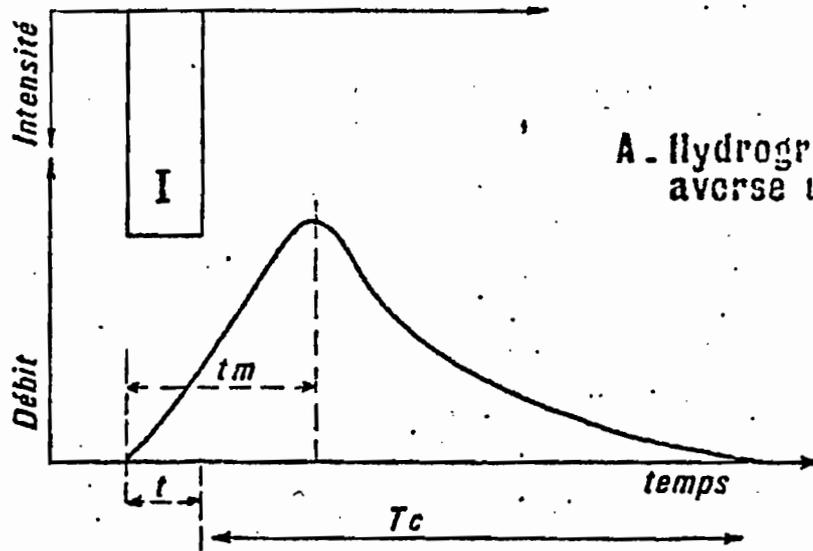
Les hydrogrammes se déduisant les uns des autres par affinité qui est une opération linéaire, cela entraîne la troisième proposition, l'additivité.

Ainsi si l'on prend une averse d'intensité égale à l'averse unitaire mais de durée double, on obtient une crue qui ne sera plus unitaire mais qui résultera de la composition de deux hydrogrammes unitaires décalés entre eux de la durée de l'averse unitaire.

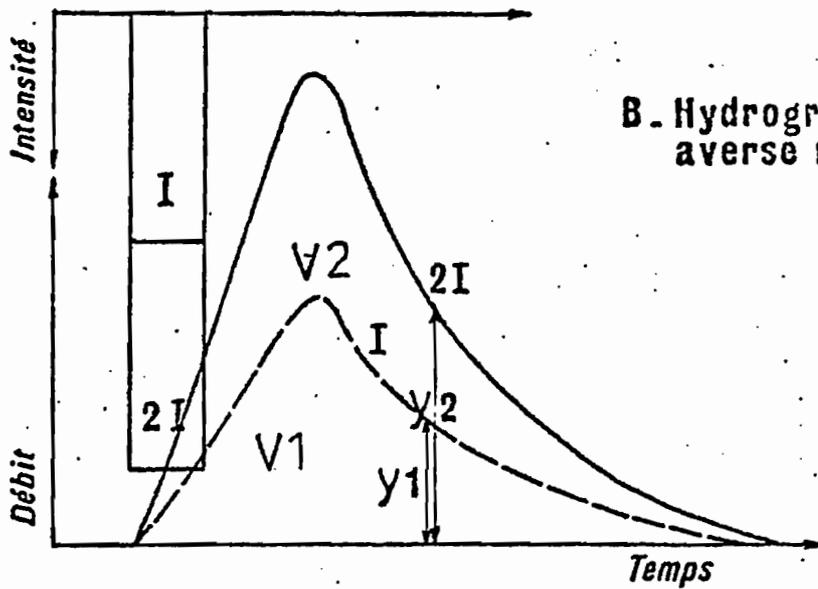
Ces propositions sont clairement représentées au graphique 11. On voit notamment que la durée de ruissellement de l'hydrogramme unitaire est égale à la durée de l'averse unitaire à laquelle il faut rajouter le temps de concentration du bassin. Puisque la durée de l'averse unitaire  $t$  est faible devant ce temps de concentration  $T_c$ , on peut dire que l'averse est unitaire lorsque la durée de ruissellement de l'hydrogramme de crue correspondant à cette averse est constante et égale à une valeur limite inférieure, peu supérieure à  $T_c$ .

L'hydrogramme unitaire ayant une forme fixe pour un bassin donné cela signifie que :

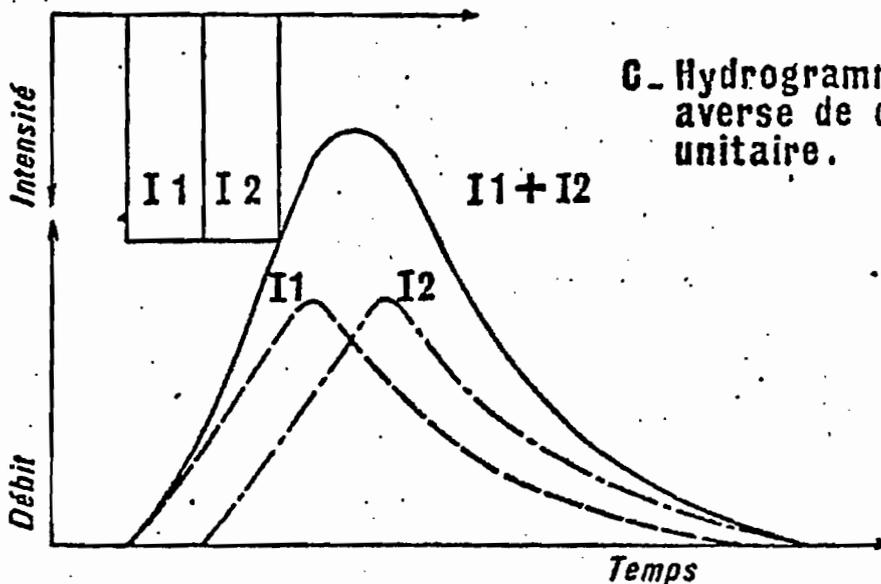
# Schéma théorique de l'hydrogramme unitaire



A. Hydrogramme unitaire dû à une averse unitaire d'intensité I



B. Hydrogramme unitaire dû à une averse unitaire d'intensité 2 I



C. Hydrogramme correspondant à une averse de durée double de l'averse unitaire.

Son temps de montée  $t_m$  est constant et égal à une valeur limite inférieure.

Si l'hydrogramme est divisé en  $n$  tranches de durée  $d$ , le pourcentage de volume total dû à chaque tranche est une constante caractéristique du bassin.

## 2.2. Limites d'application

Ces limites d'applications découlent de ce que l'on vient de voir. En effet il ne peut y avoir hydrogramme unitaire que si tout le bassin participe au ruissellement, donc :

1. les précipitations doivent être intenses ;
2. la superficie du bassin doit être telle que la précipitation puisse être intense et homogène ;
3. le bassin doit présenter une bonne homogénéité physique pour répondre dans sa totalité à une averse d'intensité donnée.

On considère que dans les zones intertropicales une averse n'est homogène que sur des bassins compris entre 5 et 20 km<sup>2</sup> environ, mais essentiellement entre 10 et 50 km<sup>2</sup>. Au-dessus l'averse couvre rarement tout le bassin, au-dessous de 5 km<sup>2</sup>, les temps de montée étant trop faibles l'averse est rarement unitaire.

## 2.3. Application de l'hydrogramme unitaire

Après un exercice d'application fait au tableau et portant sur le bassin de KOROGHO en Côte d'Ivoire, des séances de travaux dirigés ont eu lieu à partir du document placé en annexe.

### TROISIEME PARTIE

#### LES REGIMES HYDROLOGIQUES DE LA ZONE INTERTROPICALE

#### 1. GENERALITES

##### 1.1. Les facteurs conditionnels

Le régime d'un cours d'eau est déterminé :

- a) Par les apports en eau de l'atmosphère c'est à dire principalement la pluie ;
- b) Par les caractéristiques propres au bassin qui reçoit ces précipitations, caractéristiques physiques et morphologiques, nature du sol, végétation, pente et réseau hydrographique. Interviennent également les facteurs climatologiques autres que la pluie, notamment tout ceux qui jouent un rôle dans le phénomène de l'évapotranspiration.

Le facteur primordial est bien entendu le régime des précipitations.

##### Régime des précipitations

Il est commandé par le déplacement des masses d'air. En Afrique Occidentale les masses d'air en présence sont d'une part l'harmattan d'autre part la mousson.

L'harmattan est un air continental, chaud et sec alors que la mousson est un air maritime, humide et plus frais que l'harmattan.

L'harmattan est dérivé de l'anticyclone saharien, centré en hiver sur le 30ème parallèle, il souffle de l'est ou du nord-est. La mousson vient de l'anticyclone de Ste Hélène, elle souffle du sud ou du sud-ouest. Du fait de son origine maritime, cette masse d'air joue le rôle de masse froide par rapport à l'harmattan et pénètre comme un coin sous l'air chaud de l'harmattan. La surface de contact ou plutôt la trace sur le sol de cette surface de contact est appelé FRONT INTERTROPICAL ou FIT.

Ainsi tout le régime des précipitations dans cette zone est il lié aux déplacements du FIT. En effet, en janvier l'anticyclone saharien est au maximum de son développement et le FIT occupe alors sa position la plus méridionale, nord de CONAKRY, centre de la Côte d'Ivoire et forêt inondée de la moitié nord de la République Populaire du Congo. Dès les mois de Février - Mars le FIT remonte vers le nord et atteint en Août sa position la plus septentrionale vers le 20ème parallèle. Il redescendra ensuite vers le sud.

Ce n'est pas au passage du FIT que se produisent les précipitations mais seulement lorsque la masse d'air humide a atteint une certaine épaisseur. Pour 700 à 800 m d'épaisseur d'air maritime on observe les premiers orages et lorsque l'épaisseur de mousson atteint 2000 m la saison des pluies s'installe réellement. Lorsque le développement de la mousson est maximal les précipitations se produisent non plus au contact mousson-harmattan, mais dans la masse d'air maritime elle-même.

Finalement on peut dire qu'en un point donné la saison des pluies sera d'autant plus longue que l'intervalle de temps séparant l'aller et le retour du FIT sera plus long. Donc pour les zones désertiques et subdésertiques il n'y aura jamais de saison des pluies bien établie et l'irrégularité interannuelle des précipitations sera très importante. Au contraire au sud il pleuvra d'abondance pratiquement en toute saison.

Deux autres masses d'air jouent un rôle moins important.

- l'alizé boréal maritime venant de l'anticyclone des Açores, constituant avec l'harmattan un front nord-sud assez actif au Sénégal et en Mauritanie ;

- l'alizé austral direct venant de l'anticyclone subtropical austral. Cet alizé remplace, au sud du 3ème parallèle, la mousson aux mois de juillet, août et septembre. Mais cet air étant moins humide que l'air de la mousson, on observera donc au sud du 9ème parallèle deux saisons sèches. La première la plus importante en hiver, de Décembre à Février puis après le passage du FIT vers le nord une seconde saison sèche, moins marquée que la précédente due à l'alizé austral direct, c'est le régime équatorial.

Au nord du 9ème parallèle, les mouvements de bascule du FIT occasionneront divers régimes de précipitation.

- Au-dessous de la latitude de TAMANRASSET il y aura en Août quelques rares averses orageuses, avec parfois en hiver ou printemps ou en automne des précipitations de type spécifiquement saharien. La moyenne est inférieure à 50 mm par an. (la notion de moyenne dans ces régions n'a pas grande signification) ;

- Au nord d'une ligne St Louis - Tombouctou - Lac Tchad, la saison des pluies durera un peu moins de deux mois, généralement 15 juillet, début septembre. Moyenne annuelle de l'ordre de 300 mm avec encore une très forte irrégularité interannuelle ;

- Entre cette ligne et la ligne DAKAR - KAYES - sud de NIAMEY - sud de N'DJALÉNA on aura deux saisons bien marquées. Une saison des pluies de deux mois et demi à trois mois, une saison sèche d'environ 9 mois avec une moyenne de 700 mm de pluie par an ;

- Plus au sud, sur la ligne BAMAHO-OUAGADOUGOU - Garoua les premières pluies peuvent commencer en Avril et seront surtout abondantes en juillet, août et Septembre.
- On peut voir sur le graphique 14 que jusqu'à l'isohyète 1000mm le tracé des isohyètes interannuelles est régulier et suit vaguement les parallèles. Au sud, le dessin se complique notamment à partir de l'isohyète 1500 mm avec 3 zones particulièrement bien arrosées ;
- Basse Guinée, LIBERIA, ouest de la Côte d'Ivoire, avec 4000 mm par an à CONAKRY ;
- Sud-est du Nigéria, sud-ouest du Cameroun, ouest du Gabon avec 6000 mm au sud de Douala et 9000 mm à l'ouest du Mt Cameroun ;
- Est Côte d'Ivoire, ouest du Ghana avec un maximum de 2000 mm.

Notons également le creux pluviométrique de la région côtière de LOME avec 600 mm.

Dès que l'on dépasse 700 mm par an, la distribution des pluies annuelles est pratiquement normale, sauf au BENIN et au TOGO. Par contre au-dessous de 500 mm par an, cette distribution est dissymétrique.

En ce qui concerne les pluies journalières, si l'on prend par exemple la pluie journalière de fréquence décennale on passe de 90 mm pour une pluie annuelle de 300 mm, à 150 mm pour une pluie annuelle de 1800 mm. La bande côtière quant à elle peut recevoir des pluies journalières dépassant assez souvent 200 mm.

#### Les autres facteurs climatologiques

##### Le vent

Il n'intervient en fait qu'au nord de l'isohyète 700 mm comme facteur d'augmentation de l'évaporation durant l'hiver. La vitesse n'est en principe jamais très élevée.

##### La température

Elle subit une double série de variations. Variations saisonnières et variations journalières qui sont d'autant plus forte que l'on va vers le nord. En effet vers l'équateur en pays humide et à basse altitude la température s'écarte peu de 27°. Ces variations sont dues, d'une part à l'action directe du soleil, donc températures plus élevées en été qu'en hiver, d'autre part à l'action de la saison des pluies qui tend à réduire les températures d'été et les écarts diurnes. Ainsi alors qu'au nord par exemple à BILMA l'influence de la saison des pluies se limite à un léger rafraîchissement en Août, plus au sud à Bamako la saison des pluies entraîne un minimum secondaire des températures diurnes en Août au coeur de la saison des pluies.

### Le degré hygrométrique

Il varie en sens inverse de la température et varie donc dans la journée, maximum avant le levé du soleil, minimum vers 12 heures et selon la saison.

A BILMA, le matin 20 % en général sauf en Août où l'on atteint 40 %. A midi, l'humidité relative de l'air est comprise entre 8 et 20 %.

A Conakry, le matin de 55 à 98 % toute l'année, à midi en saison sèche on tombe à 55 - 70 %.

### L'évaporation

Mesurée sur bac Colorado enterré elle varie de 4 m par an au Sahara à 1,20 - 1,30 m en basse Côte d'Ivoire. Sur le Lac Tchad l'évaporation annuelle, calculée à partir du bilan du lac atteint 2,3 m en moyenne.

Le coefficient de réduction permettant de passer de l'évaporation du lac enterré à l'évaporation d'une grande retenue varie de 0,60 à 0,70 vers l'isohyète 300 mm à 0,90 en région équatoriale. De plus ce coefficient varie en cours d'année dans des proportions d'autant plus grandes que l'on monte vers le nord.

Naturellement l'évaporation varie dans la journée ainsi qu'au cours de l'année, maximale en saison sèche et minimale en saison des pluies.

## 1.2. Classification des régimes hydrologiques

Cette classification découle des régimes des précipitations. On distinguera donc du nord au sud huit régimes hydrologiques différents :

- le régime désertique avec en moyenne une crue par an tout au moins dans les régions les plus privilégiées ;
- le régime subdésertique avec toujours dans les régions les plus favorisées, plusieurs crues par an en juillet et Août. Mais dans ces régions l'écoulement peut être nul certaines années ;
- le régime sahélien avec un écoulement qui se produit à peu près partout en saison des pluies mais dans des conditions très souvent anarchiques. La caractéristique principale de ce type de régime est la dégradation du réseau hydrographique, sauf en montagne ;
- le régime tropical pur, une période de hautes eaux, une longue période de basses eaux à la fin de laquelle l'écoulement est généralement nul. Pluviométrie annuelle variant entre 750-800 et 1200-1300 mm ;
- le régime tropical de transition, une longue période de hautes eaux et une période de basses eaux à débit relativement important, sauf dans la variante dahoméenne ;

- le régime équatorial de transition boréal avec deux saisons des pluies et deux saisons sèches inégales, la saison sèche principale se plaçant en hiver boréal ;
- le régime équatorial pur avec deux saisons des pluies de même importance et deux saisons sèches analogues ;
- le régime équatorial de transition austral avec la saison sèche principale durant l'été boréal.

### 1.3. Le régime tropical pur et tropical de transition

Compte tenu de la superficie de leurs bassins versants, la plupart des grands fleuves d'Afrique sont à régime hydrologique mixte. D'autre part le régime tropical pur et tropical de transition sont assez voisins aussi en parlerons nous en même temps.

Nous étudierons successivement :

- les limites d'extension ;
- le débit moyen annuel et sa distribution ;
- les variations saisonnières des débits ;
- la distribution des crues et, les crues exceptionnelles ;
- le déficit d'écoulement ;
- les transports solides.

#### 1.3.1. Limites d'extension

Le régime tropical pur est limité au nord à l'isohyète 750-800 mm et au sud par l'isohyète 1200-1300 mm. Au sud on passe au régime tropical de transition.

Les principaux fleuves intéressés par ces régimes sont :

- Le Sénégal ;
- le Niger ;
- le Logone ;
- le Chari.

On peut y ajouter les affluents de rive droite de l'Oubangui, les branches mères de la Volta, la Bénoué, La Sanaga et les fleuves côtiers de Guinée.

#### 1.3.2. Débit moyen annuel

Pour ne comparer que des valeurs comparables nous ne parlerons que de débits spécifiques en l/s/km<sup>2</sup> qui seuls permettent des généralisations.

En régime tropical pur les modules spécifiques varient entre 2,5 et 5 l/s.km<sup>2</sup>. Il ne s'agit là bien évidemment que d'une fourchette moyenne. En fait les modules en régime tropical pur varient autour de ces valeurs en fonction des précipitations et des pentes.

AFRIQUE NOIRE A L'OUEST DU CONGO  
Carte hydrographique

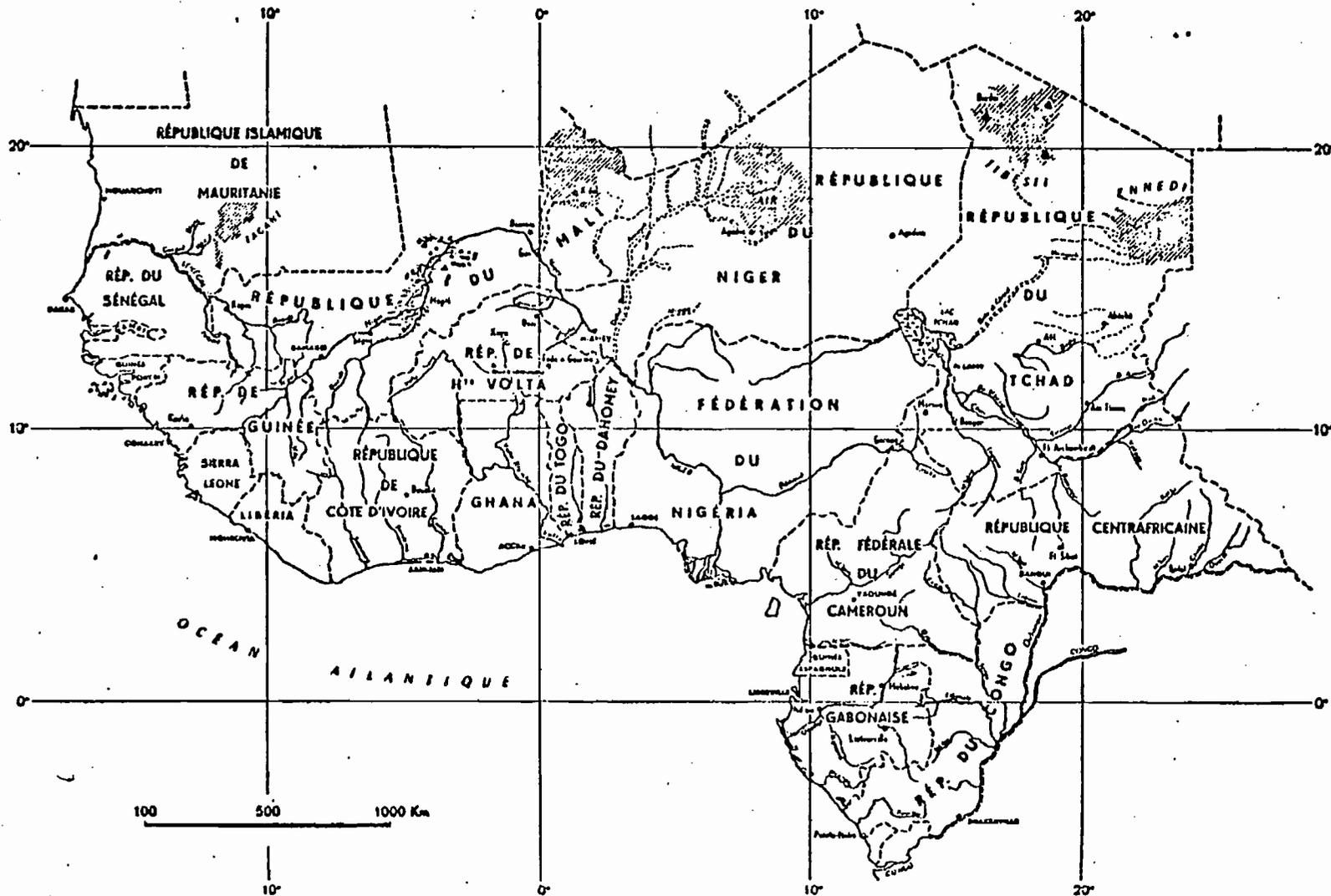


Fig. 12

ORSTOM  
Ao  
DATE: 1978-10-15  
DESSINE: S. K. H.  
DAH 143

# PRESSION MOYENNE AU NIVEAU DE LA MER ET VENTS RÉGULIERS

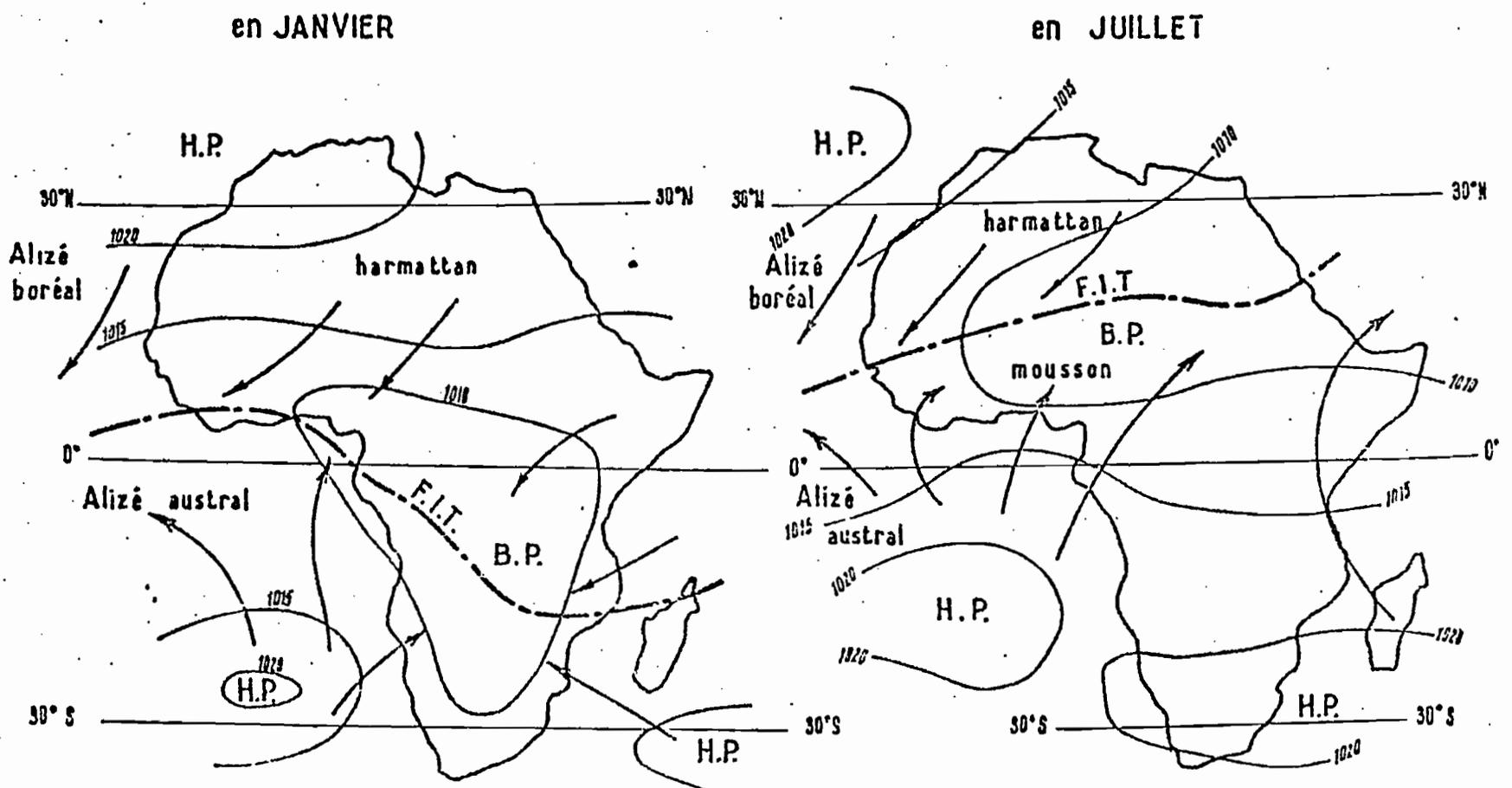
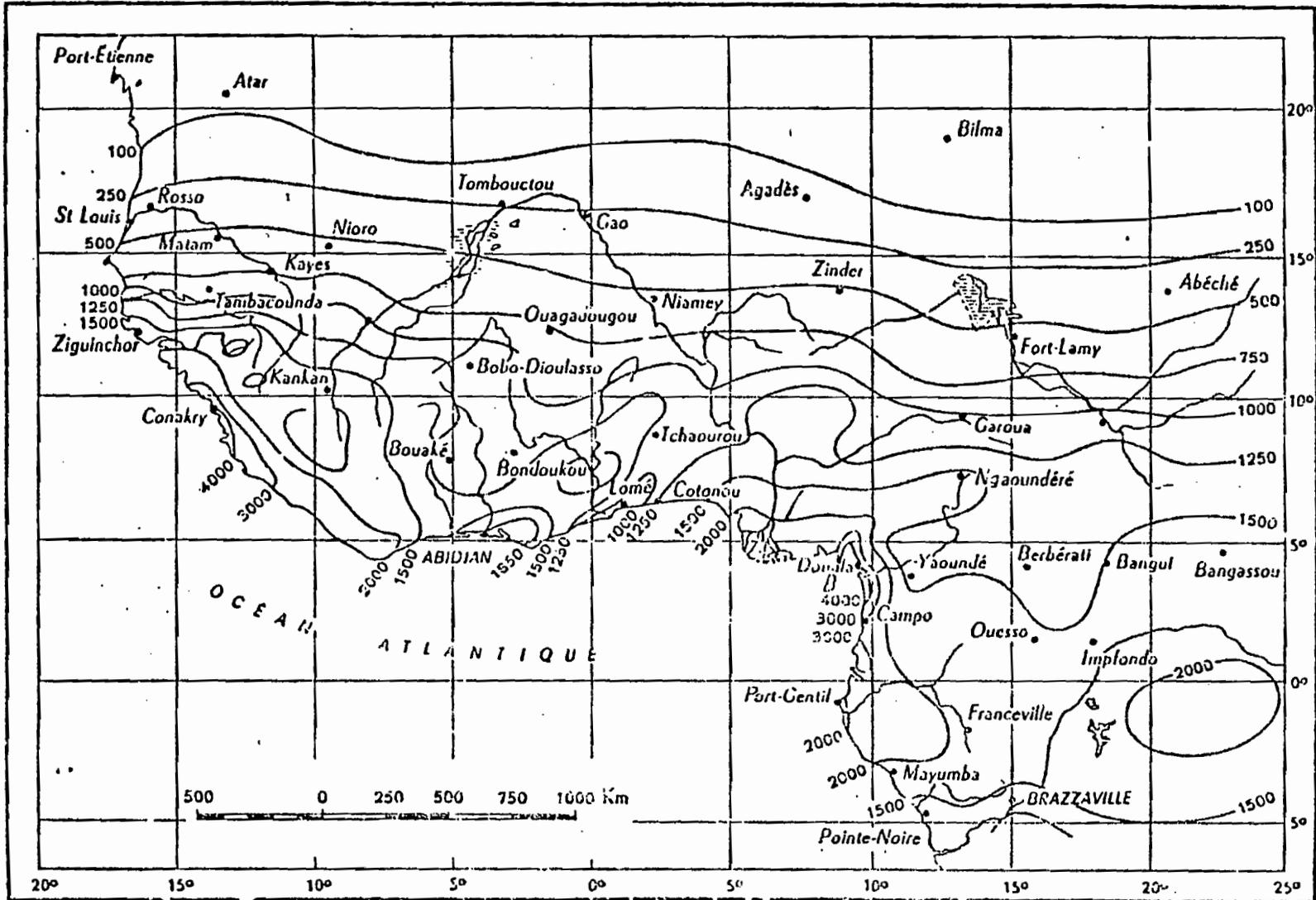


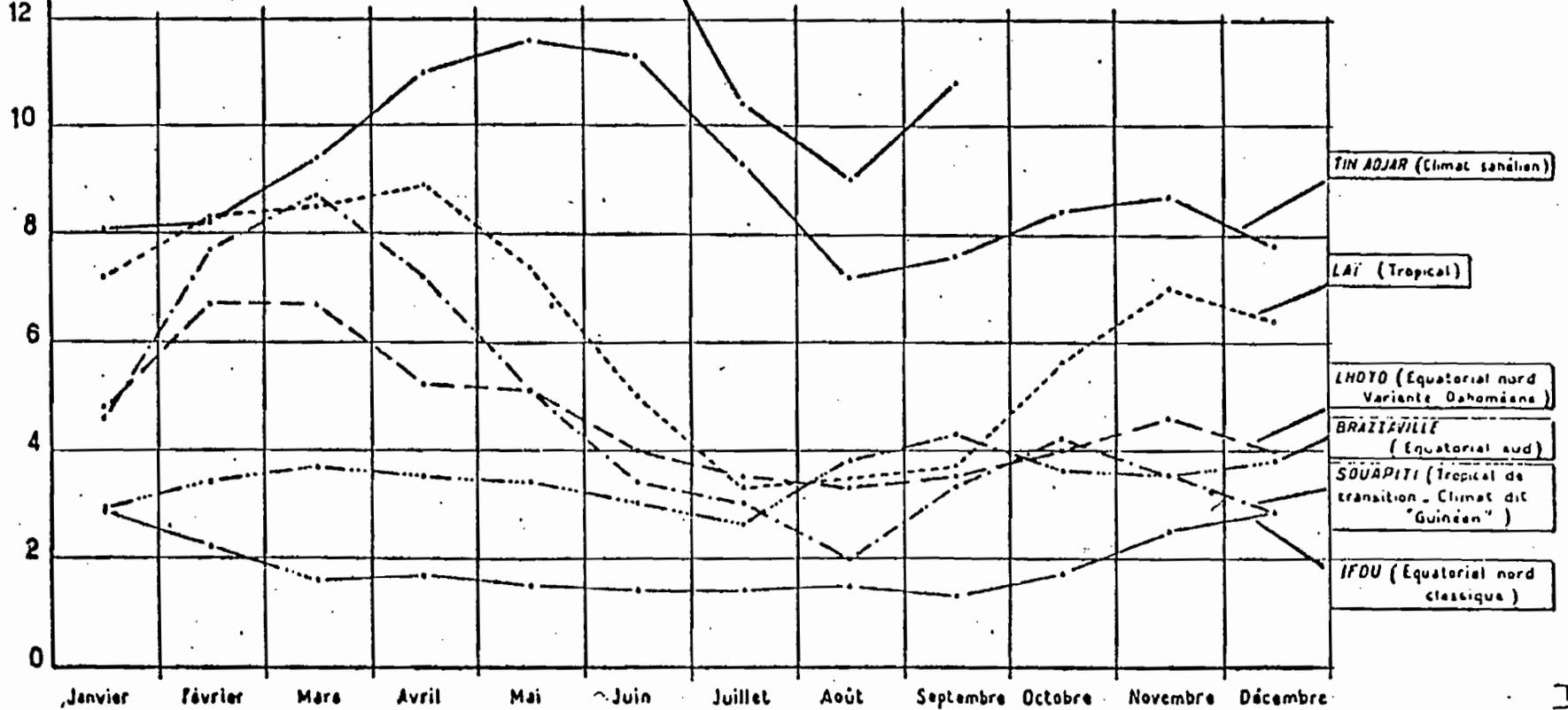
Fig.14

PLUVIOMÉTRIE ANNUELLE DE L'AFRIQUE NOIRE A L'OUEST DU CONGO



VARIATIONS DE L'ÉVAPORATION JOURNALIÈRE MOYENNE MENSUELLE SUR BAC  
 AU COURS DE L'ANNÉE POUR DIFFÉRENTS TYPES DE CLIMATS D'AFRIQUE NOIRE

Évaporation journalière moy.  
 mensuelle en mm/jour



Ainsi la Volta Noire et l'Aouk (affluent du Chari) ont un cours lent à très lent et l'hydrogramme de hautes eaux est mou et régulier. Le module spécifique est de 2,3 l/s/km<sup>2</sup> pour la VOLTA NOIRE, mais descend à 0,75 l/s/km<sup>2</sup> pour l'Aouak. Par contre la Bénoué affluent du Niger et qui descend des montagnes du Cameroun avec un cours supérieur à régime tropical de transition (plateau de l'ADAMAOUA) a un module spécifique de 8,4 l/s/km<sup>2</sup>, le Sénégal de 6,3 l/s/km<sup>2</sup>.

En régime tropical de transition les modules spécifiques sont beaucoup plus élevés : de 10 à 21 l/s/km<sup>2</sup>. Ce qu'il faut noter c'est qu'alors que les précipitations ne sont majorés que d'environ 50 % par rapport au régime tropical pur, les modules sont jusqu'à quadrupler dans certains cas.

On retrouve là encore une certaine dispersion : modules très élevés dans les régions accidentées et arrosées de l'ouest de l'Afrique Occidentale et du Sud-Ouest du Cameroun : 13 à 22 l/s/km<sup>2</sup> et jusqu'à 35 à 40 l/s/km<sup>2</sup> dans les régions bien arrosées du Fouta Djallon. On tombe à 9 et même 5 l/s/km<sup>2</sup> dans certaines régions de l'Empire Centrafricaine.

La distribution statistique des modules est en général normale ou très proche de la normale, comme l'est la distribution des précipitations annuelles. Pour des petits cours d'eau en régime tropical pur on pourra, si la rivière est mal alimentée, avoir une certaine asymétrie.

Pour tester l'irrégularité interannuelle nous utilisons de préférence au coefficient de variation, rapport de l'écart type à la moyenne, le rapport K<sub>3</sub> du décile humide au décile sec. Soulignons que ce rapport est un élément très important à prendre en compte pour l'aménagement et l'exploitation des réservoirs.

Pour les cours d'eau assez importants de régime tropical pur K<sub>3</sub> varie entre 2 et 3,5 il est proportionnel à la hauteur de précipitations annuelles. Pour le régime tropical de transition il varie entre 1,3 et 4,5. Il dépasse 2 pour les cours d'eau du Nord Ouest de la Côte d'Ivoire, mais ne dépasse pas 1,6 pour les régions les mieux arrosées, Fouta-Djallon, ADAMAOUA et pour les cours d'eau très réguliers du bassin de l'OUBANGUI. Pour l'OUBANGUI à BANGUI K<sub>3</sub> = 1,4.

Ces valeurs sont extrêmement faibles au plan mondial ce qui simplifie d'autant le travail de l'ingénieur, mais ce n'est pas le cas pour tous les régimes tropicaux - (Seine à Paris 4 à 5)

### 1.3.3. Les variations saisonnières des débits

La forme de l'hydrogramme varie suivant la dimension du bassin.

#### 1.3.3.1. Petits bassins (moins de 1000 km<sup>2</sup>)

En régime tropical pur, basses eaux apparemment débit nul pendant 6 mois de Décembre à Mai, alors qu'en régime tropical de transition le débit de basses eaux est assez souvent différent de zéro, surtout lorsque la hauteur de précipitation annuelle est supérieure à 1500mm. La différence tient essentiellement au fait que la saison sèche est plus courte, moins chaude et à l'existence fréquente d'une couverture latéritique d'une présence d'une nappe non négligeable. L'étiage absolu est alors compris entre 2,5 et 2 l/s/km<sup>2</sup>.

Le début de la saison des pluies qui se place en Mai ou Juin en tropical pur et en Avril-Mai dans le régime tropical de transition est marqué par quelques pluies isolées, puis une série de crues rapprochées plus brutales en tropical pur (bonne partie de la végétation a été brûlée en saison sèche) qu'en tropical de transition. Du fait du développement de la végétation les crues sont généralement moins violentes en tropical pur dans la seconde partie de la saison des pluies. Par contre le sol étant bien saturé les coefficients de ruissellement sont plus importants. En régime tropical de transition il n'y a pas de différences fondamentales entre les crues au fur et à mesure que l'on avance dans la saison des pluies. Ces crues s'étalent sur 3 mois pour le régime tropical pur et sur 5 mois pour le tropical de transition.

La courbe de tarissement qui achève la saison des pluies est courte et très nette en tropical pur, plus longue et souvent perturbée par des crues secondaires en tropical de transition.

En ce qui concerne le maximum annuel il est très variable et dépend surtout des caractères physiques et morphologiques des bassins.

Pour des terrains très perméables à pente faible et pour 25 km<sup>2</sup> la crue annuelle pourrait être limitée à 100 l/s/km<sup>2</sup> alors qu'avec une pente forte, une faible couverture végétale et un sol imperméable on atteindra 5000 l/s/km<sup>2</sup>. Par contre en régime tropical de transition où l'on a toujours une végétation plus dense la valeur supérieure serait de l'ordre de 3000 l/s/km<sup>2</sup>. Nous reviendrons sur ceci avec les crues exceptionnelles.

#### 1.3.3.2. Les grands bassins (plus de 10000 km<sup>2</sup>)

Les crues des divers affluents se composent pour former un hydrogramme de crue très dentelé, plus long en régime tropical de transition. Mais si les pentes sont faibles et les plaines d'inondation importantes on obtiendra une courbe vaguement en forme de cloche, comme pour la VOLTA NOIRE, l'AOUK et le CHARI.

Le débit de la crue est en relation directe avec le nombre des crues des petits affluents qui l'ont constitué, donc avec la hauteur de précipitation de la saison des pluies, c'est à dire finalement avec la hauteur de précipitation moyenne annuelle. L'influence de la pente et des zones d'inondation est très importante.

En régime tropical pur, les débits spécifiques de crue varient entre 25 et 80 l/s/km<sup>2</sup>. Mais si la pente est très faible on tombe à 7 l/s/km<sup>2</sup> (VOLTA NOIRE) et même 2,5 l/s/km<sup>2</sup> (AOUK).

En tropical de transition, les 2 zones fortement arrosées de l'ADAMAOUA et du FOUTA DJALION déterminent des débits de 50 à 90 l/s/km<sup>2</sup>, pouvant atteindre 120 à 200 l/s/km<sup>2</sup> sur les bassins de montagne. On retrouve également les 2 zones à faibles débits : Nord Est de la Côte d'Ivoire, 20 à 50 l/s/km<sup>2</sup> et RCA 13 à 30 l/s/km<sup>2</sup>.

En régime tropical de transition le débit spécifique de crue décroît beaucoup moins vite en fonction de l'augmentation de la superficie qu'en tropical pur.

Sur ces grands bassins la courbe de tarissement est très nette et le débit peut être représenté par la formule classique :  $Q = Q_0 e^{-at}$  ; a varie de 30 à 16 10<sup>-3</sup> (20 à 16 10<sup>-3</sup> pour les très grands bassins).

Attention : la période de hautes eaux suivantes peut être en retard de 15 jours à 1 mois ce qui rend les prévisions à long terme aléatoire. Les crues parasites du régime tropical de transition ne modifient pas profondément l'allure de la courbe de tarissement.

### 1.3.3. Distribution des crues - Crues exceptionnelles

#### 1.3.4.1. Petits bassins

Pour les petits bassins les crues exceptionnelles sont dues à une averse exceptionnelle de 24 heures ou moins. Pour la superficie standard de 25 km<sup>2</sup> le débit de la crue décennale varie entre 200 et 2000 l/s/km<sup>2</sup>, pouvant atteindre 5000 l/s/km<sup>2</sup> pour des zones imperméables et mal cultivées. Messieurs RODIER et AVVRAY de l'ORSTOM ont mis au point une note de calcul pour les crues décennales des bassins versants ne dépassant pas 200 km<sup>2</sup>. Cette note de calcul est bâtie de la façon suivante.

Les trois facteurs principaux sont divisés en catégories :

- 3 catégories pour la couverture végétale ;
- 6 " pour le perméabilité du sol P ;
- 6 " pour la pente R.

Des séries d'abaques donnent les coefficients de ruissellement pour la crue décennale pour différentes valeurs de P et de R en fonction de la superficie du bassin. Ainsi pour 10 km<sup>2</sup>, un sol rigoureusement imperméable P1, un relief montagneux R6, le coefficient de ruissellement sera de 80 %. A l'opposé avec une bonne couverture végétale pour la même surface, perméabilité P6 et relief R1, K pourra être de 2 à 3 %.

D'autres diagrammes donnent la durée de temps de ruissellement, des tableaux donnent le rapport entre débit de pointe et débit moyen de ruissellement. Tout ceci permet de calculer le débit de crue. On voit ainsi que pour la superficie type de 25 km<sup>2</sup> et toujours pour la fréquence décennale on trouve des débits variant entre 200 l/s/km<sup>2</sup> sol très perméable, très plat ou très mal drainé et 10.000 l/s/km<sup>2</sup> sol imperméable à très forte pente à faible couverture végétale.

En régime tropical de transition les valeurs maximales sont peut être moins élevées, peut être 4 à 5000 l/s/km<sup>2</sup> en sols très cultivés à assez forte pente. Pour ce régime de transition on trouve généralement entre 25 et 2000 l/s/km<sup>2</sup>.

Le débit décroît d'autant plus vite avec la surface que le climat est plus aride.

Exemples ou Nord Cameroun :

Pour	
10 km <sup>2</sup>	10.000 l/s/km <sup>2</sup>
25 km <sup>2</sup>	5.7000 l/s/km <sup>2</sup>
50 à 100 km <sup>2</sup>	2.3000 l/s/km <sup>2</sup>
500 à 1000 km <sup>2</sup>	300 à 500 l/s/km <sup>2</sup>

Il est de toute façon fortement recommandé de procéder à un examen approfondi sur le terrain après tout calcul de crue exceptionnelle par cette note.

#### 1.3.4.2. Grands bassins

Pour les grands bassins la crue dépend de l'abondance des précipitations en saison des pluies et de la pente et la distribution des crues n'est pas éloignée de la normale. Par exemple le Logone amont présente des distributions asymétriques : hypergaussienne, gaussio-logarithmique ou exponentielle (Goodrich) par exemple. A l'aval les immenses plaines d'inondation absorbent presque tous les excédents, le débit qui passe dans le chenal principal tend vers une limite quand la probabilité devient infiniment petite, la distribution asymétrique mais hypogaussienne. Dans le cours moyen, la distribution est normale. On trouve la même chose sur le Sénégal, le Niger, le Chari.

Sur la Sanaga et l'Oubangui la distribution est gaussique très tôt, du fait de l'influence régulatrice des galeries forestières.

Les régimes des grands cours d'eau dans cette même zone sont très voisins. Ainsi en est il pour le Chari et le Nil. Or le Nil est bien connu, l'expérience millénaire montre qu'on peut déterminer par des études statistiques des crues de période de retour de 500 et même 1000 ans. Comme les facteurs conditionnels sont les mêmes on est autorisé à le faire pour les fleuves tropicaux d'Afrique boréale.

Pour le Congo cela est déconseillé du fait de l'origine polygénique des crues. De toute façon il faut se méfier de l'échantillonnage l'existence de pseudocycles ou plutôt de phénomènes de persistance pouvant conduire par le choix de l'échantillon à sous-estimer ou surestimer de 20 à 30 % la valeur de la moyenne calculée sur une très longue période.

Pour la crue décennale on trouve en tropical pur de 60 à 100 l/s/km<sup>2</sup> ; En tropical de transition entre 60 et 120, l/s/km<sup>2</sup> (ADAMAOUA - FOUTA DJALLON) et 160 à 300 l/s/km<sup>2</sup> pour les zones montagneuses bien arrosées.

Le rapport entre la crue décennale et les crues de fréquence plus faible n'est pas très élevé.

	0,1	0,01
Niger à KOULIKORO	66 l/s/km <sup>2</sup>	80 l/s/km <sup>2</sup>
Oubangui à BANGUI	24 l/s/km <sup>2</sup>	32 l/s/km <sup>2</sup>

#### 1.3.5. Déficit d'écoulement

C'est une donnée relativement stable qui sera donc fort utile pour les estimations des modules annuels. Croissant du Nord au Sud, le déficit d'écoulement passe de 700 à 1200 - 1300 mm (valeur maximale)

Il croît avec les précipitations annuelles et en fonction inverse de la latitude. Le coefficient d'écoulement N/P peut atteindre 35 %, mais dans les régions peu arrosées il peut atteindre 10 % et même 5 % pour la Volta Noire, en régime tropical pur avec des pentes très faibles. A plus de 1000 m d'altitude, en régime tropical de transition le D E est un peu inférieur à 1000 m. Dans le Nord Est de la Côte d'Ivoire et le bassin de l'Oubangui les coefficients d'écoulement sont faibles 15 à 20 % dans le premier cas, 10 à 20 dans le second.

Les corrélations pluies annuelles - écoulements annuels ne sont valables que si les pluies sont abondantes. Si le D E est proche de la pluie pas d'intérêt.

#### 1.3.6. Les transports solides

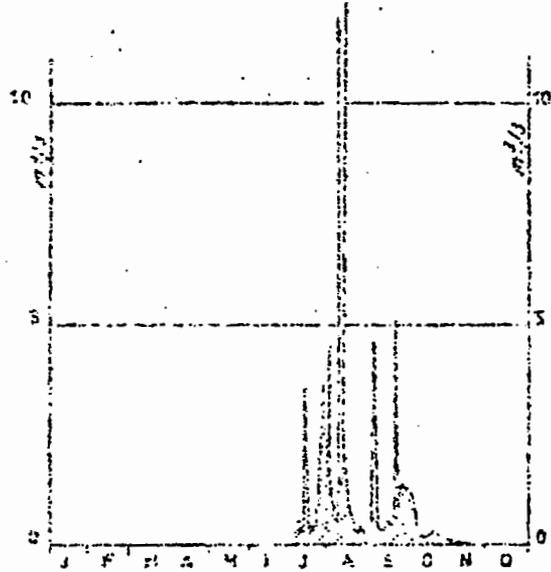
L'érosion peut être assez élevée sur une parcelle mal cultivée. En tropical pur sur quelques hectares 500 t/hectare/an de matières solides sans compter les produits dissous. L'érosion est un peu plus faible en tropical de transition.

Mais la proportion de terres cultivées est faible de sorte que dans l'ensemble les transports solides restent modestes. Pour des bassins de plus de 3 à 4000 km<sup>2</sup> la turbidité ne dépasse que rarement 300 à 400 g/m<sup>3</sup>. La turbidité est maximal en début de saison des pluies et tombe à 100 ou même 50 g/m<sup>3</sup> à la fin. Risques de comblement des retenues faibles, sauf pour certains petits bassins ou dans les cas très particuliers.

RÉGIME TROPICAL PUR

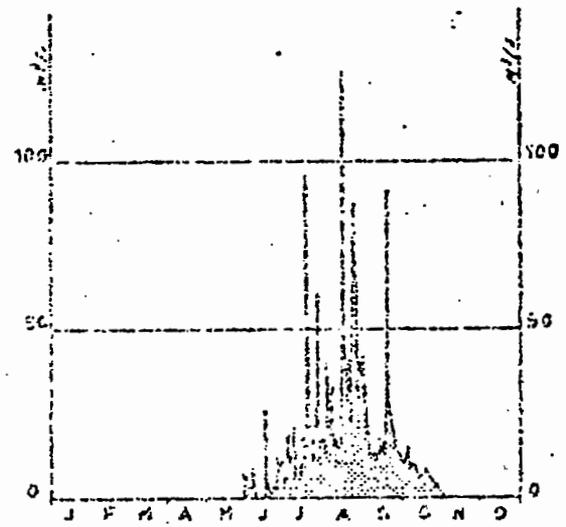
LE DINTIKO A MADINA

922 Km<sup>2</sup>  
(MALI)  
Débits en 1953



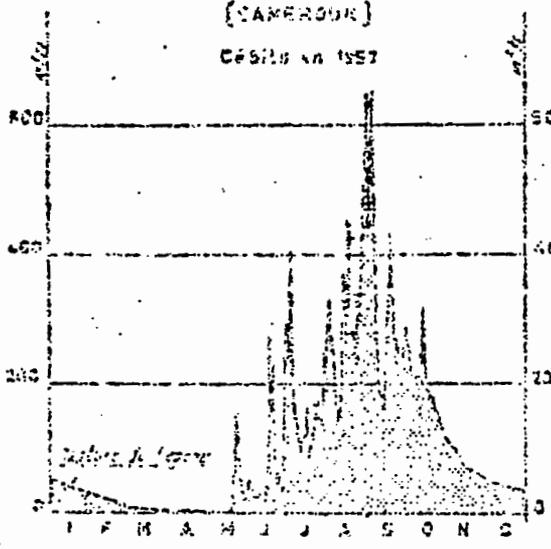
LA YSANAGA A MAROUA

932 Km<sup>2</sup>  
(CAMEROUN)  
Débits en 1954



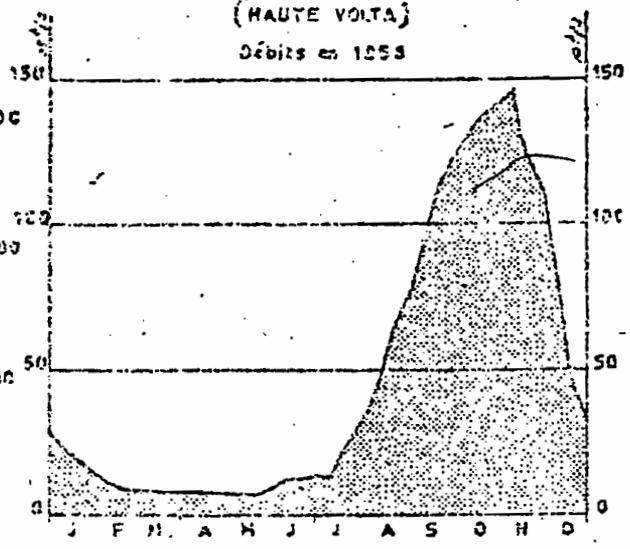
LE MAYO-KÉBI A COSSI

28.000 Km<sup>2</sup>  
(CAMEROUN)  
Débits en 1957



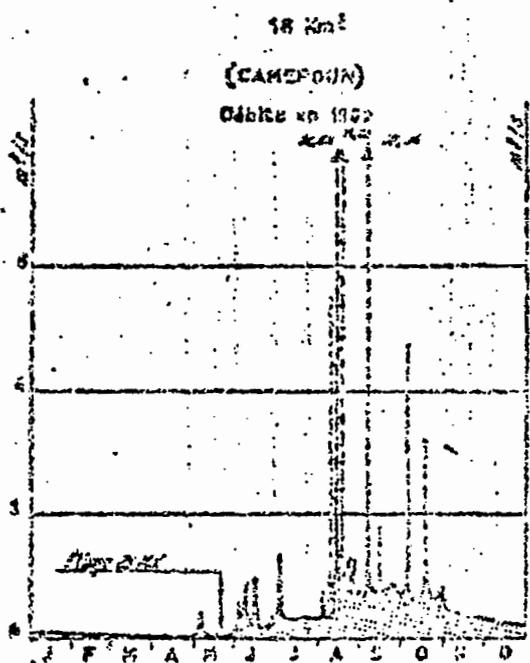
LA VOLTA NOIRE A KOURI

20.000 Km<sup>2</sup>  
(HAUTE VOLTA)  
Débits en 1953

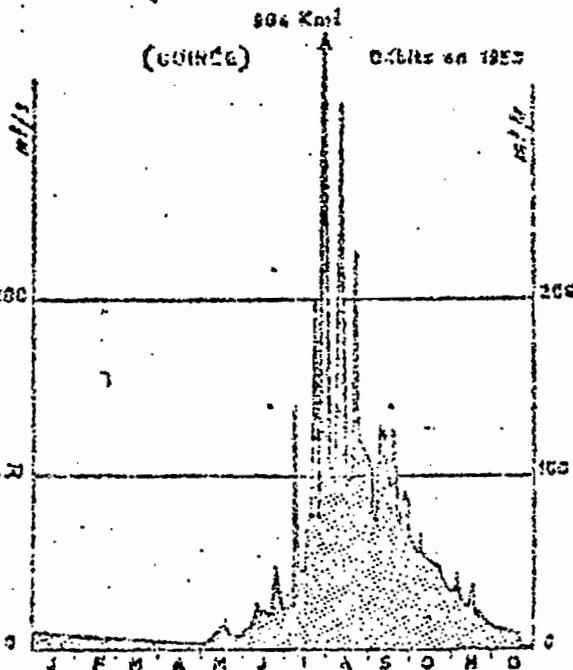


RÉGIME TROPICAL DE TRANSITION

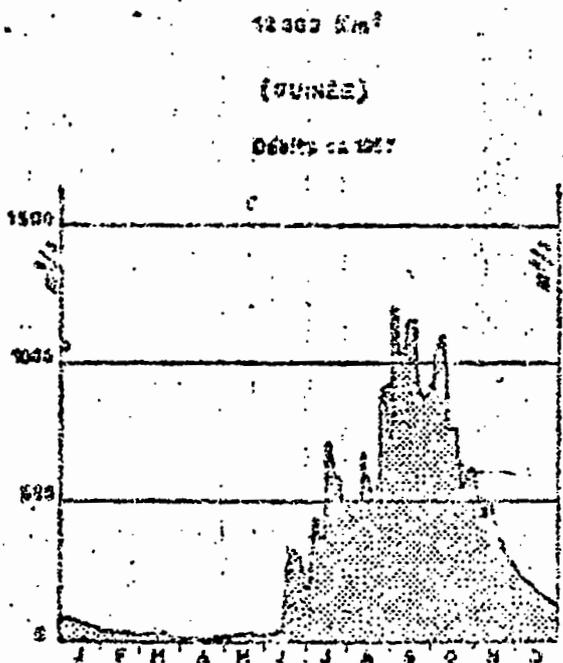
SASSIN EXPÉRIMENTAL DE BOUMBOUSSOU



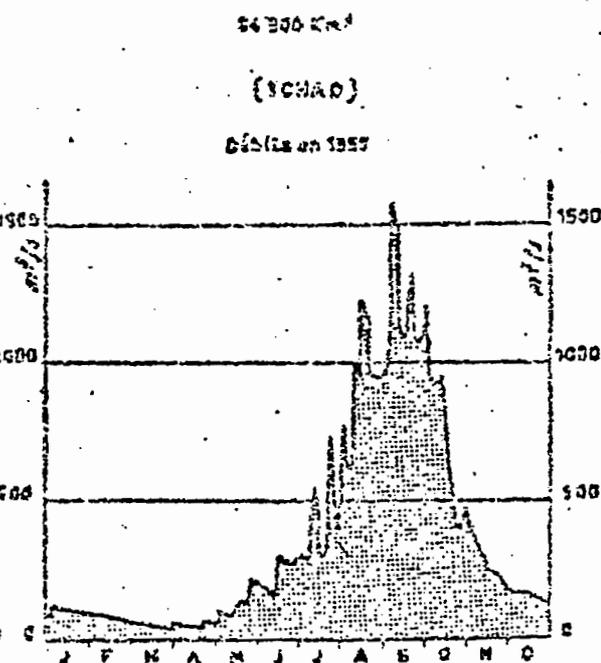
LE SAMOU A GRANDES CHUTES



LE NIANDAN A BARO



LE LOGNE A MOUNDOU



## A N N E X E S

### SEANCE D'APPLICATION SUR LA METHODE

#### DE L'HYDROGRAMME UNITAIRE

#### OBJET DE L'ETUDE

Il s'agit de déterminer une "caractéristique hydraulique" d'un bassin de plusieurs kilomètres carrés, représentant une fonction de transfert simple pluie-débit.

La connaissance de "l'hydrogramme-type" d'un bassin permet l'établissement de caractéristiques d'écoulement propres au bassin et le calcul des crues de différentes fréquences, la pluviométrie et le coefficient de ruissellement relatif à chacun de ces événements étant supposés connus par ailleurs.

#### RAPPEL THEORIQUE

La méthode de l'hydrogramme unitaire qui s'applique à la partie du ruissellement pur de l'écoulement s'appuie sur trois principes fondamentaux :

- 1 - l'hydrogramme "unitaire" provient d'une averse "unitaire" répondant aux caractéristiques suivantes :
  - homogénéité dans le temps et dans l'espace,
  - intensité suffisante pour créer un ruissellement sur l'ensemble du bassin,
  - durée du corps de l'averse inférieure ou égale au tiers du temps de montée de l'hydrogramme.
- 2 - Les hydrogrammes provenant d'averses unitaires sont "affins" entre eux : c'est la PROPRIETE D'AFFINITE.
- 3 - Les hydrogrammes de ruissellement partiels correspondant chacun à une partie de l'averse (dont la durée totale est supérieure à la durée limite du paragraphe 1) s'additionnent : c'est la PROPRIETE D'ADDITIVITE.

L'observation stricte du principe n° 1 limite l'application de cette méthode (dite méthode globale) à des bassins ayant moins de 100 à 200 km<sup>2</sup>. Pour des superficies plus grandes, on doit utiliser la méthode matricielle (hydrogramme synthétique) beaucoup plus élaborée.

### ORGANISATION DE L'APPLICATION

Soit un bassin de  $2,75 \text{ km}^2$ , à l'exutoire duquel on a pu observer, au cours des années 1963 et 1964, dix crues notables (tableau I).

a) - Choix des crues provenant d'averses unitaires.

De cet échantillon, on retiendra les quatre crues pouvant être considérées comme "unitaires" suivant les informations contenues dans le tableau I.

b) - Calcul de "l'hydrogramme-type du bassin".

En appliquant le principe d'affinité des crues, on ramènera chacune des crues retenues à un volume ruisselé de  $27\ 500 \text{ m}^3$  correspondant à une lame d'eau ruisselée  $H_R$  de 10 millimètres.

Chaque hydrogramme de ruissellement sera découpé en intervalles de temps égaux à 1 heure de façon que l'un d'eux (côté 0) encadre le maximum de crue. Les autres intervalles seront cotés : - 1 h, - 2 h ou + 1 h, + 2 h ..... par rapport à celui-ci.

L'hydrogramme-type du bassin sera obtenu en prenant la moyenne des quatre hydrogrammes de ruissellement ramenés à une lame d'eau de 10 millimètres.

Le tracé graphique des hydrogrammes est recommandé mais n'est pas obligatoire.

c) - Calcul des paramètres relatifs à l'hydrogramme.

A partir de l'hydrogramme-type ainsi établi, on calculera :

- le temps de montée  $t_m$  (arrondi en heures)
- le temps de base  $t_b$  (arrondi en heures)
- le rapport  $\chi$ , rapport du débit maximal ruisselé au débit moyen (volume ruisselé divisé par le temps de base).

d) - Application de la propriété d'additivité des hydrogrammes partiels de ruissellement.

= calcul de la crue décennale du bassin à partir d'une averse à 2 corps séparés par 1 heure d'intervalle.

Supposons que la crue décennale soit provoquée par une averse de 120 mm formée de deux corps de 30 mm chacun, séparés par une demi-heure de précipitations à faibles intensités (1).

Cette averse n'étant pas unitaire doit être scindée en deux.

La première partie de l'averse donne un hydrogramme partiel dont la lame d'eau ruisselée est de 5 mm (2).

Le seconde partie de l'averse donne un second hydrogramme partiel dont la lame d'eau ruisselée est de 15 mm et qui est décalé de 1 heure par rapport au premier (3).

On calculera, heure par heure, les valeurs (en  $m^3/s$ ) de l'hydrogramme résultant de la composition des deux hydrogrammes partiels et l'on indiquera la valeur du débit maximal total (le débit de base, qui vient s'ajouter au débit ruisselé étant de 0,200  $m^3/s$ ).

- 
- (1) - Cette supposition n'est pas gratuite, elle s'applique en fait à un cas réel (bassin de l'AMITIORO en Côte d'Ivoire) ou l'on connaît avec une bonne précision, grâce à la station pluviométrique de Tiassale, la valeur de l'averse décennale journalière ponctuelle).
- (2) et (3) - L'estimation de la lame d'eau ruisselée est très délicate et dépasserait largement le temps alloué à cet exercice. Il faut en effet d'abord étudier le passage de la pluie ponctuelle à la pluie moyenne sur le bassin (problème de l'abattement) puis estimer le coefficient de ruissellement de celle-ci. On utilise en général la méthode des déviations résiduelles ou la relation pluie moyenne - Coefficient de ruissellement évaluée à partir des données observées et améliorée par un ou des facteurs correctifs (indice d'humectation du sol, débit de base etc...) Dans cette méthode graphique on peut d'ailleurs remplacer directement le coefficient de ruissellement par la lame d'eau ruisselée correspondante.

- TABLEAU I -1 - CRUE DU 24 JUIN 1963

<u>HYDROGRAMME</u>	
<u>Heure</u>	<u>Débit</u> <u>(m<sup>3</sup>/s)</u>
15 h 50	0
16 h 10	0,600
16 h 30	0,650
17 h	0,600
18 h	0,480
19 h	0,330
20 h	0,180
21 h	0,120
22 h	0,030
23 h	0

AVERSE

- Ruissellement sur la moitié aval du bassin
- Averse peu homogène
- Corps de l'averse : 20 mm

$H_R = 3,00$  mm.  
(lame d'eau ruisselée)

2 - CRUE DU 25 JUIN 1963

<u>Heure</u>	<u>Débit</u> <u>(m<sup>3</sup>/s)</u>
15 h 50	0
16 h	0,050
17 h	0,980
18 h	1,16
19 h	0,900
20 h	0,420
21 h	0,162
22 h	0,010
22 h 10	0

- Ruissellement sur la totalité du bassin

- Averse homogène
- Corps de l'averse : 30 mm

$H_R = 4,9$  mm.

3 - CRUE DU 19 SEPTEMBRE 1963

<u>Heure</u>	<u>Débit</u> <u>(m<sup>3</sup>/s)</u>
17 h 50	0
18 h 10	0,500
19 h	2,80
19 h 20	3,05
20 h	2,80
21 h	2,00
22 h	1,40
23 h	0,700
24 h	0,300
01 h	0,150
02 h	0

- Ruissellement sur la totalité du bassin

- Averse homogène dans l'espace mais présentant deux pointes à fortes intensités à 1 heure d'intervalle.
- Corps de l'averse : 90 mm

$H_R = 13,9$  mm.

## - TABLEAU I -

(suite)

4 - CRUE DU 20 SEPTEMBRE 1963

<u>HYDROGRAMME</u>	
<u>Heure</u>	<u>Débit</u> <u>(m<sup>3</sup>/s)</u>
17 h 40	0
18 h	0,400
19 h	1,45
19 h 20	1,55
20 h	1,31
21 h	0,61
22 h	0,24
23 h	0,06
23 h 20	0

AVERSE

- Ruissellement sur la totalité du bassin
- Averse centrée sur la partie aval du bassin
- Corps de l'averse : 50 mm.
- $H_R = 5,3$  mm.

5 - CRUE DU 1 AU 2 OCTOBRE 1963

<u>Heure</u>	<u>Débit</u> <u>(m<sup>3</sup>/s)</u>
22 h	0
23 h	0,800
24 h	0,750
01 h	0,620
02 h	0,310
03 h	0,190
04 h	0,050
04 h 30	0

- Ruissellement sur la totalité du bassin
- Averse hétérogène
- Corps de l'averse : 35 mm
- $H_R = 3,2$  mm..

6 - CRUE DU 22 OCTOBRE 1963

<u>Heure</u>	<u>Débit</u> <u>(m<sup>3</sup>/s)</u>
11 h 50	0
12 h	0,010
13 h	0,770
14 h	1,01
15 h	0,800
16 h	0,330
17 h	0,090
18 h	0

- Ruissellement sur la totalité du bassin
- Averse homogène
- Corps de l'averse : 30 mm.
- $H_R = 4,1$  mm.

7 - CRUE DU 8 MAI 1964

<u>Heure</u>	<u>Débit</u> <u>(m<sup>3</sup>/s)</u>
15 h 30	0
16 h	0,615
16 h 20	0,750
17 h	0,815
17 h 20	0,880
18 h	0,800
18 h 20	0,710
19 h	0,400
19 h 20	0,275
20 h	0,090
20 h 20	0,049
21 h	0

AVERSE

- Ruissellement sur la totalité du bassin
- Averse homogène
- Corps de l'averse : 20 mm.

$$H_R = 3,5 \text{ mm.}$$

8 - CRUE DU 21 MAI 1964

<u>Heure</u>	<u>Débit</u> <u>(m<sup>3</sup>/s)</u>
15 h 30	0
16 h	0,250
17 h	0,400
18 h	0,380
19 h	0,300
20 h	0,220
21 h	0,150
22 h	0,100
23 h	0,050
24 h	0

- Ruissellement sur les 4/5 du bassin
- Averse homogène
- Corps de l'averse : 40 mm

$$H_R = 2,4 \text{ mm.}$$

9 - CRUE DU 20 JUIN 1964

<u>Heure</u>	<u>Débit</u> <u>(m<sup>3</sup>/s)</u>
14 h	0
15 h	0,470
16 h	0,720
17 h	0,740
18 h	0,650
19 h	0,400
20 h	0,200
21 h	0,080
22 h	0,030
22 h 30	0

- Ruissellement sur la totalité du bassin
- Averse hétérogène
- Corps de l'averse : 45 mm.

$$H_R = 4,0 \text{ mm.}$$

10 - CRUE DU 30 JUIN 1964

<u>Hydrogramme</u>		<u>Averse</u>
<u>Heure</u>	<u>Débit</u> <u>m<sup>3</sup>/s)</u>	
17 h	0	
18 h	0,535	- Ruissellement sur la
19 h	0,610	totalité du bassin
20 h	0,470	- Averse homogène
21 h	0,195	- Corps de l'averse : 30 mm.
22 h	0,065	
23 h	0	

$$H_R = 2,5 \text{ mm.}$$

N.B. Pour chaque crue, le débit maximum indiqué correspond réellement à la pointe de crue.