

Tarage et calcul des débits des stations hydrométriques non univoques

P. DUBREUIL

Directeur de recherches, Chef du département de la Recherche appliquée
au Service hydrologique de l'O.R.S.T.O.M.

J. P. LAMAGAT

et

G. VUILLAUME

Chargés de recherches, Hydrologues au Centre O.R.S.T.O.M. de Lomé (Togo).

Beaucoup de cours d'eau ont un régime d'écoulement non uniforme, permanent dit *graduellement varié*; si un bief d'un cours d'eau de ce type a un fond stable et un contrôle, généralement aval, invariable, toute station hydrométrique implantée dans ce bief est univoque, c'est-à-dire qu'à une hauteur d'eau donnée correspond toujours le même débit.

Certains cours d'eau ont, par contre, soit un contrôle aval variable, soit un régime d'écoulement non permanent, c'est-à-dire rapidement variable. Même si un bief d'un tel cours d'eau a un fond stable, la relation hauteur-débit n'est univoque en aucun de ses points, c'est-à-dire que pour une hauteur donnée, on peut avoir au moins deux valeurs et même une infinité de valeurs de débits dans une certaine gamme autour du débit correspondant au régime permanent. On parle alors de station hydrométrique non univoque. Le tarage d'une telle station est compliqué; il exige d'une part un nombre de mesures de débits bien plus grand que pour une station univoque, et d'autre part la courbe de tarage univoque cède la place à un faisceau de plusieurs courbes ou à une surface de tarage. Pour certaines stations, il faut effectuer des jaugeages près du maximum de hauteur chaque année pour espérer avoir un tarage satisfaisant. Pour toutes les stations non univoques, la transformation des hauteurs en débits est laborieuse et imprécise.

Cet article rassemble le travail de plusieurs chercheurs qui ont eu pour objectifs de trouver des solutions hydrauliques simples pour l'utilisation des courbes de tarage non univoques et de permettre un traitement automatique des données en harmonie avec celui utilisé pour les stations univoques.

Après une présentation des divers cas rencontrés de non-univocité du tarage, la première partie développe les méthodes de résolution étudiées pour les stations dotées de deux échelles puis pour celles qui n'en ont qu'une. La seconde partie expose les programmes de traitement automatique appliqués aux différents cas de non-univocité tant pour le calcul du tarage que pour celui des débits.

Outre les signataires de l'article, cette étude a bénéficié de la contribution de Y. BRUNET-MORET qui a proposé une approche hydraulique théorique de la solution du tarage des stations dotées d'une seule échelle (Cf. chapitre 3).

1. Les différents types de stations non univoques

1.1 Les causes de non-univocité

Une station hydrométrique est non univoque lorsque le régime d'écoulement étant permanent son contrôle aval est sujet à des variations importantes et lorsque le régime d'écoulement dans le bief est non permanent; parfois les deux causes interfèrent (contrôle variable et non permanence de l'écoulement).

1.1.1. UN CONTROLE AVAL VARIABLE

Un contrôle aval peut varier soit par modification géométrique, soit par modification hydraulique.

La modification géométrique peut être naturelle, c'est le cas du banc rocheux ou de graviers qui s'érode lentement; c'est le cas de la végétation aquatique du lit des cours d'eau à faible pente dont le cycle annuel de croissance est plus ou moins réglé sur le régime d'écoulement qu'il perturbe de manière pseudo-cyclique chaque année mais avec des intensités variables.

La modification géométrique peut être artificielle, c'est le cas du barrage à seuil mobile faisant fonction de contrôle.

La modification hydraulique s'observe dans le cas d'ennoisement d'un seuil, de transformation d'un écoulement torrentiel en écoulement fluvial par exhaussement du niveau (cas typique des stations situées dans le remous d'une confluence), etc.

Dans tous ces exemples de variation du contrôle, le résultat hydraulique est une modification soit de la vitesse, soit de la pente d'écoulement.

Pour les cours d'eau à contrôle aval variable, le tarage est d'autant plus complexe que la variabilité du contrôle est grande.

On peut schématiser a priori un tel tarage en le représentant comme une somme juxtaposée de tarages pseudo-univoques à pente constante; selon les conditions de contrôle, le tarage instantané occupe une position quelconque de la surface de tarage et une onde de crue peut la balayer en totalité ou en partie (ex. fig. 1).

La non-univocité peut se limiter à une plage réduite et même à deux courbes pseudo-univoques correspondant à deux pentes privilégiées des écoulements (deux états du contrôle aval par banc rocheux, par végétation, etc.).

1.1.2. UN RÉGIME NON PERMANENT

On note également des modifications de la vitesse et de la pente d'écoulement dans le cas de non-univocité d'une station située sur un cours d'eau à régime non permanent. Les conditions varient entre les phases de crue et de décrue et d'autant plus que les phénomènes sont accentués.

On rencontre deux groupes différents de cours d'eau pour lesquels la non-univocité est due à la non permanence de l'écoulement.

Tout d'abord les cours d'eau à très faible pente et à régime hydrologique régulier, c'est-à-dire présentant un hydrogramme annuel composé d'une montée et d'une descente pratiquement sans « accident ». C'est le cas bien connu des fleuves tropicaux à faible pente et plaines d'inondations, tels que le Niger et le Sénégal.

La régularité de l'hydrogramme annuel fait que l'on observe des régimes d'écoulement de crue et de décrue quasi homogènes d'une année sur l'autre, c'est-à-dire

à pentes et vitesses peu variables pour une cote donnée. On peut alors parler de pseudo-univocité de crue et de décrue et le tarage comporte une courbe pseudo-univoque de crue, une courbe pseudo-univoque de décrue et une courbe de raccordement variable elle chaque année, en fonction de la cote maximale. Selon que les maximums de hauteur et de pente (donc de débit) coïncident ou non, le raccordement des courbes de tarage pseudo-univoques de crue et de décrue se fait soit en point de rebroussement (Diré et Tonka sur le Niger, fig. 2), soit en courbe douce (Mopti sur le Niger, Matam, Podor, Dagana sur le Sénégal, fig. 3).

Dans le second groupe de cours d'eau, la non-univocité est due en fait à un régime hétérogène de l'écoulement, c'est-à-dire que les crues d'origine différente ont des hydrogrammes différents et des conditions d'écoulement (pentes et vitesses) différentes pour une même cote.

Si le cours d'eau a une faible pente et draine un petit bassin, on peut avoir une non-univocité généralisée, toutes les crues étant plus ou moins différentes et le schéma de tarage est celui de la surface de tarage (fig. 1) mais avec une dispersion peut-être moindre qu'avec un contrôle variable.

C'est le cas de l'Oued Boitiek en Mauritanie ou de la Kayanga en Casamance.

Si le cours d'eau est important et de pente non négligeable, on observe un régime principal d'écoulement homogène à tarage univoque sur lequel se surimpose un autre régime d'écoulement, dû à des crues différentes d'importance secondaire, qui provoque une relative non-univocité.

Le schéma théorique de tarage comporte une courbe univoque de base et une surface de tarage d'importance réduite se plaquant au-dessus ou en dessous de l'autre selon les valeurs des pentes, surface plus ou moins explorée par chaque crue hétérogène (fig. 4).

Les exemples de ce type abondent:

a) Niger à Malanville avec son régime univoque d'origine amont (hydrogramme régulier du Niger issu de la Cuvette Lacustre) et le placage des crues locales (affluents voltaïques et dahoméens);

b) Wabi Shebelli d'Hammaro Hadad à Imi (Ethiopie) avec son régime homogène du haut bassin basaltique recevant des crues violentes d'oueds à caractère torrentiel dans son cours moyen.

Si les crues du cours d'eau ont seulement deux origines, une principale et une secondaire et si chaque type de crue est homogène, la surface de tarage se réduit à deux courbes univoques, une pour chaque type de crue, généralement confondues pour les basses eaux.

1.2. Essai de classification des tarages non univoques

Les types de stations non univoques sont nombreux, qu'ils se différencient par leur cause première (contrôle variable, écoulement non permanent) ou par leur cause seconde (barrage à seuil mobile, zone de confluence, régime de crues, etc.).

Dans tous les cas, la variation de la pente, qui est une résultante de toutes les causes, est principalement responsable de la non-univocité.

On verra (cf. chap. 3) que la vitesse peut jouer un certain rôle.

La mesure de la pente doit donc permettre de résoudre le problème. Cette mesure de la pente de la ligne d'eau d'écoulement est possible dans le bief (en amont du contrôle aval) d'une station hydrométrique si trois conditions sont remplies :

- a) On trouve une pente suffisante, c'est-à-dire de plusieurs centimètres (au moins 5 à 10 sont des minimums souhaitables) dans un bief de longueur raisonnable;
- b) Aucune modification du débit ne se manifeste dans ce bief (affluent);
- c) Le bief a une géométrie régulière.

Ces trois conditions réunies, il faut disposer des moyens matériels (équipement, personnel, accessibilité, implantation) permettant la mise en place de deux échelles ou de deux limnigraphes, auxquels les observations doivent être rigoureusement synchronisées.

Dans l'impossibilité de mesurer la pente de la ligne d'eau, on peut utiliser la station à une seule échelle en procédant à la détermination d'un paramètre lié à la pente ou supposé varier dans le même sens qu'elle. Comme on le verra plus loin (chap. 4), ce paramètre est tantôt le gradient limnigraphique, tantôt l'écart à la cote maximale.

1.2.1. CLASSIFICATION D'APRÈS LA NATURE DE LA NON-UNIVOCITÉ

Une classification des types de stations non univoques peut être maintenant ébauchée en essayant de simplifier et d'harmoniser les divers schémas de tarage correspondant aux diverses causes de non-univocité présentées au paragraphe 1.1. (fig. 1 à 4).

On peut partir du raisonnement suivant : une station non univoque est une station univoque subissant des contraintes venant détruire en totalité ou en partie son caractère univoque. Par conséquent toute station, sans ces contraintes, aurait un caractère univoque et une courbe de tarage univoque correspondant à la pente d'écoulement la plus fréquente, ou la médiane, pente que nous qualifions de « pente normale ».

Tous les types de stations non univoques appartiennent à l'un des trois groupes suivants (cf. fig. 1).

a) Non-univocité limitée de type A, c'est-à-dire que les causes provoquent un accroissement de la pente et l'apparition d'une surface de tarage au-dessus de la courbe pseudo-univoque à pente normale. C'est le cas des cours d'eau à modification géométrique naturelle du contrôle aval par érosion, c'est le cas des cours d'eau à régime de crues hétérogènes, type Wabi Shebelli;

b) Non-univocité limitée de type B, c'est-à-dire que les causes provoquent une diminution de la pente et que la surface de tarage est limitée en dessous de la courbe à pente normale. C'est le cas des stations de confluence généralement (crique Virgile en amont de l'Orapu), c'est le cas de certains régimes à crues hétérogènes (Niger moyen).

Tous les cours d'eau sujets à non-univocité limitée de type A ou B ont une pente naturelle (ou normale) notable permettant souvent (naturellement) un régime univoque représenté par la courbe à pente normale, laquelle correspond à la valeur

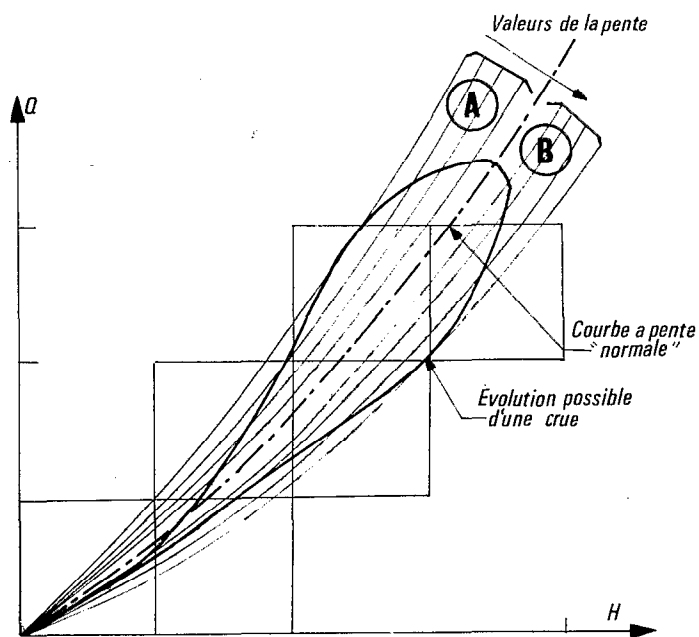


Fig. 1. — Surface de tarage d'un cours d'eau à contrôle variable.

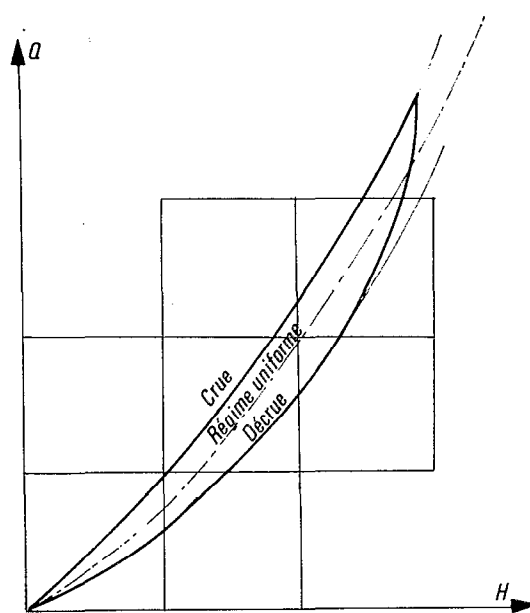


Fig. 2. — Tarage d'un cours d'eau régulier à régime non-permanent.
Raccordement à point de rebroussement.

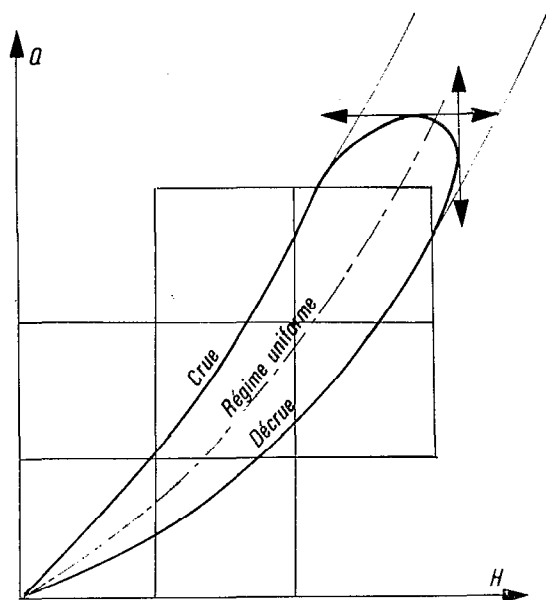


Fig. 3. — Tarage d'un cours d'eau régulier à régime non-permanent. Raccordement arrondi.

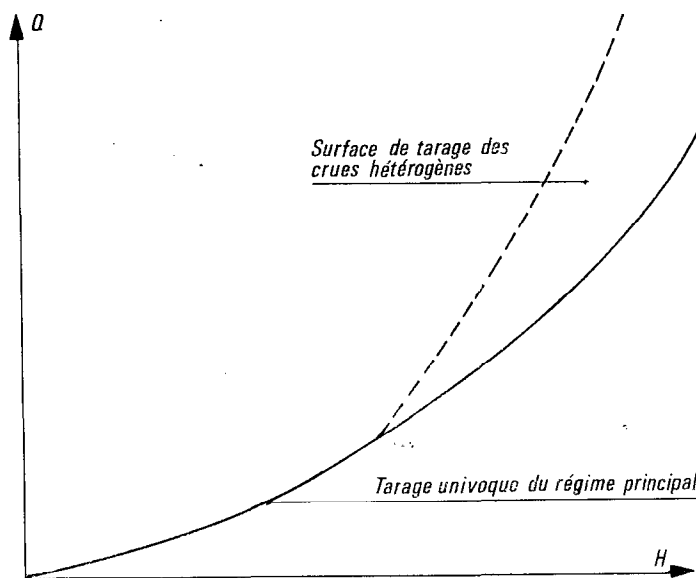


Fig. 4. — Tarage d'un cours d'eau à crues d'origines différentes.

la plus fréquente des pentes observées. La non-univocité y est due à une variation absolue importante de la pente qui en provoque une variation relative non négligeable;

c) Non-univocité généralisée couvrant les pages A et B. C'est le cas de tous les cours d'eau à faible pente n'ayant pas la possibilité d'un état univoque, mais seulement d'un état médian de la pente autour de laquelle se répandent toutes les valeurs observées de la pente.

La non-univocité est due à des variations absolues de pente qui peuvent être faibles mais les variations relatives sont toujours très importantes.

On trouve dans ce groupe les cours d'eau à influence de végétation, les grands fleuves type Niger supérieur et Sénégal moyen et inférieur, les petits cours d'eau à faible pente (Mauritanie, Casamance...).

1.2.2. CLASSIFICATION D'APRÈS LA MÉTHODE DE TARAGE

Cette classification s'appuie sur la précédente et sur la possibilité d'installer ou non deux échelles dans le bief de la station.

On voit immédiatement que seules les stations à pente notable des groupes a) et b) ci-dessus peuvent être dotées de deux échelles.

Si cela est possible, la méthode de tarage est celle dite à deux échelles. Si cela n'est pas possible, la méthode est celle du gradient limnigraphique.

Les stations du groupe c) précédant ne peuvent être dotées de deux échelles. Elles peuvent être tarées par la méthode du gradient limnigraphique. Pour celles de ces stations qui ressortent du type « grand cours d'eau régulier à faible pente », une méthode de tarage simplifiée dite de l'écart à la cote maximale peut être appliquée.

Le tableau suivant récapitule ces deux classifications:

Type de non-univocité	A (accroissement de la pente)		B (diminution de la pente)		A + B (grande variabilité relative de la pente)	
Type de cours d'eau	à pente notable		à pente notable		à faible pente irrégulier régulier	
Possibilité d'installer deux échelles	oui	non	oui	non	non	
Méthode de tarage	A deux échelles	Gradient limni-graphique	A deux échelles	Gradient limni-graphique	Gradient limni-graphique	Ecart au maximum

1.3. Limites de l'étude des stations non univoques

L'étude décrite dans cet article inclut seulement les différents types de stations hydrométriques non univoques présentés dans ce chapitre.

Un seul type a été écarté; il s'agit des stations soumises à des variations cycliques de la pente, c'est-à-dire des stations implantées dans des biefs où l'influence de la marée est importante. Ce type de station exige deux échelles mais son tarage et son exploitation sont plus compliqués que ceux des stations des groupes a) et b) bien qu'ils en soient dérivés.

En outre, des stations du groupe c) à faible pente peuvent être soumises à l'influence de la marée.

Dans tous les cas, l'inversion de la pente d'écoulement s'observe régulièrement. C'est un phénomène rare, hors de l'influence de la marée, mais observable (affluents de grands fleuves tels que les cours d'eau alimentant certains lacs du delta central lacustre du Niger).

Nous n'avons pas retenu, dans cet article, l'analyse des tarages de ces cours d'eau à inversion de pente, pour lesquels il faut prendre en compte la variation des volumes d'eau accumulés et transitant dans le bief entre les deux échelles, par exemple.

Enfin, il est important de préciser que l'étude concerne uniquement les stations non univoques stables. Le tarage des stations instables ne pose pas, quant à son traitement en calcul automatique, de problèmes particuliers puisque l'on peut considérer qu'entre deux ruptures de stabilité, une station instable est alors stable, univoque ou non. On remarque à ce propos que les cours d'eau sont instables quand leur lit et leur contrôle aval sont sujets à des variations brutales et peu prévisibles (souvent après une forte crue) tels que mouvements de fonds par creusement ou exhaussement, et que si le phénomène causal est de même nature que l'un de ceux qui est responsable de la non-univocité de stations stables — modification géométrique du contrôle —, il est d'intensité bien supérieure.

2. Tarage des stations dotées de deux échelles sur cours d'eau sujets à d'importantes et brutales variations de pente

2.1. Point de vue théorique

Le problème hydraulique du tarage d'une station hydrométrique à deux échelles située dans un bief à contrôle aval variable et dans lequel l'écoulement n'est pas uniforme a été traité depuis longtemps et ne présente aucune difficulté. On en trouve une excellente démonstration détaillée dans l'ouvrage de G. REMENIERAS [1], 2^e partie, chapitre VI. Nous nous contentons ici d'en présenter un court résumé.

L'hypothèse du régime uniforme permet l'emploi de la formule de CHEZY pour exprimer la vitesse du courant en fonction des caractéristiques géométriques du bief (section, pente); on applique la formule aux sections des deux échelles et si l'on appelle Q le débit pour une cote H_m à l'échelle amont et H_v à l'échelle aval ces deux cotes étant exprimées en valeur absolue c'est-à-dire dans le même système de nivellement, le débit Q' pour la même cote amont mais pour une cote H'_v différente à l'échelle aval est égal à:

$$\frac{Q'}{(H_m - H'_v)^{1/2}} = \frac{Q}{(H_m - H_v)^{1/2}} \quad (1)$$

Les débits sont entre eux dans le rapport des racines carrées des dénivelées entre les deux échelles: $D = H_m - H_v$ et $D' = H_m - H'_v$.

En réalité, comme l'écoulement n'est pas uniforme, l'équation de CHEZY n'est qu'une approximation et l'exposant a du rapport des dénivelées est différent de $1/2$.

Dans la pratique, on choisit une dénivelée normale D_n aussi proche que possible de ce que l'on pense être la valeur la plus fréquente (mode) des diverses dénivelées observées ou observables, compte tenu du régime d'écoulement et des mouvements du contrôle aval. Si le cours d'eau s'écoulait en régime permanent graduellement

varié avec une pente égale à D_n entre les deux échelles, le tarage serait univoque. Appelons Q_n le débit correspondant à cette dénivelée normale.

Un débit quelconque Q pour une dénivelée quelconque D s'exprime alors à l'aide de l'équation (2):

$$\frac{Q}{Q_n} = \left(\frac{D}{D_n} \right)^a \quad (2)$$

Il faut et il suffit de deux courbes pour effectuer le tarage d'une station à deux échelles:

- L'une dite de tarage à dénivelée normale donne Q_n en fonction de D_n ;
- L'autre dite de correction de pente donne Q/Q_n en fonction de D/D_n .

Ces deux courbes remplacent avantageusement le faisceau de courbes, schématisé sur la figure 1, dans lequel chaque courbe $Q(H)$ est tracée pour une certaine dénivelée D_i ; l'inconvénient de l'usage d'un tel faisceau réside dans la nécessité d'interpoler souvent pour estimer un débit, entre deux courbes voisines, les dénivelées observées ne correspondant que rarement aux valeurs D_i choisies.

2.2 Procédure d'établissement

Il n'y a pas d'obligation quant au choix de l'échelle de référence, amont ou aval. On retient cependant généralement l'échelle amont, plus éloignée des variations du contrôle aval. Cette échelle sert de référence pour le calcul des jaugeages et des tarages. La seconde échelle, aval, ne sert qu'au calcul des dénivelées: $D_i = H_{mi} - H_{vi}$

La procédure à suivre pour tracer les deux courbes est la suivante (cf. fig. 5 et 6):

- a) Choisir la dénivelée normale D_n ;
- b) Reporter tous les jaugeages Q_i , H_i , D_i sur un même graphique, H_i étant la hauteur à l'échelle de référence amont;
- c) Calculer pour chacun d'eux la valeur Q_n que l'on aurait mesurée si la dénivelée avait été D_n pour la même cote H_i , soit:

$$Q_n = Q_i \cdot \left(\frac{D_n}{D_i} \right)^a$$

- d) Reporter les points calculés Q_n , H_i ainsi calculés sur le même graphique et tracer la courbe Q_n , H_i de tarage à dénivelée normale D_n ;

- e) Calculer Q_i/Q_n et D_i/D_n pour chaque jaugeage et porter ces points sur un second graphique afin de tracer la courbe de correction de pente.

Quelques ajustements sur le tracé des deux courbes permettent de minimiser les écarts.

L'exposant a a été estimé à partir de la valeur théorique $1/2$ et très grossièrement après un ou deux essais. Il sert simplement à préciser la position du tracé de la courbe Q_n , H_n .

En réalité, comme une courbe de tarage ne peut être représentée par une équation unique, l'exposant a doit varier avec la hauteur à l'échelle. On rectifie les tracés de basses et hautes eaux de la courbe Q_n , H_n en s'appuyant sur les résultats bruts de jaugeages.

La courbe de correction de pente n'est pas considérée comme une équation $Q/Q_n = (D/D_n)^a$ mais comme une succession de tronçons de parabole, de la même façon qu'une courbe de tarage.

2.3. Limites d'emploi

Les deux courbes de tarage qui viennent d'être établies pourraient être considérées, en théorie, comme s'appliquant à l'ensemble des champs de hauteurs d'eau aux échelles et de dénivelées. En réalité, il est bon de prendre en compte deux limites pratiques, l'une relative à l'inversion de la pente d'écoulement, l'autre à la cessation d'effet de cette pente.

2.3.1. L'INVERSION DE LA PENTE

L'inversion de la pente d'écoulement est très peu vraisemblable pour le type de cours d'eau considéré, à pente naturelle non négligeable. Une telle inversion serait possible dans une zone de confluence si l'un des affluents avait un marnage très supérieur à l'autre et si la station hydrométrique située sur ce dernier était trop près du confluent. Une telle implantation de station est très mauvaise et mieux vaut l'éviter. L'autre cas, lui probable, d'inversion de pente est celui du bief soumis à marée, que nous avons écarté a priori, justement pour cette raison. En effet, dans l'hypothèse d'inversion de pente, on doit prendre en compte les volumes accumulés dans le bief dans l'opération de correction des débits mesurés ; cette prise en compte est assez délicate et compliquerait suffisamment le problème pour que nous estimions souhaitable de disjoindre le cas des cours d'eau à inversion de pente (bief à marée et certaines confluences) de celui traité ici.

Si l'inversion de pente se produit épisodiquement, durant une courte période et sans forte dénivelée négative, on peut admettre que la procédure établie est applicable en supposant $D_i = 0$ et par conséquent $Q_i = 0$ durant la période incriminée. Cela revient à négliger le volume accumulé dans le bief et par conséquent à légèrement surestimer le débit ; mais il s'agit d'une erreur de second ordre, qui reste admissible.

Nous avons d'ailleurs rencontré cette inversion en traitant la station qui a servi de modèle à cette étude, celle de la Crique Virgile en Guyane. Il y avait eu pendant moins de 48 heures, conjonction d'une crue forte sur l'Orapu, dans lequel se jette la Crique Virgile et dont le remous influence la pente d'écoulement, et d'une forte marée remontant dans le bief de l'Orapu.

2.3.2. LA CESSATION D'EFFET DE LA PENTE

La cessation d'effet de la pente est possible dans certains cours d'eau qui, sans une forte modification du contrôle aval, auraient une pente d'écoulement assez forte et peu variable pour que le régime soit alors considéré comme permanent graduellement varié et le tarage comme univoque.

L'allure exponentielle croissante de la courbe de correction de pente indique d'ailleurs bien que pour de fortes dénivelées D_i , le rapport Q_i/Q_n tend asymptotiquement vers une limite.

La Crique Virgile nous a encore servi d'indicateur de limite d'effet de la pente et son étude a permis de faire un choix simple de celle-ci. On considère que la pente

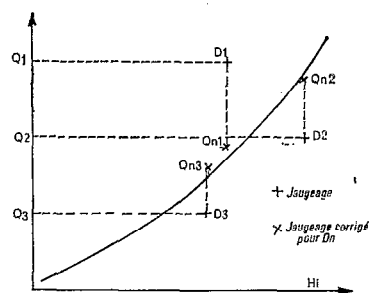


Fig. 5. — Tracé de la courbe de tarage à dénivellée normale.

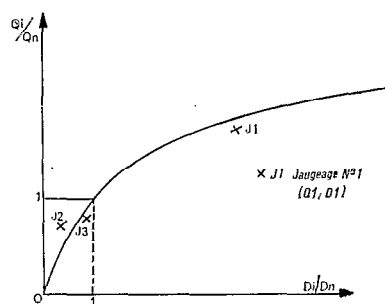


Fig. 6. — Tracé de la courbe de correction de pente.

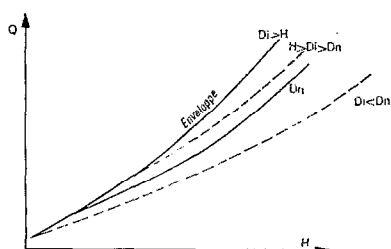


Fig. 7. — Courbe enveloppe de tarage sans influence de la pente.

devient suffisamment élevée pour être sans effet sur l'écoulement quand la cote à l'échelle aval est inférieure à la différence d'altitude entre les zéros des deux échelles.

En adoptant les signes suivants :

H_m = cote absolue à l'échelle amont ;

H_v = cote absolue à l'échelle aval ;

Z_m = cote absolue du zéro de l'échelle amont ;

Z_v = cote absolue du zéro de l'échelle aval ;

h_m = cote observée à l'échelle amont ;

h_v = cote observée à l'échelle aval.

On peut écrire :

$$h_m = H_m - Z_m$$

$$h_v = H_v - Z_v$$

et la dénivellée $D = H_m - H_v$ devient, si l'on pose $dZ = Z_m - Z_v$,

$$D = h_m + dZ - h_v.$$

La pente de l'écoulement, représentée par D , influe l'écoulement tant que $h_v \geq dZ$ et cesse de l'influencer quand $h_v < dZ$. On a alors $D > h_m$. Il existe dans ces conditions une courbe de tarage vers laquelle tendent asymptotiquement les courbes Q_i , H_i à dénivellées croissantes, courbe de tarage correspondant à un état univoque du cours d'eau et que nous appelons courbe enveloppe. On remarque (fig. 7) que les courbes Q_i , H_i , D_i commencent sur cette courbe enveloppe lorsque la cote H_i dépasse la dénivellée D_i . Cette situation univoque asymptotique peut pratiquement ne pas exister sur un cours d'eau à contrôle aval variable. Seuls les jaugeages permettent de le vérifier et le cas échéant de tracer cette courbe enveloppe. En fait, on peut penser que le type de cours d'eau susceptible de recevoir deux échelles a assez de pente naturelle pour qu'en l'absence de mouvement du contrôle aval, il puisse devenir univoque, donc admettre une courbe enveloppe.

Le tarage complet d'une station non univoque à deux échelles comprend donc, au total, trois courbes :

- Une courbe enveloppe, dans la plupart des cas ;
- Une courbe à dénivellée normale ;
- Une courbe de correction de pente.

Le tableau suivant explicite les limites d'emploi de la courbe enveloppe au lieu et place des deux autres.

	Zone d'inversion de pente	Zone d'application du tarage non-univoque à 2 échelles	Zone sans influence de pente
Dénivellée D	$D < 0$	$0 \leq D \leq h_m$	$D > h_m$
Hauteur amont lue: h_m	$h_m < h_v - dZ$	$h_v - dZ \leq h_m$	h_m quelconque
Hauteur aval lue: h_v	$h_v > h_m + dZ$	$h_m + dZ \geq h_v \geq dZ$	$h_v < dZ$
		Courbe à dénivellée normale Courbe de correction de pente	Courbe enveloppe

Nous avons traité ici le cas général nettement le plus répandu, c'est-à-dire celui des cours d'eau à diminution de pente (non-univocité partielle de type B), mais il va de soi qu'un raisonnement analogue et symétrique est applicable aux cours d'eau à accroissement de pente (non-univocité de type A) par crues hétérogènes par exemple comme le Wabi Shebelli — si ses stations étaient dotées de deux échelles. La courbe enveloppe serait inférieure et il y aurait deux courbes pour les dénivelées supérieures à un certain seuil à estimer.

3. Approche théorique du tarage des stations non univoques dotées d'une seule échelle

Pour résoudre le problème du tarage des stations non univoques munies d'une seule échelle, il faut trouver un paramètre aisément mesurable d'après les observations faites à cette échelle et qui soit lié à la pente d'écoulement.

Le premier paramètre qui vient à l'esprit est la vitesse de variation de la hauteur d'eau lue à l'échelle que l'on peut exprimer par $\frac{\Delta h}{\Delta t}$, Δh étant la variation de la hauteur h pendant l'intervalle de temps Δt . Cette vitesse est représentée par la pente du limnigramme, c'est pourquoi nous lui avons donné le nom de gradient limnigraphique, afin de réserver le mot pente à la ligne d'eau d'écoulement.

On peut théoriquement justifier le rôle majeur du gradient limnigraphique. Cette approche théorique a été trouvée par Y. BRUNET-MORET qui nous l'a communiquée pour l'introduire dans cette étude.

3.1. Analyse hydraulique

On donne les symboles Q , U , I aux valeurs observées du débit, de la vitesse moyenne et de la pente d'écoulement et Q_0 , U_0 , I_0 , les mêmes valeurs en régime uniforme.

En supposant le régime uniforme, on peut écrire d'après l'équation de CHEZY:

$$U_0 = K I_0^{1/2}$$

pour une certaine hauteur h à l'échelle.

Si le régime cesse d'être uniforme, c'est-à-dire si le plan d'eau monte de Δh dans l'intervalle de temps Δt , on observe une variation ΔI de la pente d'écoulement. Si l'on appelle U la vitesse moyenne d'écoulement en régime non uniforme et pour la hauteur h à l'échelle, et si l'on néglige l'accroissement de U pour l'accroissement Δh de h , l'accroissement de pente est égal à:

$$\Delta I = \frac{\Delta h}{U \cdot \Delta t}$$

$U \cdot t$ représentant la distance parcourue par l'onde de crue pendant le temps t .

On écrit alors:

$$I = I_0 + \Delta I = I_0 + \frac{1}{U} \cdot \frac{\Delta h}{\Delta t}$$

L'équation, dérivée de CHEZY, pour le régime non uniforme et la hauteur h s'écrit:

$$U = K I^{1/2} = K \left(I_0 + \frac{1}{U} \cdot \frac{\Delta h}{\Delta t} \right)^{1/2}$$

En posant: $y = \frac{U}{U_0} = \frac{Q}{Q_0}$, y toujours positif, on peut écrire l'équation précédente de la manière suivante, après avoir remplacé K par $U_0 \cdot I_0^{-1/2}$:

$$y^3 - y = \frac{1}{I_0 \cdot U_0} \cdot \frac{\Delta h}{\Delta t} \quad (3)$$

La dérivée de l'équation (3) s'annule pour $y = \frac{1}{\sqrt{3}} = 0,578$, valeur minimale pour y à laquelle correspond un gradient maximal (en valeur absolue) en dérive de $-0,386 I_0 \cdot U_0$. Il est intéressant de noter que sur deux exemples analysés (la Kayanga en Casamance et l'oued Boitiek en Mauritanie) les gradients expérimentaux ne dépassaient pas ce maximum théorique.

Sachant que $y = \frac{U}{U_0}$, et pour faciliter les calculs, l'équation (3) peut s'écrire:

$$y^3 = 1 + \frac{1}{I_0 \cdot U} \cdot \frac{\Delta h}{\Delta t} \quad (4)$$

En supposant I_0 indépendant de h , on peut résoudre cette équation en partant d'une valeur choisie a priori pour I_0 et par itération jusqu'à ce que la courbe de tarage univoque Q_0, H présente le minimum d'écarts par rapport aux points mesurés lors des jaugeages Q, H .

On a en effet $Q_0 = \frac{Q}{y}$ pour chaque jaugeage et, par conséquent, l'application de l'équation (4) aux jaugeages doit permettre, par approximations successives, d'obtenir les valeurs des débits Q_0 en régime uniforme donc univoque.

Le calcul d'un débit quelconque Q lors de la traduction des hauteurs se fait ensuite par application de l'équation (4), mise sous la forme:

$$Q = Q_0 \left(1 + \frac{1}{I_0 \cdot U} \cdot \frac{\Delta h}{\Delta t} \right)^{1/2} \quad (5)$$

Cette forme de l'équation (5) est identique à celle de l'équation (2) présentée au chapitre précédent (cf. 2.1.).

En effet, dans celle-ci la dénivelée D est la somme de la dénivelée « normale » D_n et d'un gradient de dénivelée ΔD :

$$D = D_n + \Delta D$$

Dans ces conditions, l'équation (2) devient:

$$\frac{Q}{Q_n} = \left(1 + \frac{\Delta D}{D_n} \right)^{1/2}$$

A une longueur près, la dénivelée représente la pente puisque $D = I \cdot L$ ou $D = I \cdot U \cdot \Delta t$ pour reprendre la formulation précédente. On voit donc que D_n est à un coefficient près assimilable à $I_0 \cdot U \cdot \Delta t$ et que les équations (2) et (5) sont de même forme.

Le gradient limnigraphique $\frac{\Delta h}{\Delta t}$ est donc parfaitement capable de remplacer, à un coefficient près, la dénivelée D dans une équation de correction du débit.

3.2. Avantages et inconvénients de la méthode itérative

La résolution par itérations de l'équation (4) ou (5) est donc une opération identique à celle du tarage par 2 courbes d'une station à deux échelles. Mais alors que celui-ci s'exécute sans difficulté puisqu'il n'y a pas d'ambiguïté dans le choix de la dénivelée normale D_n , le système itératif est plus complexe car il nécessite :

- Une estimation du pas de temps Δt pour le calcul du gradient $\frac{\Delta h}{\Delta t}$;
- Une estimation de I_0 pour le départ des calculs.

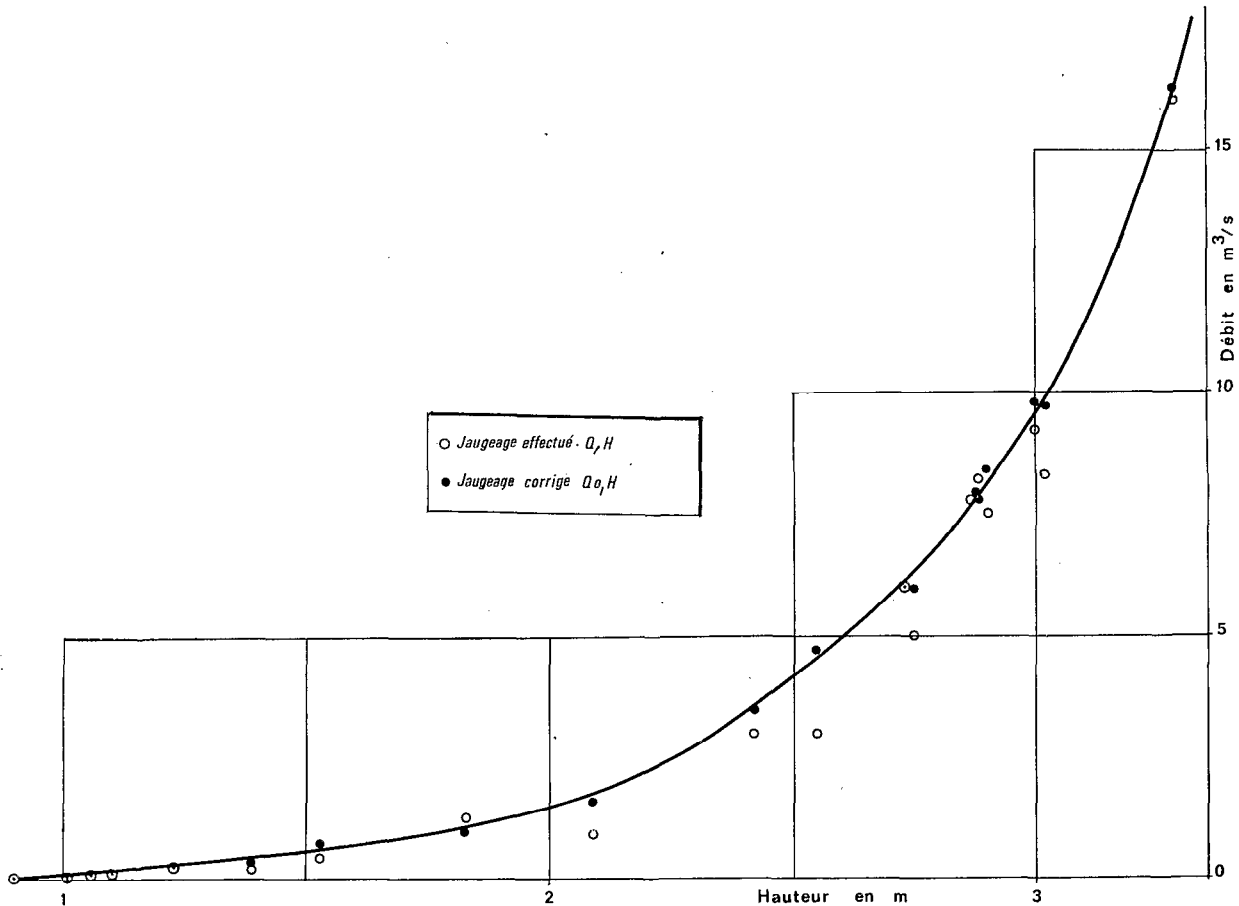


Fig. 8. — Tarage univoque par la méthode théorique de l'oued Boitiek.

En outre, ce système nécessite le tracé de deux courbes, l'une du débit Q_0 en fonction de la hauteur, l'autre celle de la vitesse U en fonction de la hauteur.

Bien que la prise en compte de la vitesse puisse être négligée (cf. chap. 4), la méthode itérative reste assez longue et son passage en calcul automatique peut également n'être ni simple, ni économique.

On peut supposer que pour des cours d'eau dont le caractère de non-univocité n'est pas trop accusé, les itérations seront limitées (?). En tout état de cause, cette méthode est générale et applicable.

On en a fait la démonstration sur un exemple, pris parmi les petits cours d'eau à variations relatives importantes de la pente, qui est faible en valeur absolue, celui de l'oued Boitiek du bassin du Ghorfa en Mauritanie.

Le tableau I rassemble les éléments de calcul, pour les 19 jaugeages disponibles. Deux approximations sur la valeur de I_0 ont suffi pour obtenir une bonne correction de pente comme le montre le tracé de la courbe de tarage sur la figure 8. La somme des écarts absolus à cette courbe a été réduite de 75%, ce qui est très satisfaisant.

4. Tarage des stations non univoques à une échelle

4.1. Méthode du gradient limnigraphique

4.1.1. MODE D'EMPLOI

On peut simplifier la méthode itérative développée au chapitre 3.

La première simplification consiste à considérer comme constant le facteur $\frac{1}{I_0 \cdot U}$ multipliant $\frac{\Delta h}{\Delta t}$ dans l'équation (5).

Cette formule montre d'ailleurs que la dispersion du débit par rapport au débit univoque diminue quand la vitesse croît, ce qui est compréhensible.

Les courbes traditionnelles de tarage « crue-décru » des grands fleuves type Niger ou Sénégal dans leurs cours à débordements hors du lit majeur montrent un peu la même chose: l'écart entre débit en crue et débit en décrue pour une même hauteur décroît quand la hauteur (donc U et $\frac{\Delta h}{\Delta t}$) croît pour s'annuler quand il y a point de rebroussement.

Si la vitesse U varie peu pour la gamme des hauteurs h observables, le facteur $\frac{1}{I_0 \cdot U}$ varie encore moins et l'on peut admettre qu'il est à peu près constant et égal à k' .

La seconde simplification consiste à l'approximation suivante:

$$\left(1 + k' \cdot \frac{\Delta h}{\Delta t}\right)^{1/2} \simeq 1 + \frac{1}{2} k' \cdot \frac{\Delta h}{\Delta t}$$

L'équation (5) avec ces deux simplifications peut s'écrire:

$$Q = Q_0 \left(1 + k \cdot \frac{\Delta h}{\Delta t}\right) \quad (6)$$

TABLEAU I
CALCUL ITERATIF DU TARAGE DE L'OUED BOITIEK PAR LA METHODE THEORIQUE

Date de jaugeage	S m²	h cm	$\frac{\Delta h}{\Delta t}$ cm/h	Q m³/s	U cm/s	Y_1	Q _o m³/s	U _o cm/s	Y_2	Q _o m³/s	U _o cm/s
7-7-65	13,1	139	— 5	0,2	1,53	0,58	0,345	2,64	0,58	0,345	2,64
29-7-65	32,4	275	— 3	5,0	15,45	0,85	5,9	18,2	0,84	5,95	18,4
31-7-65	22,6	209	— 5	0,9	3,98	0,58	1,55	6,9	0,58	1,55	6,9
15-8-65	36,4	300	— 2	9,2	25,25	0,94	9,8	26,9	0,94	9,8	26,9
18-8-65	14,9	153	— 4	0,4	2,69	0,58	0,69	4,65	0,58	0,69	4,65
19-8-65	9,5	110	0	0,14	1,47			1,47			1,47
28-8-65	36,8	302	— 4	8,3	22,55	0,87	9,55	25,9	0,857	9,7	26,3
29-8-65	29,3	255	— 4	3,0	10,25	0,67	4,5	15,3	0,643	4,65	16,0
31-8-65	41,1	328	— 1	16,0	38,95	0,98	16,3	39,8	0,98	16,3	38,95
7-7-66	27,3	242	— 2	3,0	11,00	0,865	3,46	12,7	0,854	3,5	12,9
9-7-66	9,5	110	0	0,125	1,31			1,31			1,31
12-7-66	18,9	183	+ 3	1,25	6,62	1,28	0,98	5,17	1,30	0,96	5,10
17-7-66	34,5	288	+ 2	8,2	23,80	1,06	7,75	22,5	1,06	7,75	22,5
19-7-66	11,1	123	0	0,24	2,16			2,16			2,16
3-9-66	34,8	290	— 3	7,5	21,55	0,90	8,35	24,0	0,89	8,4	24,2
23-7-67	8,4	101	0	0,046	0,55			0,55			0,55
4-8-67	32,2	273,5	0	6,0	18,65			18,65			18,65
25-8-67	34,4	287,5	— 0,5	7,8	22,70	0,985	7,9	23,0	0,985	7,9	23,0
8-9-67	9,0	106	0	0,11	1,25			1,25			1,25
débit nul	7,1	90	0	0	0			0			

1^{re} approximation: $Y_1^2 = 1 + \frac{1,4}{U} \frac{\Delta h}{\Delta t}$.

2^e approximation: $Y_2^2 = 1 + \frac{1,5}{U} \frac{\Delta h}{\Delta t}$.

Pour une résolution simple, on fait apparaître $\Delta Q = Q - Q_o$ écart du débit observé au débit « univoque », ce qui permet de transformer l'équation (6) en:

$$\frac{\Delta Q}{Q_o} = k \cdot \frac{\Delta h}{\Delta t} \quad (7)$$

Cette équation linéaire exprime que l'écart relatif du débit varie proportionnellement au gradient limnigraphique. Il est alors possible d'opérer graphiquement, comme il est souhaitable, pour effectuer le tarage, et ceci en deux temps:

a) On trace une courbe à peu près médiane, entre les points de jaugeages Q_{ic} , H_i mesurés en crue et ceux mesurés en décrue Q_{id} , H_i , courbe de tarage qui est prise comme base de pseudo-univocité et donne Q_o en fonction de H ;

b) L'écart ΔQ entre le débit jaugeé Q_{ic} ou Q_{id} et Q_o est rapporté à Q_o , et le rapport $\frac{\Delta Q}{Q_o}$ porté dans le graphique de correction de pente en face de $\frac{\Delta h}{\Delta t}$.

On procède par tâtonnements, dans le but d'obtenir la meilleure réduction des écarts sur ce second graphique, au choix du pas de temps t . Celui-ci est d'autant plus long que le cours d'eau est lent et a un fort débit.

L'ajustement graphique des tracés des deux courbes Q_0 (H) et $\frac{\Delta Q}{Q_0} = k \cdot \frac{\Delta h}{\Delta t}$ se fait par la méthode des déviations résiduelles, en conservant à la première courbe son allure parabolique et à la seconde celle d'une droite.

4.1.2. APPLICATIONS SUR TROIS EXEMPLES

On a appliqué la méthode du gradient limnigraphique d'une part aux stations de Mopti et de Diré sur le Niger.

Ces deux stations ont été choisies parce qu'elles illustrent parfaitement le cas particulier des cours d'eau importants à pente faible. Elles sont d'ailleurs toujours citées en exemple pour caractériser les raccordements des courbes de crue et de décrue:

- Point de rebroussement pour Diré (fig.2);
- Raccordement arrondi pour Mopti (fig. 3).

On a également fait l'application à l'oued Boitiek, modèle du petit cours d'eau irrégulier à faible pente, déjà analysé par la méthode itérative (cf. 3.2.).

Après essais, les intervalles de temps Δt retenus ont été:

- 5 jours pour Mopti et Diré;
- 6 heures pour Boitiek.

L'ensemble des calculs d'approximation pour le tracé des deux courbes constituant le tarage est présenté en détail dans les tableaux suivants: II pour Mopti, III pour Diré et IV pour Boitiek.

Les courbes de tarage et de correction par le gradient font l'objet des figures 9-10 pour Mopti, 11-12 pour Diré et 13-14 pour Boitiek.

Dans ces tableaux, outre les symboles déjà explicités, nous utilisons les abréviations suivantes:

C = jaugeage de crue ou en étale fin de crue,

D = jaugeage de décrue ou en étale début de décrue,

N° = numéro du jaugeage; les numéros manquants correspondent à des jaugeages soit manifestement erronés, soit effectués en un autre site,

H = cote à l'échelle lors du jaugeage,

Q = débit mesuré,

a = ordonnées de la courbe de régression (ici la droite $\frac{\Delta Q}{Q_0} = k \frac{\Delta h}{\Delta t}$)

$$\frac{\Delta'Q}{Q_0} = \frac{\Delta Q}{Q_0} - a.$$

Q' = débit corrigé après régression, égal à $Q_0 + \Delta'Q$.

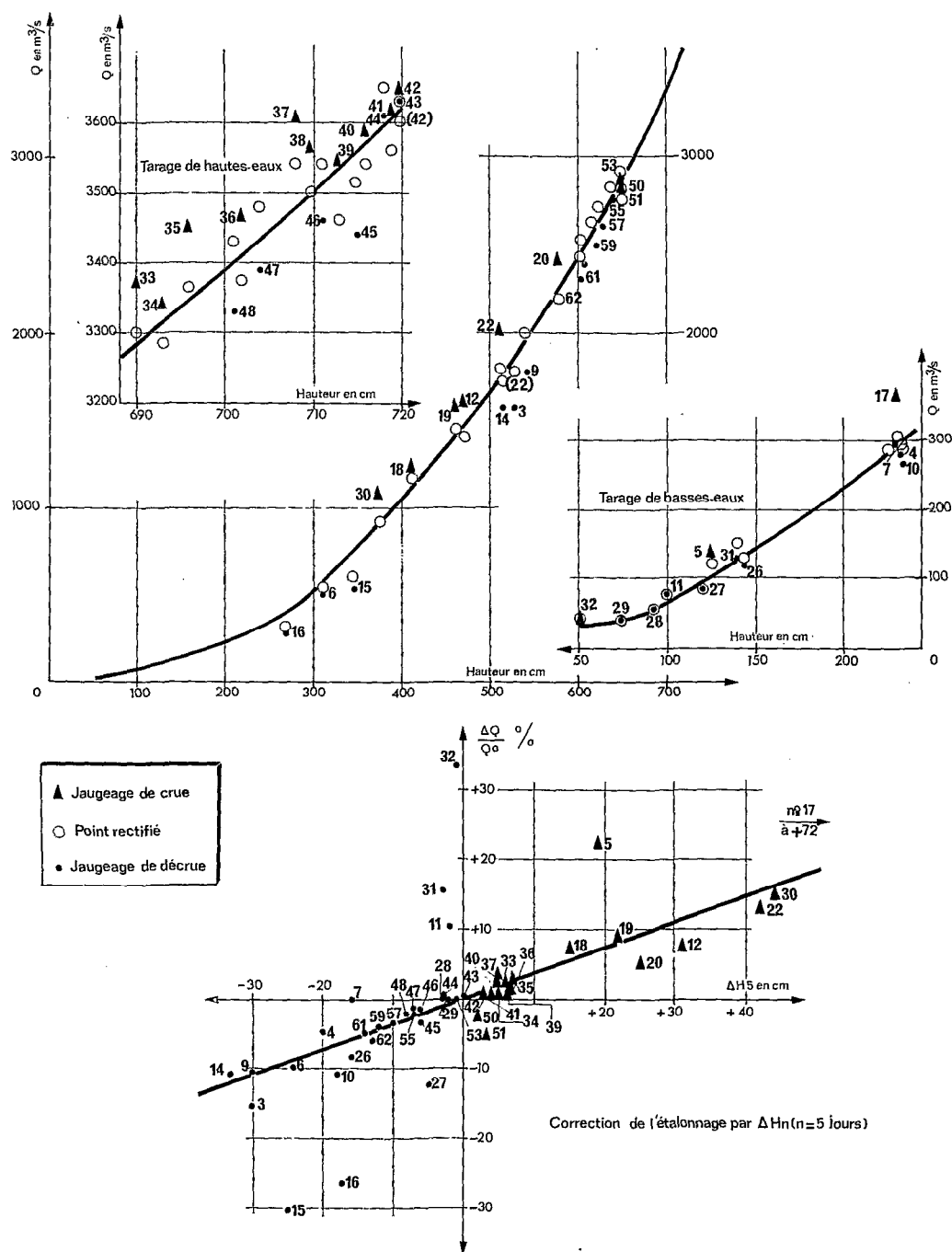


Fig. 9 et 10. — Méthode du gradient limnographique, station de Mopti.

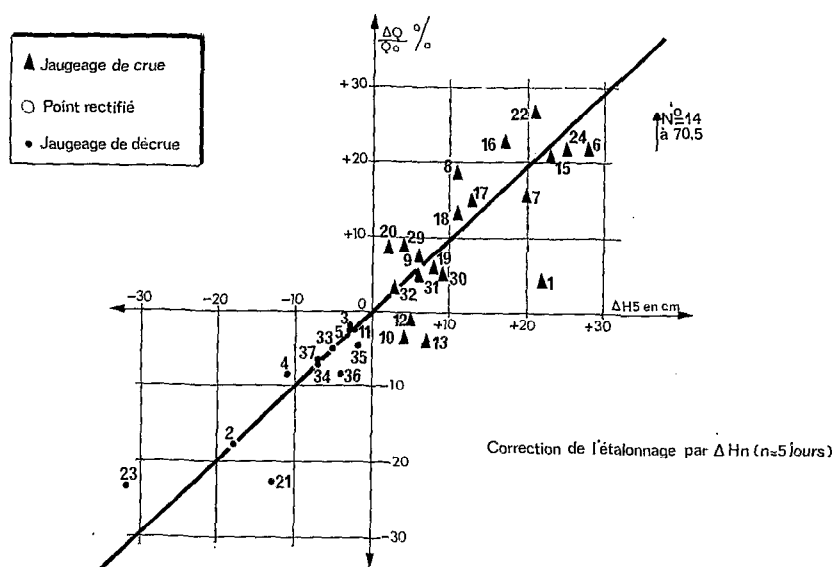
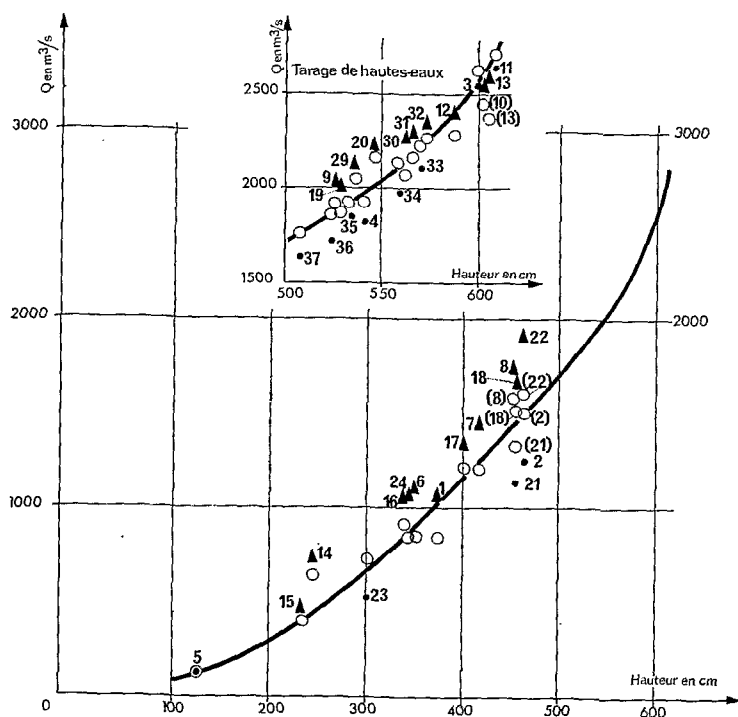


Fig. 11 et 12. — Méthode du gradient limnigraphique, station de Diré.

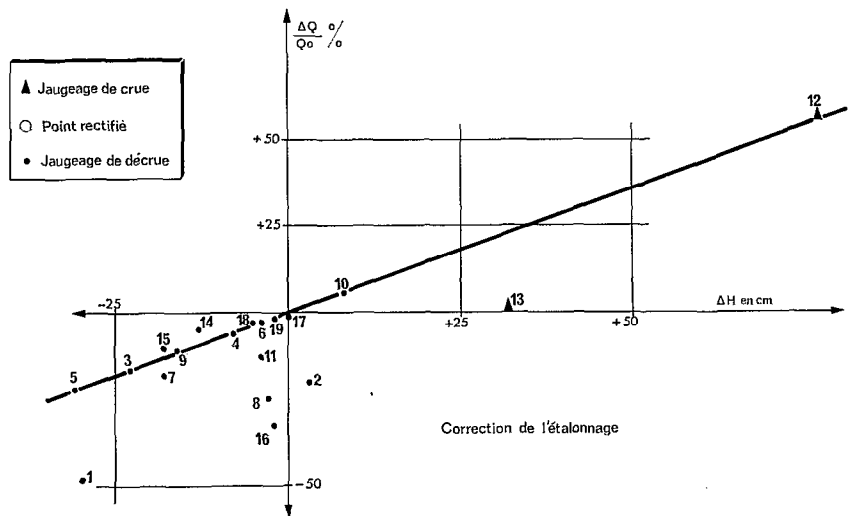
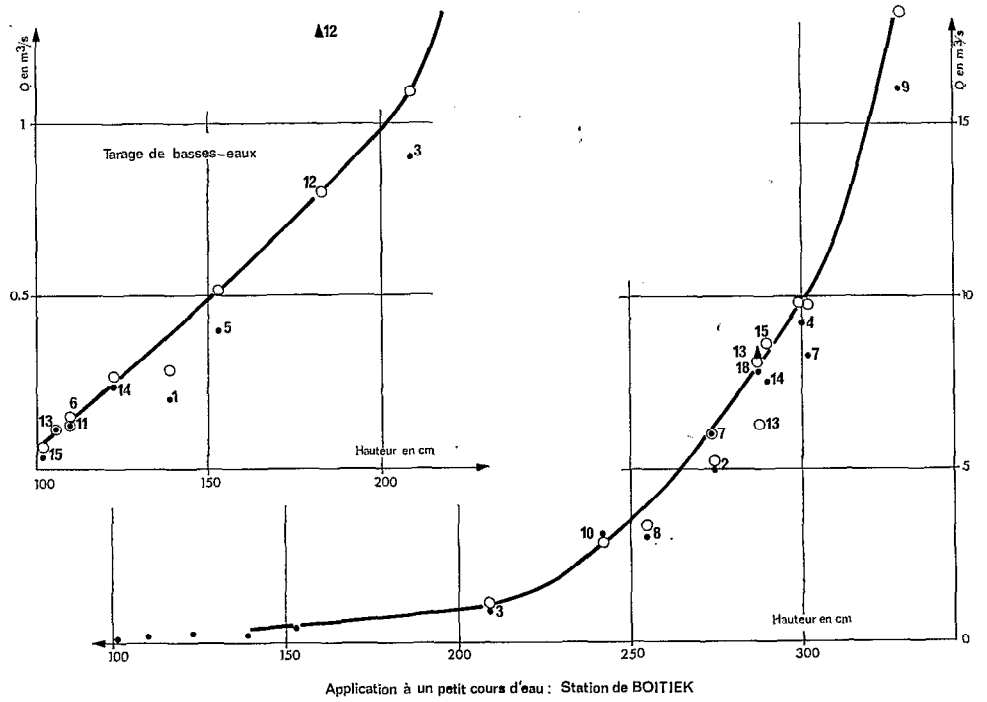


Fig. 13 et 14. — Méthode du gradient limnographique, station de Boitiek.

Le tableau suivant donne les équations des droites de correction par le gradient limnigraphique:

$$\text{Diré: } \frac{\Delta Q}{Q_0} = 0,973 \Delta h_5;$$

$$\text{Mopti: } \frac{\Delta Q}{Q_0} = 0,372 \Delta h_5;$$

$$\text{Boitiek: } \frac{\Delta Q}{Q_0} = 0,73 \Delta h_6.$$

TABLEAU II
STATION DE MOPTI
Méthode du gradient limnigraphique

Sens	N°	Date	H cm	Q m³/s	Q ₀ m³/s	ΔQ m³/s	$\frac{\Delta Q}{Q_0}$ %	ΔH ₅ cm	a %	$\frac{\Delta'Q}{Q_0}$ %	Δ'Q m³/s	Q' m³/s
D	3	26-1-52	527	1 570	1 855	— 285	— 15,3	— 30	— 11,2	— 4,1	— 75	1 780
D	4	27-3-52	232	280	295	— 15	— 5,1	— 20	— 7,4	+ 2,3	+ 7	288
C	5	8-6-52	126	130	106	+ 24	+ 22,6	+ 19	+ 7,1	+ 15,5	+ 16	122
D	6	19-2-54	310	505	560	— 55	— 9,8	— 24	— 8,9	— 0,9	— 5	555
»	7	23-3-56	230	290	290	0	0	— 16	— 6,0	+ 6,0	+ 17	307
»	9	18-12-56	542	1 770	1 980	— 210	— 10,6	— 30	— 11,2	+ 0,6	+ 10	1 990
»	10	18-2-57	233	265	297	— 32	— 10,8	— 18	— 6,7	— 4,1	— 12	285
»	11	8-5-57	100	74	67	+ 7	+ 10,4	— 2	— 0,7	+ 11,1	+ 7	74
C	12	6-8-57	473	1 600	1 485	+ 115	+ 7,8	+ 36	+ 13,4	— 5,6	— 85	1 400
D	14	16-1-58	514	1 570	1 760	— 190	— 10,8	— 33	— 12,3	+ 1,5	+ 25	1 785
»	15	19-2-58	346	530	760	— 230	— 30,3	— 25	— 9,3	— 21,0	— 160	600
D	16	12-3-58	268	280	380	— 100	— 26,3	— 17	— 6,3	— 20,0	— 75	305
C	17	4-6-58	227	360	284	+ 76	+ 26,8	+ 72	+ 26,8	0	0	284
»	18	25-7-58	414	1 225	1 140	+ 85	+ 7,5	+ 15	+ 5,6	+ 1,9	+ 20	1 160
»	19	13-8-58	464	1 555	1 435	+ 120	+ 8,3	+ 22	+ 8,2	+ 0,1	≠ 0	1 435
»	20	6-9-58	580	2 400	2 275	+ 125	+ 5,5	+ 25	+ 9,3	— 3,8	— 85	2 190
C	22	22-8-59	515	2 000	1 765	+ 235	+ 13,3	+ 42	+ 15,6	— 2,3	— 40	1 725
D	26	14-3-60	142	120	131	— 11	— 8,4	— 16	— 6,0	— 2,4	— 3	128
»	27	31-3-60	120	84	96	— 12	— 12,5	— 5	— 1,9	— 10,6	— 10	86
»	28	22-4-60	92	55	55	0	0	— 3	— 1,1	+ 1,1	+ 1	56
D	29	11-5-60	74	39	39	0	0	— 2	— 0,7	+ 0,7	≠ 0	39
C	30	23-7-60	376	1 075	930	+ 145	+ 15,6	+ 44	+ 16,4	— 0,8	— 5	925
D	31	9-6-63	140	130	128	+ 2	+ 15,6	— 3	— 1,1	+ 16,7	+ 21	149
C	32	24-5-67	52	44	33	+ 11	+ 33,3	— 1	— 0,4	+ 33,7	+ 11	44
»	33	15-10-67	690	3 370	3 285	+ 85	+ 2,6	+ 6	+ 2,2	+ 0,4	+ 15	3 300
»	34	17-10-67	693	3 340	3 315	+ 25	+ 0,8	+ 5	+ 1,9	— 0,9	— 30	3 285
»	35	19-10-67	696	3 450	3 350	+ 100	+ 3,0	+ 7	+ 2,6	+ 0,4	+ 15	3 365
»	36	24-10-67	702	3 465	3 410	+ 55	+ 1,6	+ 7	+ 2,6	— 1,0	— 35	3 375
»	37	29-10-67	708	3 605	3 480	+ 125	+ 3,6	+ 5	+ 1,9	+ 1,7	+ 60	3 540
»	38	1-11-67	710	3 565	3 500	+ 65	+ 1,9	+ 5	+ 1,9	0	0	3 500
»	39	4-11-67	713	3 540	3 535	+ 5	+ 0,1	+ 6	+ 2,2	— 2,1	— 75	3 460
»	40	7-11-67	716	3 585	3 570	+ 15	+ 0,4	+ 4	+ 1,5	— 0,9	— 30	3 540
»	41	11-11-67	719	3 615	3 610	+ 5	+ 0,1	+ 4	+ 1,5	— 1,4	— 50	3 560
C	42	13-11-67	720	3 640	3 620	+ 20	+ 0,5	+ 3	+ 1,1	— 0,6	— 20	3 600
D	43	16-11-67	720	3 630	3 620	+ 10	+ 0,3	0	0	+ 0,3	+ 10	3 630
»	44	19-11-67	718	3 610	3 595	+ 15	+ 0,4	— 3	— 1,1	+ 1,5	+ 55	3 650
»	45	22-11-67	715	3 440	3 560	— 120	— 3,4	— 6	— 2,2	— 1,2	— 45	3 515
»	46	25-11-67	711	3 460	3 510	— 50	— 1,4	— 6	— 2,2	+ 0,8	+ 30	3 540
»	47	28-11-67	704	3 390	3 435	— 45	— 1,3	— 7	— 2,6	+ 1,3	+ 45	3 480
D	48	30-11-67	701	3 330	3 400	— 70	— 2,1	— 8	— 3,0	+ 0,9	+ 30	3 430
C	50	22-10-68	650	2 840	2 900	— 60	— 2,1	+ 2	+ 0,7	— 2,8	— 80	2 820
C	51	25-10-68	651	2 790	2 905	— 115	— 4,0	+ 2	+ 0,7	— 4,7	— 135	2 770
D	53	1-11-68	650	2 900	2 900	0	0	— 1	— 0,4	+ 0,4	+ 10	2 910
»	55	8-11-68	641	2 760	2 815	— 55	— 2,0	— 7	— 2,6	+ 0,6	+ 15	2 830
»	57	14-11-68	629	2 610	2 705	— 95	— 3,5	— 10	— 3,7	+ 0,2	+ 5	2 710
»	59	18-11-68	619	2 500	2 610	— 110	— 4,2	— 12	— 4,5	+ 0,3	+ 10	2 620
»	61	22-11-68	608	2 390	2 515	— 125	— 5,0	— 14	— 5,2	+ 0,2	+ 5	2 520
D	62	25-11-68	602	2 310	2 460	— 150	— 6,1	— 13	— 4,8	— 1,3	— 30	2 430

TABLEAU III
STATION DE DIRE
Méthode du gradient limnigraphique

Sens	N°	Date	H cm	Q m³/s	Q ₀ m³/s	ΔQ m³/s	$\frac{\Delta Q}{Q_0}$ %	ΔH ₅ cm	a %	$\frac{\Delta'Q}{Q_0}$ %	Δ'Q m³/s	Q' m³/s
C	1	26-8-51	375	1 060	1 015	+ 45	+ 4,4	+ 22	+ 21,4	— 17,0	— 170	845
D	2	4-4-52	465	1 245	1 510	— 265	— 17,5	— 18	— 17,5	0	0	1 510
»	3	11-1-54	601	2 540	2 595	— 55	— 2,1	— 3	— 2,9	+ 0,8	+ 20	2 615
»	4	23-2-54	542	1 815	1 980	— 165	— 8,3	— 11	— 10,7	+ 2,4	+ 45	2 025
»	5	10-6-54	129	120	123	— 3	— 2,4	— 3	— 2,9	+ 0,5	+ 1	124
C	6	9-8-54	353	1 100	905	+ 195	+ 21,5	+ 28	+ 27,3	— 5,8	— 55	850
»	7	24-8-54	419	1 445	1 250	+ 195	+ 15,6	+ 20	+ 19,5	— 3,9	— 50	1 200
»	8	5-9-54	456	1 735	1 460	+ 275	+ 18,8	+ 11	+ 10,7	+ 8,1	+ 120	1 580
»	9	12-10-54	527	2 020	1 875	+ 145	+ 7,7	+ 6	+ 5,9	+ 1,8	+ 35	1 910
»	10	15-12-54	603	2 540	2 625	— 85	— 3,2	+ 4	+ 3,9	— 7,1	— 185	2 440
D	11	19-1-55	609	2 645	2 720	— 75	+ 2,8	— 3	— 2,9	+ 0,1	+ 5	2 725
C	12	23-1-55	588	2 400	2 415	— 15	— 0,6	+ 5	+ 4,9	— 5,5	— 135	2 280
»	13	8-12-55	604	2 545	2 640	— 95	— 3,6	+ 7	+ 6,8	— 10,4	— 275	2 365
»	14	7-8-56	247	725	425	+ 300	+ 70,5	+ 22	+ 21,4	+ 49,1	+ 210	635
»	15	30-7-57	237	465	385	+ 80	+ 20,8	+ 23	+ 22,4	— 1,6	— 5	380
»	16	4-8-58	342	1 045	850	+ 195	+ 23,0	+ 17	+ 16,6	+ 6,4	+ 55	905
»	17	26-8-58	405	1 350	1 175	+ 175	+ 14,9	+ 13	+ 12,7	+ 2,2	+ 25	1 200
»	18	15-9-58	458	1 665	1 470	+ 195	+ 13,3	+ 11	+ 10,7	+ 2,6	+ 40	1 510
»	19	28-10-58	530	2 005	1 895	+ 110	+ 5,8	+ 8	+ 7,8	— 2,0	— 40	1 855
»	20	13-11-58	548	2 205	2 030	+ 175	+ 8,6	+ 2	+ 1,9	+ 6,7	+ 135	2 165
D	21	17-3-59	456	1 130	1 460	— 330	— 22,6	— 13	— 12,7	— 9,9	— 145	1 315
C	22	23-9-59	463	1 905	1 500	+ 405	+ 27,0	+ 21	+ 20,4	+ 6,6	+ 100	1 600
D	23	26-3-60	303	515	670	— 155	— 23,2	— 32	— 31,2	+ 8,0	+ 55	725
C	24	23-8-61	346	1 060	870	+ 190	+ 21,8	+ 25	+ 24,4	— 2,6	— 25	845
»	29	10-11-67	537	2 120	1 945	+ 175	+ 9,0	+ 4	+ 3,9	+ 5,1	+ 100	2 045
»	30	1-12-67	563	2 260	2 150	+ 110	+ 5,1	+ 9	+ 8,8	— 3,7	— 80	2 070
»	31	4-12-67	567	2 290	2 180	+ 110	+ 5,0	+ 6	+ 5,9	— 0,9	— 20	2 160
»	32	13-12-67	574	2 330	2 260	+ 70	+ 3,1	+ 3	+ 2,9	+ 0,2	+ 5	2 265
D	33	20-1-68	571	2 110	2 220	— 110	— 4,9	— 5	— 4,9	0	0	2 220
»	34	30-1-68	560	1 980	2 120	— 140	— 6,6	— 7	— 6,8	+ 0,2	+ 5	2 125
»	35	18-12-68	535	1 840	1 930	— 90	— 4,7	— 2	— 1,9	— 2,8	— 5	1 925
»	36	2-1-69	525	1 710	1 865	— 155	— 8,3	— 4	— 3,9	— 4,4	— 10	1 855
»	37	11-1-69	509	1 640	1 760	— 120	— 6,8	— 7	— 6,8	0	0	1 760

Δh₅ sur 5 jours, Δh₆ sur 6 heures, exprimés en centimètres de hauteurs d'eau, sont les valeurs brutes Δh pendant les intervalles Δt et non pas les gradients $\frac{\Delta h}{\Delta t}$ proprement dits, la division étant une opération supplémentaire inutile.

Le tableau V montre l'efficacité de la méthode en présentant les diverses réductions d'écarts absolus et relatifs et les précisions sur la connaissance du débit obtenues pour Diré et Mopti.

Les réductions d'écarts sur ΔQ et sur $\frac{\Delta Q}{Q_0}$ qui sont de l'ordre de 50 à 55% sont également de 50% pour Boitiek. On se souvient que cette réduction, pour ΔQ était de 75% sur Boitiek en utilisant la méthode itérative. La prise en compte de la vitesse U améliore le gain mais on peut considérer que cette amélioration est compensée ici par la simplicité plus grande de la méthode graphique du gradient limnigraphique.

Il est à peu près certain que, pour des cours d'eau à pente notable et fortes variations de pente, la vitesse varie également de manière non négligeable et qu'elle doit être prise en compte si la station ne peut être dotée de 2 échelles.

TABLEAU IV
STATION DE BOITIEK
Méthode du gradient limnigraphique

Sens	N°	Date	H cm	Q m³/s	Q ₀ m³/s	ΔQ m³/s	$\frac{\Delta Q}{Q_0}$ %	ΔH ₆ cm	a %	$\frac{\Delta'Q}{Q_0}$ %	Δ'Q m³/s	Q' m³/s
D	1	7-7-65	139	0,200	0,390	— 0,190	— 48,7	— 30	— 22,0	— 26,7	— 0,104	0 286
»	2	29-7-65	275	5,000	6,300	— 1,300	— 20,6	+ 3	+ 2,2	— 22,8	— 1,140	5,160
»	3	31-7-65	209	0,900	1,085	— 0,185	— 17,0	— 23	— 16,8	— 0,2	≠ 0	1,085
»	4	15-8-65	300	9,200	9,800	— 0,600	— 6,1	— 8	— 5,9	— 0,2	— 0,020	9,780
»	5	18-8-65	153	0,400	0,515	— 0,115	— 22,4	— 31	— 22,6	+ 0,2	+ 0,001	0,516
D	6	19-8-65	110	0,140	0,144	— 0,004	— 2,8	— 4	— 2,9	+ 0,1	≠ 0	0,144
»	7	28-8-65	302	8,300	10,200	— 1,900	— 18,6	— 18	— 13,2	— 5,4	— 0,450	9,750
»	8	29-8-65	255	3,000	4,000	— 1,000	— 25,0	— 3	— 2,2	— 22,8	— 0,685	3,315
»	9	31-8-65	328	16,000	18,100	— 2,100	— 11,6	— 16	— 11,7	+ 0,1	+ 0,015	18,115
»	10	7-7-66	242	3,000	2,850	+ 0,150	+ 5,3	+ 8	+ 5,9	— 0,6	— 0,020	2,830
D	11	9-7-66	110	0,125	0,144	— 0,019	— 13,2	— 4	— 2,9	— 10,3	— 0,013	0,131
C	12	12-7-66	183	1,250	0,800	+ 0,450	+ 56,3	+ 77	+ 56,3	0	0	0,800
C	13	17-7-66	288	8,200	8,100	+ 0,100	+ 1,2	+ 32	+ 23,4	— 22,2	— 1,820	6,280
»	14	19-7-66	123	0,240	0,252	— 0,012	— 4,8	— 13	— 9,5	+ 4,7	+ 0,011	0,263
»	15	3-9-66	290	7,500	8,400	— 0,900	— 10,7	— 18	— 13,2	+ 2,5	+ 0,190	8,590
»	16	23-7-67	101	0,046	0,068	— 0,022	— 32,4	— 2	— 1,5	— 30,9	— 0,014	0,054
D	17	4-8-67	273,5	6,000	6,100	— 0,100	— 1,6	0	0	— 1,6	— 0,100	6,000
»	18	25-8-67	287,5	7,800	8,050	— 0,250	— 3,1	— 5	— 3,7	+ 0,6	+ 0,045	8,095
»	19	8-9-67	106	0,110	0,112	— 0,002	— 1,8	— 2	— 1,5	— 0,3	≠ 0	0,112
»	20		90	0	0							

4.2. Méthode de l'écart à la cote maximale

4.2.1. DOMAINE D'APPLICATION

La méthode de tarage avec correction par le gradient limnigraphique paraît s'appliquer à tous les types de stations non univoques.

Pour les grands fleuves à régime hydrologique régulier (hydrogramme annuel en forme de cloche) dû à l'importance du bassin alimentaire, aux faibles pentes du chenal et à la présence régularisatrice de grandes plaines d'inondations, on a envisagé l'application d'une méthode simplifiée par rapport à celle du gradient.

En effet, pour ces cours d'eau, la pente de la ligne d'eau est peu variable en crue et également en décrue, ce qui permet d'assimiler le tarage à deux courbes pseudo-univoques de crue et de décrue réunies par une courbe de raccordement variable chaque année, selon la cote maximale atteinte.

Cette relative univocité de crue et de décrue s'explique par le fait que le gradient limnigraphique varie peu ou très lentement tout au long de la crue comme de la décrue; les limnigrammes annuels sont sensiblement homothétiques (cf. fig. 15 pour le Niger à Diré).

Il semble pour de tels cours d'eau que la valeur du gradient limnigraphique dépende de la cote maximale et de l'écart à cette cote, d'où l'idée de procéder à la correction de pente en remplaçant le gradient limnigraphique par l'écart à la cote maximale Δh_x .

TABLEAU V

SYNTHESE DES GAINS COMPARATIFS ENTRE LES METHODES DE TARAGE

Station	Méthode	Mopti			Diré		
		I	II	III	I	II	III
Ecart sur ΔQ	$\frac{\Sigma \Delta Q_i}{\Sigma \Delta Q_f}$	3 605 1 525	3 729 1 178	3 729 1 379	5 003 2 156	5 160 1 835	5 160 2 055
	$\Sigma \frac{\Delta Q_i}{Q_0}$	359,8	396,7	396,7	413,5	462,3	462,3
Ecart sur $\Delta Q/Q_0$	$\Sigma \frac{\Delta Q_f}{Q_0}$	192,7	116,5	127,2	178,4	151,0	160,1
	$\Sigma \frac{\Delta Q_i}{Q_0}$	192,7	116,5	127,2	178,4	151,0	160,1
Réduction des écarts sur ΔQ	$\Delta Q/Q_0$	57,8 46,5	68,5 70,5	63,2 67,9	57,0 56,9	64,5 67,4	60,1 65,4
	en %						
Moyenne des écarts $\pm \Delta Q$ m ³ /s	i	75	78	78	152	156	156
	f	32	25	28	65	52	62
	$\pm \frac{\Delta Q}{Q_0}$ %	i	i	i	i	i	i
	f	f	f	f	f	f	f
Ecart pour 50% des points	$\pm \Delta Q$ m ³ /s	i	i	i	i	i	i
	f	f	f	f	f	f	f
	$\pm \frac{\Delta Q}{Q_0}$	i	i	i	i	i	i
	f	f	f	f	f	f	f
Pourcentage de points à $\pm 2\%$	i	33	31	31	3	12	12
	f	62	71	62	37	51	55

Méthodes — I: du gradient limnigraphique
 II: de l'écart à la cote maximale
 III: simplifiée de l'écart à la cote maximale

i = initial
 f = final

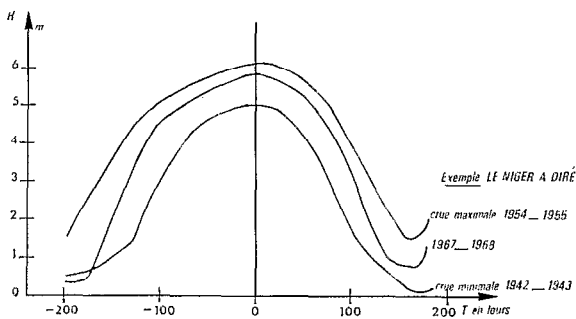


Fig. 15. — Homothétie des crues des grands fleuves à faible pente et plaines d'inondation importantes.

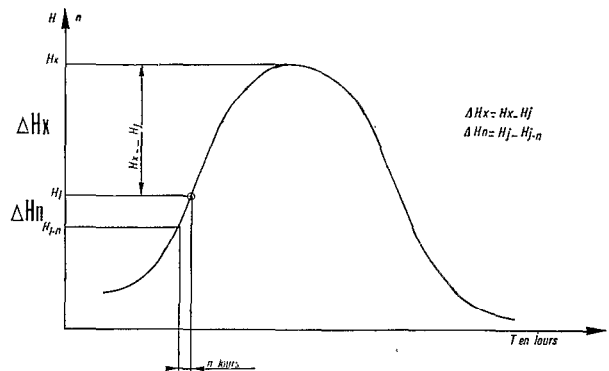


Fig. 16. — Passage de la méthode du gradient limnigraphique ΔH_n à la méthode de l'écart à la cote maximale ΔH_x .

La figure 16 montre simplement la similitude des méthodes pour des cours d'eau à limnigrammes homothétiques et justifie en quelque sorte que l'on remplace pour une cote H le jour j le gradient limnigraphique :

$$\Delta h_n = H_j - H_{j-n}$$

par l'écart au maximum H_x :

$$\Delta h_x = H_x - H_j$$

4.2.2. MODE D'EMPLOI

Le système d'équations (6) et (7) est remplacé ici par le système suivant :

$$Q = Q_0 (1 + f(\Delta h_x)) \quad (8)$$

$$\frac{\Delta Q}{Q_0} = f(\Delta h_x) \quad (9)$$

$f(\Delta h_x)$ étant une fonction de Δh_x qu'il importe de déterminer et dont la forme n'est pas connue a priori.

En fait, si l'on assimile le gradient Δh à un incrément de la fonction hauteur, l'écart à la cote maximale est assimilable à son intégrale et l'on peut supposer que la liaison (9) sera de la forme :

$$\Delta h_x = \left(\frac{\Delta Q}{Q_0} \right)^n$$

avec $n > 1$.

Comme l'écart Δh_x est toujours positif, on doit lui affecter un signe positif lorsque l'on est en crue et négatif lors de la décrue. Bien entendu, l'affectation de signe inverse est possible si la station a un type d'écoulement à pente supérieure en décrue par rapport à la crue (cas rare de confluence complexe avec crues des affluents décalées comme on l'observe sur le Tinkisso, avant qu'il se jette dans le Niger, à la station de Ouaran).

La fonction simple qui permet le mieux de représenter les formes de tendance parabolique symétriques par rapport au zéro des relations $\frac{\Delta Q}{Q_0} = f(\Delta h_x)$ pour Δh_x positif et négatif est la fonction arc tangente.

On procède comme dans la méthode du gradient limnigraphique en deux temps :

a) Tracé de la courbe de tarage au milieu des points de jaugeages de crue et de décrue, donnant $Q_0 (H)$;

b) Report des écarts relatifs $\frac{Q - Q_0}{Q_0}$ soit $\frac{\Delta Q}{Q_0}$ en fonction de ΔH_x et ajustement graphique d'une fonction $\frac{\Delta Q}{Q_0} = a \cdot \text{Arc} \cdot \text{tg } b \cdot \Delta H_x$ par la méthode des déviations résiduelles.

La fonction précédente permet une simplification (laquelle ne semble pas a priori introduire d'erreur grossière) en considérant que l'écart relatif de Q_0 varie linéairement en fonction de ΔH_x jusqu'à un maximum, au-delà duquel $\Delta Q/Q_0$ reste constant. Cela revient à assimiler le limnigramme à une courbe en « toile de tente ».

Le choix de cette correction par trois demi-droites en lieu et place de la relation en Arc tangente peut être introduit sous le nom de méthode simplifiée de l'écart au maximum.

On a alors, $\left(\frac{\Delta Q}{Q_0}\right)_x$ étant l'écart maximal :

$$\frac{\Delta Q}{Q_0} = C \cdot \Delta H_x \text{ pour } -\left(\frac{\Delta Q}{Q_0}\right)_x < \frac{\Delta Q}{Q_0} < +\left(\frac{\Delta Q}{Q_0}\right)_x$$

4.2.3. APPLICATIONS AU NIGER A DIRÉ ET MOPTI

La méthode des déviations résiduelles est appliquée avec les mêmes symboles que pour le gradient limnigraphique (cf. 4.1.2.). Les tableaux récapitulatifs des calculs d'ajustement pour Mopti et Diré, selon la méthode normale d'écart à la cote maximale ou selon la méthode simplifiée, sont les tableaux VI à IX.

Les courbes de tarage et de correction (pour les deux méthodes ensemble) sont données sur les figures 17-19 pour Mopti et 20-22 pour Diré.

L'ajustement aux moindres écarts par approximations successives des tracés des couples de courbes pour les tarages selon l'une ou l'autre des méthodes pourrait théoriquement donner des tracés légèrement différents pour les courbes de tarage proprement dites Q_0 (H). En fait, les deux méthodes de correction sont tellement proches qu'il n'en est rien et que les courbes de tarage Q_0 (H) sont confondues.

Par contre, on peut voir que la différence avec la méthode du gradient limnigraphique est notable et que l'équation de correction étant bien distincte, les courbes de tarage le sont également.

Le tarage complet de la station non univoque par l'une ou l'autre des méthodes — gradient ou écart au maximum — ne doit cependant pas donner de différences systématiques. A titre de vérification, on a analysé les évolutions du débit autour du maximum selon qu'il est calculé par l'une ou l'autre des méthodes, sur l'exemple des crues de 1967-68 et 1968-69 à Mopti et Diré (fig. 23 à 24). Compte tenu de la marge d'incertitude sur les débits, on peut admettre que tous les résultats sont concordants. Tout au plus, peut-on remarquer que la méthode de l'écart au maximum respecte plus la régularité (?) de l'évolution des débits que la méthode du gradient qui introduit, par excès de sensibilité, quelques dents de scie dans l'hydrogramme.

TABLEAU VI
STATION DE MOPTI
Méthode de l'écart à la cote maximale

Sens	Année	N°	Date	H cm	Q m³/s	Q _o m³/s	ΔQ m³/s	$\frac{\Delta Q}{Q_o}$ %	H _x cm	ΔH _x cm	a %	$\frac{\Delta'Q}{Q_o}$ %	Δ'Q m³/s	Q' m³/s
D	1951-52	3	26-1-52	527	1 570	1 820	— 250	— 13,7	712	— 185	— 11,7	— 2,0	— 35	1 785
»		4	27-3-52	232	280	325	— 45	— 13,9		— 480	— 16,3	+ 2,4	+ 10	335
C	1952-53	5	8-6-52	126	130	111	+ 19	+ 17,1	719	+ 593	+ 16,9	+ 0,2	≠ 0	111
D	1953-54	6	19-2-54	310	505	595	— 90	— 15,1	731	— 421	— 15,9	+ 0,8	+ 5	600
D	1955-56	7	23-3-56	230	290	320	— 30	— 9,4	731	— 501	— 16,5	+ 6,9	+ 20	340
D		8												
»		9	18-12-56	542	1 770	1 945	— 175	— 9,0	686	— 144	— 10,1	+ 1,1	+ 20	1 965
»	1956-57	10	18-2-57	233	265	325	— 60	— 18,5		— 453	— 16,1	— 2,4	— 10	315
»		11	8-5-57	100	74	74	0	0		— 586	— 16,8	+ 16,8	+ 12	86
C		12	6-8-57	473	1 600	1 425	+ 175	+ 12,3		+ 257	+ 13,6	— 1,3	— 20	1 405
D		14	16-1-58	514	1 570	1 720	— 150	— 8,7	730	— 216	— 12,6	+ 3,9	+ 65	1 785
»	1957-58	15	19-2-58	346	530	765	— 235	— 30,7		— 384	— 15,5	— 15,2	— 115	655
»		16	12-3-58	268	280	430	— 150	— 34,9		— 462	— 16,2	— 18,7	— 80	350
C		17	4-6-58	227	360	310	+ 50	+ 16,2		+ 480	+ 16,3	— 0,1	≠ 0	310
»	1958-59	18	25-7-58	414	1 225	1 095	+ 135	+ 12,3	707	+ 293	+ 14,2	— 1,9	— 20	1 075
»		19	13-8-58	464	1 555	1 370	+ 185	+ 13,5		+ 243	+ 13,3	+ 0,2	+ 5	1 375
»		20	6-9-58	580	2 400	2 250	+ 150	+ 6,7		+ 127	+ 9,3	— 2,6	— 60	2 190
C		22	22-8-59	515	2 000	1 725	+ 275	+ 15,9		+ 175	+ 11,4	+ 4,5	+ 80	1 805
D		26	14-3-60	142	120	145	— 25	— 17,5	690	— 548	— 16,7	— 0,5	≠ 0	145
»	1959-60	27	31-3-60	120	84	101	— 17	— 16,8		— 570	— 16,8	0	0	101
»		28	22-4-60	92	55	64	— 9	— 14,1		— 598	— 16,9	+ 2,8	+ 2	66
»		29	11-5-60	74	39	47	— 8	— 17,0		— 616	— 17,0	0	0	47
C	1960-61	30	23-7-60	376	1 075	910	+ 165	+ 18,1	691	+ 315	+ 14,6	+ 3,5	+ 30	940
D	1962-63	31	9-6-63	140	130	140	— 10	— 7,1	702	— 562	— 16,7	+ 9,6	+ 14	154
C		32	24-5-67	52	44	38	+ 6	+ 15,8		+ 676	+ 17,2	— 1,4	≠ 0	38
»		33	15-10-67	690	3 370	3 285	+ 85	+ 2,6	720	+ 30	+ 2,6	0	0	3 285
»		34	17-10-67	693	3 340	3 315	+ 25	+ 0,8		+ 27	+ 2,4	— 1,6	— 55	3 260
»		35	19-10-67	696	3 450	3 350	+ 100	+ 3,0		+ 24	+ 2,1	+ 0,9	+ 30	3 380
»		36	24-10-67	702	3 465	3 410	+ 55	+ 1,6		+ 18	+ 1,6	0	0	3 410
»		37	29-10-67	708	3 605	3 470	+ 135	+ 3,9		+ 12	+ 1,1	+ 2,8	+ 95	3 565
»		38	1-11-67	710	3 565	3 495	+ 70	+ 2,0		+ 10	+ 0,9	+ 1,1	+ 40	3 535
»		39	4-11-67	713	3 540	3 520	+ 20	+ 0,6		+ 7	+ 0,7	— 0,1	— 5	3 515
»	1967-68	40	7-11-67	716	3 585	3 560	+ 25	+ 0,7		+ 4	+ 0,4	+ 0,3	+ 10	3 570
»		41	11-11-67	719	3 615	3 610	+ 5	+ 0,1		+ 1	+ 0,1	0	0	3 610
»		42	13-11-67	720	3 640	3 635	+ 5	+ 0,1		0	0	+ 0,1	+ 5	3 640
D		43	16-11-67	720	3 630	3 635	— 5	— 0,1		0	0	— 0,1	— 5	3 630
»		44	19-11-67	718	3 610	3 595	+ 15	+ 0,4		— 2	— 0,2	+ 0,6	+ 20	3 615
»		45	22-11-67	715	3 440	3 545	— 105	— 2,9		— 5	— 0,5	— 2,4	— 85	3 460
»		46	25-11-67	711	3 460	3 500	— 40	— 1,1		— 9	— 0,8	— 0,3	— 10	3 490
»		47	28-11-67	704	3 390	3 430	— 40	— 1,2		— 16	— 1,5	+ 0,3	+ 10	3 440
»		48	30-11-67	701	3 330	3 400	— 70	— 2,1		— 19	— 1,7	— 0,4	— 15	3 385
C		50	22-10-68	650	2 840	2 875	— 35	— 1,2		+ 1	+ 0,1	— 1,3	— 40	2 835
»		51	25-10-68	651	2 790	2 890	— 100	— 3,5	651	0	0	— 3,5	— 100	2 790
D		53	1-11-68	650	2 900	2 875	+ 25	+ 0,9		— 1	— 0,1	+ 1,0	+ 30	2 905
»		55	8-11-68	641	2 760	2 780	— 20	— 0,7		— 10	— 0,9	+ 0,2	+ 5	2 785
»	1968-69	57	14-11-68	629	2 610	2 670	— 60	— 2,2		— 22	— 2,0	— 0,2	— 5	2 665
»		59	18-11-68	619	2 500	2 575	— 75	— 2,9		— 32	— 2,8	— 0,1	≠ 0	2 575
»		61	22-11-68	608	2 390	2 480	— 90	— 3,6		— 43	— 3,7	+ 0,1	≠ 0	2 480
»		62	25-11-68	602	2 310	2 420	— 110	— 4,5		— 49	— 4,2	— 0,3	— 10	2 410

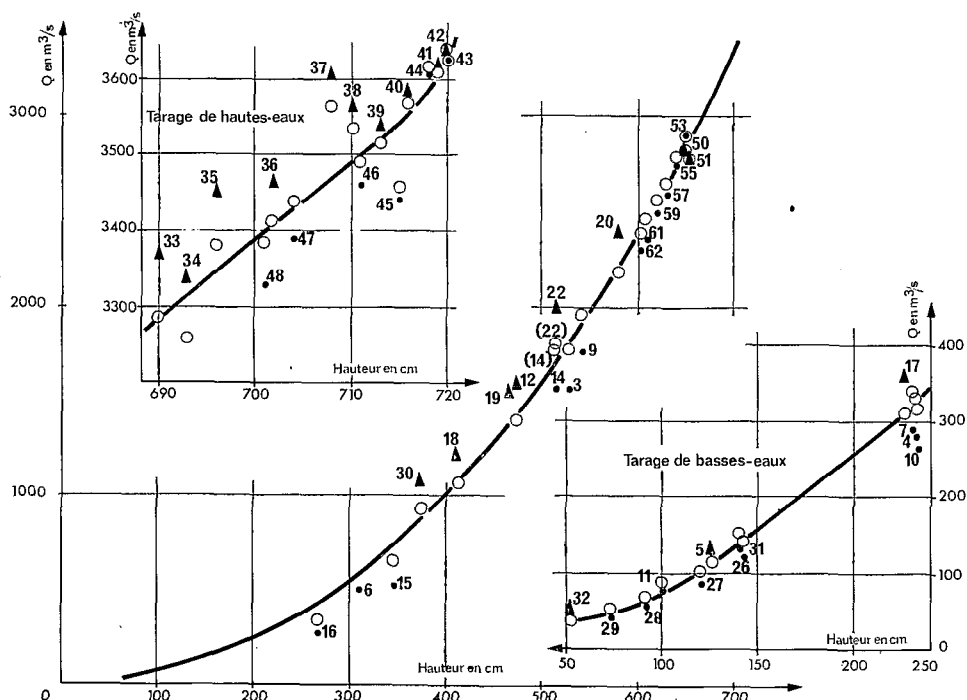


Fig. 17. — Méthode de l'écart à la cote maximale, station de Mopti.

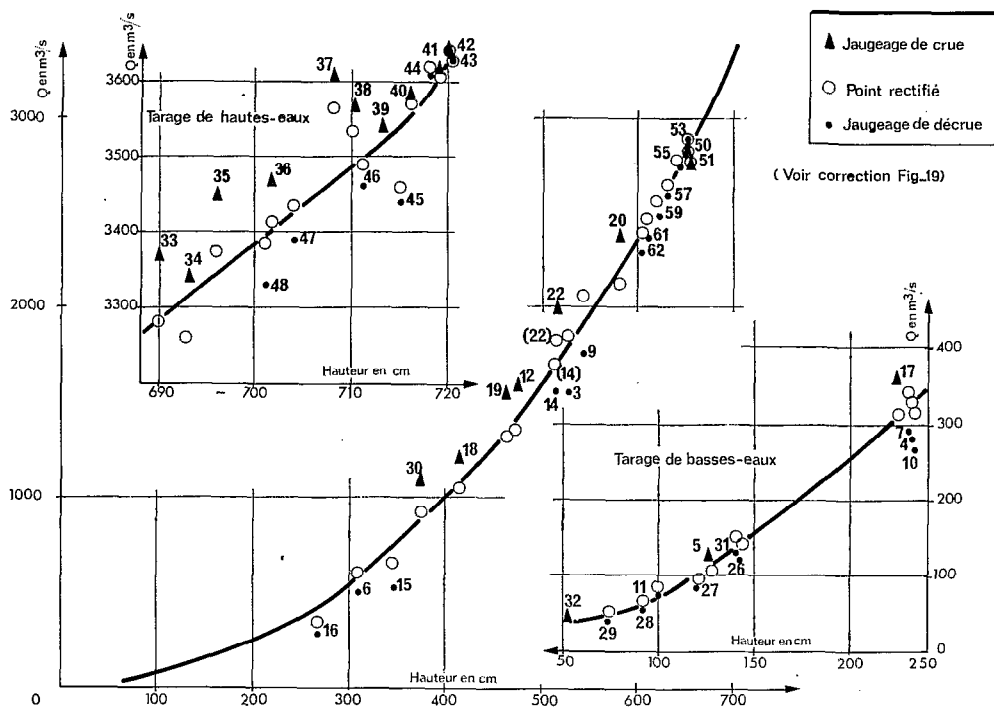


Fig. 18. — Méthode simplifiée de l'écart à la cote maximale, station de Mopti.

TABLEAU VII
STATION DE MOPTI
Méthode simplifiée de l'écart à la cote maximale

Sens	Année	N°	Date	H cm	Q m³/s	Q _o m³/s	ΔQ m³/s	$\frac{\Delta Q}{Q_o}$ %	H _x cm	ΔH _x cm	a %	$\frac{\Delta'Q}{Q_o}$ %	Δ'Q m³/s	Q' m³/s
D	1951-52	3	26-1-52	527	1 570	1 820	— 250	— 13,7	712	— 185	— 16,0	+ 2,3	+ 40	1 860
»		4	27-3-52	232	280	325	— 45	— 13,9		— 480	— 16,0	+ 2,1	+ 5	330
C	1952-53	5	8-6-52	126	130	111	+ 19	+ 17,1	719	+ 593	+ 16,0	+ 1,1	+ 1	112
D	1953-54	6	19-2-54	310	505	595	— 90	— 15,1	731	— 421	— 16,0	+ 0,9	+ 5	600
D	1955-56	7	23-3-56	230	290	320	— 30	— 9,4	731	— 501	— 16,0	+ 6,6	+ 20	340
D	1956-57	8												
»		9	18-12-56	542	1 770	1 945	— 175	— 9,0	686	— 144	— 16,0	+ 7,0	+ 135	2 080
»		10	18-2-57	233	265	325	— 60	— 18,5		— 453	— 16,0	— 2,5	— 10	315
»		11	8-5-57	100	74	74	0	0		— 586	— 16,0	+ 16,0	+ 12	86
C	1957-58	12	6-8-57	473	1 600	1 425	+ 175	+ 12,3		+ 257	+ 16,0	— 3,7	— 55	1 370
D		14	16-1-58	514	1 570	1 720	— 150	— 8,7	730	— 216	— 16,0	+ 7,3	+ 125	1 845
»		15	19-2-58	346	530	765	— 235	— 30,7		— 384	— 16,0	— 14,7	— 110	655
»		16	12-3-58	268	280	430	— 150	— 34,9		— 462	— 16,0	— 18,9	— 80	350
C	1958-59	17	4-6-58	227	360	310	+ 50	+ 16,2		+ 480	+ 16,0	+ 0,2	≠ 0	310
»		18	25-7-58	414	1 225	1 095	+ 135	+ 12,3	707	+ 293	+ 16,0	— 3,7	— 40	1 055
»		19	13-8-58	464	1 555	1 370	+ 185	+ 13,5		+ 243	+ 16,0	— 2,5	— 35	1 335
»		20	6-9-58	580	2 400	2 250	+ 150	+ 6,7		+ 127	+ 11,4	— 4,7	— 105	2 145
C	1959-60	22	22-8-59	515	2 000	1 725	+ 275	+ 15,9		+ 175	+ 16,0	— 0,1	≠ 0	1 725
D		26	14-3-60	142	120	145	— 25	— 17,2	690	— 548	— 16,0	— 1,2	— 2	143
»		27	31-3-60	120	84	101	— 17	— 16,8		— 570	— 16,0	— 0,8	— 1	100
»		28	22-4-60	92	55	64	— 9	— 14,1		— 598	— 16,0	+ 1,9	+ 1	65
»		29	11-5-60	74	39	47	— 8	— 17,0		— 616	— 16,0	— 1,0	≠ 0	47
C	1960-61	30	23-7-60	376	1 075	910	+ 165	+ 18,1	691	+ 315	+ 16,0	+ 2,1	+ 20	930
D	1962-63	31	9-6-63	140	130	140	— 10	— 7,1	702	— 562	— 16,0	+ 8,9	+ 12	152
C	1967-68	32	24-5-67	52	44	38	+ 6	+ 15,8		+ 676	— 16,0	— 0,2	≠ 0	38
»		33	15-10-67	690	3 370	3 285	+ 85	+ 2,6	720	+ 30	+ 2,7	— 0,1	— 5	3 280
»		34	17-10-67	693	3 340	3 315	+ 25	+ 0,8		+ 27	+ 2,4	— 1,6	— 55	3 260
»		35	19-10-67	696	3 450	3 350	+ 100	+ 3,0		+ 24	+ 2,2	+ 0,8	+ 25	3 375
»		36	24-10-67	702	3 465	3 410	+ 55	+ 1,6		+ 18	+ 1,6	0	0	3 410
»		37	29-10-67	708	3 605	3 470	+ 135	+ 3,9		+ 12	+ 1,1	+ 2,8	+ 95	3 565
»		38	1-11-67	710	3 565	3 495	+ 70	+ 2,0		+ 10	+ 0,9	+ 1,1	+ 40	3 535
»		39	4-11-67	713	3 540	3 520	+ 20	+ 0,6		+ 7	+ 0,6	0	0	3 520
»		40	7-11-67	716	3 585	3 560	+ 25	+ 0,7		+ 4	+ 0,4	+ 0,3	+ 10	3 570
»		41	11-11-67	719	3 615	3 610	+ 5	+ 0,1		+ 1	+ 0,1	0	0	3 610
»		42	13-11-67	720	3 640	3 635	+ 5	+ 0,1		0	0	+ 0,1	+ 5	3 640
D		43	16-11-67	720	3 630	3 635	— 5	— 0,1		0	0	— 0,1	— 5	3 630
»		44	19-11-67	718	3 610	3 595	+ 15	+ 0,4		— 2	— 0,2	+ 0,6	+ 20	3 615
»		45	22-11-67	715	3 440	3 545	— 105	— 2,9		— 5	— 0,5	— 2,4	— 85	3 460
»		46	25-11-67	711	3 460	3 500	— 40	— 1,1		— 9	— 0,8	— 0,3	— 10	3 490
»		47	28-11-67	704	3 390	3 430	— 40	— 1,2		— 16	— 1,4	+ 0,2	+ 5	3 435
»		48	30-11-67	701	3 330	3 400	— 70	— 2,1		— 19	— 1,7	— 0,4	— 15	3 385
C	1968-69	50	22-10-68	650	2 840	2 875	— 35	— 1,2		+ 1	+ 0,1	— 1,3	— 35	2 840
»		51	25-10-68	651	2 790	2 890	— 100	— 3,5	651	0	0	— 3,5	— 100	2 790
D		53	1-11-68	650	2 900	2 875	+ 25	+ 0,9		— 1	— 0,1	+ 1,0	+ 30	2 905
»		55	8-11-68	641	2 760	2 780	— 20	— 0,7		— 10	— 0,9	+ 0,2	+ 5	2 785
»		57	14-11-68	629	2 610	2 670	— 60	— 2,2		— 22	— 2,0	— 0,2	— 5	2 665
»		59	18-11-68	619	2 500	2 575	— 75	— 2,9		— 32	— 2,9	0	0	2 575
»		61	22-11-68	608	2 390	2 480	— 90	— 3,6		— 43	— 3,9	+ 0,3	+ 10	2 490
»		62	25-11-68	602	2 310	2 420	— 110	— 4,5		— 49	— 4,4	— 0,1	— 5	2 415

TABLEAU VIII
STATION DE DIRE
Méthode de l'écart à la cote maximale

Année	N°	Date	H cm	Q m³/s	Q _o m³/s	ΔQ m³/s	$\frac{\Delta Q}{Q_o}$ %	H _x cm	ΔH _x cm	a %	$\frac{\Delta'Q}{Q_o}$ %	Δ'Q m³/s	Q' m³/s
1951-52	1	26-8-51	375	1 060	990	+ 70	+ 7,1	601	+ 226	+ 23,5	— 16,4	— 160	830
	2	4-4-52	465	1 245	1 430	— 185	— 12,9		— 136	— 20,7	+ 7,8	+ 110	1 540
1953-54	3	11-1-54	601	2 540	2 580	— 40	— 1,5	606	— 5	— 1,5	0	0	2 580
	4	23-2-54	542	1 815	1 915	— 100	— 5,2		— 64	— 15,0	+ 9,8	+ 190	2 105
	5	10-6-54	129	120	155	— 35	— 22,6		— 477	— 25,8	+ 3,2	+ 5	160
1954-55	6	9-8-54	353	1 100	890	+ 210	+ 23,6	613	+ 260	+ 24,2	— 0,6	— 5	885
	7	24-8-54	419	1 445	1 190	+ 255	+ 21,5		+ 194	+ 22,8	— 1,3	— 15	1 175
	8	5-9-54	456	1 735	1 385	+ 350	+ 25,3		+ 157	+ 21,7	+ 3,6	+ 50	1 435
	9	12-10-54	527	2 020	1 790	+ 230	+ 12,9		+ 86	+ 17,5	— 4,6	— 80	1 710
	10	15-12-54	603	2 540	2 595	— 55	— 2,1		+ 10	+ 3,1	— 5,2	— 135	2 460
	11	19-1-55	609	2 645	2 680	— 35	— 1,3		— 4	— 1,3	0	0	2 680
1955-56	12	23-11-55	588	2 400	2 400	0	0	612	+ 24	+ 7,0	— 7,0	— 170	2 230
	13	8-12-55	604	2 545	2 610	— 65	— 2,5		+ 8	+ 2,4	— 4,9	— 130	2 480
1956-57	14	7-8-56	247	725	425	+ 300	+ 70,5	565	+ 318	+ 24,8	+ 45,7	+ 195	620
1957-58	15	30-7-57	237	465	380	+ 85	+ 22,4	611	+ 374	+ 25,2	— 2,8	— 10	370
1958-59	16	4-8-58	342	1 045	840	+ 205	+ 24,4	581	+ 239	+ 23,8	+ 0,6	+ 5	845
	17	26-8-58	405	1 350	1 125	+ 225	+ 20,0		+ 176	+ 22,3	— 2,3	— 25	1 100
	18	15-9-58	458	1 665	1 390	+ 275	+ 19,8		+ 123	+ 20,2	— 0,4	— 5	1 385
	19	28-10-58	530	2 005	1 815	+ 190	+ 10,5		+ 51	+ 12,8	— 2,3	— 40	1 775
	20	13-11-58	548	2 205	1 975	+ 230	+ 11,7		+ 33	+ 9,3	+ 2,4	+ 45	2 020
	21	17-3-59	456	1 130	1 385	— 255	— 18,4		— 125	— 20,2	+ 1,8	+ 25	1 410
1959-60	22	23-9-59	463	1 905	1 420	+ 485	+ 34,2	573	+ 110	+ 19,4	+ 14,8	+ 210	1 630
	23	26-3-60	303	515	665	— 150	— 22,5		— 270	— 24,3	+ 1,8	+ 10	675
1961-62	24	23-8-61	346	1 060	860	+ 200	+ 23,3	559	+ 213	+ 23,3	0	0	860
1967-68	29	10-11-67	537	2 120	1 865	+ 255	+ 13,7	583	+ 46	+ 12,0	+ 1,7	+ 30	1 895
	30	1-12-67	563	2 260	2 130	+ 130	+ 6,1		+ 20	+ 6,0	+ 0,1	≠ 0	2 130
	31	4-12-67	567	2 290	2 170	+ 120	+ 5,5		+ 16	+ 4,9	+ 0,6	+ 15	2 185
	32	13-12-67	574	2 330	2 245	+ 85	+ 3,8		+ 9	+ 2,8	+ 1,0	+ 20	2 265
	33	20-1-68	571	2 110	2 210	— 100	— 4,5		— 12	— 3,7	— 0,8	— 20	2 190
	34	30-1-68	560	1 980	2 100	— 120	— 5,7		— 23	— 6,8	+ 1,1	+ 25	2 125
1968-69	35	18-12-68	535	1 840	1 855	— 15	— 0,8	538	— 3	— 0,9	+ 0,1	≠ 0	1 855
	36	2-1-69	525	1 710	1 780	— 70	— 3,9		— 13	— 4,0	+ 0,1	≠ 0	1 780
	37	11-1-69	509	1 640	1 675	— 35	— 2,1		— 29	— 8,3	+ 6,2	+ 105	1 780

TABLEAU IX

STATION DE DIRE

Méthode simplifiée de l'écart à la cote maximale

Sens	Année	N°	Date	H cm	Q m³/s	Q _o m³/s	ΔQ m³/s	$\frac{\Delta Q}{Q_o}$ %	H _x cm	ΔH _x cm	a %	$\frac{\Delta'Q}{Q_o}$ %	Δ'Q m³/s	Q' m³/s
C	1951-52	1	26-8-51	375	1 060	990	+ 70	+ 7,1	601	+ 226	+ 22,5	— 15,4	— 155	835
D		2	4-4-52	465	1 245	1 430	— 185	— 12,9		— 136	— 22,5	+ 9,6	+ 135	1 565
D	1953-54	3	11-1-54	601	2 540	2 580	— 50	— 1,5	606	— 5	— 1,5	0	0	2 580
»		4	23-2-54	542	1 815	1 915	— 100	— 5,2		— 64	— 19,2	+ 14,0	+ 270	2 185
»		5	10-6-54	129	120	155	— 35	— 22,6		— 477	— 22,5	— 0,1	≠ 0	155
C		6	9-8-54	353	1 100	890	+ 210	+ 23,6	613	+ 260	+ 22,5	+ 1,1	+ 10	900
»		7	24-8-54	419	1 445	1 190	+ 255	+ 21,5		+ 194	+ 22,5	— 1,0	— 10	1 180
»		8	5-9-54	456	1 735	1 385	+ 350	+ 25,3		+ 157	+ 22,5	+ 2,8	+ 40	1 425
»	1954-55	9	12-10-54	527	2 020	1 790	+ 230	+ 12,9		+ 86	+ 22,5	— 9,6	— 170	1 620
»		10	15-12-54	603	2 540	2 595	— 55	— 2,1		+ 10	+ 3,0	— 5,1	— 130	2 465
D		11	19-1-55	609	2 645	2 680	— 35	— 1,3		— 4	— 1,2	— 0,1	— 5	2 675
C	1955-56	12	23-11-55	588	2 400	2 400	0	0	612	+ 24	+ 7,2	— 7,2	— 175	2 225
»		13	8-12-55	604	2 545	2 610	— 65	— 2,5		+ 8	+ 2,4	— 4,9	— 130	2 480
»	1956-57	14	7-8-56	247	725	425	+ 300	+ 70,5	565	+ 318	+ 22,5	+ 48,0	+ 200	625
C	1957-58	15	30-7-57	237	465	380	+ 85	+ 22,4	611	+ 374	+ 22,5	— 0,1	≠ 0	380
C		16	4-8-58	342	1 045	840	+ 205	+ 24,4	581	+ 239	+ 22,5	+ 1,9	+ 15	855
»		17	26-8-58	405	1 350	1 125	+ 225	+ 20,0		+ 176	+ 22,5	— 2,5	— 30	1 095
»		18	15-9-58	458	1 665	1 390	+ 275	+ 19,8		+ 123	+ 22,5	— 2,7	— 40	1 350
»	1958-59	19	28-10-58	530	2 005	1 815	+ 190	+ 10,5		+ 51	+ 15,3	— 4,8	— 85	1 730
»		20	13-11-58	548	2 205	1 975	+ 230	+ 11,7		+ 33	+ 9,9	+ 1,8	+ 35	2 010
D		21	17-3-59	456	1 130	1 385	— 255	— 18,4		— 125	— 22,5	+ 4,1	+ 55	1 440
C	1959-60	22	23-9-59	463	1 905	1 420	+ 485	+ 34,2	573	+ 110	+ 22,5	+ 11,7	+ 165	1 585
D		23	26-3-60	303	515	665	— 150	— 22,5		— 270	— 22,5	0	0	685
C	1961-62	24	23-8-61	346	1 060	860	+ 200	+ 23,3	559	+ 213	+ 22,5	+ 0,8	+ 5	865
C		29	10-11-67	537	2 120	1 865	+ 255	+ 13,7	583	+ 46	+ 13,8	— 0,1	≠ 0	1 865
»		30	1-12-67	563	2 260	2 130	+ 130	+ 6,1		+ 20	+ 6,0	+ 0,1	≠ 0	2 130
»		31	4-12-67	567	2 290	2 170	+ 120	+ 5,5		+ 16	+ 4,8	+ 0,7	+ 15	2 185
»	1967-68	32	13-12-67	574	2 330	2 245	+ 85	+ 3,8		+ 9	+ 2,7	+ 1,1	+ 25	2 270
D		33	20-1-68	571	2 110	2 210	— 100	— 4,5		— 12	— 3,6	— 0,9	— 20	2 190
»		34	30-1-68	560	1 980	2 100	— 120	— 5,7		— 23	— 6,9	+ 1,2	+ 25	2 125
D	1968-69	35	18-12-68	535	1 840	1 855	— 15	— 0,8	538	— 3	— 0,9	+ 0,1	≠ 0	1 855
»		36	2-1-69	525	1 710	1 780	— 70	— 3,9		— 13	— 3,9	0	0	1 780
»		37	11-1-69	509	1 640	1 675	— 35	— 2,1		— 29	— 8,7	+ 6,6	+ 110	1 785

Le tableau suivant donne les équations des courbes de correction de pente:

Méthode	Station de Mopti	Station de Diré
de l'écart à la cote maximale	$\frac{\Delta Q}{Q_0} = 12,75 \text{ Arc tg } 0,706 \Delta H_x$	$\frac{\Delta Q}{Q_0} = 17,8 \text{ Arc tg } 1,74 \Delta H_x$
simplifiée de l'écart à la cote maximale	$\frac{\Delta Q}{Q_0} = 9 \Delta H_x$ jusqu'à $\frac{\Delta Q}{Q_0} = \text{cste} = \pm 16,0\%$	$\frac{\Delta Q}{Q_0} = 30 \Delta H_x$ jusqu'à $\frac{\Delta Q}{Q_0} = \text{cste} = \pm 22,5\%$

Unités des symboles: $\frac{\Delta Q}{Q_0}$ en %, ΔH_x en m (compté positivement en crue, négativement en décrue).

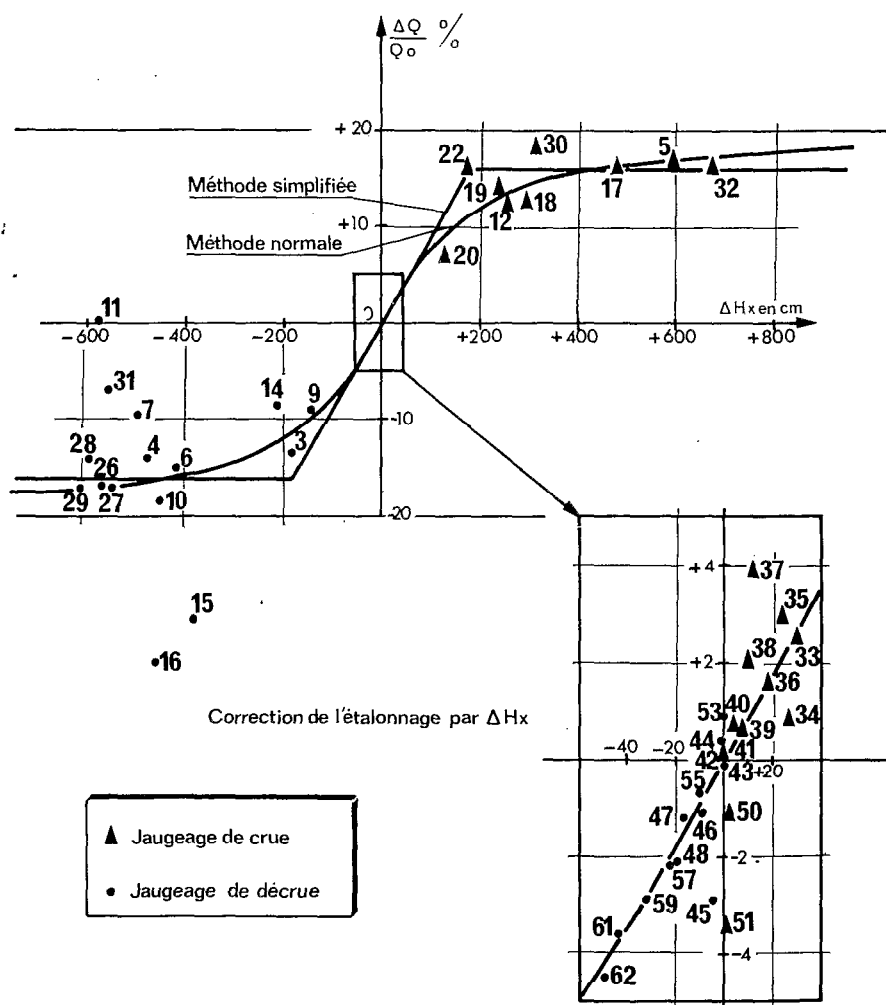


Fig. 19. — Méthode de l'écart à la cote maximale, station de Mopti.

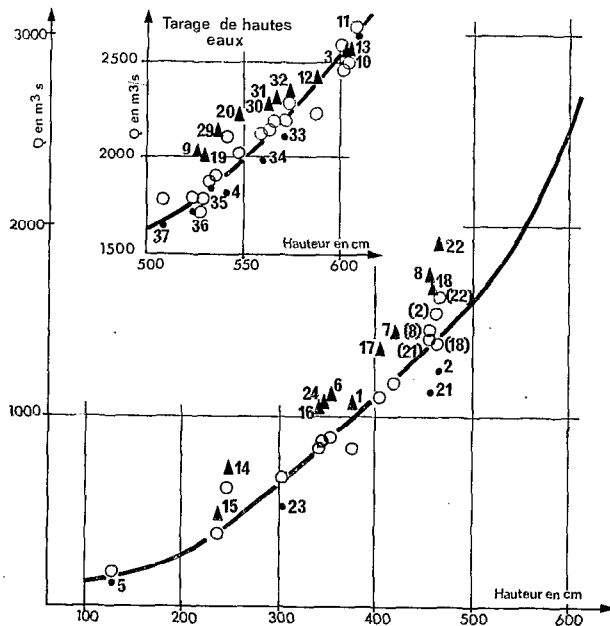


Fig. 20. — Méthode de l'écart à la cote maximale, station de Diré.

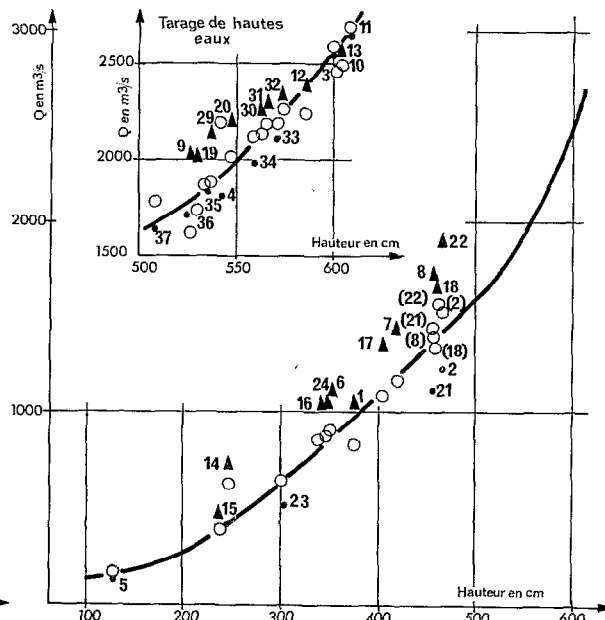


Fig. 21. — Méthode simplifiée de l'écart à la cote maximale, station de Diré.

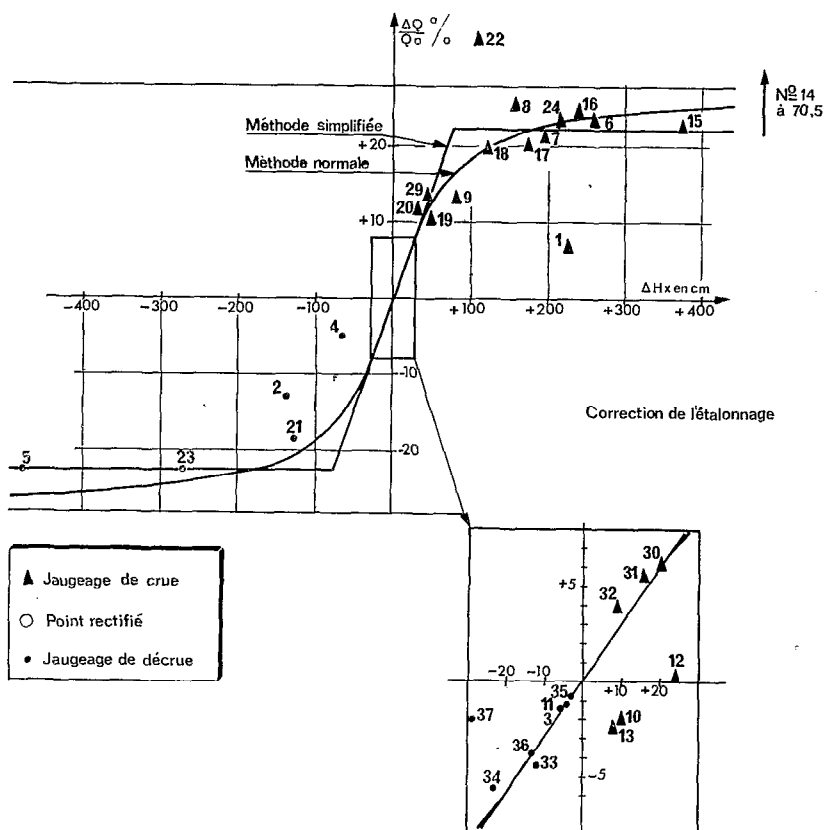
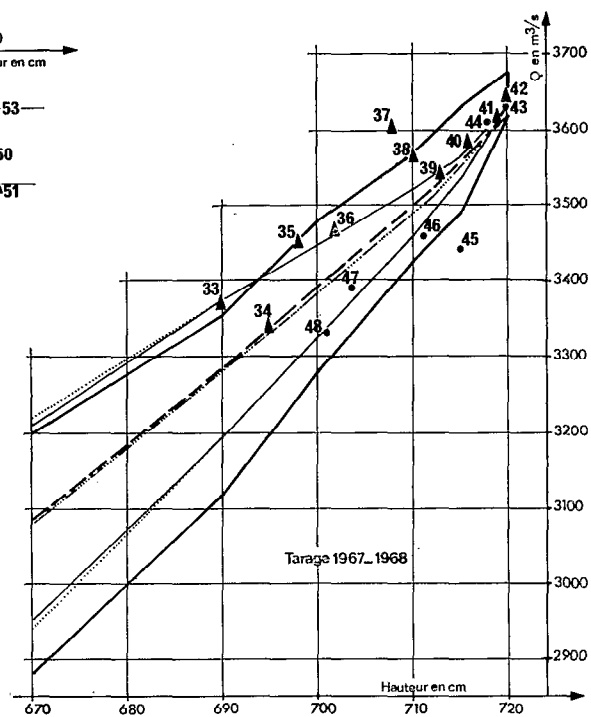
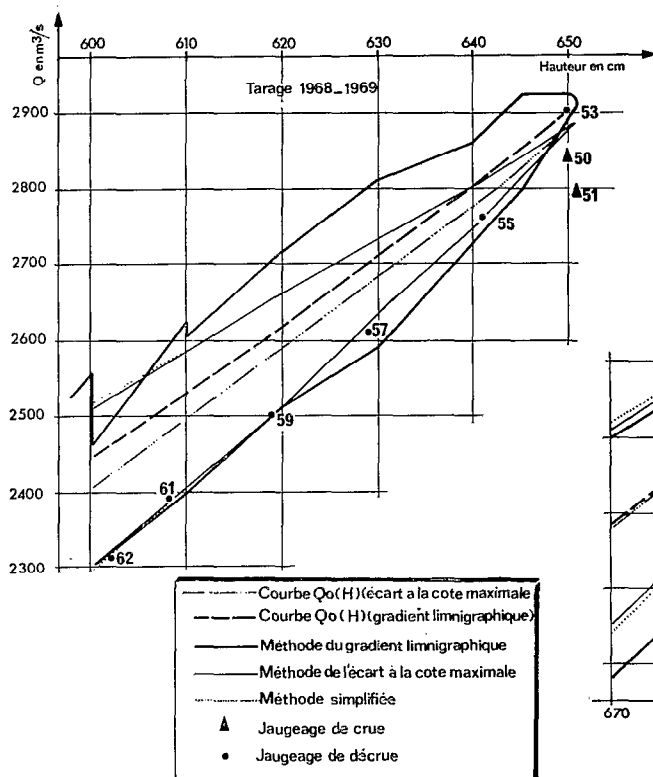
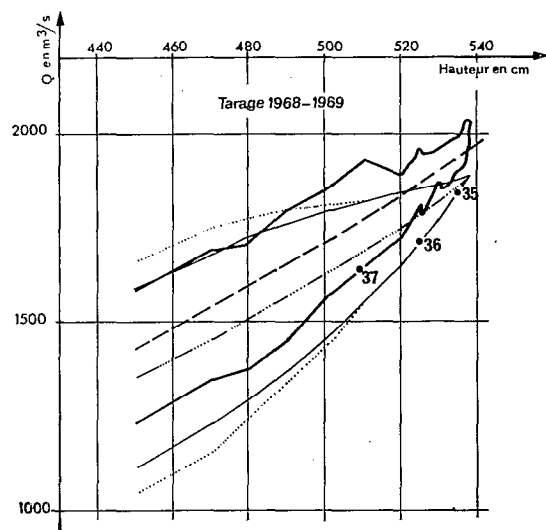


Fig. 22. — Méthode de l'écart à la cote maximale, station de Diré.



LE NIGER A MOPTI



LE NIGER A DIRÉ

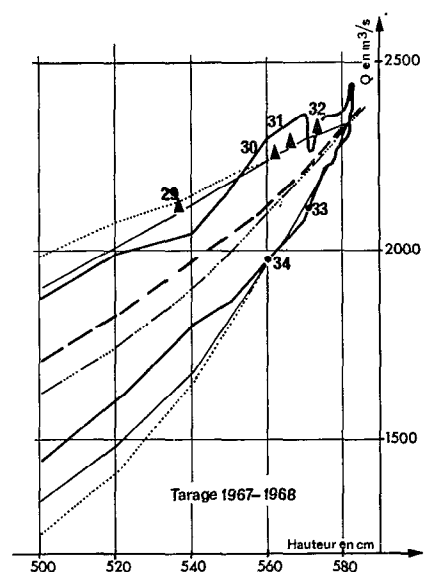


Fig. 23 et 24. — Tracés schématiques de tarages de hautes eaux.

On trouve également sur le tableau V, déjà cité, les gains d'efficacité des deux modes d'emploi de la méthode de l'écart au maximum comparés à ceux dus à la méthode du gradient.

La méthode normale de l'écart à la cote maximale paraît être légèrement plus efficace que les deux autres. Elle peut donc être adoptée de préférence pour ce type de cours d'eau d'autant plus que pour le calcul automatique le mode simplifié n'est d'aucune utilité, la fonction Arc tangente existant en bibliothèque de programmes.

5. Les programmes de traitement automatique pour stations non-univoques

5.1. Le catalogue des programmes

Les programmes ont deux fonctions selon qu'ils effectuent la mise en équation de la courbe (ou des courbes) d'étalonnage ou qu'ils traduisent les hauteurs d'eau observées en débits.

Pour les stations univoques, le catalogue des programmes est assez simple et déjà en grande partie bien connu:

- a) PØH 302 de calcul d'étalonnage;
- b) PØH 301 de traduction en débits des hauteurs observées et dépouillées en pas de temps fixe (carte CØH 301);
- c) PØH 310 de traduction en débits des hauteurs observées et dépouillées en pas de temps variable, dites « relevés limnigraphiques intégraux » (carte CØH 311).

Ces programmes ont été décrits dans les *Cahiers d'Hydrologie* [2, 3].

Il faut y ajouter pour être complet le programme PØH 327 permettant le traitement mixte d'une station normalement dépouillée en pas de temps fixe mais dont quelques crues ont fait l'objet d'un second dépouillement en pas de temps variable. Ce programme a été décrit dans le n° 1 du volume VII de 1970 des *Cahiers* (J. STRICOLON, [4]).

En réalité, ce catalogue n'est complet que pour les stations de cours d'eau exploités en réseau ou pour des études particulières et dont la mise en cartes perforées des données s'effectue sur les modèles de la série CØH 300.

Il manque ainsi les stations de bassins représentatifs et expérimentaux (BRE) pour lesquelles, si la structure interne des cartes supports de données est la même, le codage d'identification est différent ce qui nécessite des modèles de cartes un peu différents, ceux de la série CØH 500, [5].

Pratiquement les modifications à apporter aux programmes de traitement de la série PØH 300, pour qu'ils puissent traiter les stations perforées sur cartes CØH 500, sont minimes; elles concernent simplement les formats de lecture des cartes d'identification et ceux des impressions et sorties sur cartes.

Les programmes adaptés au traitement des données de BRE gardent leur numéro et deviennent PØH 310 version BRE par exemple.

Au sujet des stations ordinaires et des stations de BRE, il est bon de dire un mot des pas de temps de dépouillement des hauteurs observées:

- a) Le pas de temps fixe est applicable à tous les cours d'eau à variation pas trop rapide et pas trop irrégulière du niveau d'eau; c'est le cas de la majorité des cours d'eau intertropicaux;

b) Le pas de temps variable est indispensable pour les très petits cours d'eau dont les variations de niveau sont très rapides et irrégulières, c'est-à-dire pour lesquelles la prise de 16 relevés à intervalle constant par jour est insuffisante pour suivre le limnigramme, c'est le cas de tous les BRE et de tous les petits cours d'eau torrentiels ou de zone aride;

c) Certains cours d'eau pour lesquels le pas de temps fixe suffit plus de 80 à 90% des jours de l'année sont l'objet quelquefois et durant quelques jours par an de crues soudaines et brutales dont la préhension exige le recours au pas de temps variable.

C'est le cas des cours d'eau du bassin méditerranéen par exemple. On dit que ceux-ci nécessitent un pas de temps « mixte » pour leur dépouillement.

En résumé, on peut dire que les stations de BRE requièrent toujours le pas de temps variable et les stations ordinaires, la plupart du temps, le pas de temps fixe, mais parfois l'un des deux autres (variable ou mixte).

Ainsi des programmes du catalogue pour stations univoques, seul le PØH 310 a vraiment besoin d'être modifié pour le traitement des BRE.

Ces réflexions sur la nature des stations et sur le pas de temps de dépouillement étant faites, on peut examiner le catalogue des programmes de traitement automatique des stations non univoques.

Pour cela, on a repris la classification de ces stations, selon la nature de la non-univocité et la méthode de tarage applicable, qui a été dressée dans le chapitre 1 (par. 1.2.).

Le tableau X présente un catalogue exhaustif des programmes nécessaires pour le traitement automatique des stations non univoques. Les subdivisions introduites tiennent successivement compte du type de non-univocité, du type de cours d'eau, de la possibilité d'avoir deux échelles, du mode de pas de temps de dépouillement et de la méthode de tarage.

Bien qu'il y ait dix subdivisions, le nombre des programmes est seulement de six pour le calcul des débits:

a) Trois pour les stations à deux échelles selon les pas de temps;

b) Trois pour toutes les autres stations à une échelle traitées par la méthode du gradient limnigraphique, ou par celle de l'écart au maximum et cela quel que soit le type de non-univocité.

Ce nombre est de deux pour le calcul des étalonnages dont l'un est le PØH 302 des stations univoques adapté aux stations non univoques à une échelle et l'autre le PØH 311 pour les stations à deux échelles.

Il y a donc un total de sept nouveaux programmes au catalogue. Quatre sont présentés en détail dans cet article; ce sont les PØH 311 d'étalonnage, 312, 328 et 329 de calcul des débits.

Les trois autres programmes peuvent assez facilement s'écrire à partir de ceux-ci ou de ceux du catalogue des stations univoques; on a fait figurer dans la colonne « programmes » du tableau X, et entre parenthèses, les programmes à composer pour ces écritures, qui à une exception près sont relatifs aux pas de temps mixtes. Ces trois programmes seront écrits ultérieurement quand le besoin s'en fera sentir.

A l'exception du PØH 312 version BRE tous les programmes établis et présentés ici concernent le traitement des seules stations ordinaires (cartes de données sur CØH série 300).

TABLEAU X
CATALOGUE DES PROGRAMMES POUR STATIONS NON UNIVOQUES

Type de non-univocité	Type de cours d'eau	Stations à	Pas de temps de dépouillement	Programmes de tarage	Calcul des débits	
					Méthode	Programmes
A ou B	D'importance quelconque.	2 échelles	Fixe	PØH 311	—	(PØH 301 + 312)
	Variable		PØH 311	—	PØH 312	
	Mixte		PØH 311	—	(PØH 327 + 312)	
	A pente notable	IUNIV = 4, 5, 6				
	et très variable	1 échelle	Fixe	PØH 302	Gradient limnigraphique	PØH 328
			Variable	PØH 302		PØH 329
			Mixte	PØH 302		(PØH 327 + 329)
				IUNIV = 3		
A + B	D'importance faible à moyenne. A pente faible et relativement très variable	1 échelle	Fixe	PØH 302	Gradient limnigraphique	PØH 328
	Variable		PØH 302	PØH 329		
	Mixte		PØH 302	(PØH 327 + 329)		
				IUNIV = 3		
	Importants. A régime régularisé par débordements. Pente faible et relativement très variable	1 échelle	Fixe	PØH 302 IUNIV = 1	Ecart au maximum	PØH 328

5.2. Programme de tarage des stations à deux échelles (PØH 311)

En avant-propos, on indique les modifications mineures apportées au PØH 302 pour le tarage des stations non univoques à une échelle.

5.2.1. MODIFICATIONS DU PØH 302

Il est créé une variable IUNIV caractéristique de la non-univocité et qui peut prendre les valeurs suivantes (*):

- 0 pour une station univoque;
- 1 pour une station non univoque traitée par la méthode de l'écart au maximum;
- 3 pour une station non univoque traitée par la méthode du gradient limnigraphique;
- 4, 5 et 6 pour une station à deux échelles (cf. 5.2.2.).

Cette variable IUNIV est introduite (valeur 1 ou 3) sur la carte HP (L) des hauteurs limites de tronçons de paraboles, en colonne 80. Le nouveau format de lecture est (I2, 16 F 4.2, 12 X, I2).

Cette variable IUNIV est alors perforée en sortie dans la même colonne 80 de la carte modèle CØH 306 portant les hauteurs limites inférieures des tronçons de paraboles HP (L).

(*) Ces nouvelles valeurs de IUNIV remplacent celles qui avaient été mentionnées dans la note technique n° 18, [5].

La présence de IUNIV non nul provoque également l'impression de « station non univoque à une échelle » en sortie, juste après l'identification de la station, suivie de l'indication de la méthode de tarage utilisée.

Ainsi modifié le PØH 302 est utilisable pour toutes les stations à une échelle qu'elles soient ou non univoques.

5.2.2. LE PROGRAMME PØH 311

Il réalise le calcul sur ordinateur des équations des trois courbes de tarage pour une station non univoque dotée de deux échelles dont l'étalonnage a été décrit dans le chapitre 2.

Les trois courbes de ce tarage sont les suivantes:

- a) Une courbe-enveloppe, hors influence de pente, pour laquelle on fait $IUNIV = 4$;
- b) Une courbe à dénivelée normale, ayant $IUNIV = 5$;
- c) Une courbe de correction de dénivelée, ayant $IUNIV = 6$.

Les deux premières courbes sont des courbes de débits en fonction de hauteurs, la troisième est une courbe de rapports de débits Q/QN , en fonction de rapports de dénivelées D/DN .

Les trois courbes sont traitées comme des successions de tronçons de paraboles.

Le traitement des deux premières courbes pour leur mise en équation est totalement identique à celui du programme PØH 302.

Le traitement pour mise en équation de la courbe de correction de dénivelée a une logique interne identique à celle du programme PØH 302, mais les variables étant exprimées en millièmes qu'il s'agisse des rapports de débits (variables QQNP et QQNINT) ou des rapports de dénivelées (variables DDNP et DDNINT), les formats d'entrée et de sorties sont différents ainsi que quelques instructions arithmétiques dans lesquelles entrent en ligne de compte les unités d'expression des variables.

L'articulation des éléments du programme PØH 311 s'effectue comme le montre le schéma simplifié ci-dessous (fig. 25); un test sur IUNIV envoie vers une logique type PØH 302 identique ou un peu modifiée selon la courbe à mettre en équation; il y a une partie de programme commune pour l'impression des coefficients de paraboles en format spécial E, également empruntée au PØH 302.

Le programme PØH 311 permet le calcul des 3 courbes de tarage, découpées au plus en 15 tronçons chacune, pour autant d'étalonnages ou de stations qu'on le désire.

Les données d'entrée doivent être présentées dans l'ordre suivant:

- Carte d'identification de station (CØH 302);
- Carte spéciale d'étalonnage NETAL, IUNIV (CØH 513);
- Carte HP (L) hauteurs limites (I2, 16 F 4.2) ou carte DDNP (L) rapports limites de dénivelées (I2, 16 F 4.3);

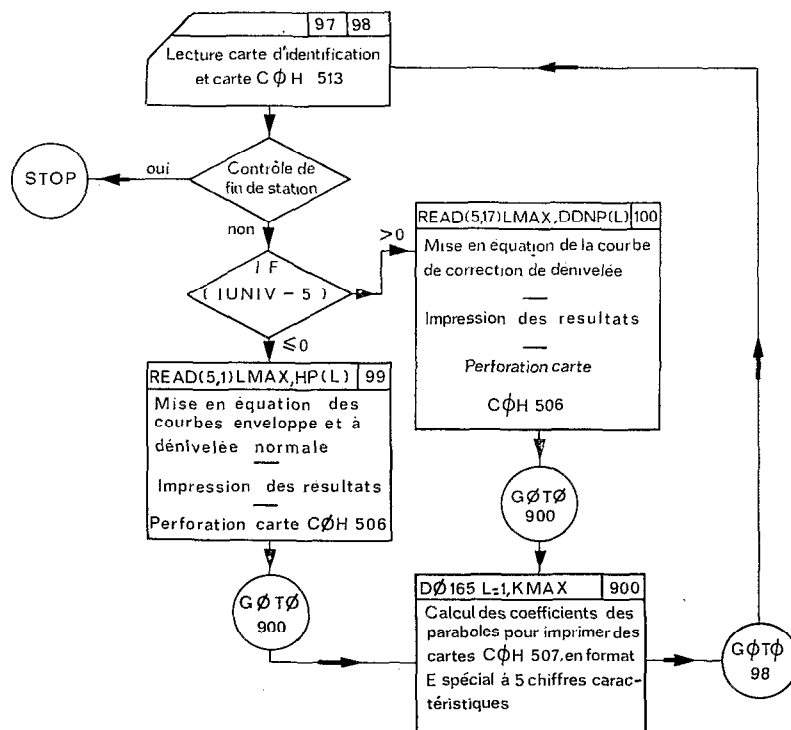


Fig. 25. — Logique 311.

- Carte Q (L) débits pour HP (L), format (16 E 5.3) ou carte QQNP (L) rapports de débits pour DDNP (L) en format (16 F 4.3);
- Carte HINT, hauteurs aux points intermédiaires (15 F 4.2) ou carte DDNINT, rapports de dénivelées aux points intermédiaires (15 F 4.3);
- Carte QINT, débits aux points intermédiaires (15 E 5.3) ou carte QQNINT, rapports de débits aux points intermédiaires (15 F 4.3).

Le bloc des 5 dernières cartes, c'est-à-dire sans la carte d'identification, est répété 3 fois, autant qu'il y a de courbes de tarage et de préférence dans l'ordre croissant de 4 à 6 pour IUNIV. Ensuite, après cet ensemble de $1 + 5 + 5 + 5 = 16$ cartes:

- Carte blanche de fin d'étalonnage;
- Carte blanche de fin de données.

On remarque que, par différence avec le PØH 302, la carte NETAL (ici CØH 513) précède et ne suit pas les 4 cartes relatives aux paraboles de chaque courbe et qu'il faut une nouvelle carte CØH 513 avant chaque nouvelle courbe puisqu'elle contient IUNIV et que le type de traitement dépend de la valeur de cette variable.

La figure 26 montre un fac-similé de la carte CØH 513.

ETAT		BASSIN		HYDROGRAPHIQUE		REPRESENTATIF		EXPÉRIMENTAL		PARTIE DE BASSIN		ETALONNAGE N°		REPÈRE DE COURBE		DIFFÉRENCE ENTRE ZÉROS		PENTE NORMALE		PARAMETRES DE STATION A DOUBLE ECHELLE		UGRAD		A C		ICHA	
N° DE BASSIN														(mm)		(mm)				AA		AB					
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
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
1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2
3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3
4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4
5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5
6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6
7	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7
8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8
9	9	9	9	9	9	9	9	9	9	9	9	9	9	9	9	9	9	9	9	9	9	9	9	9	9	9	9

Fig. 26. — Carte CØH 513.

Bien que cette carte ait été imprimée dans la série CØH 500 relative au traitement des BRE, elle est utilisable pour n'importe quelle station puisque les 8 premières colonnes concernent également l'identification de la station, comme dans toutes les cartes de la série CØH 300, à la seule différence des impressions de haut de carte qui ne correspondent plus à ETAT, BASSIN et STATION. Mais le champ étant le même ces 3 variables peuvent y figurer sans problème.

La variable IUNIV est perforée dans la colonne 12 « Repère de Courbe ». Les autres champs sont utilisés dans les programmes de traduction en débits et seront explicités alors (cf. PØH 312, 328 et 329).

Les sorties sont identiques à celles du programme PØH 302 pour les deux premières courbes dont le titre « Courbe-enveloppe » ou « Dénivelée normale » est imprimé. La sortie relative à la troisième courbe, bien que peu différente, est donnée sur la figure 27 à titre d'exemple.

Comme dans le PØH 302 modifié (cf. 5.2.1.), la variable IUNIV est perforée dans la colonne 80 des cartes CØH 506 en sortie du PØH 311.

5.3. Programme de calcul des débits d'une station à deux échelles (PØH 312)

Théoriquement une station à deux échelles pourrait concerner une rivière dont les relevés de hauteurs d'eau seraient susceptibles d'être dépouillés selon l'un quelconque des trois pas de temps. En fait, compte tenu des conditions hydrologiques d'installation de deux échelles, il est vraisemblable que la rivière aurait un régime justiciable du pas de temps variable dans la grande majorité des cas. C'est pourquoi nous avons seulement écrit le programme correspondant à ce type de dépouillement,

60156501 GUYANE

ORAPU

CRIQUE VIRGILE

CRIQUE VIRGILE

STATION A PENTE VARIABLE

ETAL.NO 1

VALEURS DE C

COURBE DE CORRECTION DE DENIVELEE

	C(1,L)	C(2,L)	C(3,L)
L= 1	-0.8981483E 02	0.1306111E 02	0.0
L= 2	-0.2343753E 01	0.1512500E 01	0.4480000E 00
L= 3	-0.5733351E 00	0.7993336E 00	0.6300000E 00
L= 4	-0.2666681E 00	0.5266671E 00	0.7940000E 00
L= 5	-0.1599987E 00	0.4039997E 00	0.9090000E 00
L= 6	-0.8000225E-01	0.3319970E 00	0.1000000E 01
L= 7	-0.1200426E 00	0.2980122E 00	0.1077999E 01
L= 8	-0.2665913E-01	0.2506642E 00	0.1145000E 01
L= 9	-0.4000957E-01	0.2260020E 00	0.1205999E 01

VALEUR DE DDNP(L)

	L	RAPPORT D/DN		
1	0.0		6	1.000
2	0.090		7	1.250
3	0.250		8	1.500
4	0.500		9	1.750
5	0.750		10	2.000

BAREME RAPPORTS DENIVELEES_RAPPORTS DEBITS

RAPPORT D/DN

RAPPORT Q/QN

0.0	0.0
0.100	0.463
0.200	0.586
0.300	0.669
0.400	0.737
0.500	0.794
0.600	0.844
0.700	0.889
0.800	0.929
0.900	0.966
1.000	1.000
1.100	1.03
1.200	1.06
1.300	1.09
1.400	1.12
1.500	1.14
1.600	1.17
1.700	1.19
1.800	1.22
1.900	1.24
2.000	1.26
2.100	1.28
2.200	1.30
2.300	1.32
2.400	1.34
2.500	1.35
2.600	1.37
2.700	1.38
2.800	1.40
2.900	1.41

Fig. 27. — Sortie de courbe de correction de pente, crique Virgile.

le PØH 312, le seul dont nous ayons eu besoin jusqu'ici. Ce programme dérive du programme PØH 310 de calcul des débits limnigraphiques intégraux. Nous nous contentons donc ici de présenter l'organigramme général de ce programme PØH 312 en insistant seulement sur ses particularités, et en renvoyant le lecteur à l'article descriptif du PØH 310 pour les blocs d'instructions communs [3].

5.3.1. PRÉPARATION DES DONNÉES D'ENTRÉE

Les données d'entrée sont:

- a) Les relevés limnigraphiques intégraux relatifs aux deux échelles;
- b) Les informations relatives aux étalonnages.

Les relevés limnigraphiques sont introduits sur les cartes CØH 311 ou 511, qu'il s'agisse de ceux de l'échelle principale HAUTA ou de l'échelle secondaire HAUTB, destinés au calcul de la correction de non-univocité.

On ne procède à l'établissement des relevés HAUTB que si la station est en situation de non-univocité, ce qui, pour certains types de cours d'eau, ne se produit pas toujours.

Ces données sont présentées sur des feuilles de relevés limnigraphiques intégraux, de contenu identique à celui des cartes CØH 311 ou 511 afin de faciliter la perforation.

Pour concentrer au maximum l'information sur les cartes, et contrairement à ce qui avait été dit dans [3] — page 103, figure 4 — on doit remplir les six groupes de « date-hauteur » de chaque ligne (ou carte) sans aller à une nouvelle ligne (ou carte) chaque jour, à moins que l'on ne soit en début de mois.

Les relevés HAUTB, quand ils sont nécessaires, doivent correspondre exactement à la même date que ceux de HAUTA, c'est-à-dire à la même heure, même minute du même jour.

Les relevés HAUTB sont donc sur des cartes pleines, six groupes de « date-hauteur », à moins que l'on ne soit en début de mois.

Les cartes relatives à HAUTA sont numérotées de 1 à n à partir du 1^{er} jour de l'année pour lequel on possède des relevés quel que soit ce jour.

Les cartes relatives à HAUTB ont le même numéro que les cartes HAUTA correspondantes (auxquelles elles s'appliquent) augmenté de 5 000, nombre que n'atteint jamais la somme des cartes HAUTA pour une année quel que soit le type de cours d'eau.

Les informations relatives aux étalonnages sont contenues dans 13 cartes, dont les 12 premières ont été produites par le programme de tarage PØH 311. Elles contiennent pour chacune des 3 courbes d'étalonnage, les hauteurs limites (1 carte CØH 306 ou 506) et les coefficients des paraboles (3 cartes CØH 307 ou 507). La 13^e carte est la CØH 513 (cf. fig. 26) sur laquelle sont portées essentiellement les variables IDECH et IPENTE:

- a) IDECH, différence de cote exprimée en millimètres entre les zéros des deux échelles A et B (format I4);
- b) IPENTE, dénivelée normale en millimètres pour laquelle est calculée la courbe d'étalonnage dite à « dénivelée normale » (format I4).

5.3.2. ORGANIGRAMME DU PØH 312 VERSION BRE

Il est dessiné sur la figure 28. Le listing complet de ce programme est donné en annexe.

L'organigramme est assez sommaire puisque la logique interne pour plus de 90% des instructions est identique à celle du PØH 310. Cette logique a été décrite en détail dans [3], pages 106-107, figures 5.1, 5.2.

Nous allons simplement commenter les particularités du PØH 312, dues à la version BRE d'une part et à la non-univocité d'autre part.

Les cartes de données sont lues dans l'ordre suivant:

- 1 carte d'identification de l'ensemble de BRE (carte CØH 501);
- 1 carte d'identification de la station dans l'ensemble (carte CØH 502);
- 13 cartes d'étalonnage (appel à TARAG, sous-routine);
- n cartes de relevés pour une année; la carte des relevés HAUTB, quand elle existe, précède la carte des relevés HAUTA, c'est-à-dire que l'on trouve par exemple une séquence de numéros de cartes telle que: 5001 — 1 — 5002 — 2 — 3, etc. si seulement les hauteurs HAUT contenues dans les cartes 1 et 2 ont besoin d'une correction de non-univocité, et par celles de la carte 3, etc.;
- 1 carte blanche en fin d'année;
- 1 carte blanche en fin de station;
- 1 carte blanche en fin de travail.

La carte d'identification de l'ensemble BRE CØH 501 sert de test pour la fin de traitement des données d'un bassin, c'est-à-dire que même si l'on traite successivement les données de deux bassins d'un même ensemble, on doit remplacer une carte CØH 501 avant les données du 2^e bassin.

La carte CØH 501 sert aussi à contrôler la fin du travail.

La seconde carte d'identification CØH 502 relative au bassin traité suit toujours la carte CØH 501. Elle sert à tester que les données d'étalonnage et les données de hauteurs d'eau appartiennent bien au bassin. Par exemple:

6002 IF (IBVREP — NØSTA) 112, 115, 112

IBVREP est le numéro d'identification du bassin, lu en I4, sur la carte CØH 502 et NØSTA est le même numéro lu sur une carte de hauteurs datées CØH 511. L'instruction 112 délivre un message d'erreur de station.

L'instruction 100 CALL TARAG suit.

Dans cette sous-routine, on lit les paramètres des 3 courbes d'étalonnage et on les inscrit sous différents noms de variables:

- a) LMAX et A (I,L) pour la courbe-enveloppe;
- b) LBMAX et B (I,L) pour la courbe à dénivelée normale;
- c) LDMAX et D (I,L) pour la courbe de correction de dénivelée.

Après la lecture de la première carte de relevés CØH 511, on teste le numéro de la carte. S'il est supérieur à 5000, on est en état non univoque, il faut donc lire une seconde carte CØH 511 pour avoir l'information hauteur HAUTA (I): dans ce cas

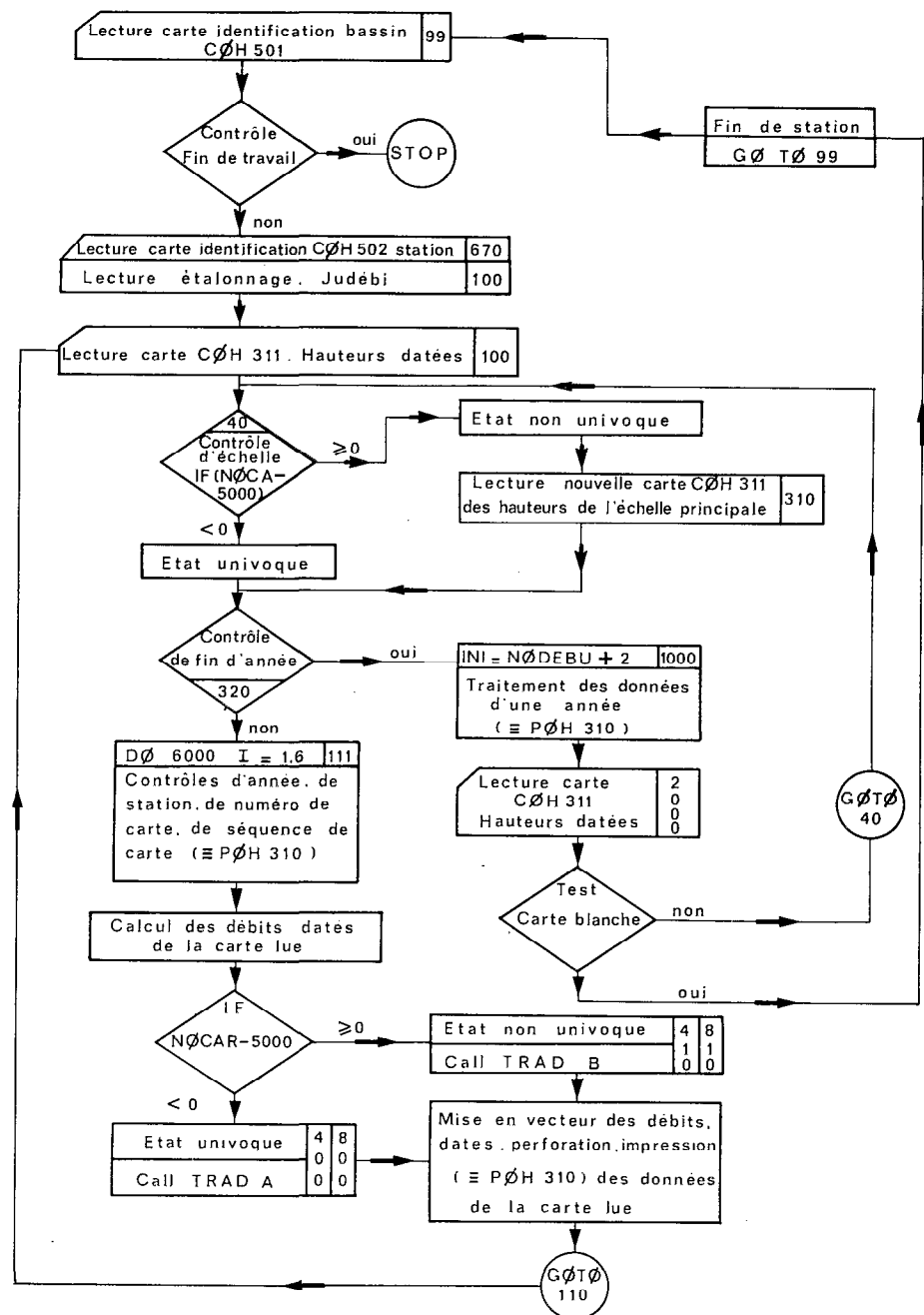


Fig. 28. — Organigramme PØH 312, version BRE.

l'information hauteur de la 1^{re} carte lue est envoyée dans HAUTB (I). Tandis que si le numéro de carte NØCAR est inférieur à 5000, l'état est univoque et l'on inscrit l'information hauteur de la 1^{re} carte dans HAUTA (I).

La traduction en débits et le contrôle de changement d'étalonnage s'effectuent ensuite ensemble. Un nouveau test sur le numéro de carte (celui de la 1^{re} carte lue) dirige selon les cas vers la sous-routine TRADA ou la sous-routine TRADB.

La sous-routine TRADA, identique à la sous-routine TRAD des programmes PØH 301 ou 310, calcule le débit correspondant à HAUTA (I) à l'aide de la courbe-enveloppe d'étalonnage sans influence de pente.

La sous-routine TRADB, calcule le débit à l'aide des deux courbes de tarage à dénivelée normale et de correction de dénivelée.

On y calcule d'abord la dénivelée exacte entre les deux hauteurs:

$$DH = HAUTA (J) - HAUTB (J) + FLØAT (IDECH)/1000$$

Si la dénivelée est nulle ou négative, le débit est fait égal à zéro. Ceci correspond à la non prise en compte des inversions d'écoulement (biefs à marée ou autres) quand elles sont rares et négligeables (cf. 2.3.1.).

Si la dénivelée DH est positive, on calcule ensuite la dénivelée normale:

$$DN = FLØAT (IPENTE)/1000$$

puis le rapport de dénivelées $DDN = DH/DN$.

Les divisions par 1000 s'expliquent du fait des unités des calculs — mètres et m³/s — et de celles de lecture de IDECH et IPENTE — millimètre.

L'introduction de DDN dans la courbe de correction de dénivelée permet le calcul de la correction de débit QQN.

On calcule ensuite le débit, QN correspond à la hauteur HAUTA (J) sur la courbe d'étalonnage à dénivelée normale.

En définitive, le débit est égal à:

$$DEB (J) = QQN * QN$$

La suite du traitement des débits est absolument identique à celle du PØH 310.

Après le traitement complet d'une année de relevés, déclenché par le contrôle de fin d'année:

320 IF (NETA) 111, 1000, 111

qui envoie sur l'instruction 1000, on lit à nouveau une 1^{re} carte CØH 511. Un second test de carte blanche dirige:

- S'il est positif sur le traitement d'une nouvelle station (instruction 99);
- S'il est négatif sur le test IF (NØCA — 5000) pour reprendre le traitement d'une seconde année (instruction 40).

Les sorties du PØH 312 sont identiques à celles du PØH 310 qu'il s'agisse des débits imprimés ou perforés, datés, journaliers, mensuels, annuels et maximaux.

**5.4. Programme de calcul
des débits d'une station
non-univoque à une seule échelle
à partir de hauteurs
relevées à pas de temps fixe
(PØH 328)**

5.4.1. DOMAINE D'APPLICATION

Ce programme est une variante du PØH 301, programme de traitement systématique des hauteurs relevées à pas de temps fixe (1 à 8 fois par jour, CAS 1 à 8; 9 à 16 fois par jour, CAS 9) et contenues dans les cartes modèle CØH 301.

Ce programme calcule les débits correspondant à chaque relevé, puis les débits moyens journaliers qu'il imprime et perfore. Il calcule également, après interpolation des débits manquants, les débits moyens mensuels et annuels, qu'il imprime et perfore [2].

Le programme PØH 328 est très complet puisqu'il permet de traiter une station non univoque à une échelle quelle que soit la méthode de correction de non-univocité par l'écart au maximum ($IUNIV = 1$) ou par le gradient limnigraphique ($IUNIV = 3$) et à condition que ses relevés puissent être seulement au maximum de 16 par jour (ou de 8 par jour pour la méthode du gradient limnigraphique qui ne traite pas le CAS 9, c'est-à-dire quand il y a de 9 à 16 relevés par jour).

Pratiquement, le PØH 328 s'applique donc à la fois aux cours d'eau réguliers, importants et à faible pente (grands fleuves type Niger, Sénégal) et aux cours d'eau d'importance moyenne à pente relativement variable.

La restriction d'emploi de la méthode du gradient limnigraphique n'est pas grave, car cette méthode est surtout celle des petits cours d'eau justiciables du pas de temps variable pour le dépouillement des relevés et pour lesquels existe le PØH 329 (cf. 5.5.).

Par conséquent, les cours d'eau rapides dont la non-univocité du tarage doit être corrigée par la méthode du gradient limnigraphique, et dont les relevés ne peuvent pas être pris moins de 8 fois par jour, doivent être dépouillés selon le pas de temps variable (relevés limnigraphiques intégraux, carte CØH 311) et leurs débits calculés à l'aide du PØH 329.

Le PØH 328 a une structure identique à celle du PØH 301 à partir du traitement d'une année entière, après lecture de toutes les cartes de hauteurs de celle-ci et traductions en débits. Les sorties imprimées et perforées sont également identiques.

Les parties différentes du PØH 301 sont les instructions de début et de fin de traitement, les blocs relatifs à la traduction des débits et à leur correction. Mais ces parties de programme nouvelles sont totalement distinctes selon qu'il s'agit de la méthode de l'écart au maximum ou de celle du gradient limnigraphique.

L'organigramme général du PØH 328 (fig. 29), la logique détaillée du calcul du débit moyen journalier (fig. 30), et les organigrammes des sous-routines TRAD et CØRDEB (fig. 31) permettent de comprendre les articulations des deux méthodes au sein du PØH 328 qui les réunit, les tests successifs

IF ($IUNIV - 3$)

venant aiguiller sur l'une ou l'autre des méthodes aux moments opportuns.

Il nous a paru plus clair de traiter chaque méthode séparément, plutôt que de décrire en une seule fois le programme complet.

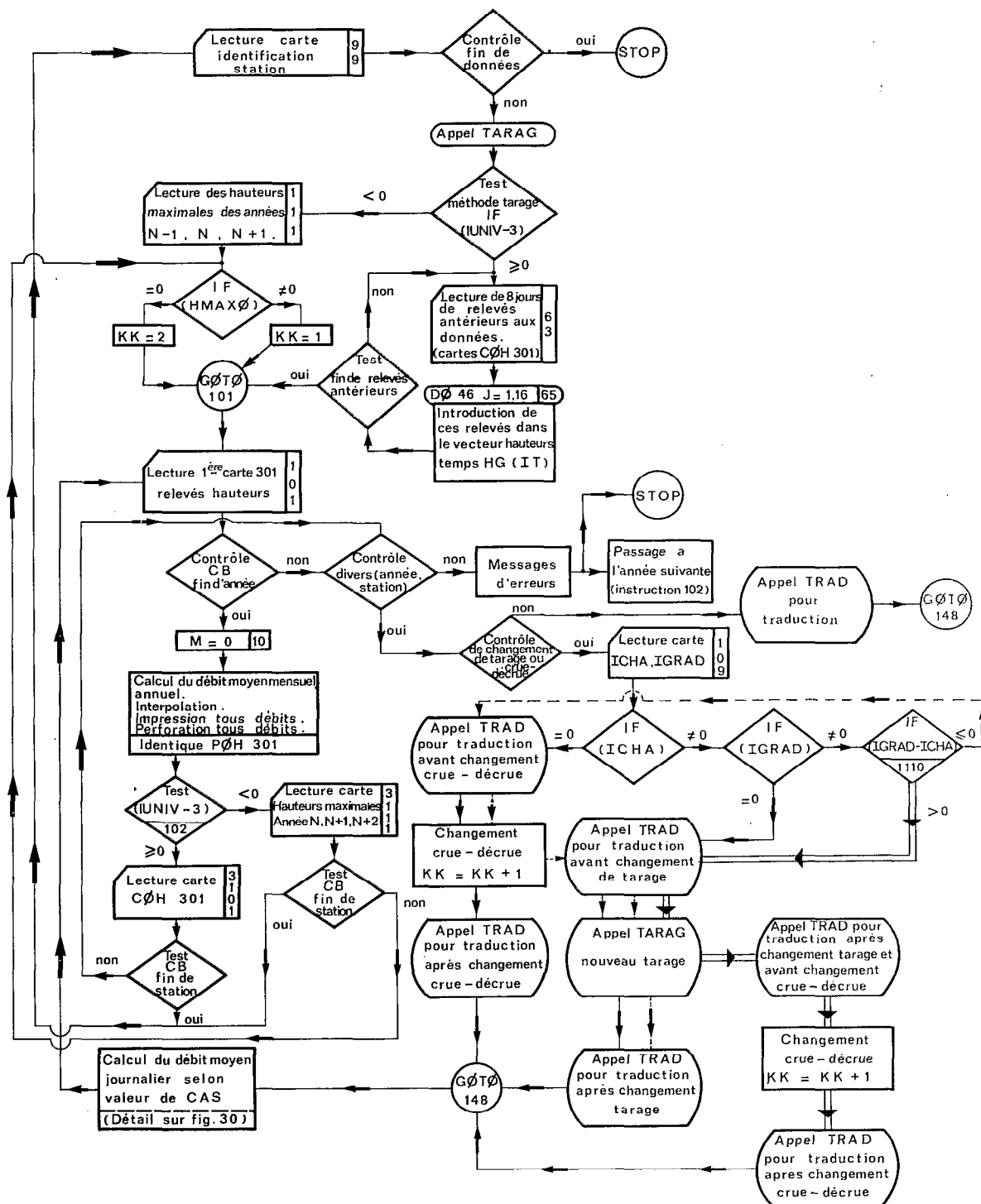


Fig. 29. — Organigramme général PØH 328.

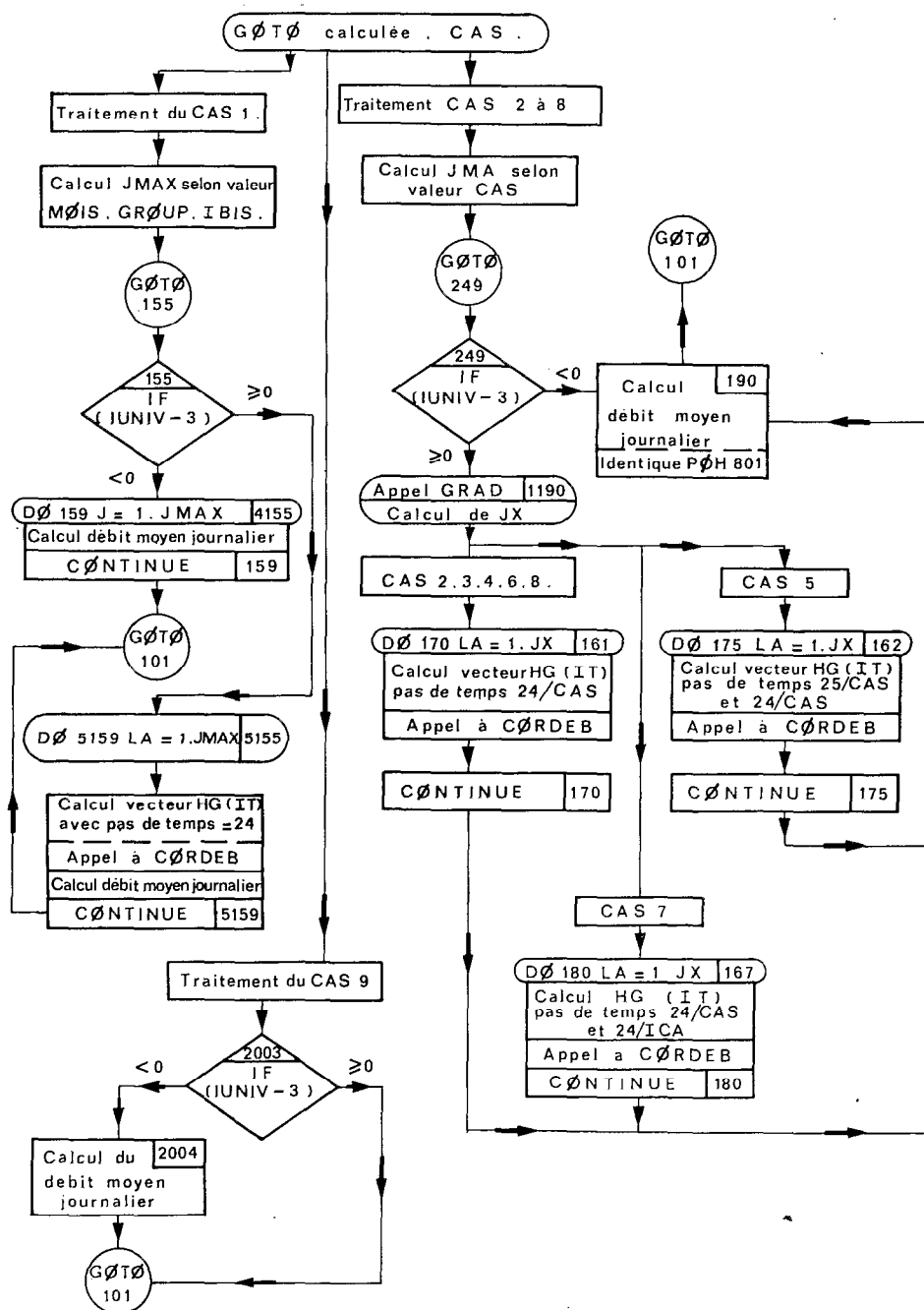


Fig. 30. — Détail du PØH 328, calcul du débit moyen journalier.

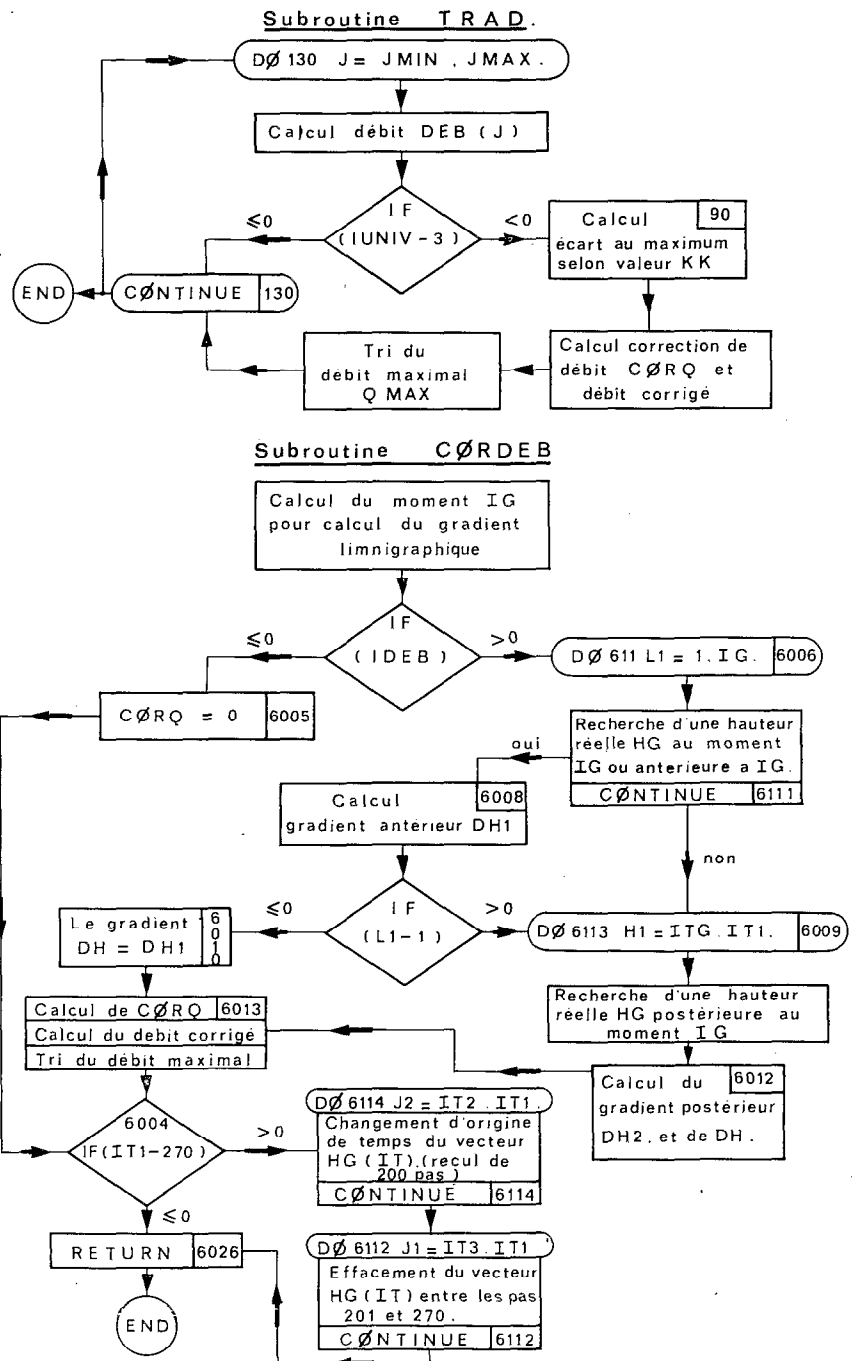


Fig. 31. — Sous-routines du PØH 328.

5.4.2. TRAITEMENT PAR LA MÉTHODE DE L'ÉCART AU MAXIMUM (IUNIV = 1)

Cette méthode s'applique aux cours d'eau à limnigramme régulier d'aspect sinusoïdal. La correction de non-univocité s'effectue à partir d'une équation en Arc-tangente de l'écart entre la cote considérée et la cote du maximum annuel de crue.

Le traitement des données s'effectue par année civile, or l'année hydrologique ne coïncide pas toujours avec celle-ci. Par conséquent la connaissance de la cote maximale annuelle de l'année N considérée ne suffit pas; il faut lui adjoindre soit:

- a) La cote du maximum de l'année antérieure ($N - 1$) si l'année N commence par une phase de décrue;
- b) La cote du maximum de l'année suivante ($N + 1$) si l'année N s'achève par une phase de crue.

On voit tout de suite la restriction de cette méthode: on ne peut parfois traduire en débits les hauteurs d'une année que si le maximum de l'année suivante est connu.

L'écart à la cote maximale annuelle intervient en valeur algébrique dans le calcul de la correction de débit, c'est-à-dire qu'il est positif en décrue et négatif en crue (cas général, cf. 4.2.2.). Il faut donc, le maximum de référence pouvant également varier entre le début et la fin de l'année, disposer d'un indicateur de passage par les cote maximales et minimales annuelles, c'est la variable IGRAD, et d'un compteur de position « crue-décru » permettant de choisir la bonne équation de correction, c'est la variable KK.

La figure 32 montre le mécanisme d'emploi de ces deux variables.

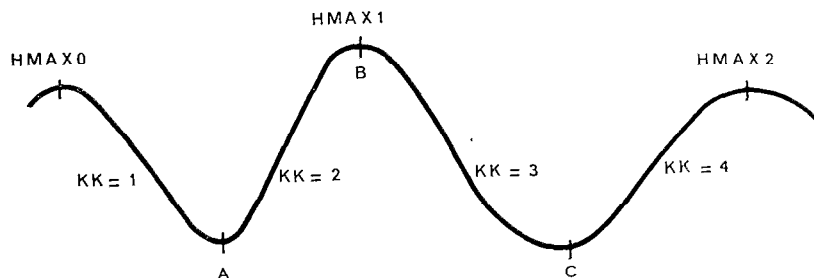


Fig. 32. — Méthode de l'écart au maximum, valeur du compteur « crue-décru » KK.
A, B, C points à valeur IGRAD \neq 0.

Si l'année calendaire commence avant l'étiage A, la variable KK prend la valeur 1, si elle commence après A, KK = 2.

Le test s'effectue sur la valeur du maximum de l'année antérieure ($N - 1$) appelée HMAXO.

On place donc les cartes de données dans l'ordre suivant:

- a) Une carte d'identification de station;
- b) Cinq cartes lues dans la sous-routine TARAG et contenant l'étalonnage univoque pour les quatre premières, les paramètres de l'équation de correction de

non-univocité AA et AB pour la cinquième (carte CØH 513, format 2 F 5.2 pour les deux paramètres);

c) Une carte des hauteurs maximales de trois années ($N - 1$, N , $N + 1$) soit HMAX 0, HMAX 1, HMAX 2, suivant indication de la station STATI et de l'année LAN (format 4X, I4, I2, 3 F 4.2);

d) Les cartes CØH 301 des hauteurs de l'année N.

Par convention, si HMAX 0 est nulle, donc inutile, l'année N commence après l'étiage A et $KK = 2$ (HMAX 0 non nulle, $KK = 1$).

La variable IGRAD est lue dans les mêmes conditions que la variable ICHA, indicatrice du changement d'étalonnage.

Le processus est le même: une perforation d'un chiffre quelconque non nul dans la colonne 80 de la carte CØH 301 contenant le jour du passage à l'étiage ou au maximum annuel entraîne la lecture d'une carte ICHA, IGRAD en 2 I2 dans laquelle IGRAD prend comme valeur le numéro de la position dans la carte précédente CØH 301 de la veille du changement « crue-décru ».

La figure 30 décrit en détail les circuits d'appel aux sous-routines TRAD et TARAG dans tous les cas possibles, selon que ICHA et IGRAD sont nuls ou non, séparément ou ensemble, et selon leur place respective dans ce dernier cas. A chaque passage pour $IGRAD \neq 0$, le compteur KK augmente d'une unité, avant l'appel à TRAD.

La sous-routine TRAD (cf. fig. 31) fonctionne comme celle du PØH 301 pour le calcul du débit DEB (J) relatif à une cote HAUT (J).

Ensuite, elle calcule l'écart au maximum DHMAX, selon la valeur de KK, puis la correction de non-univocité CØRQ, estimée en %:

$$CØRQ = AA * ATAN (AB * DHMAX)$$

à l'aide de l'équation en arc-tangente et des paramètres AA et AB, lus dans TARAG.

Le débit DEB (J) est alors corrigé et le débit maximal est trié:

$$DEB (J) = DEB (J) * (1 + CØRQ/100)$$

Le calcul du débit moyen journalier qui s'effectue, ensuite dans le programme principal, après le GØTØ 148, est identique à celui du PØH 301 quel que soit le CAS (1 à 9).

Les données se terminent par:

— Une carte blanche en fin d'année (test sur ETAT et envoi à l'instruction 10 de début de traitement annuel des débits);

— Une carte blanche en fin de station (test sur la carte des hauteurs maximales de l'année suivante);

— Une carte blanche en fin de données (test sur la carte d'identification de station).

Le traitement systématique des hauteurs de grands fleuves, comme le Niger et le Sénégal, nécessite l'introduction d'une convention supplémentaire.

Dans certains cas, exemple de Diré, l'importance de la surface mouillée du fleuve est telle qu'en étiage la vitesse d'écoulement est trop faible pour qu'un jaugeage

soit réalisable. Dans ces conditions, en dessous d'une certaine cote, le débit est réellement inconnu. Il faut éviter que la routine TRAD n'extrapole la courbe de tarage vers le bas, en dessous de la cote significative limite.

On introduit un test au début de TRAD, comparant la hauteur à la cote inférieure limite de calcul du débit.

Toute hauteur inférieure entraîne la convention du débit négatif égal à -20 , se différenciant ainsi du -10 , représentatif de l'absence de relevés. Ce débit -20 est traité ensuite dans le programme comme le débit -10 . (impression, perforation, etc.).

Toutes les instructions correspondantes sont intégrées dans le PØH 328, à l'exclusion de l'instruction test:

IF (HAU.LT.0.60) GØTØ 129 (*)

qui ne doit être placée dans la sous-routine TRAD qu'en cas de besoin seulement, entre:

DØ 130 J = JMIN, JMAX

HAU = HAUT (J)

et DØ 115 L = 2, KMAX

5.4.3. TRAITEMENT PAR LA MÉTHODE DU GRADIENT LIMNIGRAPHIQUE (IUNIV = 3)

Alors que la méthode de l'écart au maximum était simple mais applicable à quelques grands fleuves bien particuliers, la méthode du gradient limnigraphique est générale pour tous les autres cours d'eau non univoques à une échelle, mais sa mise en œuvre est plus difficile.

Il faut en effet disposer de la chronique des hauteurs d'eau antérieures à la hauteur HAUT (LA) à traduire, cette chronique étant datée par rapport à une origine arbitraire des temps, à laquelle est également rattachée la date de HAUT (LA).

Cette chronique datée est appelée le vecteur « hauteurs-temps » HG (IT).

La correction de non-univocité requiert le calcul du gradient limnigraphique DH différence de cotes entre la hauteur HAUT (LA) et celle observée JGRAD auparavant, JGRAD étant le pas de temps du gradient limnigraphique. Dans les exemples étudiés (cf. 4.1.) la correction de débit est proportionnelle au gradient limnigraphique.

Tout ceci exige un vecteur HG (IT) à pas de temps constant et suffisamment petit pour que le calcul de DH soit précis.

Le pas de temps du gradient limnigraphique JGRAD conditionne le choix du pas de temps de IT. Il croît avec l'importance du cours d'eau passant, dans les exemples choisis, de 6 heures à Boitiek (250 km²) à 5 jours à Mopti, Diré (2 à 300 000 km²). En pratique l'exemple de Boitiek est justiciable des relevés limnigraphiques intégraux. On peut donc considérer que pour un cours d'eau dont les hauteurs n'ont pas à être prises plus de 8 fois par jour, le pas de temps du gradient peut varier de 1/2 journée à 5 jours. Un pas de temps horaire paraît tout indiqué pour IT.

(*) Dans cet exemple, la hauteur limite inférieure de calcul du débit est 0,60 m.

Il faut donc disposer d'un vecteur hauteurs-temps HG (IT) d'une longueur d'au moins 5 jours et dans lequel il y a une hauteur chaque heure, ou un code d'absence de hauteur.

Ce code est tantôt:

99.99 quand il y a une absence de relevé ainsi codée sur la carte CØH 301;

-9.99 quand il n'y a pas de hauteur pour une certaine valeur de IT.

La programmation présente de ce fait un certain nombre de particularités que nous allons maintenant décrire.

En début de programme principal, le vecteur HG est rempli dans la totalité de son champ (300 heures) de -9.99, valeurs qui ne seront effacées que pour les moments auxquels correspondront des relevés de hauteurs.

Ensuite, il faut initialiser réellement le vecteur HG avant de traiter la hauteur du 1^{er} janvier de l'année considérée. On doit donc lire au préalable au moins 5 jours de relevés antérieurs. Si ceux-ci existent, pas de problème, S'ils n'existent pas — cas de la première année de relevés d'une station — il faut les estimer de telle sorte que le gradient soit plausible. Cette estimation doit au moins porter sur la première valeur afin que le gradient soit toujours défini.

Par mesure de simplification, les données antérieures du vecteur HG couvrent huit jours pleins (192 heures) et sont obligatoirement perforées soit en:

- Cas 2 donc à 2 relevés par jour ce qui tient en une seule carte CØH 301;
- Cas 4 donc à 4 relevés par jour ce qui tient en 2 cartes CØH 301;
- Cas 8 donc à 8 relevés par jour ce qui tient en 4 cartes CØH 301.

De cette façon les cartes de relevés antérieurs sont pleines de 16 hauteurs sans équivoque, et le pas de temps est calculable simplement à l'aide d'une seule équation. On évite ainsi le recours à la sous-routine GRAD et les complications des CAS 1, 3, 5 et 7.

En effet, il suffit pour introduire ces relevés antérieurs dans le vecteur HG, après mise à zéro de IT, d'écrire la boucle:

$$65 \text{ DØ } 46 \text{ J} = 1,16$$

$$\text{IT} = \text{IT} + 24/\text{CAS}$$

$$46 \text{ HG (IT)} = \text{HAUT (J)}$$

Un test de carte blanche achève l'introduction des relevés antérieurs et envoie à l'instruction 101 de lecture des hauteurs de l'année à traiter.

Il est bon d'indiquer que l'on peut ensuite traiter plusieurs années successives sans repasser par cette préparation du vecteur HG, lequel reste en fin d'une année N évidemment disponible pour l'année (N + 1).

S'il n'y a pas compatibilité entre la carte de relevés antérieurs et la première carte de relevés de l'année à traiter (test sur le numéro de station STATI et l'année LAN), après émission de messages d'erreurs, le programme envoie sur STØP, car il est impossible de passer à l'année suivante, qui n'aurait pas de vecteur HG (IT) antérieur défini, comme on peut le faire avec le PØH 301 et même avec la méthode de l'écart au maximum, pour lesquels le traitement de chaque année est indépendant.

La traduction des hauteurs en débits s'effectue ensuite dans le programme principal, et comme dans PØH 301, avec appel à TRAD. Mais contrairement à la méthode de l'écart au maximum, TRAD n'effectue ni la correction du débit calculé, ni le tri du débit maximal, opérations qui sont faites dans la sous-routine spéciale CØRDEB.

Cette sous-routine est appelée au moment du calcul du débit moyen journalier, qui est différent selon que l'on opère en CAS 1, 2 à 8 ou 9. La figure 30 détaille l'organigramme du programme pour le calcul du débit moyen journalier, selon la valeur de CAS. Cette distinction selon CAS est même plus complexe que dans le PØH 301, ou la méthode de l'écart au maximum, car il faut séparer les CAS 5 et 7, on a donc les options suivantes:

- CAS 1;
- CAS 2 à 8 subdivisée en $\left. \begin{array}{l} \text{CAS 2, 3, 4, 6,} \\ \text{CAS 5,} \\ \text{CAS 7;} \end{array} \right\}$
- Le CAS 9 n'est pas traité.

La structure interne de traitement de chaque option est d'ailleurs identique aux détails près, elle comprend deux phases successives exécutées dans une même boucle d'instruction DØ (5155 pour le CAS 1, 161 pour les CAS 2, 3, 4 et 6, 162 pour le CAS 5 et 167 pour le CAS 7):

- a) L'introduction dans le vecteur HG (IT) des hauteurs HAUT (LA) de la carte traitée;
- b) L'appel à CØRDEB pour calculer le gradient limnigraphique et le débit corrigé.

Après l'exécution de cette instruction de calcul DØ, il faut déterminer le nombre exact de relevés de hauteurs d'eau réels contenus dans la carte lue. En effet, les 16 colonnes « hauteurs » de chaque carte sont remplies mais, selon l'année, le mois, la position dans le mois et le CAS, certaines colonnes ne contiennent que des 9999 indiquant des relevés fictifs, c'est-à-dire complétant la carte au-delà du dernier relevé réel du mois. Or, le vecteur hauteurs-temps HG doit être généré uniquement sur des relevés réels afin que sa base de temps IT reste chronologiquement valable. Ce travail est effectué dans le programme principal pour le CAS 1 (valeur de JMAX) et fait l'objet d'une sous-routine GRAD pour les CAS 2 à 8 (valeur de JX).

La constitution du vecteur HG hauteur-temps intervient ensuite. On fait l'hypothèse que les observations effectuées dans une journée sont régulièrement réparties au cours des 24 heures et par conséquent pour chaque observation, le pas de temps IT est pris égal à 24/CAS en heures. C'est-à-dire qu'à l'issue du vecteur créé en début de programme à l'aide des relevés antérieurs, on ajoute les nouveaux relevés d'une carte à traiter, un par un, en augmentant la base de temps à chaque fois de IT/CAS.

Cette hypothèse de répartition journalière régulière n'est pas rigoureuse mais l'erreur due à cette approximation est négligeable.

Comme l'unité du pas de temps est l'heure, on a dû considérer à part les CAS 5 et 7 puisque 24 heures ne sont pas divisibles ni par 5, ni par 7, d'où les hypothèses faites pour ces deux cas:

a) Pour le CAS 5, 4 pas de temps de 5 heures obtenus en faisant 25/CAS et 1 pas de temps de 4 heures pour clore la journée;

b) Pour le CAS 7, alternativement 1 pas de 3 heures et 1 pas de 4 heures, obtenu en faisant 24/ICA.

On comprend dans ces conditions que ni le calcul de JX dans la sous-routine GRAD, ni la constitution du vecteur HG n'étaient possibles avec des relevés perforés en CAS 9 puisque ce CAS peut contenir de 9 à 16 relevés par jour; cette imprécision rendait difficile et complexe le traitement de ce CAS. Nous ne l'avons pas retenu, considérant que des cours d'eau justiciables du CAS 9 pouvaient aussi bien être traités en relevés limnigraphiques intégraux.

En conclusion, on peut montrer que tout le travail s'effectue dans une boucle, par exemple celle des CAS 2, 3, 4 et 6:

```

DØ 170 LA = 1,JX
IT = IT + 24/CAS
HG (IT) = HAUT (LA)
CALL CØRDEB
170 CØNTINUE

```

La sous-routine CØRDEB est donc appelée dans la boucle, à chaque valeur de JX — nombre réel de relevés d'une carte, compris entre 2 et 16. La figure 31 montre l'organigramme de CØRDEB, sous-routine qui a pour but essentiel de calculer le gradient limnigraphique DH et ensuite la correction de débit CØRQ, le débit corrigé et de faire le tri du débit maximal.

L'opération la plus délicate est le calcul du gradient limnigraphique. La figure 33 en donne une représentation graphique sur un limnigramme fictif dessiné.

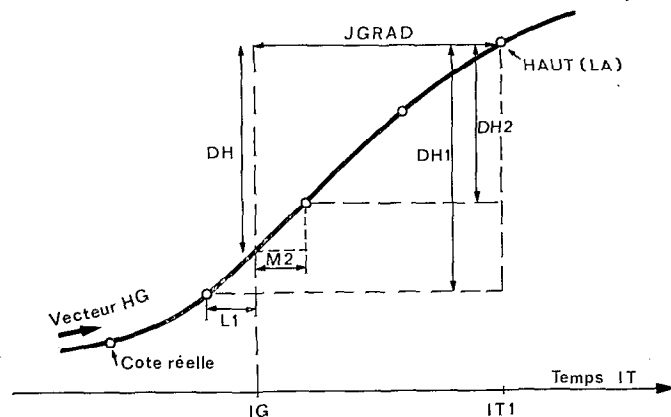


Fig. 33. — Recherche du gradient limnigraphique.

Pour un relevé HAUT (LA), le gradient limnigraphique DH est la dénivelée entre cette hauteur et la cote qui a été observée un certain temps auparavant, ce temps JGRAD étant appelé le pas de temps du gradient (il est lu dans TARAG).

La recherche de la cote observée à l'instant $IG = IT\ 1 - JGRAD$ s'effectue en explorant le vecteur HG (IT) à partir de l'instant final atteint par celui-ci (on fait $IT\ 1 = IT$) dans la boucle DØ du programme principal.

Deux cas sont possibles:

a) A l'instant IG, il y a une cote réelle c'est-à-dire différente de 99.99 et de -9.99 et par conséquent le gradient se calcule instantanément en faisant

$$DH = HAUT\ (LA) - HG\ (IG)$$

b) Il n'y a pas de cote réelle à l'instant IG et par conséquent il faut chercher en remontant dans le temps puis en le descendant à partir de IG la première cote réelle.

La cote réelle antérieure permet le calcul du gradient antérieur DH 1 et la cote réelle postérieure à IG, celui du gradient postérieur DH 2. Un poids proportionnel aux distances $L\ 1 - 1$ et $M\ 2$ de ces cotes à IG est attribué à chaque gradient pour le calcul de DH. Et l'on a :

$$DH = (DH\ 1 * M\ 2 + DH\ 2 * (L\ 1 - 1)) / ((L\ 1 - 1) + M\ 2)$$

Comme le pas de temps du gradient JGRAD ne dépassera jamais 8 jours pour tout cours d'eau, on a jugé inutile de dimensionner le vecteur HG au-delà de 300 heures, afin d'économiser des positions de mémoire.

En fin de CØRDEB, suivant la valeur de $IT\ 1$, on procède ou non à une modification du vecteur HG: suppression des valeurs les plus anciennes, changement d'origine de temps des valeurs conservées, effacement des anciennes valeurs décalées. On a choisi de procéder à cette modification quand $IT\ 1$ dépasse 270 heures et de ne garder que les 200 dernières heures. Le changement d'origine transporte les 200 dernières valeurs de HG conservées aux positions IT de 1 à 200; il faut donc ensuite effacer les valeurs qui occupaient des positions entre 200 et $IT\ 1$.

Tout ceci s'effectue dans les boucles DØ 6114 et DØ 6112.

Cette limitation du vecteur HG présente un inconvénient: en cas de lacune d'observation durant une période supérieure à 300 heures (12 jours) le vecteur est vide de cotes réelles.

Dans ce cas, la dernière valeur de DH 1, ou de DH est conservée et utilisée jusqu'à ce qu'une nouvelle puisse être calculée. A la première observation après la phase de lacune, on a $DH\ 2 = 0$ évidemment. Donc DH est pris égal à la valeur conservée de DH 1 corrigée du rapport $\frac{(L\ 1 - 1)}{(L\ 1 - 1) + M\ 2}$ qui est alors de l'ordre de 0.40 à 0.55. Du fait de la réduction de DH 1, l'erreur sur la correction de débit ne peut dépasser des proportions admissibles; cette erreur diminue et s'annule quand les observations nouvelles ont duré un temps supérieur à JGRAD, puisque alors une vraie valeur de DH 1 est calculable.

Enfin, bien entendu, on n'opère pas de correction si le débit est négatif ou nul; et si, après correction, le débit devient négatif, on lui donne conventionnellement une valeur nulle.

La présentation des cartes de données pour la méthode du gradient limnigraphique est un peu différente de celle utilisée pour la méthode de l'écart au maximum.

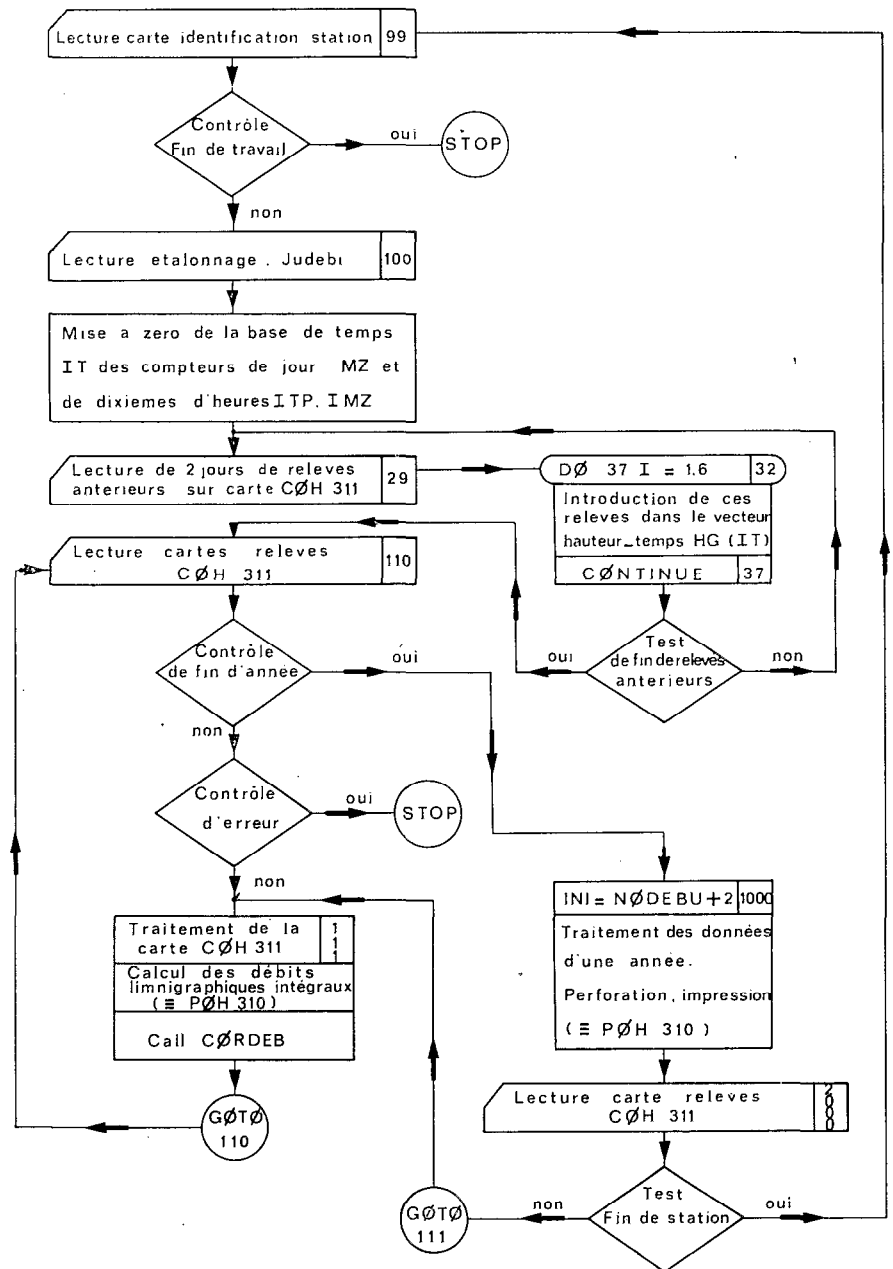


Fig. 34. — Organigramme du PØH 329.

Après la carte d'identification et les 5 cartes de TARAG, on trouve les cartes de relevés antérieurs (1, 2 ou 4) suivies d'une carte blanche, puis les cartes de relevés de la première année à traiter, toutes cartes sur le même modèle CØH 301. Une carte blanche sépare ces dernières de celles de la deuxième année, s'il y a lieu, et pour laquelle il n'y a plus évidemment de relevés antérieurs.

Une deuxième et une troisième cartes blanches terminent une station et tout le travail.

On note que dans les deux méthodes, la cinquième carte de TARAG est une carte modèle CØH 513 (fig. 26) qui contient les paramètres des équations de correction du débit.

Le format de lecture de cette carte est établi de telle manière que les champs affectés aux paramètres des deux méthodes n'interfèrent pas (espace vide de 10 colonnes):

AA et AB pour l'équation Arc Tg de la méthode de l'écart au maximum sont lus en F 5.2;

JGRAD et AC sont lus en I 4 et F 4.3 pour la méthode du gradient.

Le format complet comprend également la lecture de STATI et de IUNIV pour les contrôles:

4X, I4, 3X, I1, 8X, 2 F 5.2, 10X, I4, F 4.3

On notera que les champs consacrés à IDECH et IPENTE (2 I4) variables du PØH 312 (emploi de deux échelles) sont conservés entre le champ IUNIV et celui de AA.

Dans la méthode de l'écart au maximum, à la place des cartes de relevés antérieurs, il y a une carte et une seule de hauteurs maximales, non suivie d'une carte blanche et cette carte des hauteurs maximales se retrouve chaque année avant la première carte des relevés de l'année.

5.5 Programme de traitement des relevés limnigraphiques intégraux d'une station non univoque à une échelle (POH 329)

Ce programme s'applique à tous les cas de non-univocité et aux cours d'eau dont le régime très variable et irrégulier nécessite un dépouillement à pas de temps variable.

La structure de base du programme est identique à celle du PØH 310 [3] de traitement systématique des relevés limnigraphiques intégraux (dénomination des relevés à pas de temps variable) des cours d'eau à tarage univoque.

La méthode de correction de non-univocité est celle du gradient limnigraphique (IUNIV = 3), par conséquent la structure de programmation est comparable à celle qui est utilisée à ce même dessein dans le PØH 328.

Amalgame pour 80% du PØH 310 et pour le reste d'éléments du PØH 328, le programme PØH 329 ne mérite pas de ce fait une description intégrale et détaillée.

La figure 34 représente l'organigramme simplifié de ce programme, dans lequel apparaissent surtout les parties qui le différencient du PØH 310. Nous allons décrire ces parties en détail dans la mesure où elles sont elles-mêmes différentes de ce qu'elles sont dans le PØH 328 (cf. 5.4.3.).

Le support de l'information hauteurs est ici la carte CØH 311 dite de relevés limnigraphiques intégraux.

La conception particulière de traitement de la méthode du gradient limnigraphique dans le PØH 329 est comparable à celle qui est à la base du PØH 328:

- a) Création d'un vecteur hauteur-temps HG (IT) contenant des hauteurs adressées en temps à partir d'une origine quelconque;
- b) Introduction des relevés limnigraphiques intégraux dans ce vecteur;
- c) Recherche du gradient limnigraphique et calcul du débit corrigé.

Les particularités du PØH 329 sont essentiellement dues au fait que les relevés limnigraphiques intégraux sont déjà une succession de couples « hauteurs-temps » ce qui modifie les processus de traitement du vecteur HG.

En dehors des opérations d'initialisation du vecteur HG en cours de traitement de relevés, toutes les phases b) et c) précédentes sont effectuées dans la sous-routine CØRDEB, à l'intérieur d'une boucle

DØ 100 J = 1, IFIN

qui traite en une seule fois les IFIN couples « hauteurs-temps » (6 en général, moins de 6 parfois en fin de mois) d'une carte CØH 311.

La succession des données d'entrée s'apparente à celle du PØH 328:

- Carte d'identification de station;
- 5 cartes de tarage (lues en TARAG) dont la 5^e contient les paramètres AC et JGRAD du gradient limnigraphique;
- 1 carte JUDEBI d'unité de calcul des débits;
- n cartes de relevés antérieurs suivies d'une carte blanche;
- Les cartes de relevés de l'année à traiter;
- 1 carte blanche en fin d'année;
- 1 carte blanche en fin de station;
- 1 carte blanche en fin de travail.

Le pas de temps de calcul du gradient limnigraphique, JGRAD, doit être de l'ordre de quelques heures pour un petit cours d'eau à régime irrégulier. On a noté 6 heures pour l'exemple de Boitiek (250 km²). On peut penser que ce pas de temps JGRAD ne descend pas en dessous de 20 à 30 minutes et qu'il ne dépasse pas 48 heures. On a donc décidé que l'unité du pas de temps serait le dixième d'heure, la minute paraissant superflue. Le vecteur HG a reçu une dimension maximale de 800 dixièmes d'heures (3 jours 1/3). Les relevés antérieurs couvrent une période égale à 48 heures (480 dixièmes d'heures) avant le 1^{er} jour à 0 heure du 1^{er} relevé à traiter.

Comme dans le PØH 328, le vecteur HG est préalablement à tous calculs rempli de -9.99, cette cote conventionnelle étant également utilisée en perforation des relevés limnigraphiques intégraux pour désigner que le cours d'eau est à sec (débit nul).

La règle de perforation des relevés conditionne la méthode pour leur introduction dans le vecteur HG. En effet, cette règle veut que, quel que soit le nombre de relevés d'une journée, au minimum il y ait un relevé à 0 heure et un autre à 24 heures afin de faciliter le calcul du débit moyen journalier. Ceci fait que le relevé du jour J à 24

heures est suivi du relevé du jour $J + 1$ à 0 heure et que ces deux relevés sont identiques tant en hauteur qu'en date si on convertit celle-ci par rapport à une origine des temps.

Afin de ne pas traiter le 2^e relevé, qui est identique au 1^{er}, à la fois dans le calcul du vecteur HG et dans la recherche du gradient limnigraphique, nous avons basé la constitution du vecteur HG sur cette particularité, ce qui nous permet de constituer la base de temps IT uniquement à l'aide de l'heure HEU et des minutes MIN qui accompagnent chaque relevé HAUT et en négligeant le jour.

On calcule ITP base de temps journalière provisoire, en dixièmes d'heures. Cette variable varie de 0 à 240. A chaque passage par zéro, on évite et l'introduction de la donnée dans HG et la recherche du gradient limnigraphique DH — opérations déjà faites pour la précédente valeur de ITP, qui était 240 —, et l'on augmente d'une unité le compteur totalisateur de jours MZ qui déclenche un mouvement résultant dans le compteur totalisateur de dixièmes d'heures IMZ.

Le bloc d'instructions qui correspond à ce travail est le suivant (emprunté aux relevés antérieurs, mais identique pour tous les relevés et alors effectué au début de CØRDEB):

```

32  DØ 37 I = 1,6
      ITP = 10 * HEU (I) + MIN/6
      IF (ITP) 38, 35, 38
35  MZ = MZ + 1
      IMZ = 240 * MZ
      GØ TØ 37
38  IT = ITP + IMZ
      HG (IT) = HAU (I)
37  CØNTINUE

```

Un tel bloc d'instructions demande une entorse aux règles de perforation pour le 1^{er} relevé du 1^{er} jour des cartes de relevés antérieurs. En effet s'il correspondait à 0 heure, on aurait $ITP = 0$ et le test conduirait à $IT = 240$. On évite cela en donnant à ITP, donc à IT, la valeur 1, ce qui s'obtient aisément en considérant que le 1^{er} relevé a eu lieu à 0 heure 6 minutes.

L'altération est minime et l'incidence négligeable.

La sous-routine CØRDEB est appelée aussitôt après la sous-routine TRAD qui effectue simplement, comme dans tous les programmes de traitement des hauteurs, le calcul des débits pour une carte.

La sous-routine CØRDEB corrige tous les débits de la même carte.

Après introduction de HAUT dans HG, selon un bloc d'instructions déjà décrit ci-dessus, on y effectue la recherche du gradient limnigraphique DH, le calcul de la correction de débit CØRQ, la correction du débit, la mise à zéro des débits corrigés négatifs et le tri du débit maximal QMAX comme dans le PØH 328.

La seule différence provient des contraintes dues aux règles de perforation des relevés qui influent sur le changement d'origine du vecteur HG et l'effacement de portions de vecteurs devenues inutiles. Ces deux opérations doivent être faites lorsque le vecteur HG est rempli exactement jusqu'à un temps IT égal à un multiple de 240

dixièmes d'heures et le décalage d'origine doit être également un multiple de 240. On a adopté l'effacement à 720 et la conservation d'un bloc de 480 dixièmes d'heures. De la sorte les compteurs MZ et IMZ, cumulés en début d'opérations, se retrouvent toujours après valoir exactement 2 et 480 respectivement.

Le déclenchement des opérations n'a pas lieu au premier passage de IT par 720, mais au second, c'est-à-dire non pas lorsque $ITP = 240$ mais lorsqu'il égale zéro, aussitôt après. Un compteur provisoire N pourvoit à cela. De la sorte, lorsque l'on reprend le traitement d'une nouvelle hauteur HAUT, en début de CØRDEB, il s'agit toujours du premier relevé d'un jour suivant le relevé de 0 heure et les valeurs de MZ et IMZ régénérées auparavant ne sont pas modifiées puisque le premier ITP est différent de zéro, ce qui n'aurait pas été le cas en effectuant les opérations au premier passage de IT par 720, correspondant à $ITP = 240$. Ces deux opérations s'effectuent dans les boucles

$DØ\ 40\ J2 = IT3, IT1$ et $DØ\ 31\ J1 = ITN, IT1$

5.6. Remarques sur la méthode du gradient limnigraphique

La méthode du gradient limnigraphique apparaît comme la méthode de correction de non-univocité des stations dotées d'une seule échelle dont le domaine d'application est presque général. En effet, il n'y a exception que pour les grands fleuves réguliers auxquels l'application de la méthode de l'écart au maximum puisse être conseillée, comme donnant de meilleurs résultats et comme étant plus simple. La méthode du gradient limnigraphique offre un inconvénient et un avantage.

L'inconvénient du gradient limnigraphique est tel qu'il conduit à un hydrogramme en dents de scie, autour de l'hydrogramme réel inconnu.

Les figures 23 et 24 illustrant les exemples présentés dans le chapitre 4.2.3. sont particulièrement nettes à cet égard.

Cet hydrogramme en dents de scie n'offre pas d'inconvénient au niveau du calcul du débit moyen mensuel et même de celui du volume d'une crue, les écarts de part et d'autre de l'hydrogramme réel devant se compenser.

Par contre ces dents de scie sont gênantes pour l'analyse d'un hydrogramme de crue donnée surtout si cette analyse porte sur la forme et les paramètres caractéristiques de l'hydrogramme. En effet, une déformation possible est le déplacement du maximum, ce qui va perturber le calcul du temps de montée et des paramètres de l'hydrogramme standard par exemple. Or un lissage manuel peut seulement corriger la forme de l'hydrogramme, mais pas la position du maximum. (On entend par lissage le tracé de l'hydrogramme réel à vue aux moindres écarts au milieu des dents de scie de l'hydrogramme brut calculé.)

La solution pour obtenir un lissage parfait et rapide d'une part, un rétablissement de la position du maximum d'autre part, consiste à prélever sur le limnigramme un nombre de points bien supérieur au nombre nécessaire. Cette multiplication des points atténuera les dents de scie et facilitera le lissage.

Bien entendu, cette multiplication des prélèvements est inopportune car consommatrice de temps si l'on procède manuellement au dépouillement des limnigrammes et à la perforation des cartes de données. Il en est tout autrement si l'on opère à partir d'un lecteur de courbes semi-automatique ou automatique. L'introduction en début de 1971 d'un tel lecteur de courbes dans l'équipement du Bureau Central

hydrologique de l'O.R.S.T.O.M. nous permettra alors de mettre au point une procédure de lissage automatique pour le rétablissement de l'hydrogramme réel.

Le grand intérêt de la méthode du gradient limnigraphique est dans sa souplesse de correction du débit. En effet, celle-ci tient en une seule instruction:

$$CØRQ = AC * DH$$

Mais si l'on convenait d'une influence non linéaire de gradient sur le débit, toute autre instruction arithmétique pourrait être substituée à celle-ci sans que le reste du programme soit affecté, à la lecture près du coefficient AC, dans TARAG, bien évidemment.

Ainsi pourrait-on tout particulièrement penser à la méthode du gradient limnigraphique non simplifiée, c'est-à-dire à la méthode itérative (cf. 3.). La traduction de l'équation (5) sous une forme traitable en programmation conduit à:

$$Q = Q_0 \left(1 + k'' \cdot \frac{\Delta h}{U} \right)^{1/2} \quad (8)$$

en faisant abstraction de Δt et en faisant $k'' = \frac{1}{I_0}$

Pour réaliser la correction du débit à l'aide de l'équation (8) il faut et il suffit:

- a) D'avoir la vitesse moyenne U;
- b) De remplacer Δh dans l'équation de correction par $\left(\frac{\Delta h}{U} \right)^{1/2}$.

La vitesse moyenne U est liée à la hauteur H. La forme de liaison est parabolique. Comme il s'agit d'une correction de second ordre, il n'est pas grave de simplifier et par exemple de remplacer les paraboles par une série de droites. On peut donc opérer comme suit:

— Dans TARAG, lire les paramètres des diverses droites

$U = \alpha + \beta$ et les valeurs HB des bornes inférieures de hauteurs-limites d'application de chaque droite. Cette lecture peut se faire dans le champ libre de la carte CØH 513;

— Dans CØRDEB, calculer U (H) et l'introduire dans la correction de débit.

L'emploi d'un test adéquat permet de laisser ces instructions dans le PØH 329 et de les utiliser ou non selon que l'on recourt ou non à l'emploi de la vitesse dans l'équation de correction du débit.

Bibliographie

- [1] REMENIERAS (G.) — 1960 — « L'Hydrologie de l'Ingénieur ». *Coll. Lab. Nat. d'Hydraulique*, Eyrolles éditeur, Paris.
- [2] ROCHE (M.) — 1968 — « Traitement automatique des données hydrométriques et des données pluviométriques au Service Hydrologique de l'O.R.S.T.O.M. ». *Cah. Hydrol.*, vol. V, n° 3.
- [3] ROCHE (M.) — 1969 — « Traitement automatique des relevés limnigraphiques intégraux ». *Cah. Hydrol.*, vol. VI, n° 2.

- [4] SIRCOULON (J.) — 1970 — « Programme mixte de transformation hauteurs d'eau-débits ». *Cah. Hydrol.*, vol. VII, n° 1.
- [5] DUBREUIL (P.) — 1969 — « Premiers modèles de cartes mécanographiques du Service Hydrologique de l'O.R.S.T.O.M. pour l'étude des bassins représentatifs ou expérimentaux (impressions du 1^{er} semestre 1969) » Note technique n° 18, O.R.S.T.O.M., *Serv. Hydrol.*, Paris.

ANNEXES

[illegible]

```

900 CONTINUE
  91  L2=L1,LMAX
     Y=OHP(L1)
     IF(Y)161,162,163
161  OHP(L1)=X*10C,-0.1
     GO TO 166
162  KNDP(L1)=0
     CA TO 16C
163  KNDP(L1)=X*10C,-0.1
160 CONTINUE
  LMAX=LMAX+1
  DO 146 J=LMAX,16
146  KNDP(J)=0
     WRITE(I,14)ETAT,BASSI,STATI,NETAL,LMAX,(KHP(L1),L=1,16),IUNIV
     GO TO 500
100  WRTITF(1,1),LMAX,(DNDP(L1),L=1,LMAX)
399  PFAD(F,19) (OHP(L1),L=1,LMAX)
     KMAX=LMAX-1
     DEAT(F,20) (DNDPINT(L1),L=1,LMAX)
     RFAT(F,20) (OHPINT(L1),L=1,LMAX)
     DO 40C L1=LMAX
     OHPA=OHP(L1)-OHP(L1)
     PD=OHP(L1+1)-OHP(L1)
     OQOIA=OQOINT(L1)-OQOIP(L1)
     OQPI=OQOINT(L1)-OQOIP(L1)
     C1(L1)=OQOIP*OQOHP-OQOINT*OQPI/(PD*OQPI*(100-OQPI))
     C2(L1)=OQOHP*PD-C1(L1)*PD
400  C1=L1,CNDP(L1)
     WRTITE(F,16)ETAT,BASSI,STATI,PHAG,NETAL
992  WRTITE(6,18)
     WRTITE(6,26)
901  WRTITE(6,6)
     WRTITE(6,1)
     WRTITE(6,51) (L,(C(K,1),K=1,3),L=1,KMAX)
     WRTITE(6,22) (L,(OHP(L1),L=1,LMAX)
     LMAX=L1+1,CNDP(LMAX)-OQOIP(L1)+1,0)
     Q11=OQOAP(L1)
     Q11=OQHP(L1)
     DO 700 I=2,LMAX
     D11=(O1-I)+0.1
     PD=OHP(I)
     IF(C1-NDP,KMAX)1720,710,710
710  L=KMAX
     GO TO 750
720  DO 74C L=2,KMAX
     IF(D1-NDP(L))730,730,740
730  I=L-1
     GO TO 750
74C  CONTINUE
750  X=D1-NDP(L)
     Q11=X*(C1,L1)*X+C(2,L1)+C(3,L1)
     IF(Q11)799,700,700
749  Q11=X0
700 CONTINUE
     WRTITE(6,21)
     WRTITE(6,23)
     DO 850 I=1,LMAX
     T=L/10.
     DO 410A J=L-1
     T=X/10.
     IF(I)15050,5104,5104
5104  CONTINUE
900  Q111=IF(X10(I),+10C0,-T+.5)*T/10C0.
     GO TO 5900,5901,59021,J
590C  WRTITE(2,20C0)I11,0(I1)
     GO TO 850
5901  WRTITE(6,20C0)I11,Q111
     GO TO 850
5902  WRTITE(6,20C0)I11,Q111
840 CONTINUE
     DO 760 L=1,LMAX
     Y=OHP(L1)
     IF(Y)762,762,763
763  KNDP(L1)=0
     GO TO 760
763  KNDP(L1)=X*10C0.
760 CONTINUE
     LMAX=LMAX+1
     DO 764 L=LMAX+16
764  KNDP(L1)=0
     WRTITE(1,14)ETAT,BASSI,STATI,NETAL,LMAX,KNDP(L1),L=1,16),IUNIV
903  DO 16C L=1,LMAX
     DS 16C K=L+3
     VAP=C(K,L)
     J=0
     VAP(I)=ABS(VAP)
17C  IF (VAP(I)-C.9999999)171,172,172
172  I=I+1
     VAP(I)=VAP(I)+A0.1
     GO TO 170
171  VAP(I)=VAP(I)+C0NDOS
     IF(VAP)195,195,195
195  VAP(I,K,L)=VAP(I)+10C0C0.
     GO TO 16C
19C  VAP(I,K,L)=VAP(I)+1C0C0C0.
16C  I=I+1,L=1
     IF(KMAX-I)19C,19C,181
18C  DO 199 K=1,3
     WRTITE(7,19)ETAT,BASSI,STATI,KFAT,K, (VAP(I,K,L),
     I=CAR(I,K,L),L=1,KMAX)
     GO TO 1C
191  DO 191 K=1,3
     WRTITE(7,19)ETAT,BASSI,STATI,NETAL,K, (VAP(I,K,L),
     I=CAR(I,K,L),L=1,KMAX)
     WRTITE(7,19)ETAT,BASSI,STATI,NETAL,K, (VAP(I,K,L),
     I=CAR(I,K,L),L=1,KMAX)
     GO TO 1C
19C  DO 1C C8
     END
400 STOP
     END

```

66


```

3110 NJMO=70
GOTO3125
3120 IF(18151)3121,3122,3121
3121 NJMO=28
GOTO3125
3122 NJMO=24
3123 K1=K+1
K2=K+KJMO
TEST=0.
TOTAL=0.
DO 3200 J= 1,NJMO
NN=K+J
MAJ(MOIS,J)=MANJOIMN1
ICJ(MOIS,J)=ICJ(JMO)
V=MANJO(MN)*10.+(ICJ(MN)-3)
IF(Y3130,3200,3200
3130 TEST=10.
3200 TOTAL=TOTAL+Y
IF(TEST)3210,3220,3220
3210 DEBMOI(MOIS)=10.
GO TO 3225
3220 DEBMOI(MOIS)=TOTAL/FI DAT(NJMO)
3225 NO 3230 KINZ=1,2
IF(KINZ-1)3240,3240,3250
3240 KD=K1
KF=KD+14
WRITE(7,18)KETA,KRAS,IBVREP,JANNO,MOIS,KINZ,(MANJOIM,ICJ(M),M=KD
1,KF),JUDERI
GOTO3230
3250 KD=K1+15
KF=K2
KD=KF-KD
IF(KD-15)3235,3231,3235
3235 K=K+1
3232 WRITE(7,11)KETA,KRAS,IBVREP,JANNO,MOIS,KINZ,(MANJOIM,ICJ(M),M=KD
1,KF),JUDERI,IN(M),M=KA,16),JUDERI
GOTO 3230
3231 WRITE(7,11)KETA,KRAS,IBVREP,JANNO,MOIS,KINZ,(MANJOIM,ICJ(M),M=KD
1,KF),JUDERI
3230 CONTINUE
4000 K=K2
DO 4100 MOIS=1,12
X=DEBMOI(MOIS)
IF(X)4650,4660,4660
4650 JDF=10
J=0
GOTO4670
4660 J=0
4665 IF(X-.9995)4700,4702,4702
4702 Y=0.1*X
J=J+1
GO TO 4669
4700 X=.0005+X
JDE=1000.*X
4670 MANJOI(MOIS)=JDE
4100 ICJ(MOIS)=J
J=0
IF(JUDERI)4801,4800,4801
4801 QMAX=1000.*QMAX
4800 IF(QMAX-.9995)4810,4815,4815
4815 QMA=0.1*QMAX
J=J+1
GOTO4800
4810 QMA=QMAX+.0005
QMAX=1000.*QMAX
ICMAX=J
WRITE(7,12)KETA,KRAS,IBVREP,JANNO,(MANJOI(MOIS),ICJ(MOIS),MOIS=1,
12),QMAX,ICMAX,JUDERI
IF(NTYP-1)685,685,685
685 WRITE(6,625)ETA,BASHVD,BRE
GO TO 695
690 WRITE(6,635)ETA,BASHVD,BRE
695 WRITE(6,652)KETA,KRAS,IBVREP,NOMBV
696 IF(JUDERI)4910,4900,4910
4900 WRITE(6,5056)MILL
GOTO 5021
4910 WRITE(6,5057)MILL
5021 CALL YMPR(MILL,MAJ,ICJ,MANJOI,ICJMOI)
XMAX=0.0001*FLOAT(XMAX)*10.+(FLOAT(ICMAX+1)
XMAX=XMAX+.01
WRITE(6,5100)XMAX
5100 FORMAT('Y220,DEBIT MAXIMAL INSTANTANE',T,F0,1)
2000 READ(5,2)NETA,JRAS,KOSTA,JANNO,MOIS,ICJUR(1),HUI(1),MIN(1),HAUT(1),
11=1,6),JUNITE,ICJANG,NOCAR
IF(NETA)1111,99,1111
1111 IF(NTYP-1)640,640,652
640 WRITE(6,625)ETA,BASHVD,BRE
GO TO 661
652 WRITE(6,635)ETA,BASHVD,BRE
661 WRITE(6,652)KETA,KRAS,IBVREP,NOMBV
IF(JUDERI)8051,8055,8051
8055 WRITE(6,7001)
GOTO8060
8051 WRITE(6,7002)
8060 QMA=0
GO TO 40
0099 STOP
END

SUBROUTINE TRADA
INTEGER STATI
COMMON IPECH,IPENTE,JMIN,JMAX,STATI,ISTAT,LMAX,HP(16),KMAX,A(3,15)
1,A(3,15),C(3,15),D(3,15),HAUT(6),HAUTB(6),DEB(6),QMAX,LDMAX,KDMAX
2,DNDP(16),KDMAX,LBMAX,HP(16),HAUT(6)
DO 130 J=JMIN,JMAX
H=HAUT(J)-HAUTR(J)+FLOAT(IPECH)/1000.
IF(DM)208,208,209
208 DEB(J)=H
GO TO 130
209 D=FLOAT(IPENTE)/1000.
DND=H/DW
DO 215 L=2,KDMAX
IF(DM-DNDP(L))210,210,212
210 L=L-1
GO TO 220
212 IF(DND-DNDP(LDMAX))215,219,219
215 CONTINUE
219 L=KDMAX
220 DM=DND-DNDP(L)
DND=DM+(D(1,L)*DM+D(2,L))*D(3,L)
HAUR=HAUT(J)
DO 315 L=2,KDMAX
IF(HAUR-HP(L))310,310,312
310 L=L-1
GO TO 320
312 IF(HAUR-HP(KDMAX))315,319,316
315 CONTINUE
316 IF(HAUR-99.99)316,317,317
317 DEB(J)=10.
GO TO 330
319 L=KDMAX
320 HB=HAUR-HP(L)
QH=HB*(1,L)*HB+D(2,L)*D(3,L)
DEB(J)=QHDM
IF(QMAX-DEB(J))329,330,330
329 QMAX=DEB(J)
330 CONTINUE
RETURN
END
SUBROUTINE TARAG
INTEGER STATI
COMMON IPECH,IPENTE,JMIN,JMAX,STATI,ISTAT,LMAX,HP(16),KMAX,A(3,15)
1,A(3,15),C(3,15),D(3,15),HAUT(6),HAUTB(6),DEB(6),QMAX,LDMAX,KDMAX
2,DNDP(16),KDMAX,LBMAX,HP(16),HAUT(6)
1001 FORMAT(4X,13,4X,12,16F4.2)
1002 FORMAT(4X,13,4X,12,BE8.5/13X,BE8.5)
1003 FORMAT(1X,16B8.0)
1006 FOPAT(4X,13,4X,12,16F4.3)
1007 FORMAT(4X,13,1X,13,1X,2F4)
PFAF(5,1001)STATI,LMAX,HP(11,L=1,LMAX)
IF(STATI-ISTAT)1,2,1
1 WRITE(6,1003)
DO 6 J=1,3
READ(5,1002)STATI,1,IC(J,L),L=1,KMAX)
IF(STATI-ISTAT)3,4,3
3 WRITE(6,1003)
4 DO 6 L=1,KMAX
6 A(L,L)=C(J,L)
READ(5,1001)STATI,LDMAX,HPB(L),L=1,LDMAX)
IF(STATI-ISTAT)7,8,7
7 WRITE(6,1003)
8 KMAX=LDMAX-1
DO 12 J=1,3
READ(5,1002)STATI,1,IC(J,L),L=1,KMAX)
IF(STATI-ISTAT)10,11,10
10 WRITE(6,1003)
11 DO 12 L=1,KDMAX
12 B(L,L)=C(J,L)
READ(5,1001)STATI,LDMAX,(DNDP(L),L=1,LDMAX)
IF(STATI-ISTAT)13,14,13
13 WRITE(6,1003)
14 KDMAX=LDMAX-1
DO 19 J=1,3
READ(5,1002)STATI,1,IC(J,L),L=1,KDMAX)
IF(STATI-ISTAT)16,17,16
16 WRITE(6,1003)
17 DO 18 L=1,KDMAX
18 D(L,L)=C(J,L)
READ(5,1007)STATI,NETAL,IOECH,IPENTE
RETURN
END
SUBROUTINE YMPR(JAN,KJ,LJ,K4,LH)
INTEGER KJ(12,31),LJ(12,31),K4(12),LH(12),JA(60)
DIMENSION A(12)
DATA AA/'1','2','3','4','5','6','7','8','9','0','1','2','3','4'
1 FORMAT(LX)
2 FORMAT(13,17(1X,5A1),14)
3 FUPMAT('F0X,JAN F0V MAX AVR MAI JUN JUL AOU SEP
2 FCT ANV DEC')
4 FORMAT('F0X,MOY',12(5A1,1X))
WRITE(6,3)
DO 29 J=1,32
DO 27 L=1,12
JH=5*(J-1)
IF(J-29)17,13,15
17 IF(MOJ)JAN,4316,17,14
14 IF(J-21)17,25,17
15 IF(J-31)14,16,18
16 GO TO (17,25,17,25,17,25,17,25,17,25,17,25,17),H
17 IF(XJH)17,25,20,20
18 IF(KH(M))25,19,19
19 JO=LH(M)
JH=KMAX*10**JD
GO TO 21
20 JO=LJH(J)
JH=KJH(J)*10**JH
21 JAL(JH)=1
JH=MIN(2,(6-JD))
JH=JH-1
DO 24 L=1,H
IF(L-2-JD)23,27,23
23 JH=JH-1
JAL(JH)=10-10*(JH)
IF(JAL(JH)-EQ.0)JAL(JH)=10
24 CONTINUE
GO TO 27
25 DO 26 L=1,5
26 JAL(JH+1)=1
27 CONTINUE
IF(J-31)28,29,30
28 IF(MOJ(J+1),5,10,0)WRITE(6,1)
29 WRITE(6,2)J,(AA(JA(1)),1=1,60),J
30 WRITE(6,4)JAL(JA(1)),1=1,60)
RETURN
END

```

```

C PROGRAMME POH 308
C VARIANTE DU POH 301 POUR LA TRANSCRIPTION DES HAUTEURS EN DEBITS AUX
C STATIONS NON UNIVOQUES
C TRAITEMENT SYSTEMATIQUE DE LA CARTE COH 301 AVEC LES MEMES
C CONVENTIONS QUE DANS POH 301
C LE CHIFFRE -20, DESIGNE UN DEBIT NE MESURABLE NI ESTIMABLE POUR LA
C HAUTEUR OBSERVEE
C CALCUL DES DEBITS PAR LA METHODE D'ECART AU MAXIMUM(IUNIV=1) OU
C PAR CELLE DU GRADIENT LINIIGRAPHIQUE(IUNIV=3)
C LA METHODE DU GRADIENT NE TRAITE PAS LE CAS 9(DE 9 A 16 HAUTEURS
C LUES PAR JOUR)
C INTEGER ETAT,BASSI,STATI,CAS,ANNEE,GROUP,CHANG
C REAL NMAX
COMMON/JNIN,JMAX,HAUT(16),LMAX,HP(16),DEB(16),A(3,15),QMAX,XMAX,I
COMMON/STATI,ISTAT,C(3,15),HMAXO,HMAX1,HMAX2,KK,AA,AB,IUNIV
COMMON/HS(300),CAS,ICA,JGRAD,AC,CORQ,I7,GROUP,MOIS,IBIS,LA,JX
DIMENSION HANT(17),ICAR(17),Q(366),MAGMO(12),ICQMO(12)
DIMENSION JO(16),FRAG(18),OEBEN(12),VAR(12),QJ(31,12)
1000 FORMAT(2I2,1,19A4)
1001 FORMAT(4X,14,3X,12,16F4,2)
1002 FORMAT(4X,14,3X,12,DEB,5/13X,DEB,5)
1003 FORMAT(1X,'ERREUR DE STATION')
1 1 FORMAT(2I2,14,3I2,16F4,2,2I1)
3 1 FORMAT(2I2,14,2I2,11,16I3,11I)
4 1 FORMAT(2I2,14,13,13I3,1I)
4 1 FORMAT(2I2,14,2I2,17I13,1I)
6 1 FORMAT(2I2)
7 1 FORMAT(1I)
2 1 FORMAT(1X,'ERREUR D'ANNEE')
1500 FORMAT(1I,1,84,5X,'STATION NUMERO',2X,2I2,14,11,35X,'DEBITS MOYENS
1 JOURNALIERS EN 10',12,11)
1501 FORMAT(6X,'JANVIER',2X,'FEVRIER',4X,'MARS',4X,'AVRIL',5X,'MAI',6X,
1 'JUN',5X,'JUILLET',4X,'AOUT',2X,'SEPTEMBRE',1X,'OCTOBRE',2X,'NOVE
2MBRE',1X,'DECEMBRE',11)
1511 FORMAT(1X,12,2X,12F4,2)
1512 FORMAT(10,12,2X,12F4,2)
1513 FORMAT(1X,12,2X,F9,2,9X,10F9,2)
1514 FORMAT(10,12,2X,3F9,2,9X,2F9,2,2(9X,F9,2)/)
1520 FORMAT(5X,12F9,2//)
1550 FORMAT(13X,'DEBIT MOYEN ANNUEL',T63,F9,2,1X,'M3/S'//37X,'DEBIT MAX
1MAL ANNUEL',T63,F9,2,1X,'M3/S')
C LECTURE DE LA CARTE D'IDENTIFICATION DES HAUTEURS LIMITEES INFRIEURES
C ET DE CELLES DES COEFFICIENTS D'ETALONNAGE
99 READ(5,1000)ETAT,BASSI,ISTAT,FRAG
IF(ETAT)98,999,98
98 JETA=STAT
IBAS=BASSI
DO 2004 I=1,300
CALL TARAG
C LECTURE DE CARTES SPECIALES POUR STATIONS NON UNIVOQUES
IF(IUNIV=3)111,93,63
63 READ(5,1)ETAT,BASSI,STATI,ANNEE,MOIS,GROUP,HAUT,CAS,CHANG
IAN = ANNEE
IF(ETAT) 100,100,62
62 IF(STATI=1)STATI 60,61,60
60 WRITE(6,1004)
1004 FORMAT(1X,'ERREUR DE STATION POUR LE GRADIENT')
GO TO 999
61 IT = 0
65 DO 46 J=1,16
IT=IT+24/CAS
46 HG(IT)=HAUT(J)
GO TO 63
111 READ(5,8) STATI,IAN,HMAXO,HMAX1,HMAX2
8 1 FORMAT(4X,14,12,3F4,2)
3103 IF(STATI=1)STATI 1104,1101,1104
1104 WRITE(6,1103)
1103 FORMAT(1X,'ERREUR DE TARAGE DE STATION')
GO TO 105
1101 KK = 0
IF(HMAXO) 1116,1117,1116
1116 KK = KK+1
GO TO 100
1117 KK = KK+2
C LECTURE DES 16 HAUTEURS CONTENUES DANS UNE CARTE
100 K=0
QMAX=0
101 READ(5,1)ETAT,BASSI,STATI,ANNEE,MOIS,GROUP,HAUT,CAS,CHANG
IF(K) 1120,1120,1106
1120 IF(IUNIV=3)1121,68,68
1121 IF(IAN=ANNEE) 1105,1106,1105
1105 WRITE(6,1107)
1107 FORMAT(1X,'ERREUR D'ANNEE DE TARAGE')
GO TO 105
68 IF(IAN=ANNEE)1106,67,67
67 WRITE(6,1205)
1005 FORMAT(1X,'ERREUR D'ANNEE POUR LE GRADIENT')
GO TO 999
1106 IF(ETAT) 103,103,103
103 K=MOIS
IGRO=GROUP
K=K+1
IF(STATI=1)STATI104,106,104
104 MOI=16,1003)
105 READ(5,1)ETAT
IF(ETAT)105,102,105
106 IF(K=1)107,109,107
107 IF(MILL=ANNEE)108,109,108
108 WRITE(6,2)
GOTO105
139 MILL=ANNEE
IF(ANNEE-(ANNEE/4)*4)140,141,140
140 JOAN=365
GOTO142
141 JOAN=366
142 IBIS=JOAN-366
C TRANSCRIPTION EN DEBITS DES 16 HAUTEURS CONTENUES DANS UNE CARTE
C TRI DU DEBIT MAXIMAL ( QMAX )
IF(ICHANG)109,110,109
109 READ(5,6)ICHA,IGRAD
IF(ICA) 1109,1108,1109
1109 JMIN = 1
JMAX = ICHA
IF(IGRAD=1)110,111,1110
1110 IF(IGRAD=ICHA) 1112,1112,1114
1112 JMAX = IGRAD
GO TO 1113
1111 CALL TRAD
CALL TARAG
JMIN = ICHA+1
JMAX = 16
CALL TRAD
GO TO 148
1113 CALL TRAD
JMIN = IGRAD+1
JMAX = ICHA
KK = KK+1
GO TO 1111
1114 CALL TRAD
CALL TARAG
JMIN = ICHA+1
JMAX = IGRAD
GO TO 1115
1108 JMIN = 1
JMAX = IGRAD
1115 CALL TRAD
KK = KK+1
JMIN = IGRAD+1
JMAX = 16
CALL TRAD
GO TO 148
110 JMIN=1
JMAX=16
CALL TRAD
148 GOTO(2001,2002,2002,2002,2002,2002,2002,2002,2002,2003),CAS
C TRAITEMENT DU CAS 1
2001 IF(GROUP=2)160,149,149
149 GOTO(150,151,150,152,150,152,150,150,152,150,152,150),MOIS
150 JMAX=15
GOTO155
151 IF(1515)153,154,153
153 JMAX=12
GOTO152
154 JMAX=13
GOTO155
152 JMAX=14
GOTO155
160 JMAX=16
155 IF(IUNIV=3)4155,5155,5155
4155 DO159J=1,JMAX
JO=16*(GROUP-1)+J
159 CJ(JG,MOIS)=DEB(J)
XXX GO TO 101
5155 DO5159 L=1,JMAX
IT=IT+24
HG(IT)=HAUT(LA)
CALL CORDEB
JO=16*(GROUP-1)+L
5159 CJ(JG,MOIS)=DEB(LA)
GOTO101
C TRAITEMENT DES CAS 2 A 8
2002 ICA=CAS-1
GOTO(239,240,240,241,242,243,244),ICA
239 JMA=15
GOTO249
240 JMA=13
GOTO249
241 JMA=11
GOTO249
242 JMA=7
GOTO249
243 JMA=8
GOTO249
244 JMA=9
249 IF(IUNIV=3)190,1190,1190
1190 CALL GRAD
GO TO 161,161,161,162,161,167,161,ICA
161 DO 170 LA=1,JX
IT=IT+24/CAS
HG(IT)=HAUT(LA)
CALL CORDEB
170 CONTINUE
GO TO 190
162 DO 178 LA=1,JX
IF(MOD(LA,5))163,164,163
163 IT=IT+25/CAS
GO TO 165
164 IT=IT+24/CAS
165 HG(IT)=HAUT(LA)
CALL CORDEB
175 CONTINUE
GO TO 190
167 DO 180 LA=1,JX
IF(MOD(LA,2))166,168,166
166 IT=IT+24/CAS
GO TO 165
168 IT=IT+24/ICA
169 HG(IT)=HAUT(LA)
CALL CORDEB
180 CONTINUE
190 DO 250 J=1,JMA,CAS
KO=J+JCA/ICAS
M=0
MH=0
DO252N=1,CAS
M=M+1
L=J+N-1
IF(DEB(L))251,252,252
251 M=M-1
IF(DEB(L)-EQ--20)JH=MH+1
DEB(L)=0
252 D=0+DEB(L)
IF(M.LE.-3)AND,MH,GT.0)QJO(KO)--20.
IF(M.LE.0)AND,MH,EQ.0)QJO(KO)=10.
IF(M.GT.0)QJO(KO)=0+H
250 CONTINUE
IF(CAS=7)271,272,272
272 CAS=6
271 ICA=CAS-1
GOTO(279,280,281,282,283),ICA
279 GOTO(291,292,291,290,291,290,291,291,290,291,290,291),MOIS
291 IF(GROUP=4)58,57,57
290 IF(GROUP=4)58,56,56
292 IF(GROUP=4)58,293,293
293 IF(1515)54,55,54
280 GOTO(301,302,301,55,301,55,301,301,55,301,55,301),MOIS
301 IF(GROUP=7)55,51,51
302 IF(GROUP=6)55,311,311
311 IF(1515)53,54,53
281 GOTO(321,322,321,320,321,320,321,320,321,320,321),MOIS
321 IF(GROUP=8)54,53,53
322 IF(GROUP=8)54,51,51
320 IF(GROUP=8)54,52,52
282 GOTO(331,332,331,53,331,53,331,331,53,331,53,331),MOIS
331 IF(GROUP=11)53,51,51
332 IF(GROUP=10)53,293,333

```



```

SUBROUTINE TRAD
  INTEGER STAT
  COMMON/JMIN,JMAX,HAUT(16),LMAX,HP(16),DEB(16),A(3,15),QMAX,KMAX,I
  COMMON/STAT,ISTAT,C(3,15),HMAX0,HMAX1,HMAX2,KK,AA,AB,IUNIV
  COMMON/HG(300),CAS,ICA,JGRAD,AC,CORQ,IT,GROUP,M015,I015,LA,JX
  DO130J=JMIN,JMAX
  HAU=HAUT(J)
  IF(HAU,LT,0.60)GO TO 129
  DO 115 L=2,KMAX
  IF (HAU-HP(L))110,110,112
110 L=L-1
  GO TO 120
112 IF (HAU-HP(KMAX))115,119,116
115 CONTINUE
116 IF (HAU-99.99)119,117,117
117 DEB(J)=10
  GO TO 130
119 L=KMAX
120 H=HAU-HP(L)
  DEB(J)=H*(A(L,L)*H+A(2,L))+A(3,L)
  IF (IUNIV-3)90,130,130
  90 GO TO (118,119,1120,1121),KK
1118 DHMAX = HAU-HMAX0
  GO TO 1122
1119 DHMAX = HMAX1-HAU
  GO TO 1122
1120 DHMAX = HMAX1-HMAX1
  GO TO 1122
1121 DHMAX = HMAX2-HAU
1122 CORQ = ARA*AH(A8*DHMAX)
  DEB(J) = DEB(J) * (1+CORQ/100.)
  IF (DEB(J),LT,0.)DEB(J)=0.
  IF (QMAX,LT,DEB(J))QMAX=DEB(J)
  GO TO 130
129 DEB(J)=20.
130 CONTINUE
  RETURN
  END

SUBROUTINE GRAD
  INTEGER CAS, GROUP
  COMMON/JMIN,JMAX,HAUT(16),LMAX,HP(16),DEB(16),A(3,15),QMAX,KMAX,I
  COMMON/STAT,ISTAT,C(3,15),HMAX0,HMAX1,HMAX2,KK,AA,AB,IUNIV
  COMMON/HG(300),CAS,ICA,JGRAD,AC,CORQ,IT,GROUP,M015,I015,LA,JX
  GO TO (1,2,3,4,5,5,5),ICA
  1 IF (GROUP-3)28,28,8
  8 GO TO (27,9,27,26,27,26,27,27,26,27,26,27),M015
  9 IF (I015)24,25,24
  2 IF (GROUP-6)25,10,21
  10 IF (M015-2)25,11,25
  11 IF (I015)23,24,23
  3 IF (GROUP-8)24,24,12
  12 GO TO (23,21,23,22,23,22,23,23,22,23,22,23),M015
  4 IF (GROUP-10)23,13,21
  13 IF (M015-2)23,14,23
  14 IF (I015)21,22,21
  5 IF (GROUP-15)22,15,21
  15 IF (M015-2)22,21,22
  21 JX=CAS
  GO TO 29
  22 JX=CAS*2
  GO TO 29
  23 JX=CAS*3
  GO TO 29
  24 JX=CAS*4
  GO TO 29
  25 JX=CAS*5
  GO TO 29
  26 JX=CAS*6
  GO TO 29
  27 JX=CAS*7
  GO TO 29
  28 JX=CAS*8
  29 RETURN
  END

SUBROUTINE CORDEB
  INTEGER CAS
  COMMON/JMIN,JMAX,HAUT(16),LMAX,HP(16),DEB(16),A(3,15),QMAX,KMAX,I
  COMMON/STAT,ISTAT,C(3,15),HMAX0,HMAX1,HMAX2,KK,AA,AB,IUNIV
  COMMON/HG(300),CAS,ICA,JGRAD,AC,CORQ,IT,CORUP,M015,I015,LA,JX
  IT1 = IT
  ITG = IT1-JGRAD*1
  ITG=ITG-1
  IDEB=DEB(LA)*100.
  IF (IDEB)6005,6005,6006
6005 CORQ = 0
  GO TO 6004
6006 DO 6111 L1=1,10
  L2=ITG-L1
  IF (HG(L2)+9.98)6111,6111,6007
6007 IF (HG(L2)-9.98)6008,6111,6111
6111 CONTINUE
  GO TO 6009
6008 DH1=HAUT(LA)-HG(L2)
  IF (L1-1) 6010,6010,6009
6009 DO 6113 H1=ITG,IT1
  IF (HG(H1)+9.98)6113,6113,6011
6011 IF (HG(H1)-9.98)6012,6113,6113
6113 CONTINUE
6012 DH2=HAUT(LA)-HG(H1)
  H2=H1-ITG*1
  DH=(DH1*H2+DH2*(L1-1))/(L1-1)+H2)
  GO TO 6013
6010 DH = DH1
6013 CORQ = ACRDH
  DEB(LA)=DEB(LA)*(1+CORQ)
  IF (DEB(LA),LT,0.)DEB(LA)=0.
  IF (QMAX,LT,DEB(LA))QMAX=DEB(LA)
6004 IF (IT1-27)6026,6026,6024
6024 IT2 = IT1-200
  IT = 0
  DO 6114 J2=IT2,IT1
  IT=IT+1
  R=HG(J2)
  HG(IT)=R
6114 CONTINUE
  IT3=IT+1
  DO 6112 J1=IT3,IT1
6112 HG(J1)=-9.99
6026 RETURN
  END

```

```

C PROGRAMME POH 329
C VARIANTE DU POH 310 POUR LE TRAITEMENT DE BASE DES DONNEES
C LHMIGRAPHIQUES INTEGRALES DE STATIONS NON UNIVOQUES
C CALCUL DU DEBIT PAR LA METHODE DU GRADIENT LHMIGRAPHIQUE(IUN,V=3)
C INTEGER STAT
C INTEGER HEU
C INTEGER=2 JOUR(6),MANT(6),ICAR(6),JOI(7000),MANJOI(368),JOK(7000),IC
C JOI(368),MAI(17),IC(17),MAJ(12,31),ICJ(12,31),MANJOI(12),ICMOI(12)
C DIMENSION NI(16),IO(16)
C DIMENSION Q(7000),HEURE(7000),QJO(366),DEBMOI(12),FRAG(18)
C DIMENSION NODESA(12)
C COMMON JMH4,JHAX,STAT,I,STAT,LHAX,HP(16),KHAX,A(3,15),C(3,15),HAUT
C (16),DEB(6),QMAX,IT,HG(800),JGRAD,AC,IUNIV,IFIN,MZ,IMZ,HEU(6),MIN(6
C 2),NHS,ALPHA(5),BETA(5),HBI(5)
C DATA NODESA/-1,30,58,89,119,150,180,211,242,272,303,333,MI,IO/16*
C 10,160/
C 1 FORMAT(2I2,14,18A4)
C 2 FORMAT(2I2,2I4,12,6(3I2,F4,2I,2I,14)
C 3 FORMAT(1X,'ERREUR DE STATION POUR',I6)
C 4 FORMAT(1X,'ERREUR D'ANNEE POUR LA STATION NO',I3,12,I4,'EN',I5)
C 5 FORMAT(12)
C 6 FORMAT(1X,'ERREUR DE SEQUENCE DES CARTES A LA CARTE NO',I6)
C 7 FORMAT(1X,'ERREUR DANS LE COMPTE DES JOURS POUR',I6)
C 8 FORMAT(2I2,2I4,12,6(3I2,I3,I1),I1,I5)
C 9 FORMAT(2I2,14,2I2,16(13,I1,I4)
C 10 FORMAT('1',NUMERO DE STATION',4X,2I2,14,4X,'ANNEE:',I7,4X,'DEBITS
C 1 JOURNALIERS EN M3/S'//)
C 11 FORMAT(2I2,14,2I2,11,16(13,I1,I1),I3)
C 12 FORMAT(2I2,14,13,13(13,I1,I1),16X,I1)
C 13 FORMAT(2I2,14,2I2,11,15(13,I1,I1),I7)
C 15 FORMAT('1',2I2,14,6X,18A4//)
C 20 FORMAT(1X,16,14,6(13,I1,I1),13,F8,31)
C 21 FORMAT('1',T120,I7)
C 7011 FORMAT('1',NUMERO DE STATION',4X,2I2,14,4X,'ANNEE:',I7,4X,'DEBITS
C 1 JOURNALIERS EN LITRES/SECONDE'//)
C 7012 FORMAT(1X,10(13,I1,4X)/8X,10(13,I1,4X)I)
C 99 READ(5,1)JETA,IBAS,ISTAT,FRAG
C DO 2100 I=1,800
C 2100 NG(1)=0.9999
C IF(JETA)100,9999,100
C 9999 STOP
C 100 CALL TARAG
C READ(5,19)JUDEBI
C 19 FORMAT(11)
C WRITE(6,15)JETA,IBAS,ISTAT,FRAG
C IF(JUDEBI)51,55,51
C 55 WRITE(6,7001)
C 7001 FORMAT(/T22,'DEBITS INSTANTANES EN M3/S'//)
C GOTO 60
C 51 WRITE(6,7002)
C 7002 FORMAT(/T17,'DEBITS INSTANTANES EN LITRES/SECONDE'//)
C 60 QHAX=0.
C MZ=0
C IMZ=0
C IT=0
C 29 READ(5,2)JETA,JBAS,NOSTA,JANN,MOIS,(JOUR(I),HEU(I),MIN(I),HAUT(I),
C 1=1,6),JUNITE,ICHANG,NOCART
C IF(NETA)130,110,30
C 30 IF(NOSTA-ISTAT)131,32,31
C 31 WRITE(6,14)
C 14 FORMAT(1X,'ERREUR DE STATION POUR LE GRADIENT')
C GO TO 9999
C 32 DO 37 I=1,6
C ITP=10*HEU(I)/MIN(I)/6
C IF(ITP)138,35,38
C 35 MZ=MZ+1
C IMZ=IMZ+1
C 38 IT=IT+IMZ
C 37 HG(IT)=HAUT(I)
C GO TO 29
C 110 READ(5,2)JETA,JBAS,NOSTA,JANN,MOIS,(JOUR(I),HEU(I),MIN(I),HAUT(I),
C 1=1,6),JUNITE,ICHANG,NOCART
C IF(NETA)111,1000,111
C 111 DO 6000 I=1,6
C IF(JOUR(I))6001,6001,6000
C 6001 IFIN=I-1
C GO TO 6002
C 6000 CONTINUE
C IFIN=0
C 6002 IF(ISTAT-NOSTA)112,115,112
C 112 WRITE(6,3)JANN
C 113 READ(5,2)JETA
C IF(NETA)113,110,113
C 5055 FORMAT('1',18A4)
C 5552 FORMAT(1X,'NUMERO DE STATION',4X,2I2,14,4X//)
C 5056 FORMAT(T22,'DEBITS MOYENS JOURNALIERS EN',1X,I4//T36,('(M3/S)')
C 5057 FORMAT(T22,'DEBITS MOYENS JOURNALIERS EN',1X,I4//T34,('(LITRES/S)')
C 5058 FORMAT(/T7,'JANN',I3,'FEV',I79,'MARS',I725,'AVR',I731,'MAI',I737
C 1,'JUN',I743,'JUL',I749,'AOUT',I755,'SEPT',I761,'OCTO',I767,'NOVE',I773
C 2,'DECE'//)
C 5070 FORMAT(1X,I3,I1X)
C 5071 FORMAT('0',I3,I1X)
C 5072 FORMAT(/1X,'MOY.')
C 115 IF(NOCART-1116,120,116
C 116 IF(NOCART-ICARTE-1117,118,117
C 117 WRITE(6,6)ICARTE
C GOTO113
C 118 IF(MILL-JANN)119,120,119
C 119 WRITE(6,4)NETA,JBAS,NOSTA,MILL
C GOTO113
C 120 MILL-JANN
C IBIS=(JANN/4)*4-JANN
C IF(NOCART-1116,125,161
C 125 IF(JOUR(1)-1)127,130,127
C 130 IF(MOIS-1)127,190,127
C 150 NODBU=0
C GOTO 160
C 127 IF(1815)80,81,80
C 80 NODBU=NODBU+(MOIS)*JOUR(1)
C GOTO 160
C 81 NODBU=NODBU+(MOIS)*JOUR(1)+1
C 160 K=NODBU
C 161 JMIN=1
C IF(JUNITE)162,164,162
C 162 DO163 I=1,6
C 163 HAUT(I)=HAUT(I)*0.1
C 164 IF(ICHANG)165,170,165
C 165 READ(5,5)ICHA
C JHAX=ICHA
C CALL TRAD
C CALL TARAG
C IF(ICH=6)171,180,180
C 171 JMIN=ICHA+1

```

```

Y=MANJO(MN)*10.**[ICJO(MN)-3]
IF(Y>10.0,3200,3200)
3130 TEST=-10.
3200 TOTAL=TOTAL+Y
IF(TEST>3210,3220,3220)
3210 DEBMOI(MOIS)=10.
GO TO 3225
3220 DEBMOI(MOIS)=TOTAL/LOAT(4440)
3225 DO 3230 KINZ=1,2
IF(KINZ-1)3240,3240,3250
3240 KD=K1
KF=KD+14
WRITE(7,13)JETA,IBAS,ISTAT,JANNO,MOIS,KINZ,(MANJO(MN),ICJO(MN),H=KD,
1KF),JUDEBI
GO TO 3230
3250 KM=K1+15
KF=K2
KD=KF-KD
IF(KD-15)3235,3231,3235
3235 KA=KD+2
3232 WRITE(7,11)JETA,IBAS,ISTAT,JANNO,MOIS,KINZ,(MANJO(MN),ICJO(MN),H=KD,
1KF),MI(MN),ID(MN),H=KA,16),JUDEBI
GO TO 3230
3231 WRITE(7,11)JETA,IBAS,ISTAT,JANNO,MOIS,KINZ,(MANJO(MN),ICJO(MN),H=KD,
1KF),JUDEBI
3230 CONTINUE
4000 K=K2
DO 4100 MOIS=1,12
X=DEBMOI(MOIS)
IF(X)4650,4660,4660
4650 IDE=-10
I=0
GOTO 4670
4660 I=0
4669 IF(X-.9995)4700,4702,4702
4702 X=0.19X
I=I+1
GO TO 4669
4700 X=.0005X
IDE=1000.X
4670 MANMOI(MOIS)=IDE
4100 ICMOI(MOIS)=I
I=0
IF(JUDEBI)4801,4800,4801
4801 QMAX=1000.*QMAX
4800 IF(QMAX-.9995)4810,4815,4815
4815 QMAX=0.1*QMAX
I=I+1
GOTO 4800
4810 QMAX=QMAX+.0005
MANMAX=1000.*QMAX
ICMAX=10
WRITE(7,12)JETA,IBAS,ISTAT,JANNO,(MANMOI(MOIS),ICMOI(MOIS),MOIS=1,1
12),MANMAX,ICMAX,JUDEBI
WRITE(6,5055)FRAG
WRITE(6,5552)JETA,IBAS,ISTAT
IF(JUDEBI)4910,4900,4910
4900 WRITE(6,5056)MILL
GOTO 4920
4910 WRITE(6,5057)MILL
4920 CALL YMPRI(MILL,M4J,ICJ,MANMOI,ICMOI)
XMAX=XMAX+G.D1
WRITE(6,5100)XMAX
5100 FORMAT(7720,'DEBIT MAXIMAL INSTANTANE',F6.1)
2000 READ(5,24)ETA,IBAS,MOIS,JAUN,MOIS,(JOUR(I),HEU(I),MIN(I),HAUT(I),
1I=1,6),JUNITE,ICHANG,MOICART
IF(ETA)1111,99,1111
1111 WRITE(6,15)JETA,IBAS,ISTAT,FRAG
IF(JUDEBI)8051,8055,8051
8055 WRITE(6,7001)
GOTO 8060
8051 WRITE(6,7002)
8060 QMAX=0
GO TO 111
END

SUBROUTINE TARAG
INTEGER STATI
COMMON JMIN,JMAX,STATI,ISTAT,LMAX,HP(16),KMAX,A(3,15),C(3,15),HAUT
1(6),DEBI(6),QMAX,IT,IG(100),JGRAD,AC,IUNIV,IFIN,HZ,IMZ,HEU(6),MIN(6
2),HNB,ALPHA(5),BETA(5),HBI(5)
1001 FORMAT(4X,14,3X,12,16F4.2,2X,11)
1002 FORMAT(4X,14,3X,12,16F4.2,2X,11)
1003 FORMAT(1X,'ERREUR DE STATION')
1004 FORMAT(4X,14,3X,12,16F4.2,2X,11)
1012 FORMAT(4X,14,3X,12,16F4.2,2X,11)
READ(5,1001)STATI,LMAX,HP(16),L=1,16,IUNIV
IF(STATI-1)STATI,2,1
1 WRITE(6,1003)
2 KMAX=LMAX-1
IF(KMAX-8)12,12,10
12 DO 6 J=1,3
READ(5,1012)STATI,I,(C(J,L),L=1,KMAX)
IF(STATI-1)STATI,4,3
3 WRITE(6,1003)
4 DO 6 L=1,KMAX
6 A(I,L)=C(J,L)
GOTO 1011
10 DO 9 J=1,3
READ(5,1002)STATI,I,(C(J,L),L=1,KMAX)
IF(STATI-1)STATI,7,7
7 WRITE(6,1003)
8 DO 9 L=1,KMAX
9 A(I,L)=C(J,L)
1011 READ(5,1006)STATI,JUNIV,JGRAD,AC,HNB,ALPHA(5),BETA(5),HBI(5),I=1,N
248)
IF(STATI-1)STATI,71,81,71
71 WRITE(6,1004)
1004 FORMAT(1X,'ERREUR DE STATION POUR LC GRADIENT')
81 IF(JUNIV-IUNIV)91,1016,91
91 WRITE(6,1013)
1013 FORMAT(1X,'ERREUR DE METHODE DE TARAGE')
1010 RETURN
END

SUBROUTINE TRAD
INTEGER STATI
COMMON JMIN,JMAX,STATI,ISTAT,LMAX,HP(16),KMAX,A(3,15),C(3,15),HAUT
1(6),DEBI(6),QMAX,IT,IG(100),JGRAD,AC,IUNIV,IFIN,HZ,IMZ,HEU(6),MIN(6
2),HNB,ALPHA(5),BETA(5),HBI(5)
DO130J=JMIN,JMAX
HAUT=HAUT(I)
DO 115 L=2,KMAX
IF(HAUT-HP(L))110,110,112
110 L=L-1
GOTO120
112 IF(HAUT-HP(KMAX))115,119,116
115 CONTINUE
116 IF(HAUT-99.99)110,117,117
117 DEBI(J)=10.
GOTO130
118 IF(HAUT-9.99)201,201,119
201 DEBI(J)=0.
GOTO130

```