

*NOTES TECHNIQUES
DU CENTRE ORSTOM
DE N'DJAMÉNA*

N° 5

LES METHODES DE MESURES EN HYDROLOGIE
ET LEUR MISE EN ŒUVRE EN REPUBLIQUE DU TCHAD



A. CHOURET

LA RECHERCHE DE BASE AU SERVICE DU DEVELOPPEMENT

LES METHODES DE MESURES EN HYDROLOGIE
ET LEUR MISE EN OEUVRE EN REPUBLIQUE DU TCHAD

par
A. CHOURET

Le débit d'une rivière, c'est-à-dire le volume d'eau écoulé en un point donné, varie en fonction du temps. L'étude des régimes hydrologiques exige de connaître ce débit à un instant donné. La connaissance de ces régimes a un gros intérêt, non seulement scientifique, mais également économique par les applications sur lesquelles elle débouche : problèmes d'irrigation, réserves en eau, hydroélectricité, alimentation des villes en eau, hydraulique urbaine, dimensionnement et protection des ouvrages d'art.

Comme il serait très coûteux de faire à chaque observation une mesure de débit (jaugeage), on établit la loi liant la hauteur d'eau d'une station sur la rivière au débit calculé par le jaugeage. On obtient ainsi un tarage ou étalonnage de la station. Bien que cette loi puisse se modifier en fonction du temps, on admet que des observations des hauteurs d'eau et des mesures de débits effectuées pour différentes hauteurs permettent de l'établir et d'étalonner une station (fig. 1).

Le CHARI à CHAGOUA

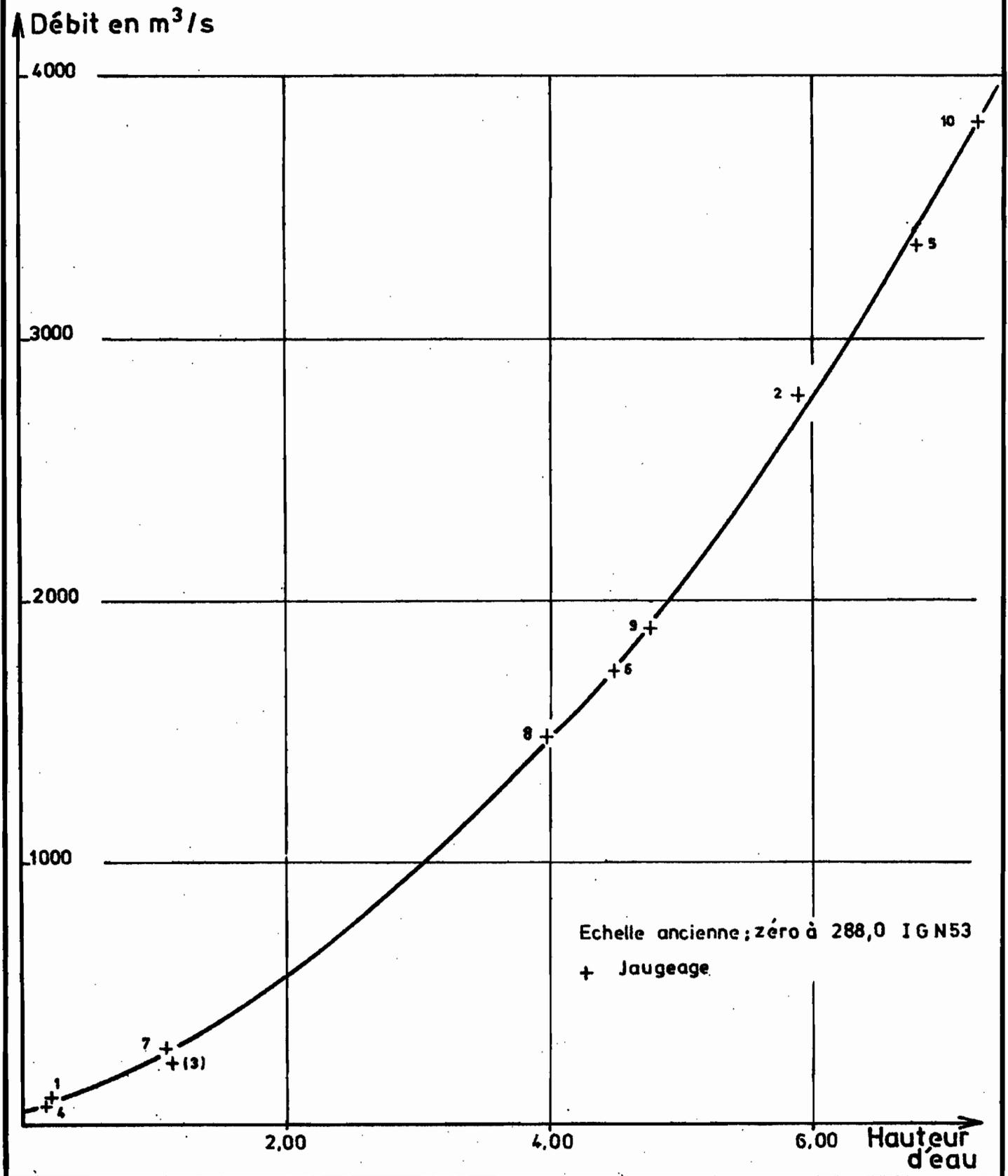


Fig. 1 - Courbe de tarage

LA MESURE DES HAUTEURS

1 - Echelles limnimétriques

Une échelle limnimétrique est une plaque graduée, en métal émaillé ou non, en bois, en ciment, installée de telle façon que son extrémité inférieure trempe toujours dans l'eau même lors des étiages (basses eaux) les plus sévères.

En Afrique, l'ORSTOM n'utilise plus actuellement que la tôle émaillée. Les échelles sont préparées par élément de 1 m percé de 6 trous de fixation.

Le choix de l'emplacement d'une station limnimétrique est variable suivant plusieurs facteurs dont les principaux sont :

- but de l'étude (emplacement des futurs ouvrages par exemple) ;
- possibilité d'une bonne section de jaugeages ;
- possibilité de recruter un lecteur et facilité d'accès.

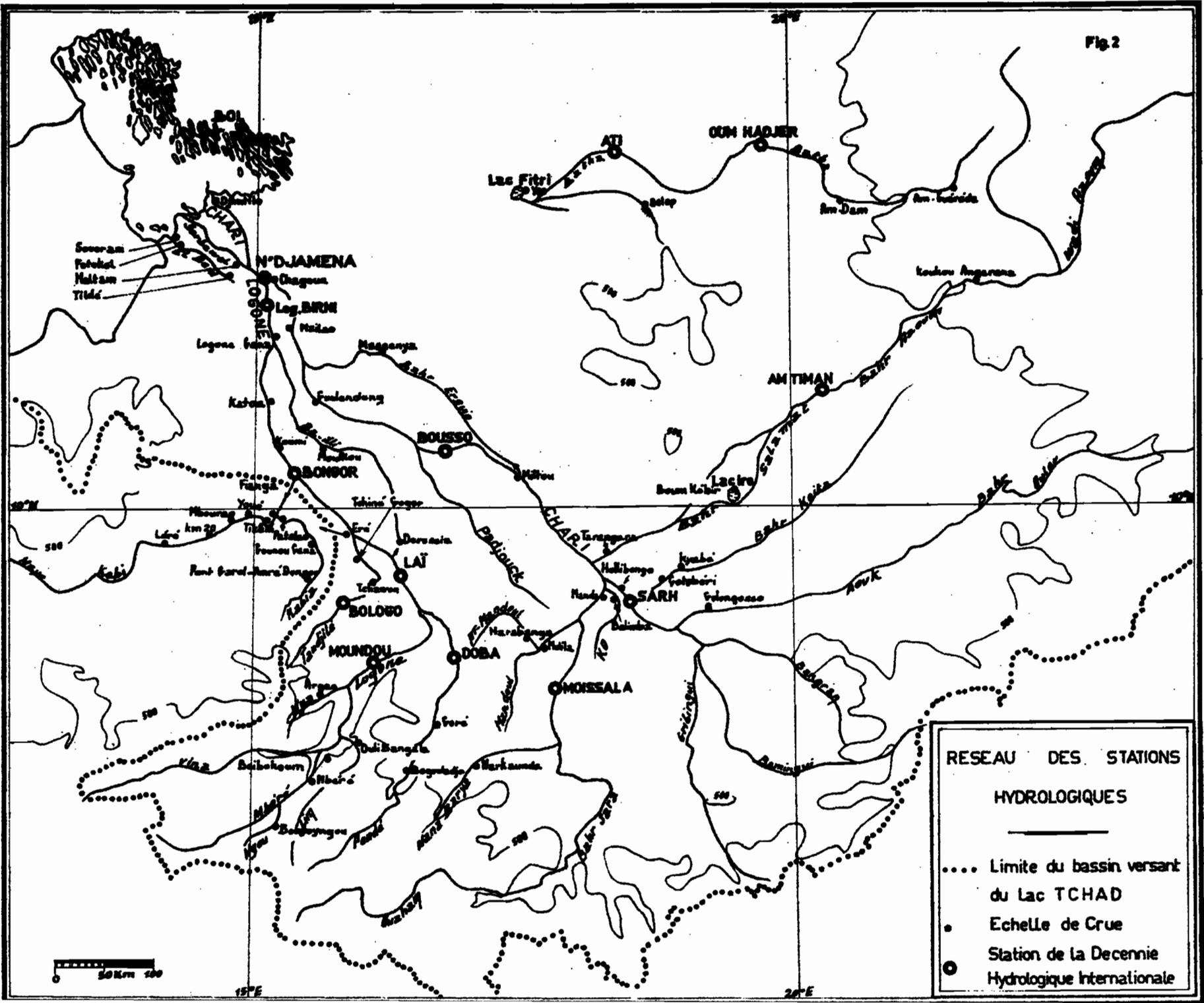
Après avoir installé une échelle, il est nécessaire de niveler son zéro par rapport à un repère fixe (borne de nivellement située en dehors de la limite des plus hautes eaux) qui sera si possible rattaché au nivellement général du pays.

L'échelle est lue, une, deux ou trois fois par jour, suivant le régime de la rivière et les résultats sont portés sur un carnet d'observations.

Les principaux caractères de l'Hydrologie du Tchad peuvent se résumer ainsi :

- les régimes désertiques et subdésertiques couvrent la moitié Nord du pays où les rivières coulent généralement moins de 10 jours ;
- un quart seulement du pays, dans le Sud, bénéficie de rivières à écoulement permanent ;

Fig. 2



**RESEAU DES STATIONS
HYDROLOGIQUES**

- Limite du bassin versant
du Lac TCHAD
- Echelle de Crue
- Station de la Decennie
Hydrologique Internationale

- les deux cours d'eau essentiels du Tchad, le Chari et le Logone sont alimentés à 90 % par des affluents extérieurs au Tchad ;
- près de la moitié de la zone agricole du Tchad qui est située au Sud du 13^e parallèle est inondée en saison des pluies.

Le réseau hydrologique du Tchad comporte 55 stations (fig. 2) réparties sur le lac Tchad, les bassins du Logone, du Chari, de la Bénoué (Mayo-Kebbi) et du Batha, la majorité des stations ont été créées vers 1950 par la mission scientifique Logone-Tchad. Seul le Chari à N'Djaména est observé depuis 1932.

Toutes les rivières présentent un étiage en avril-mai et une période de hautes eaux de août à novembre. Les stations supérieures du Logone ont fréquemment plusieurs pointes de crues qui se réduisent à une seule à partir de Bongor. Les stations tchadiennes du Chari et de ses affluents ont un seul maximum de crue qui se situe en septembre-octobre pour les stations supérieures et fin octobre-début novembre à N'Djaména.

2 - Limnigraphes

Ce sont des appareils qui permettent d'obtenir un enregistrement continu des variations du plan d'eau. Ils équipent principalement les stations où les crues sont violentes et brèves (stations amont du Logone) ou difficiles d'accès (fles du lac Tchad).

Fonctionnement (fig. 3)

Les limnigraphes à flotteurs sont utilisés le plus fréquemment. Dans ce type d'appareil, on enregistre, avec une démultiplication appropriée, les mouvements d'un flotteur suivant les variations du niveau de l'eau dans la rivière. Ces appareils sont constitués par un organe transmetteur (flotteur, câble, poulie de réduction) et un organe récepteur (stylet et tambour actionné par un mouvement d'horlogerie).

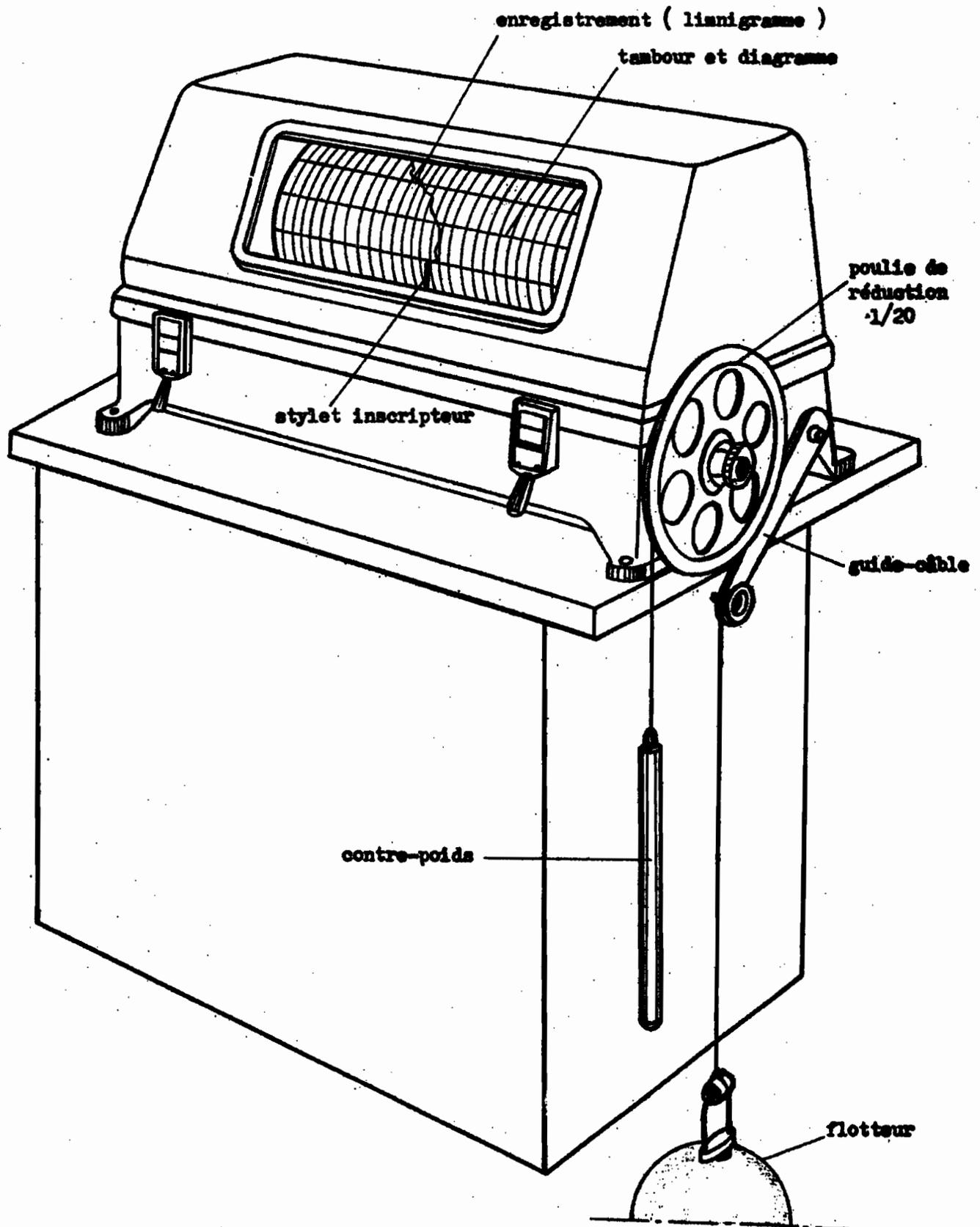


Fig. 3 - Limnigraphe mécanique OTT - X

Les réductions peuvent varier de 1/1 à 1/20, la durée de l'enregistrement est de 1, 8 ou 32 jours. Certains appareils sont pourvus d'une table déroulante à la place du tambour et d'un mouvement de remontage automatique électrique qui leur assurent une durée de marche de six mois, mais leur maintenance est assez délicate*.

Installation des limnigraphes (fig. 4)

Du point de vue hydraulique, l'emplacement du limnigraphe requiert les mêmes conditions que celui d'une échelle. Les travaux d'installation sont souvent plus importants et dépendent de nombreux facteurs (vitesse du courant, fortes crues, nature des berges, durée et buts de l'étude).

Tout limnigraphe doit être doublé d'une échelle dite échelle de contrôle, située le plus près possible de l'appareil. A chaque visite, on contrôle la correspondance échelle-limnigraphe.

Sur les 55 stations du réseau hydrologique tchadien, 10 sont équipées de limnigraphes en particulier sur le bassin amont du Logone (brièveté et violence des crues). Certaines installations correspondent en outre à des besoins ou des études particulières (Usine COTONTCHAD de Gounou-Gaya sur la Kabia, problème du pont de Moundou sur le Logone).

* La Division Technique Générale d'Electricité de France a mis au point un limnigraphe, ou limnigraphe parlant, dans lequel les cotes sont enregistrées sur un ruban magnétique continu. Le déplacement du flotteur commande celui des têtes magnétiques (trois dans le cas d'une cote désirée à 3 chiffres significatifs : m, dcm, cm). La bande des mètres porte également l'indicatif de la station. Pour la télétransmission, le limnigraphe se comporte comme un abonné ordinaire au téléphone.

On commence également à mettre en service des limnigraphes qui, au lieu de tracer un diagramme continu de la hauteur de l'eau, inscrivent les indications du flotteur sur un ruban mécanographique en le perforant à heures fixes suivant un code déterminé. Le dépouillement peut être confié directement à un ordinateur.

Dans les limnigraphes à mesure de pression, l'enregistrement de la hauteur du niveau est proportionnel à la pression exercée sur la prise en rivière. L'air arrive d'une bouteille d'air comprimé par l'intermédiaire d'un détendeur. La maintenance de ces appareils est souvent assez complexe.

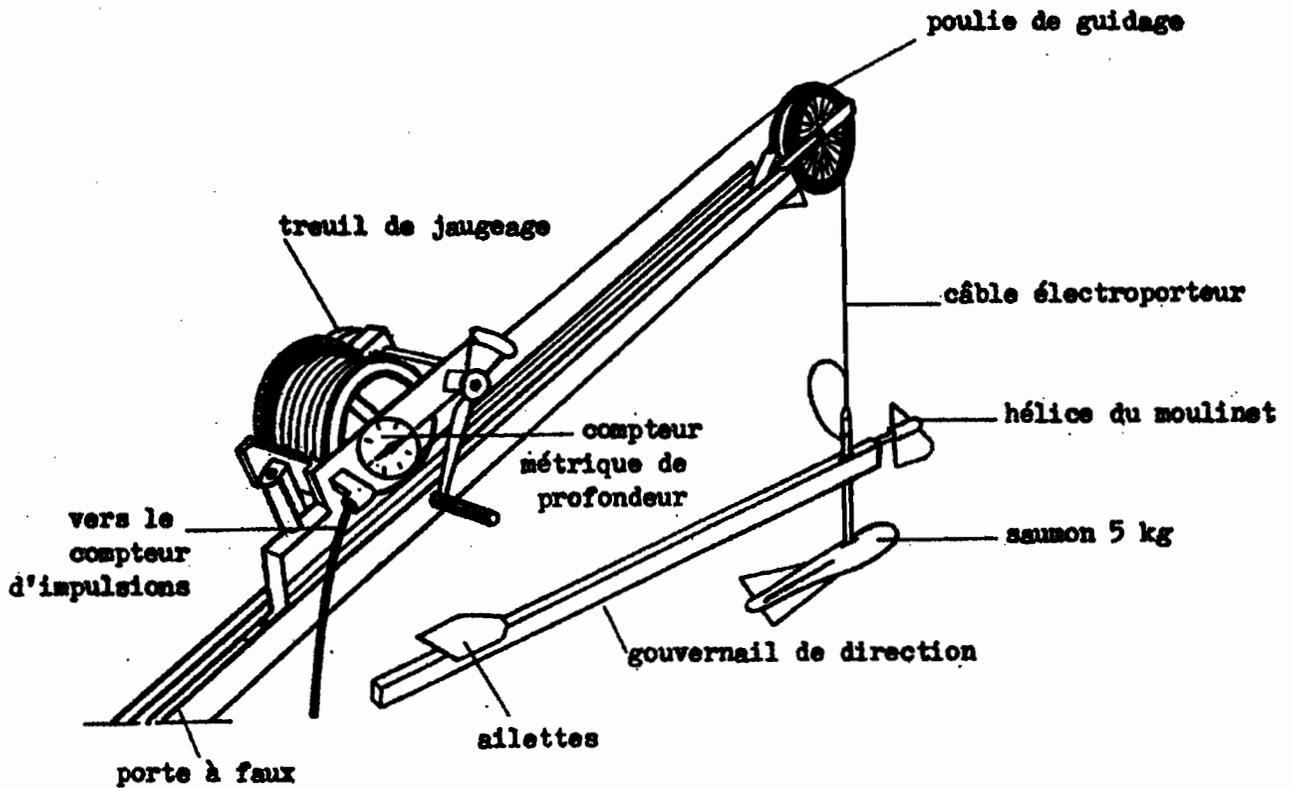


Fig. 6 - Dispositif de montage du moulinet pour jaugeage depuis embarcation

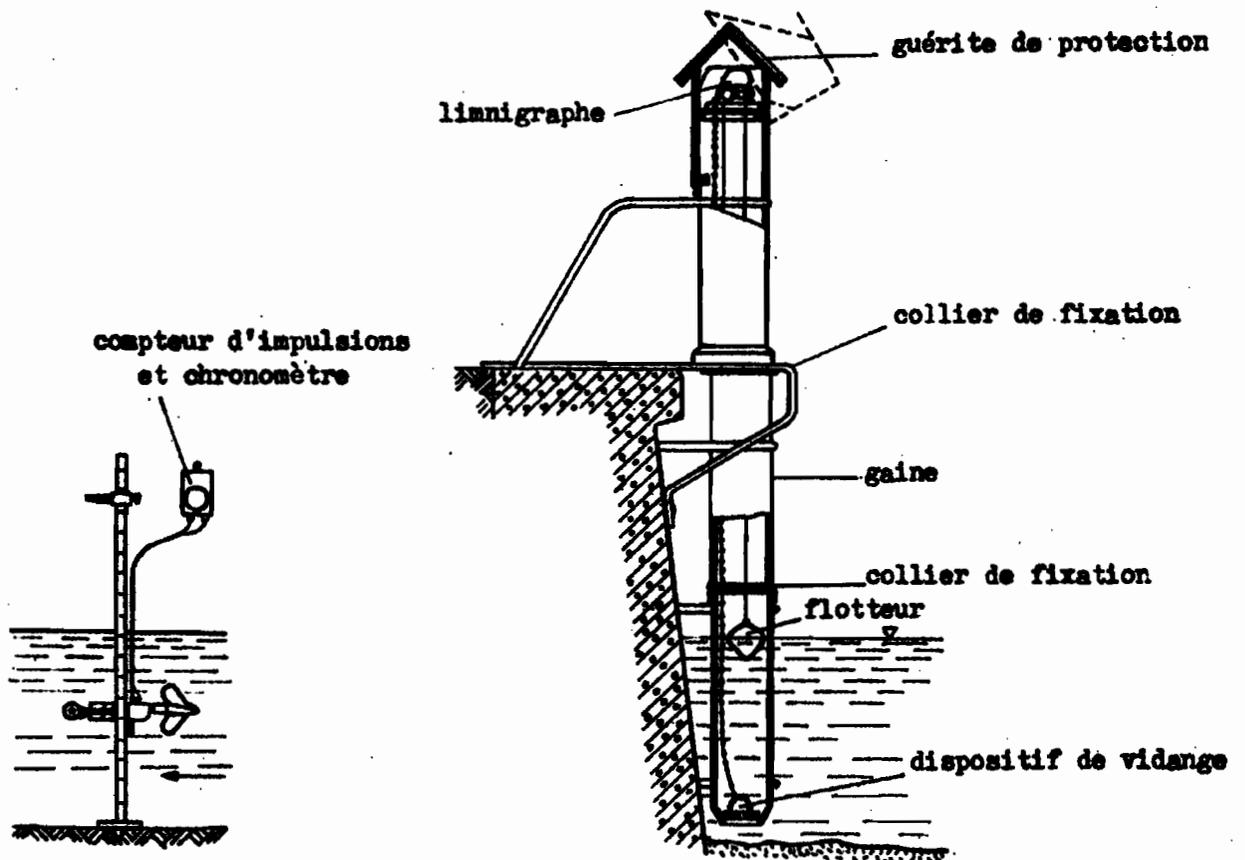


Fig. 5 - Moulinet fixe sur perche

Fig. 4 - Installation d'un limnigraphe en rivière depuis un quai .

Le réseau actuel échelles et limnigraphes est suffisant, vu l'état d'avancement des études, mais doit être maintenu tel quel pendant encore de nombreuses années.

En effet, on estime généralement que ce n'est qu'après cinquante années d'observations, dans l'exemple simple de l'Afrique tropicale, que l'on peut connaître parfaitement les cas extrêmes des crues et étiages. Ces connaissances sont indispensables pour de nombreux projets de construction (ouvrages d'art, routes...) ou d'aménagement (irrigation, aménagements hydroélectriques). Or, si le Chari à N'Djaména est observé depuis 1932, par contre, la plupart des stations hydrologiques ne datent que des années 1950.

LA MESURE DES DEBITS

La méthode la plus fréquente consiste à explorer le champ des vitesses dans une section déterminée.

1 - Matériel de jaugeages

Les mesures de la vitesse du courant se font avec un appareil hydrométrique dit moulinet, composé d'un organe mobile (hélice) qui détecte la vitesse du courant. Pour un nombre de tours d'hélice donné, un contacteur ferme un circuit électrique et transmet les indications sur un organe compteur (compteur d'impulsions et chronomètre couplé).

Il existe des moulinets adaptés à des usages particuliers (micro-moulinets) pour les mesures en déversoirs ou à très faibles profondeurs (jaugeages d'étiages).

Tous ces appareils sont livrés avec un tarage sur lequel figure la formule à utiliser pour calculer les vitesses à partir du nombre de tours par seconde de l'hélice.

Pour la mesure en rivière, en particulier à gué, le moulinet est monté sur une perche graduée (fig. 5). Des dispositifs spéciaux permettent d'effectuer des mesures à la perche depuis un canot ou une passerelle.

Dans le cas de jaugeages à partir d'un bateau, le moulinet est monté sur un poids de lestage profilé appelé saumon (fig. 6). Le moulinet est fixé soit en bout, sur le nez du saumon par l'intermédiaire d'une pièce de jonction appropriée, soit au-dessus du saumon, sur une biellette articulée. Dans tous les cas, le montage est complété par des ailettes de direction ou une barre d'équilibrage. Souvent un contact de fond permet à l'opérateur de savoir lorsque l'appareil touche le lit de la rivière. Le moulinet est suspendu par un câble électroporteur et manoeuvré par un treuil de jaugeage avec compteur et dispositif de descente incorporé ; les embarcations utilisées sont de différents types : le modèle le plus utilisé par le Service hydrologique de l'ORSTOM est le canot pneumatique*.

2 - Procédés de jaugeages

Jaugeage au moulinet

Le jaugeage au moulinet consiste à explorer le champ des vitesses dans la section à travers laquelle on veut mesurer le débit liquide : l'emplacement idéal d'une section est tel que les filets liquides soient bien parallèles entre eux, que les vitesses soient suffisantes pour une bonne utilisation du moulinet et constantes dans le temps pour une même hauteur à l'échelle. Bien souvent, en particulier en basses eaux, il est nécessaire de procéder à des aménagements des sections de mesures pour se rapprocher des conditions idéales (débroussage, enlèvement des roches gênantes, construction de diguettes).

Dans les jaugeages au câble, la section transversale du cours d'eau est matérialisée par un câble, en général en acier galvanisé de 2,5 mm et gradué. Le passage du câble, pour des rivières assez larges et en crues, nécessite souvent une équipe expérimentée.

* Dans le cas d'une rivière dangereuse à pratiquer en bateau (forts courants, remous, proximité de chutes) on utilise des transporteurs aériens ou stations téléphériques. Ces installations sont toujours très onéreuses.

Le jaugeage peut se faire à partir d'une passerelle ou d'un pont en particulier lorsqu'on étudie un bassin versant représentatif ou expérimental avec stations aménagées.

Lorsque la station est trop large (supérieure à 250 ou 300 m) pour que l'on puisse facilement passer un câble, on opère en ancrant le bateau dans la section de mesure. Le repérage des verticales se fait au moyen d'un cercle hydrographique qui permet d'effectuer des visées sur une base préalablement choisie sur la berge et en s'alignant sur des jalons matérialisant la section de mesure.

Dans tous les cas de jaugeages au moulinet, il existe deux procédés : mesure point par point le long d'une verticale -mesure en descente continue à vitesse constante (intégration). Cette dernière méthode requiert certaines conditions particulières (profondeur, vitesse du courant, etc...)

Différentes méthodes de dépouillement permettent, après calcul des vitesses, d'obtenir les débits (fig. 7 et exemple d'une fiche de jaugeage).

Autres procédés de jaugeage

Le jaugeage aux flotteurs est une méthode moins précise que le jaugeage au moulinet, mais qui est parfois la seule possible (rivières dangereuses sans installations téléphériques ou au cours de prospection).

On utilise soit des flotteurs naturels (bois, troncs d'arbres...) soit des flotteurs artificiels lestés et repérés pour la mesure des vitesses superficielles. L'opération consiste à choisir un tronçon de rivière sensiblement rectiligne. Sur la berge, on matérialise par des jalons une base de mesure variable suivant la largeur de la rivière. On note le temps mis par un flotteur pour parcourir la distance de la base de mesure. Pour les

FEUILLE DE JAUGEAGE

RIVIERE : Kabia

STATION : Patalao

JAUGEAGE n° : 27

DATE : 13/05/1974

MOULINET : 30180 C.31

HAUTEUR A

OBSERVATIONS :

Hélice n° 1

L'ECHELLE : 0,12 m
à 10 h

-Jaugeage à la perche

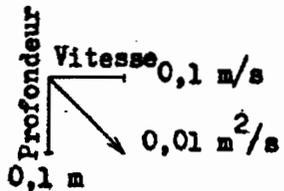
-Section aménagée

OPERATEUR : CHOURET

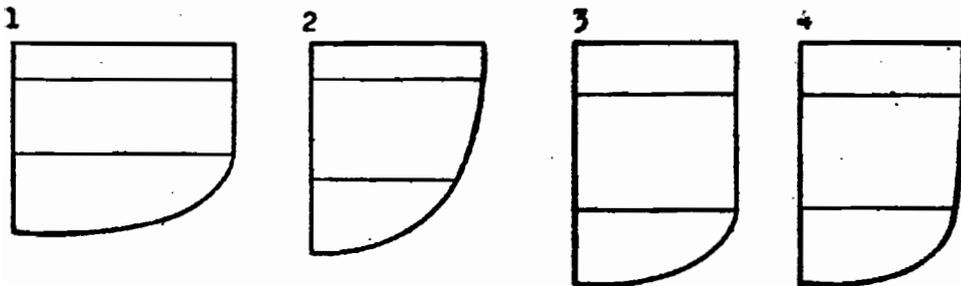
(N° des verticales	(Distances m	(Profondeurs m	(Position du moulinet sur la verticale m	(Nombre de tours d'hélice	(Temps s	(Vitesse m/s
(Rive droite à	(0	(((((
(1	(0,20	(0,25	(0,10	(34	(30	(0,293
(	(	(	( 0,20	(34	(30	(0,293
(2	(0,50	(0,28	(0,10	(22	(30	(0,191
(	(	(	( 0,20	(26	(30	(0,225
(3	(1,00	(0,32	(0,10	(25	(30	(0,215
(	(	(	( 0,25	(25	(30	(0,215
(4	(1,30	(0,32	(0,10	(24	(30	(0,208
(	(	(	( 0,25	(25	(30	(0,215
(Rive gauche à	(1,35	(((((
(((((((
(((((((

Courbes des vitesses

Echelle :



(Débit par unité de largeur au droit de la verticale considérée)



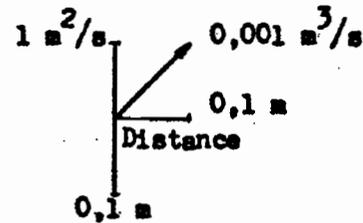
Kabla à Patalao n° 27
 Jaugeage du 13.05.1974
 H = 0,12 m
 L = 1,35 m
 Q = 0,080 m³/s

Légende :

- PT = Profil en travers
- H = Hauteur à l'échelle
- L = Largeur de la rivière
- Q = Débit
- RD = Rive droite
- RG = Rive gauche

Courbe de débit

Echelle :



PT Section

Courbe de débit

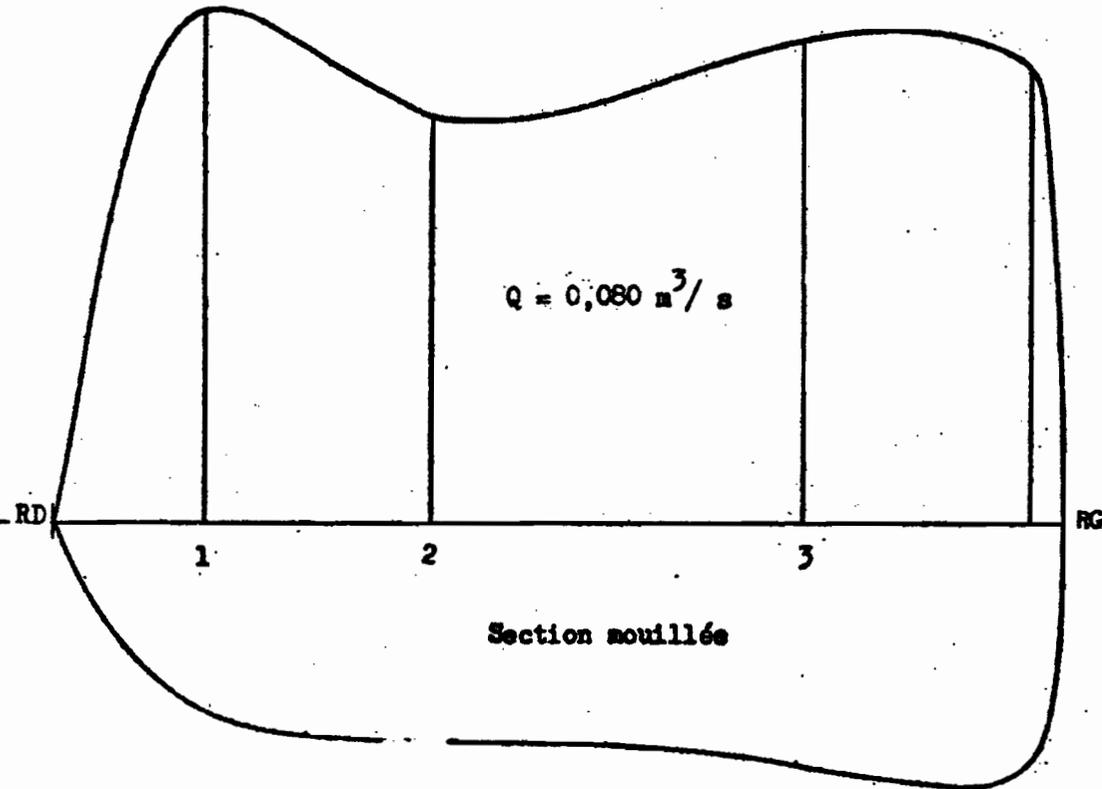


Fig. 7 - Dépouillement d'un jaugeage

grandes rivières, deux opérateurs sont obligatoires, ils utilisent des signaux lumineux ou acoustiques, téléphone de campagne etc... pour annoncer le départ du flotteur et éventuellement le décrire dans le cas de flotteurs naturels. La mesure de la base et du temps doit être faite avec la plus grande précision.

Les jaugeages chimiques sont basés sur le transport par l'eau d'une substance dissoute. Le transport et la dilution réalisés par la rivière sont fonction du débit. On injecte dans la rivière une certaine quantité de produit chimique (traceur), à une concentration connue, et on analyse au laboratoire la dilution réalisée sur des échantillons prélevés suffisamment loin à l'aval du point d'injection pour que le mélange soit bien réparti dans la section de prélèvement. Le traceur le plus couramment employé est le bichromate de soude dont le prix d'achat est le moins élevé.

Ces jaugeages prévus au départ pour des rivières très claires et à brassage violent (torrents de montagne) ont pu être appliqués sur des rivières de plaines, à fort débit et à charge solide importante. De tels procédés de jaugeages pourraient être employés avec succès sur le haut bassin du Logone (Vina, Mbéré, Lym). Ces méthodes, ou des méthodes voisines, ont donné de très bons résultats pour la mesure des sous-écoulements en zones arides. Des modes de reconcentration en laboratoire permettent de réduire considérablement le poids du traceur à injecter dans la rivière.

Il existe également des méthodes utilisant des traceurs radioactifs.

CAMPAGNES DE JAUGEAGES SUR LE TERRITOIRE TCHADIEN ET SURVEILLANCE DU RESEAU HYDROLOGIQUE.

La surveillance d'un réseau hydrométrique nécessite de nombreuses tournées : contrôle des observateurs et maintenance des installations limnimétriques (échelles et limnigraphes), contrôle de l'étalonnage des stations (jaugeages) principalement en basses eaux (étiages) ou pour les plus fortes crues.

Au Tchad, où il existe deux saisons bien marquées (saison sèche et saison des pluies), le programme minimal des tournées est le suivant :

- deux ou trois tournées en saison sèche, la dernière ayant lieu juste avant les premières pluies. En plus des jaugeages de basses eaux, l'hydrologue vérifie l'état des stations avant la saison des pluies, met en service les limnigraphes qui pour certaines stations ne fonctionnent qu'en hautes eaux ;

- deux tournées en saison des pluies (ou plus si l'on est en présence d'une saison pluvieuse exceptionnelle provoquant de très fortes crues non encore mesurées). La dernière tournée a lieu à la fin de la campagne pour relever les traces des plus hautes eaux atteintes et noter les éventuels dégâts causés aux installations.

En l'état actuel des études, après les deux années de sécheresse exceptionnelle générale de 1972 et 1973 et celles de très forte hydraulicité de 1961 sur le bassin du Chari et 1970 sur le Logone, on peut considérer que, sauf pour le Batha, toutes les stations hydrologiques sont parfaitement bien étalonnées et les régimes définis.

Toutes les données de base, les interprétations et les principales caractéristiques hydrologiques du Chari, du Logone et du lac Tchad ont été présentées dans différentes monographies (voir bibliographie). En outre, ces données de base figurent dans les annuaires hydrologiques : elles ne sont retenues qu'après une critique sévère et contrôle des originaux sur fiches mécanographiques au Service Central Hydrologique de l'ORSTOM à Paris. Ces fiches peuvent être traitées sur ordinateur avant mise à la disposition des utilisateurs (Banque de données). Tous les documents originaux (carnets des observateurs, cahiers de jaugeages) sont archivés à la section Hydrologie.

Les données de base, les différentes monographies, publications ou rapports sont disponibles au Bureau de l'Eau ou au Centre ORSTOM de N'Djaména. Les études particulières (études de bassins versants, travaux sur conventions, évolution hydrologique récente du lac Tchad, effets de la sécheresse dans le Sahel, etc...) font l'objet de publications spéciales.

. ° .

Note ultérieure à paraître : "Le lac Tchad et son système d'alimentation. Conséquences des périodes de sécheresse".

. ° .

NOTES TECHNIQUES DEJA PARUES

- N° 1 "L'ensemble Yaérés-Bas Chari-Lac Tchad et la production piscicole du Tchad" A.ILTIS
- N° 2 "La cartographie des sols et la notion de régionalité, ses applications au Tchad" J.HERVIEU
- N° 3 "Les polders du lac Tchad - milieu naturel et formation des sols - conséquences de la sécheresse" M.RIEU
- N° 4 "Les ressources en protéines au Tchad - disponibilités et orientations nouvelles" A.CORNU

BIBLIOGRAPHIE SOMMAIRE

**BOUCHARDEAU (A.), LEFEVRE (R.), 1957 - Monographie hydrologique
du lac Tchad.**

ORSTOM, Paris, 112 p.

REMENIERAS (G.), 1960 - L'hydrologie de l'ingénieur.

**Collection du Laboratoire national d'Hydraulique. Eyrolles
éd. Paris, 413 p.**

REMENIERAS (G.), 1960 - Eléments d'Hydrologie appliquée.

Armand Colin, Paris, 208 p.

TROSKOLANSKI (A.T.), 1962 - Théorie et pratique des mesures hydrauliques.

Dunod, Paris, 820 p.

ROCHE (M.), 1963 - Hydrologie de surface.

ORSTOM, Paris, Gauthier-Villars éd. 430 p.

BILLON (B.), et al. 1966-1967-1968 - Monographie hydrologique du

Logone . 6 parties.

ORSTOM, Paris, multigr.

**DUBREUIL (P.), 1972 - Recueil de données de base des bassins représen-
tatifs et expérimentaux de l'ORSTOM (1951 à 1969).**

ORSTOM , Paris, 916 p.

BILLON (B.), GUICADRE (J.), HERBAUD (J.), OBERLIN (G.), 1974 -

Le bassin du fleuve Chari.

ORSTOM, Paris, 450 p.

cf. aussi :

- Annales hydrologiques : 1956-1967, ORSTOM, Paris.

**- Annales hydrologiques de la République du Tchad, depuis 1960.
Bureau de l'Eau, ORSTOM, N'Djaména.**

**- Liste chronologique des études effectuées par l'ORSTOM en République
du Tchad et pour partie dans le bassin du lac Tchad.
1974 - ORSTOM, N'Djaména, multigr., 687 réf., 3 index.**