

O.R.S.T.O.M.

---

Service Hydrologique

---

Note technique n° 22

---

Diffusion interne

---

TARAGE des STATIONS HYDROMETRIQUES NON UNIVOQUES

---

par

P. DUBREUIL

J.P. LAMAGAT et G. VUILLAUME

Paris, Août 1970

## S O M M A I R E

	Page
<u>INTRODUCTION -</u>	1
<u>1. Les DIFFERENTS TYPES de STATIONS NON UNIVOQUES</u>	3
1.1. - Les causes de non-univocité	3
1.1.1. - Un contrôle aval variable	3
1.1.2. - Un régime non permanent	4
1.2. - Essai de classification des tarages non univoques	5
1.2.1. - Classification d'après la nature de la non-univocité	6
1.2.2. - Classification d'après la méthode de tarage	7
1.3. - Limites de l'étude des stations non univoques	8
<u>2. TARAGE des STATIONS DOTEES de DEUX ECHELLES sur COURS d'EAU SUJETS à d'IMPORTANTES et BRUTALES VARIATIONS de PENTE</u>	8
2.1. - Point de vue théorique	8
2.2. - Procédure d'établissement	10
2.3. - Limites d'emploi	11
2.3.1. - L'inversion de la pente	11
2.3.2. - La cessation d'effet de la pente	11
<u>3. APPROCHE THEORIQUE du TARAGE des STATIONS NON UNIVOQUES DOTEES d'une SEULE ECHELLE</u>	13
3.1. - Analyse hydraulique	14
3.2. - Avantages et inconvénients de la méthode itérative	16
<u>4. TARAGE des STATIONS NON UNIVOQUES à UNE ECHELLE</u>	17
4.1. - Méthode du gradient limnigraphique	17

	Page
4.1.1. - Mode d'emploi	17
4.1.2. - Applications sur trois exemples	19
4.2. - Méthode de l'écart à la cote maximale	25
4.2.1. - Domaine d'application	25
4.2.2. - Mode d'emploi	27
4.2.3. - Applications au NIGER à DIRE et MOPTI	28
<u>CONCLUSION</u> -	39

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).

---

(\*) La note technique n° 22 ne contient pas cette seconde partie du futur article à paraître dans les Cahiers.



## 1. Les DIFFERENTS 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 contrôle 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 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 (exemple sur 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 SENEGAL.

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 (DIRE et TONKA sur le NIGER, fig. n° 2), soit en courbe douce (MOPTI sur le NIGER, MATAM, PODOR, DAGANA sur le SENEGAL, fig. n° 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. n° 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. n° 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'HAMARO HADAD à IMI 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. chapitre 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 centimètre (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 (chapitre 4), ce paramètre est tantôt le gradient limnographique, 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. n° 1 à 4).

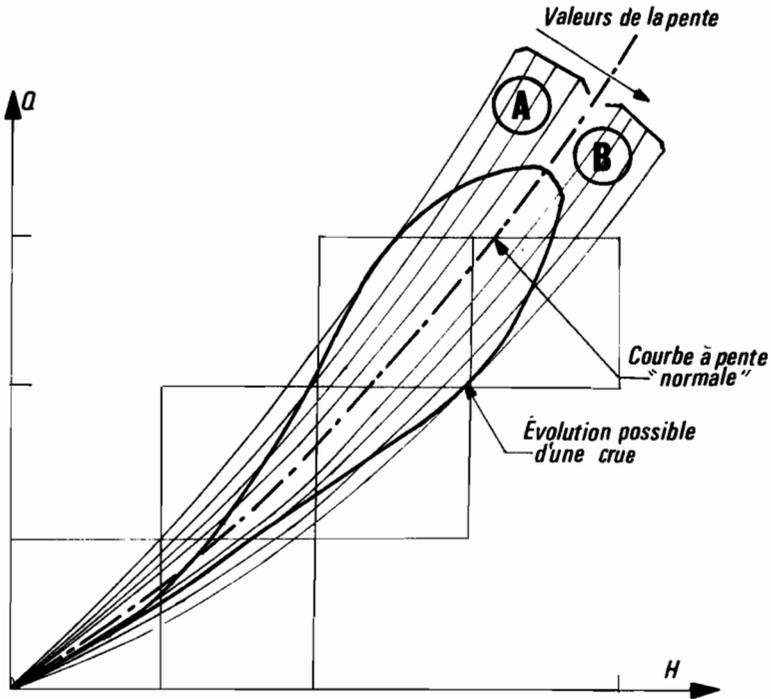
On peut partir du raisonnement suivant : une station non univoque est une station univoque subissant des contraintes venant détruire en totalité ou en partie son caractère univoque. Par conséquent toute station, sans ces contraintes, aurait un caractère univoque et une courbe de tarage univoque correspondant 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. n° 1) :

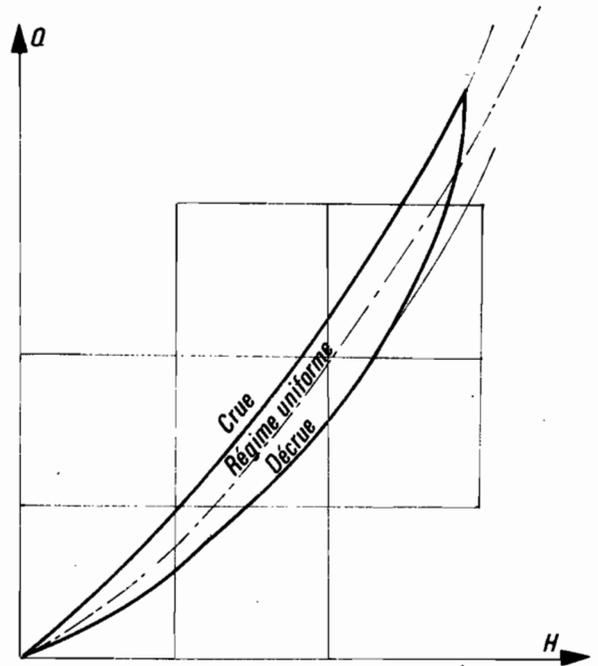
- a) non-univocité limitée de type A, c'est-à-dire que les causes provoquent un accroissement de la pente et l'apparition d'une surface de tarage au-dessus de la courbe pseudo-univoque à pente normale. C'est le cas des cours d'eau à modification géométrique naturelle du contrôle aval par érosion, c'est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

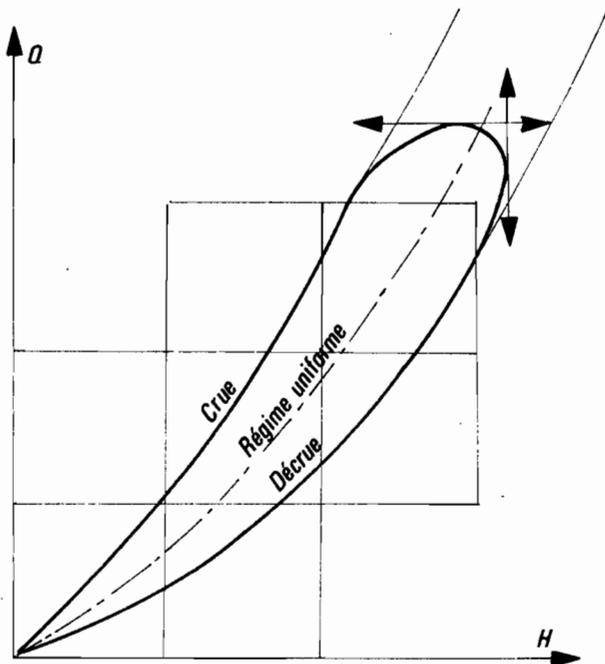
# DIFFÉRENTS SCÉMAS DES RELATIONS HAUTEURS - DÉBITS NON UNIVOQUES



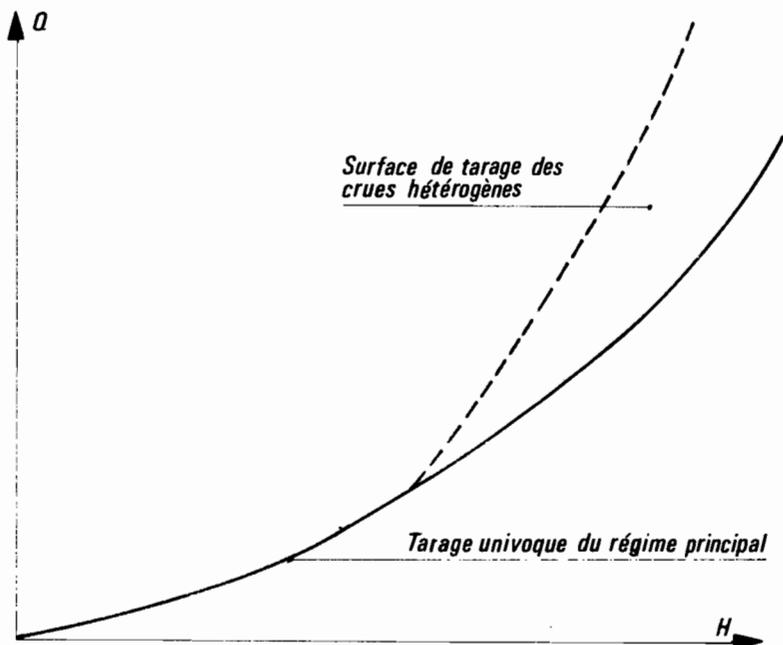
**Fig.1.** Surface de tarage d'un cours d'eau à contrôle variable



**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

c) non-univocité généralisée couvrant les plages 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 SENEGAL 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 Limnigraphique	A deux échelles	Gradient Limnigraphique	Gradient Limnigraphique	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 (effluents 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 DOTEES de DEUX ECHELLES 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] - 2ème 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 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 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 :

$$h_m = H_m - Z_m$$

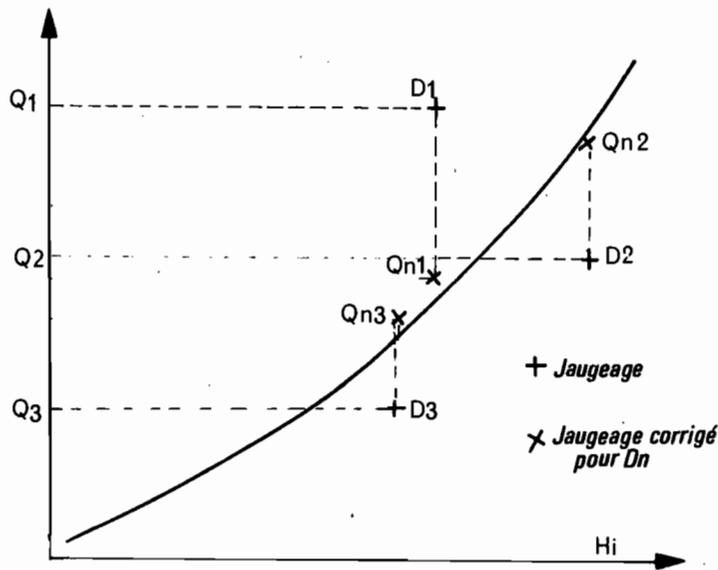
$$h_v = H_v - Z_v$$

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

$$D = h_m + dZ - h_v$$

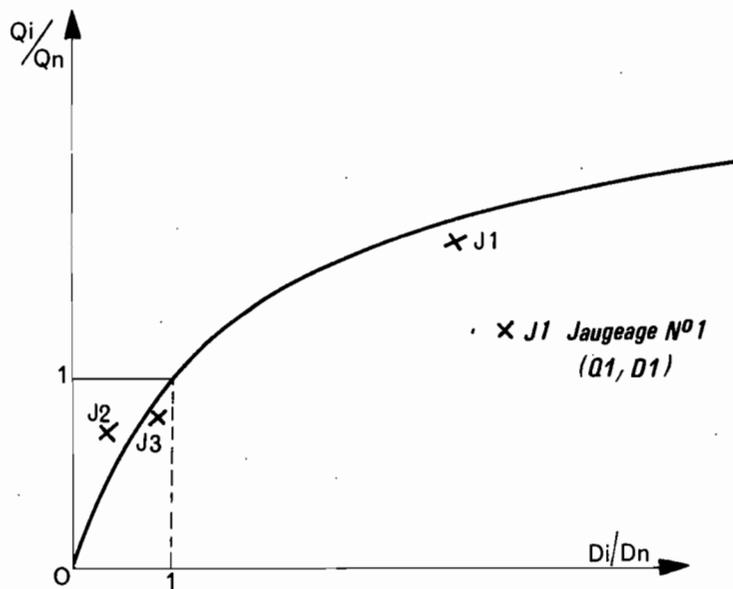
La pente de l'écoulement, représentée par  $D$ , influe l'écoulement tant que  $h_v \gg dZ$  et cesse de l'influencer quand  $h_v < dZ$ . On a alors  $D > h_m$ . Il existe dans ces conditions une courbe de tarage vers laquelle tendent asymptotiquement les courbes  $Q_i, H_i$  à dénivelées croissantes, 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 dénivelée  $D_i$ . 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.

# ÉTABLISSEMENT DU TARAGE D'UNE STATION À DEUX ÉCHELLES



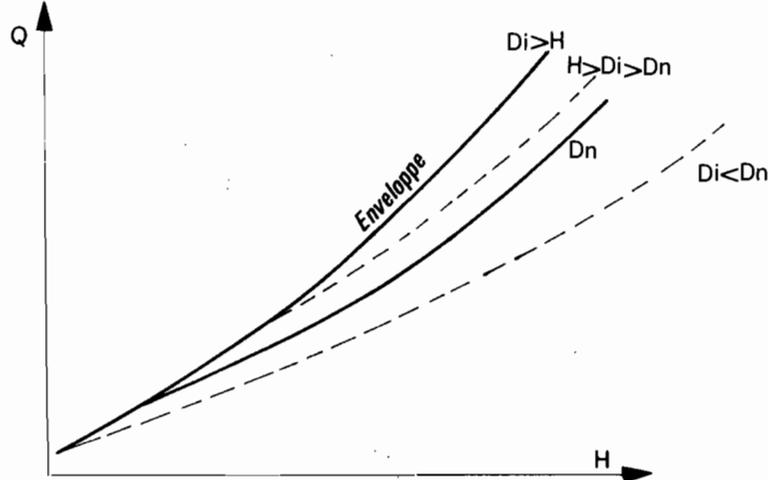
**Fig.5-**

Tracé de la courbe de tarage à dénivelée normale.



**Fig.6-**

Tracé de la courbe de correction de pente.



**Fig.7-**

Courbe enveloppe de tarage sans influence de la pente

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 dénivelée 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
Dénivelée 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 dénivelée 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 soit qu'un raisonnement analogue et symétrique est applicable aux cours d'eau à accroissement de pente (non-univocité de type B) 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 THEORIQUE du TARAGE des STATIONS NON UNIVOQUES DOTEES d'une SEULE ECHELLE

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  $\frac{\Delta h}{\Delta t}$ ,  $\Delta h$  étant la variation de la hauteur  $h$  pendant l'intervalle de temps  $\Delta t$ . 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  $\Delta h$  dans l'intervalle de temps  $\Delta t$ , on observe une variation  $\Delta I$  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  $\Delta h$  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 décade 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 :

$$y^2 = 1 + \frac{1}{I_0 \cdot U} \cdot \frac{\Delta h}{\Delta t} \quad (4)$$

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'écart 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 (3) présentée au chapitre précédent (Cf. 3.1.).

En effet, dans celle-ci la dénivelée D est la somme de la dénivelée "normale"  $D_n$  et d'un gradient de dénivelée  $\Delta D$  :

$$D = D_n + \Delta D$$

Dans ces conditions, l'équation (3) 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 (3) 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 :

- a) une estimation du pas de temps  $\Delta t$  pour le calcul du gradient  $\frac{\Delta h}{\Delta t}$
- b) une estimation de  $I_0$  pour le départ des calculs.

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. chapitre 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 BOTTIEK du bassin du GHORFA en MAURITANIE.

Le tableau n° 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 ECHELLE

##### 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 - décrue" des grands fleuves type NIGER ou SENEGAL 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 :

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

TABLEAU I

CALCUL ITERATIF du TARAGE de l'OUED BOITIEK  
par la METHODE THEORIQUE

Date de jaugeage	S m <sup>2</sup>	h cm	$\frac{\Delta h}{\Delta t}$ cm/h	Q m <sup>3</sup> /s	U cm/s	Y <sub>1</sub>	Q <sub>0</sub> m <sup>3</sup> /s	U <sub>0</sub> cm/s	Y <sub>2</sub>	Q <sub>0</sub> m <sup>3</sup> /s	U <sub>0</sub> 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	1,75	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° approximation :  $Y_1^2 = 1 + \frac{1,4}{U} \frac{\Delta h}{\Delta t}$

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

# TARAGE UNIVOQUE PAR LA MÉTHODE THÉORIQUE DE L'OUED BOITIEK

○ Jaugeage effectué  $Q, H$   
● Jaugeage corrigé  $Q_0, H$

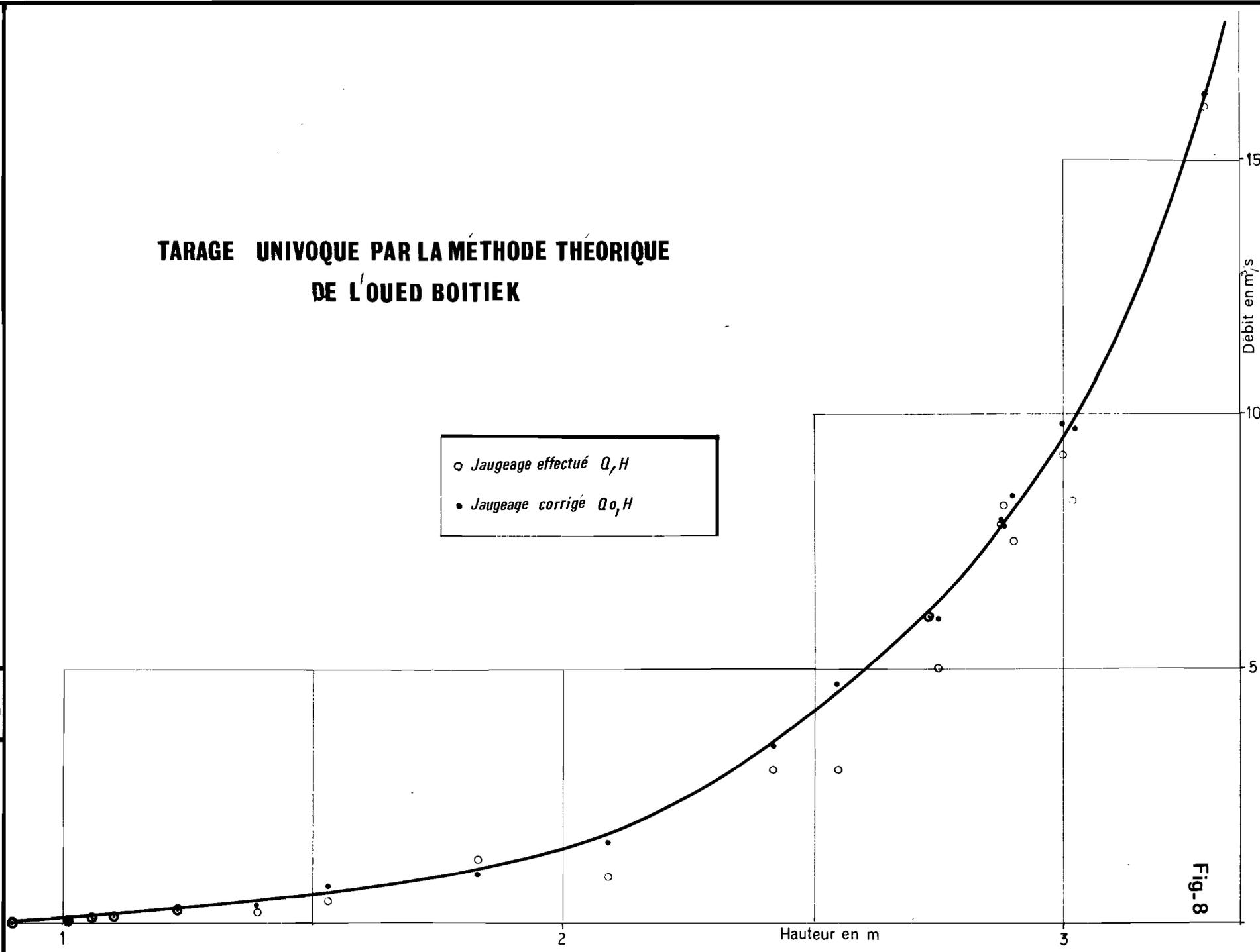


Fig-8

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

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

Pour une résolution simple, on fait apparaître  $Q = Q - Q_0$  écart du débit observé au débit "univoque", ce qui permet de transformer l'équation (6) en :

$$\frac{\Delta Q}{Q_0} = k \cdot \frac{\Delta h}{\Delta t} \quad (7)$$

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  $Q_0$  en fonction de  $H$ .
- b) l'écart  $\frac{\Delta Q}{Q_0}$  entre le débit jaugé  $Q_{ic}$  ou  $Q_{id}$  et  $Q_0$  est rapporté à  $Q_0$ , et le rapport  $\frac{\Delta Q}{Q_0}$  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 DIRE 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 DIRE (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  $\Delta t$  retenus ont été :

- 5 jours pour MOPTI et DIRE ;
- 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 : n° II pour MOPTI, III pour DIRE et IV pour BOITIEK.

Les courbes de tarage et de correction par le gradient font l'objet des figures n° 9-10 pour MOPTI, 11-12 pour DIRE 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  $Q + \Delta Q'$

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

MOPTI	$\frac{\Delta Q}{Q_0} = 0,372 \Delta h_5$
DIRE	$\frac{\Delta Q}{Q_0} = 0,973 \Delta h_5$
BOITIEK	$\frac{\Delta Q}{Q_0} = 0,73 \Delta h_6$

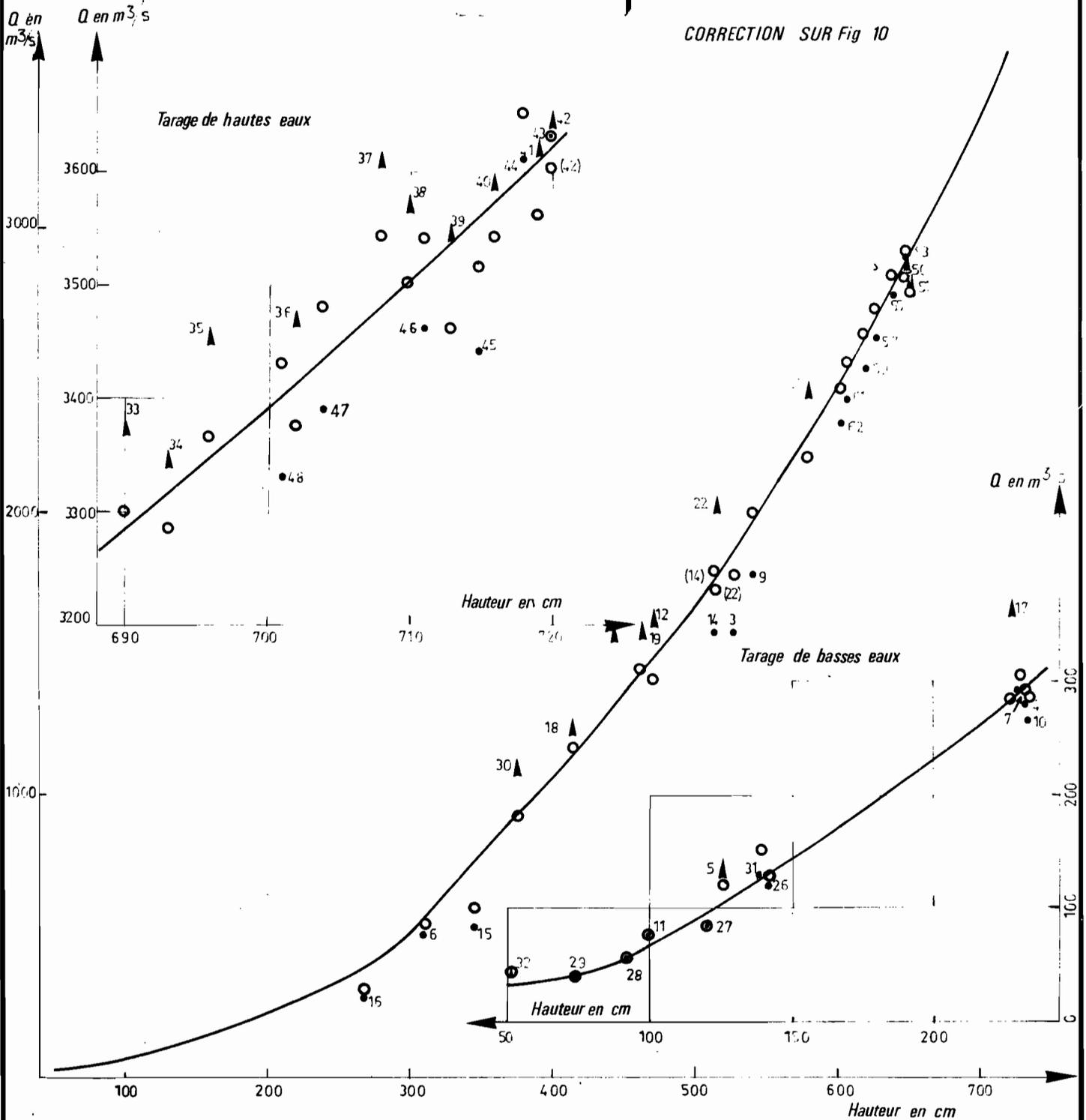
# METHODE DU GRADIENT LIMNIGRAPHIQUE

STATION DE MOPTI

Fig - 9

- ▲ Jaugeage de crue
- Jaugeage de décrue
- Point rectifié

CORRECTION SUR Fig 10

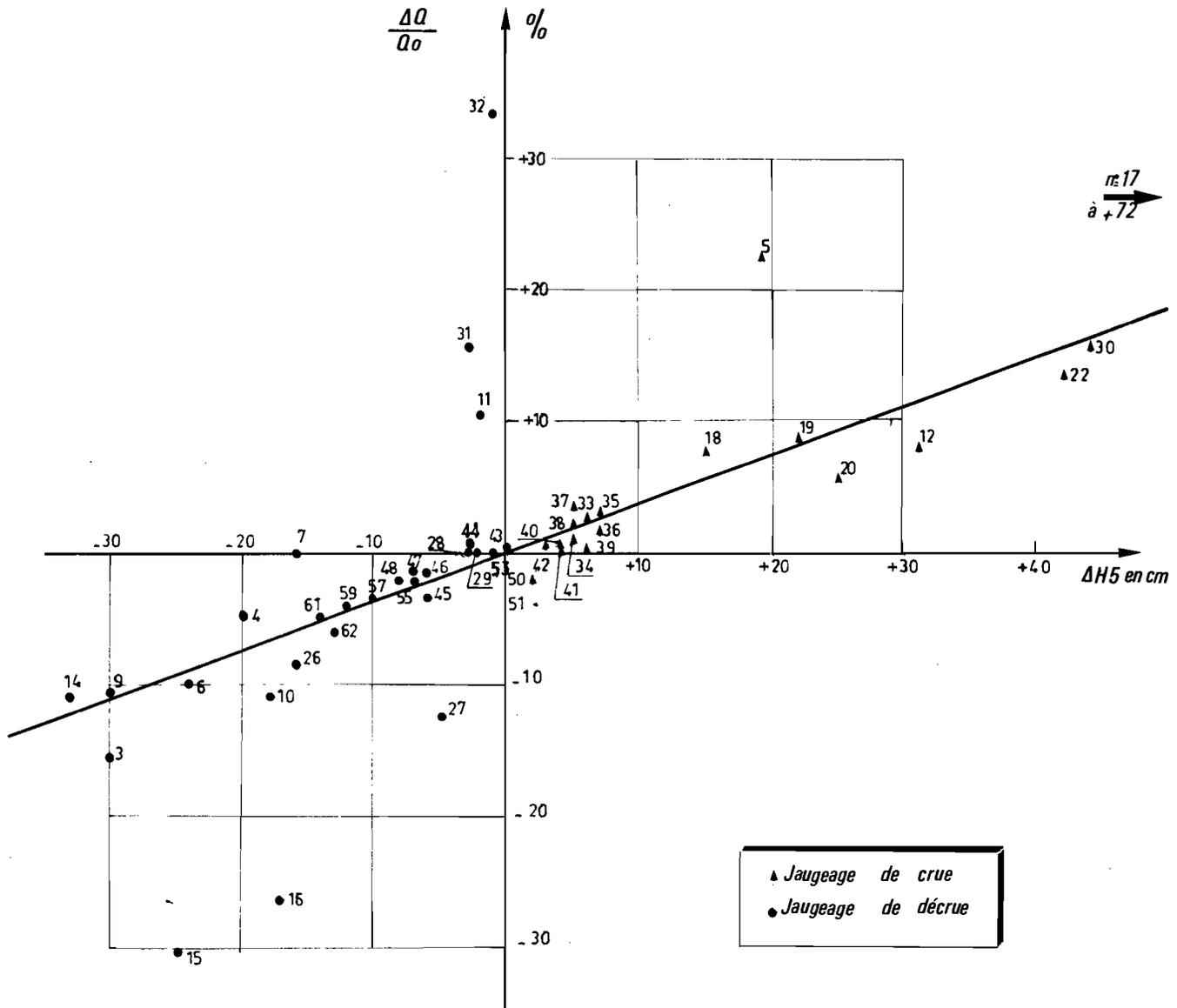


# MÉTHODE DU GRADIENT LIMNIGRAPHIQUE

Exemple: STATION DE MOPTI

Fig-10

correction de l'étalonnage par  $\Delta H_n$  (n:5 jours)

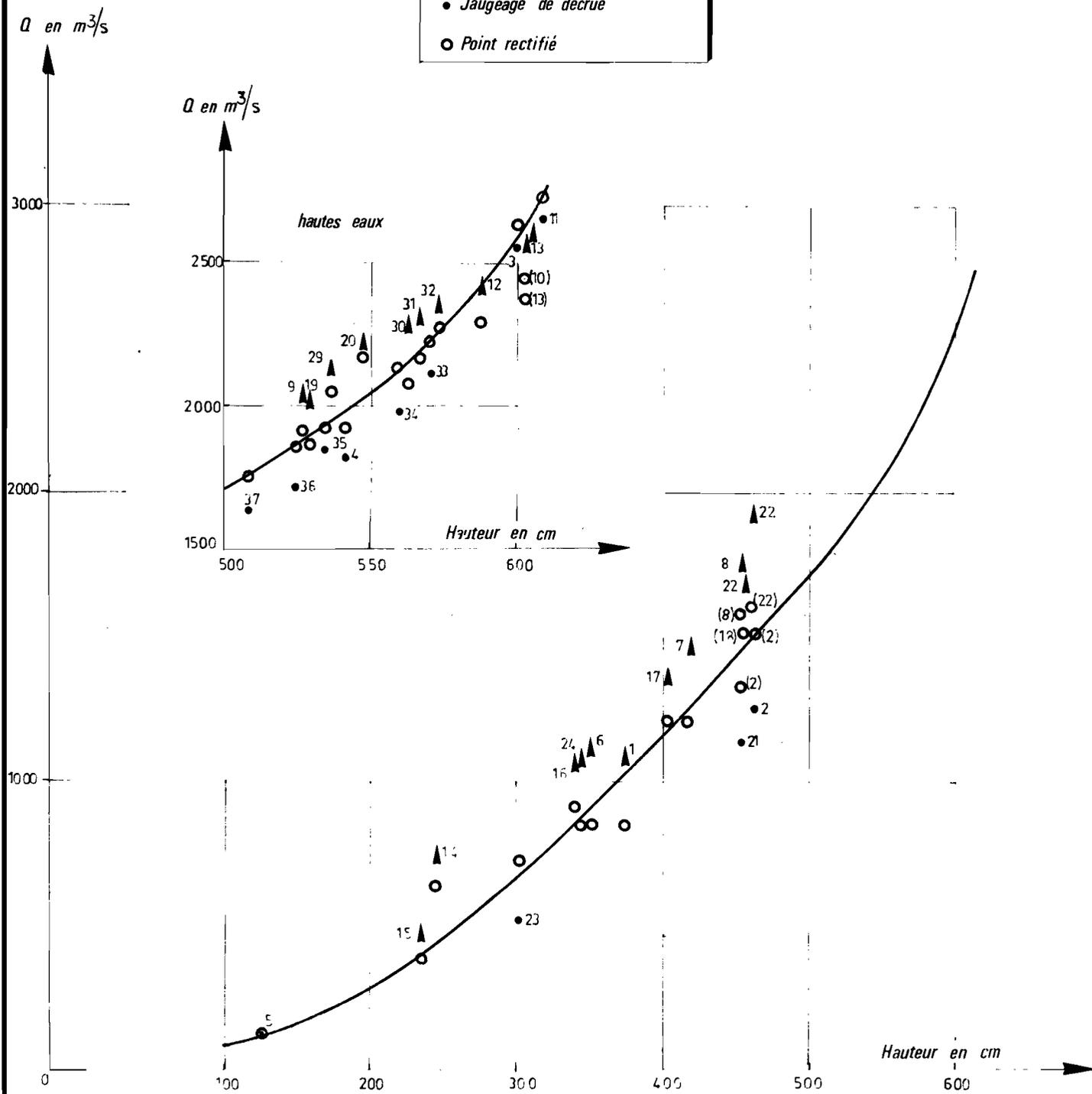


# MÉTHODE DU GRADIENT LIMNIGRAPHIQUE

STATION DE DIRÉ

Voir correction fig 12

- ▲ Jaugeage de crue
- Jaugeage de décrue
- Point rectifié



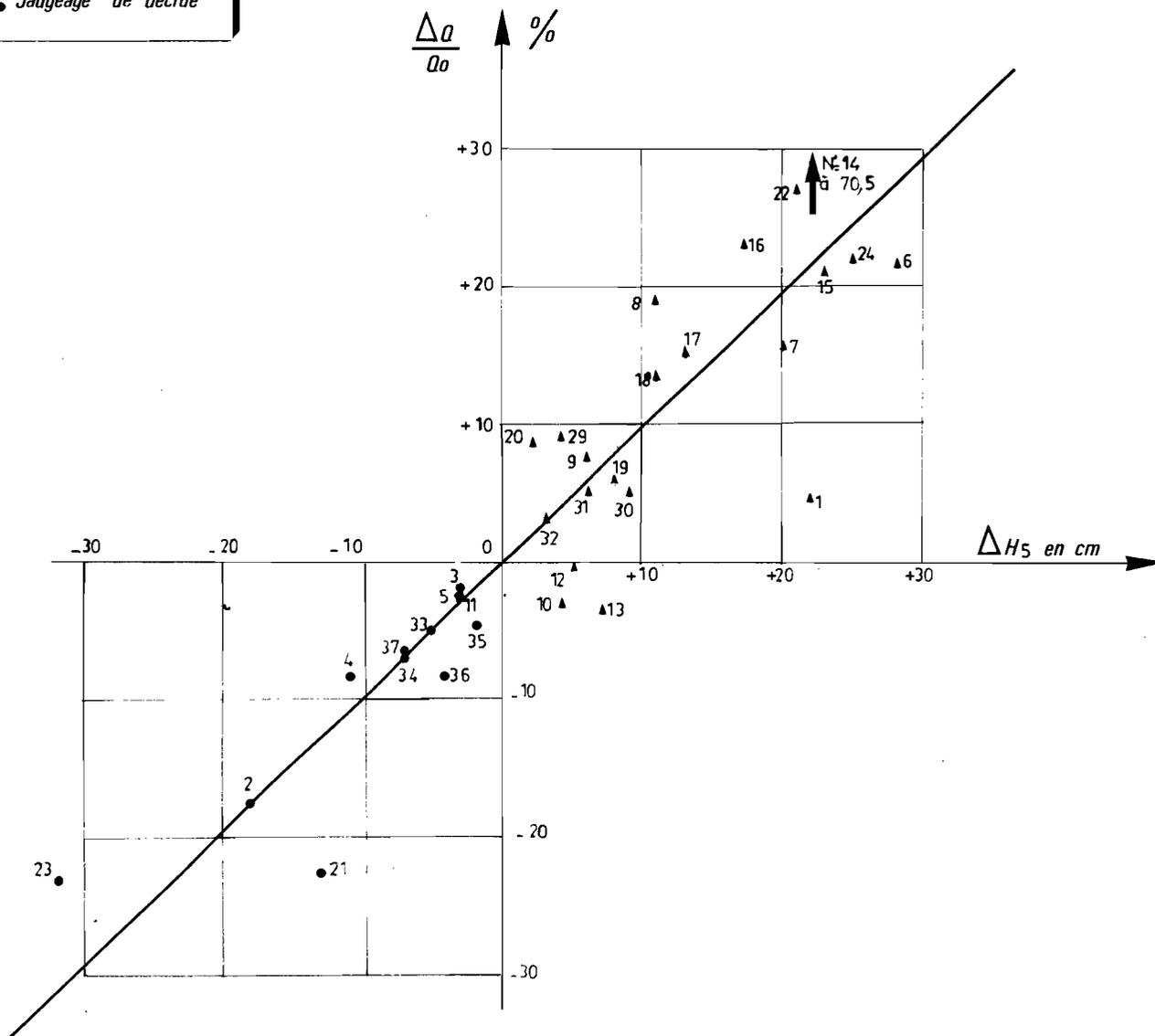
# MÉTHODE DU GRADIENT LIMNIGRAPHIQUE

Fig-12

STATION DE DIRÉ

Correction de l'étalonnage par  $\Delta H_n$  (n=5 jours)

▲ Jaugeage de crue  
● Jaugeage de décrue



# MÉTHODE DU GRADIENT LIMNIGRAPHIQUE

Application à un petit cours d'eau : STATION DE BOITIEK

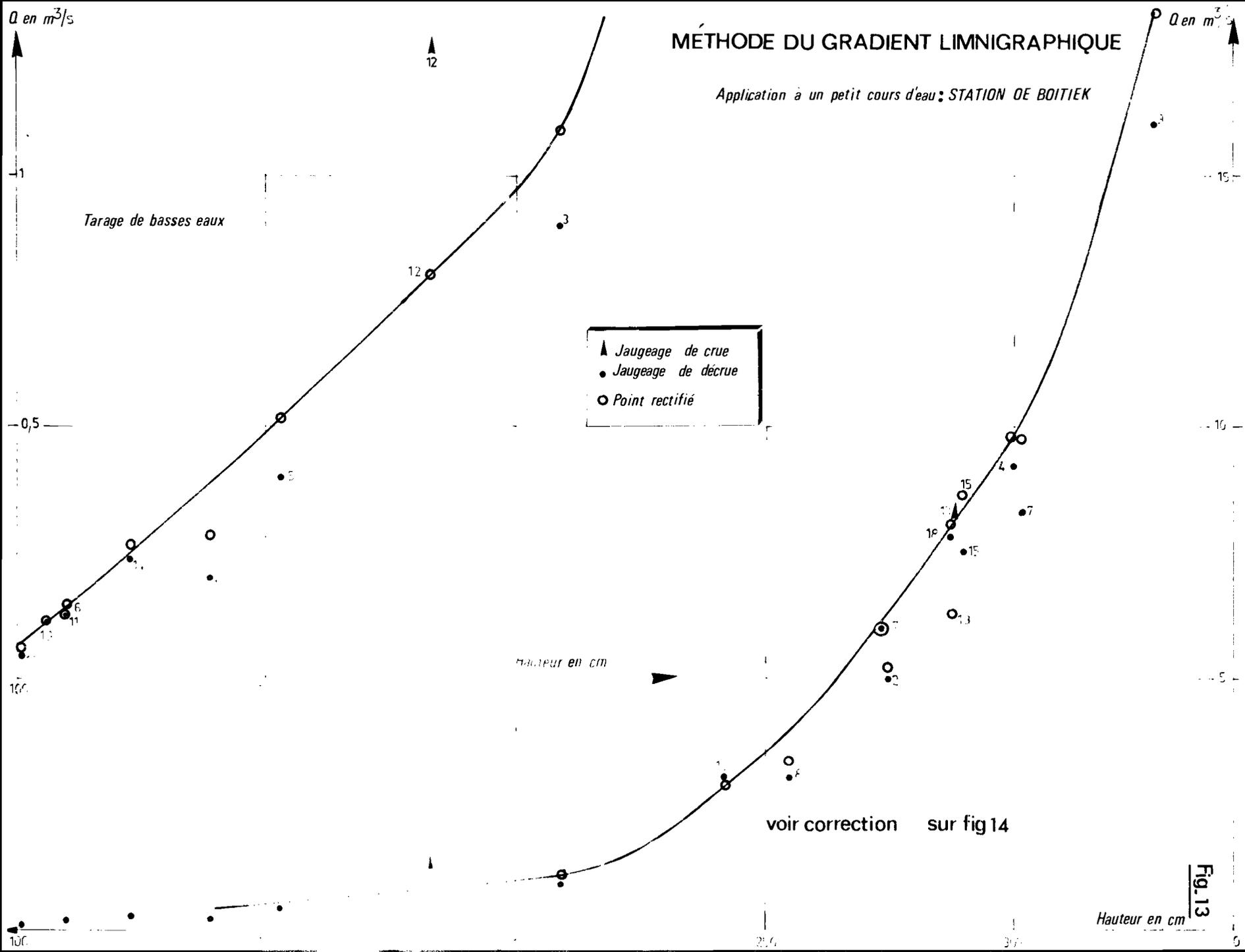


Fig. 13  
Hauteur en cm

# MÉTHODE DU GRADIENT LIMNIGRAPHIQUE

STATION DE BOITIEK

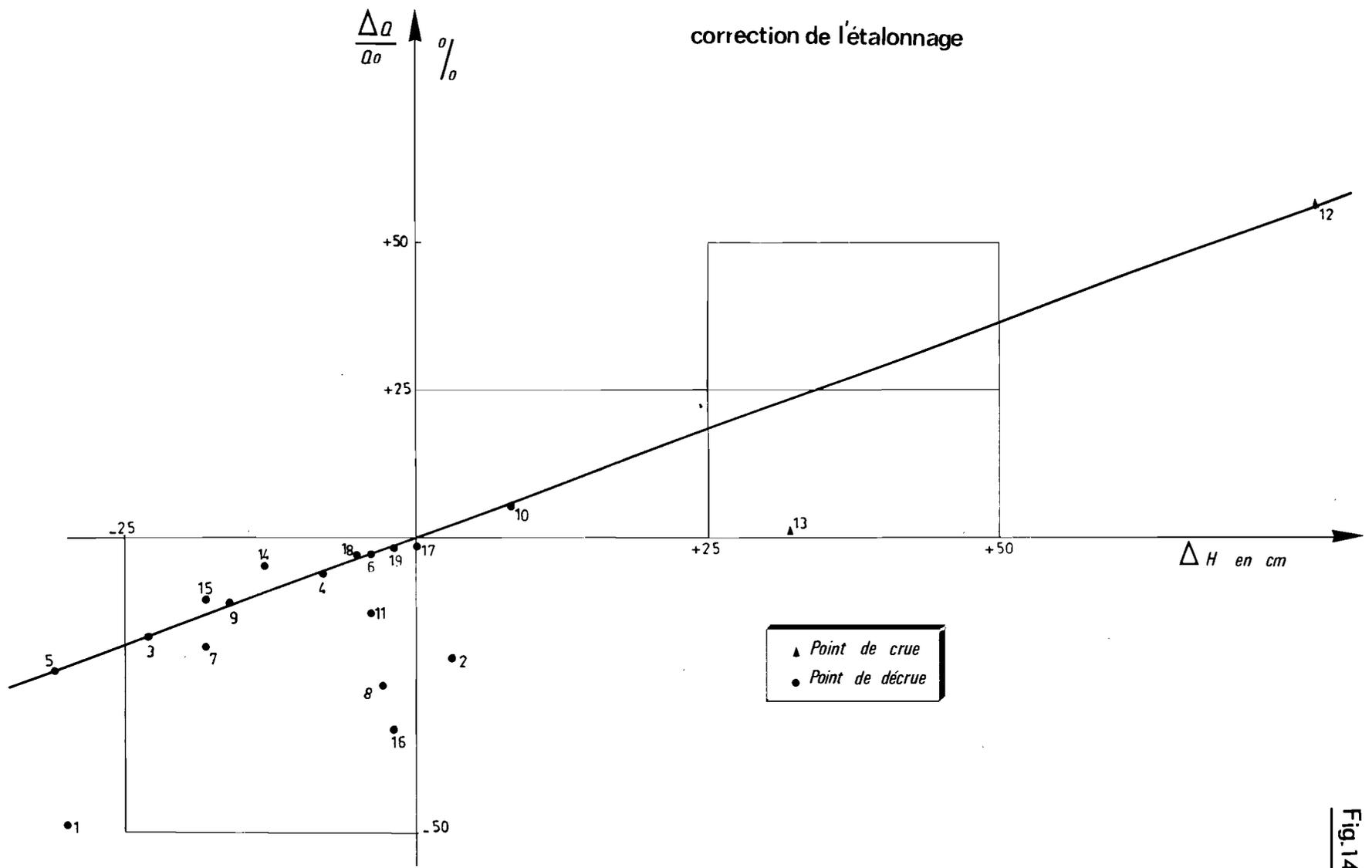


Fig. 14

TABLEAU II

STATION de MOPTI

Méthode du gradient limnigraphique

: Sens:	N°:	Date	H :	Q :	Q <sub>0</sub> :	ΔQ :	$\frac{\Delta Q}{Q_0}$ :	ΔH <sub>5</sub> :	a :	$\frac{\Delta'Q}{Q_0}$ :	Δ'Q :	Q' :	
:	:	:	cm :	m <sup>3</sup> /s :	m <sup>3</sup> /s :	m <sup>3</sup> /s :	% :	cm :	% :	% :	m <sup>3</sup> /s :	m <sup>3</sup> /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:

TABLEAU II (Suite)

STATION de MOPTI

Méthode du gradient limnographique

Sens	N°	Date	H	Q	Q <sub>0</sub>	$\Delta Q$	$\frac{\Delta Q}{Q_0}$	$\Delta H_5$	a	$\frac{\Delta Q}{Q_0}$	$\Delta Q$	Q'					
:	:	:	cm	m <sup>3</sup> /s	m <sup>3</sup> /s	m <sup>3</sup> /s	%	cm	%	%	m <sup>3</sup> /s	m <sup>3</sup> /s					
D	43	16-11-67	720	3 630	3 620	+	10	+	0,3	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	Q	Q <sub>0</sub>	ΔQ	$\frac{\Delta Q}{Q_0}$	ΔH <sub>5</sub>	a	$\frac{\Delta^2 Q}{Q_0}$	Δ <sup>2</sup> Q	Q'						
:	:	:	cm	m <sup>3</sup> /s	m <sup>3</sup> /s	m <sup>3</sup> /s	%	cm	%	%	m <sup>3</sup> /s	m <sup>3</sup> /s						
C	1	26-8-51	375	1 060	1 015	+	45	+	4,4	+	22	+	21,4	-	17,0	-	170	84,5
D	2	4-4-52	465	1 245	1 510	-	265	-	17,5	-	18	-	17,5	0	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	:	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	:	0	1 760

TABLEAU IV

STATION de BOITIEK

Méthode du gradient limnigraphique

Sens	N°	Date	H cm	Q m <sup>3</sup> /s	Q <sub>0</sub> m <sup>3</sup> /s	ΔQ m <sup>3</sup> /s	$\frac{\Delta Q}{Q_0}$ %	ΔH <sub>6</sub> cm	a %	$\frac{\Delta^2 Q}{Q_0}$ %	Δ <sup>2</sup> Q m <sup>3</sup> /s	Q <sup>r</sup> m <sup>3</sup> /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							

$\Delta h_5$  sur 5 jours,  $\Delta h_6$  sur 6 heures, exprimés en centimètres de hauteurs d'eau, sont les valeurs brutes  $\Delta h$  pendant les intervalles  $\Delta t$  et non pas les gradients  $\frac{\Delta h}{\Delta t}$  proprement dits, la division étant une opération supplémentaire inutile.

Le tableau n° V montre l'efficacité de la méthode en présentant les diverses réductions d'écart absolus et relatifs et les précisions sur la connaissance du débit obtenues pour DIRE et MOPTI.

Les réductions d'écart sur  $\Delta Q$  et sur  $\Delta Q/Q_0$  qui sont de l'ordre de 50 à 55 % sont également de 50 % pour BOITIEK. On se souvient que cette réduction, pour  $\Delta Q$ , 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.

#### 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 DIRE).

TABLEAU V

SYNTHESE des GAINS COMPARATIFS ENTRE les METHODES de TARAGE

Station	MOPTI			DIRE		
	I	II	III	I	II	III
Ecarts sur $\Delta Q$	3 605	3 729	3 729	5 003	5 160	5 160
$\Sigma \Delta Q_i$	1 525	1 178	1 379	2 156	1 835	2 055
$Q_f$						
Ecarts sur $\Delta Q/Q_0$	359,8	396,7	396,7	413,5	462,3	462,3
$\frac{\Sigma \Delta Q_i}{Q_0}$	192,7	116,5	127,2	178,4	151,0	160,1
$\frac{\Sigma \Delta Q_f}{Q_0}$						
Réduction des écarts sur $\Delta Q$	57,8	68,5	63,2%	57,0	64,5	60,1
sur $\Delta Q/Q_0$	46,5	70,5	67,9%	56,9	67,4	65,4
Moyenne des écarts $\pm \overline{\Delta Q}$ m <sup>3</sup> /s	i: 75	i: 78	i: 78	i: 152	i: 156	i: 156
	f: 32	f: 25	f: 28	f: 65	f: 52	f: 62
$\pm \frac{\overline{\Delta Q}}{Q_0}$ %	i: 7,5	i: 8,3	i: 8,3	i: 12,5	i: 14,0	i: 14,0
	f: 4,0	f: 2,4	f: 2,7	f: 5,4	f: 4,6	f: 4,9
Ecart pour 50% des points $\pm \Delta Q$ m <sup>3</sup> /s	i: 60	i: 60	i: 60	i: 145	i: 130	i: 130
	f: 17	f: 10	f: 10	f: 40	f: 25	f: 20
$\pm \frac{\Delta Q}{Q_0}$	i: 4,0	i: 4,5	i: 4,5	i: 8,3	i: 11,7	i: 11,7
	f: 1,3	f: 1,0	f: 1,1	f: 2,8	f: 1,8	f: 1,8
Pourcentage de points à $\pm 2$ %	i: 33	i: 31	i: 31	i: 3	i: 12	i: 12
	f: 62	f: 71	f: 62	f: 37	f: 51	f: 55

Méthodes - I : du gradient limnigraphique                    i = initial  
 II : de l'écart à la cote maximale                            f = final  
 III : simplifiée de l'écart à la cote maximale

FIG.15. **HOMOTHETIE DES CRUES DES GRANDS FLEUVES A FAIBLE PENTE ET PLAINES D'INONDATION IMPORTANTES**

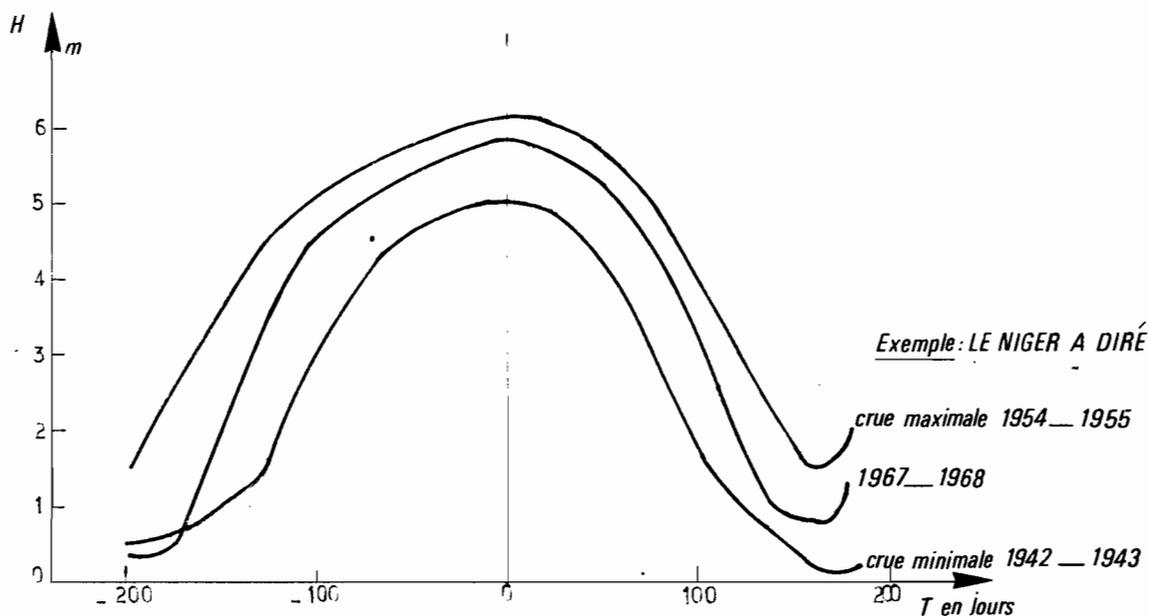
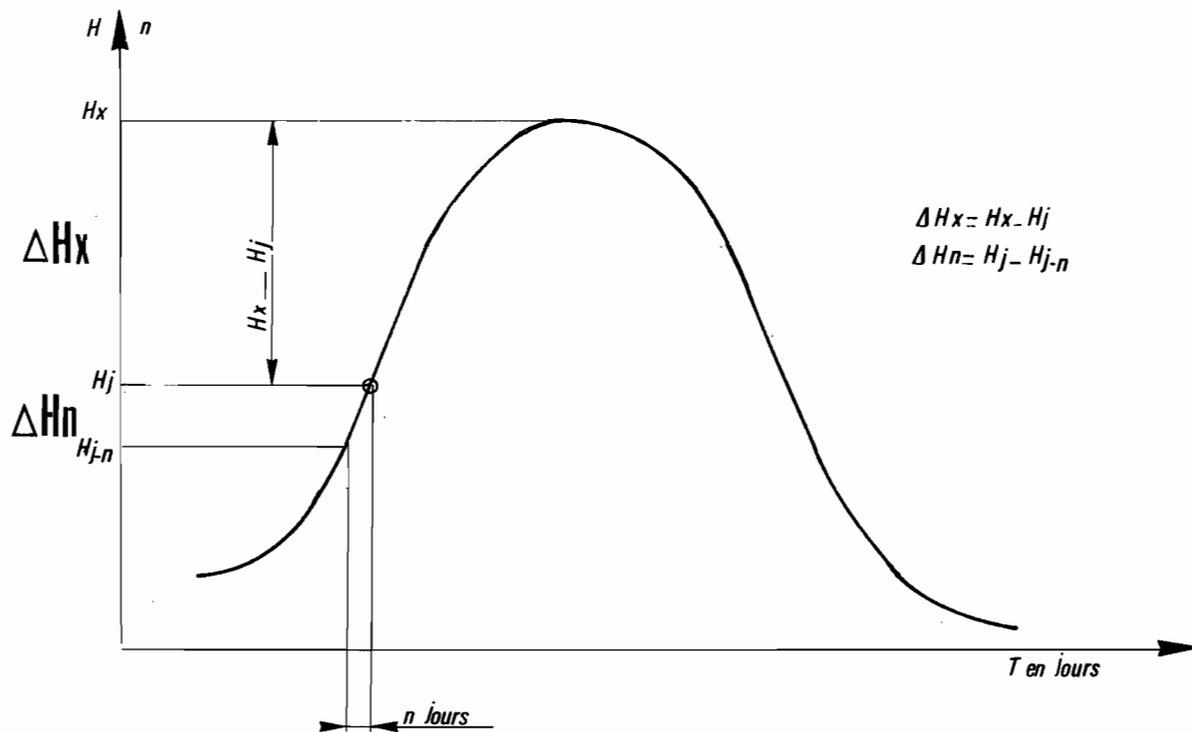


FIG.16 **PASSAGE DE LA METHODE DU GRADIENT LIMNIGRAPHIQUE  $\Delta H_n$  A LA METHODE DE L'ECART A LA COTE MAXIMALE  $\Delta H_x$**



Il semble pour de tels cours d'eau que la valeur du gradient limnigraphique dépend 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  $\Delta h_x$ .

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  $\Delta h_x$  qu'il importe de déterminer et dont la forme n'est pas connue a priori.

En fait, si l'on assimile le gradient  $\frac{\Delta h}{\Delta t}$  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  $\Delta h_x$  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  $\Delta H_x$  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  $\Delta H_x$  et ajustement graphique d'une fonction  $\frac{\Delta Q}{Q_0} = a \cdot \text{Arc.tg } b \cdot \Delta H_x$  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  $\Delta H_x$  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 :

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

#### 4.2.3. - Applications au NIGER à DIRE 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 DIRE, selon la méthode normale d'écart à la cote maximale ou selon la méthode simplifiée, sont les tableaux n° VI à IX.

Les courbes de tarage et de correction (pour les deux méthodes ensemble) sont données sur les figures n° 17-19 pour MOPTI et 20-22 pour DIRE.

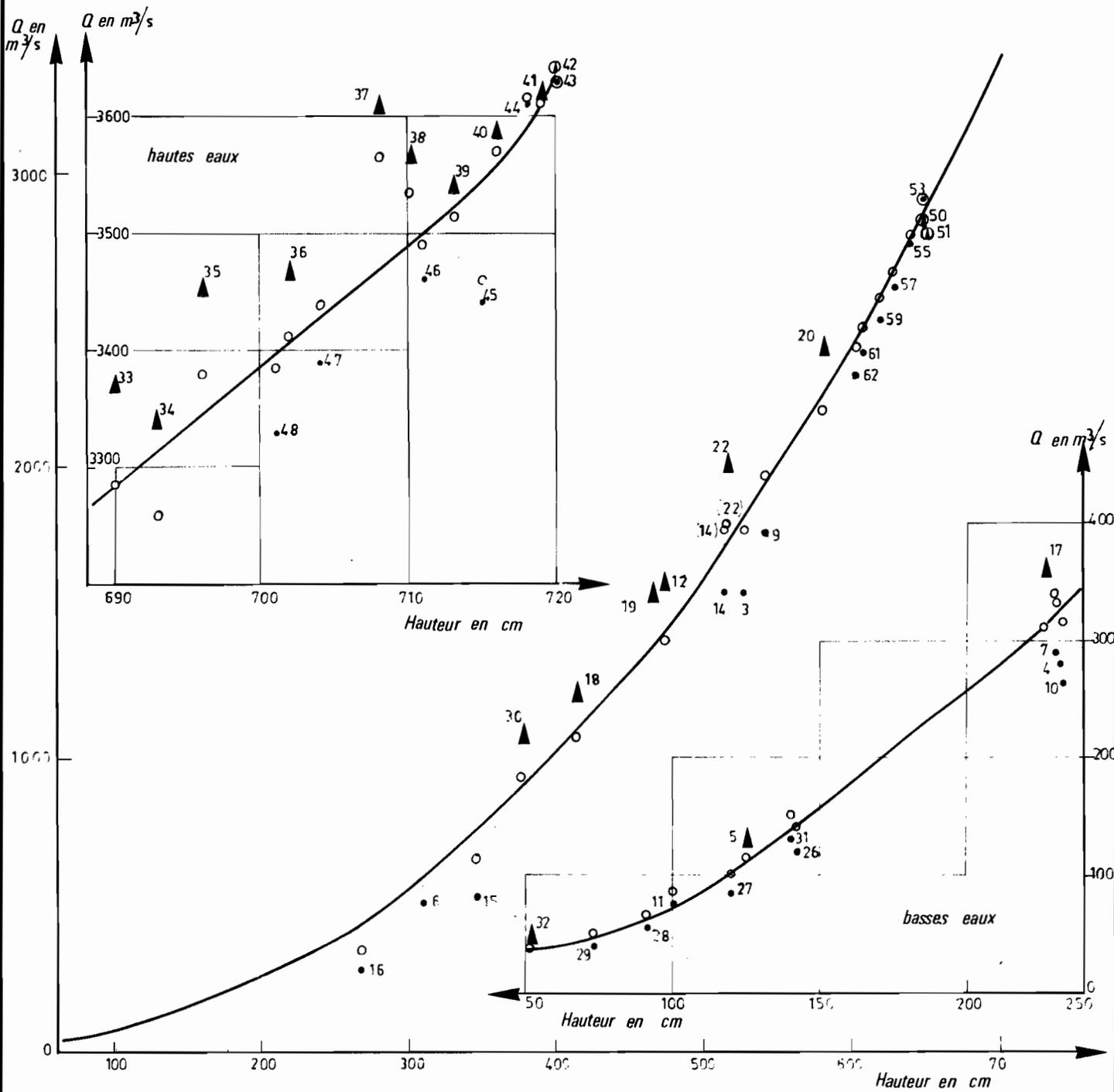
L'ajustement aux moindres écarts par approximations successives des tracés des couples de courbes pour les tarages selon l'une ou l'autre des méthodes pourrait théoriquement donner des tracés légèrement différents pour

# MÉTHODE DE L'ÉCART A LA CÔTE MAXIMALE

Fig 17

STATION DE MOPTI

- ▲ Jaugeages de crue
- Jaugeages de décrue
- Points corrigés



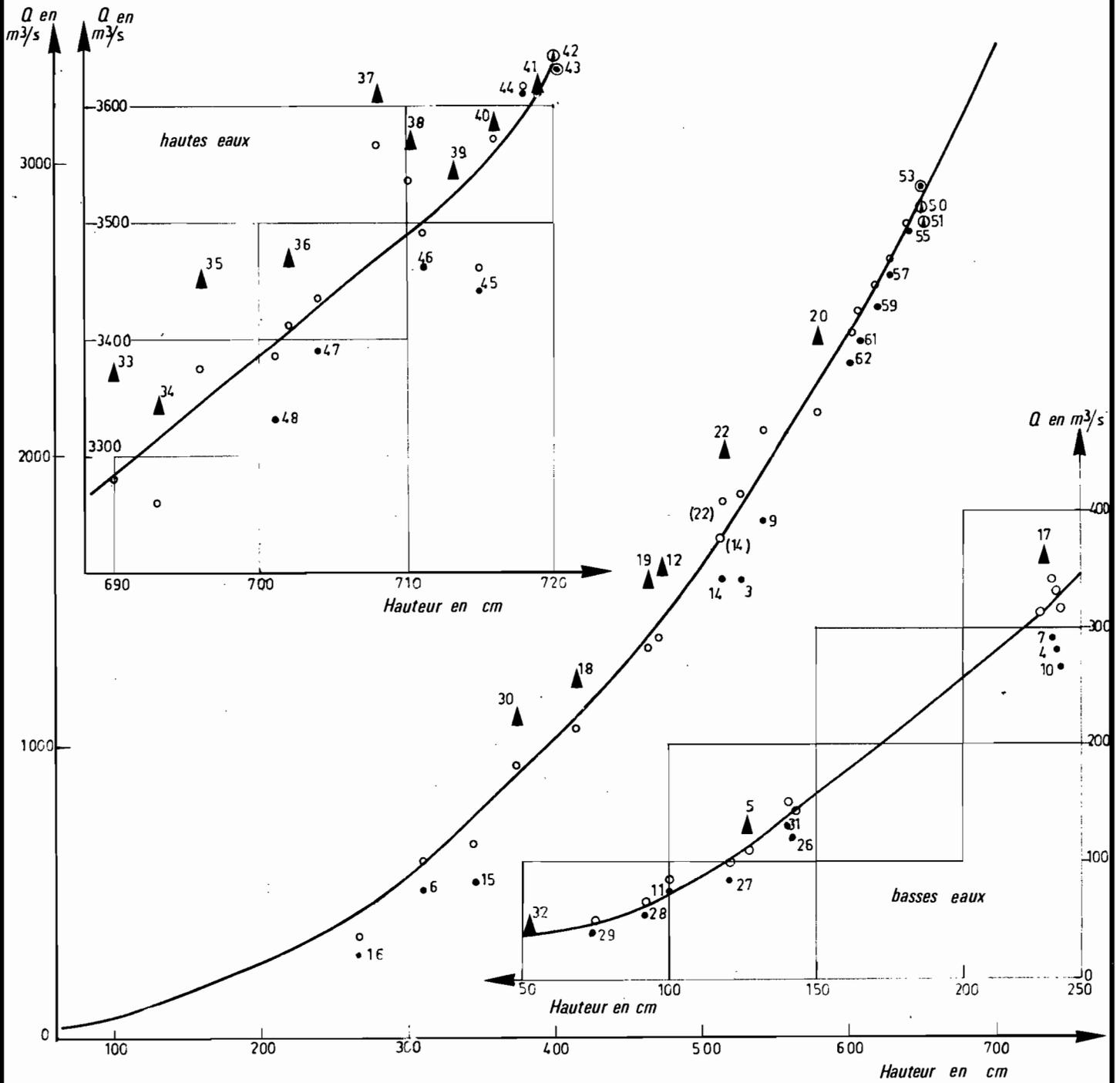
voir correction fig 19

# MÉTHODE SIMPLIFIÉE DE L'ÉCART A LA COTE MAXIMALE

Fig - 18

- ▲ Jaugeages de crue
- Jaugeages de décrue
- Points corrigés

STATION DE MOPTI



(voir correction fig 19)

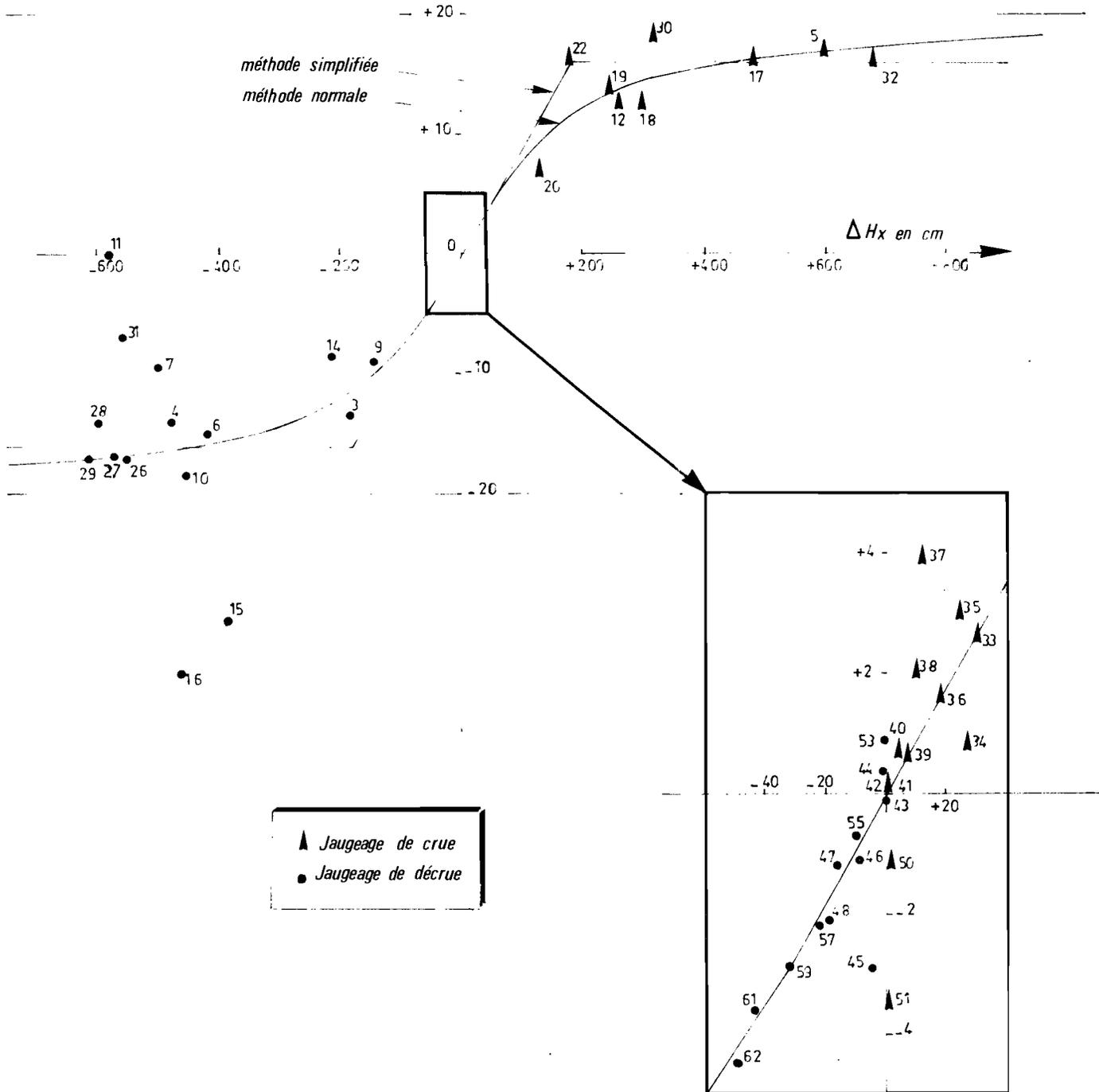
# MÉTHODES DE L'ÉCART A LA COTE MAXIMALE

STATION DE MOPTI

Fig-19

Correction de l'étalonnage  
par  $\Delta H_x$

$$\frac{\Delta Q}{Q_0} \uparrow \text{‰}$$

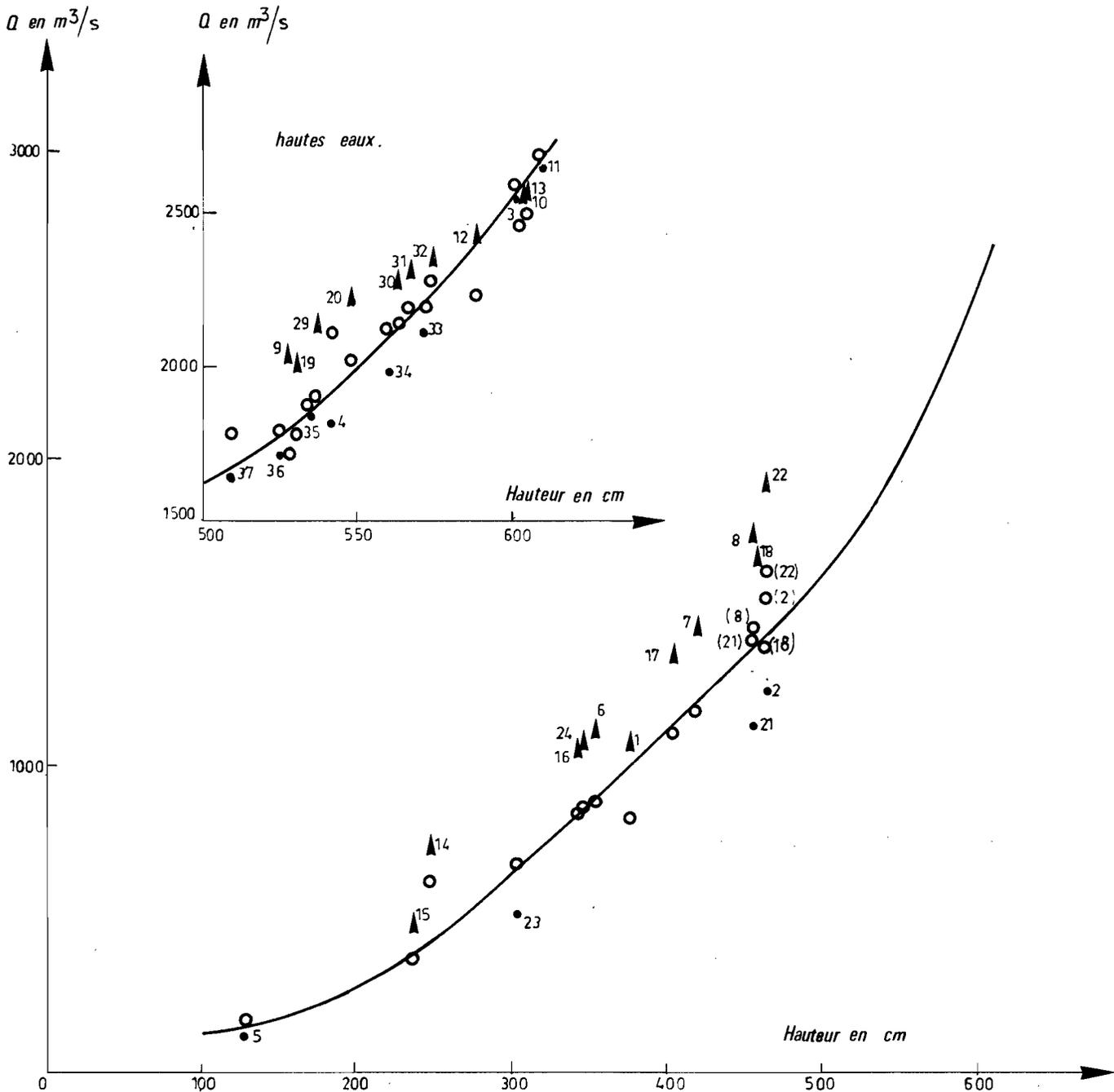
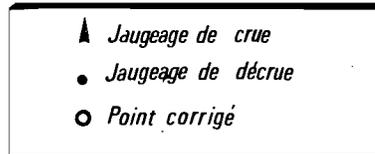


# MÉTHODE DE L'ÉCART A LACOTE MAXIMALE

Fig -20

STATION DE DIRÉ

voir correction fig 22



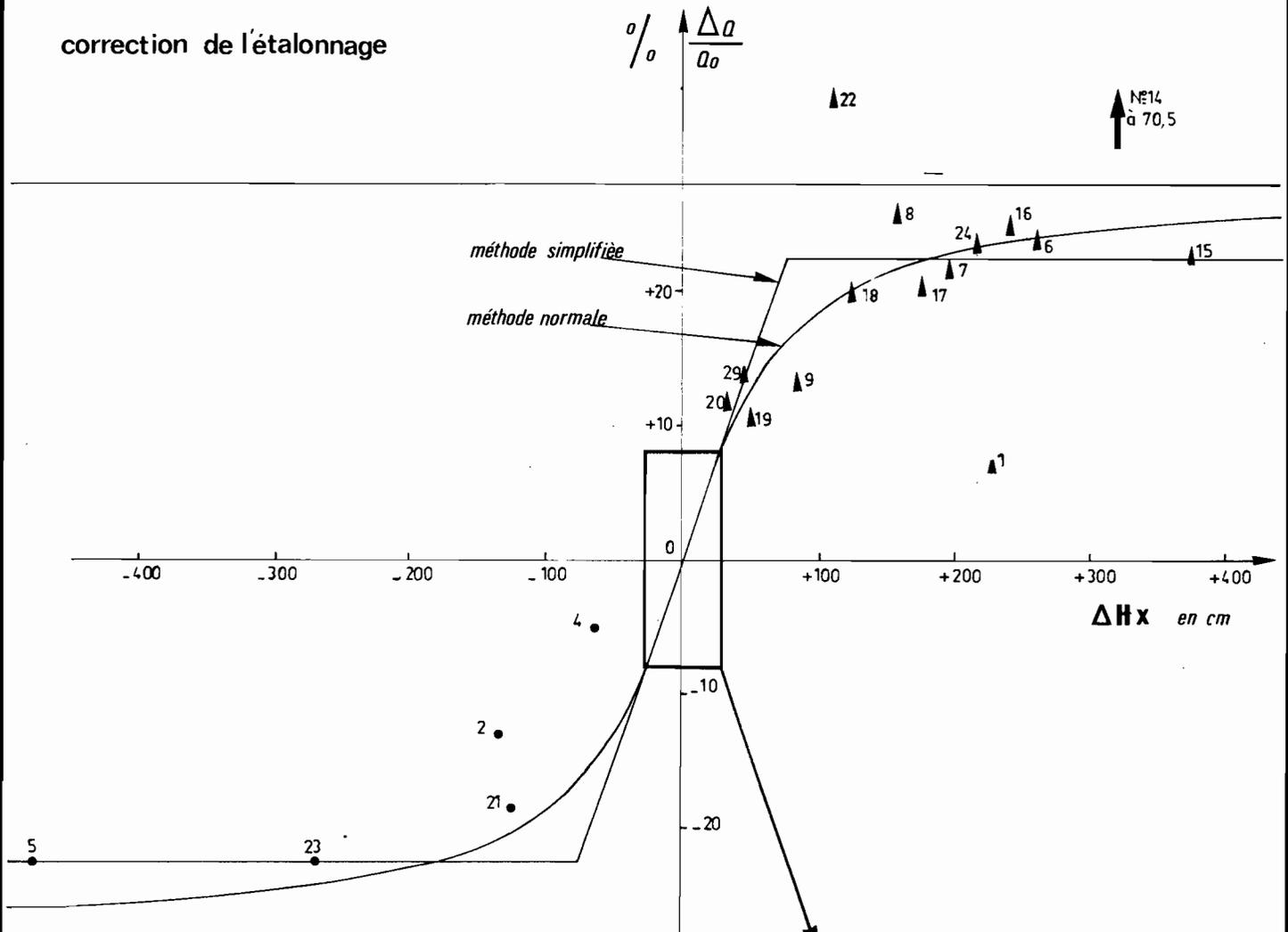


MÉTHODES DE L'ÉCART A LA COTE  
MAXIMALE  
STATION DE OIRÉ

Fig-22

correction de l'étalonnage

$$\frac{\sigma}{\sigma_0} \uparrow \frac{\Delta a}{a_0}$$



▲ Jaugeage de crue  
● Jaugeage de décrue

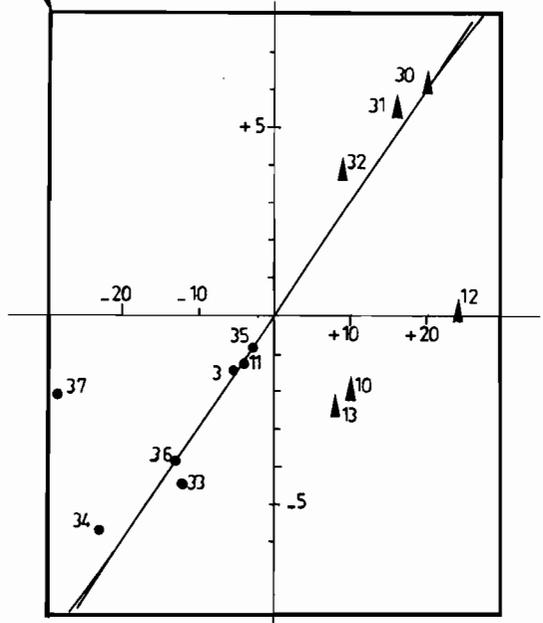


TABLEAU VI

STATION de MOPTI

Méthode de l'écart à la cote maximale

Sens	Année	N°	Date	H :cm	Q :m <sup>3</sup> /s	Q <sub>0</sub> :m <sup>3</sup> /s	ΔQ :m <sup>3</sup> /s	$\frac{\Delta Q}{Q_0}$ %	H <sub>x</sub> :cm	ΔH <sub>x</sub> :cm	a %	$\frac{\Delta'Q}{Q_0}$ %	Δ'Q :m <sup>3</sup> /s	Q' :m <sup>3</sup> /s	N°
D	1951-52	3	26-1-52	527	1 570	1 820	- 250	- 13,7	712	- 185	- 11,7	- 2,0	- 35	1 785	3
"		4	27-3-52	232	280	325	- 45	- 13,9		- 480	- 16,3	+ 2,4	+ 10	335	4
C	1952-53	5	8-6-52	126	130	111	+ 19	+ 17,1	719	+ 593	+ 16,9	+ 0,2	# 0	111	5
D	1953-54	6	19-2-54	310	505	595	- 90	- 15,1	731	- 421	- 15,9	+ 0,8	+ 5	600	6
D	1955-56	7	23-3-56	230	290	320	- 30	- 9,4	731	- 501	- 16,5	+ 6,9	+ 20	340	7
D	1956-57	8													8
"		9	18-12-56	542	1 770	1 945	- 175	- 9,0	686	- 144	- 10,1	+ 1,1	+ 20	1 965	9
"		10	18-2-57	233	265	325	- 60	- 18,5		- 453	- 16,1	- 2,4	- 10	315	10
"		11	8-5-57	100	74	74	0	0		- 586	- 16,8	+ 16,8	+ 12	86	11
C	1957-58	12	6-8-57	473	1 600	1 425	+ 175	+ 12,3		+ 257	+ 13,6	- 1,3	- 20	1 405	12
D		14	16-1-58	514	1 570	1 720	- 150	- 8,7	730	- 216	- 12,6	+ 3,9	+ 65	1 785	14
"		15	19-2-58	346	530	765	- 235	- 30,7		- 384	- 15,5	- 15,2	- 115	655	15
"		16	12-3-58	268	280	430	- 150	- 34,9		- 462	- 16,2	- 18,7	- 80	350	16
C	1958-59	17	4-6-58	227	360	310	+ 50	+ 16,2		+ 480	+ 16,3	- 0,1	# 0	310	17
"		18	25-7-58	414	1 225	1 095	+ 135	+ 12,3	707	+ 293	+ 14,2	- 1,9	- 20	1 075	18
"		19	13-8-58	464	1 555	1 370	+ 185	+ 13,5		+ 243	+ 13,3	+ 0,2	+ 5	1 375	19
"		20	6-9-58	580	2 400	2 250	+ 150	+ 6,7		+ 127	+ 9,3	- 2,6	- 60	2 190	20
C	1959-60	22	22-8-59	515	2 000	1 725	+ 275	+ 15,9		+ 175	+ 11,4	+ 4,5	+ 80	1 805	22
D		26	14-3-60	142	120	145	- 25	- 17,2	690	- 548	- 16,7	- 0,5	# 0	145	26
"		27	31-3-60	120	84	101	- 17	- 16,8		- 570	- 16,8	0	0	101	27
"		28	22-4-60	92	55	64	- 9	- 14,1		- 598	- 16,9	+ 2,8	+ 2	66	28
"		29	11-5-60	74	39	47	- 8	- 17,0		- 616	- 17,0	0	0	47	29

TABLEAU VI (suite)

Sens	Année	N°	Date	H cm	Q m <sup>3</sup> /s	Q <sub>30</sub> m <sup>3</sup> /s	ΔQ m <sup>3</sup> /s	$\frac{\Delta Q}{Q_0}$ %	H <sub>x</sub> cm	ΔH <sub>x</sub> cm	a %	$\frac{\Delta^2 Q}{Q_0}$ %	Δ <sup>2</sup> Q m <sup>3</sup> /s	Q <sup>2</sup> m <sup>3</sup> /s	N°	
C	1960-61	30	23-7-60	376	1 075	910	+ 165	+ 18,1	691	+ 315	+ 14,6	+ 3,5	+ 30	940	30	
D	1962-63	31	9-6-63	140	130	140	- 10	- 7,1	702	- 562	- 16,7	+ 9,6	+ 14	154	31	
C	1967-68	32	24-5-67	52	44	38	+ 6	+ 15,8		+ 676	+ 17,2	- 1,4	# 0	38	32	
"		33	15-10-67	690	3 370	3 285	+ 85	+ 2,6	720	+ 30	+ 2,6	0	0	3 285	33	
"		34	17		693	3 340	3 315	+ 25	+ 0,8		+ 27	+ 2,4	- 1,6	- 55	3 260	34
"		35	19		696	3 450	3 350	+ 100	+ 3,0		+ 24	+ 2,1	+ 0,9	+ 30	3 380	35
"		36	24		702	3 465	3 410	+ 55	+ 1,6		+ 18	+ 1,6	0	0	3 410	36
"		37	29		708	3 605	3 470	+ 135	+ 3,9		+ 12	+ 1,1	+ 2,8	+ 95	3 565	37
"		38	1-11-67		710	3 565	3 495	+ 70	+ 2,0		+ 10	+ 0,9	+ 1,1	+ 40	3 535	38
"		39	4		713	3 540	3 520	+ 20	+ 0,6		+ 7	+ 0,7	- 0,1	- 5	3 515	39
"		40	7		716	3 585	3 560	+ 25	+ 0,7		+ 4	+ 0,4	+ 0,3	+ 10	3 570	40
"		41	11		719	3 615	3 610	+ 5	+ 0,1		+ 1	+ 0,1	0	0	3 610	41
"		42	13		720	3 640	3 635	+ 5	+ 0,1		0	0	+ 0,1	+ 5	3 640	42
D			43	16	720	3 630	3 635	- 5	- 0,1		0	0	- 0,1	- 5	3 630	43
"			44	19	718	3 610	3 595	+ 15	+ 0,4		- 2	- 0,2	+ 0,6	+ 20	3 615	44
"			45	22	715	3 440	3 545	- 105	- 2,9		- 5	- 0,5	- 2,4	- 85	3 460	45
"			46	25	711	3 460	3 500	- 40	- 1,1		- 9	- 0,8	- 0,3	- 10	3 490	46
"			47	28	704	3 390	3 430	- 40	- 1,2		- 16	- 1,5	+ 0,3	+ 10	3 440	47
"		48	30-11-67	701	3 330	3 400	- 70	- 2,1		- 19	- 1,7	- 0,4	- 15	3 385	48	
C	1968-69	50	22-10-68	650	2 840	2 875	- 35	- 1,2		+ 1	+ 0,1	- 1,3	- 40	2 835	50	
"		51	25		651	2 790	2 890	- 100	- 3,5	651	0	0	- 3,5	- 100	2 790	51
D			53	1-11-68	650	2 900	2 875	+ 25	+ 0,9		- 1	- 0,1	+ 1,0	+ 30	2 905	53
"			55	8	641	2 760	2 780	- 20	- 0,7		- 10	- 0,9	+ 0,2	+ 5	2 785	55
"			57	14	629	2 610	2 670	- 60	- 2,2		- 22	- 2,0	- 0,2	- 5	2 665	57
"			59	18	619	2 500	2 575	- 75	- 2,9		- 32	- 2,8	- 0,1	# 0	2 575	59
"			61	22	608	2 390	2 480	- 90	- 3,6		- 43	- 3,7	+ 0,1	# 0	2 480	61
"			62	25	602	2 310	2 420	- 110	- 4,5		- 49	- 4,2	- 0,3	- 10	2 410	62

TABLÉAU VII

STATION de MOPTI

Méthode simplifiée de l'écart à la cote maximale

Sens	Année	N°	Date	H cm	Q m <sup>3</sup> /s	Q <sub>0</sub> m <sup>3</sup> /s	ΔQ m <sup>3</sup> /s	$\frac{\Delta Q}{Q_0}$ %	H <sub>x</sub> cm	ΔH <sub>x</sub> cm	a %	$\frac{\Delta'Q}{Q_0}$ %	Δ'Q m <sup>3</sup> /s	Q' m <sup>3</sup> /s	N°
D	1951-52	3	26-1-52	527	1 570	1 820	- 250	- 13,7	712	- 185	- 16,0	+ 2,3	+ 40	1 860	3
"		4	27-3	232	280	325	- 45	- 13,9		- 480	- 16,0	+ 2,1	+ 5	330	4
C	1952-53	5	8-6-52	126	130	111	+ 19	+ 17,1	719	+ 593	+ 16,0	+ 1,1	+ 1	112	5
D	1953-54	6	19-2-54	310	505	595	- 90	- 15,1	731	- 421	- 16,0	+ 0,9	+ 5	600	6
"	1955-56	7	23-3-56	230	290	320	- 30	- 9,4	731	- 501	- 16,0	+ 6,6	+ 20	340	7
"	1956-57	8													8
"		9	18-12-56	542	1 770	1 945	- 175	- 9,0	686	- 144	- 16,0	+ 7,0	+ 135	2 080	9
"		10	18-2-57	233	265	325	- 60	- 18,5		- 453	- 16,0	- 2,5	- 10	315	10
"		11	8-5	100	74	74	0	0		- 586	- 16,0	+ 16,0	+ 12	86	11
C	1957-58	12	6-8-57	473	1 600	1 425	+ 175	+ 12,3		+ 257	+ 16,0	- 3,7	- 55	1 370	12
D		14	16-1-58	514	1 570	1 720	- 150	- 8,7	730	- 216	- 16,0	+ 7,3	+ 125	1 845	14
"		15	19-2	346	530	765	- 235	- 30,7		- 384	- 16,0	- 14,7	- 110	655	15
"		16	12-3	268	280	430	- 150	- 34,9		- 462	- 16,0	- 18,9	- 80	350	16
C	1958-59	17	4-6-58	227	360	310	+ 50	+ 16,2		+ 480	+ 16,0	+ 0,2	# 0	310	17
"		18	25-7	414	1 225	1 095	+ 135	+ 12,3	707	+ 293	+ 16,0	- 3,7	- 40	1 055	18
"		19	13-8	464	1 555	1 370	+ 185	+ 13,5		+ 243	+ 16,0	- 2,5	- 35	1 335	19
"		20	6-9	580	2 400	2 250	+ 150	+ 6,7		+ 127	+ 11,4	- 4,7	- 105	2 145	20
"	1959-60	22	22-8-59	515	2 000	1 725	+ 275	+ 15,9		+ 175	+ 16,0	- 0,1	# 0	1 725	22
D		26	14-3-60	142	120	145	- 25	- 17,2	690	- 548	- 16,0	- 1,2	- 2	143	26
"		27	31-3	120	84	101	- 17	- 16,8		- 570	- 16,0	- 0,8	- 1	100	27
"		28	22-4	92	55	64	- 9	- 14,1		- 598	- 16,0	+ 1,9	+ 1	65	28
"		29	11-5	74	39	47	- 8	- 17,0		- 616	- 16,0	- 1,0	# 0	47	29

TABLEAU VII (suite)

Sens	Année	N°	Date	H cm	Q m <sup>3</sup> /s	Q <sub>0</sub> m <sup>3</sup> /s	ΔQ m <sup>3</sup> /s	$\frac{\Delta Q}{Q_0}$ %	H <sub>x</sub> cm	ΔH <sub>x</sub> cm	a %	$\frac{\Delta^2 Q}{Q_0}$ %	Δ <sup>2</sup> Q m <sup>3</sup> /s	Q <sup>2</sup> m <sup>3</sup> /s	N°	
C	1960-61	30	23-7-60	376	1 075	910	+ 165	+ 18,1	691	+ 315	+ 16,0	+ 2,1	+ 20	930	30	
D	1962-63	31	9-6-63	140	130	140	- 10	- 7,1	702	- 562	- 16,0	+ 8,9	+ 12	152	31	
C	1967-68	32	24-5-67	52	44	38	+ 6	+ 15,8		+ 676	- 16,0	- 0,2	# 0	38	32	
"		33	15-10	690	3 370	3 285	+ 85	+ 2,6	720	+ 30	+ 2,7	- 0,1	- 5	3 280	33	
"		34	17	693	3 340	3 315	+ 25	+ 0,8		+ 27	+ 2,4	- 1,6	- 55	3 260	34	
"		35	19	696	3 450	3 350	+ 100	+ 3,0		+ 24	+ 2,2	+ 0,8	+ 25	3 375	35	
"		36	24	702	3 465	3 410	+ 55	+ 1,6		+ 18	+ 1,6	0	0	3 410	36	
"		37	29	708	3 605	3 470	+ 135	+ 3,9		+ 12	+ 1,1	+ 2,8	+ 95	3 565	37	
"		38	1-11	710	3 565	3 495	+ 70	+ 2,0		+ 10	+ 0,9	+ 1,1	+ 40	3 535	38	
"		39	4	713	3 540	3 520	+ 20	+ 0,6		+ 7	+ 0,6	0	0	3 520	39	
"		40	7	716	3 585	3 560	+ 25	+ 0,7		+ 4	+ 0,4	+ 0,3	+ 10	3 570	40	
"		41	11	719	3 615	3 610	+ 5	+ 0,1		+ 1	+ 0,1	0	0	3 610	41	
"		42	13	720	3 640	3 635	+ 5	+ 0,1		0	0	+ 0,1	+ 5	3 640	42	
D			43	16	720	3 630	3 635	- 5	- 0,1		0	0	- 0,1	- 5	3 630	43
"			44	19	718	3 610	3 595	+ 15	+ 0,4		- 2	- 0,2	+ 0,6	+ 20	3 615	44
"			45	22	715	3 440	3 545	- 105	- 2,9		- 5	- 0,5	- 2,4	- 85	3 460	45
"			46	25	711	3 460	3 500	- 40	- 1,1		- 9	- 0,8	- 0,3	- 10	3 490	46
"			47	28	704	3 390	3 430	- 40	- 1,2		- 16	- 1,4	+ 0,2	+ 5	3 435	47
"		48	30	701	3 330	3 400	- 70	- 2,1		- 19	- 1,7	- 0,4	- 15	3 385	48	
C	1968-69	50	22-10-68	650	2 840	2 875	- 35	- 1,2		+ 1	+ 0,1	- 1,3	- 35	2 840	50	
C		51	25	651	2 790	2 890	- 100	- 3,5	651	0	0	- 3,5	- 100	2 790	51	
D		53	1-11	650	2 900	2 875	+ 25	+ 0,9		- 1	- 0,1	+ 1,0	+ 30	2 905	53	
"		55	8	641	2 760	2 780	- 20	- 0,7		- 10	- 0,9	+ 0,2	+ 5	2 785	55	
"		57	14	629	2 610	2 670	- 60	- 2,2		- 22	- 2,0	- 0,2	- 5	2 665	57	
"		59	18	619	2 500	2 575	- 75	- 2,9		- 32	- 2,9	0	0	2 575	59	
"	61	22	608	2 390	2 480	- 90	- 3,6		- 43	- 3,9	+ 0,3	+ 10	2 490	61		
"	62	25	602	2 310	2 420	- 110	- 4,5		- 49	- 4,4	- 0,1	- 5	2 415	62		

TABLEAU VIII

STATION de DIRE

Méthode de l'écart à la cote maximale

Année	N°	Date	H cm	Q m <sup>3</sup> /s	Q <sub>0</sub> m <sup>3</sup> /s	ΔQ m <sup>3</sup> /s	$\frac{\Delta Q}{Q_0}$ %	H <sub>X</sub> cm	ΔH <sub>X</sub> cm	a %	$\frac{\Delta^p Q}{Q_0}$ %	Δ <sup>p</sup> Q m <sup>3</sup> /s	Q <sup>p</sup> m <sup>3</sup> /s	N°
1951-52	1	26- 8-51	375	1 060	990	+ 70	+ 7,1	601	+ 226	+ 23,5	- 16,4	- 160	830	1
	2	4- 4-52	465	1 245	1 430	- 185	- 12,9		- 136	- 20,7	+ 7,8	+ 110	1 540	2
1953-54	3	11- 1-54	601	2 540	2 580	- 40	- 1,5	606	- 5	- 1,5	0	0	2 580	3
	4	23- 2	542	1 815	1 915	- 100	- 5,2		- 64	- 15,0	+ 9,8	+ 190	2 105	4
	5	10- 6	129	120	155	- 35	- 22,6		- 477	- 25,8	+ 3,2	+ 5	160	5
1954-55	6	9- 8-54	353	1 100	890	+ 210	+ 23,6	613	+ 260	+ 24,2	- 0,6	- 5	885	6
	7	24- 8	419	1 445	1 190	+ 255	+ 21,5		+ 194	+ 22,8	- 1,3	- 15	1 175	7
	8	5- 9	456	1 735	1 385	+ 350	+ 25,3		+ 157	+ 21,7	+ 3,6	+ 50	1 435	8
	9	12-10	527	2 020	1 790	+ 230	+ 12,9		+ 86	+ 17,5	- 4,6	- 80	1 710	9
	10	15-12	603	2 540	2 595	- 55	- 2,1		+ 10	+ 3,1	- 5,2	- 135	2 460	10
	11	19- 1-55	609	2 645	2 680	- 35	- 1,3		- 4	- 1,3	0	0	2 680	11
1955-56	12	23-11-55	588	2 400	2 400	0	0	612	+ 24	+ 7,0	- 7,0	- 170	2 230	12
	13	8-12	604	2 545	2 610	- 65	- 2,5		+ 8	+ 2,4	- 4,9	- 130	2 480	13
1956-57	14	7- 8-56	247	725	425	+ 300	+ 70,5	565	+ 318	+ 24,8	+ 45,7	+ 195	620	14
1957-58	15	30- 7-57	237	465	380	+ 85	+ 22,4	611	+ 374	+ 25,2	- 2,8	- 10	370	15
1958-59	16	4- 8-58	342	1 045	840	+ 205	+ 24,4	581	+ 239	+ 23,8	+ 0,6	+ 5	845	16
	17	26- 8	405	1 350	1 125	+ 225	+ 20,0		+ 176	+ 22,3	- 2,3	- 25	1 100	17
	18	15- 9	458	1 665	1 390	+ 275	+ 19,8		+ 123	+ 20,2	- 0,4	- 5	1 385	18
	19	28-10	530	2 005	1 815	+ 190	+ 10,5		+ 51	+ 12,8	- 2,3	- 40	1 775	19
	20	13-11	548	2 205	1 975	+ 230	+ 11,7		+ 33	+ 9,3	+ 2,4	+ 45	2 020	20
	21	17- 2-59	456	1 130	1 385	- 255	- 18,4		- 125	- 20,2	+ 1,8	+ 25	1 410	21

TABLEAU VIII (suite)

Année	N°	Date	H cm	Q m <sup>3</sup> /s	Q <sub>0</sub> m <sup>3</sup> /s	ΔQ m <sup>3</sup> /s	$\frac{\Delta Q}{Q_0}$ %	H <sub>x</sub> cm	ΔH <sub>x</sub> cm	a %	$\frac{\Delta^2 Q}{Q_0}$ %	Δ <sup>2</sup> Q m <sup>3</sup> /s	Q <sup>2</sup> m <sup>3</sup> /s	N°
1959-60	22	23- 9-59	463	1 905	1 420	+ 485	+ 34,2	573	+ 110	+ 19,4	+ 14,8	+ 210	1 630	22
	23	26- 3-60	303	515	665	- 150	- 22,5		- 270	- 24,3	+ 1,8	+ 10	675	23
1961-62	24	23- 8-61	346	1 060	860	+ 200	+ 23,3	559	+ 213	+ 23,3	0	0	860	24
1967-68	29	10-11-67	537	2 120	1 865	+ 255	+ 13,7	583	+ 46	+ 12,0	+ 1,7	+ 30	1 895	29
	30	1-12	563	2 260	2 130	+ 130	+ 6,1		+ 20	+ 6,0	+ 0,1	# 0	2 130	30
	31	4-12	567	2 290	2 170	+ 120	+ 5,5		+ 16	+ 4,9	+ 0,6	+ 15	2 185	31
	32	13-12	574	2 330	2 245	+ 85	+ 3,8		+ 9	+ 2,8	+ 1,0	+ 20	2 265	32
	33	20- 1-68	571	2 110	2 210	- 100	- 4,5		- 12	- 3,7	- 0,8	- 20	2 190	33
	34	30- 1	560	1 980	2 100	- 120	- 5,7		- 23	- 6,8	+ 1,1	+ 25	2 125	34
1968-69	35	18-12-68	535	1 840	1 855	- 15	- 0,8	538	- 3	- 0,9	+ 0,1	# 0	1 855	35
	36	2- 1-69	525	1 710	1 780	- 70	- 3,9		- 13	- 4,0	+ 0,1	# 0	1 780	36
	37	11- 1	509	1 640	1 675	- 35	- 2,1		- 29	- 8,3	+ 6,2	+ 105	1 780	37

TABIEAU IX

STATION de DIRE

Méthode simplifiée de l'écart à la cote maximale

Sens	Année	N°	Date	H cm	Q m <sup>3</sup> /s	Q <sub>0</sub> m <sup>3</sup> /s	ΔQ m <sup>3</sup> /s	$\frac{\Delta Q}{Q_0}$ %	H <sub>x</sub> cm	H <sub>x</sub> cm	a %	$\frac{\Delta' Q}{Q_0}$ %	Δ'Q m <sup>3</sup> /s	Q' m <sup>3</sup> /s	N°
C	1951-52	1	26-8-51	375	1 060	990	+ 70	+ 7,1	601	+ 226	+ 22,5	- 15,4	- 155	835	1
D		2	4-4-52	465	1 245	1 430	- 185	- 12,9		- 136	- 22,5	+ 9,6	+ 135	1 565	2
D	1953-54	3	11-1-54	601	2 540	2 580	- 40	- 1,5	606	- 5	- 1,5	0	0	2 580	3
"		4	23-2	542	1 815	1 915	- 100	- 5,2		- 64	- 19,2	+ 14,0	+ 270	2 185	4
"		5	10-6	129	120	155	- 35	- 22,6		- 477	- 22,5	- 0,1	0	155	5
C	1954-55	6	9-8-54	353	1 100	890	+ 210	+ 23,6	613	+ 260	+ 22,5	+ 1,1	+ 10	900	6
"		7	24-8	419	1 445	1 190	+ 255	+ 21,5		+ 194	+ 22,5	- 1,0	- 10	1 180	7
"		8	5-9	456	1 735	1 385	+ 350	+ 25,3		+ 157	+ 22,5	+ 2,8	+ 40	1 425	8
"		9	12-10	527	2 020	1 790	+ 230	+ 12,9		+ 86	+ 22,5	- 9,6	- 170	1 620	9
"		10	15-12	603	2 540	2 595	- 55	- 2,1		+ 10	+ 3,0	- 5,1	- 130	2 465	10
D		11	19-1-55	609	2 645	2 680	- 35	- 1,3		- 4	- 1,2	- 0,1	- 5	2 675	11
C	1955-56	12	23-11-55	588	2 400	2 400	0	0	612	+ 24	+ 7,2	- 7,2	- 175	2 225	12
C		13	8-12	604	2 545	2 610	- 65	- 2,5		+ 8	+ 2,4	- 4,9	- 130	2 480	13
"	1956-57	14	7-8-56	247	725	425	+ 300	+ 70,5	565	+ 318	+ 22,5	+ 48,0	+ 200	625	14
"	1957-58	15	30-7-57	237	465	380	+ 85	+ 22,4	611	+ 374	+ 22,5	- 0,1	0	380	15
C	1958-59	16	4-8-58	342	1 045	840	+ 205	+ 24,4	581	+ 239	+ 22,5	+ 1,9	+ 15	855	16
"		17	26-8	405	1 350	1 125	+ 225	+ 20,0		+ 176	+ 22,5	- 2,5	- 30	1 095	17
"		18	15-9	458	1 665	1 390	+ 275	+ 19,8		+ 123	+ 22,5	- 2,7	- 40	1 350	18
"		19	28-10	530	2 005	1 815	+ 190	+ 10,5		+ 51	+ 15,3	- 4,8	- 85	1 730	19
"		20	13-11	548	2 205	1 975	+ 230	+ 11,7		+ 33	+ 9,9	+ 1,8	+ 35	2 010	20
D		21	17-3-59	456	1 130	1 385	- 255	- 18,4		- 125	- 22,5	+ 4,1	+ 55	1 440	21

TABLEAU IX (suite)

Sens	Année	N°	Date	H cm	Q m <sup>3</sup> /s	Q <sub>0</sub> m <sup>3</sup> /s	ΔQ m <sup>3</sup> /s	$\frac{\Delta Q}{Q_0}$ %	H <sub>x</sub> cm	ΔH <sub>x</sub> cm	a %	$\frac{\Delta Q}{Q_0}$ %	Δ'Q m <sup>3</sup> /s	Q' m <sup>3</sup> /s	N°
C	1959-60	22	23- 9-59	463	1 905	1 420	+ 485	+ 34,2	573	+ 110	+ 22,5	+ 11,7	+ 165	1 585	22
D		23	26- 3-60	303	515	665	- 150	- 22,5		- 270	- 22,5	0	0	665	23
C	1961-62	24	23- 8-61	346	1 060	860	+ 200	+ 23,3	559	+ 213	+ 22,5	+ 0,8	+ 5	865	24
C	1967-68	29	10-11-67	537	2 120	1 865	+ 255	+ 13,7	583	+ 46	+ 13,8	- 0,1	# 0	1 865	29
"		30	1-12	563	2 260	2 130	+ 130	+ 6,1		+ 20	+ 6,0	+ 0,1	# 0	2 130	30
"		31	4-12	567	2 290	2 170	+ 120	+ 5,5		+ 16	+ 4,8	+ 0,7	+ 15	2 185	31
"		32	13-12	574	2 330	2 245	+ 85	+ 3,8		+ 9	+ 2,7	+ 1,1	+ 25	2 270	32
D		33	20- 1-68	571	2 110	2 210	- 100	- 4,5		- 12	- 3,6	- 0,9	- 20	2 190	33
"	34	30- 1	560	1 980	2 100	- 120	- 5,7		- 23	- 6,9	+ 1,2	+ 25	2 125	34	
D	1968-69	35	18-12-68	535	1 840	1 855	- 15	- 0,8	538	- 3	- 0,9	+ 0,1	# 0	1 855	35
"		36	2- 1-69	525	1 710	1 780	- 70	- 3,9		- 13	- 3,9	0	0	1 780	36
"		37	11- 1	509	1 640	1 675	- 35	- 2,1		- 29	- 8,7	+ 6,6	+ 110	1 785	37

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 DIRE (figures n° 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.

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

Méthode	Station de MOPTI	Station de DIRE
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	$\frac{\Delta Q}{Q_0} = 9 \Delta H_x$	$\frac{\Delta Q}{Q_0} = 30 \Delta H_x$
	jusqu'à $\frac{\Delta Q}{Q_0} = \text{cste} = \pm 16,0 \%$	jusqu'à $\frac{\Delta Q}{Q_0} = \text{cste} = \pm 22,5 \%$

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

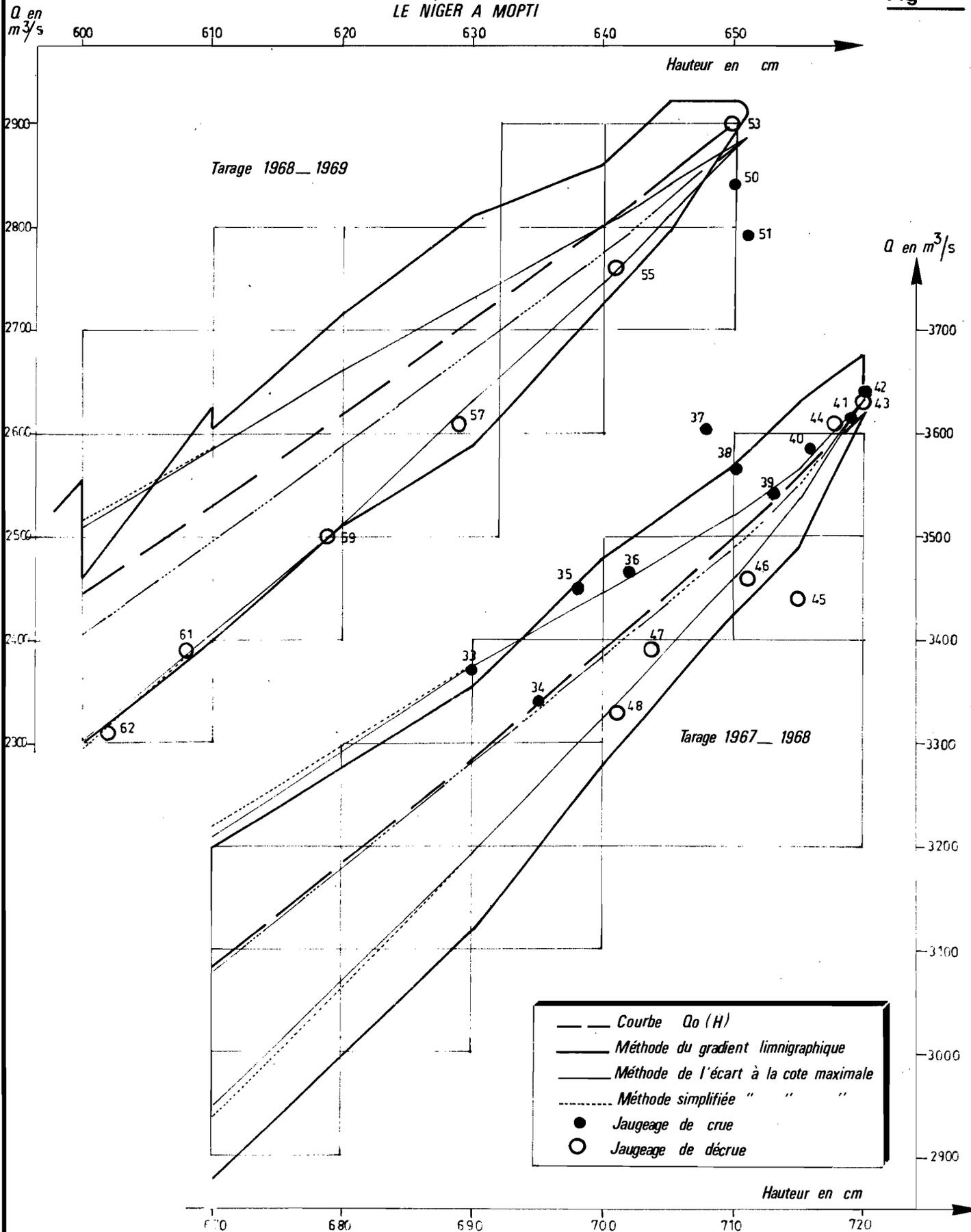
On trouve également sur le tableau n° V, déjà cité, les gains d'efficacité des deux modes d'emploi de la méthode de l'écart au maximum comparés à ceux dus à la méthode du gradient.

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.

# TRACÉS SCHEMATIQUES DE TARAGES DE HAUTES EAUX

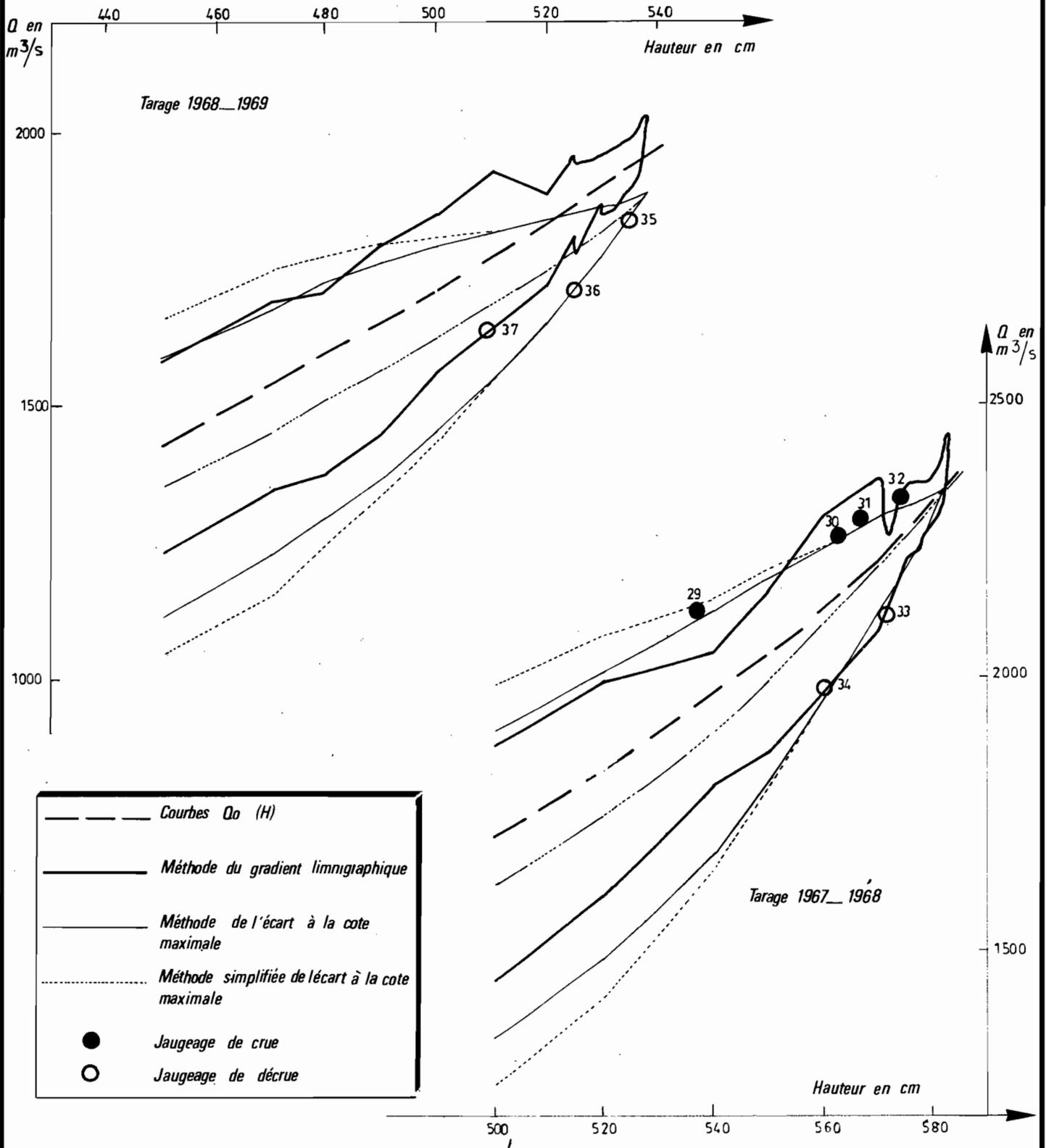
LE NIGER A MOPTI

Fig-23



# TRACÉS SCHEMATIQUES DE TARAGES DE HAUTES EAUX

LE NIGER A DIRÉ



C O N C L U S I O N

La présente note technique sera publiée prochainement dans les Cahiers d'Hydrologie. A cet effet, elle sera augmentée des programmes de tarage et de calcul automatique des débits pour les stations non univoques. Ces programmes tiennent compte du type de cours d'eau (traduction des débits à pas de temps fixe ou à pas de temps variable) et de la méthode de tarage applicable.

D'ores et déjà, il est conseillé de réviser les tarages des stations non univoques des réseaux hydrométriques dans l'optique dégagée par cette note.

x  
x x