

B.I.R.H

SECTION HYDROLOGIE

DETERMINATION DES DEBITS
MESURES INDIRECTES
(JAUAGES AU MOULINET ET AU FLOTTEUR)

—= 0o0 =—

Par J. CRUETTE
Hydrologue au B. I. R. H.
Chargé de Recherche de l'ORSTOM

avec la collaboration de :

G. DUBRE. : Hydrologue de l'ORSTOM
RAMANANTOANDRO : Ingénieur Hydrologue de la
S.C.E.T Coopération.
D. IBIZA. : Chargé de Recherche de l'ORSTOM

et de tout le personnel de terrain de la Section
Hydrologie du B. I. R. H.

—= 0o0 =—

Ce document constitue un chapitre du cours d'Hydrologie de surface enseignement en classe de sixième Année secondaire du Lycée Technique de Tunis.

Il traite des jaugeages au moulinet et au flotteur (mesures indirectes) et de se place aussi dans l'ensemble du cours :

1 - GENERALITES

2 - PLUVIOMETRIE

3 - CLIMATOLOGIE

4 - HYDROMETRIE

4 - 1 Méthodologie

4 - 2 Limnimétrie

4 - 3 Détermination des débits

4-3-1 Calculs

4-3-2 Mesures globales

4-3-3 Mesures indirectes

4 - 4 Etalonnage d'une station hydrométrique

4 - 5 Aménagement d'une station hydrométrique

4 - 6 Dépouillement et classement

4 - 7 Réseau hydrométrique tunisien

5 - TRANSPORT SOLIDES

6 - HYDROLOGIE ANALYTIQUE

7 - ANALYSE STATISTIQUE

4-3-3 Mesures indirectes

Les mesures indirectes ne donnent pas directement des débits. Elles consistent à mesurer la vitesse de l'eau en certains points du cours d'eau.

Pour pratiquer ces mesures, il faut choisir une bonne section de jaugeage se rapprochant le plus possible d'un canal artificiel.

Il faut :

- des berges régulières et rectilignes
- un écoulement uniforme
- éviter les remous et les "coudes"
- pouvoir pratiquer les mesures sur une section perpendiculaire à l'écoulement.
- pouvoir lire l'échelle limnimétrique au cours de la mesure.

La vitesse de l'eau étant variable d'un point à l'autre de la section de jaugeage il faut faire un grand nombre de mesures de vitesse en de nombreux points. Plus le nombre de mesures de vitesse sera grand plus la détermination du débit sera précise.

La connaissance des vitesses n'est pas suffisante pour déterminer les débits ; il faut en plus connaître avec précision la section mouillée du cours d'eau "S".

$$dq = vds \quad Q = \int_S dq = \int_S vds$$

Pendant les mesure indirectes nous devons donc avoir un double objectif :

- mesurer un grand nombre de vitesses en un grand nombre de points
- déterminer correctement la section mouillée.

.. / ..

4-3-3-I Le moulinet

Définition

Le moulinet est un appareil généralement muni d'une hélice et destiné à mesurer la vitesse de l'eau.

Symboles utilisés:

V = vitesse (m/s) : objet de la mesure

A = pas nominal d'une hélice (m) : constante à connaître

R = nombre de tours par top : constante à connaître

B = nombre de tops : à mesurer à l'aide d'un compte-tour

N = nombre de tours de l'hélice : à déduire des mesures

T = temps de la mesure (s) : à mesurer à l'aide d'un chronomètre.

n = nombre de tours par seconde : à déduire des mesures

a = pas réel de l'hélice (m) : donné par le constructeur

b = vitesse de frottement ou vitesse de démarrage (m/s) :

4-3-3-I-I L'hélice

L'hélice est l'organe qui détecte la vitesse du courant en tournant à la façon d'une vis. Elle est conçue pour se déplacer dans l'eau d'une certaine longueur A lorsqu'elle fait un tour. Cette longueur A s'appelle le pas nominal de l'hélice.

Il revient au même de dire que si l'hélice fait un tour par seconde, la vitesse de l'eau qui la fait tourner fait théoriquement A(m) par seconde.

Un moulinet est généralement muni de plusieurs hélices interchangeables. Les pas nominaux que l'on rencontre le plus souvent sont (en mètre)

0,05 - 0,10 - 0,125 - 0,25 - 0,50 - 1,00

En réalité si on appelle n le nombre de tours par seconde la relation entre V (m/s) et n n'est pas exactement

$$V = A n$$

La relation réelle qui doit être déterminée expérimentalement par le constructeur est de la forme $V = an + b$.

4-3-3-1-2 Les roulements

Un moulinet peut être monté à axe fixe ou axe mobile. Dans presque tous les cas l'articulation entre les pièces fixes et les pièces se fait par l'intermédiaire de paliers à roulements à billes.

4-3-3-1-3 Le circuit électrique

Dans tous les moulinets actuels, un circuit électrique sert d'intermédiaire entre l'hélice et l'appareil destiné à compter le nombre de tours faits par l'hélice dans un dispositif appelé "chambre de contact" qui provoque une ouverture et une fermeture du circuit électrique (un top) pour 1,2,5,10,20 ou même 50 tours de l'hélice. Nous appellerons R le nombre de tours par top. C'est un nombre essentiel dans la pratique des jaugeages au moulinet qu'il ne faut jamais oublier de noter avant de commencer une mesure.

4-3-3-1-4 Pratique de la mesure

Le moulinet étant placé dans l'eau en un point correctement repéré le circuit électrique est maintenu ouvert par un interrupteur.

Pour commencer la mesure on doit au même instant:

- fermer le circuit électrique du compte-tour
 - déclencher un chronomètre
- Après un certain temps T (environ 40 secondes)
- ouvrir le circuit électrique pour arrêter le compte-tour
 - arrêter le chronomètre.

Nous obtenons deux valeurs :

- B nombre de tops
- T temps

nous en déduisons $N = RB$ $N = N/T$

$$V = an + b$$

Exemple : B = 117

$$T = 39,8 \text{ s}$$

4-3-3-1-5 Remarques

- Tous les moulinets ne possèdent pas des hélices ; certains (Price) détectent la vitesse de l'eau à l'aide de coupelles. Leur fonctionnement est presque semblable à celui des moulinets à hélices.

- Les pièces mobiles de la chambre de contact peuvent être entraînées magnétiquement par les pièces mobiles fixées à l'hélice. La chambre est ainsi mieux isolée et d'un fonctionnement plus sûr.

- Pour certains compte-tours (couïneurs) on n'utilise pas l'interrupteur mentionné au chapitre 4-3-3-1-4. La pratique de la mesure spéciale sera donnée au chapitre sur les compte-tours.

Exercice du chapitre 4-3-3-1 : le Moulinet

Soit le micromoulinet OTT n° 15462 muni de l'hélice n° 3. Les formules d'étalonnage de cette hélice sont:

$$\begin{aligned} V &= 0,2223 n + 0,038 && \text{pour } n < 0,60 \\ V &= 0,2589 n + 0,022 && \text{pour } n < 3,53 \\ V &= 0,2540 n + 0,004 && \text{pour } n < 3,53 \\ V &\text{ en m/s} \end{aligned}$$

n : nombre de tours par seconde.

- 1) Quel est le pas nominale de cette hélice ?
- 2) Tracer la courbe d'étalonnage de cette hélice.
- 3) Etablir un barême donnant directement V en fonction de n pour
0 n 4 et variant de 1/100 (n = 0,01-0,02-0,03
3,98-3,99-4,00)
- 4) Etablir un tableau à double entrées donnant V en fonction de N
(nombre de tours de l'hélice) et T (durée de la mesure en seconde)

N variant d'unité en unité en 40 et 400

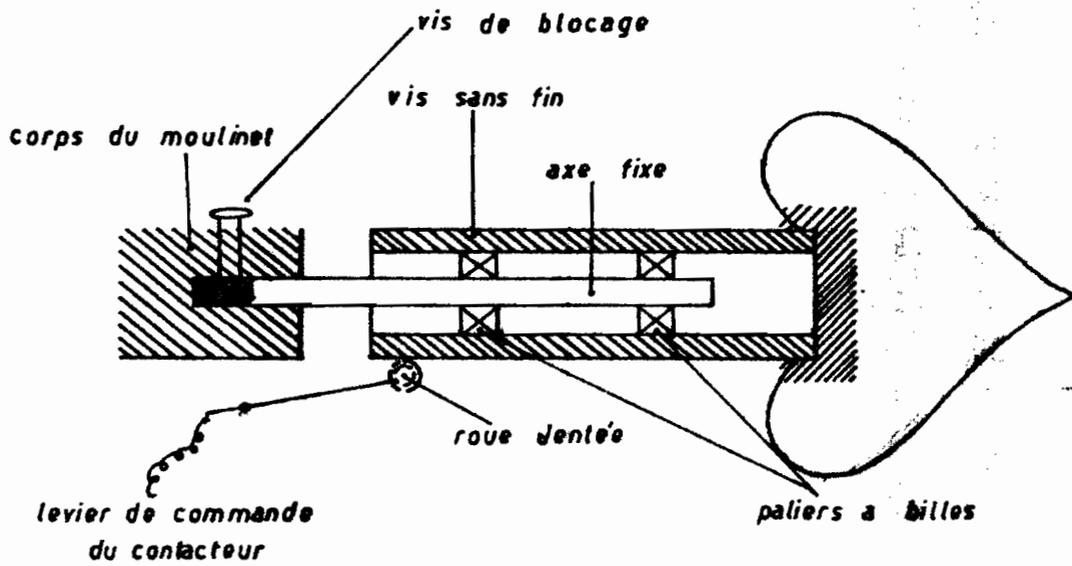
T variant de 1/10 e, 1/10 de seconde entre 39,0 et 41,0 secondes.

- 5) Lors d'une mesure effectuée en utilisant ce moulinet de cette hélice nous avons obtenu B = 117 et T = 39,8 s.

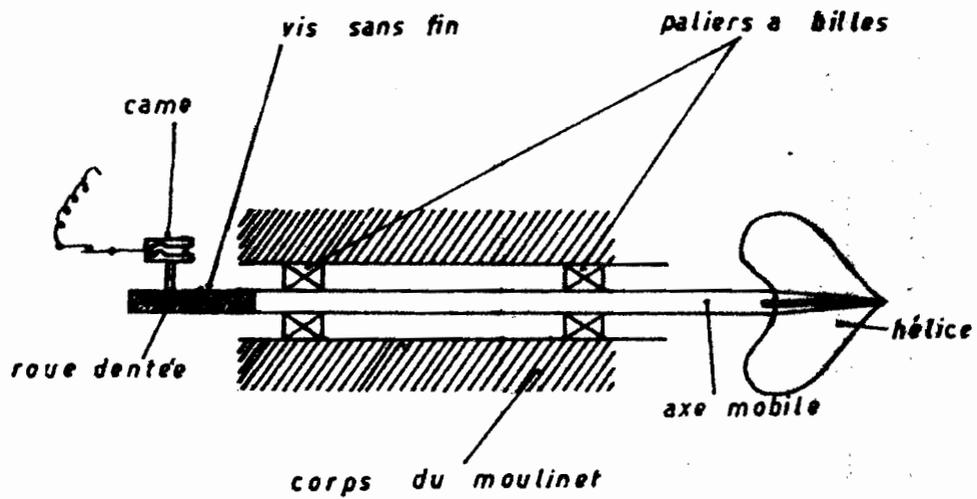
Sachant que R = 1

- a) calculer directement la valeur de V
- b) vérifier que l'on trouve le même résultat dans le barême.
- c) vérifier que l'on trouve le même résultat dans le tableau. à double entrée.

MOULINET



MOULINET A AXE FIXE



MOULINET A AXE MOBILE

4-3-3-2 Le matériel annexe

Le matériel annexe sert d'une part à compter les impulsions électriques envoyées par le moulinet et d'autre part à maintenir le moulinet dans l'eau aux différents points que l'on a choisis. Son rôle est donc aussi important que celui du moulinet.

4-3-3-2-1 Compte-tours et chronomètre

Il s'agit en fait de compter des tops et non des tours pendant un certain temps.

- couïneur et écouteur

Un couïneur est une sonnette alimentée par une pile qui sonne par intermitence pour chaque top envoyé par le moulinet. Ce couïneur est utilisé avec les moulinets donnant un top tous les 10 à 20 tours de façon que les sonneries soit assez espacées les unes des autres pour pouvoir comptées sans difficulté. Il est monté sans interrupteur.

A la fin d'une sonnerie l'opérateur déclanche son chronomètre. Il attend pendant quarante secondes en comptant les sonneries successives. Une fois les quarante secondes dépassées il arrête son chronomètre à la fin de la sonnerie suivante. Il obtient ainsi B et T.

Un écouteur peut faire le même usage son emploi est très commode si l'on doit travailler dans une région bruyante (cascade).

- Signal lumineux

Une simple ampoule électrique et une pile peuvent jouer le même rôle qu'un couïneur.

Un tel dispositif est très facile à "tricoler" et doit être utilisé quand les autres dispositifs se trouvent irrémédiablement en panne.

- Compteur d'impulsion à chiffres flottants

Ce dispositif, un peu plus fragile, dispense de compter mentalement et évite des erreurs. Il est indispensable lorsque l'hélice tourne vite et envoie un top par tour.

- Compteur d'impulsion à chronomètre incorporé

Ce dispositif permet en une seule manoeuvre de démarrer ou d'arrêter le compteur et le chronomètre en même temps. On améliore ainsi les précisions des mesures.

- Compteur d'impulsion à arrêt automatique

Avec dispositif il suffit de faire démarrer les opérations de comptage. Elles s'arrêtent ensuite automatiquement après un temps déterminé.

Ce dispositif très reposant pour l'opérateur manque de souplesse car on ne peut choisir la durée de la mesure (Il est inutilisable pour les jaugeages par intégration). Etant plus complexe, il est d'autre part plus fragile.

4-3-3-2 Moulinet fixe sur perche

- Description

C'est le dispositif de support le plus simple et fourni par tous les constructeurs. Il rend de grands services dans de très nombreux cas, mais ne permet pas de maintenir correctement le moulinet dès que les vitesses deviennent assez importantes.

Il est absolument indispensable que la perche soit graduée tous les centimètres.

- détermination de la distance de l'axe de l'hélice .

Fixer le moulinet que la perche. Tenir la perche verticalement et posée sur le sol en surveillant que l'hélice tourne librement. Mesurer en centimètres la distance entre l'axe de l'hélice et le sol.

- Perche tenue à la main (Wading)

L'opérateur peut être, soit directement dans l'eau, soit sur une embarcation.

Les profondeurs seront alors repérées en notant la graduation sur la perche qui correspond à la surface de l'eau pour les différentes positions du moulinet.

Les distances seront repérées à partir d'un câble ou d'une corde graduée matérialisant la section de jaugeage. Le même câble peut-être utilisé pour maintenir l'embarcation.

L'opérateur devra vérifier que le moulinet est toujours bien dirigé dans le sens du courant et devra le maintenir immobile pendant toute la durée de la mesure.

Si l'opérateur est dans l'eau il devra placer ses jambes le plus loin possible du moulinet.

- Perche maintenue par un support mobile. La perche graduée est maintenue par un support que l'on peut déplacer, soit sur une passerelle, soit en le fixant sur un bateau.

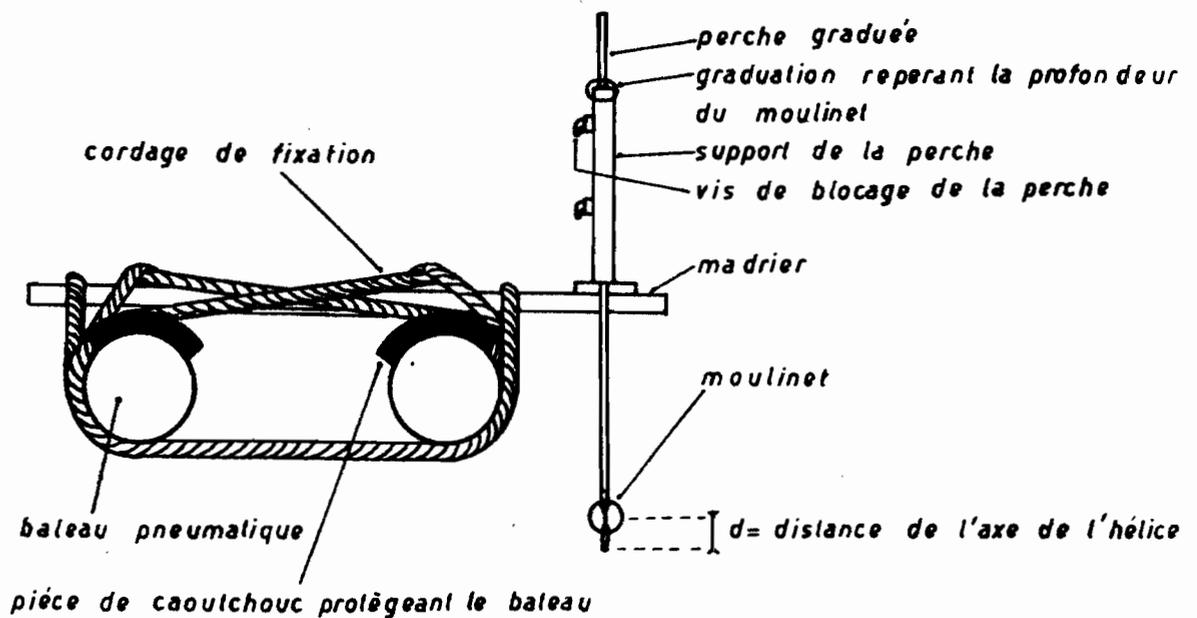
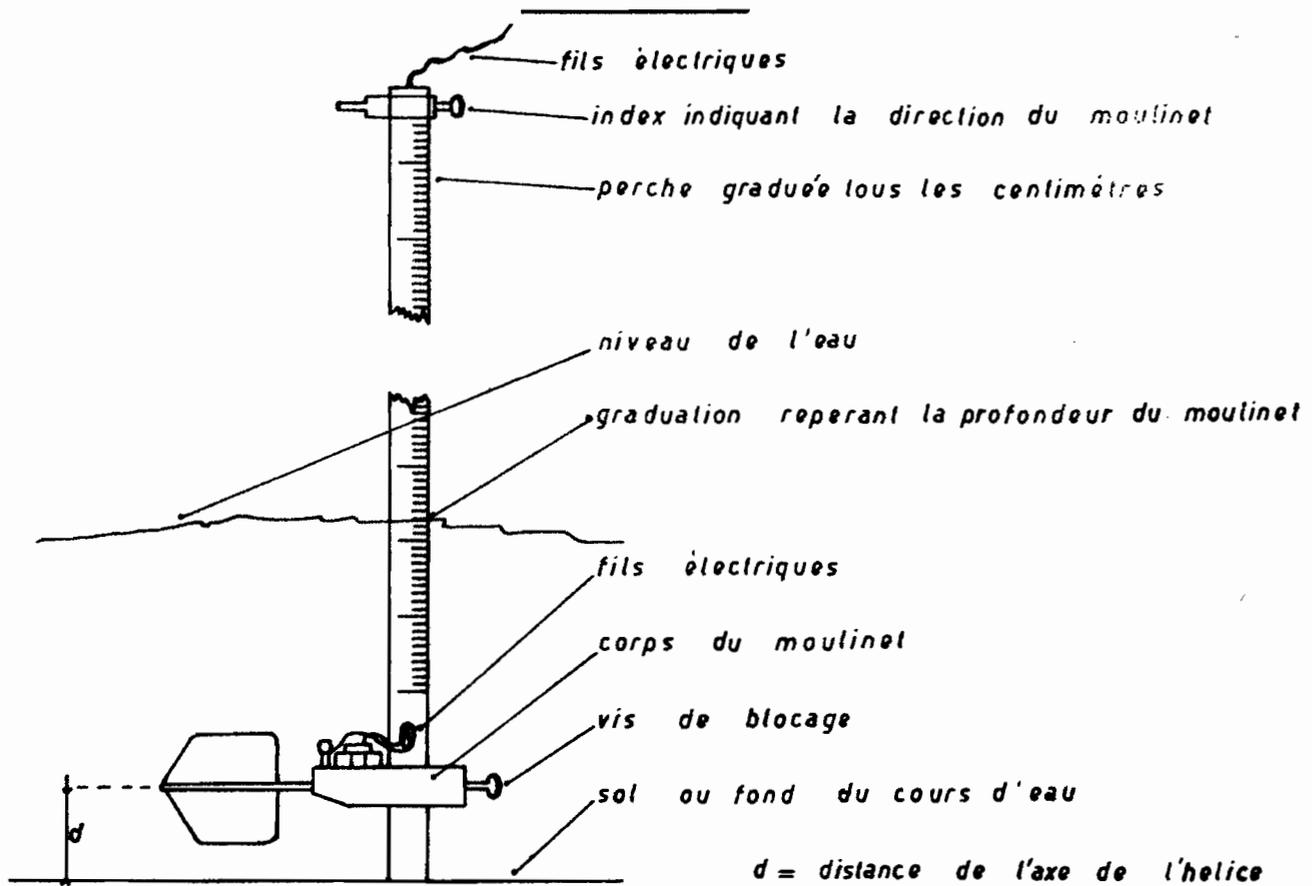
- Les profondeurs se repèrent alors par les graduations de la perche au niveau d'un index du support.

Si on travaille à partir d'une passerelle celle-ci doit comporter des graduations inamovibles permettant de repérer les distances.

Si on travaille sur un bateau le câble qui maintient le bateau doit être gradué.

Il faut toujours s'assurer que le moulinet est bien dans la direction du courant pendant la mesure et qu'il est bien immobile.

MOULINET FIXE SUR PERCHE



4-3-3-2-3 Moulinet mobile sur perche fixe.

- Description

Une perche ronde est maintenue verticalement dans l'eau en reposant sur le fond. Le moulinet glisse le long de cette perche et se place seul dans le sens du courant grâce à un gouvernail.

Le dispositif est plus satisfaisant que le précédent car la perche étant fixe elle est plus facile à maintenir, elle permet de mesurer des vitesses plus grandes : elle permet de repérer plus correctement les profondeurs.

D'autre part le moulinet se plaçant seul dans le sens du courant il évite des erreurs de manoeuvre.

- détermination de la distance de l'axe de l'hélice

Tenir la perche verticalement et posée sur le sol en surveillant que l'hélice tourne librement. Mesurer en centimètres la distance entre l'axe de l'hélice et le sol après avoir placé le moulinet dans la position la plus basse possible.

- repérage des profondeurs.

Le moulinet glissant le long de la perche et maintenu par un cordon électrique qui doit être gradué. A chaque position du moulinet lire la graduation des cordons devant un index fixé sur la perche.

- Repérage des distances

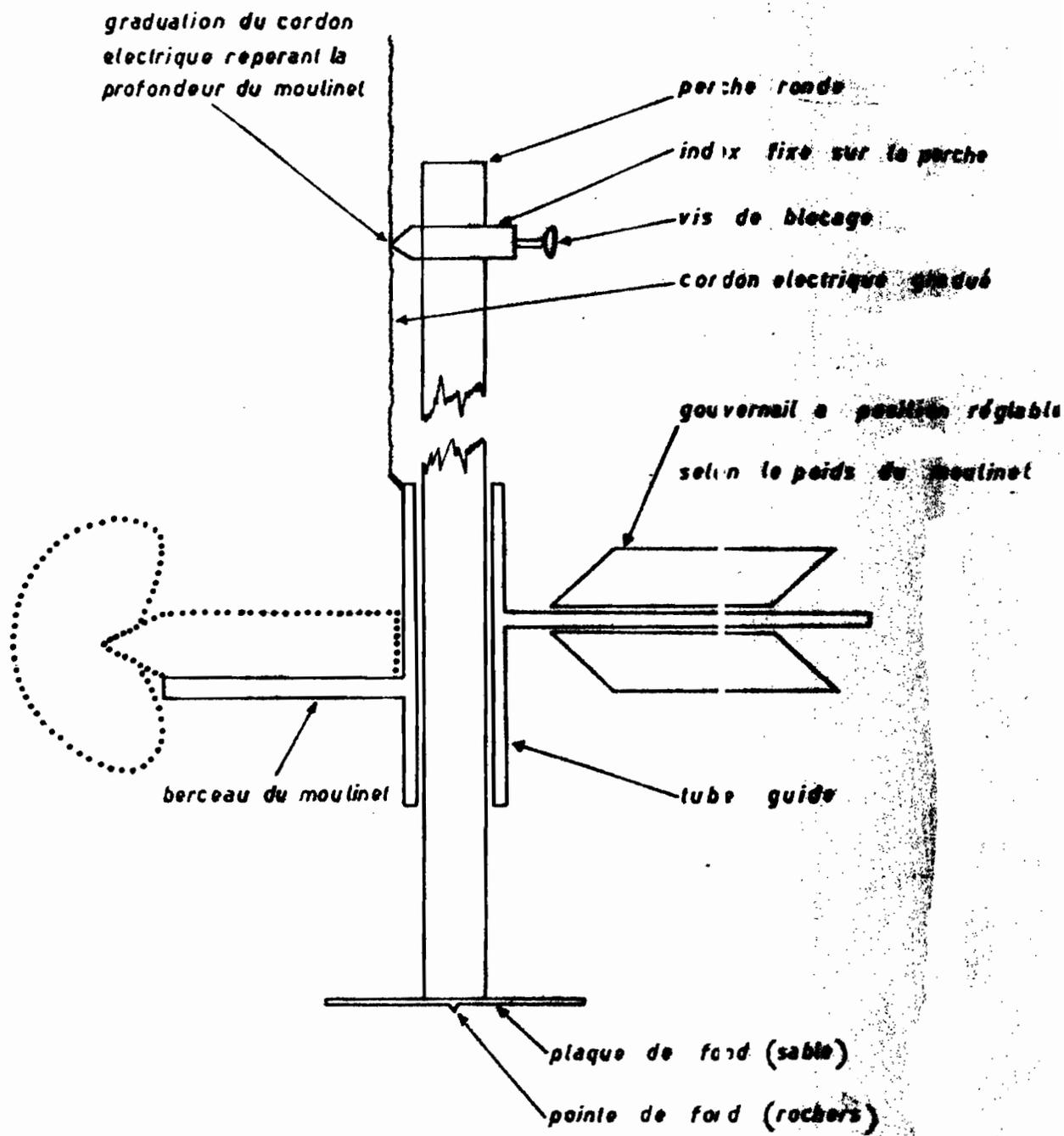
Cette perche peut être utilisée d'un bateau ou d'une passerelle. Les distances sont alors repérées comme dans le cas précédent.

- Mesure de l'angle b

On mesurera l'angle b entre la direction du moulinet et la section de jaugeage (passerelle ou cable gradué) en utilisant un rapporteur transparent. Cette mesure se fera lorsque le moulinet est en position surface (axe du moulinet à la surface de l'eau).

Si le moulinet tourne au cours de la mesure, (angle b variable), on notera la valeur la plus forte et la valeur la plus faible observées.

MOULINET MOBILE SUR PERCHE FIXE



4-3-3-2-4 Moulinet suspendu (saumon)

- Description

Le moulinet est fixé sur une masse destinée à l'introduire dans l'eau. Cette masse s'appelle un saumon. Ce saumon est maintenu par un câble qui s'enroule sur un treuil.

Dans pratiquement tous les dispositifs, le matériel annexe se compose de quatre parties: le saumon, le câble, une poulie de renvoie et un treuil.

- Le saumon

Le saumon a toujours une forme profilée et un gouvernail pour s'orienter dans le sens du courant.

Ce gouvernail peut se placer à une distance variable sur la queue qui le soutient. Il faut veiller que l'ensemble soit correctement équilibré pour se tenir horizontalement dans l'eau, ce qui ne correspond pas obligatoirement à une position horizontale dans l'air.

Un saumon peut peser entre 5 et 200 Kg.

Théoriquement plus il est lourd mieux il se comporte dans les fortes vitesses.

Un saumon est souvent muni d'un dispositif électrique permettant de repérer le moment où il se pose au fond. Ce dispositif s'appelle "pédale de fond" ou "contact de fond".

- le câble

On utilise généralement un câble électroporteur. Ce câble contient à l'intérieur un ou plusieurs fils électriques isolés permettant de relier la chambre de contact du moulinet, le contact de fond et le compte-tour.

Ce câble électroporteur est la source de nombreuses pannes dues à une mauvaise isolation des fils électriques. Il convient de toujours avoir avec soi un fil électrique, souple, à deux conducteurs, si possible recouverts de caoutchouc pour relier directement le moulinet au compte-tour lorsque le câble électroporteur est défaillant.

Le câble électroporteur peut avoir un diamètre compris en 3 et 9 mm environ.

- Le treuil

Il existe de très nombreux modèles de treuil.

Les caractéristiques les plus importantes à connaître sur ces treuils sont les suivantes:

- Un treuil doit posséder un compteur de câble déroulé exprimant les longueurs en centimètres. Ce compteur doit être indépendant du tambour d'enroulement de façon à donner des mesures exactes quelque soit le nombre de spires enroulées sur le tambour.

Si ce treuil ne possède pas de compteur, il faut porter des graduations tous les 10 cm sur le câble et prévoir un index pour le repérage des longueurs de câble déroulé.

Il faut connaître la longueur de câble disponible sur le treuil et la longueur maximum de câble que l'on peut mettre sur le treuil.

Un treuil doit posséder un dispositif correct pour relier les fils électriques du câble électroporteur au fils du compte-tour.

- Treuil portatif

Ce montage utilise un treuil léger fixe à l'extrémité d'un madrier. A l'autre extrémité du madrier est fixée la poulie de renvoie.

Ce montage est très souple d'emploi et facile à utiliser à partir d'un pont.

Cependant il est difficile de manoeuvrer des saumens de plus de 25 Kg avec un tel montage et il est assez fatiguant pour les utilisateurs qui doivent porter l'ensemble du matériel d'une verticale à l'autre.

- Treuil fixé sur un véhicule

Le principe du montage est le même mais l'ensemble étant fixé sur le véhicule, il est possible d'utiliser un treuil et un saumon plus lourds (50 kg pour le saumon).

- Repérage des distances

Les deux montages précédents sont utilisés à partir d'une passerelle ou d'un pont. Il convient donc de repérer une fois pour toutes les distances sur le pont en portant une graduation à la peinture tous les mètres en dehors de la zone de passage des piétons et des voitures. Ces graduations seront numérotées en centimètres.

Les mesures se font toujours à l'aval du pont en surveillant du côté amont l'arrivée éventuelle de troncs d'arbres et de branches

- Treuil fixé sur un bateau

Le montage est semblable à celui sur véhicule.

Il faut cependant veiller que le saumon ne soit jamais placé à l'arrière du bateau afin que le moulinet ne soit pas dans le remous.

- Repérage des distances

Comme à chaque fois que l'on utilise un bateau les distances sont repérées à partir du câble gradué qui maintient le bateau.

- Téléphérique

Lorsque l'on ne dispose pas d'un pont ou qu'il n'est pas possible d'utiliser un bateau on doit utiliser un téléphérique, un transporteur aérien, ou train baladeur.

Dans ce cas le treuil qui enroule le câble électroporteur est sur la rive et un deuxième treuil déplace un chariot.

Il est possible de faire trois montages différents à partir de ces deux treuils.

. montage double (saumon 100 Kg et grande portée)

Ce montage comprend :

- (un câble porteur
-) un double câble tracteur
- (un câble électroporteur

. montage simple (saumon 50 Kg et portée moyenne 50 m)

Ce montage comprend :

- (un câble porteur
-) un câble tracteur simple
- (un câble électroporteur

. montage rédimentaire (saumon 25 Kg et petite portée)

Ce montage comprend :

- (un câble tracteur et porteur
-) un câble électroporteur

- Repérage des distances

Le treuil destiné à déplacer le chariot doit comporter un compteur dans les mêmes conditions que le câble électroporteur, si non le câble tracteur doit être gradué.

Ce treuil doit être utilisé de façon à pouvoir remettre à volonté le saumon exactement à la même place à chaque fois qu'on le désire.

Pour cela le dispositif le plus simple consiste à placer le chariot dans la position la plus proche possible du treuil (poulie du chariot venant toucher une pièce fixe de l'installation) et de mettre alors le compteur du treuil à zéro dans cette position.

Ne plus jamais toucher le compteur au cours des mesures

A chaque fois que l'on pourra remettre le saumon dans cette position il convient de vérifier que le compteur indique bien zéro.

Si le treuil ne possède pas de compteur, les graduations du câble devront permettre d'obtenir le même résultat (graduation zéro du câble devant le repère lorsque le chariot est proche du treuil).

- Distance de l'axe de l'hélice

La méthode utilisée pour déterminer la distance de l'axe du moulinet est la même quelque soit le montage utilisé.

On se place en dehors de l'eau en un endroit où le sol est plat et horizontal et on fait descendre le saumon jusqu'à affleurer la surface du sol: il faut que le câble électroporteur soit bien tendu, que le saumon ne s'appuie pas ~~sur~~ le sol tout en touchant, que le contact de fond soit en position "circuit ouvert".

Maintenir le saumon pour que la queue de celui-ci soit bien horizontale (niveau de maçon). On mesure alors en centimètres la distance "d" entre le sol et l'axe de l'hélice.

- Longueur de câble déroulé.

Le câble électroporteur n'est plus vertical dès que les vitesses deviennent assez grandes pour faire "dériver" le saumon. Le compteur du treuil ne repère donc pas les profondeurs mais les longueurs de câble déroulé.

Les repérages de ces longueurs est extrêmement simple. Pour chaque position du moulinet on lit et on note le nombre (en centimètres) donné par le compteur.

Il ne faut jamais remettre le compteur au zéro

- Mesure de l'angle a (angle vertical ou angle de dérive). Lorsque le câble n'est pas vertical, on mesure et on note la valeur de l'angle (a) entre le câble et la verticale. Pour cela on utilise un rapporteur transparent muni d'un pendule ou fil de plomb issu du centre du rapporteur. Pendant la mesure le fil doit à peine toucher le rapporteur.

Ne jamais oublier de préciser si les angles sont mesurés en degrés ou en grades

- Mesure de l'angle b (angle horizontal). C'est l'angle entre la direction du courant et la section de mesure. En fait on repérera l'angle entre le saumon et la section de mesure. Pour faire cette mesure on regardera à travers le rapporteur de façon à placer le point d'attache du saumon au centre du rapporteur. La direction de la queue du saumon correspond alors à une valeur d'angle lue sur rapporteur.

Lorsque le saumon "tourne" et que l'angle b varie on notera la plus forte et la plus faible valeurs observées.

- Matériel pour la mesure des angles

Le dispositif le plus commode est un rapporteur transparent. On perce un petit trou en son centre pour y fixer un pendule qui peut être un simple fil tenant une petite pierre. Il est préférable d'utiliser un rapporteur gradué en degrés de 0 à 180.

- Mesure du tirant d'air (t)

Il est important de connaître la longueur du câble dans l'air pour les calculs et les dépouillements. Pour connaître cette longueur on procède aux opérations suivantes:

- Cas d'un treuil mobile

- . Placer le saumon à portée de la main et suspendu
- . Mesurer la distance (en cm) entre l'axe de la poulie de renvoie et le point le plus bas du saumon. Porter le résultat dans la colonne du carnet de jaugeage réservé aux repérages de profondeur (P).
- . Lire et noter dans la colonne N ou B (nombre de tops) le nombre de centimètres indiqués par le compteur.
- . Faire descendre le saumon jusqu'à affleurer la surface de l'eau.
- . Noter dans la colonne T (temps) la nouvelle indication du compteur.
- . Porter dans la colonne "observation" la mention (tirant d'air)
- . Pour un pont absolument horizontal on pourra mesurer le tirant d'air une seule fois.
- . Si le pont n'est pas horizontal il est plus prudent de le mesurer à chaque verticale.

- Cas d'un téléphérique

- . Pour un téléphérique le tirant d'air se détermine lors de la mise en place de la station de la façon suivante en même temps que le repérage des verticales pour jaugeages continus (4-3-3-5-1-1).
- . Les verticales ayant été choisies on déterminera par nivellement la cote à l'échelle (H fo) du fond pour chaque verticale se trouvant en dehors de l'eau (profil en travers).
- . Le chariot du téléphérique étant placé à portée de la main on mesurera la valeur (P) entre le cable porteur et le point le plus bas du saumon, celui-ci étant dans la position la plus haute possible.
- . Sur chaque verticale on placera le saumon dans la position la plus haute possible et on notera l'indication du compteur(N).
- . On fera ensuite descendre le saumon jusqu'à affleurer la surface du sol ou de l'eau et on notera la nouvelle indication du compteur T.

. On établira alors un tableau comportant autant de colonne que de verticales choisies (voir tableau des verticales (4-3-3-5-1-1)).

Sur une première ligne on portera les distances des verticales.

Sur une deuxième ligne on portera les valeurs de P

Sur une troisième ligne les valeurs de N

Sur une quatrième les valeurs de T

Sur une cinquième les valeurs de Hfo pour les verticales en dehors de l'eau et de H (cote à l'échelle du moment) pour les verticales dans l'eau.

On calculera ensuite to en utilisant une des quatre expressions suivantes:

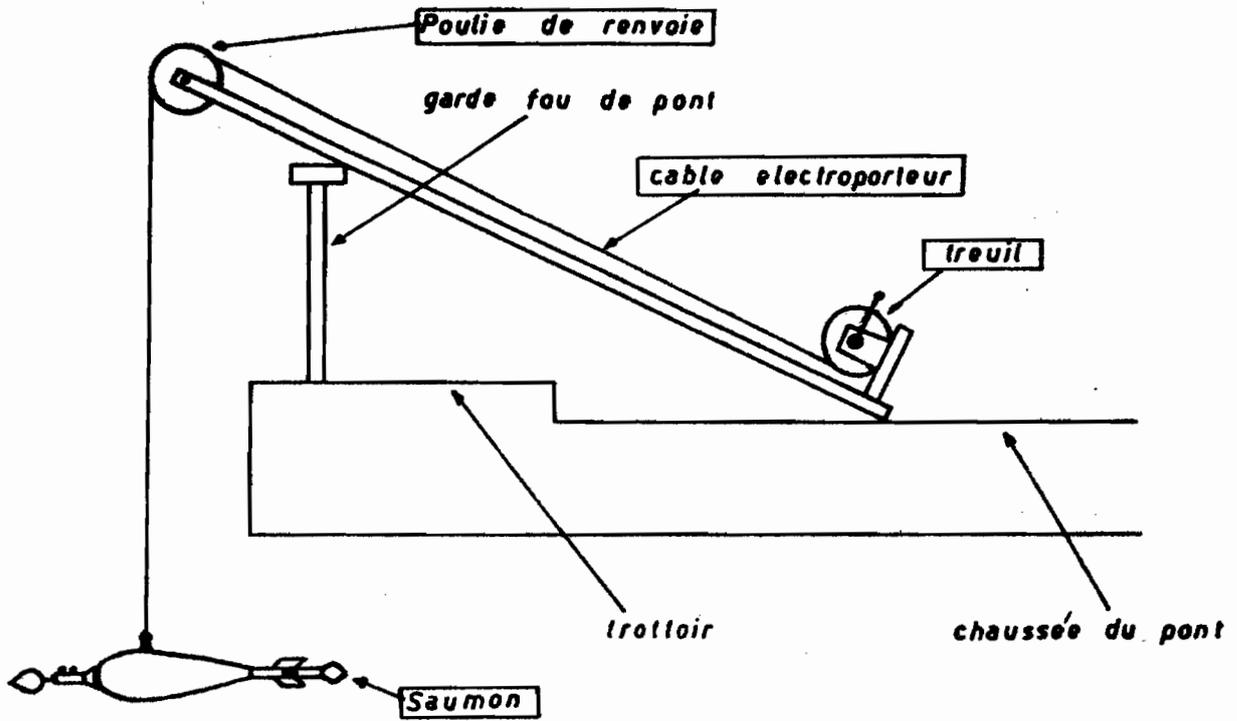
$$t_o = P + N - T + Hfo \quad \text{verticale en dehors de l'eau et} \\ N > T$$

$$t_o = P + T - N + Hfoa \quad \text{verticale en dehors de l'eau et} \\ T > N$$

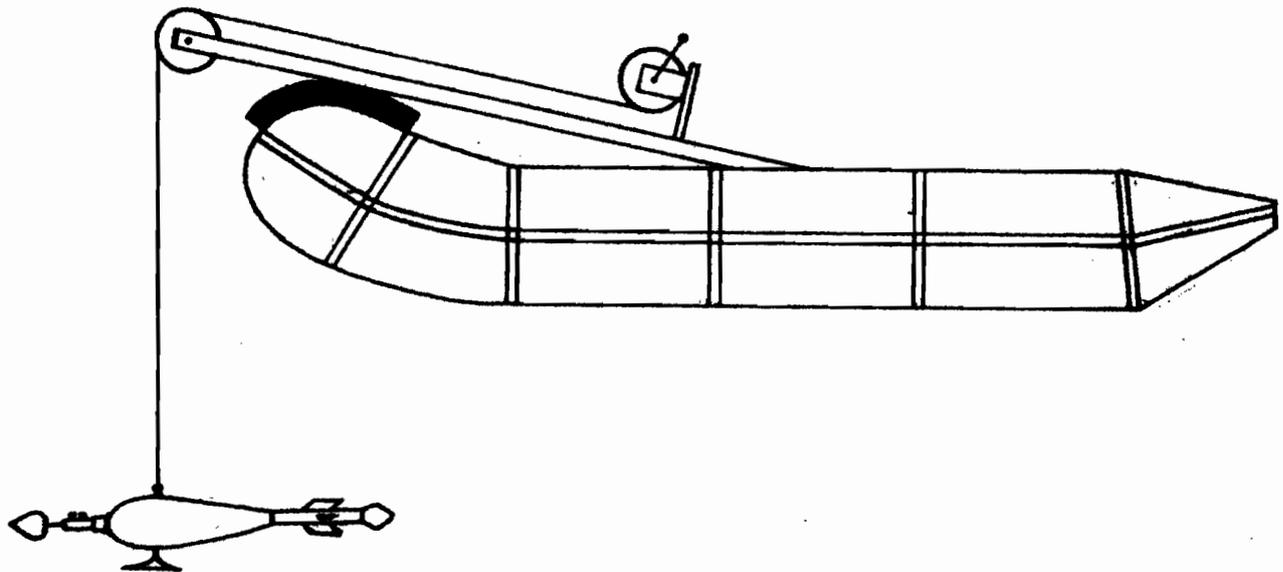
$$t_o = P + N - T + H \quad \text{verticale dans l'eau et} \\ N > T$$

$$t_o = P + T - N + H \quad \text{verticale dans l'eau et} \\ T > N$$

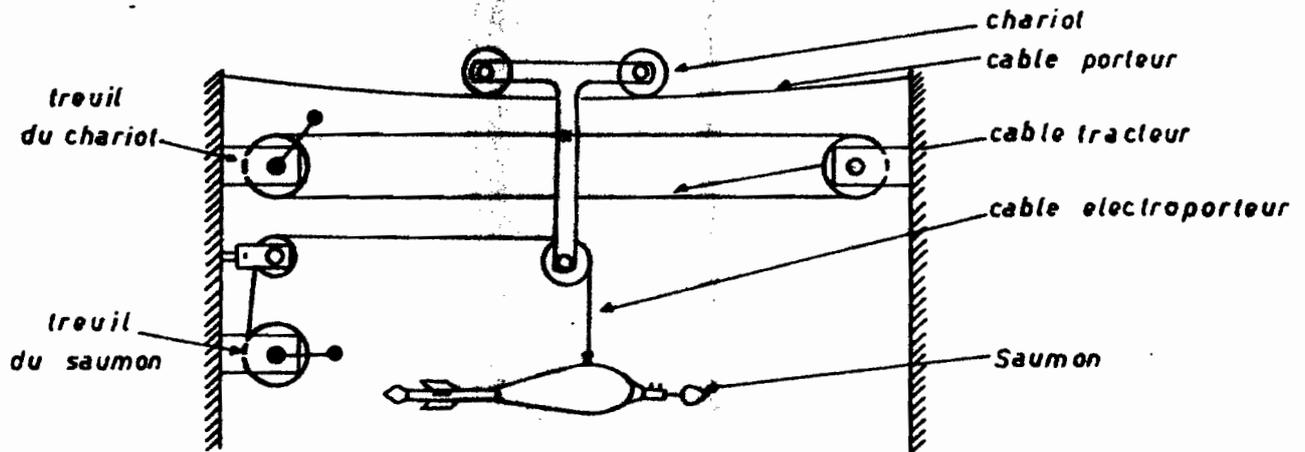
MOULINET SUSPENDU (SAUMON)



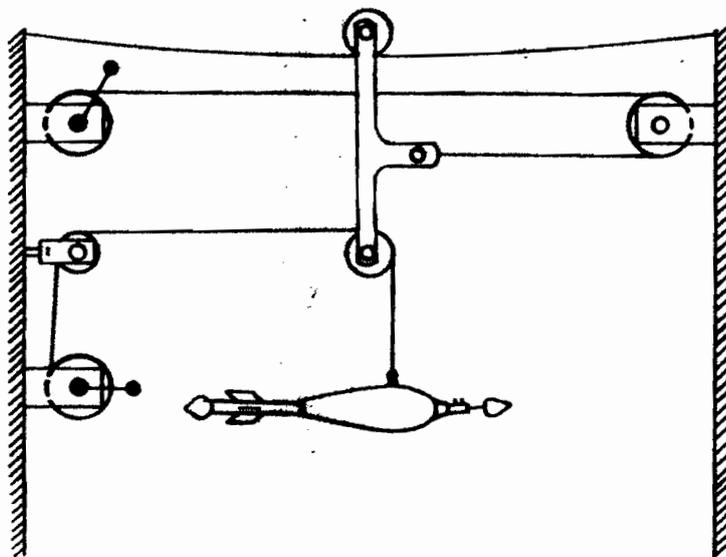
CANOT PNEUMATIQUE (MONTAGE POUR SAUMON)



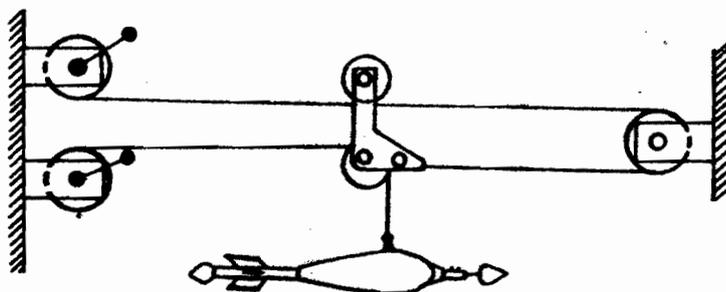
MOULINET SUSPENDU (SAUMON)



TELEPHERIQUE MONTAGE DOUBLE (SAUMON 100 kg - GRANDE PORTEE)

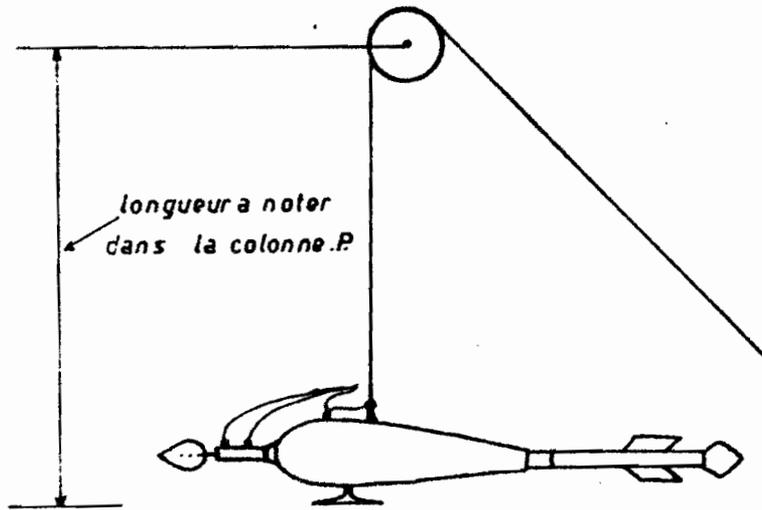


TELEPHERIQUE MONTAGE SIMPLE (SAUMON 50 kg - PORTEE MOYENNE)

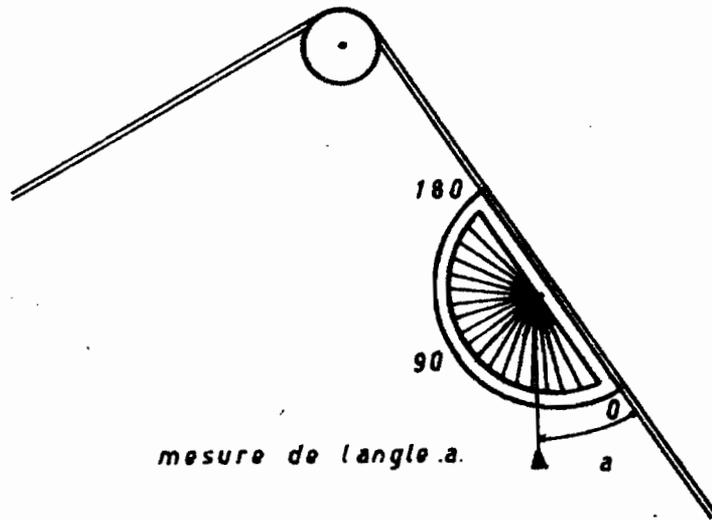


TELEPHERIQUE MONTAGE RUDIMENTAIRE (SAUMON 25 kg - PETITE PORTEE)

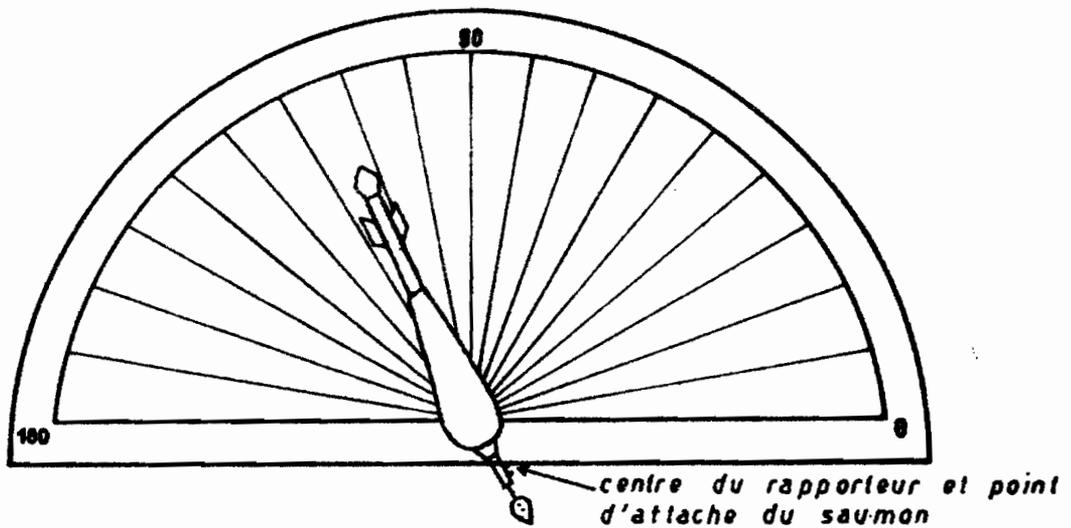
MOULINET SUSPENDU (SAUMON)



ANGLE VERTICAL OU ANGLE DE DERIVE (a)



REPERAGE DE L'ANGLE .b. OU ANGLE HORIZONTAL



centre du rapporteur et point d'attache du saumon

4-3-3-2-5 Petit matériel

En plus de tout le matériel spécifiquement hydrologique, il convient de disposer du matériel suivant lors d'une campagne de jaugeages de crue;

- graisse
- fil électrique souple deux conducteurs (réseau)
- rapporteur transparent
- niveau de maçon
- mètre pliant ou déroulant
- décamètre
- lampes torches
- piles électriques (réserve)
- lampe baladeuse sur véhicule
- bouteille, étiquette et bouchons pour prélèvements
- peinture à l'hule (3 couleurs) et pinceau
- barres à mines
- masse
- grenouilles
- câbles et cordes (gradués)
- lit de camp
- couverture
- eau potable
- nourriture

4-3-3-2-6 Jaugeages ponctuels et jaugeages par intégration

Dans tout ce qui précède et dans tout ce qui suit il n'est question que de jaugeages ponctuels: les mesures de vitesses se font en un certain nombre de points, le moulinet étant immobile pendant toute la mesure de la vitesse.

Il ne sera pas question du jaugeage par intégration qui consiste à mesurer des vitesses moyennes en faisant déplacer le moulinet lentement.

4-3-3-3 Consignes concernant le matériel

- 4-3-3-3-1 Le moulinet

- Toujours "faire le plein d'huile" avant de mettre le moulinet dans l'eau.
- Toujours "faire la vidange et le plein d'huile" après une mesure
- Nettoyer soigneusement toutes les pièces du moulinet après une mesure.
- Toujours transporter un moulinet dans sa boîte même pour un court déplacement
- Ne faire le montage qu'au dernier moment.
- La boîte du moulinet doit toujours être fermée pour éviter que la pluie ou le sable ne s'y accumulent.
- Eviter d'ouvrir un moulinet dans un vent de sable.
- Toujours choisir une hélice pour quelle fasse entre 1 et 10 tours par seconde.

- 4-3-3-3-2 Le treuil

- Ne monter le treuil sur le véhicule que lorsqu'il y a risque de crue.
Ce n'est pas la peine de le "promener"
- Ne jamais faire rouler un véhicule avec le treuil OTT monté sur son support tournant.
- Ne jamais tourner la manivelle d'un treuil quand le saumon n'est pas accroché au câble: vous risquez de "coincer" le câble dans les engrenages.
Au repos bloquer le tambour du treuil avec une ficelle.

- 4-3-3-3-3 Le saumon

- Ne jamais soulever un saumon en le prenant par la queue.
- Ne jamais transporter un saumon en dehors de sa boîte.
- Bien vérifier que le saumon se maintient horizontalement dans l'eau.

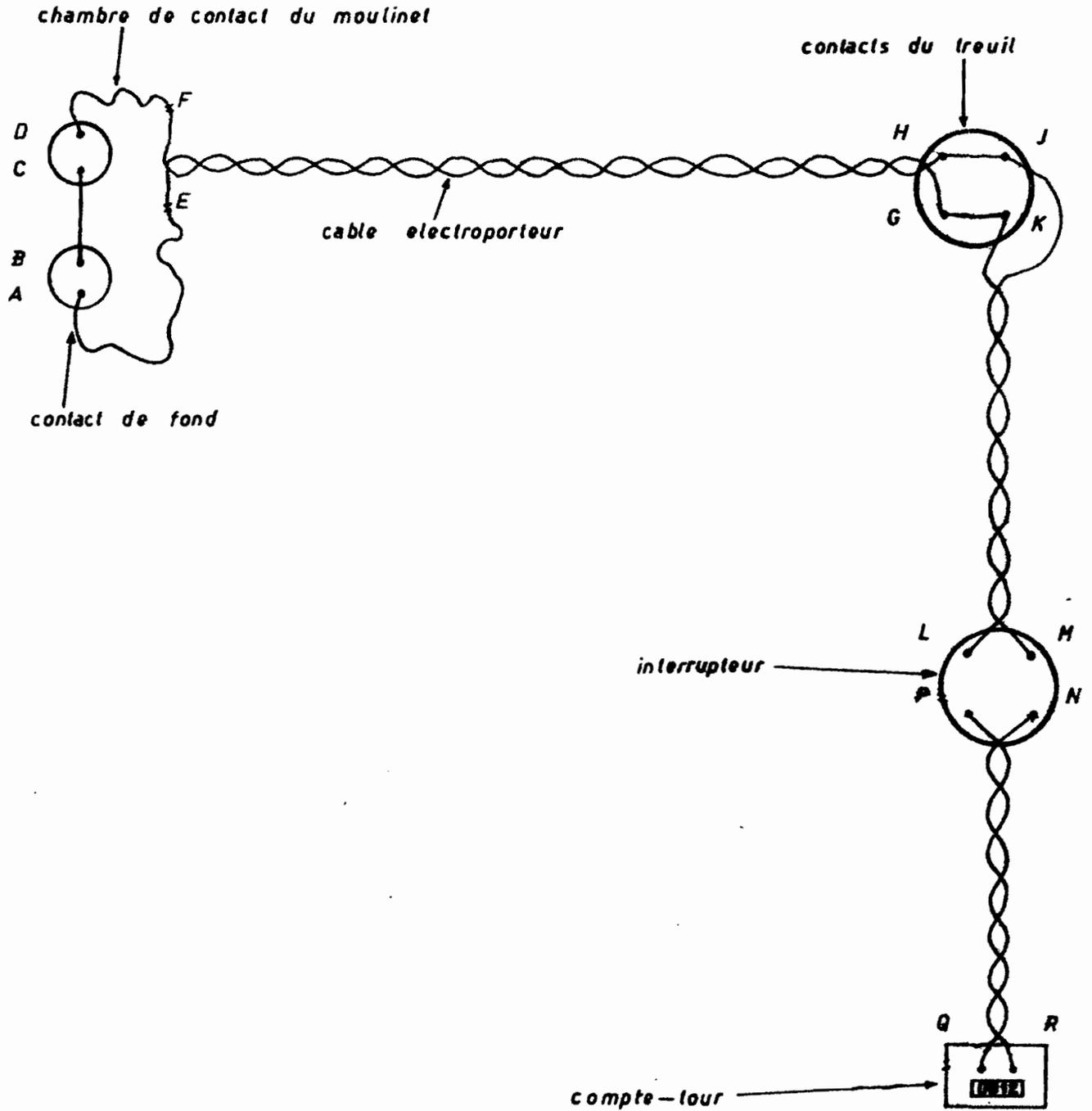
4-3-3-3-4 Recherche d'une panne dans le circuit électrique

Les pannes du circuit électrique constituent la source la plus courante d'échec. Avant de se lancer dans des "bricolages" plus ou moins désastreux il faut savoir repérer correctement la panne.

Avant de faire descendre le moulinet dans l'eau il faut s'assurer que le compte tour enregistre bien les tops du moulinet. S'il n'en est pas ainsi, il convient de procéder aux opérations suivantes:

- changer les piles du compte tour
- si la panne persiste débrancher le compte tour et provoquer des ouvertures ou fermetures du circuit électrique du compte tour en utilisant un fil métallique entre les points Q et R.
- si au cours de cette manoeuvre le compte tour ne fonctionne pas, prendre celui que vous devez avoir en réserve.
- si au cours de cette manoeuvre le compte tour fonctionne la panne se trouve plus "en amont"
- brancher directement le compte tour sur le moulinet en D et C et faire tourner le moulinet. Si le circuit ainsi formé donne satisfaction, la panne se trouve dans le câble électroporteur ou dans le treuil et il est souvent préférable de prendre immédiatement le câble électrique souple que vous devez avoir en réserve pour travailler sans utiliser le câble électroporteur dans le circuit électrique.
- si le circuit électrique donne satisfaction lorsque le moulinet est dans l'air et tombe en panne dès qu'il est dans l'eau, il est vraisemblable que l'eau est légèrement salée et qu'un fil électrique est mal isolé. On remède souvent à cette panne en mettant un peu de graisse sur les fils électriques ou un peu de colle du type sctoch (point F et E le plus souvent).
- si le circuit électrique du contact de fond crée des difficultés il est plus simple de débrancher ce dispositif (point A et B). On repérera le moment où le moulinet touche le fond à la tension du câble électroporteur.
- pour localiser une panne ne provenant ni du compte tour ni du moulinet il faut brancher le compte tour à la place du moulinet et faire artificiellement (fil électrique) des court-circuits aux différents points accessibles en commençant par les fiches de sortie du treuil.

RECHERCHE D'UNE PANNE DANS LE CIRCUIT ELECTRIQUE



4-3-3-3-5 Choix du matériel

Pour les petits débits on utilisera toujours un micromoulinet que l'on fixera si possible sur une perche horizontale.

Pour les autres débits on choisira parmi le matériel dont on dispose en suivant les principes suivants:

- Il est toujours préférable de jauger en utilisant une perche qui permet des repérages plus précis des positions du moulinet.

- Le moulinet glissant sur perche fixe est presque toujours le dispositif le plus correct.

- Si on ne peut pas jauger avec une perche on utilisera de préférence un saumon et un treuil sur bateau. Cette méthode permet d'avoir des tirants d'air très petits donc des erreurs très faibles. Elle permet également d'utiliser la meilleure section existante.

- Si le bateau n'est pas utilisable on jaugera avec un treuil à partir d'un pont.

- Si enfin aucune de ces solutions n'est utilisable on jaugera en utilisant un téléphérique.

Dans tous les cas il faut se souvenir

- qu'un moulinet est étalonné pour un équipement donné et que l'on fait une erreur de 2 à 3 % en utilisant sur un autre équipement.

- que le diamètre d'un câble immergé doit être le plus petit possible un saumon de 100 Kg fixé sur un câble de 6 mm à une trainée plus importante qu'un saumon de 25 Kg fixé sur un câble de 3 mm pour une même vitesse de l'eau.

- qu'un contact de fond peut provoquer une trainée importante et que dès que l'angle α (vertical) dépasse 20 degrés il est préférable de démonter ce dispositif qui sera avantageusement remplacé par l'indicateur de fond très simple donné sur la figure suivante. Lorsque le câble électroporteur est sous tension (saumon suspendu) la masselotte est en position haute. Dès que le câble se détend légèrement (saumon touchant le fond) la masselotte tombe.

- qu'une section de jaugeage de crue doit être préparée et que ce n'est pas lorsque le niveau de l'eau commence à monter qu'il faut penser à vérifier l'état du matériel, à porter les repères sur le pont ou sur les cables ou à chercher un court-circuit dans les cables.

- qu'un câble porteur de téléphérique doit toujours avoir une flèche d'environ 1 % (1 m pour 100 m de portée).

- qu'il faut toujours se tenir immobile lorsqu'on pratique des mesures en bateau.

- qu'il est toujours préférable de faire une mesure médiocre avec un matériel mal adapté que de ne pas faire de mesure du tout.

4-3-3-3-6 Contrôle de l'état d'un moulinet.

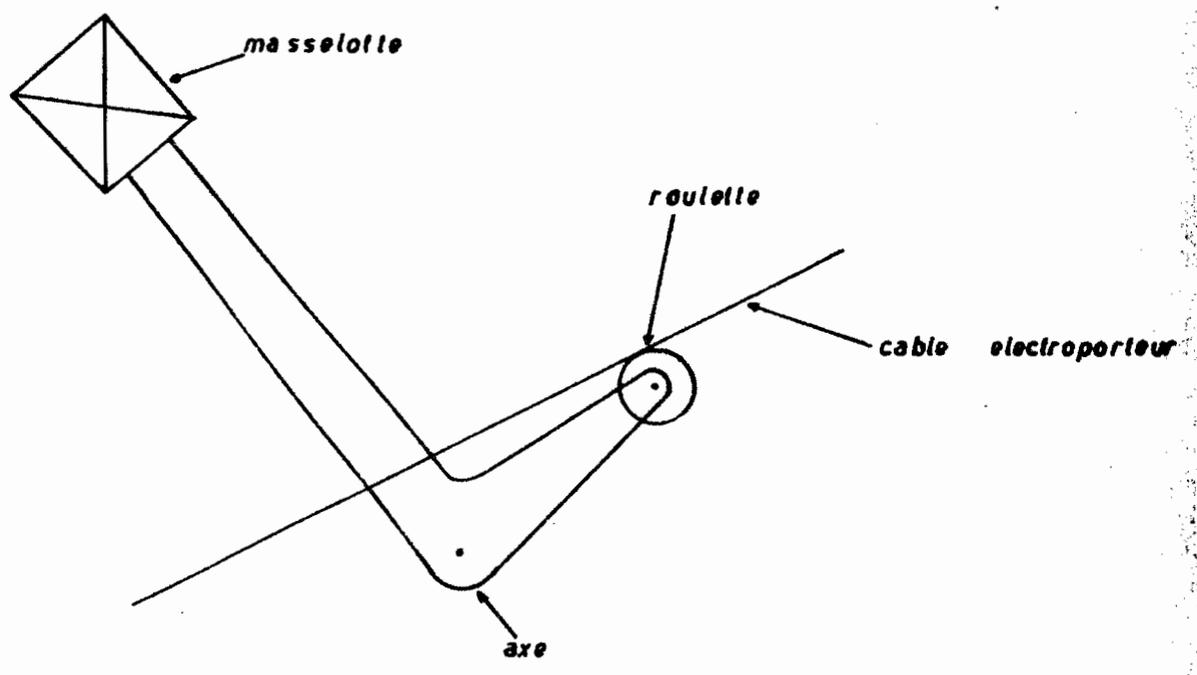
Il existe une méthode simple pour contrôler l'état mécanique d'un moulinet (qualité des roulements à billes et de l'axe).

- se placer dans un local à l'abri du vent et des courants d'air.
- brancher le compte-tour, maintenir l'hélice **immobile**, mettre le compte-tour au zéro.
- tenir fermement le moulinet horizontal
- faire en même temps les deux opérations suivantes :
 - 1) frapper l'hélice du doigt pour la faire tourner
 - 2) déclancher un chronomètre
- au bout de cinq secondes arrêter le compte-tour (nombre de tours N)
- attendre que l'hélice s'arrête seule et arrêter le chronomètre (temps total T)
- avec un moulinet neuf établir le graphique T (ordonnées) N en repetant une trentaine de fois la même opération en frappant avec une force variable.
- quand le moulinet est en mauvais état les points (N-T) obtenus ne se trouvent plus sur la courbe établie alors que le moulinet était neuf.

La courbe de référence devra être établie en deux exemplaires pour tous les moulinets neufs et conservées dans la caisse du moulinet d'une part et dans le dossier des barèmes d'étalonnage d'autre part (bureau de Tunis).

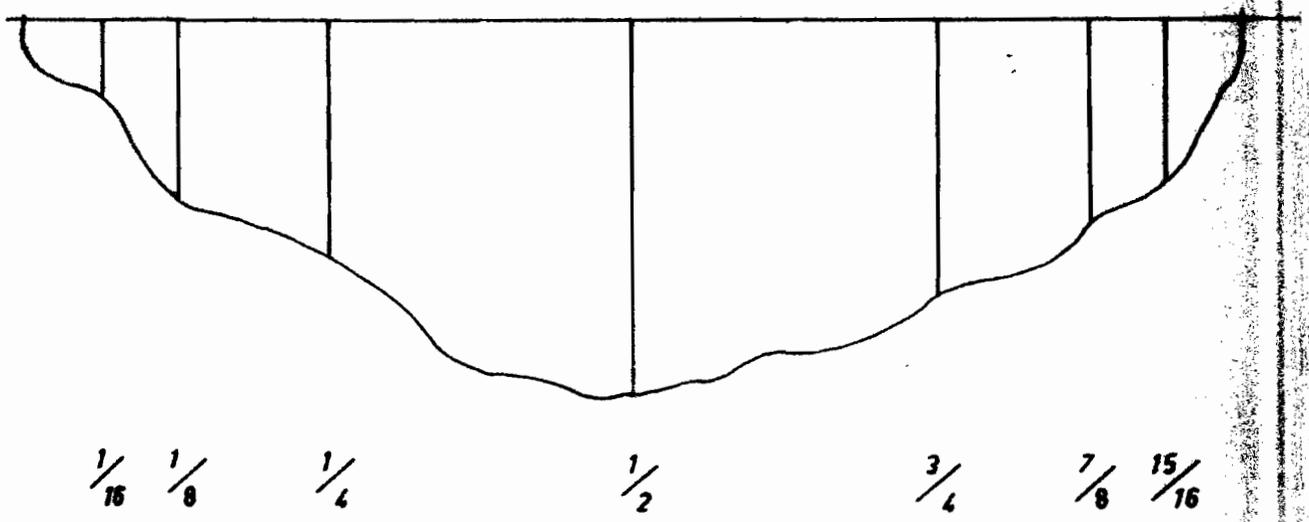
(Méthode communiquée par M. HORST de l'International Courses in Hydraulique and Sanitary Engnieuring, Delft.)

REPERAGE DU FOND — (E. D. F. GRENOBLE).



CHOIX DES VERTICALES

REGLE DES MILIEUX



4-3-3-4 Jaugeage Normal

On appelle jaugeage normal l'opération qui consiste à ne mesurer qu'une seule fois la vitesse de l'eau en différents points de cours d'eau.

Cette méthode ne peut être utilisée que lorsque le niveau de l'eau ne varie pas ou très peu pendant la mesure ce qui est ~~presque~~ exceptionnel en Afrique du Nord. Nous en faisons cependant l'exposé détaillé car les autres méthodes dérivent de celle-ci.

Les opérations spécifiques pour moulinet suspendu seront précédées du signe + et celles pour moulinet glissant sur perche fixe du signe o.

4-3-3-4-1 Opérations sur le terrain

Les différentes opérations sur le terrain sont les mêmes quel que soit le dispositif de mesure utilisé. Il est cependant bien évident que:

- l'angle α (angle horizontal) sera mesuré si on utilise un moulinet mobile sur perche ou un saumon.

Il est cependant impossible de mesurer cet angle si on utilise un moulinet mobile sur perche fixe ou un saumon.

Il est cependant impossible de mesurer cet angle si on utilise un téléphérique.

- le tirant d'air ne sera mesuré que si on utilise un treuil à partir d'un pont ou d'un bateau.

Le carnet de jaugeage utilisé devra comporter des cases pour noter les indications générales suivantes:

- 1) numéro du jaugeage
- 2) nom du cours d'eau
- 3) nom de la station
- 4) code de la station
- 5) date
- 6) marque et N° du moulinet
- 7) N° de l'hélice et diamètre
- 8) formule d'étalonnage de l'hélice (3 lignes)
- 9) dispositif utilisé (saumon - perche - cercle - protecteur)
- 10) R = nombre de tours par top
- 11) d = distance de l'axe de l'hélice
- 12) nom des opérateurs
- 13) unité de mesure des angles.

Il devra ensuite comporter 9 colonnes portant les indications suivantes:

- 1) h = heure et minute
- 2) H = hauteur à l'échelle
- 3) D = repère des distances
- 4) P = repère des profondeurs (ou câble déroulé)
- 5) N ou B = nombre de tours de tops
- 6) T = temps de la mesure
- 7) a = angle vertical
- 8) b = angle horizontal
- 9) observations

Toutes les longueurs seront exprimées en centimètres sur le carnet de jaugeage.

Il est préférable d'utiliser un carnet cartonné possédant des feuilles de deux couleurs alternées. On utilisera toujours une feuille de papier carbone pour obtenir deux originaux que l'on séparera immédiatement après la mesure et que l'on confiera à deux personnes et si possible à deux véhicules afin d'éviter les pertes.

Il est absolument interdit de recopier un jaugeage

4-3-3-4-1-1 Choix des verticales de mesure

Les mesures de vitesse sont faites sur des verticales que l'on choisira en respectant les principes suivants:

- selon la qualité de la section de jaugeage on utilisera de 5 à 9 verticales de mesure (parfois plus pour les section très larges).
- pour leur emplacement on appliquera la règle des milieux
 - une verticale au milieu entre les deux rives ($1/2$)
 - deux verticales au milieu entre le milieu et les deux rives ($1/4$ et $3/4$)
 - deux verticales au milieu entre ces dernières et les deux rives ($1/8$ et $7/8$)
 - deux verticales au milieu entre ces dernières et les deux rives ($1/16$ et $15/16$)
 - etc...

- Cette règle sera appliquée avec discernement car il faut également éviter, si possible, les zones de remous, ne pas multiplier les verticales dans les zones d'eaux mortes, décaler légèrement les verticales ainsi obtenues de façon à pouvoir les repérer par des chiffres ronds, penser que les verticales choisies doivent pouvoir être utilisables lorsque le niveau de l'eau (donc la largeur mouillée) aura changé.

- Si on utilise un pont à plusieurs arches, chaque arche doit être considérée comme une section de jaugeage indépendante.

4-3-3-4-1-2 Ouverture du carnet de jaugeage

Il est absolument indispensable de remplir les 13 cases prévues pour les indications générales. Si pour un jaugeage on doit utiliser plusieurs pages, les différentes pages doivent toujours comporter tous ces renseignements.

Rappelons que R (nombre de tours par top) se détermine en faisant tourner l'hélice à la main et en comptant le nombre de tours qui correspond à un top.

Rappelons que la mesure de d (distance de l'axe de l'hélice) a été expliquée pour chaque dispositif utilisé.

4-3-3-4-1-3 Repérage de la première rive

- Les mesures commencent par le repérage d'une rive.
- On notera l'heure (h) la hauteur à l'échelle (H) et dans la colonne D on notera le repérage de la rive (en centimètre).
- Il faut se méfier du "coup d'oeil" pour cette opération il est indispensable de placer la perche ou le saumon sur la rive pour la repérer correctement.
- Si la rive est verticale (bord de canal, petite falaise) on mesurera directement au mètre cette profondeur que l'on notera dans la colonne P.
- Noter la mention "Bord Rive droite" (ou gauche) dans la colonne "observation".

4-3-3-4-1-4 Opérations sur une verticale de mesure

- (+ opérations spécifiques pour le saumon o, pour la perche fixe).
- se placer sur la verticale
- noter l'heure (h) la hauteur à l'échelle (H) la distance (D)
- + mesurer la distance entre l'axe de la poulie et le bas du saumon, celui-ci étant suspendu. Noter le résultat en centimètres dans la colonne P (profondeur).
- + noter dans la colonne N ou B le nombre de centimètres indiqué par le compteur.
- + faire descendre le saumon jusqu'à affleurer la surface de l'eau. Noter dans la colonne T (temps) la nouvelle indication du compteur.
- + porter dans la colonne observation "tirant d'air".
- placer le moulinet en surface (axe de l'hélice à la surface de l'eau).
- noter la profondeur colonne P
- † mesurer et noter l'angle a
- ✓ mesurer et noter l'angle b
- noter la mention "surface" dans la colonne "observation"

Ne jamais faire de mesure de vitesse dans cette position

- placer le moulinet au fond
- noter dans la colonne P le nouveau repérage de la profondeur
- faire une mesure de vitesse
- noter le nombre de tops (colonne N ou B)
- noter le temps (colonne T)
- + mesurer l'angle α entre le câble et le fil à plomb et le noter.
- + pour un téléphérique cette mesure se fera en visant à travers le rapporteur transparent.
- noter " fond " dans la colonne "observations"
- faire approximativement la différence entre les deux valeurs de P notées (fond et surface). Diviser le résultat par cinq (multiplier par deux et diviser par 10). Ce dernier résultat vous donne approximativement la distance à adopter entre chaque point de mesure.
- Pour chaque point de mesure ainsi choisi il faut déterminer P; N ou B, T, α .
- pour chaque nouvelle verticale il ne faut jamais oublier de noter l'heure (h) la hauteur à l'échelle (H) la distance (D).

4-3-3-4-1-5 Repérage de la deuxième rive

- comme pour la première rive il faut se placer sur la rive
- noter l'heure (h) la hauteur à l'échelle (H) la distance (D).
- noter la mention "bord rive gauche" (ou rive droite) dans la colonne "observations".

Faire immédiatement un prélèvement en remplissant correctement l'étiquette.

- l'ensemble de toutes les opérations s'appelle "une traversée".

4-3-3-4-1-6 Exemple jaugeage du 28/1/1968 à Djedeida (Pont route (Mateur) sur la Medjerda.

Un jaugeage de démonstration a été fait en utilisant un treuil OTT fixé sur véhicule et un saumon de 50 Kg.

Le pont de Djedeida portait du coté aval des graduations tous les mètres.

La rive droite portait la graduation 1500 et la rive gauche la graduation 6000.

La règle des milieux nous aurait conduit aux sept verticales de mesures suivantes:

$(6000 + 1500) / 2 =$	3750	(1/2)
$(6000 + 3750) / 2 =$	4875	(3/4)
$(1500 + 3750) / 2 =$	2625	(1/4)
$(6000 + 4875) / 2 =$	5437	(7/8)
$(1500 + 2625) / 2 =$	2062	(1/8)
$(6000 + 5437) / 2 =$	5718	(15/16)
$(1500 + 2062) / 2 =$	1781	(1/16)

Nous avons donc choisi les valeurs suivantes:

1/2	3800
3/4	5000
1/4	2700
7/8	5500
1/8	2100
15/16	5800
1/16	1700 (voir graphique 4-3-3-4-2-11)

Lors des mesures il s'est averé que la verticale 5800 était dans des remous et qu'aucune mesure de vitesse n'était possible.

Les verticales 5500 et 5000 ont pu être mesurées correctement.

Sur la verticale 3800, lorsque nous avons mis le saumon en position surface, le saumon a été recouvert de brindilles que l'Oued transportait en grande quantité en son milieu. Cette verticale a donc été abandonnée et remplacé par deux verticales choisie de part et d'autre (3500 et 4500) aux endroits ou l'Oued transportait nettement moins de brindilles.

JAUGEAGE AU MOULINET

OUED: Medjerda MOULINET MARQUE: OTT N° 15581
 STATION: Djedeida pl. rte. Mateur HELICE N° 1 DIAMETRE: 12,5
 DATE: 22-1-68 CERCLE PROTECTEUR: non PERCHE: non SAUMON: 50 kg
 OPERATEURS: Elèves classe 6^eH Lycée Technique
 ETALONNAGE: $n < 0,72 \quad V = 0,2408 \quad n + 0,020$
 $n > 0,72 \quad V = 0,2630 \quad n + 0,004$

DEBIT . Q. 226,2 m³/s
 SECTION S. 125,1 m²
 LARGEUR L. 45,00 m
 PROF MOY. K. 2,00 m
 V. MOY. U. 1,75 m/s
 V. MOY SURF. Vms. 1,516 m/s
 V. MAX. V.M. 2,390 m/s
 $U/Vms. \quad 1,15 \quad U_{VM} \quad 0,73$
 RAY. HYD. 6,96 m

N.B. TOURS PAR TOP (R) = 1 DISTANCE DE L'AXE DE L'HELICE (d) = 17
 a: Angle Vertical ——— b: Angle Horizontal: Mesures en Degrés

Heure h	H	Distance D	Profond- eur P	Nom- bre NB	Tours T	a	b	OBSERVATIONS	n 1/s	V	Cor- air	Cor- eau	P' Profon- réelle
11.30	304	6 000	0					Bord rive gauche					
11.33		5 800	48	9946	8850		1144	Tirant d'air Zone de remous					
11.44	307	5 500	8834			0	45 à 110	Surface			0	0	8834
			8561	189	50	2		Fond	3,78	0,999	1	0	8562
			8610	239	50	2		PV = 2,42 m ² /s	4,78	1,280	1	0	8611
			8660	218	50	2		PV = 2,21 m ² /s	4,36	1,149	1	0	8661
			8710	147	50	1		ΔP = 289 cm	2,94	0,777	0	0	8710
			8760	88	50	1			1,78	0,467	0	0	8760
			8825	81	50	1			1,62	0,430	0	0	8825
11.56	311	5 000	8834			1	110	Surface			0	0	8834
			8505	275	50	5		Fond	5,50	1,450	4	0	8509
			8550	328	50	6		PV = 6,23 m ² /s	6,56	1,728	6	0	8558
			8610	383	50	6		PV = 5,94 m ² /s	7,68	2,020	6	0	8616
			8660	399	50	5		ΔP = 342 cm	7,98	2,104	4	0	8684
			8750	355	50	5			7,10	1,872	4	0	8754
			8810	294	50	3			5,88	1,560	2	0	8812
12.14	313	3 000	8840			5	110	Surface Verticale abandonnée-Bridgilles-					
12.18	316	4 500	8838			4	90 à 100	Surface			3	0	8841
			8490	277	50	9		Fond	5,54	1,468	14	1	8505
			8550	389	50	8		PV = 7,73 m ² /s	7,78	2,050	11	1	8562
			8610	434	50	11		PV = 7,67 m ² /s	8,88	2,286	21	1	8632
			8660	453	50	11		ΔP = 353 cm	9,06	2,388	21	1	8702
			8750	451	50	8			9,02	2,388	11	0	8762
			8800	441	50	7			8,82	2,324	8	0	8808
12.33	318	3 500	8842			2	95	Surface			1	0	8843
			8485	289	50	5		Fond	5,78	1,524	4	0	8489
			8550	359	50	8		PV = 7,42 m ² /s	7,18	1,892	11	1	8562
			8620	389	50	10		PV = 7,39 m ² /s	7,78	2,050	18	1	8639
			8700	408	50	8		ΔP = 371 cm	8,16	2,150	11	0	8711
			8780	403	50	6			8,06	2,124	6	0	8786
			8830	389	50	3			7,78	2,050	2	0	8832

N° 175

JAUGEAGE AU MOULINET

M Code 18

QUED: Medjerda MOULINET MARQUE: OTT N° 15501
 STATION: Djedeida pl. rte. Mateur HELICE N° 1 DIAMETRE: 12,5
 DATE: 28-1-68 CERCLE PROTECTEUR: non PERCHE: non SAUMON: 50 kg
 OPERATEURS: Elèves classe 6^eH Lycée Technique
 ETALONNAGE: $n < 0,72 \quad V = 0,240 \theta \quad n + 0,020$
 $n > 0,72 \quad V = 0,2630 \quad n + 0,004$

N.B. TOURS PAR TOP (R) = 1 DISTANCE DE L'AXE DE L'HELICE (d) = 17
 a: Angle Vertical ——— b: Angle Horizontal. Mesures en Degrés

Heure h	H	Distance D	Profond- eur P	Nom- bre Tours NB	Temps T	a	b	OBSERVATIONS
12.43	319	2700	8845			2	100	Surface
			8551	301	50	5		Fond
			8600	352	50	6		
			8660	377	50	7		
			8740	370	50	6		
			8830	328	50	2		
12.53	319	2100	8847			1	95	Surface
			8583	200	50	3		Fond
			8630	253	50	3		
			8680	285	50	4		
			8730	310	50	6		
			8780	306	50	3		
			8830	282	50	0		
13.04	319	1700	8849			0	95 à 100	Surface
			8648	152	50	1		Fond
			8680	180	50	2		
			8720	200	50	2		
			8770	212	50	2		
			8800	188	50	1		
			8835	152	50	0		
13.15	319	1500	0					Bord rive droite

4-3-3-4-2 Dépouillement

4-3-3-4-2-1 Préparation du carnet

Pour l'exposé chaque position du moulinet portera un n° i la lette s étant réservée à la station "surface, et f pour le fond.

La feuille du carnet de jaugeage ayant été détachée il faut lui coller la feuille de dépouillement de façon que les lignes se correspondent exactement.

On séparera ensuite par un trait horizontal les lignes relatives

+ au tirant d'air

- au repérage de la première rive

- aux mesures de la première verticale

- etc...

On encadrera pour chaque verticale les valeurs de P correspondant à la position surface.

La feuille collée comportera cinq colonnes :

1) nombre de tours par seconde (n)

2) vitesse (V)

3) correction air

4) correction eau

5) P' profondeur réelle

Il est préférable d'utiliser une encre de couleur différente pour le dépouillement.

4-3-3-4-2-2 Calcul du tirant d'air (t)

+ Cas d'un treuil mobile

A partir des valeurs portées dans la ligne "tirant d'air" effectuer les opérations:

$$t = N - T + P \quad \text{si } N > T$$

$$t = T - N + P \quad \text{si } N < T$$

+ Cas d'un téléphérique

Pour chaque verticale effectuer l'opération

$$t = t_0 - H$$

+ Dans les deux cas porter le résultat dans la colonne b.

4-3-3-4-2-3 Calcul du nombre de tours par seconde (n)

- pour chaque mesure de vitesse calculer

$$N = R.B \text{ et } n = N/T = R.B / T$$

- inscrire le résultat dans la même ligne dans la colonne n

4-3-3-4-2-4 Calcul des vitesse (V)

- en utilisant soit les formules d'étalonnage inscrites sur le carnet de jaugeage, soit un barème donnant V en fonction de n, soit un tableau à double entrée donnant V en fonction de N et T déterminer pour chaque mesure la valeur de V.

- inscrire le résultat en m/s dans la colonne V.

4-3-3-4-2-5 Correction air (C_i^a)

Pour chaque position du moulinet effectuer le produit $t \left(\frac{1}{\cos a} - 1 \right)$ et porter le résultat dans la colonne "correction air".

Les valeurs de $\left(\frac{1}{\cos a} - 1 \right)$ sont données dans une table (verte) à la fin du chapitre 4-3-3

4-3-3-4-2-6 Correction eau (C_i^W)

Pour la position "surface", la correction est nulle.

Pour les autres positions du moulinet effectuer les opérations suivantes:

$$P_i - C_i^a + C_s^a - P_s \quad \text{si } P_s < P_f$$

$$P_s + C_s^a - C_i^a - P_i \quad \text{si } P_s > P_f$$

Multiplier le résultat par la valeur de K trouvée dans la table (verte)

$$C_i^W = (P_i - C_i^a + C_s^a - P_s) \cdot K \quad \text{si } P_s < P_f$$

$$C_i^W = (P_s - C_s^a - C_i^a - P_i) \cdot K \quad \text{si } P_s > P_f$$

Porter les valeurs obtenues dans la colonne "correction eau".

4-3-3-4-2-7 Profondeur réelle (P')

+ Si le compteur additionne quand le saumon monte, $P_s > P_f$, les valeurs de P sont trop faibles.

$$P' = P + C_i^a + C_i^W$$

+ Si le compteur additionne quand le saumon descend, $P_s < P_f$, les valeurs de P sont trop grandes.

$$P' = P - C_i^a - C_i^W$$

- Si $a = 0$ ou si on travaille avec une perche.

$$P' = P$$

4-3-3-4-2-8 Débits laminaires (PV ou P'V)

- prendre une feuille de papier millimétré

- porter dans la marge en haut et à droite l'identité du jaugeage (Oued station - Code - Date).

- choisir dans le sens des ordonnées une représentation telle que le segment Ps Pf entre 5 et 15 centimètres.

- choisir dans le sens des ordonnées une représentation telle que la vitesse la plus forte soit représentée par un segment de 5 à 15 centimètres.

+ pour chaque mesure de vitesse placer un point ayant en abscisse V et en ordonnée P ou P'.

- tracer une horizontale pour la valeur Ps en ordonnées.

- placer à la même échelle que les ordonnées, un segment représentant la distance de l'axe de l'hélice (d) en dessous du point Pf.

- à partir du point ainsi obtenu tracer une horizontale.

- tracer une courbe aussi régulière que possible passant par tous les points de vitesses et rencontrant la ligne surface et la ligne fond.

- écrire à l'intérieur, en haut à gauche de la surface ainsi obtenue la distance (D = 2500) les hauteurs à l'échelle du début de la verticale et du début de la verticale suivante (H = 129/131) l'heure du début de la verticale et du début de la verticale suivante (h = 11h 30 - 11h 47).

- dessiner un carré de 1 cm de côté. Sur le côté parallèle aux abscisses porter la valeur de la vitesse (m/s) représentée par 1 cm sur le côté parallèle aux ordonnées porter la longueur (en m) représentée par 1 cm et sur la diagonale du carré porter la valeur du produit laminaire, en m²/s représentée par l'aire du carré.

- planimétrer la surface dessinée et inscrire le résultat dans la figure (s = 117 cm²).

- convertir le résultat en m²/s et inscrire le nouveau résultat dans la figure d'une part et dans la colonne observation de la feuille de jaugeage d'autre part.

$$P' V = 7,34 \text{ m}^2/\text{s}$$

4-3-3-4-2-9 Angle horizontal

o multiplier le résultat par sin b et inscrire le résultat au-dessous du précédent.

$$P' V' = 6,98 \text{ m}^2/\text{s}$$

Si l'angle b varie on aura noté les deux valeurs extrêmes b₁ et b₂

• si 90° n'est pas entre b₁ et b₂

$$P' V' = P' V \frac{\sin b_1 + \sin b_2}{2}$$

• si le 90° est entre b₁ et b₂

$$P' V' = P' V \frac{2 + \sin b_1 + \sin b_2}{2}$$

4-3-3-4-2-10 Calcul du débit

- Sur une autre feuille de papier millimétré tenue horizontalement tracer une ligne horizontale séparant la feuille en deux parties égales.

- Choisir les graduations des distances de façon à utiliser la plus grande partie de la largeur de la feuille.

- Placer le point Bord-Rive Gauche de préférence à gauche.

- Repérer les différentes verticales de mesures.

- Dans la partie supérieure de la feuille choisir une graduation pour que la plus forte valeur $P' V'$ se trouve en haut de la feuille.

- Tracer la "courbe du débit" reliant le plus régulièrement possible ces points en tenant compte des observations faites pendant la mesure (zones d'eaux mortes - remous).

- Dessiner un carré de 1 cm de côté. Sur le côté parallèle aux abscisses indiquer le nombre de m que représente un cm. Sur le côté parallèle à l'axe des ordonnées indiquer le nombre de m^2/s que représente un cm.

Sur la diagonale du carré indiquer le nombre de m^3/s que représente un cm^2 .

- Planimétrer la "courbe du débit"

- Inscrire le résultat s en centimètre carrés

- Convertir le résultat en m^3/s et inscrire le nouveau résultat d'une part dans la "courbe du débit" et d'autre part sur la feuille de dépouillement.

4-3-3-4-2-11 Exemple - Dépouillement du jaugeage du 28/1/1968
à Djedeida (Pont Route Mateur) sur la Medjerda

Le dépouillement a été fait en suivant la méthode exposée au chapitre 4-3-3-4-2.

Sur la feuille de dépouillement on pourra remarquer que malgré un tirant très important $t = 1144$ cm les corrections air sont faibles tant que l'angle est inférieur à 8° et deviennent importantes pour des valeurs supérieures.

La correction eau est par contre toujours très faible et négligeable.

Les courbes des débits laminaires ont des formes très régulières. Seule la première verticale mesurée ($D = 5500$) a une forme anormale puisque les vitesses sont très faibles dans la moitié supérieure et assez fortes dans la partie inférieure. On se souviendra que la première verticale prévue ($D = 5800$) n'a pu être mesurée, les remous étant trop importants. On aura pu remarquer au cours de la mesure que ces remous sont dus à des branches d'eucalyptus qui gênent l'écoulement à la surface de l'Oued.

La courbe du débit a également une forme très régulière. Elle se ferme dans la partie gauche entre 5500 et 5800 et non pas exactement sur le point 6000 (Bord rive gauche).

4-3-3-4-3 Calculs complémentaires

Lorsque le jaugeage est une mesure de débit détiage, ou lorsqu'il s'agit d'un jaugeage de contrôle sur une station étalonnée et stable, le dépouillement s'arrête après la détermination du débit.

Cependant sur une station complète non encore étalonnée (ou sur une station instable) un jaugeage de crue nous permet de déterminer les grandeurs suivantes:

- Section mouillée (S en m²)
- Profondeur moyenne (K en m)
- Largeur de l'Oued (L en m)
- Vitesse moyenne (U en m/s)

De plus sur les stations expérimentales on déterminera :

- Vitesse moyenne de surface (V ms en m/s)
- Vitesse maxima (V M en m/s)
- Rapport U / VM
- Rapport U / VMc
- Rapport hydraulique

4-3-3-4-3-1 Cas d'un jaugeage sur station complète

4-3-3-4-3-1-1- Section mouillée

- Pour chaque verticale effectuer l'opération:

$$\Delta P' = P's - P'f + d \quad \text{si } P's > P'f$$

$$\Delta P' = P'f - P's + d \quad \text{si } P'f > P's$$

- Porter ces valeurs dans la colonne observation
- Sur le graphique de la "courbe du débit" et dans la partie inférieure choisir une unité telle que la plus grande valeur de $\Delta P'$ représentée par la plus grande longueur possible.
- Graduer alors l'axe des ordonnées du haut vers le bas.
- Porter aux deux rives les profondeurs indiquées par dans la colonne P.
- Porter pour chaque verticale les longueurs calculées $\Delta P'$.
- Relier tous les points par des segments de droite.
- Le graphique ainsi obtenu doit être contrôlé par des opérations fréquentes de nivellement. Ceci permet d'une part de vérifier que les repérages de profondeur et que les différentes correction air et eau sont correctes et d'autre part de s'assurer de la stabilité de la station.

- Planimétrer et indiquer le résultat dans la surface ($s_S = 117 \text{ cm}^2$).
- Tracer un carré de 1 cm de côté et indiquer la longueur (en m) que représente chaque centimètre en abscisse et en ordonnée. Indiquer la surface (en m^2) que représente le carré.
- Convertir s et inscrire le résultat ($S = 234 \text{ m}^2$) d'une part sur le graphique d'autre part sur la feuille de dépouillement .

4-3-3-4-3-1-2 Largeur

- Faire la soustraction entre les repérages des distances des bords rive droite et rive gauche (ou vice-versa).
- Porter le résultat (en m) sur la feuille de dépouillement.

4-3-3-4-3-1-3 Profondeur moyenne

- Effectuer le rapport

$$K = S/L$$

- Porter le résultat (en m) sur la feuille de dépouillement.

4-3-3-4-3-1-4 Vitesse moyenne

- Effectuer le rapport

$$U = Q/S$$

$Q \text{ en } \text{m}^3/\text{s}$
 $S \text{ en } \text{m}^2$
 $U \text{ en } \text{m}/\text{s}$

- Porter le résultat - (en m/s) sur la feuille de dépouillement.

4-3-3-4-3-2 Cas d'une station expérimentale

4-3-3-4-3-2-1 Vitesse moyenne de surface

- On utilisera pour cette détermination le résultat des mesures de vitesse effectuées dans la position la plus proche de la surface (si on respecte l'ordre des mesures du chapitre 4-3-3-4-1-3, cette mesure est la dernière effectuée sur chaque verticale).

- Sur le même graphique que la "courbe du débit" on tracera la "courbe de la vitesse de surface".

- Planimétrer la surface ainsi obtenus, soit s_v (en cm^2) le résultat obtenu que l'on portera sur la graphique.

- Diviser ce résultat par la largeur (en cm) du graphique entre les deux points bord rive droite et bord rive gauche. On obtient un nombre qui exprime une longueur en cm.

- Porter cette longueur sur l'axe des ordonnées gradué en vitesse (m/s). Lire la vitesse correspondante et porter le résultat dans la surface et sur la feuille de dépouillement.

4-3-3-4-3-2-2 Vitesse maxima

- Relever la vitesse la plus forte parmi toutes celles qui ont été mesurées au cours du jaugeage.

- L'inscrire sur la feuille de dépouillement (m/s).

4-3-3-4-3-2-3 Rapport U / U_{ms} et U / V_m

- Ces deux rapports s'effectuent à partir des trois dernières valeurs inscrites sur la feuille de dépouillement.

- Les valeurs obtenues sont sans unité puisqu'il s'agit de rapport entre deux grandeurs exprimées dans la même unité.

4-3-3-4-3-2-4 Rapport Hydraulique

- Le rayon hydraulique est le rapport entre la section mouillée et le périmètre mouillée (résultat exprimé en m).

- La section mouillée est déjà connue.

- Le périmètre mouillé sera déterminé, en mesurant la longueur correspondant à l'aide d'un curvimètre sur un graphique représentant le profil en travers de la section de jaugeage. Ce profil devra être contrôlé par des opérations de nivellement.

Il est absolument obligatoire que les profondeurs et les largeurs soient représentées avec la même échelle sur ce graphique.

4-3-3-5 Jaugeage continu par verticale

Le but des mesures de débit étant d'établir une courbe d'étalonnage de la station hydrométrique, il est important de pouvoir faire correspondre un débit à une cote à l'échelle. L'exemple du jaugeage effectué le 22/1/1968 montre que ce but n'a pas été atteint puisque le débit obtenu correspond à une cote à l'échelle variant entre 307 et 319. On n'obtient pas un point sur la courbe d'étalonnage mais un segment de droite à l'intérieur duquel devra passer la courbe d'étalonnage. Ce jaugeage a pourtant été fait sur la station à plus en aval de l'Oued le plus important de Tunisie qui présente les crues les plus lentes.

Il est donc indispensable de disposer d'une méthode mieux adaptée aux Oueds d'Afrique du Nord: le jaugeage continu.

4-3-3-5-1 Opérations sur le terrain

Toutes les opérations sur le terrain sont strictement les mêmes que pour un jaugeage normal sauf en ce qui concerne le choix des verticales et la conduite des mesures.

4-3-3-5-1-1 Choix des verticales

- Pour un jaugeage normal, le choix des verticales est libre. On peut en arrivant sur la station appliquer la "règle des milieux" avec une certaine liberté, en prenant pour base des estimations la position des deux rives.

- Pour un jaugeage continu il est impératif de faire un choix définitif des verticales pour chaque station et de ne plus jamais en changer d'une campagne de mesure à l'autre.

- Ce choix se fera en appliquant la règle des tiers et en utilisant un profil en travers de la section de jaugeage obtenu par nivellement.

- On commencera par délimiter la ~~surfacere~~explorable par le moulinet en translatant le tracé du fond de l'Oued d'une longueur "d" (distance de l'axe de l'hélice) vers le haut. La valeur de d variant selon l'équipement, on pourra adopter la valeur moyenne de 20 cm.

- On représentera le niveau de l'eau pour certaines cotes à l'échelle limnimétrique (200,300 ...)

- Pour la cote la plus basse correspondant déjà à une petite crue on divisera la largeur mouillée en trois parties. On obtient ainsi les deux verticales centrales.

- Entre ces verticales et les deux rives on choisira deux verticales approximativement aux tiers.

- En conservant toujours les verticales centrales on choisira ensuite les verticales pour les niveaux supérieurs en s'efforçant d'obtenir 6 ou 8 verticales pour chaque cote, de prendre deux nouvelles verticales et d'en abandonner deux à chaque changement de niveau,

- Le choix étant ainsi fait en présentera le résultat sur un "tableau des verticales" dont on laissera un exemplaire à la station même (abri du limnigraphe).

TABLEAU DES VERTICALES

D	1400	1500	1600	1700	1750	1850	2000	2300	2450	1550	1600	2700	1800	1900
H														
500	X	X	X				X	X				X	X	X
400		X	X	X			X	X			X	X	X	
300			X	X		X	X	X	X		X	X		
200					X	X	X	X	X	X				

- Il est bien évident que si la largeur de l'Oued ne varie pas (ou très peu) lorsque le niveau de l'eau varie on pourra conserver les mêmes verticales quelque soit la cote à l'échelle.

4-3-3-5-1-2 Conduite des mesures

- Les verticales ayant été choisies, les mesures se feront comme pour un jaugeage normal.

- On commencera à une rive, sans oublier d'en repérer correctement la distance (D) et on fera les mesures de vitesse conformément au "tableau des verticales".

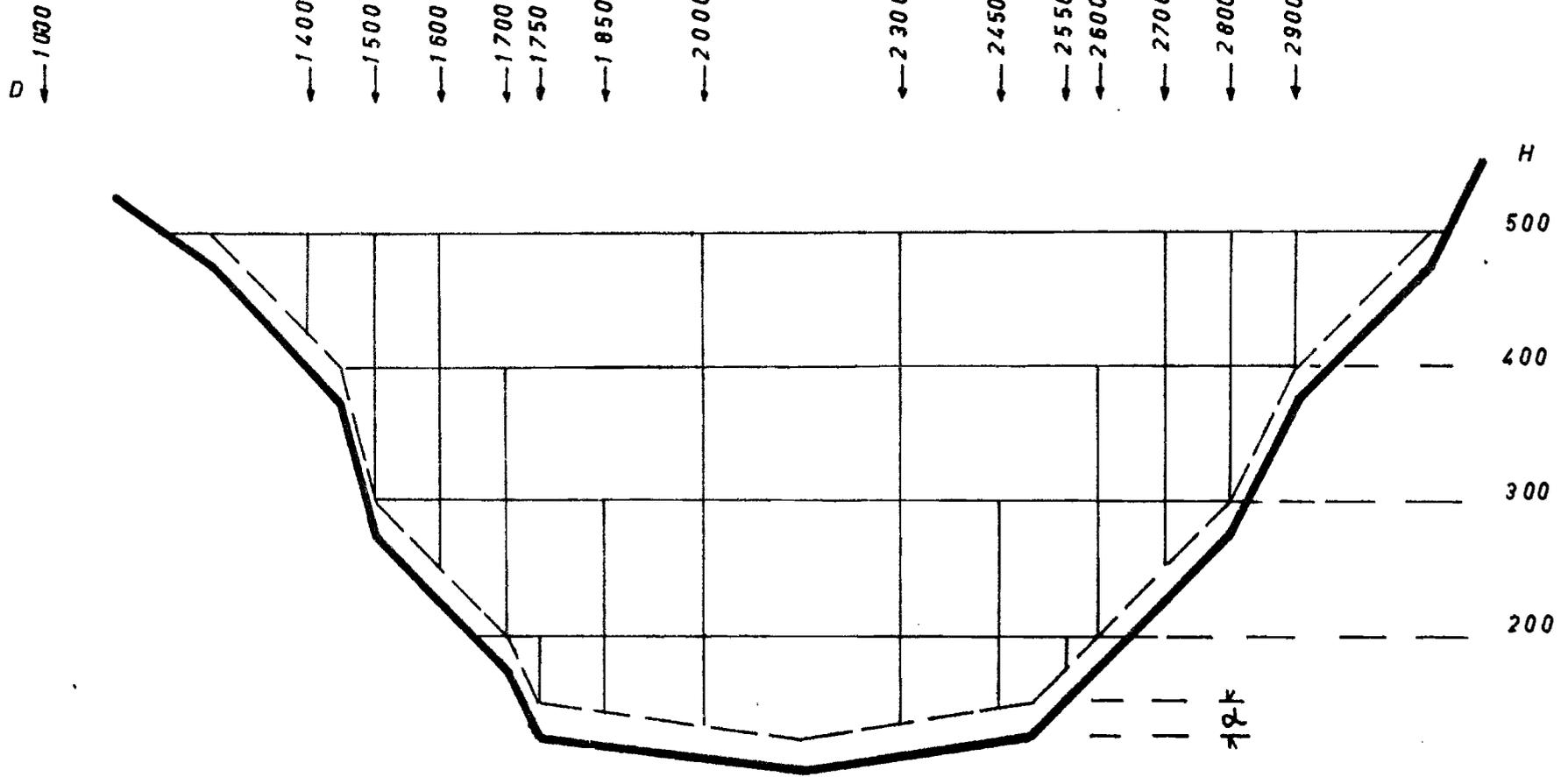
- Si au cours d'une traversée la cote à l'échelle passe d'une ligne à l'autre du tableau on devra prendre les verticales de la nouvelle ligne.

- Si au cours de la traversée la cote à l'échelle a varié de plus de 5 cm on recommencera immédiatement la même opération, en remesurant les verticales dans le même ordre que la première fois.

- Le travail devra se poursuivre tant que la cote à l'échelle varie en réglant le rythme du travail de façon à obtenir (si possible) une traversée à chaque fois que la cote à l'échelle varie de 10 cm.

CHOIX DES VERTICALES POUR UN JAUGEAGE CONTINU

REGLE DES TIERS



4-3-3-5-2 Dépouillement

Les notations sur le carnet de jaugeage sont exactement les mêmes que pour un jaugeage normal. Les premières opérations de dépouillement sont également exactement les mêmes et on se reportera aux chapitres précédents pour:

- Préparation du carnet (4-3-3-4-2-1)
- Calcul du tirant d'air (4-3-3-4-2-2)
- Calcul du nombre de tours par seconde (4-3-3-4-2-3)
- Calcul des vitesses (4-3-3-4-2-4)
- Correction air (4-3-3-4-2-5)
- Correction eau (4-3-3-4-2-6)
- Profondeur réelle (4-3-3-4-2-7)
- Débits laminaires (4-3-4-2-8)
- Angle horizontal (4-3-3-4-2-9)

La suite des calculs devient différente à partir du moment où l'on a déterminé les valeurs $P' V'$ pour toutes les verticales.

4-3-3-5-2-1 Cote du fond

Après avoir calculé $P'V'$ et $\Delta P'$ on calculera la cote du fond pour chaque verticale.

$$H_f = H - \Delta P'$$

H étant la cote à l'échelle au moment du repérage du fond.

On portera ce résultat sous $P'V'$ sur la feuille de jaugeage.

4-3-3-5-2-2 Premier tableau des débits laminaires.

- Etablir un tableau comportant autant de colonnes plus quatre qu'il y a de verticales prévues sur la section de jaugeage (tableau de verticales).
- La première colonne sera réservée à la date.
- La deuxième colonne sera réservée à la nature des valeurs rassemblées, $P'V'$ (m^2/s), H (cm) h (heures et minutes) H_f (cm), $P'V''$ (m^2/s), V_g (m/s).
- La troisième colonne sera réservée au Bord Rive gauche.
- La dernière colonne sera réservée au Bord Rive droite.
- Les autres colonnes porteront chacune le repérage de la distance d'une verticale de mesure.
- Sur la première ligne on portera la cote du fond de chaque verticale obtenue par nivellement (H_{fo}) sans oublier de mentionner la date de cette détermination.
- Pour chaque traversée effectuée on utilisera cinq lignes (six pour une station expérimentale).
- Après avoir indiqué la date, on portera pour chaque verticale mesurée la valeur du débit laminaire ($P'V'$) puis les cotes à l'échelle (H) puis les heures et minutes (h) puis la cote du fond (H_f).

PREMIER TABLEAU DES DEBITS LAMINAIRES

OUED: Manarache - STATION: El Bled - CODE: R-17

Date	BRG	1400	1500	1600	1700	1750	1850	2000	2300	2450	2550	2600	2700	2800	2900	BRD
5-7-1920	Hfo	400	275	225	175	125	120	110	110	120	150	175	225	275	375	
14-2-1921	P'V'	1480	0	0,653	1,706			3,584	4,150			4,233	3,701	1,551		2840
	H	350	305	306	306			307	309			311	314	316		319
	h	1h00	1h05	1h15	1h25			1h35	1h45			1h55	2h05	2h20		2h35
	Hf	o	1h15	1h25	1h35			1h45	1h55			2h05	2h20	2h30		0
	P'V''		274	226	175			108	111			174	226	275		
14-2-1921	P'V'	1475	0,198	1,070	2,034			4,087	4,650			4,695	4,210	2,450		2860
	H	324	324	326	326			327	328			330	331	332		333
	h	2h50	2h50	2h55	3h00			3h07	3h15			3h25	3h40	3h40		4h05
	Hf	o	2h55	3h00	3h07			3h15	3h25			3h40	3h50	4h00		0
	P'V''		275	224	175			110	110			175	225	276		
14-2-1921	PV'	1465	0,853	1,695	2,610			5,170	5,804			5,877	5,630	4,840		2895
	H	243	346	348	351			354	357			360	363	366		372
	h	6h00	348	351	354			357	360			363	366	369		6h50
	Hf	o	6h05	6h10	6h15			6h20	6h25			6h30	6h35	6h40		0
	P'V''		6h10	6h15	6h20			6h25	6h30			6h35	6h40	6h45		
			276	224	174			110	111			176	226	277		
14-2-1921	P'V'	1420	2,750	3,845	5,033			7,720	5,880			8,830	8,545	8,093	5,510	2995
	H	390	393	397	400			403	406			410	413	416	418	423
	h	7h15	397	400	403			406	410			413	416	418	421	8h10
	Hf	o	7h20	7h25	7h30			7h35	7h40			7h45	7h50	7h55	8h00	8h10
	P'V''		7h25	7h30	7h35			7h40	7h45			7h50	7h55	8h00	8h05	0
			276	226	175			111	210			176	226	274	375	

- Pour les bords on portera au niveau de P'V' la valeur du repérage de la distance (D), on notera ensuite H et h et on portera au niveau de Hf la valeur de la profondeur mesurée.

- Tous les résultats de mesure seront rassemblés dans ce tableau quelqu'en soit la date sans oublier les différents nivellements effectués.

4-3-3-5-2-3 Contrôle de la stabilité de la section de jaugeage

- Si la section de jaugeage est parfaitement stable on doit trouver la même valeur de Hf pour toutes les mesures sur une même verticale (une même colonne dans le tableau). On doit d'autre part contrôler que les repérages des rives au cours des jaugeages correspondent bien au profil en travers du cours d'eau.

- Si Hf n'a pas toujours la même valeur pour une même verticale il faut d'abord vérifier qu'il n'y a pas d'erreur de calcul ou une erreur évidente dans un repérage de profondeur. Dans ce dernier cas il y aura lieu de reprendre le calcul du débit laminaire correspondant.

- Si le jaugeage est fait en utilisant un saumon suspendu, de petites variations de Hf sont inévitables puisque le saumon touche le fond du cours d'eau non pas exactement au droit de la section de jaugeage mais à une distance variable en aval. La cote de ces points peut être légèrement différente de la cote du fond sur la section obtenue par nivellement. Il n'y a pas lieu dans ce cas de procéder à des corrections.

- Si l'on constate que les différentes opérations de nivellement prouvent la stabilité de la section (Hfo constant) et que cependant les valeurs de Hf pour chaque verticale varient dans des proportions non négligeables il est vraisemblable que les corrections air et les corrections eau ne sont pas satisfaisantes. (tirant d'air trop grand). On procédera alors à la correction suivante.

$$P' V'' = P' V' \cdot (H - Hfo) / (H - Hf)$$

On inscrira le résultat en cinquième ligne.

- Si pour toutes les verticales les valeurs de Hf changent à un moment donné (on change plusieurs fois à des moments que l'on peut localiser) la station a changé d'étalonnage à ce moment là et nous avons une station presque stable. Le jaugeage continu est exploitable puisque entre chaque changement la station est stable.

- Si les valeurs de Hf changent continuellement d'une façon plus ou moins anarchique la station est instable et le jaugeage continu est inexploitable. On le traitera en jaugeage périodique (voir chapitre 4-3-3-7).

4-3-3-5-2-4 Etalonnage des verticales

- Pour chaque verticale on établira un graphique d'étalonnage.
- En Abscisse on portera la cote à l'échelle.
- En ordonnée on portera le débit laminaire.
- Les valeurs à utiliser sont regroupées dans chaque colonne.

4-3-3-5-2-5 Deuxième tableau des débits laminaires.

- On établira un tableau comportant autant de colonnes que le tableau précédent (autant que de verticales plus quatre).

- Dans la première colonne on portera des cotes à l'échelle choisies dans l'intervalle des mesures effectuées.

- Dans la deuxième colonne on portera la distance du Bord Rive Gauche pour les cotes choisies (distance prise sur le profil en travers).

- Dans les colonnes suivantes on portera les débits laminaires pour les cotes choisies que l'on trouvera sur les courbes d'étalonnage des verticales.

- Dans l'avant dernière colonne on portera la distance du Bord Rive Droite.

4-3-3-5-2-6 Détermination des débits

- Chaque ligne du deuxième tableau des débits laminaires représente l'équivalent d'un jaugeage normal.

- On déterminera donc les débits comme pour les jaugeages normaux (voir 4-3-3-4-2-10).

- On pourra cependant représenter tous les graphiques sur une même feuille dont on utilisera toute la surface.

- Les débits obtenus seront portés sans la dernière colonne du deuxième tableau des débits laminaires.

4-3-3-5-2-7 Classement

- Un jaugeage continu est pratiquement une opération de mesure qui ne s'arrête pas; chaque nouvelle traversée est une pièce de plus qui vient s'ajouter à un dossier toujours ouvert.

- La feuille de jaugeage et de dépouillement sera agrafée aux graphiques des débits laminaires et classée dans une chemise.

- Les deux tableaux des débits laminaires, les courbes d'étalonnages des verticales, le graphique des courbes de débits et le profil en travers seront classés dans une deuxième chemise. Tous les documents de cette deuxième chemise devront être maintenus à jour après chaque nouvelle mesure.

DEUXIEME TABLEAU DES DEBITS LAMINAIRES

OUED : Manarche

STATION : El Bled

CODE : R - 17

D	BRG	1400	1500	1600	1700	1750	1850	2000	2300	2450	2550	2600	2700	2800	2900	BRD	Q
H	D	PV	D														
cm	cm	m ² /s	cm	m ³ /s													
325	1475		0,20	1,05	2,00			4,00	4,55			4,55	4,00	2,05		2850	46,8
350	1460		0,95	1,75	2,55			4,90	5,45			5,40	4,95	3,65		2875	58,6
375	1435		1,95	2,75	3,50			6,10	6,80			6,60	6,05	5,30		2900	76,7
400	1400		3,00	3,95	4,90			7,40	8,30			8,10	7,60	6,90	4,30	2950	99,5
425	1350	1,10	4,30	5,70				9,35	10,40				9,35	8,70	5,60	3000	128,5
450	1300	3,15	5,85	7,80				11,60	12,80				11,95	11,00	8,65	3055	169,3
475	1250	5,95	8,05	10,05				14,90	16,15				15,05	13,85	12,05	3095	224,8

4-3-3-5-2-8 Conditions d'application du jaugeage continu par verticale.

- Un jaugeage continu par verticale peut se faire aussi bien par des mesures ponctuelles que par des mesures par intégration.

- Il est indispensable dès que les variations de la cote à l'échelle sont trop importantes pour utiliser correctement les résultats d'un jaugeage normal. Il donne des résultats corrects lorsque ces variations sont de l'ordre de 1 à 5 cm en 10 mn.

4-3-3-5-3 Calculs complémentaires

4-3-3-5-1 Jaugeage sur station complète

Les calculs complémentaires seront rassemblés dans un tableau à six colonnes que l'on appellera "tableau complémentaire"

- La première colonne rappellera les cotes à l'échelle choisies dans le deuxième tableau des débits laminaires (H).
- La deuxième colonne rappellera les débits de ce même tableau (Q).
- La troisième colonne donnera les sections mouillées par ces mêmes cotes déterminées sur le profil en travers (S).
- La quatrième colonne donnera les largeurs pour les mêmes cotes que l'on déterminera également sur le profil en travers (L).
- La cinquième colonne donnera les profondeurs moyennes ($K = S/L$).
- La sixième colonne donnera les vitesses moyennes ($U = Q/S$).
- Le tableau ainsi établi sera classé dans la deuxième chemise du jaugeage continu.

4-3-3-5-3-2 Jaugeage sur station expérimentale

Pour une telle station le tableau des calculs complémentaires comportera neuf colonnes et sera conservé dans une troisième chemise avec les documents décrits ci-dessous.

4-3-3-5-3-2-1 Vitesse moyenne de surface

- Dans le premier tableau des débits laminaires on portera en sixième ligne la vitesse de surface V_s pour chaque verticale mesurée.
- Pour chaque verticale on établira un graphique de corrélation entre la cote à l'échelle H (en abscisse) et la vitesse de surface V_s (en ordonnée).
- A partir de ces graphiques on établira un tableau des vitesses de surface semblable au deuxième tableau des débits laminaires.
- Pour chaque cote à l'échelle choisie on déterminera la vitesse moyenne de surface conformément au chapitre 4-3-3-4-3-2-1.
- Les résultats obtenus seront portés dans une septième colonne du tableau des calculs complémentaires.

4-3-3-5-3-2-2 Rapport U / V_{ms}

- Pour chaque cote à l'échelle choisie, on calculera le rapport U / V_{ms} et on portera le résultat dans la huitième colonne.

4-3-3-5-3-2-3 Rayon Hydraulique

- Pour chaque cote à l'échelle le rayon hydraulique sera déterminé conformément au chapitre 4-3-3-4-3-2-4 et porté dans la neuvième colonne.

- JAUGEAGE CONTINU -TABLEAU COMPLEMENTAIRE

OUED : Manarche

STATION : El Bled

CODE : R - 17

H	Q	S	L	K	U
cm	m ³ /s	m ²	m	m	m/s
325	46,8	22,46	13,85	1,62	2,08
350	58,6	25,98	14,15	1,84	2,25
375	76,7	29,58	14,65	2,02	2,59
400	99,5	33,34	15,50	2,15	2,98
425	128,5	37,34	16,50	2,26	3,44
450	169,3	40,68	17,55	2,32	4,16
475	224,8	46,06	18,45	2,50	4,88

4-3-3-5-4 Exercice - Dépouillement d'un jaugeage continu par verticales.

La station d'El Bled sur l'Oued Manarche (R - 17) est équipée d'un pont à une seule arche à partir duquel il est possible de faire des jaugeages en utilisant un treuil et un saumon.

Les verticales ont été repérées le 5/7/1920 par une opération de nivellement.

Un jaugeage continu de 8 traversée a été fait le 14/2/1921.

A partir de ces deux opérations, le "Premier Tableau des débits Laminaires" a été établi.

- (1) Contrôler la stabilité de la station.
- (2) Tracer le profil en travers de la section de jaugeage (1 cm représentera 1 m pour les distances. 1 cm représentera 0,2 m pour les profondeurs).
- (3) Après planimétrie on obtient les surfaces suivantes sur le graphique pour chaque cote à l'échelle.

H	SS
cm	cm ²
475	230,3
450	208,4
425	186,7
400	166,7
375	147,9
350	129,9
325	112,3

Déterminer les sections mouillées correspondantes/

- (4) Etablir les courbes d'étalonnage pour toutes les verticales mouillées.
- (5) Etablir le "Deuxième tableau des débits Laminaires" pour les mêmes valeurs de H.
- (6) Etablir les courbes des débits pour les mêmes valeurs de H. (1cm représentera 1 m et 1 cm représentera 1 m/s)
- (7) Après planimétrie on obtient les superficies suivantes sur le graphique

H	s_Q
cm	cm ²
475	224,8
450	169,3
425	128,5
400	99,5
375	76,7
350	58,6
325	46,8

En déduire les valeurs de Q pour les différentes valeurs de H et établir la courbe d'étalonnage de la station en H = 325 et H = 475 cm.

(8) Etablir ensuite le "Tableau Complémentaire" à 6 colonnes (H, Q, S, L, K, U).

4-3-3-6 Jaugeage périodique

Nous avons vu que le jaugeage continu s'applique aux stations stables ou presque stables, si la station est instable, il n'est plus possible de tracer les courbes d'étalonnages par verticales et la méthode de dépouillement du chapitre précédent doit être abandonnée.

On effectuera alors un jaugeage périodique.

4-3-3-6-1 Opérations sur le terrain.

Toutes les opérations sur le terrain sont strictement les mêmes que pour un jaugeage continu. La seule différence réside dans la conduite de la mesure. On ne se donnera pas comme principe de faire une mesure sur chaque verticale pour une variation à l'échelle constante (tous les 10 cm) mais on s'efforcera de faire des mesures à intervalle de temps constant, (toutes les heures, toutes les trois heures ... selon les stations).

4-3-3-6-2 Dépouillement

Les opérations de dépouillement sont les mêmes que pour un jaugeage continu jusqu'à l'établissement du premier tableau des débits laminaires.

Le contrôle de la stabilité devient une simple constatation de l'instabilité de la section. La valeur $P'V''$ ne sera jamais utilisée et remplacée par $\Delta P'$ et une ligne supplémentaire sera prévue pour la vitesse de surface.

4-3-3-6-2-1 Hydrogrammes laminaires

- Pour chaque verticale on établira une courbe en portant en abscisse le temps (h) et en ordonnée le débit laminaire.

- Les valeurs utilisées sont regroupées dans chaque colonne.

- Les courbes obtenues seront appelées des hydrogrammes laminaires.

- Il est préférable d'utiliser une feuille pour chaque verticale.

- La forme de l'hydrogramme ainsi obtenu se rapprochera dans une certaine mesure du limnigramme, on aura donc intérêt à dessiner les hydrogrammes unitaires sur une feuille de papier millimétré transparent que l'on pourra superposer au limnigramme (prendre la même échelle pour représenter les temps sur tous les graphiques)

4-3-3-6-2-2 Deuxième tableau des débits laminaires

On établira un deuxième tableau des débits laminaires semblable à celui du jaugeage continu par verticale (4-3-3-5-2-5), mais au lieu de mettre en première colonne des cotes à l'échelle on y placera des temps (h) choisis parmi ceux existants sur les hydrogrammes laminaires. D'autre part on prévoiera trois lignes pour chaque valeur de h.

4-3-3-6-2-3 Détermination des débits et classement

Il n'y a aucune différence pour ces deux opérations par rapport au jaugeage continu par verticale.

4-3-3-6-2-4 Conditions d'application du jaugeage périodique.

Le jaugeage périodique est à réserver aux stations instables pour lesquelles la cote à l'échelle pendant les crues perd beaucoup de sa signification puisque le fond de l'Oued varie continuellement.

Cette méthode de dépouillement ne nous apporte pas directement des éléments pour établir l'étalonnage de la station, ce qui est normal puisque, à priori il n'y a pas d'étalonnage possible. Elle a cependant l'avantage de nous donner des débits assez précis à certains moments, c'est à dire des couples de valeurs $(Q - h)$.

4-3-3-6-3 Calculs complémentaires

Le jaugeage périodique ne nous donnant pas le couple de valeurs (Q - H) les calculs complémentaires ont autant d'importance que les calculs du débit.

La distinction entre station complète et station expérimentale perd toute signification dans ce cas.

4-3-3-6-3-1 Section mouillée

- Sur le graphique de l'hydrogrammes laminaires on portera en ordonnée les valeurs de $\Delta P'$ on reliera par une courbe aussi régulière que possible les points ainsi obtenus - (courbe des profondeurs).

- Sur le deuxième tableau des débits laminaires on portera pour chaque valeur de temps choisie la valeur de $\Delta P'$ lue sur la courbe des profondeurs.

- L'ensemble des valeurs ainsi regroupées sur une même ligne permet de tracer la section mouillée du cours d'eau à un instant donné.

- Sur une même graphique on portera alors toutes les sections mouillées ainsi déterminées.

- On déterminera alors une valeur de S pour chaque valeur de h.

4-3-3-6-3-2 Largeur de la section

- Le repérage de la distance de chaque rive sera traité de la même façon que les profondeurs $\Delta P'$.

- A partir des deux courbes ainsi obtenues on pourra déterminer la largeur du cours d'eau à chaque instant h.

4-3-3-6-3-3 Vitesse moyenne de surface

- La vitesse de surface sera traitée comme les profondeurs.

- La vitesse moyenne de surface sera alors déterminée comme pour un jaugeage continu.

4-3-3-6-3-4 Limnigramme

A partir des observations faites pendant la crue on reconstituera le limnigramme (courbe H - h).

4-3-3-6-3-5 Tableau complémentaire

Pour un jaugeage périodique, le tableau complémentaire comprendra 10 colonnes.

- 1) Date
- 2) heure . . (h)
- 3) hauteur à l'échelle (H)
- 4) Débit (Q)
- 5) Section mouillée (S)
- 6) Largeur (L)
- 7) Profondeur moyenne (K)
- 8) Vitesse moyenne (U)
- 9) Vitesse moyenne de surface (Vms)
- 10) Rapport U / Vms .

4-3-3-6-4 Exercice : Dépouillement d'un jaugeage périodique.

A titre d'exemple on considérera que le jaugeage du 14/2/1961 sur l'Oued Manarche à El Bled et un jaugeage périodique.

A partir du "Premier Tableau des débits Laminaires" (tableau 4-3-3-5-2-2) établir les documents suivants:

(1) Limnigramme de la crue (1 cm représentera 50 minutes et 1 cm représentera 10 cm à l'échelle limnimétrique).

(2) Hydrogrammes laminaires pour toutes les verticales mesurées.

(3) "Deuxième tableau des débits Laminaires" pour

h = 2h55

h = 6h15

h = 6h55

h = 7h30

h = 8h15

h = 9h00

h = 10h00

(4) Comparer le tableau ainsi obtenu au "Deuxième Tableau des Débits Laminaires".

4-3-3-7 Jaugeage continu par points

On peut admettre approximativement que le jaugeage normal est utilisable lorsque le niveau de l'eau varie de quelques centimètres par heure et que le jaugeage continu par verticale est utilisable lorsque le niveau varie de quelques centimètres en 10 minutes.

Malheureusement sur de petits bassins versants on observe des crues dont le niveau de l'eau varie de quelques centimètres en une minutes. Dans ce cas, il est possible de partager les jaugeages continus par point.

- Cette méthode exige une station parfaitement stable de préférence calibrée par des massifs bétonnés, avec des rives verticales et parfaitement équipées pour un repérage rigoureux des points de mesures (il est indispensable de travailler avec une perche si possible fixe avec moulinet glissant). Elle impose pratiquement de travailler toujours avec le même équipement sur la même station.

- Cette méthode permet une analyse très fine de la répartition des vitesses ce qui peut être très utile dans le cas de bassins expérimentaux (étude des transports solides).

- Cette méthode ne permet pas de faire des mesures par intégration.

4-3-3-7-1 Opération sur le terrain

4-3-3-7-1-1 Choix des verticales

Les verticales devront être choisies d'une façon définitive. Si les rives sont verticales on pourra appliquer rigoureusement la règle des milieux (7,9 ou 11 verticales).

Le principe étant de faire un grand nombre de points de vitesse, on utilisera si possible plusieurs moulinets du même type en même temps.

4-3-3-7-1-2 Choix des points de mesure

L'emplacement des points de mesure n'est plus libre mais imposé en suivant une règle semblable à celle de tiers pour les jaugeages continus par verticale la "règle des cinq points".

Pour l'exposé de cette règle les profondeurs seront comptées à partir du fond et on supposera que $H_f = 0$. La distance de l'axe de l'hélice nous servira d'unité de mesure.

si $H < 9d$ on fera cinq mesures aux profondeurs $1d, 2d, 3d, 4d$ et $6d$

si $9d < H < 11d$ on fera cinq mesures aux profondeurs $1d, 2d, 3d, 6d, 8d$

si $11d < H < 16d$ on fera cinq mesures aux profondeurs $1d, 2d, 4d, 8d, 10d$.

Le tableau suivant montre la suite des choix à faire en fonction de la cote à l'échelle.

JAUGEAGE CONTINU PAR POINTS

CHOIX DES PROFONDEURS

REGLE DES CINQ POINTS

	P	7	9	11	16	21	31	41	51	61	
60	!	!	!	!	!	!	!	!	!	!	X
50	!	!	!	!	!	!	!	!	X	X	!
40	!	!	!	!	!	!	!	X	X	!	!
30	!	!	!	!	!	!	X	X	!	X	!
20	!	!	!	!	!	X	X	!	X	!	!
15	!	!	!	!	X	X	!	X	!	X	!
10	!	!	X	X	!	!	X	!	X	!	!
8	!	X	X	!	!	X	!	X	!	!	!
6	X	X	!	X	!	!	X	!	!	!	!
4	X	!	X	!	X	!	!	!	!	!	!
3	X	X	!	X	!	!	!	!	!	!	!
2	X	X	X	!	!	!	!	!	!	!	!
1	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	!

4-3-7-1-3 Conduite des mesures

Les mesures seront faites comme pour tout autre jaugeage en s'efforçant d'opérer le plus vite possible. Si l'écoulement est régulier, on pourra faire les mesures de vitesse pendant 20 secondes, voire 10 secondes.

On inscrira sur le carnet de jaugeage comme pour tout autre jaugeage en s'efforçant de noter la cote à l'échelle pour chaque mesure de vitesse.

4-3-3-7-2 Dépouillement

Les premiers calculs sont les mêmes que pour un jaugeage normal et on s'arrêtera à la détermination des vitesses.

4-3-3-7-2-1 Premier tableau des vitesses

Pour chaque verticale on établira un tableau comportant autant de colonnes qu'il y a de points de mesure de vitesse choisis.

Dans chaque colonne on rassemblera les couples de valeurs (H - V) obtenus.

4-3-3-7-2-2 Etalonnage des points de vitesses.

A Partir des valeurs rassemblées dans chaque colonne on établira les courbes (H - V) pour chaque point.

On établira toutes les courbes d'une verticale sur une feuille.

4-3-3-7-2-3 Deuxième tableau des vitesses

Pour chaque verticale on établira un tableau comportant autant de colonnes plus une qu'il y a de points de mesures.

Dans la première colonne on choisira des cotes à l'échelle comprises dans l'intervalle des cotes mesurées. Ce choix sera le même pour toutes les verticales

A partir des courbes d'étalonnage (H - V) on portera dans chaque colonne (une par point de mesure) les valeurs de V pour les H choisis.

4-3-3-7-2-4 Débits laminaires

A partir de toutes les valeurs de V rassemblées sur une ligne pour le même H on tracera la courbe des débits laminaires et on déterminera la valeur de PV.

4-3-3-7-2-5 Deuxième tableau des débits laminaires

Tous les débits laminaires obtenus seront rassemblés dans un "Deuxième Tableau des Débits Laminaires" identique à celui des jaugeages continus par verticale.

La suite du dépouillement se fait comme pour un jaugeage continu par verticale.

.. / ..

4-3-3-8 Conclusion sur les jaugeages au moulinet

Les quatre catégories de jaugeages se distinguent plus par les dépouillements que par les mesures sur le terrain dont les conduites sont toujours très voisines.

Dans la pratique, il est très exceptionnel de faire un jaugeage de normal en crue et on devra toujours s'organiser pour faire un jaugeage continu ou périodique.

Si les mesures sont faites rigoureusement on pourra ensuite les utiliser au mieux. En particulier il est très possible si on le juge utile de:

- dépouiller les mesures d'un jaugeage continu par point comme un jaugeage continu par verticale voire comme plusieurs jaugeages normaux.
- de considérer un jaugeage normal comme une traversée d'un jaugeage continu par verticale si on a respecté le "tableau des verticales"
- de dépouiller un jaugeage périodique en jaugeage continu par verticale ou vice-versa.

Toutes ces combinaisons sont possibles et peuvent être très utiles à condition de ne jamais oublier de:

- respecter le "tableau des verticales"
- toujours noter l'heure et la hauteur à l'échelle au début de chaque verticale (au minimum). Cette consigne doit devenir un réflexe que l'on appliquera même pour les jaugeages d'étiages .
- ne pas oublier de faire un prélèvement par traversée.

--:-- LES QUATRE CATEGORIES DE JAUGEAGES AU MOULINET --:--

	T E R R A I N				D E P O U I L L E M E N T						
	Choix des verticales	Choix des points	Mode opérateur	Conduite des mesures	Vitesses	Débits laminaires	Etalonnage verticale	Courbe débit	Résultat obtenu	Condition d'emploi	Qualité de la station
Jaugeage normal	Libre règles des milieux	Libre	ponctuel et intégration			courbes P - V		courbes PV-D	une valeur de débit	$\Delta H = 1\text{cm}$ / heure	stable ou presque
Jaugeage continu par verticale	imposé règle des tiers	libre	ponctuel et intégration	ΔH constant		courbes P - V	courbes FV-H	courbes PV-D H constant	une partie de courbe d'étalonnage	$\Delta H = 1\text{cm}$ / 10mm	stable ou presque
Jaugeage périodique	imposé règle des tiers	libre	ponctuel et intégration	ΔH constant		courbes P - V	courbes PV-h	courbes PV-D h constant	une partie d'hydro- gramme		instable
Jaugeage continu par point	définitif	définitif règle des cinq points	ponctuel seul	ΔH constant	courbe V - H	courbes P - V H constant		courbes PV-D H constant	une partie de courbe d'étalonnage	$\Delta H = 1\text{cm}$ / 1 mm	parfaitement stable

P = Profondeur
 V = Vitesse
 D = distance
 H = Cote à l'échelle
 h = heure
 ΔH = variation du niveau de l'eau
 Δh = intervalle de temps

4-3-3-9 Jaugeage au flotteur

Le jaugeage au flotteur doit être un complément du jaugeage au moulinet qui nous permet d'obtenir à peu de frais des valeurs de vitesse de surface et éventuellement la vitesse moyenne de surface.

4-3-3-9-1 Préparation des opérations sur le terrain

4-3-3-9-1-1 Matériel

A priori n'importe quel objet flottant peut être utilisé comme flotteur pourvu qu'il s'enfonce suffisamment dans l'eau pour que le vent n'ait pas d'influence sur sa vitesse. On pourra utiliser une bouteille lestée un cube en bois lestée...

Il est toujours possible d'improviser un jaugeage au flotteur en utilisant des morceaux de bois ou même les branches que l'Oued transporte naturellement en crue.

Pour les jaugeages de nuit on utilisera des flotteurs lumineux: sur une face d'un cube de bois on fixera une pile électrique et sur la face opposée on fixera une ampoule électrique. Le flotteur se trouve ainsi lesté correctement.

Selon la précision recherchée on utilisera 1,2 ou 4 chronomètres.

4-3-3-9-1-2 Préparation de la station.

Comme pour le jaugeage au moulinet, il convient de choisir un emplacement où l'Oued ressemble le plus possible à un canal artificiel, on choisira alors deux sections perpendiculaires au cours d'eau espacées l'une de l'autre de plusieurs dizaines de mètres.

Sur le graphique 4-3-3-9 ces sections correspondent aux plans verticaux (A.R.S.C.) et (B.W.Y.D.)

Sur la rive la plus facilement accessible même lors des plus grandes crues on choisira un point sur chaque section. Ces points A et B doivent être à la même altitude .

La droite AB doit être perpendiculaire aux deux sections, et parallèle aux deux rives du cours d'eau.

Sur la rive opposée on choisira un point par section (C et D).

Le point C doit se trouver dans le plan vertical passant par A et perpendiculaire au cours d'eau. Il doit d'autre part être visible de A et B.

Le point D doit se trouver dans le plan vertical passant par B et perpendiculaire au cours d'eau. Il doit également être visible de A et B.

Enfin de A ou de B on doit pouvoir lire sans difficulté l'échelle limnimétrique.

Pour les jaugeages au flotteur de nuit il est indispensable que les points G et D soient lumineux (ampoules électriques).

Les points A et B seront matérialisés par le sommet d'un galon approximativement à la hauteur des yeux d'un observateur de taille moyenne (1,60 au dessus du sol).

4-3-3-9-1-3 Contrôle du dispositif et détermination des constants.

Par nivellement on établira les intersections du cours d'eau et des quatre plans verticaux suivants:

(A.R.S.C.)

(A.R.D.Y.)

(B.W.D.Y.)

(B.W.S.C.)

Les cotes de ces nivellements étant prises sur l'échelle limnimétrique on en déduira les longueurs horizontales:

$$L = AB = RW$$

$$l_m = RS$$

$$l_v = WY$$

$$l_o = RY$$

$$l_r = WS$$

On vérifiera que les angles R et W sont bien droits en contrôlant le

$$\left\{ \begin{array}{l} l_r^2 = l_m^2 + L^2 \\ l_o^2 = l_v^2 + L^2 \end{array} \right.$$

On conservera alors les trois constantes de la station

$$\left\{ \begin{array}{ll} \text{longueur} & L = AB = RW \\ \text{largeur amont} & l_m = RS \\ \text{largeur aval} & l_v = WY \end{array} \right.$$

D'autre part si la station comporte une section de jaugeage au moulinet, il est indispensable de rattacher le plan vertical ABWR au repérage des verticales de mesure. La quatrième constante à déterminer est D_A (ou D_B).

Ces quatre constantes seront éventuellement inscrites sur le "Tableau des verticales" ou sur un tableau spécial conservé sur la station (guérite du limnigraphe) et dans le dossier de la station.

4-3-3-9-1-4 Document à utiliser " "

Pour la pratique des mesures on utilisera des feuilles de jaugeage au flotteur conformes au modèle suivant.

4-3-3-9-2 Conduite des mesures (voir Gr 4-3-3-9)

4-3-3-9-2-1 Jaugeage au flotteur à un chronomètre

Un opérateur placé en A jette un flotteur en amont de la section amont (point P). Lorsque le flotteur passe dans la section amont (point E) il déclenche un chronomètre.

Soit en se rendant rapidement au point B, soit au signal (geste) d'un opérateur situé au point B il arrête son chronomètre quand le flotteur passe dans la deuxième section (point H). Sur la feuille de jaugeage il notera.

- la date
- l'heure (h)
- la hauteur à l'échelle (H)
- le temps mesuré (t) dixième colonne

4-3-3-9-2-2 Jaugeage au flotteur à deux chronomètres.

Un observateur muni de deux chronomètres se place en A (ou en B) et un aide se place sur l'autre point. Un flotteur est jeté en P.

- Si l'observateur est en A (amont) quand le flotteur passe en E il déclenche les deux chronomètres ; quand le flotteur passe en G (plan vertical A.D.Y.R) il arrête un chronomètre ; quand le flotteur passe en H son aide lui faisant signe, il arrête son deuxième chronomètre.

Sur la feuille de jaugeage, il notera comme précédemment la date, l'heure, la hauteur à l'échelle, dans les colonnes t_1 et t_2 réservées au point amont il notera

t_1 = temps mis par le flotteur pour parcourir EG

t_2 = temps mis par le flotteur pour parcourir EH.

- Si l'observateur est en B (aval) son aide se trouve en A. Quand le flotteur passe en E, sur un signe de son aide il déclenche deux chronomètres. Quand le flotteur passe en F il arrête un chronomètre, et quand le flotteur passe en H il arrête son deuxième chronomètre. Les deux temps obtenus sont portés dans les colonnes t_3 et t_4 réservées au point aval.

t_3 = temps mis par le flotteur pour parcourir EF

t_4 = temps mis par le flotteur pour parcourir EH

4-3-3-9-2-3 Jaugeage au flotteur à quatre chronomètres.

Ce jaugeage se fait en plaçant un observateur en A et un observateur en B. Chaque observateur est muni de deux chronomètres. Les quatre chronomètres sont déclenchés quand le flotteur passe en E. Comme dans le cas précédent, l'observateur en A (amont) mesure t_1 (EG) et t_2 (EH) et l'observateur en B (aval) mesure t_3 (EF) et t_4 (EH).

4-3-3-9-3 Dépouillement

Selon que l'on a utilisé 1, 2 ou 4 chronomètres on devra faire les calculs qui suivent.

4-3-3-9-3-1 Temps moyen (t)

$$4 \text{ chrono } t = \frac{t_2 + t_4}{2}$$

$$2 \text{ chrono } t = t_2 \text{ ou } t_4$$

Le résultat sera porté dans la ~~sixième~~ quatrième colonne.

4-3-3-9-3-2 Vitesse de surface (V_s)

$$V_s = L / t$$

Le résultat est porté en quatrième colonne en cm/s.

4-3-3-9-3-3 Distance amont (D_m)

Nous appelons distance amont $D_m = RE$

$$D_m = l_m \frac{t - t_3}{t}$$

4-3-3-9-3-4 Distance aval (D_v)

Nous appelons distance aval $D_v = WH$

$$D_v = l_v \frac{t_1}{t}$$

4-3-3-9-3-5 Repérage de la distance D

$$D = \frac{D_v + D_m}{2} + D_A \qquad D = \frac{D_v + D_m + 2 D_A}{2}$$

D est le repérage de la position du flotteur conformément au "tableau des verticales".

- Si nous avons fait un jaugeage à un chronomètre nous pouvons déterminer uniquement V_s .

- Si nous avons fait un jaugeage à deux chronomètres nous pouvons calculer V_s et une seule valeur de D_m (observateur position aval) et D_v (observateur position amont). Nous admettons que

$$D = D_m + D_A$$

$$\text{ou } D = D_v + D_A$$

- Si nous avons fait un jaugeage à quatre chronomètres nous pouvons calculer V_s , D_m , D_v et D.

Toutes les longueurs sont exprimées en cm

4-3-3-9-5-6 Vitesse moyenne de surface

Comme pour les jaugeages au moulinet, pour être correctement utilisées, ces mesures de vitesse de surface doivent être très nombreuses surtout lorsque la cote à l'échelle (H) varie rapidement.

Nous devons donc avoir les résultats de nombreuses mesures rassemblés dans les cinq premières colonnes du tableau de jaugeage.

4-3-3-9-3-6-1 Cas d'une station stable.

On établira alors un graphique de la façon suivante.

- en abscisses on portera les distances D
- en ordonnées les vitesses de surface V_s
- pour chaque mesure on placera un point sur ce graphique ($D - V_s$) et a coté de chaque point on portera la cote à l'échelle (H).
- on choisira ensuite certaines cotes à l'échelle dans l'intervalle de celles rencontrées pendant les mesures.
- on portera sur le graphique les distances BRD et BRG pour chacune de ces cotes.

- pour chaque cote on tracera des courbes de vitesse de surface passant par les deux rives et laissant à l'intérieur de la courbe tous les points pour les cotes H inférieures et à l'extérieur tous les points pour les cotes H supérieures. On obtient ainsi les courbes de vitesse de surface que l'on traitera ensuite comme celle du jaugeage normal au moulinet pour obtenir la vitesse moyenne de surface (4-3-3-4-3-2-1)

4-3-3-9-3-6-2 Cas d'une station instable

Le graphique sera établi d'une façon semblable, mais au lieu d'utiliser la cote à l'échelle (H) on utilisera le moment de la mesure (h). Il sera alors nécessaire d'avoir un plus grand nombre de mesures.

4-3-3-9-4 Conclusion sur les jaugeages au flotteurs

Nous avons donné quelques consignes pour faire le meilleur usage possible de la méthode des jaugeages au flotteur.

- flotteur bien lesté
- AB parallèle au cours d'eau (horizontal)
- RS et WY perpendiculaires à AB
- emploi de quatre chronomètres.

Il est cependant évident que cette méthode doit pouvoir être utilisée d'une façon souple et rapide par tout hydrologue quand il lui faut donner une estimation de débit.

Avec un chronomètre, voire une montre à grande aiguille trotteuse (seconde) il est toujours possible d'improviser un jaugeage au flotteur sur un Oued en crue quitte à revenir après la crue pour faire les nivellements nécessaires à son dépouillement.

ANGLES a et b

(en degrés)

a	$\frac{1}{\cos a} - 1$	K	b	sin b	b	sin b		
1	0,0002	0,0001	90	90	1,000	50	130	0,766
2	6	2	89	91	1,000	49	131	0,755
3	14	4	88	92	0,999	48	132	0,743
4	24	6	87	93	999	47	133	0,731
5	0,0038	0,0010	86	94	998	46	134	0,719
6	55	16	85	95	0,996	45	135	0,707
7	75	23	84	96	995	44	136	0,695
8	98	32	83	97	993	43	137	0,682
9	124	41	82	98	990	42	138	0,669
10	0,0153	0,0050	81	99	988	41	139	0,656
11	186	61	80	100	0,985	40	140	0,643
12	223	72	79	101	982	39	141	0,629
13	262	85	78	102	978	38	142	0,616
14	306	98	77	103	974	37	143	0,602
15	0,0353	0,0113	76	104	970	36	144	0,588
16	403	128	75	105	0,966	35	145	0,574
17	457	146	74	106	961	34	146	0,559
18	515	164	73	107	956	33	147	0,545
19	577	184	72	108	951	32	148	0,530
20	0,0642	0,0204	71	109	946	31	149	0,515
21	711	226	70	110	0,940	30	150	0,500
22	765	248	69	111	934	29	151	0,485
23	863	272	68	112	927	28	152	0,469
24	946	296	67	113	921	27	153	0,454
25	0,1033	0,0323	66	114	914	26	154	0,438
26	1126	350	65	115	0,906	25	155	0,423
27	1223	379	64	116	899	24	156	0,407
28	1326	408	63	117	891	23	157	0,391
29	1434	440	62	118	883	22	158	0,375
30	0,1547	0,0372	61	119	875	21	159	0,358
31	1666	508	60	120	0,866	20	160	0,342
32	1792	544	59	121	857	19	161	0,326
33	1923	582	58	122	848	18	162	0,309
34	2062	620	57	123	839	17	163	0,292
35	0,2207	0,0659	56	124	829	16	164	0,276
36	2361	698	55	125	0,819	15	165	0,259
37	2522	738	54	126	809	14	166	0,242
38	2690	778	53	127	799	13	167	0,225
39	2868	819	52	128	788	12	168	0,208
40	0,3055	0,0862	51	129	777	11	169	0,191
			50	130	0,766	10	170	0,174

OUED: Medjerda MOULINET MARQUE: OTT N° 15581
 STATION: Djedaida pl. rte. Mateur HELICE N° 1 DIAMETRE: 12,5
 DATE: 28-1-68 CERCLE PROTECTEUR: non PERCHE: non SAUMON: 50 kg
 OPERATEURS: Elèves classe 6^eH Lycée Technique
 ETALONNAGE: $n < 0,72 \quad V = 0,2408 \quad n + 0,020$
 $n > 0,72 \quad V = 0,2630 \quad n + 0,004$

NB. TOURS PAR TOP (R) = 1 DISTANCE DE L'AXE DE L'HELICE (d) = 17
 a: Angle Vertical ——— b: Angle Horizontal: Mesures en Degrés

Heure h	H	Distance D	Profond- eur P	Nombre NB Tours	Temps T	a	b	OBSERVATIONS
11.30	304	6000	0					Bord rive gauche
11.33		5800	48	9946	8850			Tirant d'air Zone de remous
11.44	307	5500	8834			0	45°	110 Surface
			8561	189	50	2		Fond
			8610	239	50	2		
			8660	218	50	2		
			8710	147	50	1		
			8760	88	50	1		
			8825	81	50	1		
11.56	311	5000	8834			1	110	Surface
			8505	275	50	5		Fond
			8550	328	50	6		
			8610	383	50	6		
			8680	399	50	5		
			8750	355	50	5		
			8810	294	50	3		
12.14	313	3800	8840			5	110	Surface
								Verticale abandonnée-Bridilles-
12.18	316	4500	8838			4	90°	100 Surface
			8490	277	50	9		Fond
			8550	389	50	8		
			8610	434	50	11		
			8680	453	50	11		
			8750	451	50	8		
			8800	441	50	7		
12.33	318	3500	8842			2	95	Surface
			8485	289	50	5		Fond
			8550	359	50	8		
			8620	389	50	10		
			8700	408	50	8		
			8780	403	50	6		
			8830	389	50	3		

N° 175

JAUGEAGE AU MOULINET

M Code 18

QUED: Medjerda MOULINET MARQUE: OTT N° 15581 DEBIT . Q = 236,2 m³/s
 STATION: Djedeida pl. rte. Mateur HELICE N° 1 DIAMETRE: 12,5 SECTION.S = 135,1 m²
 DATE: 22-1-68 CERCLE PROTECTEUR: non PERCHE: non SAUMON: 50 kg LARGEUR.L = 45,00 m
 OPERATEURS: Elèves classe 6^eH Lycée Technique PROF MOY.K = 3,00 m
 ETALONNAGE: $n < 0,72$ $V = 0,2408 n + 0,020$ MOY.U = 1,75 m/s
 $n > 0,72$ $V = 0,2630 n + 0,04$ V MOY SURF. Vms = 1,516 m/s
 MAX . V.M = 2,390 m/s
 $\sqrt{Vms.}$ 1,15 U 0,73
 N.B. TOURS PAR TOP (R) = 1 DISTANCE DE L'AXE DE L'HELICE (d) = 17 RAY HYD = 4,94 m
 a: Angle Vertical b: Angle Horizontal. Mesures en Degrés

Heure h	H	Distance D	Profondeur P	Nom- bre NB Tours	Temps	a	b	OBSERVATIONS	n t/s	V	Cor air	Cor eau	P' Profa réelle
1243	319	2700	8845			2	100	Surface			1	0	8848
			8551	301	50	5		Fond	6,02	1,585	4	0	8555
			8600	352	50	6		P'V = 5,81 m ² /s	7,04	1,854	6	0	8606
			8660	377	50	7		P'V' = 5,72 m ² /s	7,54	1,985	9	0	8669
			8740	370	50	6		ΔP' = 308 cm	7,40	1,950	6	0	8746
			8830	328	50	2			6,56	1,728	1	0	8831
1253	319	2100	8847			1	95	Surface			0	0	8847
			8583	200	50	3		Fond	4,00	1,056	2	0	8585
			8630	253	50	3		P'V = 4,09 m ² /s	5,06	1,334	2	0	8632
			8680	285	50	4		P'V' = 4,07 m ² /s	5,70	1,502	3	0	8683
			8730	310	50	6		ΔP' = 279 cm	6,20	1,634	6	0	8736
			8780	306	50	3			6,12	1,612	2	0	8782
			8830	282	50	0			5,64	1,486	0	0	8830
1304	319	1700	8849			0	95 à 100	Surface			0	0	8849
			8648	152	50	1		Fond	3,04	0,804	0	0	8648
			8680	180	50	2		P'V = 2,14 m ² /s	3,60	0,950	1	0	8681
			8720	200	50	2		P'V' = 2,13 m ² /s	4,00	1,056	1	0	8721
			8770	212	50	2		ΔP' = 218 cm	4,24	1,120	1	0	8771
			8800	188	50	1			3,76	0,992	0	0	8800
			8835	152	50	0			3,04	0,804	0	0	8835
1315	319	1500	0					Bord rive droite					

OUED MANARCHE

STATION EL BLED

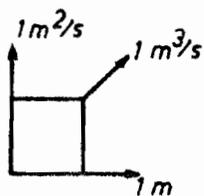
CODE R 17

Jaugeage continu du 14-2-1921

Courbes des débits

H	s	Q
cm	cm ²	m ³ /s
475	224,8	224,8
450	169,3	169,3
425	128,5	128,5
400	99,5	99,5
375	76,7	76,7
350	58,6	58,6
325	46,8	46,8

< 15



< 10

< 5

1000

1500

2000

2500

3000

Gr = 4-3-3-5-2-6

Oued Manarche
Station El Bled
Code R17

Jaugeage continu du 14-2-1921
Etalonnage des verticales

< 15

PV
(m^2/s)

< 10

< 5

D 1700

D 2300

D 2000

D 1600

D 1500

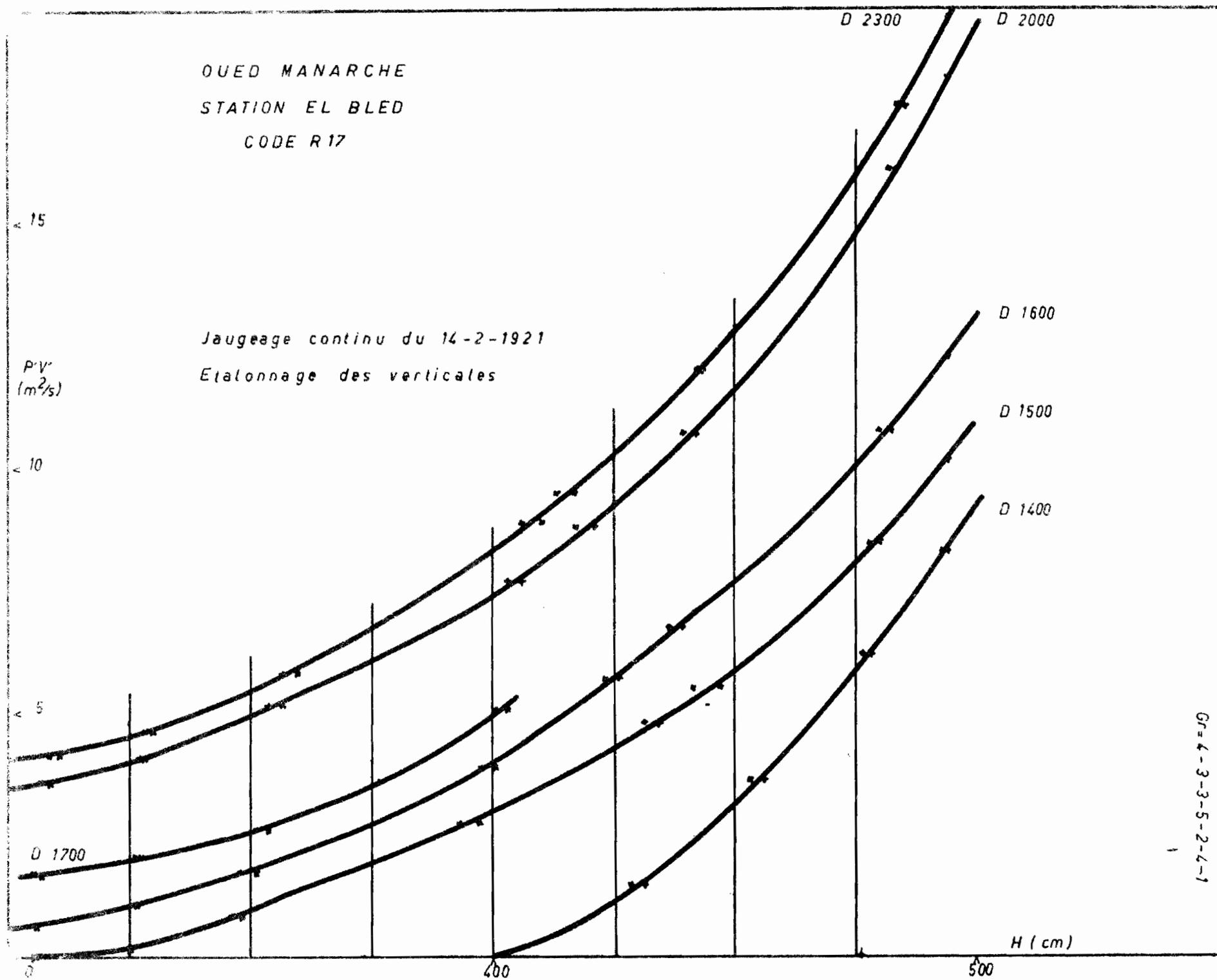
D 1400

H (cm)

400

500

Gr = 4-3-3-5-2-4-1



OUED MANARCHE
STATION EL BLED
CODE R17

< 15

PV
(m²/s)

< 10

< 5

Jaugeage continu du 14-2-1921
Etalonnage des verticales

D 2700

D 2800

D 2900

D 2000

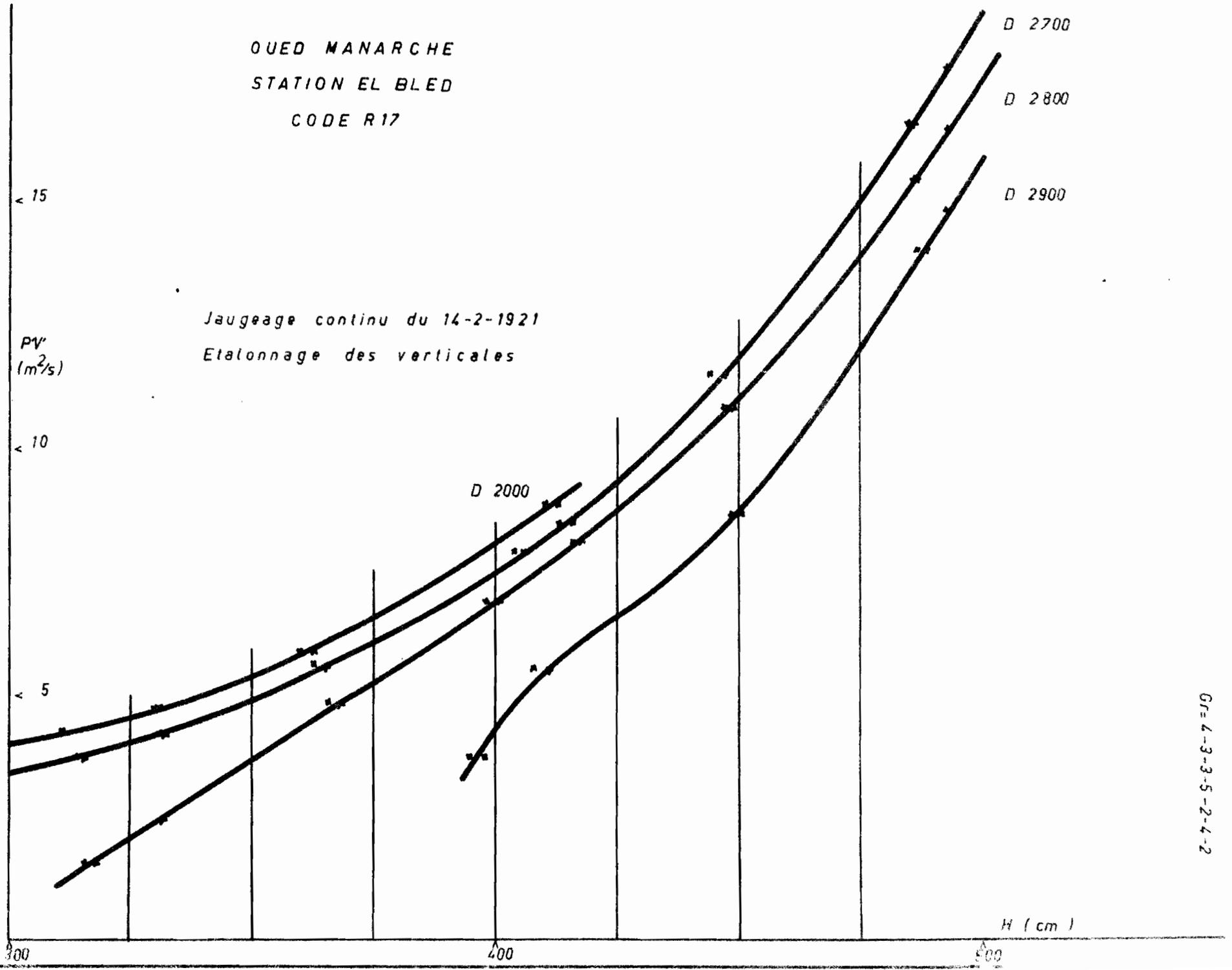
H (cm)

300

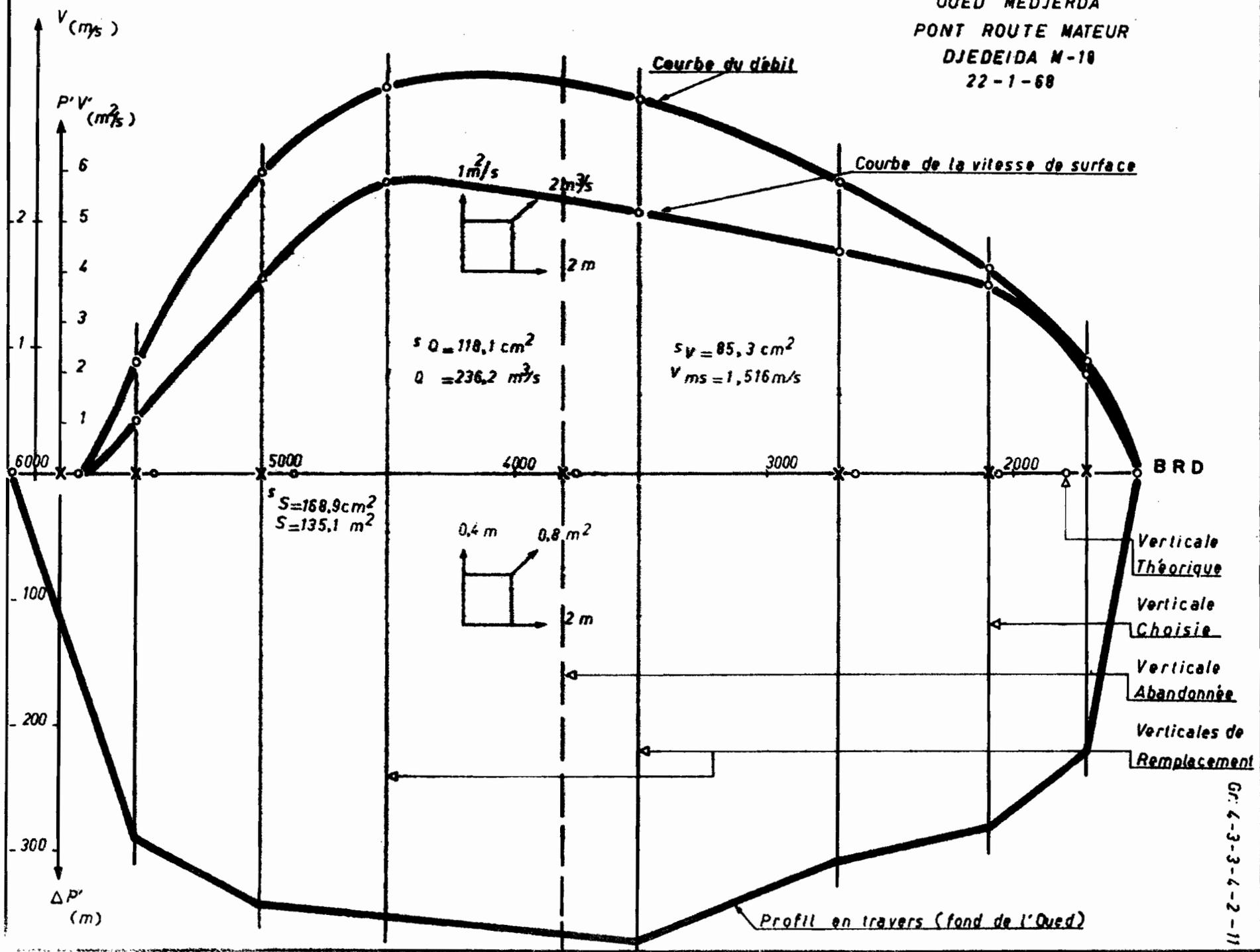
400

500

GI-4-3-3-5-2-4-2



OUED MEDJERDA
 PONT ROUTE MATEUR
 DJEDEIDA M-18
 22-1-68



1500

2000

2500

3000

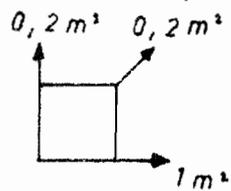
B R G

B R D

H cm	b cm ²	S cm ³
475	230,3	46,06
450	208,4	40,68
425	186,7	37,34
400	166,7	33,34
375	147,9	29,58
350	129,9	25,98
325	112,3	22,46

400

300



200

100

OUED MANARCHE

STATION EL BLED

CODE R 17

Profil en travers des
5-7-1920 et 14-2-1921

Section mouillées

Gr: 4-3-3-5-2-4-3

OUED MANARCHE
 STATION EL BLED
 CODE R 17

Jaugeage du 14-9-1921

< 450 cm < 15 m²/s

Limnigramme

Hydrogrammes laminaire

< 400 cm < 10 m²/s

< 350 cm < 5 m²/s

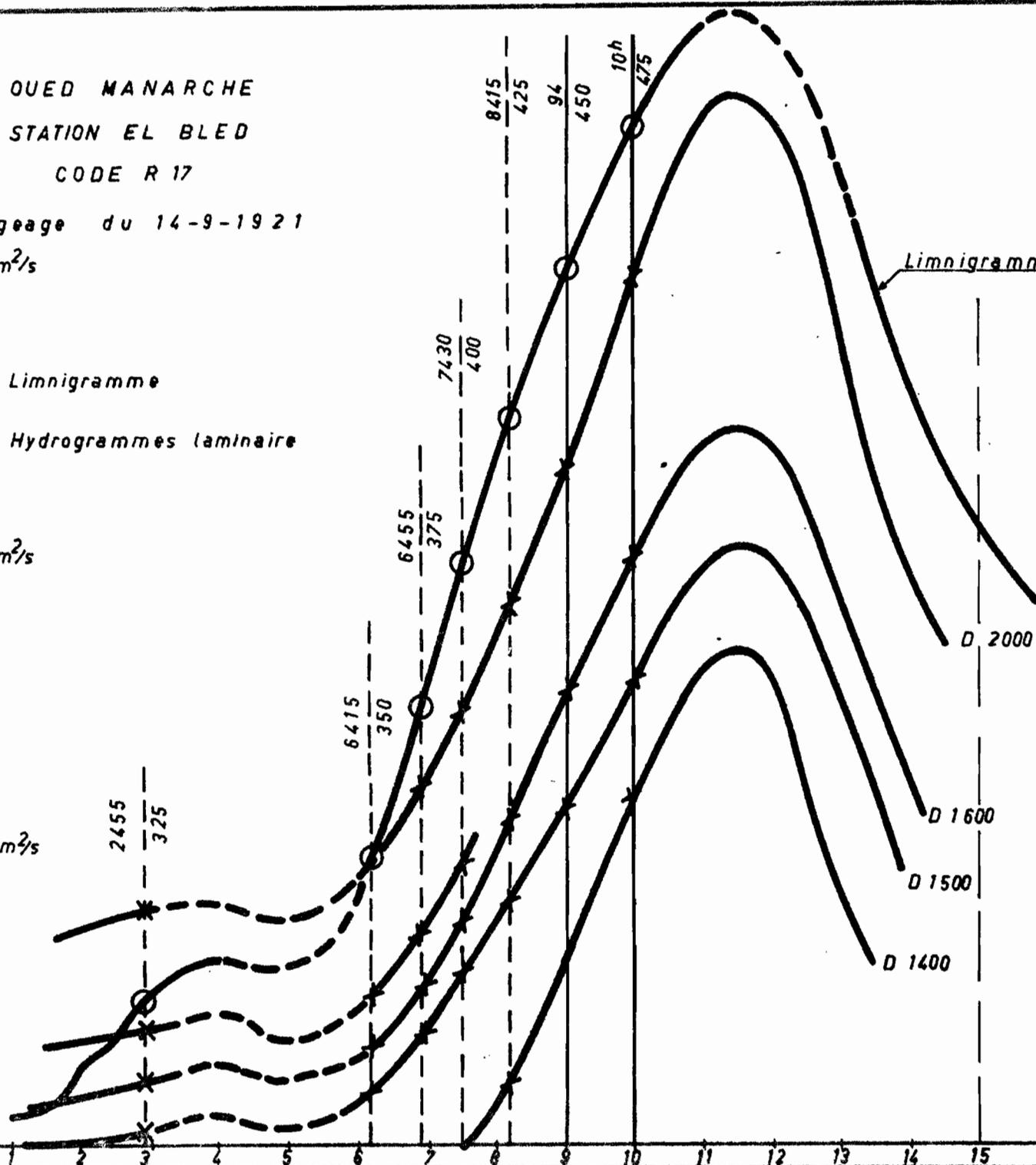
D 1700

D 2000

D 1600

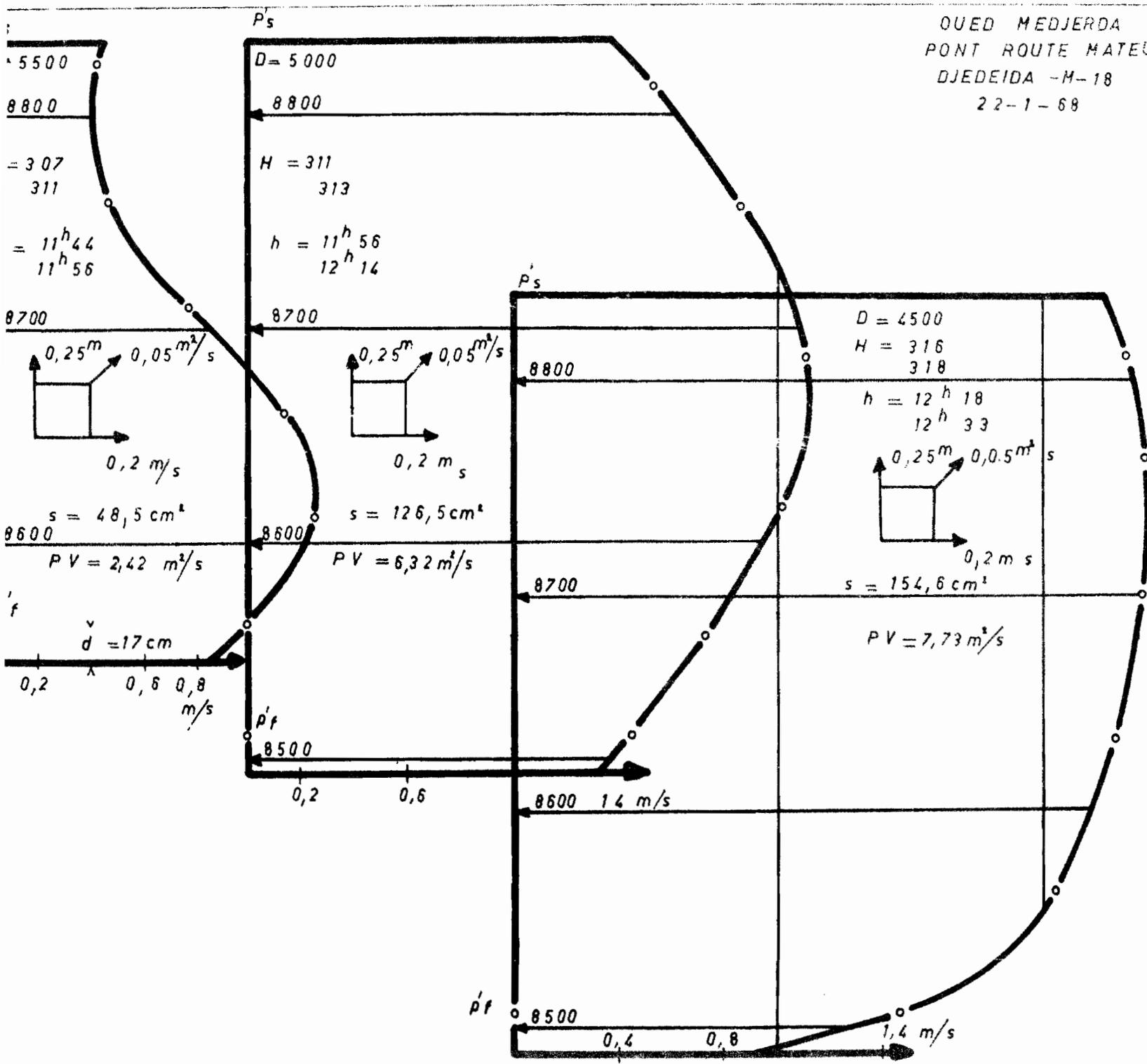
D 1500

D 1400



Gr = 4-3-3-6-2-1

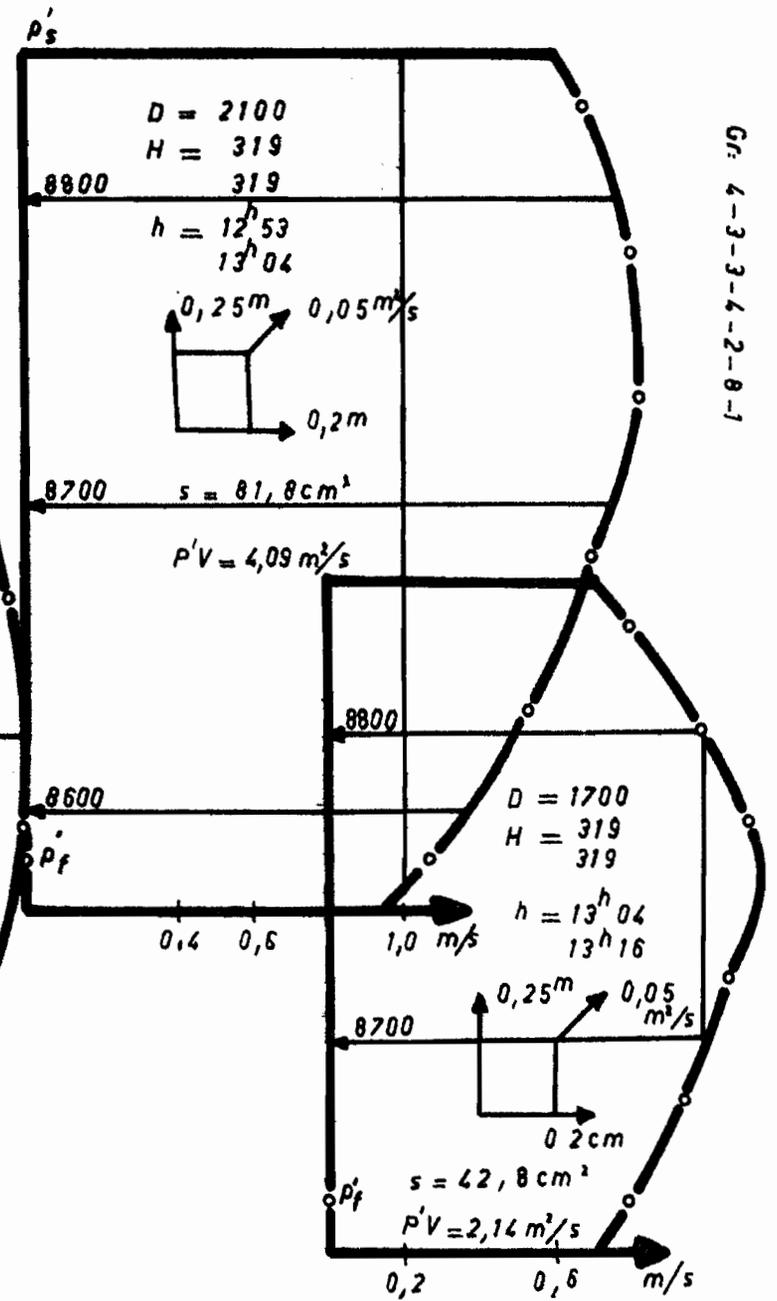
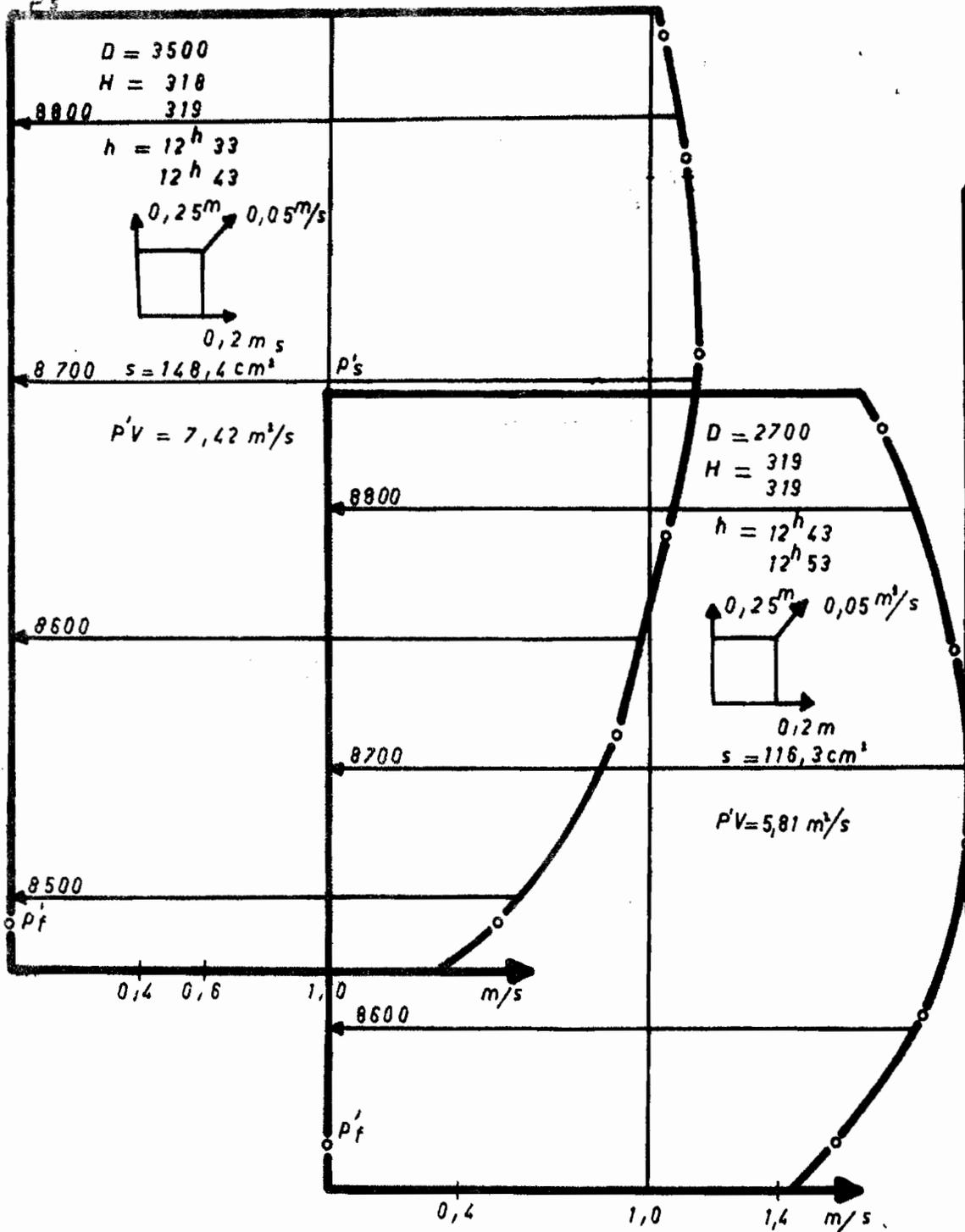
OUED MEDJERDA
 PONT ROUTE MATEUR
 DJEJEDA -M-18
 22-1-68



Gr. 4-3-3-4-2-8-2

OUED MEDJERDA
 PONT ROUTE MATEUR
 DJEJEDA - M-18
 22-1-68

Gr: 4-3-3-4-2-8-1



CORRECTION AIR - CORRECTION EAU

ANGLES a et b

(en degrés)

a	$\frac{1}{\cos a} - 1$	K	b	sin b	b	sin b
1	0,0002	0,0001	90	1,000	50	0,766
2	6	2	89	1,000	49	0,755
3	14	4	88	0,999	48	0,743
4	24	6	87	999	47	0,731
5	0,0038	0,0010	86	998	46	0,719
6	55	16	85	0,996	45	0,707
7	75	23	84	995	44	0,695
8	98	32	83	993	43	0,682
9	124	41	82	990	42	0,669
10	0,0153	0,0050	81	988	41	0,656
11	186	61	80	0,985	40	0,643
12	223	72	79	982	39	0,629
13	262	85	78	978	38	0,616
14	306	98	77	974	37	0,602
15	0,0353	0,0113	76	970	36	0,588
16	403	128	75	0,966	35	0,574
17	457	146	74	961	34	0,559
18	515	164	73	956	33	0,545
19	577	184	72	951	32	0,530
20	0,0642	0,0204	71	946	31	0,515
21	711	226	70	0,940	30	0,500
22	765	248	69	934	29	0,485
23	863	272	68	927	28	0,469
24	946	296	67	921	27	0,454
25	0,1033	0,0323	66	914	26	0,438
26	1126	350	65	0,906	25	0,423
27	1223	379	64	899	24	0,407
28	1326	408	63	891	23	0,391
29	1434	440	62	883	22	0,375
30	0,1547	0,0372	61	875	21	0,358
31	1666	508	60	0,866	20	0,342
32	1792	544	59	857	19	0,326
33	1923	582	58	848	18	0,309
34	2062	620	57	839	17	0,292
35	0,2207	0,0659	56	829	16	0,276
36	2361	698	55	0,819	15	0,259
37	2522	738	54	809	14	0,242
38	2690	778	53	799	13	0,225
39	2868	819	52	788	12	0,208
40	0,3055	0,0862	51	777	11	0,191
			50	0,766	10	0,174

PREMIER TABLEAU DES DEBITS LAMINAIRES

OUED: Manarche - STATION: El Bled - CODE: R-17

Date	BRG	1400	1500	1600	1700	1750	1850	2000	2300	2450	2550	2600	2700	2800	2900	BRD
5-7-1920	Hfo	400	275	225	175	125	120	110	110	120	150	175	225	275	375	
14-2-1921	P'V'	1480	0	0,653	1,706			3,584	4,150			4,233	3,701	1,551		2840
	H	350	305	306	306			307	309			311	314	316		319
	h	1h00	1h05	1h15	1h25			1h35	1h45			1h55	2h05	2h20		2h35
	Hf	o	1h15	1h25	1h35			1h45	1h55			2h05	2h20	2h30		0
	P'V''		274	226	175			108	111			174	226	275		
14-2-1921	P'V'	1475	0,198	1,070	2,034			4,087	4,650			4,695	4,210	2,450		2860
	H	324	324	326	326			327	328			330	331	332		333
	h	2h50	2h50	2h55	3h00			3h07	3h15			3h25	3h40	3h40		4h05
	Hf	o	2h55	3h00	3h07			3h15	3h25			3h40	3h50	4h00		0
	P'V''		275	224	175			110	110			175	225	276		
14-2-1921	PV'	1465	0,853	1,695	2,610			5,170	5,804			5,877	5,030	4,840		2895
	H	243	346	348	351			354	357			360	363	366		372
	h	6h00	348	351	354			357	360			363	366	369		6h50
	Hf	o	6h05	6h10	6h15			6h20	6h25			6h30	6h35	6h40		0
	P'V''		6h10	6h15	6h20			6h25	6h30			6h35	6h40	6h45		
			276	224	174			110	111			176	226	277		
14-2-1921	P'V'	1420	2,750	3,845	5,033			7,720	5,880			8,830	8,545	8,093	5,510	2995
	H	390	393	397	400			403	406			410	413	416	418	423
	h	7h15	397	400	403			406	410			413	416	418	421	
	Hf	o	7h20	7h25	7h30			7h35	7h40			7h45	7h50	7h55	8h00	8h10
	P'V''		7h25	7h30	7h35			7h40	7h45			7h50	7h55	8h00	8h05	
			276	226	175			111	210			176	226	274	375	0

