



# HYDROMETRIE

Pratique des mesures et  
exploitation des données

M.Normand

Septembre 1989

89 SGN 718 EEE

DEPARTEMENT 3E - FORMATION PROFESSIONNELLE

## NOTE DE PRESENTATION

Le B.R.G.M. intervient en matière d'hydrologie en France ou à l'étranger dans le cadre de projets pour :

- concevoir des stations hydrométriques et assurer la surveillance et le contrôle des travaux de construction
- exécuter des jaugeages notamment au moulinet dans le cadre de mesures spéciales ou pour étalonner des stations hydrométriques
- dépouiller, contrôler et exploiter des données hydrométriques pour élaborer par exemple des débits journaliers ou calculer le volume d'une crue
- effectuer la collecte et la critique de données recueillies par d'autres organismes
- effectuer des études hydrologiques spécifiques de ressource ou d'événements rares (crues ou étiages) qui mettent en oeuvre différentes méthodes parmi lesquelles on peut citer les modèles globaux (modèle GARDENIA du B.R.G.M.) et les ajustements statistiques
- effectuer des études relatives aux interactions entre les eaux souterraines et superficielles : problèmes des relations nappe-rivière (logiciel MINARET du B.R.G.M.), interaction de pompages sur le débit d'une rivière ou d'une source
- etc...

Dans toutes ces études les données hydrologiques constituent les données de base indispensables. Les méthodes d'exploitation de données aussi sophistiquées soient elles ne sauraient en aucun cas pallier à un manque de données ou à de mauvaises données : d'où la nécessité de procéder à des mesures hydrologiques de qualité et d'être en mesure d'apprécier la validité des données hydrologiques provenant de tiers.

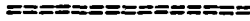
Cette note a été écrite à l'occasion du stage sur "Les mesures en hydrologie", organisé par le Service de la Formation Professionnelle du B.R.G.M. du 8 au 10 avril 1987. L'objectif de ce stage était de sensibiliser et d'initier les techniciens et ingénieurs hydrogéologues aux méthodes de mesures hydrologiques sur le terrain, à l'acquisition et aux traitements et exploitations informatiques de ces données. Il n'était bien sûr pas possible dans les trois jours qu'a duré le stage d'exposer en détail tous ces problèmes, il s'agissait d'initier les stagiaires à l'hydrologie et de leur présenter le savoir faire du B.R.G.M. dans ce domaine.

Cette note technique rassemble le sommaire des exposés, quelques fiches synthétiques sur des sujets précis et un grand nombre d'illustrations. Elle constitue ainsi un aide mémoire sous forme notamment d'un "livre d'images" illustrant les exposés et présentant avec des exemples concrets les possibilités et la mise en oeuvre des différents logiciels de traitement et de dessin des données hydrométriques présentés lors du stage. Cette note comporte enfin quelques références bibliographiques auxquelles on se reportera pour plus de détails.

## STAGE D'HYDROLOGIE

### LES EAUX DE SURFACE

#### LES MESURES HYDROLOGIQUES SUR LE TERRAIN, ACQUISITION, TRAITEMENTS ET ET EXPLOITATIONS INFORMATIQUES DES DONNEES



#### Sommaire

### 1. LE PRINCIPE DES MESURES ET LEUR BUT.

- 1.1 But des mesures
- 1.2 Spécificité des données hydro-climatologiques
- 1.3 Principe des mesures en hydrologie ss

### 2. LES MESURES DE DEBIT - DEBITMETRIE.

- 2.1. Définition. Classification des méthodes de jaugeage.
- 2.2. Les différentes méthodes de jaugeage.  
(principe, matériel, mode opératoire, réalisation des mesures sur le terrain et dépouillement des mesures).
  - Jaugeages au Moulinet --> utilisation du Logiciel DEPJAU.
  - Jaugeages au Déversoirs et Seuils jaugeurs
  - Jaugeages aux Réservoirs étalonnés
  - Jaugeages au Flotteurs
  - Jaugeages par Ultrasons
  - Autres méthodes de jaugeage (pm.) : jaugeages chimiques, compteurs volumétriques, jaugeurs électromagnétiques, etc...
- 2.3. Précision des jaugeages.
- 2.4. Critères de choix d'une méthode de jaugeage.
- 2.5. Choix de la périodicité d'exécution des jaugeages.

### 3. LES MESURES DE HAUTEURS d'EAU - LIMNIMETRIE.

- 3.1. Principe des mesures de hauteur d'eau.
- 3.2. Les différentes méthodes de mesure (principe, matériel, mode opératoire, conditions d'installation sur le terrain)
  - 3.2.1. Echelles limnimétriques (ou repères).
  - 3.2.2. Limnigraphes à Flotteur
  - 3.2.3. Capteurs de pression :
    - Cloche
    - Bulle à bulle
    - Capteurs de pression  
(--> dispositif MADO et autres)
  - 3.2.4. Limnimétrie par Ultrasons (immergé/émergé).
- 3.3. Précision des mesures.
- 3.4. Conditions d'exploitation.
- 3.5. Critères de choix d'une méthode de mesure de hauteurs d'eau.

## STAGE D'HYDROLOGIE

### 4. LES STATIONS HYDROMETRIQUES.

- 4.1. Les différents types de stations hydrométriques.
- 4.2. Critères d'implantation des stations hydrométriques.
- 4.3. Recherche et choix d'un site de stations hydrométrique.
- 4.4. Etablissement d'un dossier de projet de construction de station.
- 4.5. Construction de la station.
- 4.6. Modalités de gestion d'une station hydrométrique.

### 5. L'EXPLOITATION DES DONNEES HYDROMETRIQUES.

- 5.1. Etablissement des courbes d'étalonnage.
  - 5.1.1. Principe.
  - 5.1.2. Les différents types d'étalonnage.
  - 5.1.3. Elaboration des courbes d'étalonnage ou de tarage.
    - Tracé des courbes d'étalonnage à partir des jaugeages.
    - Les méthodes d'extrapolation des courbes d'étalonnage (Log-log, formule d'écoulement du type Manning-Strickler, etc...).
    - Détermination de leur période de validité (problème des détarages).
  - 5.1.4. Elaboration des barèmes d'étalonnage.
- 5.2. Discrétisation des hauteurs d'eau
  - 5.2.1. Dépouillement à la main. Saisie informatique.
  - 5.2.2. Digitalisation des limnigrammes (→ logiciel SDESM).
- 5.3. Transformation des hauteurs d'eau en débits. Elaborations des débits d'annuaire (→ Logiciel DELPHES).
- 5.4. Présentation des résultats (→ logiciel EDITAN).

### 6. TRAVAUX DIRIGES.

#### 6.1. EXECUTION DE MESURES HYDROMETRIQUES SUR LE TERRAIN.

- 6.1.1. Choix et aménagement d'une section de jaugeage.
- 6.1.2. Execution de jaugeages au moulinet avec différents matériels, au flotteur et au canal Venturi portatif.
- 6.1.3. Initiation aux mesures topographiques : détermination de la pente du fond d'un cours d'eau.

#### 6.2. DEPOUILLEMENT ET INTERPRETATION DES MESURES EFFECTUEES SUR LE TERRAIN

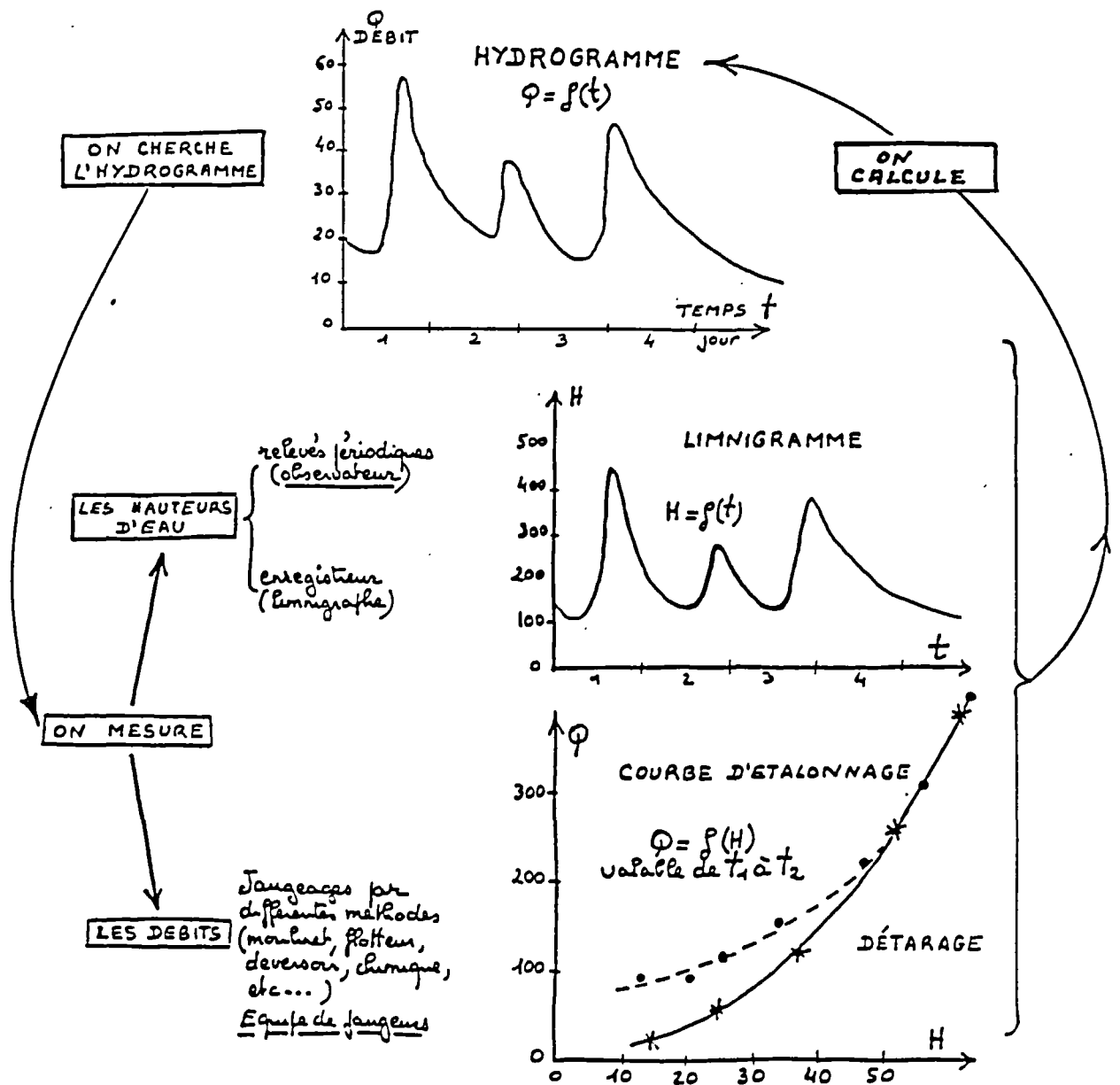
- 6.2.1. Dépouillement des jaugeages à la main (mode d'utilisation d'un planimètre) et avec le logiciel DEPJAU sur VAX.
- 6.2.2. Discussion sur les résultats, précision des jaugeages.

#### 6.3. ELABORATION DES DONNEES HYDROMETRIQUES AVEC LE LOGICIEL DELPHES SUR VAX ( à partir d'exemples concrets).

- 6.3.1. Assemblage de fichiers de hauteurs d'eau.
- 6.3.2. Etablissement d'une courbe d'étalonnage à partir d'une liste de jaugeages. Discrétisation et chargement informatique.
- 6.3.3. Transformatin des hauteurs d'eau en débits.
- 6.3.4. Elaboration et édition des débits d'annuaire.

### 7. REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES.

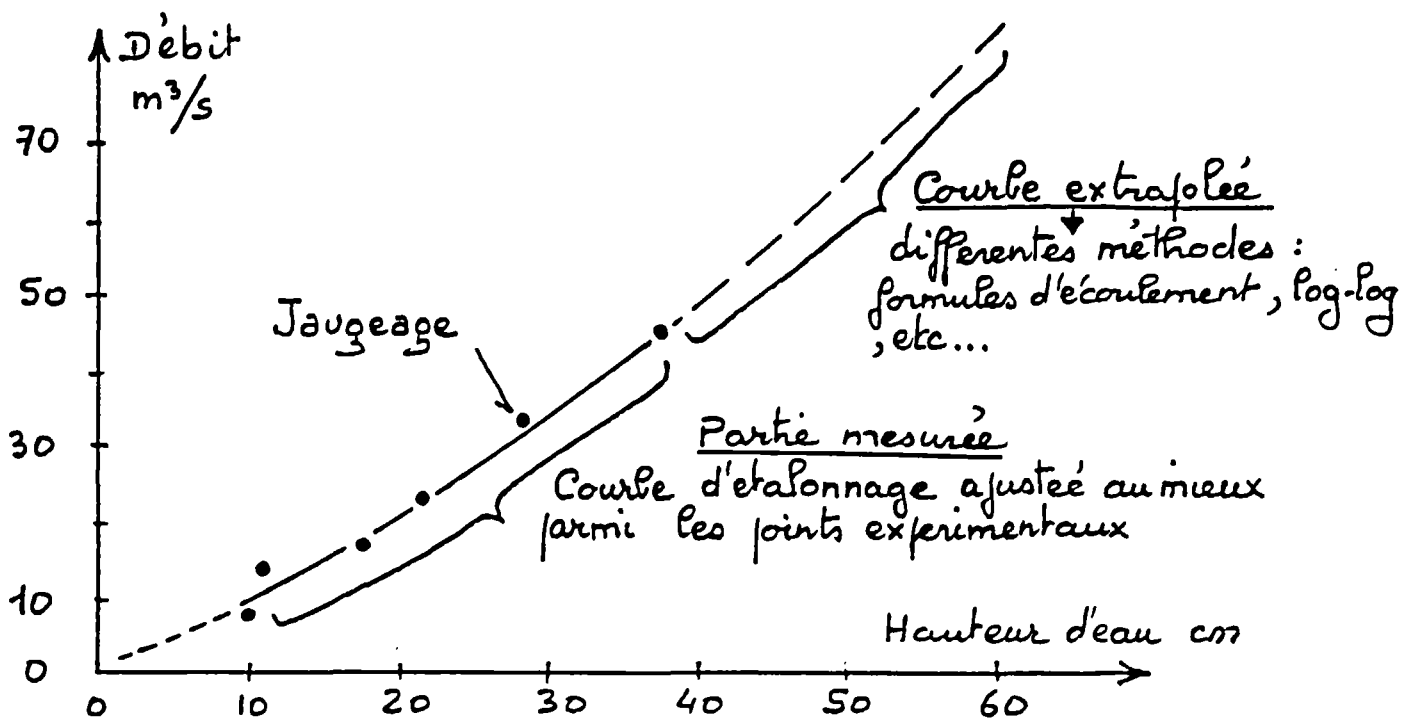
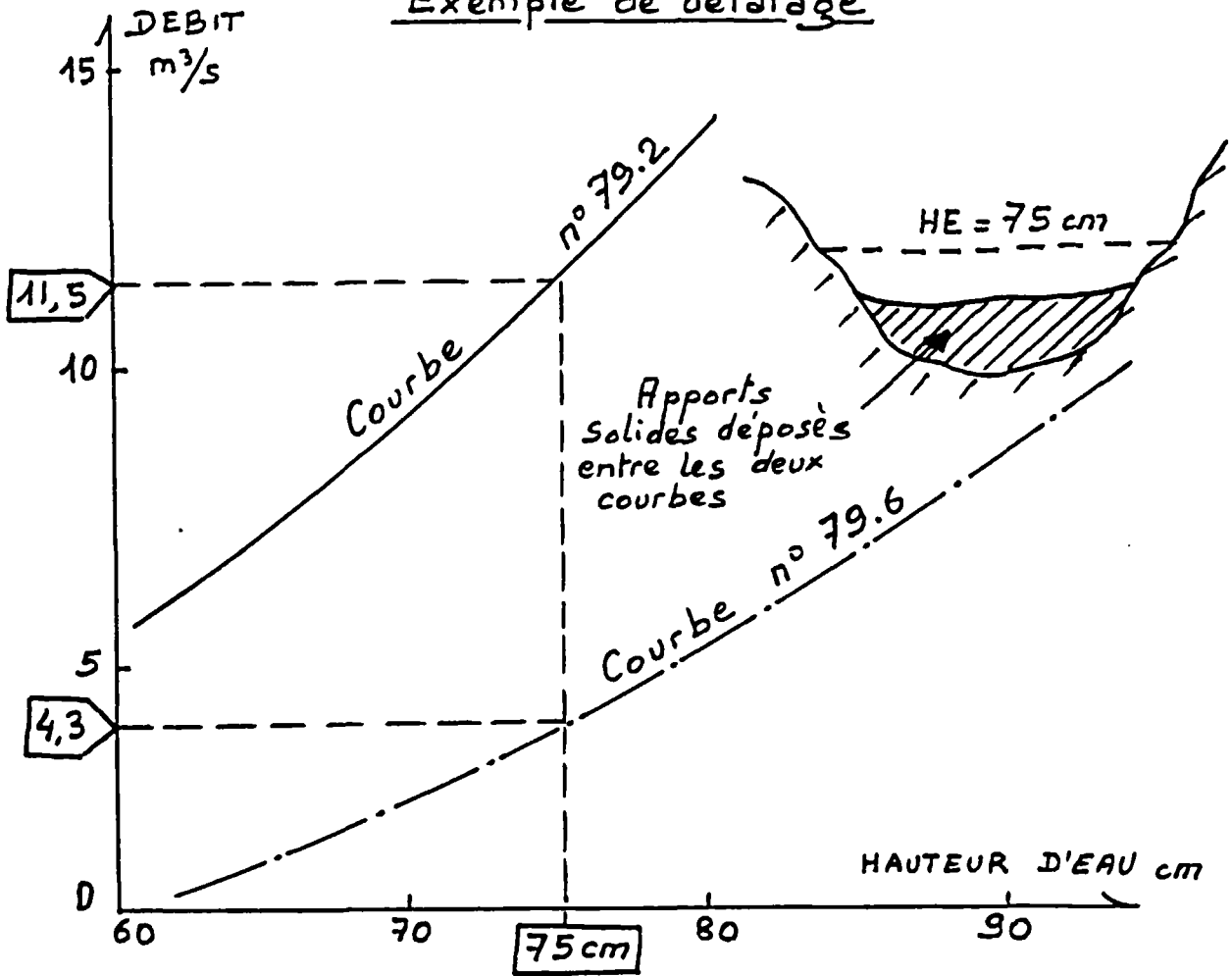
## **1. LE PRINCIPE DES MESURES ET LEUR BUT .**



LE PRINCIPE DES MESURES EN HYDROLOGIE

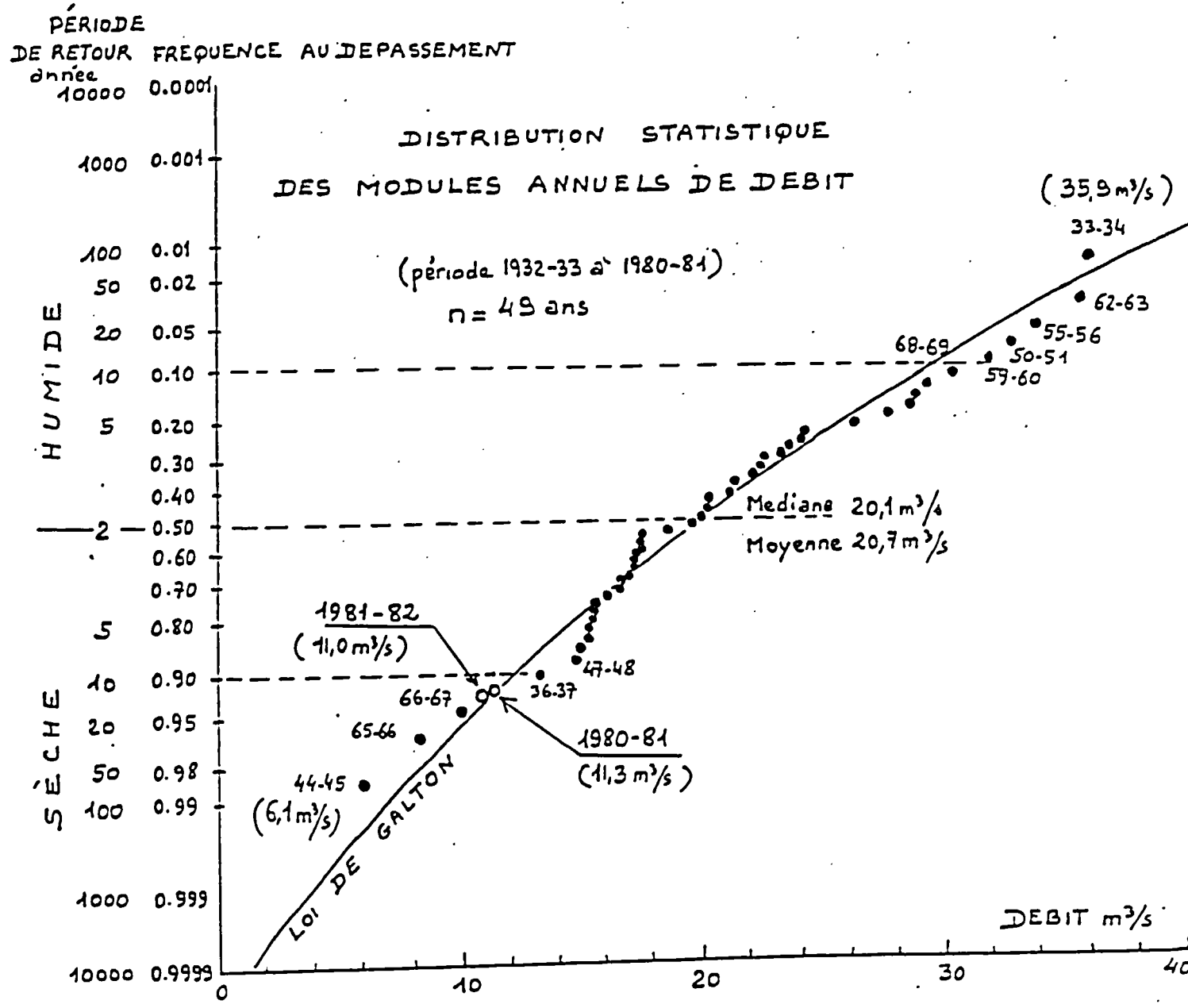
# COURBES D'ETALONNAGE

## Exemple de détariage



# VARIABILITE TEMPORELLE DES DONNEES HYDROMETRIQUES

Exemple du régime hydrologique d'un cours d'eau d'Afrique du Nord



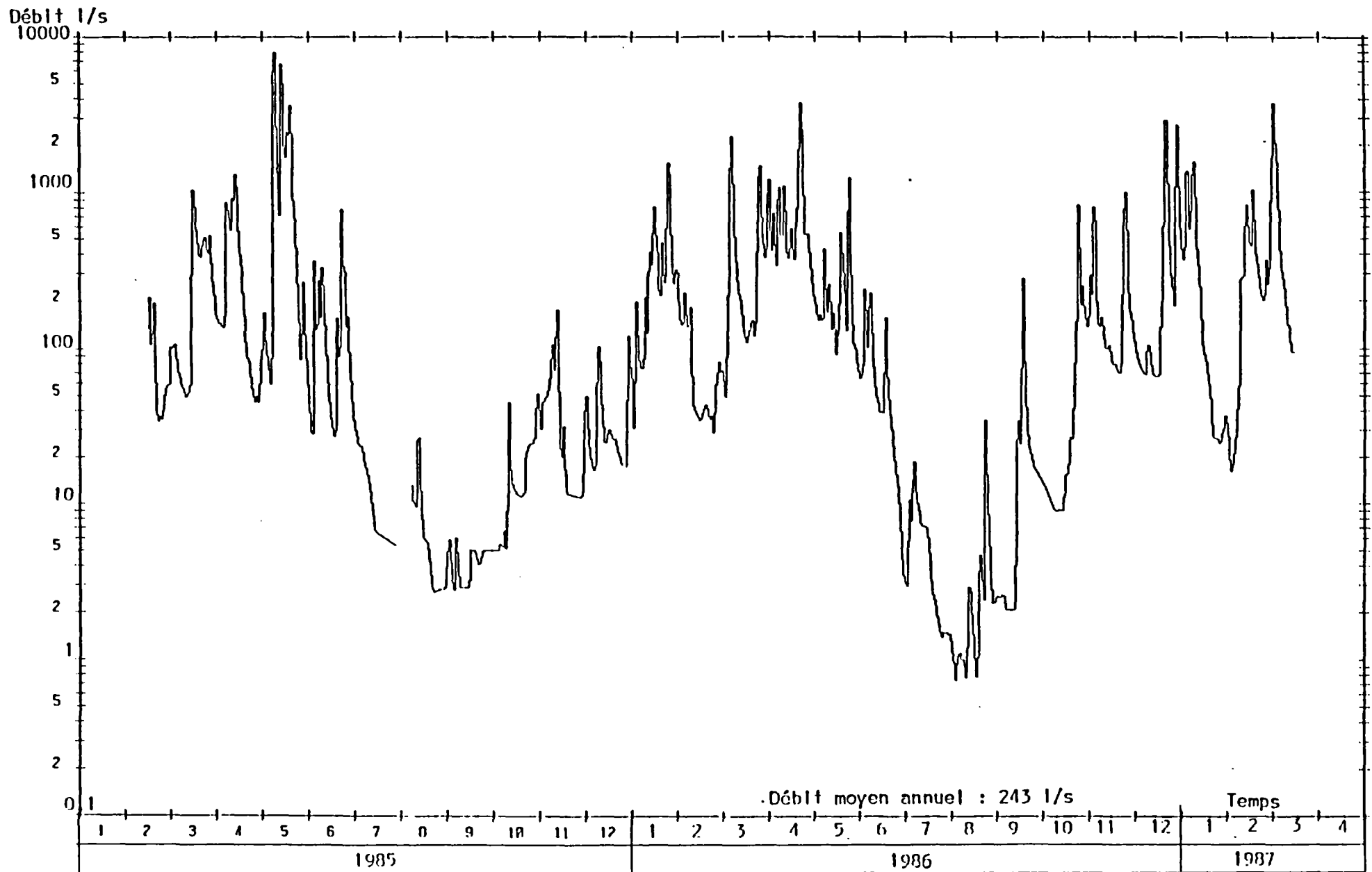


Figure - Hydrogramme des débits journaliers des Noyes d'Amance à la station du pont route D 24

Débit l/s

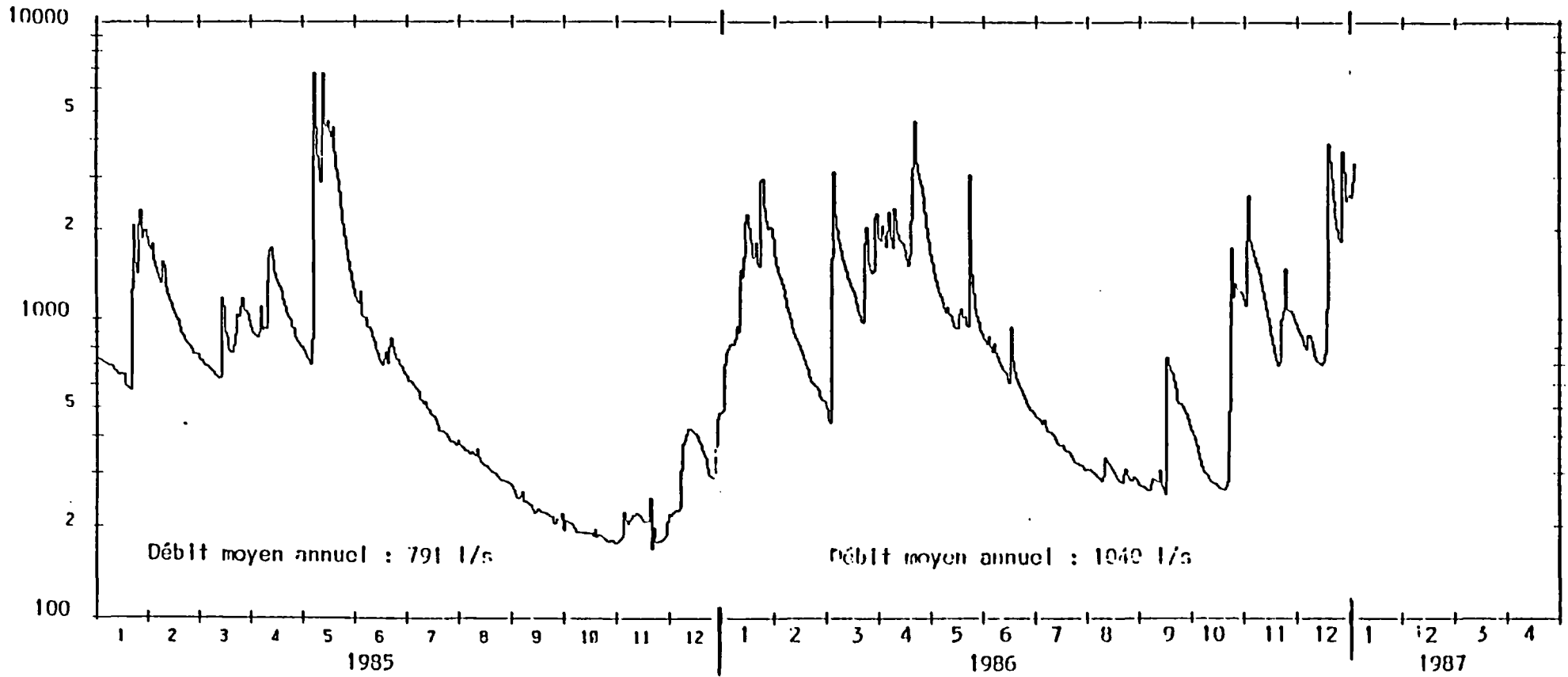


Figure - Hydrogramme des débits journaliers de la Laine à la station SRAE du Moulin d'en Bas

## **2. LES MESURES DE DEBIT – DEBITOMETRIE**

# JAUGEAGES AU MOULINET

## JAUGEAGE AU MOULINET

### 1. PRINCIPE

### 2. MATERIEL

#### 2.1. Le moulinet

- 2.1.1. Principe du fonctionnement
- 2.1.2. Les capteurs : hélices et coupelles
- 2.1.2. L'interrupteur électro-magnétique ou électro-mécanique
- 2.1.3. Les liaisons électriques
- 2.1.4. Les dispositifs de comptage du nombre de tours et du temps

#### 2.2. Les supports de moulinet : matériel de déplacement vertical et horizontal

- 2.2.1. Montage sur perche ou microperche simple ou coulissante, pied de manoeuvre et perche intégratrice

- 2.2.2. Montage sur saumon

- 1. Cyclopotence
- 2. Traille téléphérique
- 3. Montage sur un bateau

### 3. MODES OPERATOIRES ET LEURS DOMAINES DE VALIDITE

#### 3.1. Méthodes utilisant un moulinet porté par une perche

- 3.1.1. Mesure en "bottes" dans la rivière
- 3.1.2. Mesure à partir d'une passerelle

#### 3.2. Méthodes utilisant un moulinet porté par un saumon

- 3.2.1. Cyclopotence à partir d'un pont
- 3.2.2. Traille téléphérique
- 3.2.3. Jaugeage en bateau

### 4. REALISATION DES MESURES SUR LE TERRAIN

- 4.1. Transport et entretien du matériel
- 4.2. Choix et aménagement de la section de jaugeage
- 4.3. Choix du matériel approprié à l'écoulement à mesurer
- 4.4. Choix du nombre et de la répartition des points de mesure
- 4.5. Le carnet de mesure

### 5. DEPOUILLEMENT DES MESURES

#### 5.1. Calcul du débit laminaire sur une verticale

- 5.1.1. Mesures faites point par point

- 1. Correction d'orientation
- 2. Correction air et eau
- 3. Courbe des vitesses sur une verticale ("parabole des vitesses")

#### 4. Calcul du débit laminaire

##### 5.1.2. Mesures faites par intégration

#### 5.2. Calcul du débit sur une section de mesure

##### 5.2.1. Méthode des isotaches

##### 5.2.2. Méthode des "paraboles"

##### 5.2.3. Méthode des "verticales indépendantes"

#### 5.3. Détermination de la cote correspondante à l'échelle limnimétrique

#### 5.4. Dépouillement par ordinateur : le programme DEPJAU

### 6. SOURCES D'ERREURS ET PRECISION

#### 6.1. Erreurs les mesures de longueur

##### 6.1.1. Erreurs sur les mesures de largeur

##### 6.1.2. Erreurs sur les profondeurs

##### 1. Détermination de la surface

##### 2. Détermination du fond

##### 3. Distance entre les mesures de surface et de fond

#### 6.2. Erreurs sur la mesure de la vitesse

#### 6.3. Erreurs sur le dépouillement

#### 6.4. Erreurs liés aux variations de débit pendant le jaugeage

#### 6.6. Synthèse des erreurs

### 7. COÛTS

#### 7.1. Coût du matériel

#### 7.2. Coût de la mesure

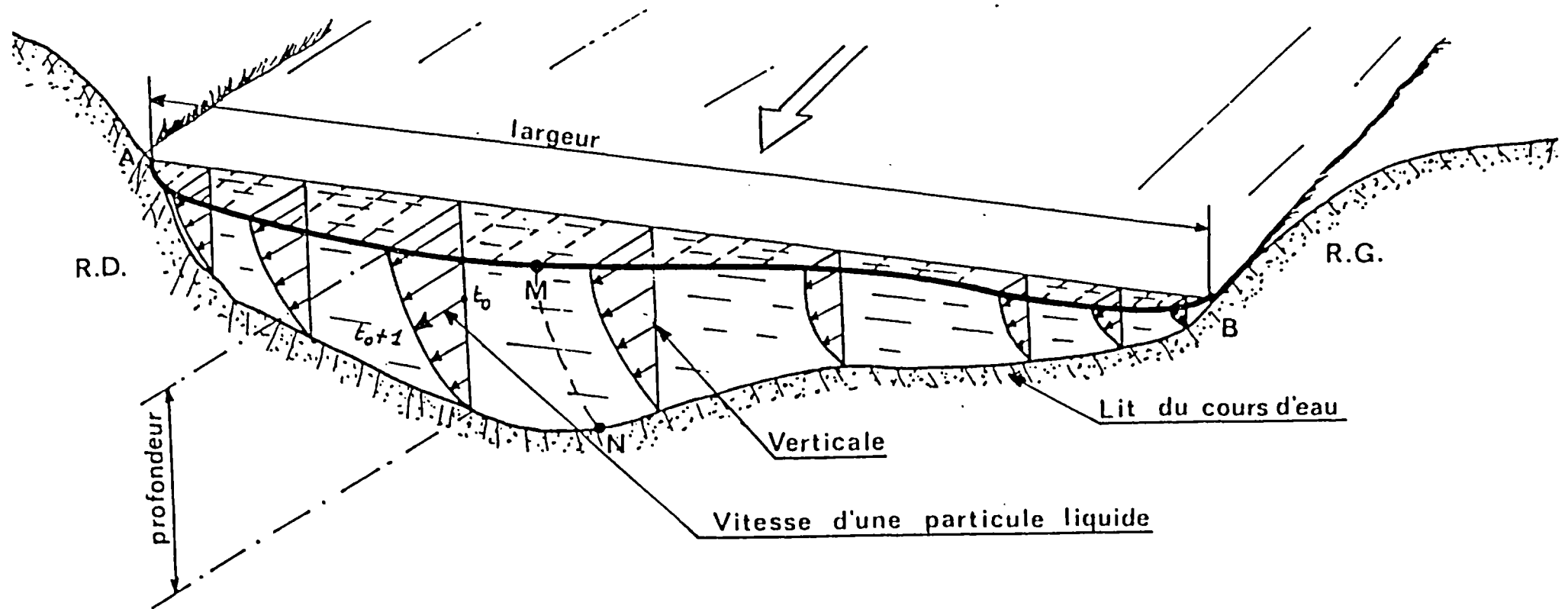
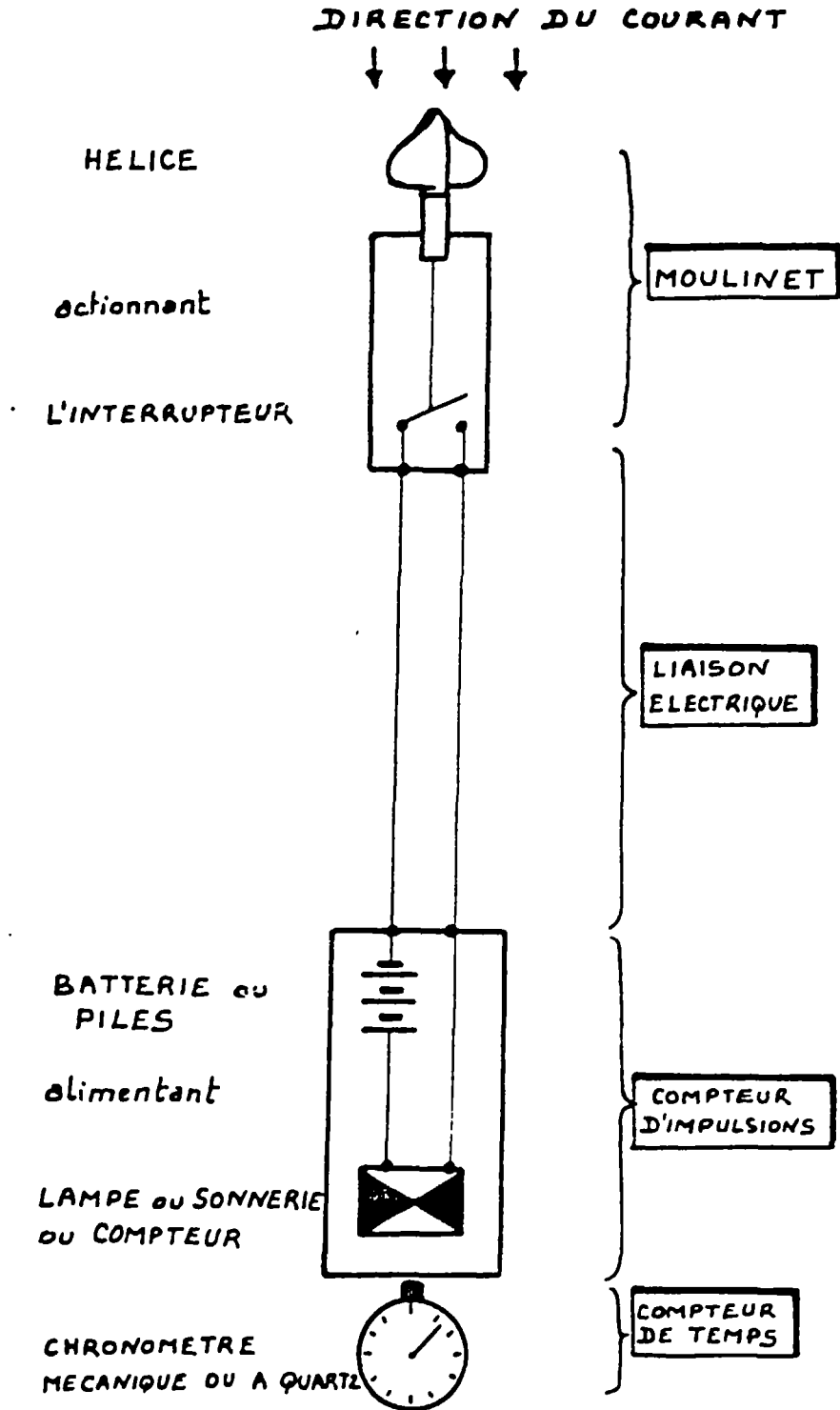


Fig. - Représentation du débit

**SCHEMA DE FONCTIONNEMENT D'UN MOULINET  
A SIGNALISATION ELECTRIQUE**



## TARAGE DES MOULINETS.

On admet qu'une hélice mesure la vitesse moyenne de la veine de fluide correspondant à son diamètre. La relation entre la vitesse ponctuelle  $v$  (en m/s) et la vitesse de rotation de l'hélice  $n$  (en tours/s) est obtenue en laboratoire, en déplaçant un moulinet et son hélice, au moyen d'un chariot support dans un canal à eau immobile. L'étude théorique montre que la courbe  $v = f(n)$  est une hyperbole dont la courbure n'est sensible qu'aux faibles vitesses. En pratique on discrétise cette courbe en 1, 2 ou 3 segments de droite chacun valable en deçà et au delà d'une vitesse de rotation donnée :

$$v = a + b.n$$

Sous cette forme, le terme  $a$  (en m/s) représente la vitesse minimale de l'eau pour que l'hélice commence à tourner ; ce terme prend donc implicitement en compte les frottements, l'inertie et l'état mécanique de l'ensemble hélice moulinet.

Le terme  $b$  (en m) correspond au pas réel de l'hélice dont la valeur arrondie est le pas théorique ou nominal (0.05; 0.10; 0.25 ou 0.50). Signalons enfin que cette équation est également très légèrement dépendante du support du moulinet et devrait donc en théorie varier selon qu'il s'agisse d'une perche ou d'un saumon.

### Erreurs sur la mesure de la vitesse.

$$v = a + b.N/t$$

$$\frac{dv}{v} = \frac{da}{a} + \frac{db}{b} + \frac{dN}{N} + \frac{dt}{t}$$

$$\frac{da}{a} \text{ est négligeable.}$$

D'après le constructeur  $db/b < 1\%$  avec tarage spécial (non interchangeable des hélices, axes roulements à billes) et  $db/b < 2\%$  avec un tarage standard. Malgré la perte de précision il semble préférable de prendre, pour les mesures en rivière, le tarage standard qui permet de changer sur le terrain, une pièce susceptible d'être devenue défectueuse à la suite d'un choc même faible (axe notamment).

#### Exemple:

$$\text{si } t = 33\text{s} \quad dt = 0.2\text{s} \quad N = 200 \quad dN = 2 \\ v = 1.5 \text{ m/s} \quad dv/v = 0.02 + 0.01 + 0.006 < 4\%$$

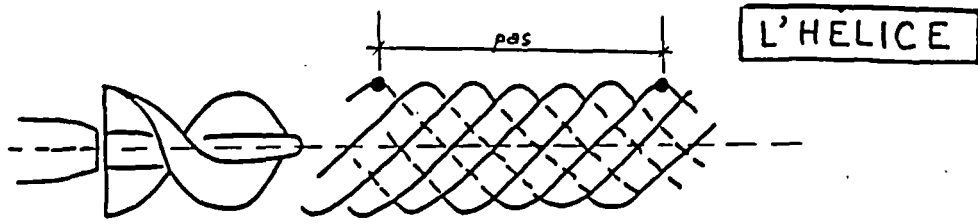
$$\text{si } t = 33\text{s} \quad dt = 0.2\text{s} \quad N = 400 \quad dN = 2 \\ v = 3 \text{ m/s} \quad dv/v = 0.02 + 0.005 + 0.006 < 3\%$$

En accroissant  $N$  donc  $t$  pour  $v = Cte$  c'est  $db/b$  qui devient vite prépondérant. En fait, on ne peut pas trop accroître la durée de la mesure en période de crue car la durée totale du jaugeage devient trop longue au regard des variations de débit.

### Influence de la turbulence du régime.

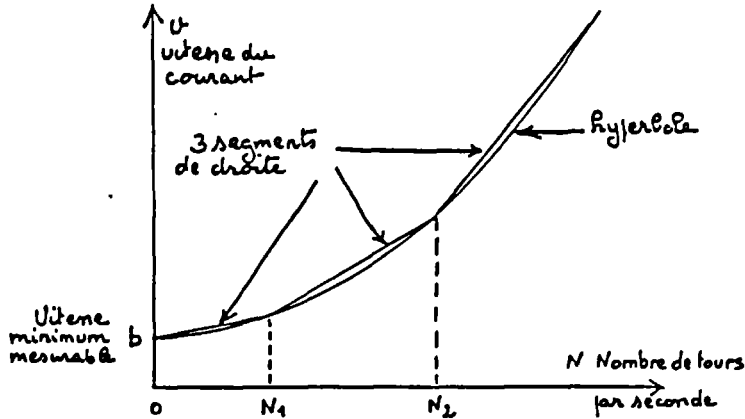
En hydraulique des cours d'eau naturels on a toujours affaire à un régime turbulent : en un point donné le vecteur vitesse  $v$  n'est stable ni en grandeur ni en direction. Le vecteur vitesse subit des variations qui paraissent désordonnées mais qui sont en fait cycliques. Si on mesure la vitesse sur un temps suffisamment long on intègre toutes ces fluctuations et on obtient une vitesse moyenne qui correspond à la résultante des vecteurs vitesse. En jaugeage normal les vitesses sont mesurées sur 30s pour celles rapides de l'ordre de 2m/s, sur 40s pour celles de l'ordre de 1m/s et sur 50 à 60s pour celles inférieures à 0.2m/s. La vitesse moyenne en un point n'est constante dans le temps que si on a affaire à un régime permanent uniforme c'est pourquoi on recherchera des sections de jaugeage où l'écoulement répond à ces normes (section constante, bief rectiligne, pente de la ligne d'eau égale à celle du fond du cours d'eau). Dans les autres régimes turbulents (régime turbulent varié...) les filets liquides ne sont plus parallèles entre eux et on ne peut mesurer les vitesses avec un moulinet.

### Influence de l'orientation du courant.



L'HELICE

Notion de pas d'une hélice



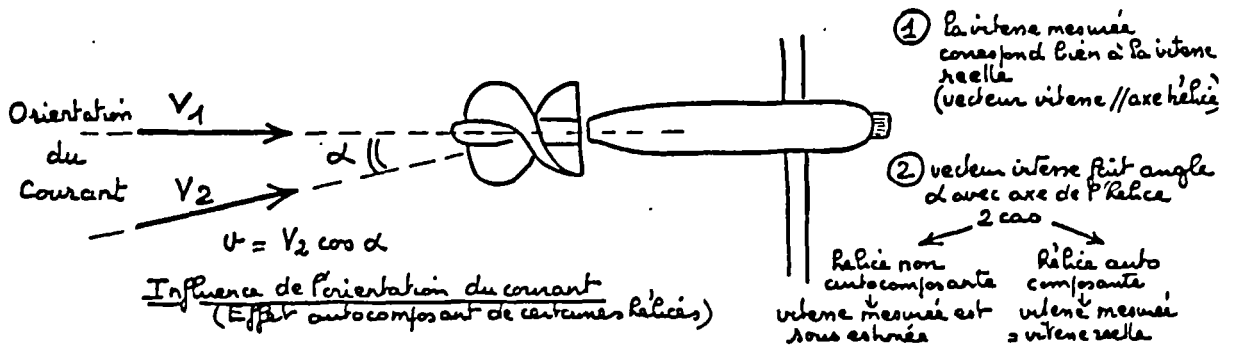
Formule d'étalonnage

$$0 < N < N_1 \quad U = aN + b$$

$$N_1 < N < N_2 \quad U = a'N + b'$$

$$N_2 < N \quad U = a''N + b''$$

Courbe d'étalonnage d'une hélice pour un montage moulinet déterminé



## ETENDUE DE MESURE DES VITESSES

## 1. MOULINET OTT C31

Numero grave sur l'hélice	diamètre mm	pas nominal (théorique) m	vitesse de démarrage m/s	incidence maxi pour l'effet autocomport.	Matériau
1	125	0,25	0,025	5	laiton chromé
1	125	0,25	0,035	5	matière plastique
2	125	0,50	0,040	5	laiton chromé
2	125	0,50	0,060	5	matière plastique
3	125	1,00	0,055	5	laiton chromé
4	80	0,125	0,040	5	laiton chromé
A	100	0,125	0,030	45	laiton chromé
R	100	0,25	0,035	15	alliage léger anodisé

La vitesse maximale mesurable est fonction de la capacité maximale d'absorption du compteur d'impulsion utilisé :

- 10 pour les compteurs Z21, F6, F4 de OTT
- 20 pour le compteur Z30, Z200, Z210 de OTT
- 50 pour le compteur CJR 33 de FRON

vitesse max = pas x capacité max. d'absorption du compteur d'impulsion

## 2. MICROMOULINET OTT-C2

Numero grave sur l'hélice	diamètre mm	pas nominal (théorique) m	vitesse de démarrage m/s	incidence maxi pour l'effet autocomport.	Matériau
1	50	0,05	0,025	30	aluminium anodisé
2	50	0,10	0,030	20	
3	50	0,25	0,035	10	
4	50	0,50	0,060	-	
5	30	0,05	0,050	20	
6	30	0,10	0,055	10	

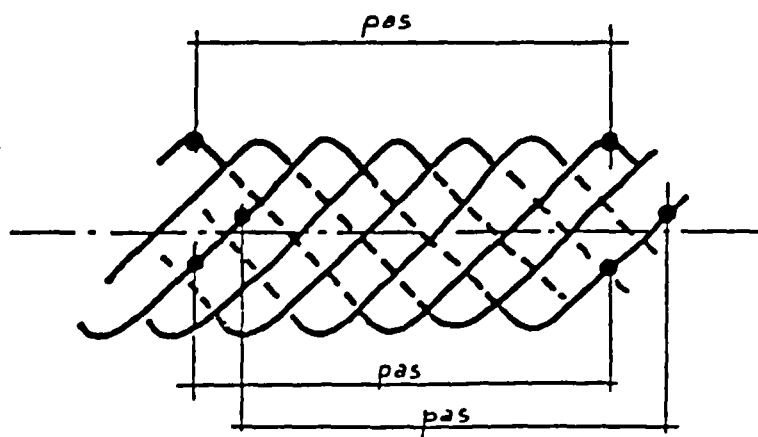


Fig. 3 - Notion de "pas" d'une hélice

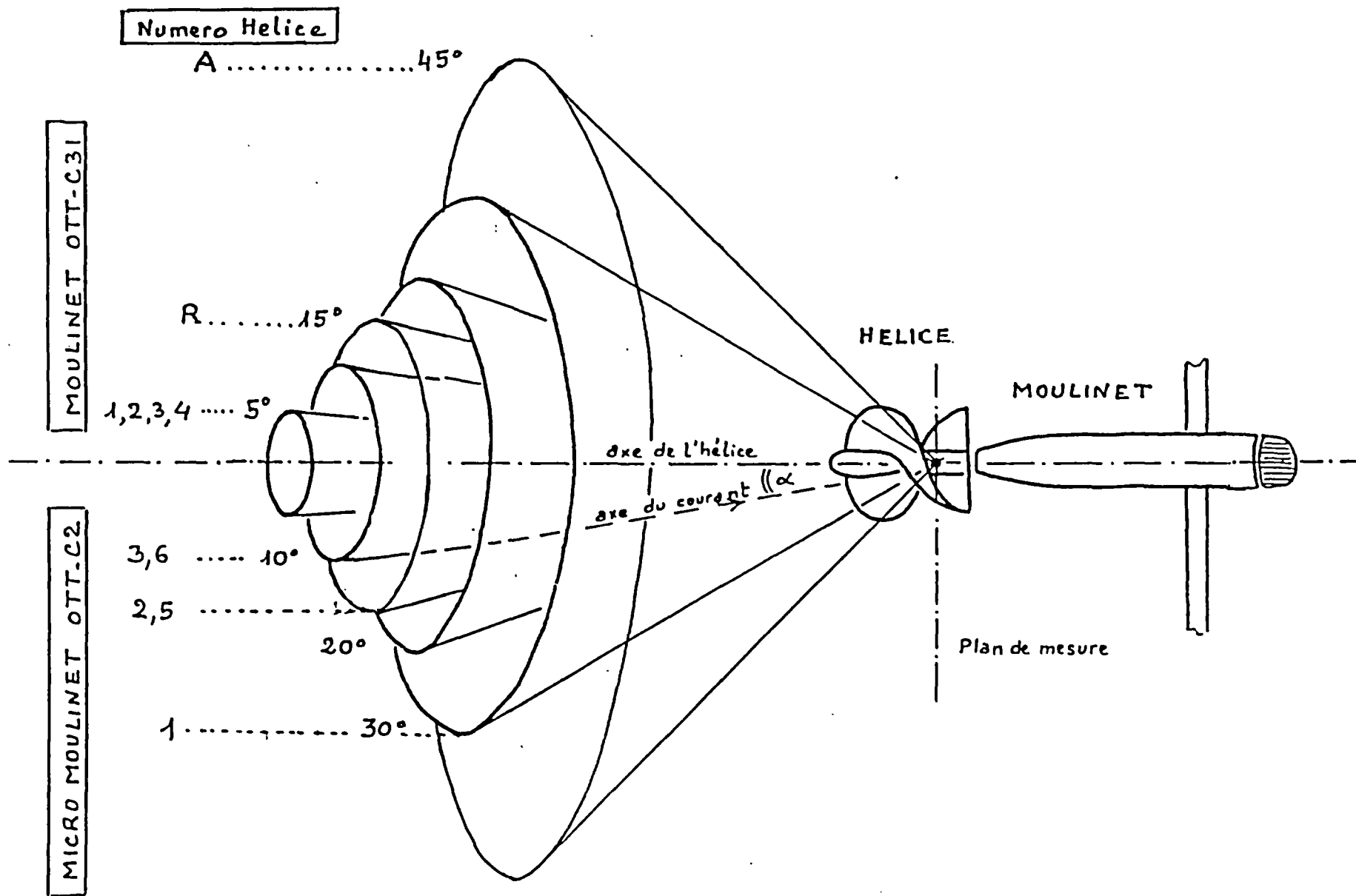
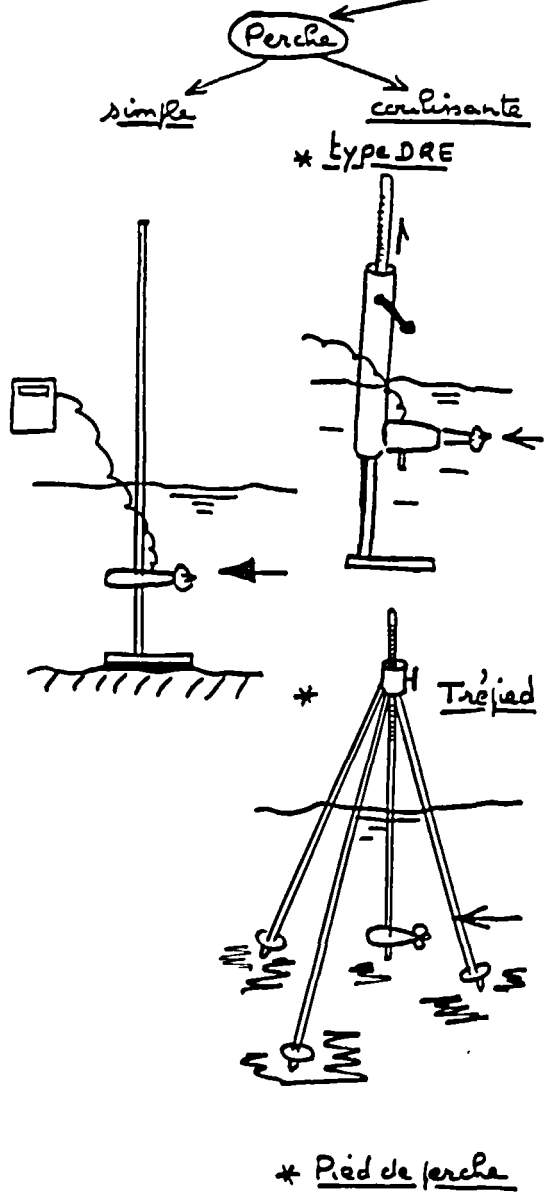


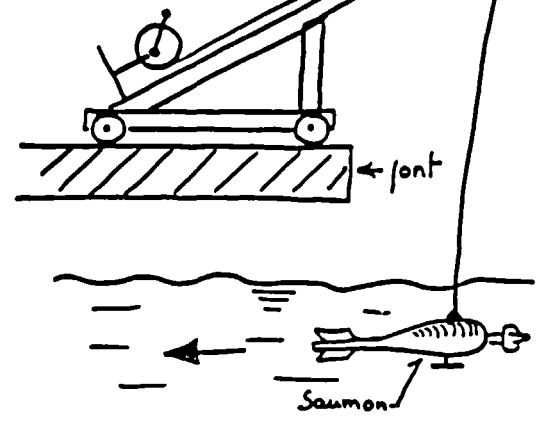
Fig. - Incidence maximum pour l'effet autocomposant des hélices de moulinet OTT-C31 et de micromoulinet OTT-C2

# LES SUPPORTS DE MOULINETS

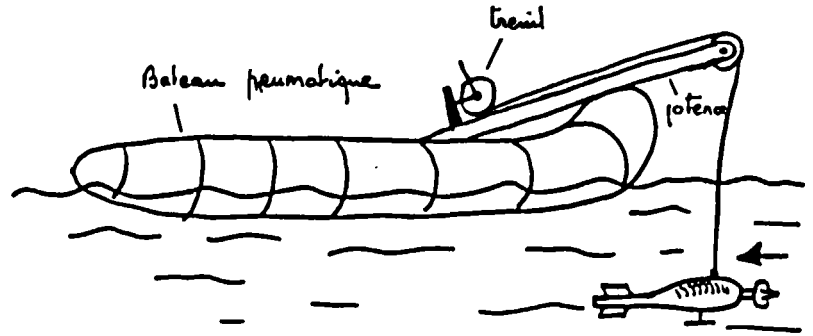


Poids de castage profile "saumon"

## ① Cyclopotencia

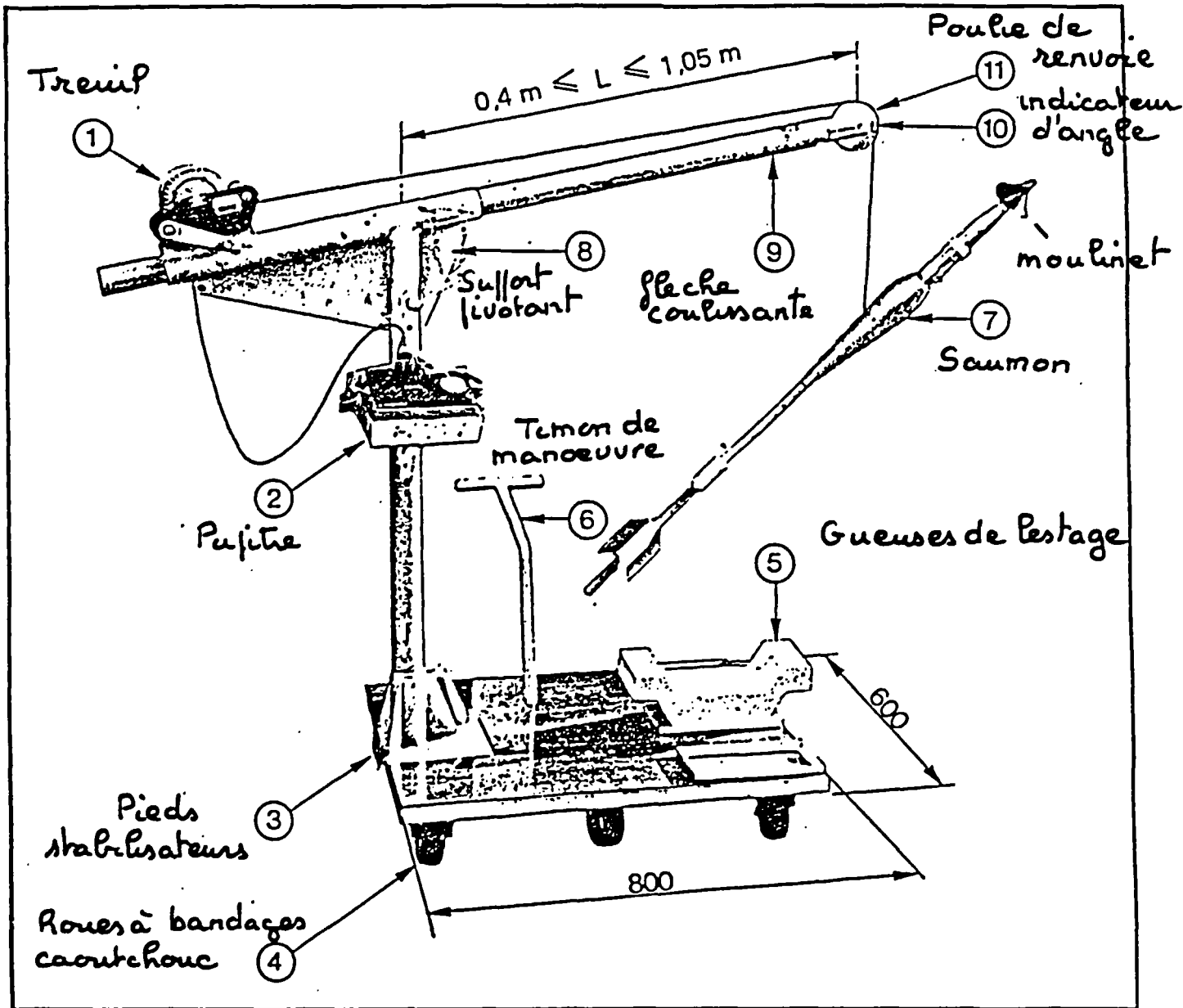


## ② Bateau



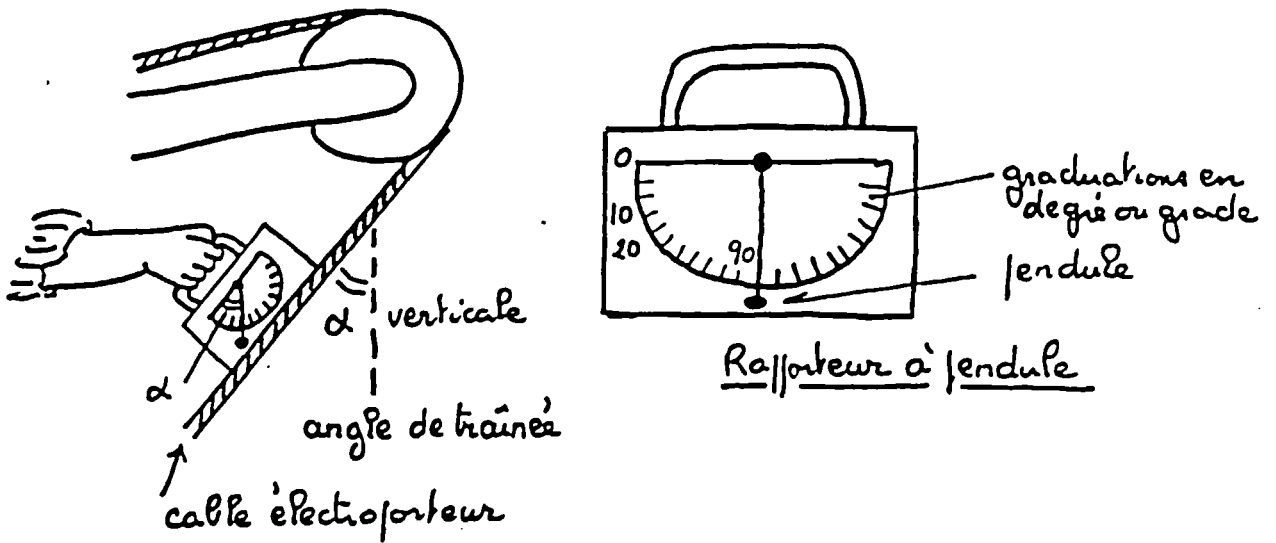
## ③ Traille téléphérique

# CYCLOPOTENCE

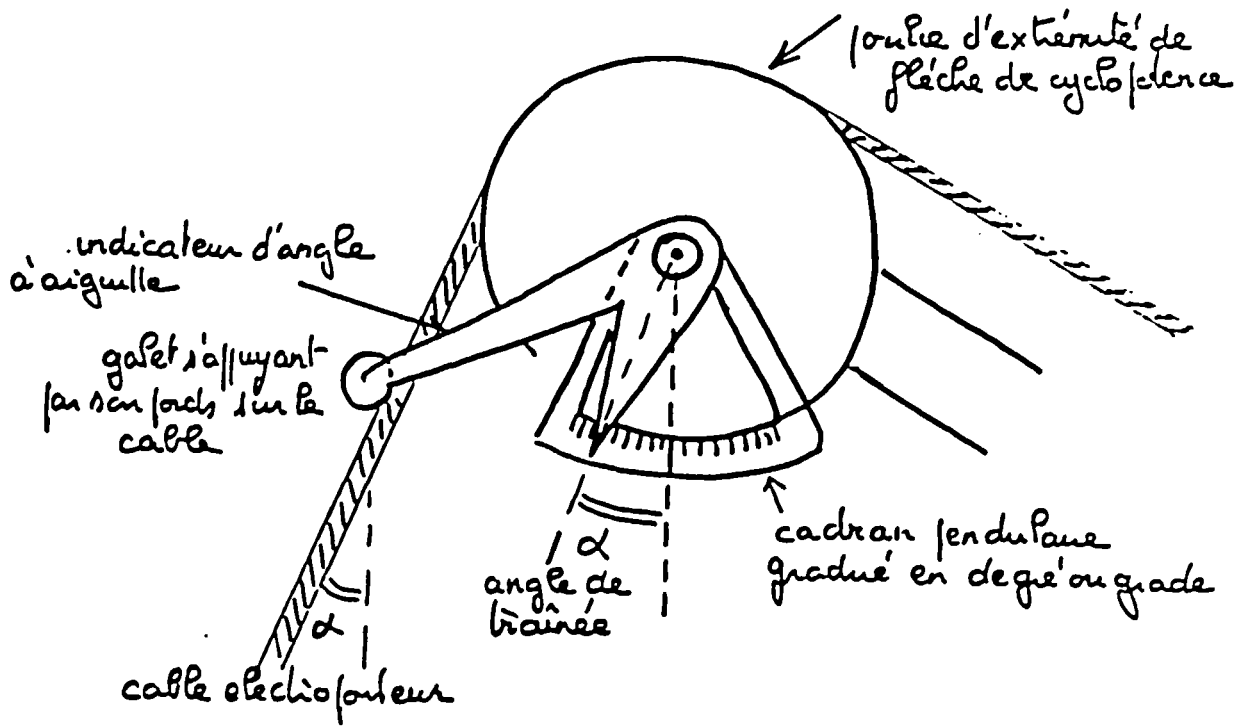


Cyclopotence 2434.A.

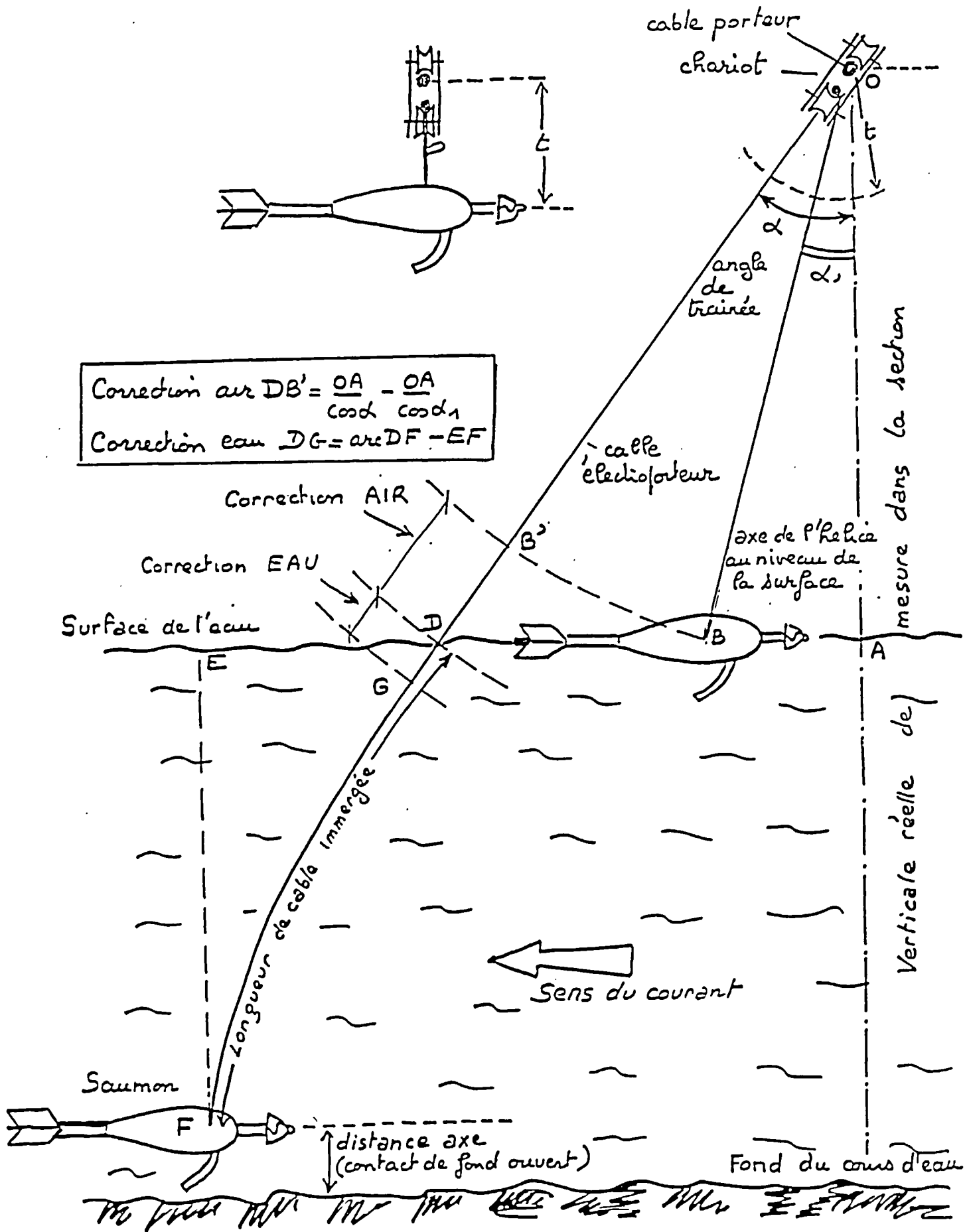
MESURE DE L'ANGLE DE TRAINÉE



Principe de la mesure avec un rafforteur à pendule  
(cas d'une cycloptence ou d'un téléphérique)

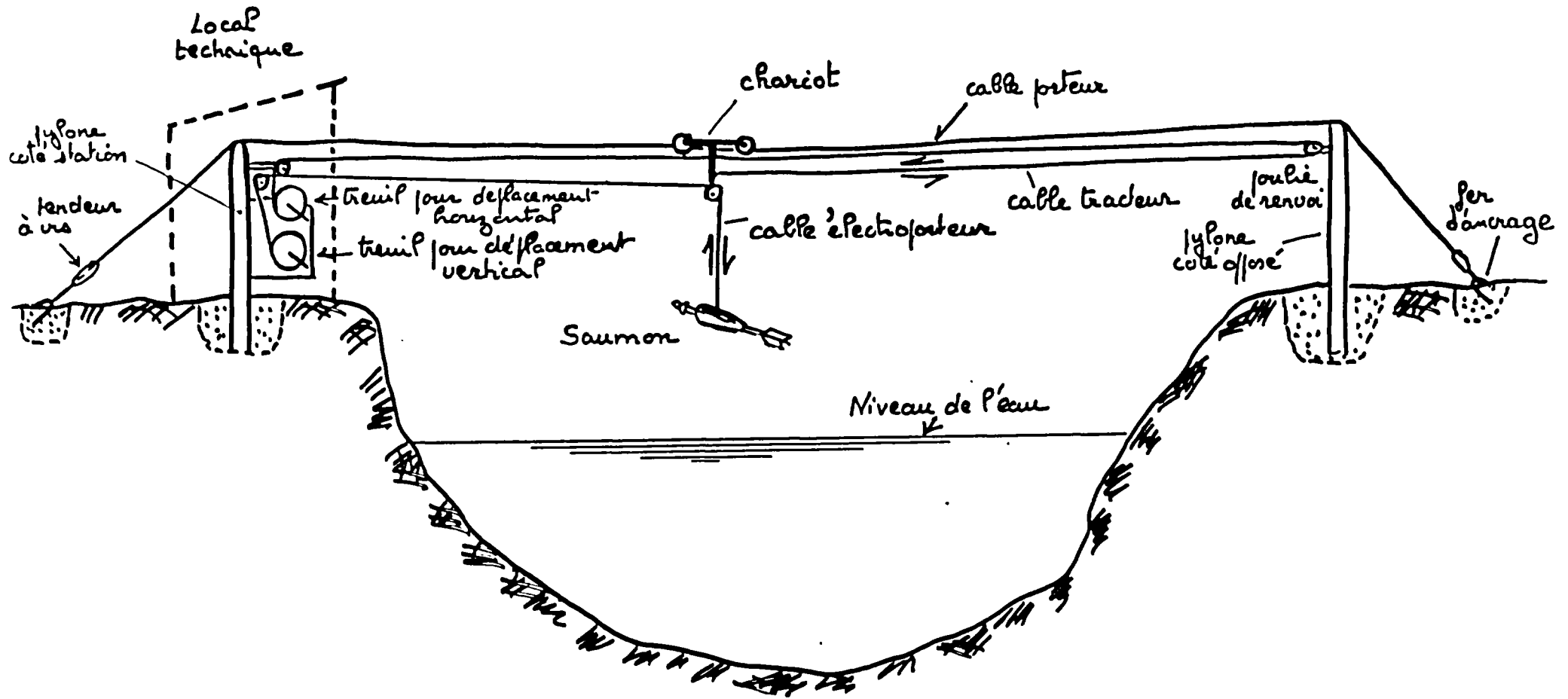


Dispositif de mesure de l'angle de traînée du cable  
d'une cycloptence



Principe des mesures au saumon  
 Corrections air et eau dues à la traînée du câble

# PRINCIPE DE LA TRAILLE TÉLÉPHERIQUE



# VARIATIONS DE LA VITESSE

- ① La vitesse varie en un même point en grandeur et direction  
 → temps de comptage des tofs suffisamment long pour définir au mieux vitesse moyenne représentative  
 Ex.  $N \gg 100$ ,  $T \gg 30s$
- ② La vitesse varie d'un point à un autre suivant forme fond, des berges, etc....  
 → mesures de vitesses sur différentes verticales, réparties dans la section de mesure

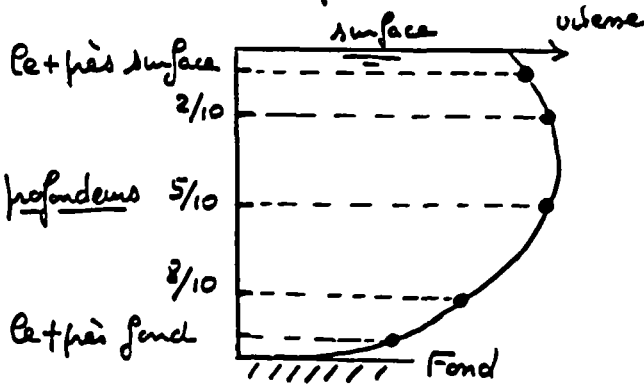
## B. La vitesse varie sur une même verticale

2 méthodes

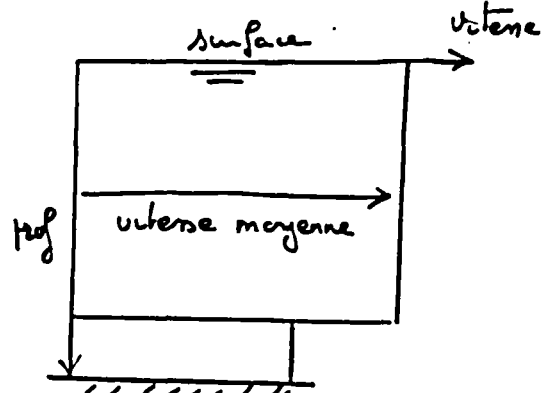
par points

par intégration

- nombre et positionnement des points variable ( $\neq$  méthode)
- Exemple



"fenêtrable" des vitesses

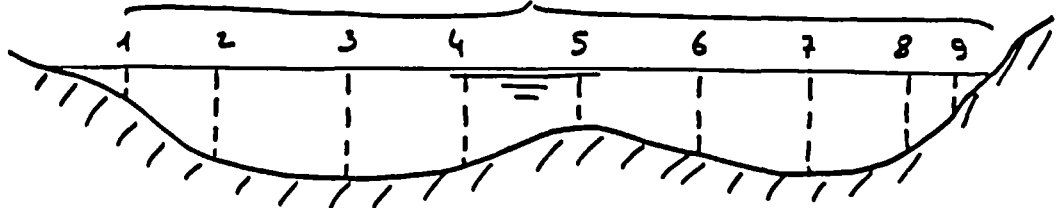


2 procédés

saumon  
haut → bas

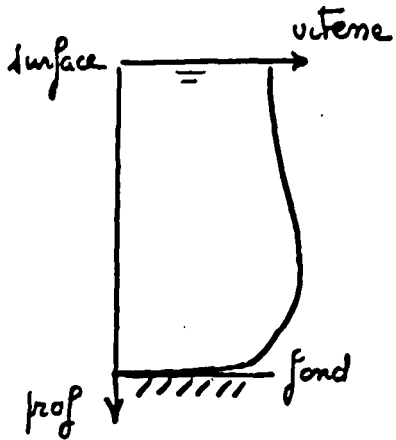
microperche  
bas → haut

## b - La vitesse varie d'une verticale à une autre verticales de mesure

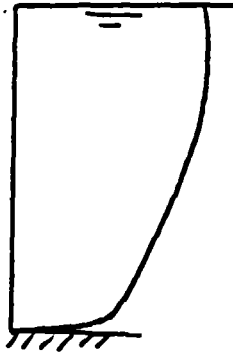


- aucune règle rigide
- dans certains cas particuliers "règle des milieux"

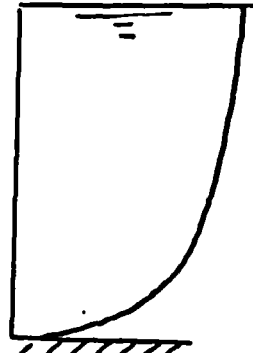
# QUELQUES EXEMPLES DE "PARABOLES" DES VITESSES



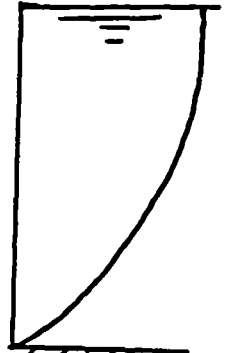
grande vitesse  
écoulement très turbulent



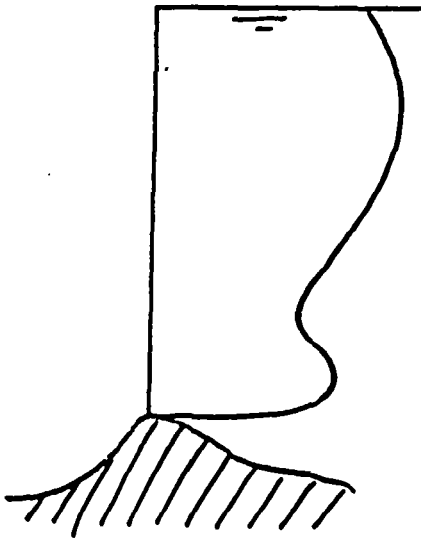
faibles vitesses  
fond lisse



fond rugueux  
rochers



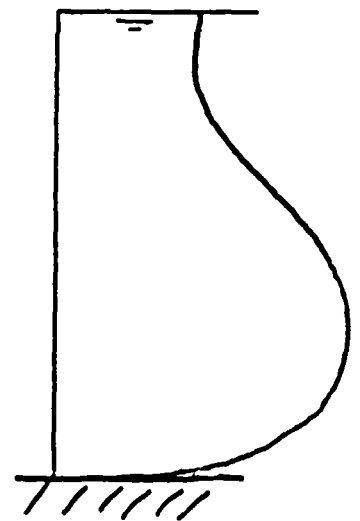
fond très rugueux  
végétation aquatique  
très importante



flu dessus d'un brouillard  
ou rocher important

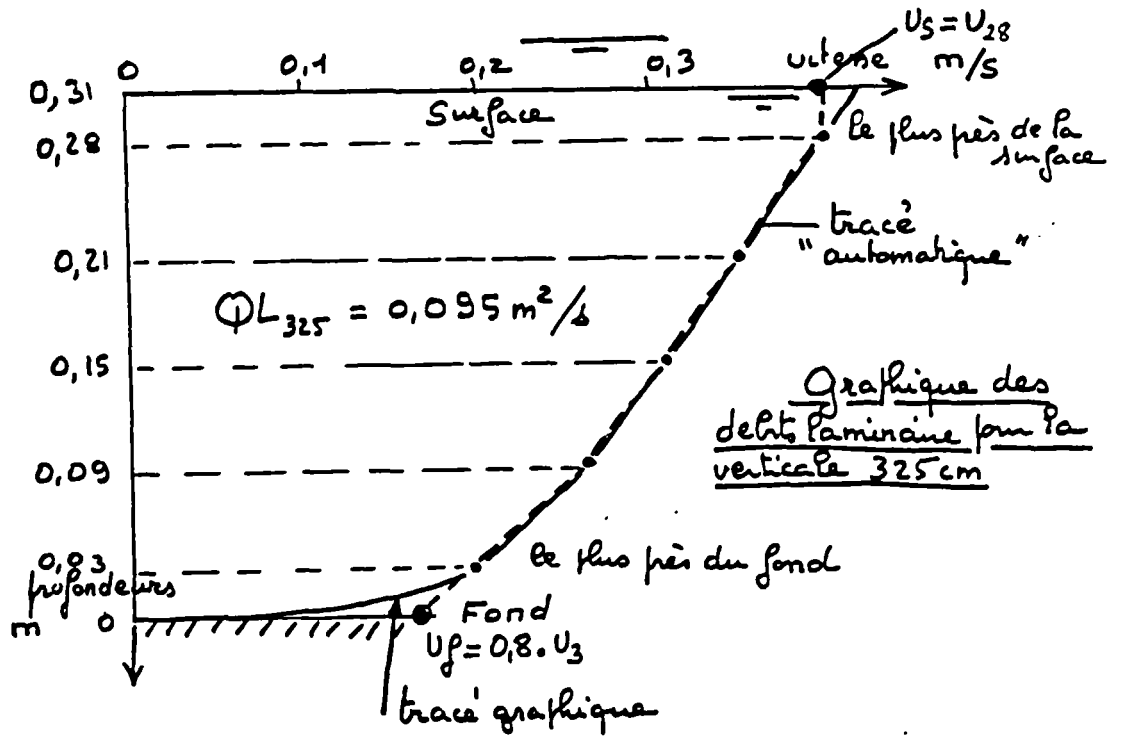


au dessus d'un liou  
ou à l'aval d'un rocher

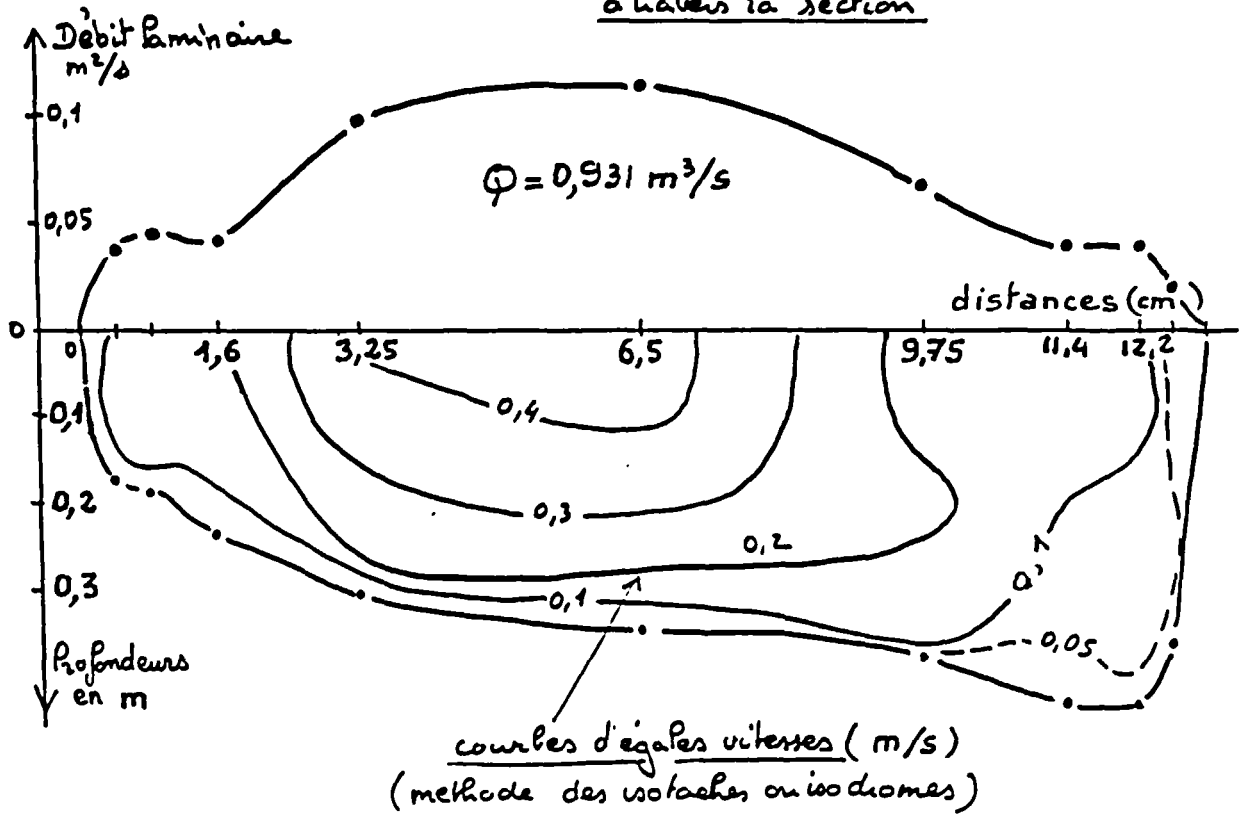


freinage en surface  
(branchages immergés)

# METHODES DE DEPOUILLEMENT



Evolution des débits laminaires à travers la section









DEPOUILLEMENT D'UN JAUGEAGE AU MOULINET

Nom du point d'eau **Riviere Blanche**

Nom de la station **Moulin**  
 N° d'identification **IX-32**  
 Date de la mesure **12-3-1987 à 11.43**

Largeur **4.000** m  
 Profondeur moyenne **.313** m  
 Profondeur maximum **.600** m  
 Rayon hydraulique **.282** m  
 Coef. KI 1/2 **1.718** ?  
 Vitesse moy. surface **.602** m/s  
 Vitesse maximum **1.005** m/s  
 Coef.  $V_{moy}/V_{moy\ surf}$  **1.226**

Vitesse moyenne **0,694** **.738** m/s  
 Section mouillée **1.250** m<sup>2</sup> (rayon x largeur)  
 Cote moyenne **1.035** m

DEBIT ..... **.923** m<sup>3</sup>/s  
**0,87** m<sup>3</sup>/s.

Détail des résultats

Formule d'étalonnage

$$\begin{aligned} N < 1.82 & \quad V = .0623 * N + .015 \\ 1.82 < N < 6.55 & \quad V = .0579 * N + .023 \\ N > 6.55 & \quad V = .055 * N + .042 \end{aligned}$$

Temps présélectionné en 1/10s **300**

Heure	Cote m	Distance m	Prof m	Tops	Temps 1/10s	Vitesse m/s	Débit lam m <sup>2</sup> /s
11.1	1.03	.1	.3				.212
		1.1	.6				
			.03	328	300	.643	
			.16	426	300	.823	
			.3	493	300	.946	
			.43	525	300	<b>1.005</b>	
			.57	509	300	.975	.531
		2.1	.3				
			.03	271	300	.539	
			.09	302	300	.596	
			.15	315	300	.62	
			.21	321	300	.631	
			.27	317	300	.623	.179
		3.1	.2				
			.03	224	300	.453	
			.1	278	300	.552	
			.17	313	300	.616	.107
12.15	1.04	4.1	0				0

TARLEAU 7

STATION : RIVIERE LA LAINE - MOULIN D'EN BAS

LISTE DES JAUGEAGES

JOUR	MOIS	ANNEE	HEURE MOY	COTE M	DEBIT L/S
6	1	1987	9H48	0.702	3370
17	2	1987	9H23	0.405	1380
3	3	1987	11H41	0.586	2570
17	3	1987	9H15	0.350	1040
26	4	1987	9H43	0.298	704
10	6	1987	10H25	0.241	459
22	6	1987	12H25	0.485	1840
8	7	1987	15H10	0.333	923
20	7	1987	13H25	0.394	1150
18	8	1987	15H25	0.295	741
15	9	1987	10H 0	0.264	607
10	11	1987	9H 7	0.240	507
23	11	1987	15H13	0.630	2430
18	1	1988	16H44	0.508	1860
15	2	1988	14H55	0.634	2740
29	2	1988	16H40	0.378	1180
15	3	1988	9H10	0.333	928

VALEURS EXTREMES JAUGES

ANNEE	!	!	DATE			COTE	!	DEBIT
!	!	!	JOUR	MOIS	HEURE	M	!	L/S
1987	!	!	10	6	18H25	0.241	!	459
	!	!	6	1	10H48	0.702	!	3370
1988	!	!	15	3	9H10	0.333	!	928
	!	!	15	2	9H55	0.634	!	2740

MISE A JOUR LE 16- 3-88

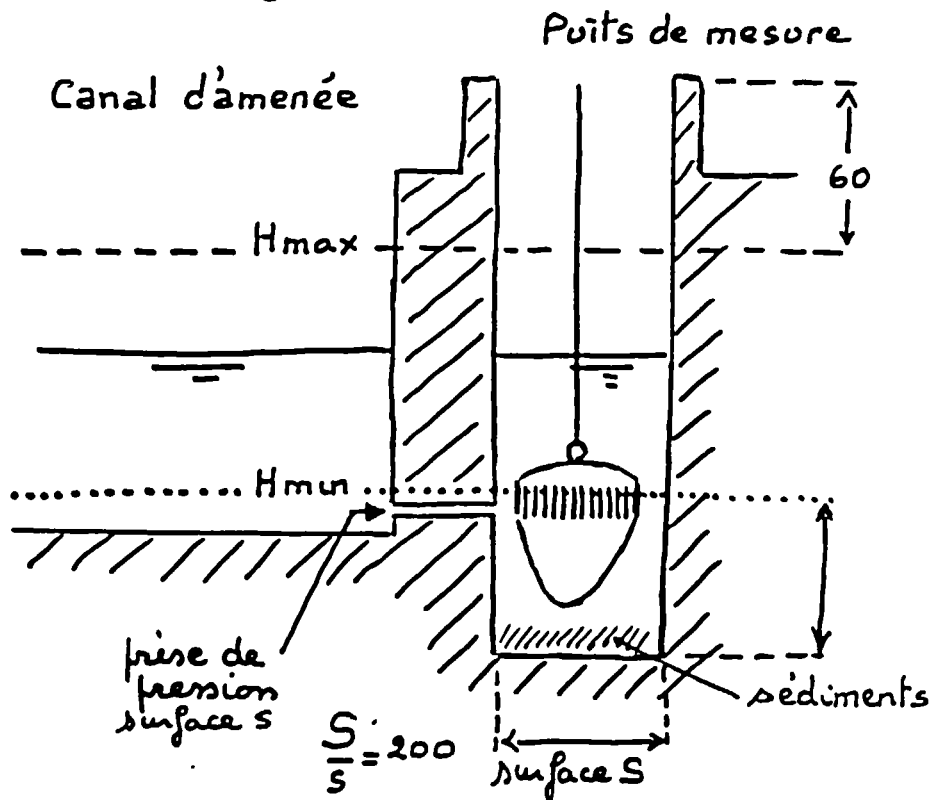
## **JAUGEAGES AU DEVERSOIR OU SEUIL**

## MESURE DE LA HAUTEUR DE CHARGE

- Effectuée à distance en amont  $D \gg 3 \text{ à } 4 R_{\max}$
- De préférence mesurer dans un puits de tranquillisation afin de réduire l'influence des irrégularités de la surface

### Caractéristiques du puits de tranquillisation

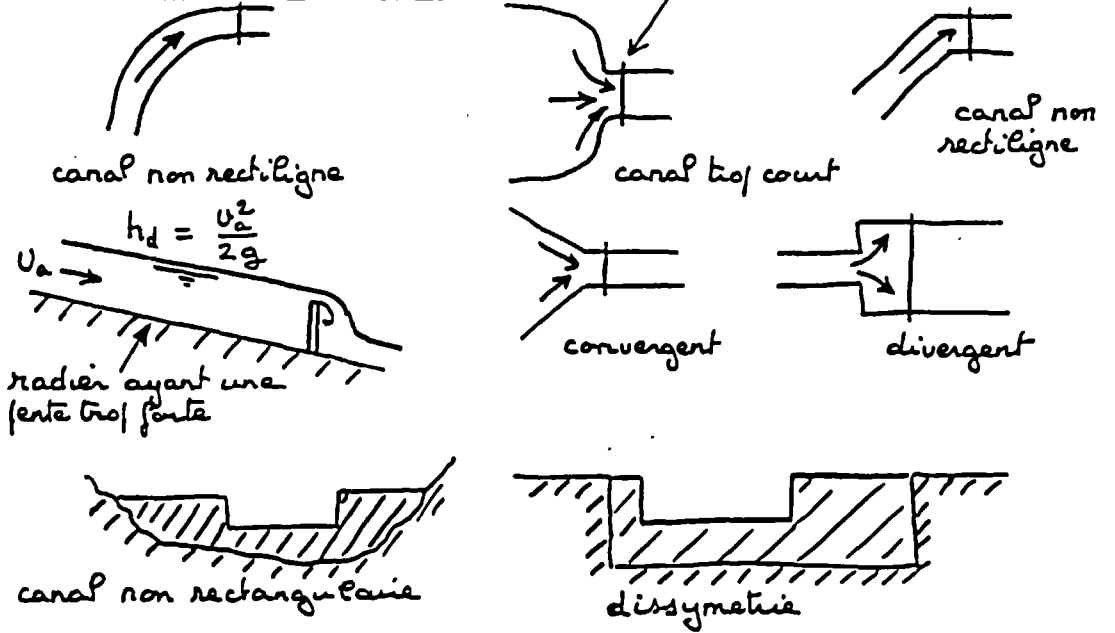
- vertical
- revanche d'au moins 60 cm par rapport au niveau max
- Surface du puits  $S > 100$  surface de la prise d'eau  $s$   
 $S/s = 200$  valeur préconisée pour réduire batillage
- Orifices de  $\phi$  3 à 5 mm  $\rightarrow$  10 mm (valeur préconisée)
- Fond plus bas que le niveau minimum pour permettre au flotteur de flotter et sieger sédiments en suspension
- La tuyauterie de liaison canal d'aménée / puits de mesure doit permettre un suivi sans délai notable les augmentations et diminutions de hauteurs d'eau
- accès facile pour le nettoyage
- étanche



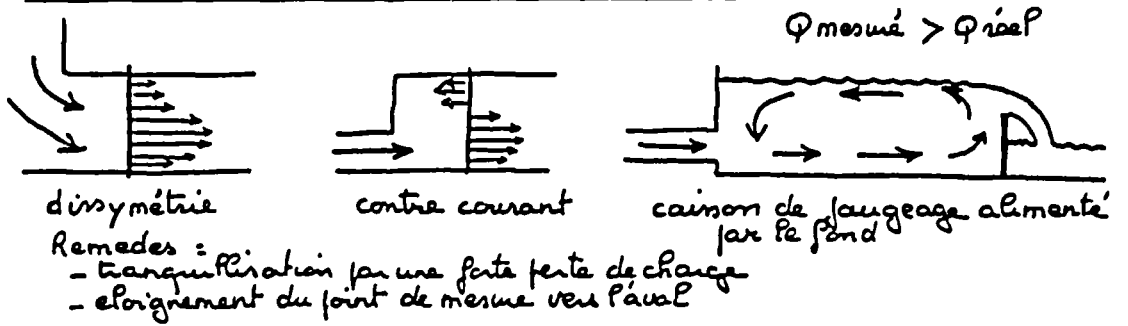
- Référencage du zéro du dispositif de mesure de hauteur de charge (nivellement topographique)
- Effectuer les mesures avec une précision (souvent mm) compatible avec la précision recherchée sur les débits
- Attention à l'effet perturbateur du vent (cf direction du vent dominant par rapport à l'axe du lieu de mesure)

**CAUSES D'ERREURS SYSTEMATIQUES LORS DE MESURES DE DEBIT PAR DEVERSOIRS OU SEUILS**

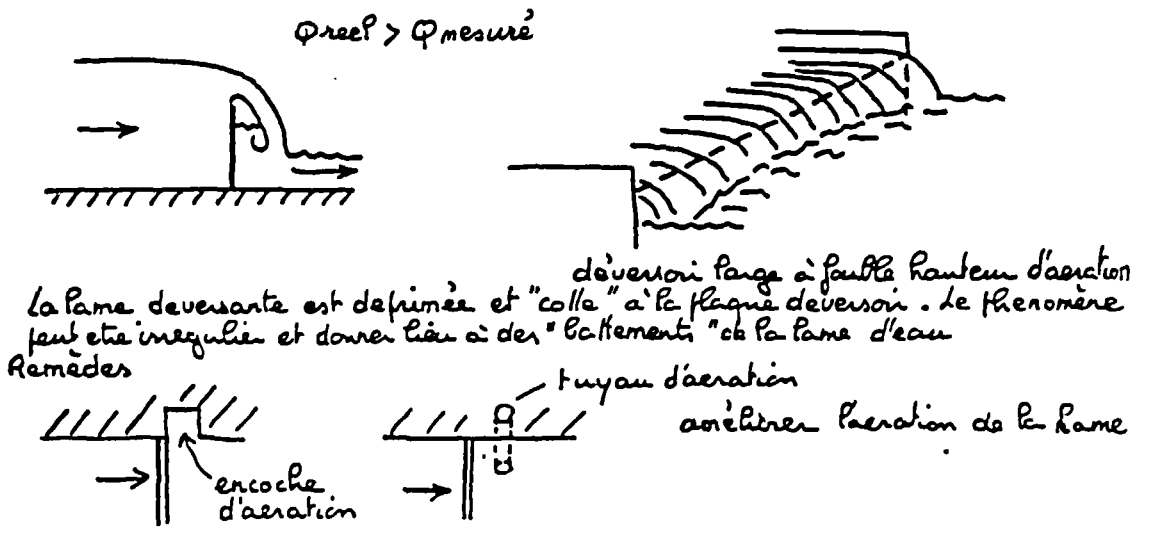
DEFAUTS DU CANAL AMONT



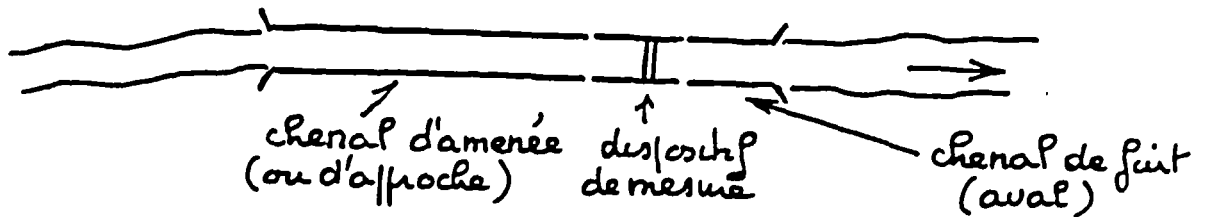
VITESSES D'APPROCHE IRRÉGULIÈRES



AÉRATION INSUFFISANTE DE LA LAME D'EAU



# CONDITIONS GENERALES D'INSTALLATION DES DEVERSOIRS ET SEUILS JAUGEURS



## CONDITIONS D'INSTALLATION

### 1. CHENAL D'APPROCHE

- Canal rectiligne sur longueur  $L \gg 10 b$  (largeur déversoir)  
si  $b \gg B \cdot 0,5$
- Section transversale uniforme
- Pas de dispositif de tranquillisation à moins de  $10 \cdot h_{max}$
- Pas de resaut apparent à moins de  $30 \cdot h_{max}$
- Attention aux changements de régime d'écoulement induits par la muré en face du dispositif de mesure
  - augmentation du niveau de l'eau (pb. débordement)
  - dépôt de matières solides en suspension
- Faible pente du canal de façon à avoir une vitesse d'approche donnant une charge dynamique négligeable par rapport à la charge statique.

### 2. DISPOSITIF DE MESURE

- Canal de section rectangulaire, à parois lisses, subhorizontal sur longueur  $\geq 3 h_{max}$  en Amont du dispositif, ( $0,3 h_{max}$  à l'aval dans le cas d'un déversoir rectangulaire sans contraction latérale)
- Capable de résister aux écoulements de crue
- Bonne aération de la lame déversante

⇒ Conforme aux conditions d'application spécifiques à chaque type de déversoir

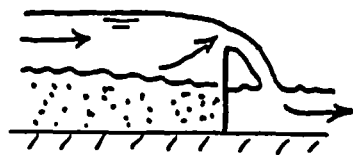
### 3. CHENAL DE FUITE

- S'assurer que dans sa gamme de mesure le dispositif fonctionne en écoulement non noyé
- Attention aux modifications apportées au régime d'écoulement par l'installation du dispositif de mesure (affouillement sous la lame déversante, sédimentation en aval)

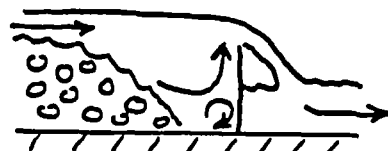
**CAUSES D'ERREURS SYSTEMATIQUES LORS DE MESURES DE DEBIT PAR DEVERSOIRS OU SEUILS ( suite )**

**ENGRAVEMENT DE LA PELLE**

$\varphi_{mesur\acute{e}} > \varphi_{r\acute{e}el}$



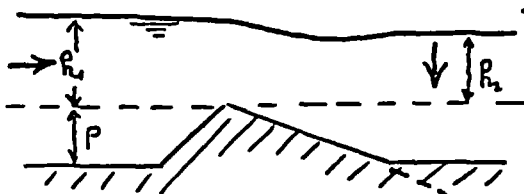
Par des mat\eriaux denses



ou des mat\eriaux de densit\e voisine de celle de l'eau

- Ce type de dispositif de fauchage ne doit pas \^etre utilis\e dans des cours d'eau ayant des transports solides importants ou alors -pr\evoir un degraveur (ou des\et\es) en amont-
- Instabilit\e de la relation  $\varphi = f(H, P)$

**ECOULEMENT NOY\E**

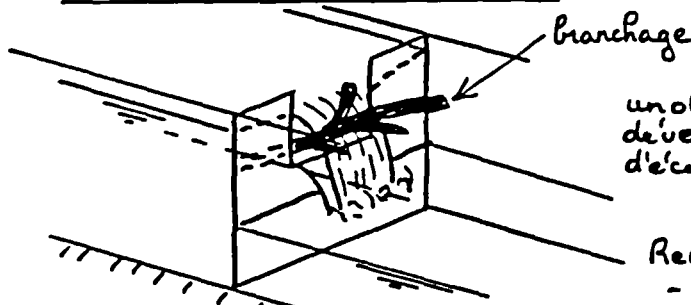


- La relation  $\varphi = f(h_1)$  n'est valable que si la condition de perte de niveau entre l'amont et l\aval est respect\ee

- seuil Neyric  $h_2 \leq 0,6 h_1$
- canal Venturi  $h_2 \leq 0,75 \cdot h_1$

- Si cette condition de denoyage n'est pas respect\ee  $\varphi = f(h_1, h_2)$   
donc  $\varphi_{mesur\acute{e}} \text{ (avec } h_1 \text{ seulement)} > \varphi_{r\acute{e}el}$

**OBSTACLE A L'ECOULEMENT**



un obstacle momentané sur la cr\ete des deversoirs peut fausser les conditions d'\eoulement  
 $\varphi_{r\acute{e}el} < \varphi_{mesur\acute{e}}$

Rem\ede  
- pose d'une grille en amont pour arr\ete les branchages, mais attention \e ne pas cr\eer un obstacle \e l'\eoulement

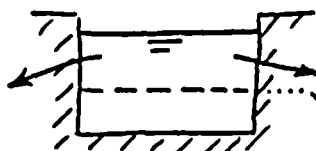
**ETANCHEITE DU DISPOSITIF**

\* Deversoir ne formant pas un barrage \eanche



$\varphi_{r\acute{e}el} > \varphi_{mesur\acute{e}}$

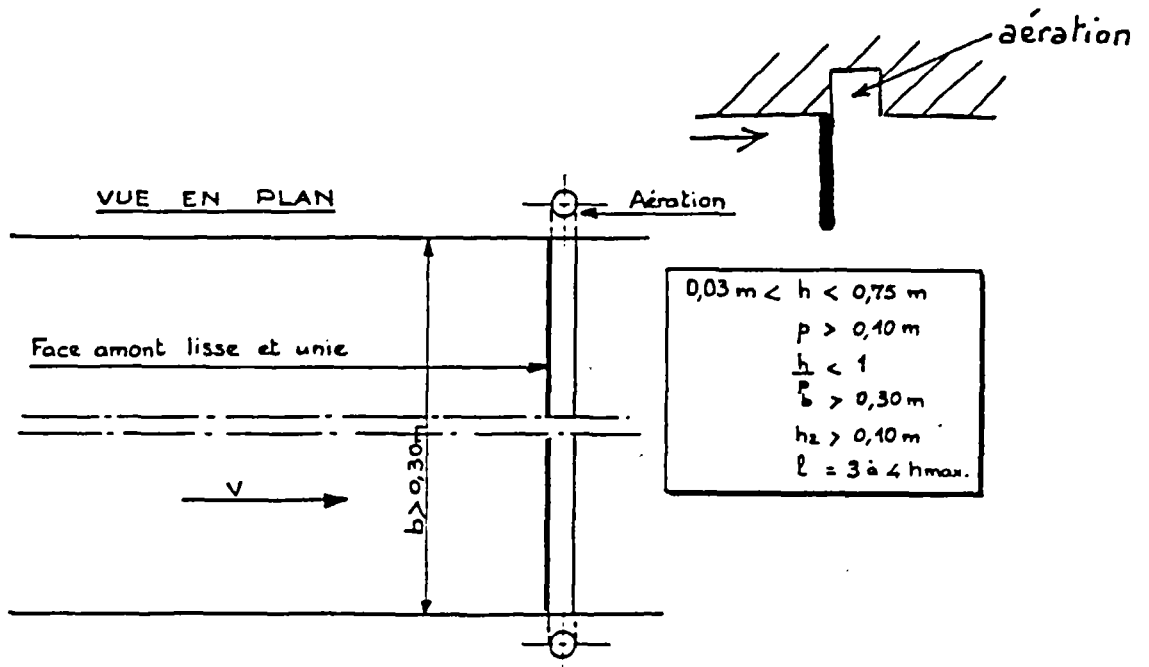
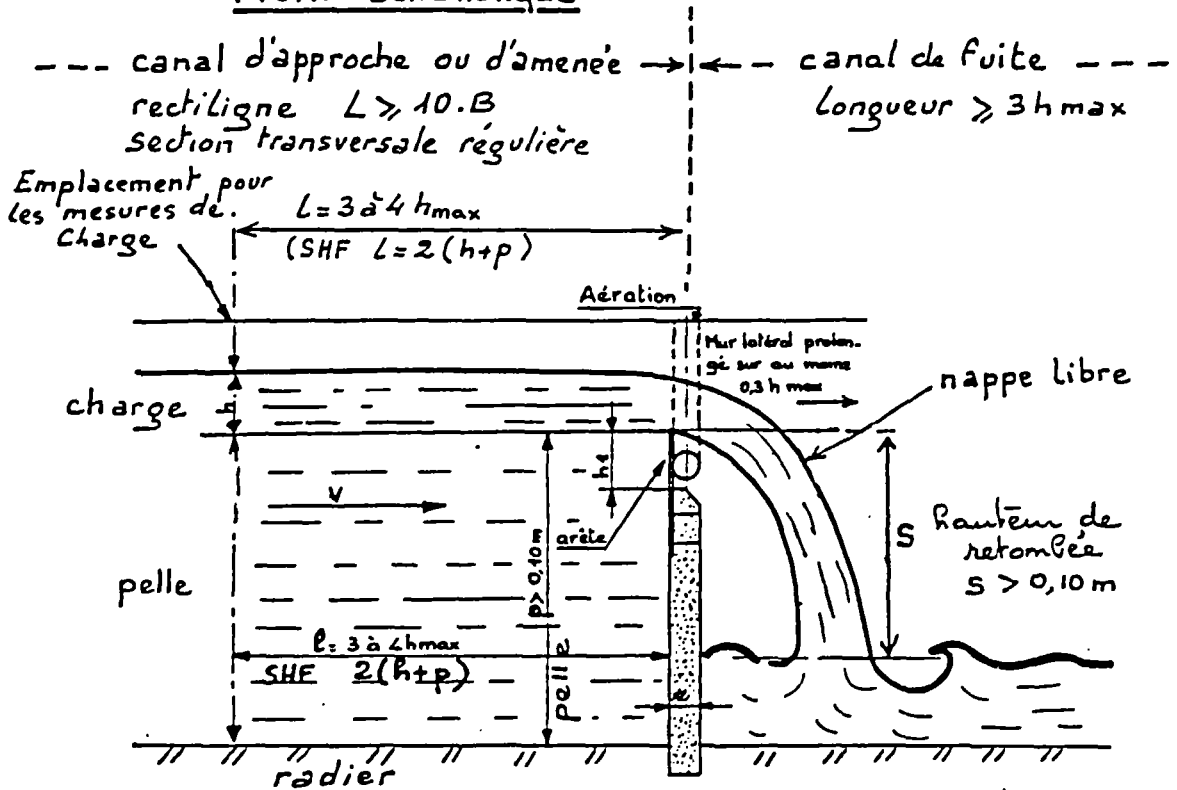
\* Fuites du canal dues \e l'\elevation du niveau de l'eau



Fuites ou infiltrations  
niveau de l'\eoulement avant l'installation du seuil

# DEVERSOIR RECTANGULAIRE A LAME MINCE SANS CONTRACTION LATÉRALE

## Profil schématique



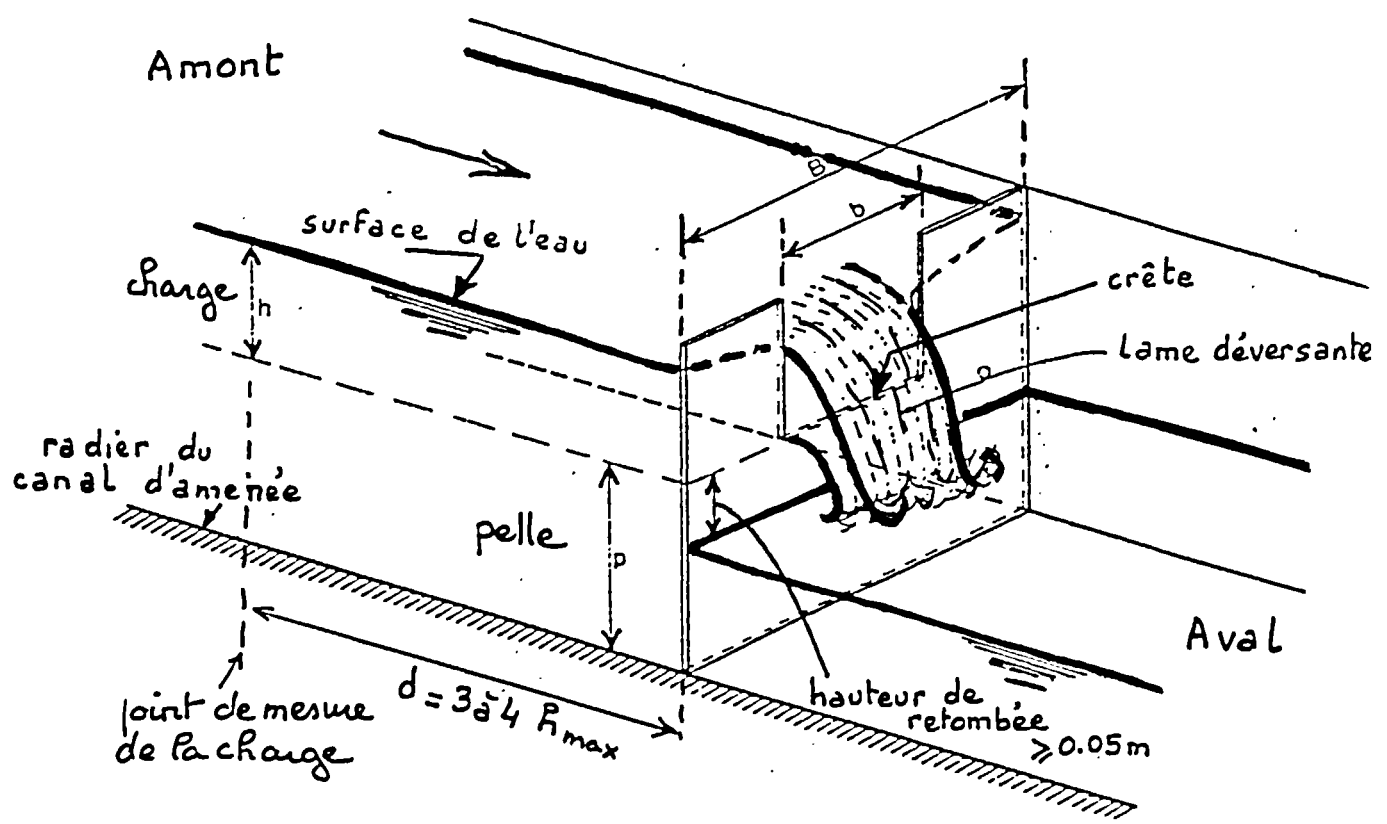
## Pour amortir le batillage

Section du puits de mesure  $\frac{D}{d} > 100$  valeur conseillée 200

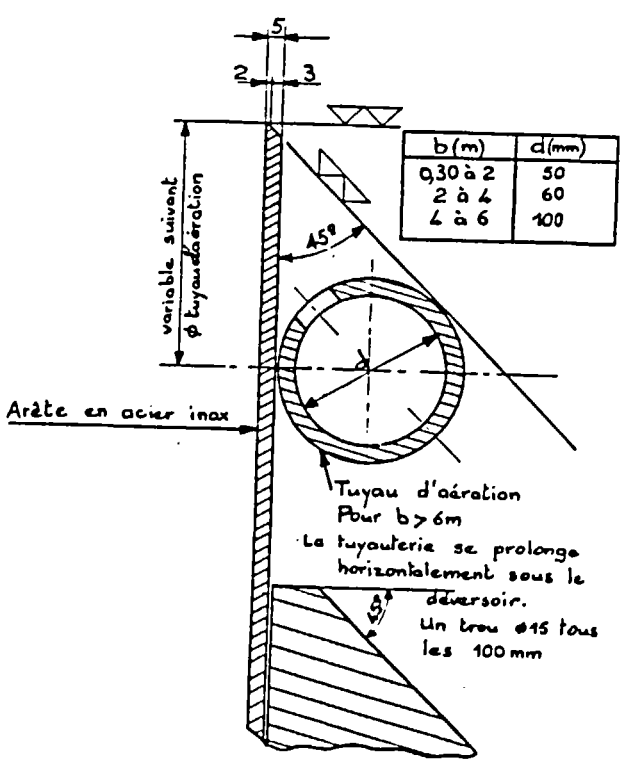
Section de la prise d'eau

avec des trous de  $\phi 3 \text{ à } 5 \text{ mm}$  (10 mm dans les conditions courantes dans la nature)

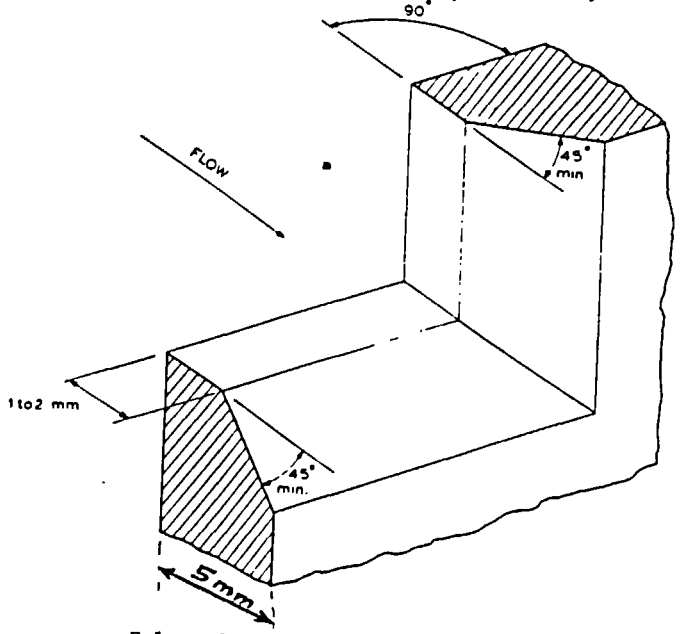
Déversoir en mince paroi à échancrure rectangulaire  
avec ou sans contraction latérale



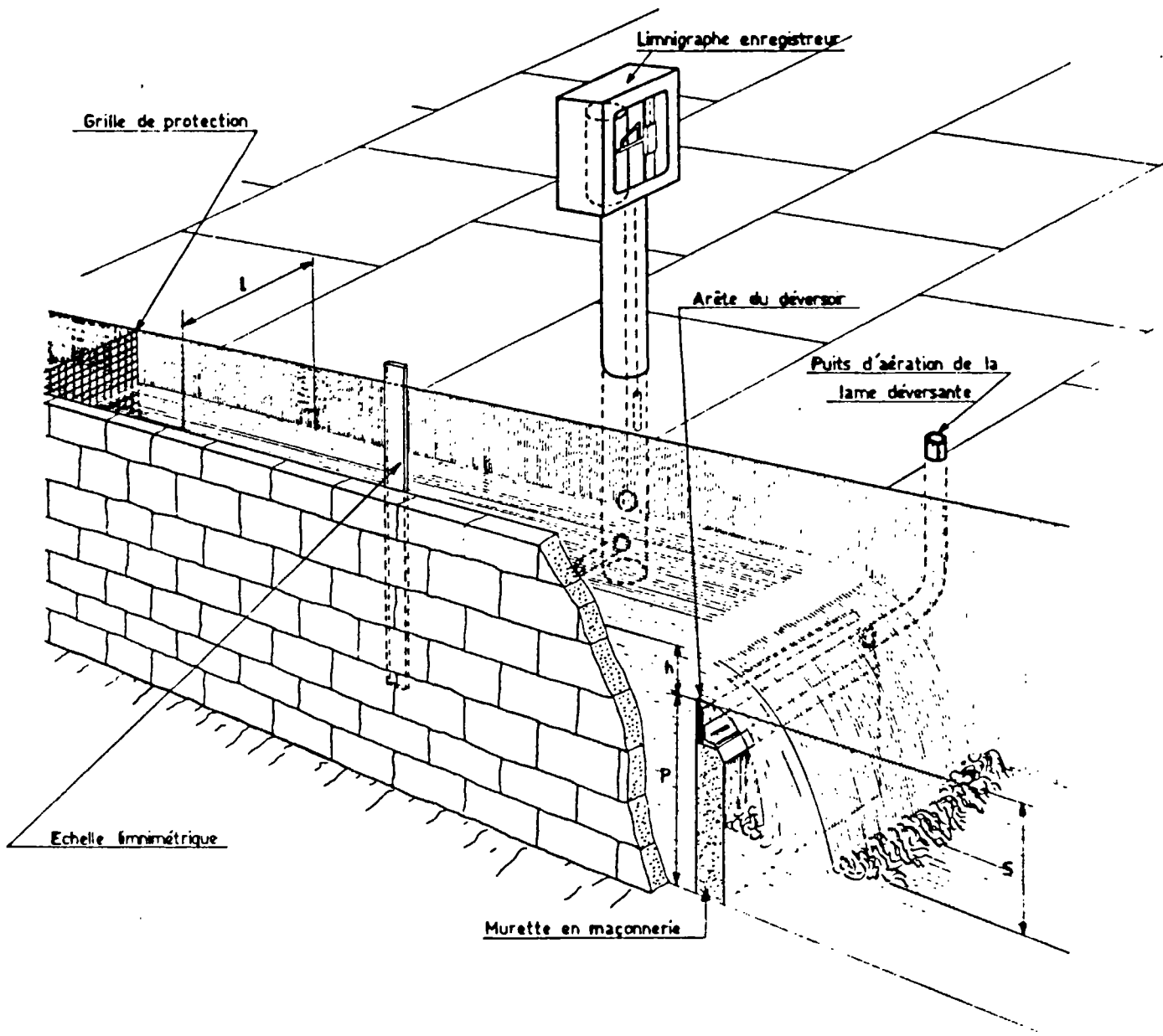
Détail de l'arête



Arête aval de la crête chanfreinée si la paroi du déversoir a une épaisseur  $> 2mm$



Enlarged view of crest and side of rectangular sharp-crested weir.



Limnigraphe enregistreur

Grille de protection

Arête du déversoir

Puits d'aération de la  
lame déversante

Echelle linéaire

Murette en maçonnerie

## DEVERSOIRS RECTANGULAIRES EN MINCE PAROI avec ou sans contraction latérale

### Formules empiriques

NB. Les conditions générales d'installation des déversoirs mince paroi doivent être respectées

### Formule de HEGLY - BAZIN

$$Q = \left( 0,405 + \frac{0,0027}{R} - 0,03 \frac{B-b}{B} \right) \left[ 1 + 0,55 \left( \frac{b \cdot h}{B(R+p)} \right)^2 \right] b \cdot \sqrt{2g} \cdot h^{3/2}$$

### Conditions d'application spécifiques

sans contraction latérale BAZIN	avec contraction latérale HEGLY
$0,08 < h < 0,70$ $B > 4h$ $0,2 < p < 2,0$ $B = b$	$0,1 < h < 0,6$ $0,4 < B < 1,8$ $0,4 < p < 0,8$ $0 < \frac{B-b}{B} < 0,9$

### Unités

$$\begin{aligned}
 Q & \text{ en m}^3/\text{s} \\
 h, B, b, p & \text{ en m} \\
 g & = 9,81 \text{ m/s}^2
 \end{aligned}$$

### Formule de REHBOCK (1929)

Uniquement pour déversoir sans contraction latérale

$$Q = \frac{2}{3} \left( 0,6035 + 0,0813 \frac{h}{p} \right) \sqrt{2g} \cdot b \cdot h_e^{3/2}$$

$$h_e = h + 0,0012$$

Q en m<sup>3</sup>/s

h, p, b et h<sub>e</sub> en m

### Conditions d'application spécifiques

$$R/p \leq 1,0$$

$$0,03 < h < 0,75 \text{ m}$$

$$b \geq 0,30 \text{ m}$$

$$p \geq 0,10 \text{ m}$$

## Formule I.M.F.T. (Institut de Mécanique des Fluides de Toulouse)

Uniquement pour déversoirs sans contraction latérale

Cette formule fait apparaître explicitement le terme  $\frac{U^2}{2g}$  tenant compte de la vitesse d'approche ( $U$ ) dans le chenal amont. Elle est la suivante :

$$Q = \frac{2}{3} \left( 0,627 + 0,0180 \cdot \frac{h + \frac{U^2}{2g}}{p} \right) \sqrt{2g} \cdot b \left[ h + \frac{U^2}{2g} \right]^{3/2}$$

$U$  est la vitesse moyenne d'approche dans le chenal amont :

$$U = \frac{Q}{b(h+p)}$$

Le calcul doit être effectué par itérations successives.

Conditions d'application spécifiques

$$h/p \leq 1,5$$

$$h > 0,03 \text{ m}$$

$$b > 0,20 \text{ m}$$

$$p \geq 0,10 \text{ m}$$

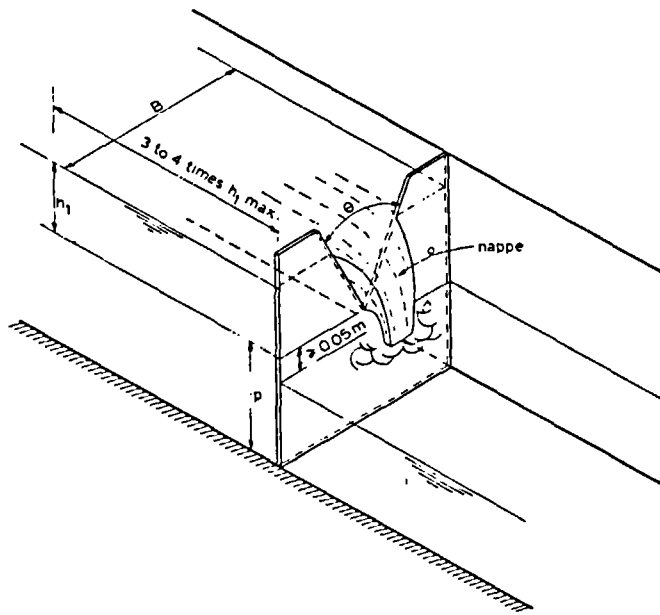
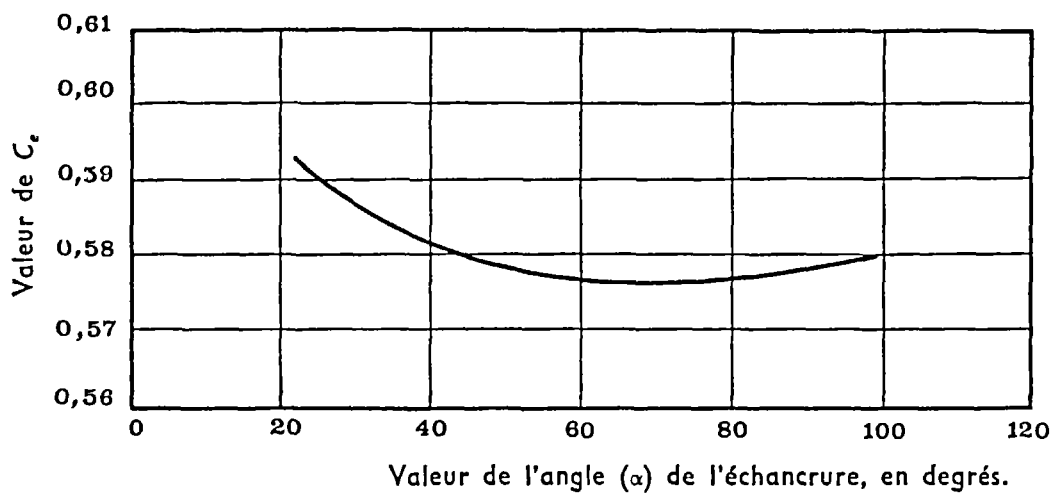
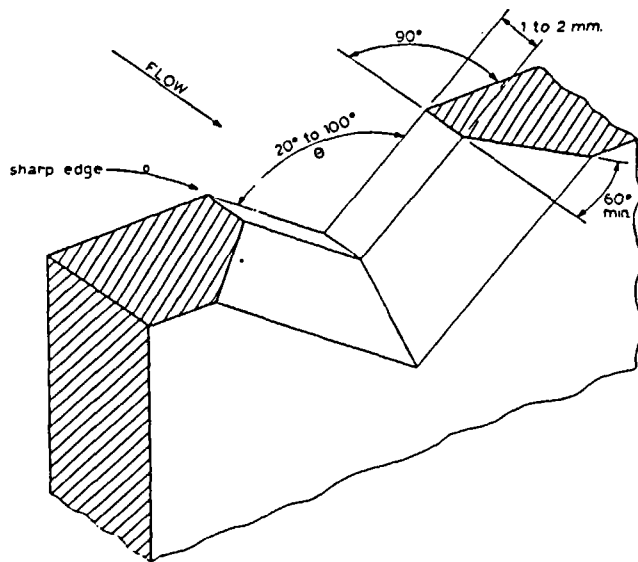


Figure 3  
Déversoir triangulaire en mince paroi.

V-notch sharp-crested weir.

$$Q = \frac{2}{3} C_b \sqrt{2g} h^{3/2}$$



REMARQUE : l'influence de  $h/p$  et de  $p/B$  est supposée négligeable. Elle est indiquée à la figure 4 pour les échancrures triangulaires à  $90^\circ$  seulement.

Figure 5  
Coefficient de débit  $C_e$  par rapport à l'angle de l'échancrure.

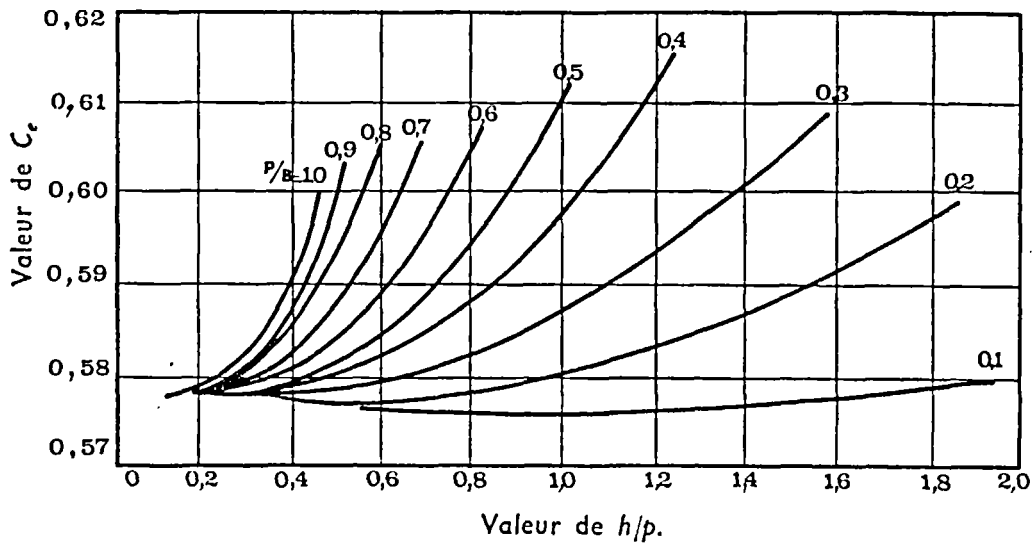


Figure 4  
Coefficient de débit  $C_d$  ( $\alpha = 90^\circ$ ).

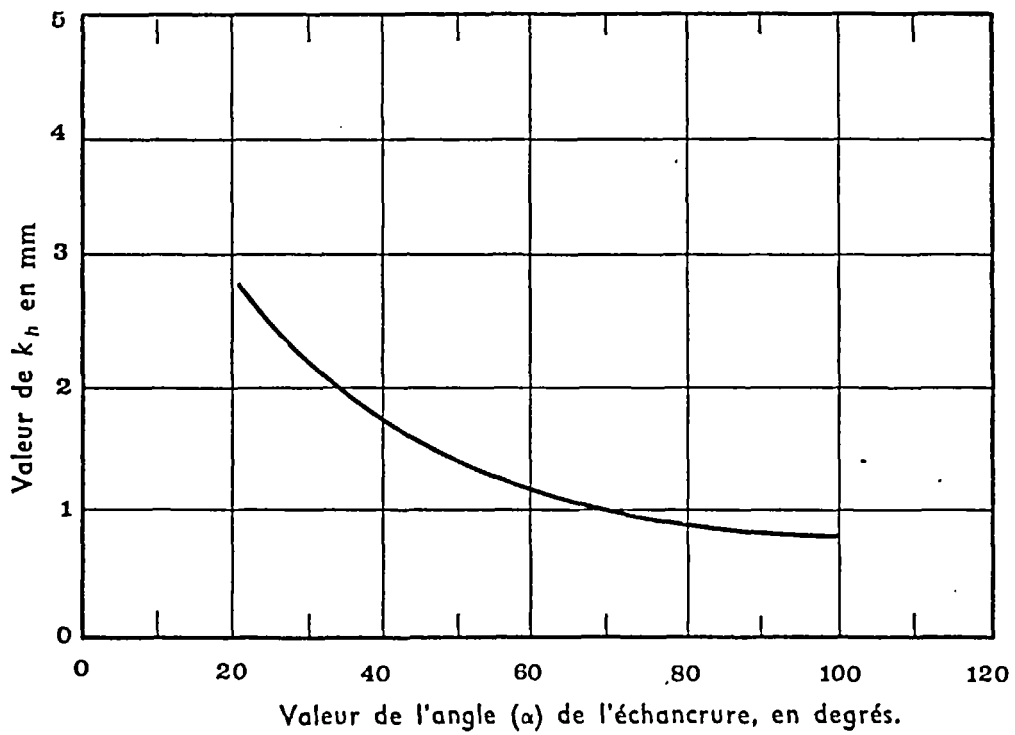


Figure 6  
Valeur de  $k_h$  par rapport à l'angle de l'échancrure.

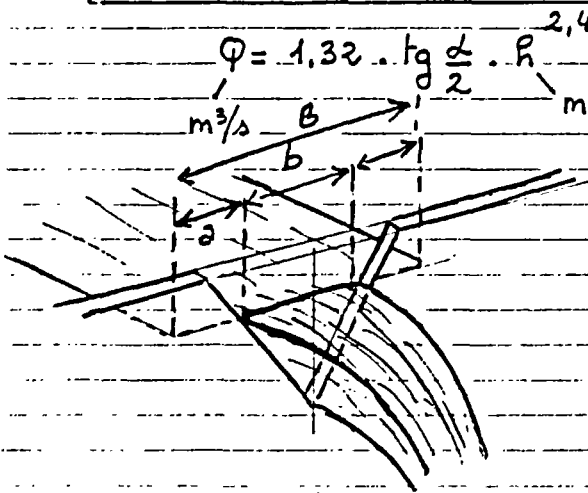
TABLE 5.4: DISCHARGES FOR V-NOTCH SHARP-CRESTED WEIRS FOR HEADS IN METRES. (ADAPTED FROM ISO/TC 113/GT 2 (FRANCE-10) 152).

HEAD metre	DISCHARGE 1/sec			HEAD metre	DISCHARGE 1/sec			HEAD metre	DISCHARGE 1/sec			HEAD metre	DISCHARGE 1/sec			HEAD metre	DISCHARGE 1/sec			HEAD metre	DISCHARGE 1/sec		
	90°	1 90°	1 90°		90°	1 90°	1 90°		90°	1 90°	1 90°		90°	1 90°	1 90°		90°	1 90°	1 90°		90°	1 90°	1 90°
0.050	0.803	0.406	0.215	0.100	4.420	2.249	1.161	0.150	12.066	6.130	3.160	0.200	24.719	12.506	6.379	0.250	43.160	21.772	11.077	0.300	68.106	34.268	17.410
0.051	0.843	0.427	0.225	0.101	4.530	2.305	1.190	0.151	12.267	6.231	3.192	0.201	25.028	12.662	6.458	0.251	43.593	21.990	11.187	0.301	68.675	34.552	17.555
0.052	0.884	0.448	0.236	0.102	4.641	2.362	1.219	0.152	12.471	6.334	3.245	0.202	25.339	12.819	6.537	0.252	44.028	22.209	11.299	0.302	69.246	34.837	17.700
0.053	0.926	0.469	0.247	0.103	4.754	2.420	1.249	0.153	12.676	6.437	3.297	0.203	25.652	12.977	6.617	0.253	44.466	22.429	11.410	0.303	69.821	35.124	17.845
0.054	0.970	0.491	0.259	0.104	4.869	2.478	1.278	0.154	12.883	6.542	3.350	0.204	25.969	13.136	6.698	0.254	44.907	22.649	11.523	0.304	70.398	35.412	17.992
0.055	1.015	0.514	0.271	0.105	4.985	2.537	1.309	0.155	13.093	6.648	3.404	0.205	26.288	13.296	6.780	0.255	45.350	22.873	11.635	0.305	70.980	35.702	18.139
0.056	1.061	0.537	0.283	0.106	5.103	2.598	1.339	0.156	13.304	6.755	3.458	0.206	26.610	13.457	6.862	0.256	45.796	23.098	11.749	0.306	71.568	35.995	18.287
0.057	1.108	0.561	0.295	0.107	5.222	2.659	1.371	0.157	13.517	6.863	3.513	0.207	26.934	13.620	6.944	0.257	46.243	23.323	11.863	0.307	72.159	36.290	18.435
0.058	1.156	0.586	0.308	0.108	5.344	2.720	1.402	0.158	13.732	6.971	3.568	0.208	27.261	13.784	7.028	0.258	46.696	23.549	11.978	0.308	72.750	36.585	18.585
0.059	1.206	0.611	0.321	0.109	5.467	2.783	1.434	0.159	13.950	7.081	3.624	0.209	27.590	13.949	7.111	0.259	47.150	23.777	12.094	0.309	73.341	36.880	18.735
0.060	1.257	0.637	0.334	0.110	5.592	2.847	1.466	0.160	14.169	7.192	3.680	0.210	27.921	14.115	7.196	0.260	47.606	24.005	12.210	0.310	73.936	37.177	18.885
0.061	1.309	0.663	0.348	0.111	5.719	2.911	1.499	0.161	14.391	7.304	3.737	0.211	28.254	14.282	7.281	0.261	48.065	24.235	12.326	0.311	74.534	37.477	19.037
0.062	1.362	0.691	0.362	0.112	5.847	2.976	1.533	0.162	14.614	7.417	3.794	0.212	28.588	14.450	7.366	0.262	48.527	24.466	12.443	0.312	75.135	37.779	19.189
0.063	1.417	0.718	0.376	0.113	5.977	3.042	1.566	0.163	14.840	7.531	3.852	0.213	28.924	14.620	7.453	0.263	48.991	24.699	12.561	0.313	75.738	38.081	19.342
0.064	1.473	0.747	0.391	0.114	6.108	3.109	1.601	0.164	15.067	7.646	3.911	0.214	29.264	14.794	7.539	0.264	49.458	24.933	12.680	0.314	76.344	38.384	19.495
0.065	1.530	0.776	0.406	0.115	6.242	3.177	1.635	0.165	15.297	7.762	3.969	0.215	29.607	14.964	7.627	0.265	49.928	25.168	12.799	0.315	76.954	38.687	19.650
0.066	1.588	0.806	0.421	0.116	6.377	3.246	1.670	0.166	15.529	7.879	4.029	0.216	29.953	15.138	7.715	0.266	50.400	25.404	12.920	0.316	77.566	38.995	19.805
0.067	1.648	0.836	0.437	0.117	6.514	3.315	1.706	0.167	15.763	7.998	4.089	0.217	30.301	15.313	7.803	0.267	50.876	25.642	13.041	0.317	78.181	39.304	19.960
0.068	1.710	0.867	0.453	0.118	6.653	3.386	1.742	0.168	15.999	8.117	4.149	0.218	30.651	15.489	7.893	0.268	51.353	25.881	13.162	0.318	78.802	39.615	20.117
0.069	1.772	0.899	0.470	0.119	6.793	3.457	1.778	0.169	16.237	8.237	4.210	0.219	31.004	15.666	7.982	0.269	51.834	26.121	13.284	0.319	79.428	39.927	20.274
0.070	1.836	0.932	0.486	0.120	6.935	3.529	1.815	0.170	16.477	8.358	4.272	0.220	31.359	15.844	8.073	0.270	52.317	26.363	13.407	0.320	80.057	40.241	20.432
0.071	1.901	0.965	0.503	0.121	7.079	3.602	1.853	0.171	16.719	8.481	4.334	0.221	31.717	16.024	8.164	0.271	52.802	26.606	13.529	0.321	80.685	40.553	20.590
0.072	1.967	0.999	0.521	0.122	7.224	3.677	1.891	0.172	16.964	8.604	4.397	0.222	32.077	16.204	8.255	0.272	53.291	26.851	13.653	0.322	81.314	40.867	20.750
0.073	2.035	1.033	0.539	0.123	7.372	3.751	1.929	0.173	17.210	8.728	4.460	0.223	32.439	16.386	8.347	0.273	53.782	27.098	13.778	0.323	81.947	41.184	20.910
0.074	2.105	1.069	0.557	0.124	7.522	3.827	1.968	0.174	17.459	8.854	4.524	0.224	32.803	16.570	8.441	0.274	54.276	27.347	13.903	0.324	82.583	41.503	21.071
0.075	2.176	1.105	0.575	0.125	7.673	3.904	2.007	0.175	17.709	8.980	4.588	0.225	33.168	16.754	8.535	0.275	54.772	27.596	14.030	0.325	83.222	41.824	21.232
0.076	2.248	1.141	0.594	0.126	7.827	3.982	2.046	0.176	17.963	9.108	4.653	0.226	33.535	16.940	8.629	0.276	55.272	27.845	14.157	0.326	83.863	42.147	21.395
0.077	2.322	1.179	0.613	0.127	7.982	4.060	2.086	0.177	18.219	9.237	4.718	0.227	33.907	17.127	8.724	0.277	55.774	28.097	14.284	0.327	84.508	42.471	21.558
0.078	2.397	1.217	0.633	0.128	8.139	4.140	2.127	0.178	18.478	9.367	4.784	0.228	34.282	17.315	8.819	0.278	56.282	28.351	14.413	0.328	85.155	42.796	21.721
0.079	2.473	1.256	0.653	0.129	8.298	4.220	2.168	0.179	18.738	9.497	4.851	0.229	34.659	17.504	8.913	0.279	56.794	28.607	14.542	0.329	85.806	43.123	21.886
0.080	2.551	1.296	0.673	0.130	8.458	4.302	2.209	0.180	19.001	9.629	4.918	0.230	35.039	17.695	9.011	0.280	57.306	28.863	14.671	0.330	86.459	43.451	22.051
0.081	2.630	1.336	0.694	0.131	8.621	4.384	2.251	0.181	19.265	9.762	4.986	0.231	35.421	17.886	9.108	0.281	57.819	29.119	14.802	0.331	87.116	43.779	22.217
0.082	2.710	1.377	0.715	0.132	8.785	4.467	2.294	0.182	19.531	9.896	5.054	0.232	35.806	18.079	9.207	0.282	58.335	29.377	14.933	0.332	87.775	44.107	22.384
0.083	2.792	1.419	0.737	0.133	8.951	4.551	2.337	0.183	19.800	10.032	5.122	0.233	36.193	18.274	9.306	0.283	58.853	29.638	15.065	0.333	88.438	44.438	22.551
0.084	2.876	1.462	0.759	0.134	9.119	4.636	2.380	0.184	20.071	10.168	5.192	0.234	36.582	18.469	9.405	0.284	59.375	29.901	15.197	0.334	89.103	44.773	22.719
0.085	2.961	1.505	0.781	0.135	9.289	4.722	2.424	0.185	20.345	10.305	5.261	0.235	36.974	18.664	9.504	0.285	59.899	30.163	15.330	0.335	89.772	45.108	22.888
0.086	3.048	1.549	0.803	0.136	9.461	4.809	2.468	0.186	20.621	10.444	5.332	0.236	37.369	18.864	9.603	0.286	60.425	30.427	15.464	0.336	90.448	45.446	23.058
0.087	3.136	1.594	0.826	0.137	9.634	4.897	2.513	0.187	20.899	10.584	5.403	0.237	37.766	19.063	9.706	0.287	60.955	30.691	15.598	0.337	91.128	45.785	23.228
0.088	3.225	1.640	0.850	0.138	9.810	4.986	2.559	0.188	21.180	10.726	5.475	0.238	38.166	19.263	9.808	0.288	61.487	30.959	15.734	0.338	91.811	46.125	23.400
0.089	3.316	1.686	0.874	0.139	9.987	5.075	2.604	0.189	21.463	10.867	5.547	0.239	38.568	19.465	9.910	0.289	62.023	31.229	15.870	0.339	92.491	46.467	23.572
0.090	3.409	1.734	0.898	0.140	10.167	5.166	2.651	0.190	21.748	11.010	5.620	0.240	38.973	19.668	10.013	0.290	62.560	31.499	16.006	0.340	93.175	46.810	23.744
0.091	3.503	1.782	0.922	0.141	10.348	5.258	2.697	0.191	22.034	11.155	5.693	0.241	39.380	19.872	10.116	0.291	63.101	31.769	16.143	0.341	93.862	47.153	23.910
0.092	3.598	1.830	0.947	0.142	10.532	5.351	2.744	0.192	22.322	11.300	5.766	0.242	39.790	20.079	10.220	0.292	63.645	32.040	16.281	0.342	94.551	47.497	24.092
0.093	3.696	1.880	0.973	0.143	10.717	5.444	2.792	0.193	22.612	11.447	5.841	0.243	40.202	20.287	10.325	0.293	64.195	32.315	16.420	0.343	95.244	47.842	24.267
0.094	3.795	1.930	0.998	0.144	10.904	5.539	2.840	0.194	22.906	11.595	5.916	0.244	40.617	20.496	10.430	0.294	64.748	32.591	16.559	0.344	95.940	48.191	24.442
0.095	3.895	1.981	1.025	0.145	11.093	5.635	2.889	0.195	23.203	11.743	5.992	0.245	41.034	20.705	10.536	0.295	65.303	32.869	16.699	0.345	96.638	48.542	24.619
0.096	3.997	2.033	1.051	0.146	11.284	5.732	2.938	0.196	23.501	11.893	6.068	0.246	41.454	20.916	10.642</								

# DEVERSOIR TRIANGULAIRE (ou deversoir THOMSON)

## Formules de calcul du débit

### 1. Formule de GOURLEY et CRIMP (Lencastre p 374)

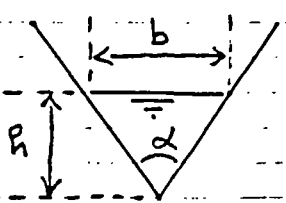


$$Q = 1,32 \cdot \text{tg} \frac{\alpha}{2} \cdot h^{2,47} \cdot m$$

$\alpha$  angle au sommet  
 $m$  largeur du canal  
 $a = \frac{B-b}{2} \gg \frac{3}{4} b$

- $\alpha = 120^\circ \quad Q = 1,73 h^{2,47}$
- $\alpha = 90^\circ \quad Q = 1,32 h^{2,47}$
- $\alpha = 60^\circ \quad Q = 0,76 h^{2,47}$
- $\alpha = 45^\circ \quad Q = 0,55 h^{2,47}$

**NB :** Certains auteurs préconisent de mesurer la largeur de la nappe  $b$  et d'en déduire la valeur de la hauteur de charge  $h$



$$h = \frac{b}{2 \text{tg} \frac{\alpha}{2}}$$

si  $\alpha = 120^\circ \quad h = 0,289 \cdot b$   
 $\alpha = 90^\circ \quad h = 0,5 \cdot b$   
 $\alpha = 45^\circ \quad h = 1,207 \cdot b$

cette façon de procéder peut être intéressante tant que  $b \gg h$   
 c'est à dire pour des angles  $\alpha \gg 90^\circ$

### 2. Formule de KINDSVATER - SHEN

Norme AFNOR X 10-311 dec 1971

$$Q = C_e \frac{8}{15} \sqrt{2g} \text{tg} \frac{\alpha}{2} h_e^{5/2}$$

$m^3/s$                        $9,81 m/s^2$                        $m$

$h_e = h + k_R$  ← coef. pct tension superficielle et viscosité  
 ex pour  $\alpha = 90^\circ \quad k_R = 0,85 \text{ mm}$   
 $h$  hauteur de la lame mesurée

$$C_e = f \left( \frac{h}{P}, \frac{P}{B}, \alpha \right)$$

$\frac{h}{P}$  jelle       $\frac{P}{B}$  largeur du chenal amont

≠ types standardisés		tg $\alpha/2$	formule	
angle $\alpha$	type			
$90^\circ$	« $90^\circ$ »	1	$Q = C_e \frac{8}{15} \sqrt{2g} h^{5/2}$	
$53^\circ 8'$	« $1/2 90^\circ$ »	0,5	$\frac{4}{15}$	
$28^\circ 4'$	« $1/4 90^\circ$ »	0,25	$\frac{2}{15}$	

Limitations d'ordre pratique spécifiques au déversoir triangulaire

$$0,05 < h < 0,38 \text{ m}$$

$$p > 0,45 \text{ m}$$

$$h/p \leq 0,4$$

$$B > 1,2 \text{ m}$$

$$h/B \leq 0,2$$

**3. Formule de GROUD (1966)**

$$Q = 0,602 \cdot \frac{8}{15} \sqrt{2g} \cdot h^{5/2} \left[ 1 + 0,2577 \frac{h^4}{B^2 (h+p)^2} \right]$$

caractéristiques de l'installation expérimentale

L longueur du canal 9 m

B = 0,3 m

prof = 0,5 m

p 0 à 0,4 m

h 0,05 à 0,15 m

$\alpha = 90^\circ$

précision

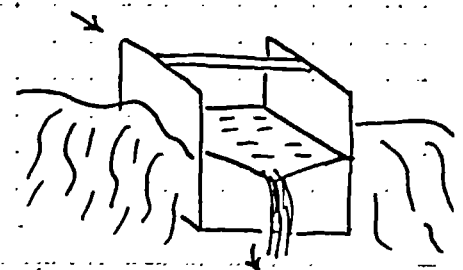
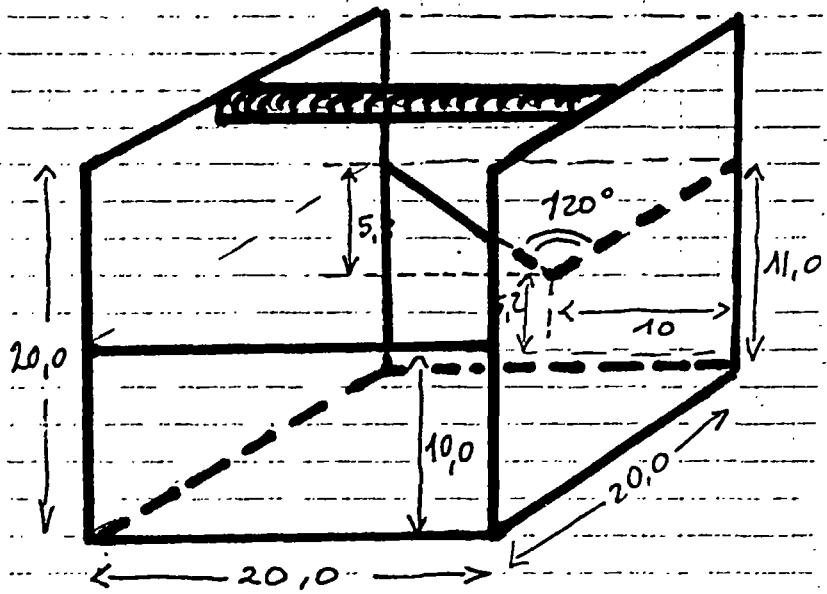
+0,5 à -1,4%

écart. / formule  
Kindsvater - Shen  
-1,17 à +1,10%

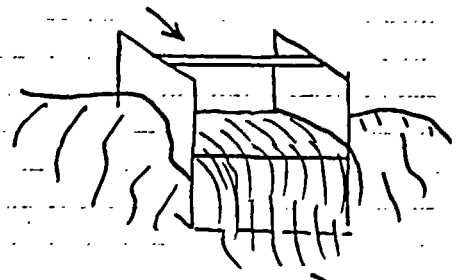
NB1: pour  $h < 0,05$  la nappe peut être adhérente ou non

NB2: l'intérêt de cette formule réside dans le fait qu'elle donne des résultats identiques à ceux de la formule Kindsvater - Shen dans le domaine commun d'application sans nécessiter l'utilisation d'abaques puisque les influences de p et B sont explicitées analytiquement. Permet en outre de donner des valeurs pour une gamme plus étendue surtout en ce qui concerne la pelle p.

# DEVERSOIR PORTATIF (modèle B.I.A.H.)



échancreuse triangulaire  
 $C_d < 1.38/s$



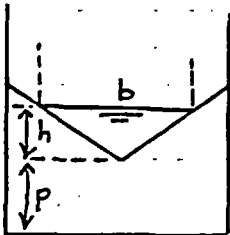
échancreuse rectangulaire  
 $C_d < 8.9/s$

Schema de l'appareil

Cotations en cm

## BAREME HAUTEUR DE CHARGE-DEBIT

DEVERSOIR MINCE PAROI TRIANGULAIRE D'ANGLE 120° (formule de GROUD)  
Largeur du canal d'aménagé : 20 cm Hauteur de pelle : 5 cm  
Débit en l/s

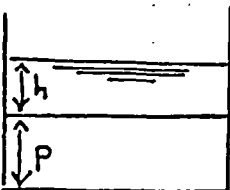


$h = 0.289 \cdot b$

Charge mm	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
0	0.000	0.000	0.000	1E-03	2E-03	4E-03	7E-03	0.010	0.014	0.019
10	0.025	0.031	0.039	0.047	0.057	0.068	0.080	0.093	0.107	0.123
20	0.139	0.157	0.177	0.198	0.220	0.243	0.268	0.295	0.323	0.353
30	0.384	0.417	0.451	0.487	0.525	0.565	0.606	0.649	0.693	0.740
40	0.788	0.838	0.890	0.944	1.000	1.058	1.118	1.180	1.243	1.309
50	1.377									

## BAREME HAUTEUR DE CHARGE-DEBIT

DEVERSOIR MINCE PAROI RECTANGULAIRE SANS CONTRACTION LATERALE (formule de BAZIN)  
Largeur de crête : 20 cm Hauteur de pelle : 10 cm  
Coefficient d'inclinaison du parement amont : 1  
Débit en l/s

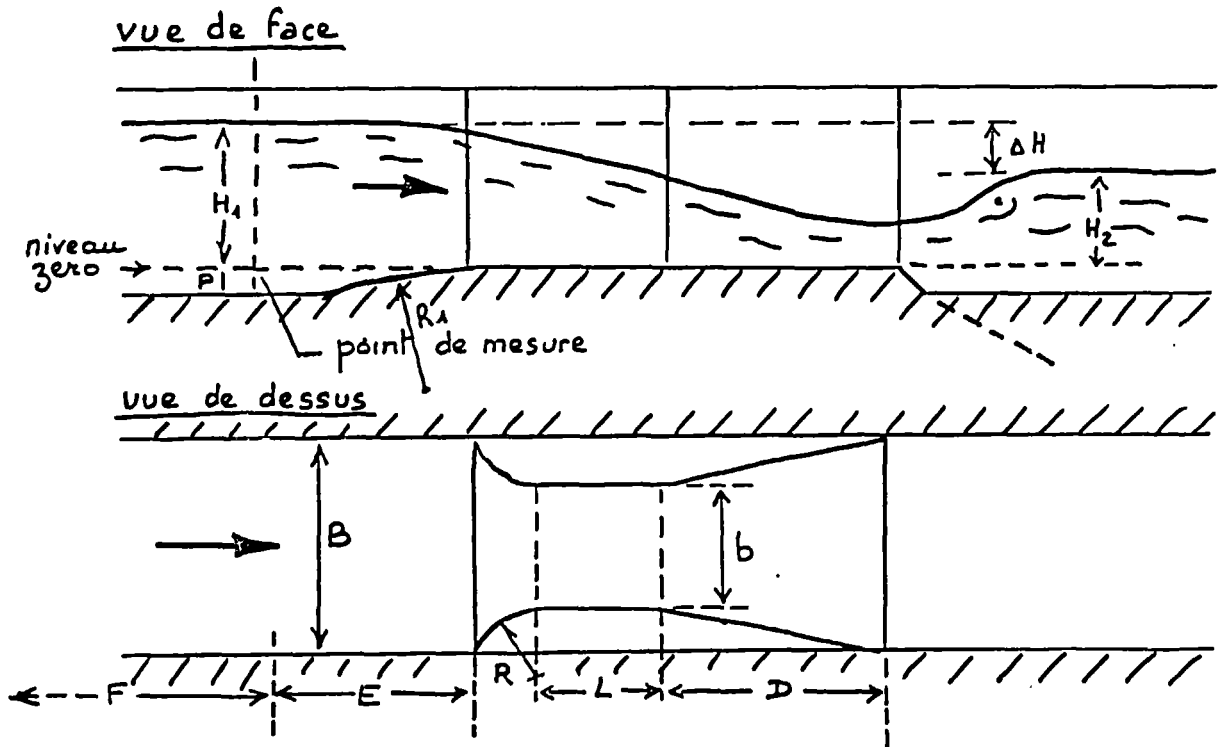


Charge mm	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
0	0.000	0.087	0.139	0.190	0.242	0.296	0.353	0.411	0.472	0.535
10	0.601	0.668	0.738	0.810	0.885	0.961	1.039	1.120	1.203	1.287
20	1.374	1.462	1.553	1.645	1.740	1.834	1.934	2.034	2.136	2.240
30	2.345	2.453	2.562	2.678	2.786	2.900	3.016	3.134	3.254	3.376
40	3.499	3.624	3.751	3.879	4.009	4.141	4.274	4.409	4.546	4.684
50	4.824	4.966	5.109	5.254	5.400	5.548	5.698	5.849	6.002	6.156
60	6.312	6.470	6.629	6.789	6.951	7.115	7.280	7.447	7.615	7.785
70	7.956	8.129	8.303	8.479	8.654	8.835	9.015	9.197	9.380	9.564
80	9.750	9.938	10.127	10.317	10.509	10.702	10.896	11.092	11.290	11.489
90	11.689	11.890	12.093	12.298	12.503	12.710	12.919	13.129	13.340	13.552
100	13.766									

### Remarques

Déversoir peu sensible (angle d'échancreuse important), utilisé dans une gamme de charges (0 à 50 mm pour triangulaire - 0 à 100 mm pour rectangulaire) inférieure à la charge minimum préconisée par les normes (relations hauteur-débit instables)  
→ l'utilisation de ce type de déversoir est à proscrire

# CANAL VENTURI



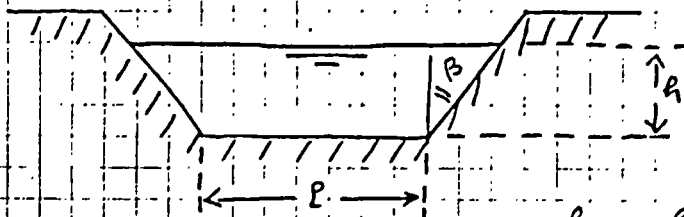
- b largeur de la section contractée
- B largeur du canal d'approche
- D largeur du divergent =  $3(B-b)$
- E distance du point de mesure de la charge amont =  $3 \text{ à } 4 H_1 \text{ max}$
- F canal rectangulaire rectiligne à radii horizontal ou pente  $\leq 0,5\%$  sur une longueur de  $5 \text{ à } 10 \cdot B$
- $H_1$  charge amont mesurée par rapport au plan horizontal passant par la partie supérieure de la surélévation
- L longueur de la section contractée
- P hauteur de pelle ou hauteur de la surélévation
- R rayon de courbure des bords du canal largeur =  $2(B-b)$
- $R_1$  rayon de courbure de l'amont de la surélévation =  $4 \cdot p$

## Conditions hydrauliques

$$H_1 \text{ max} = 1,3 \cdot B$$

$$\Delta H = H_1 - H_2 = 0,25 \cdot H_1 \quad \text{perte de niveau obligatoire entre amont et aval}$$

# DEVERSOIRS TRAPEZOÏDAUX (ou de CIPOLETTI)

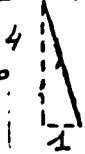


$\beta$  angle d'inclinaison sur la verticale des cotés

## \* Formule de CIPOLETTI

$$Q = 1,86 \cdot L \cdot h^{3/2} \quad \text{dans le cas particulier } \beta \neq 14^\circ$$

$$\text{tg}(\beta) = 1/4$$

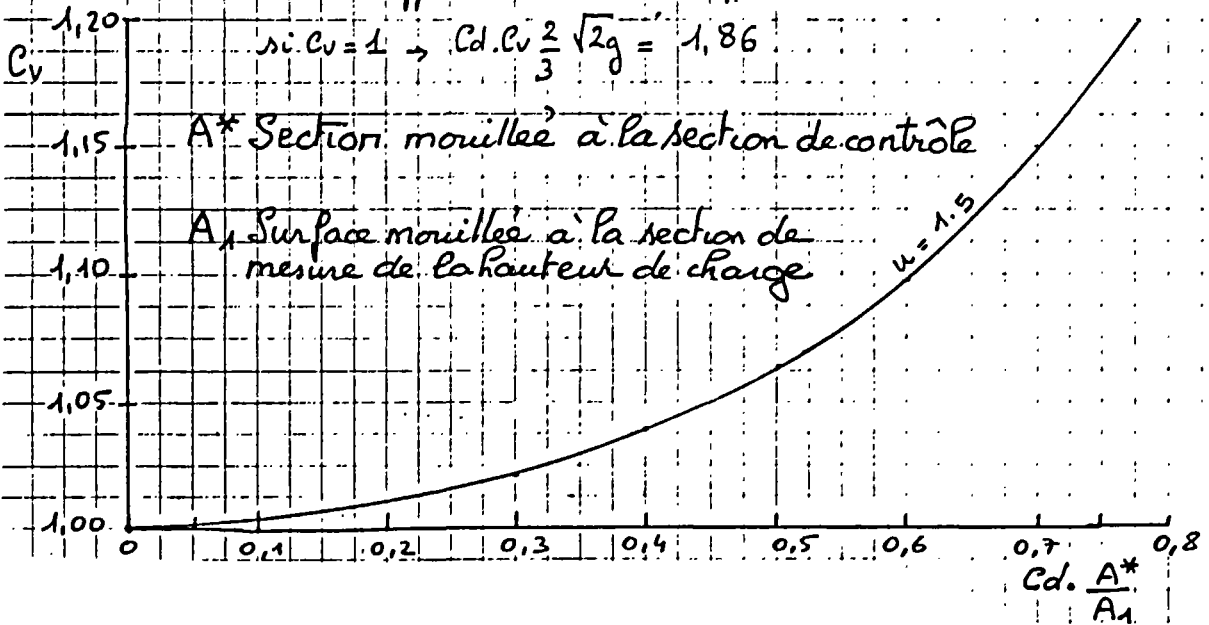


$$Q = C_d \cdot C_v \cdot \frac{2}{3} \cdot \sqrt{2g} \cdot L \cdot h^{3/2}$$

$C_d$  coefficient de débit = 0,63

$C_v$  coefficient de vitesse d'approche

$$\text{si } C_v = 1 \rightarrow C_d \cdot \frac{2}{3} \sqrt{2g} = 1,86$$



## \* Formule de GOURLEY et CRIMP valable dans le cas général

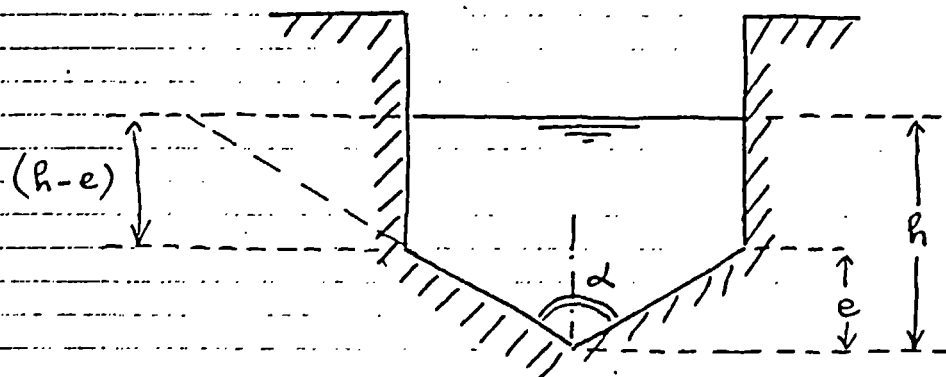
$$Q = 1,32 \text{ tg } \beta \cdot h^{2,47} + 1,69 \cdot L^{1,02} \cdot h^{1,47}$$

débit d'un déversoir triangulaire d'angle au sommet  $2\beta$

débit d'un déversoir rectangulaire sans contraction latérale de longueur =  $L$

\* d'après "La Mesure directe des débits dans les cours d'eau" R. HLAWEK  
- Discharge measurement structures Delft Hydraulics Laboratory 1976

## DEVERSOIR TRIANGULAIRE SURMONTE DE DEUX PAROIS VERTICALES



pour  $\alpha = 90^\circ$   $\text{tg } \alpha/2 = 1$

### Formule

\*  $h \leq e$  deversoir triangulaire seul

$$Q = 1,32 \cdot \text{tg } \frac{\alpha}{2} \cdot h^{2,47} \quad \text{formule de GOURLEY et CRIMP}$$

NB . Il existe de nombreuses autres formules parmi lesquelles on peut citer celles de KINDSVATER-CARTER préconisée par la norme AFNOR X10-311 et celle de GROUD

\*  $h > e$  deversoir triangulaire surmonté de deux parois verticales

Il est aisé de démontrer, à partir de la loi de débit des deversoirs triangulaires que l'on a :

$$Q = 1,32 \cdot \text{tg } \frac{\alpha}{2} \cdot \left[ h^{2,47} - (h-e)^{2,47} \right]$$

lorsque  $h$  augmente on peut adopter la formule simplifiée :

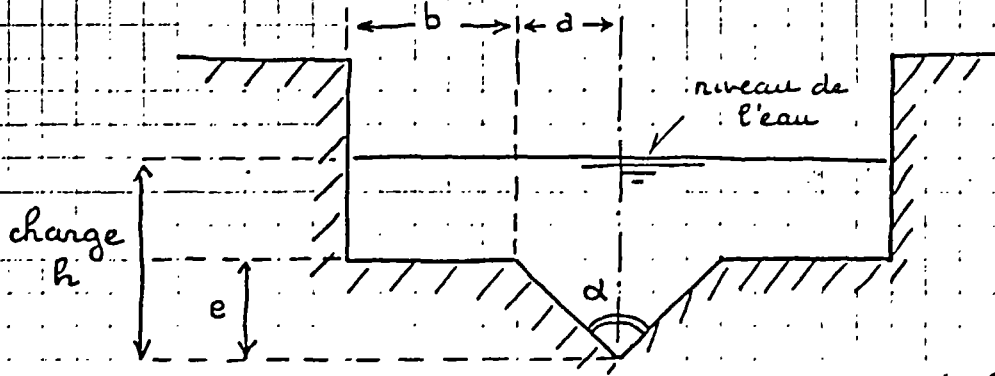
$$Q = 3,3 \cdot \text{tg } \frac{\alpha}{2} \cdot e \cdot \left[ h - \frac{e}{2} \right]^{1,47}$$

la différence entre les 2 formules étant inférieure à 1,5% pour des charges supérieures à  $2e$

On remarque donc que lorsque la charge crôit ce deversoir se comporte simplement comme un deversoir rectangulaire.

d'après "La Mesure directe des débits dans les cours d'eau" R. HLAVEK

## DEVERSOIR TRIANGULAIRE ECHANCRANT UN DEVERSOIR RECTANGULAIRE



pour  $\alpha = 90^\circ$   $\text{tg} \frac{\alpha}{2} = 1$

### Formule

\*  $h \leq e$  deversoir triangulaire seul

$$Q = 1,32 \cdot \text{tg} \frac{\alpha}{2} \cdot h^{2,47} \quad \text{formule de GOURLEY et CRIMP}$$

NB . il existe de nombreuses autres formules, parmi lesquelles on peut citer celles de Kindsvater-Carter préconisée par la norme AFNOR X 10-311 et celle de GROUD.

\*  $h > e$  deversoir triangulaire échançant un deversoir rectangulaire

$$Q = \frac{2m\sqrt{2g}}{3} \left[ \frac{4a(h^{5/2} - (h-e)^{5/2})}{5 \cdot e} + 2b(h-e)^{3/2} \right] \quad (1)$$

ou  $m$  est un coefficient de débit à définir expérimentalement. En première approximation on peut adopter :  
 $m = 0,55$

d'où  $\frac{2m\sqrt{2g}}{3} = 1,624$  valeur à comparer avec celle du deversoir triangulaire seul 1,32

Lorsque  $h$  croît on peut adopter la formule simplifiée :

$$Q = \frac{2 \cdot m \cdot \sqrt{2g}}{3} \left[ 2b(h-e)^{3/2} + 2a(h-e/2)^{3/2} \right]$$

On remarque que pour de faibles charges même pour  $h > e$  l'influence du deversoir triangulaire reste sensible (loi en  $h^{5/2}$ ) alors que pour les fortes charges il se comporte simplement comme un deversoir rectangulaire (loi en  $h^{3/2}$ ).

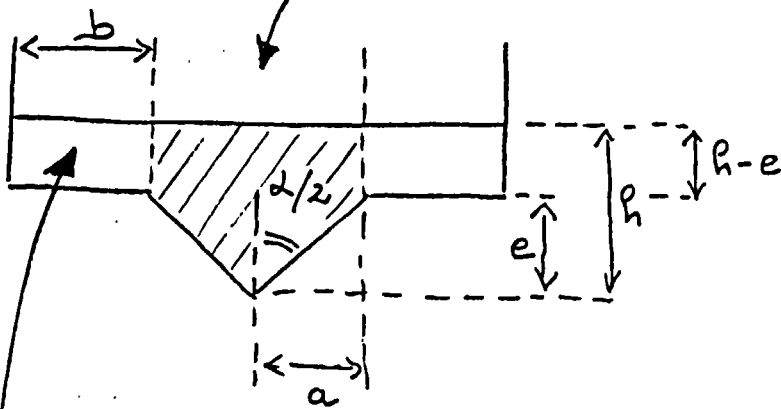
d'après "La Mesure directe des débits dans les cours d'eau" R. HLAVEK

# DEVERSOIR TRIANGULAIRE ECHANCRANT UN DEVERSOIR RECTANGULAIRE

## Remarques

La formule (1) peut être décomposée comme suit :

$$\textcircled{1} \quad \varphi_1 = \frac{2m\sqrt{2g}}{3} \cdot \frac{a}{e} \cdot \frac{4}{5} (h^{5/2} - (h-e)^{5/2})$$



$$\frac{a}{e} = \operatorname{tg}\left(\frac{\alpha}{2}\right)$$

deversoir triangulaire surmonté de deux parois verticales

$$\varphi = \frac{2m\sqrt{2g}}{3} \cdot \frac{4}{5} \cdot \operatorname{tg}\frac{\alpha}{2} (h^{5/2} - (h-e)^{5/2})$$

La différence avec la formule du deversoir triangulaire seul. (formule de GOURLEY et CRIMP)

- exposant  $5/2$  au lieu de  $2,47$

- si on prend  $m = 0,55$

$$\text{Le coefficient de débit} = \frac{2 \times 0,55 \times \sqrt{2 \times 9,81} \times \frac{4}{5}}{3} = 1,2993$$

à comparer avec le coef  $1,32$  pour le deversoir triangulaire seul

$$\textcircled{2} \quad \varphi_2 = \frac{2m\sqrt{2g}}{3} \times 2b (h-e)^{3/2} \quad \text{deversoir rectangulaire}$$

coef de débit  $\quad$  largeur

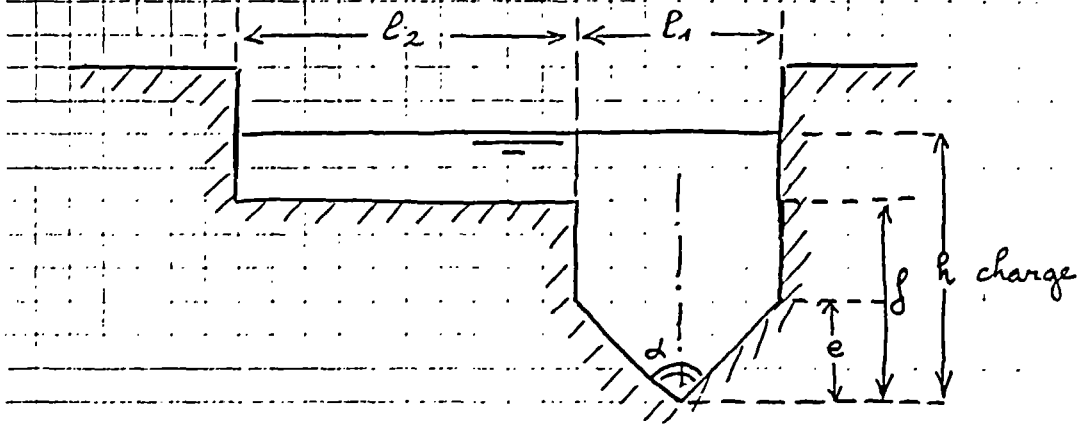
$$m = 0,55$$

$1,624$  à comparer avec les valeurs de coef de débit des autres formules classiques

$$\frac{2 \times 0,55}{3} = 0,367 \quad \text{à comparer avec les valeurs du deversoir rectangulaire : } 0,410 \text{ à } 0,513 \text{ (formule de Reh'lot)}$$

NB Au passage entre la formule valable pour  $h \leq e$  et celle valable pour  $h > e$  on constate une légère baisse de débit avant que ceux-ci croissent à nouveau lorsque  $h$  augmente

DEVERSOIR TRIANGULAIRE SURMONTE DE DEUX PAROIS VERTICALES ECHANCRANT UN DEVERSOIR RECTANGULAIRE



Formule théorique

\* si  $h \leq e$  deversoir triangulaire simple

$$Q = 1,32 \cdot \operatorname{tg} \frac{\alpha}{2} \cdot h^{5/2}$$

\* si  $e < h \leq f$  deversoir triangulaire surmonté de deux parois verticales

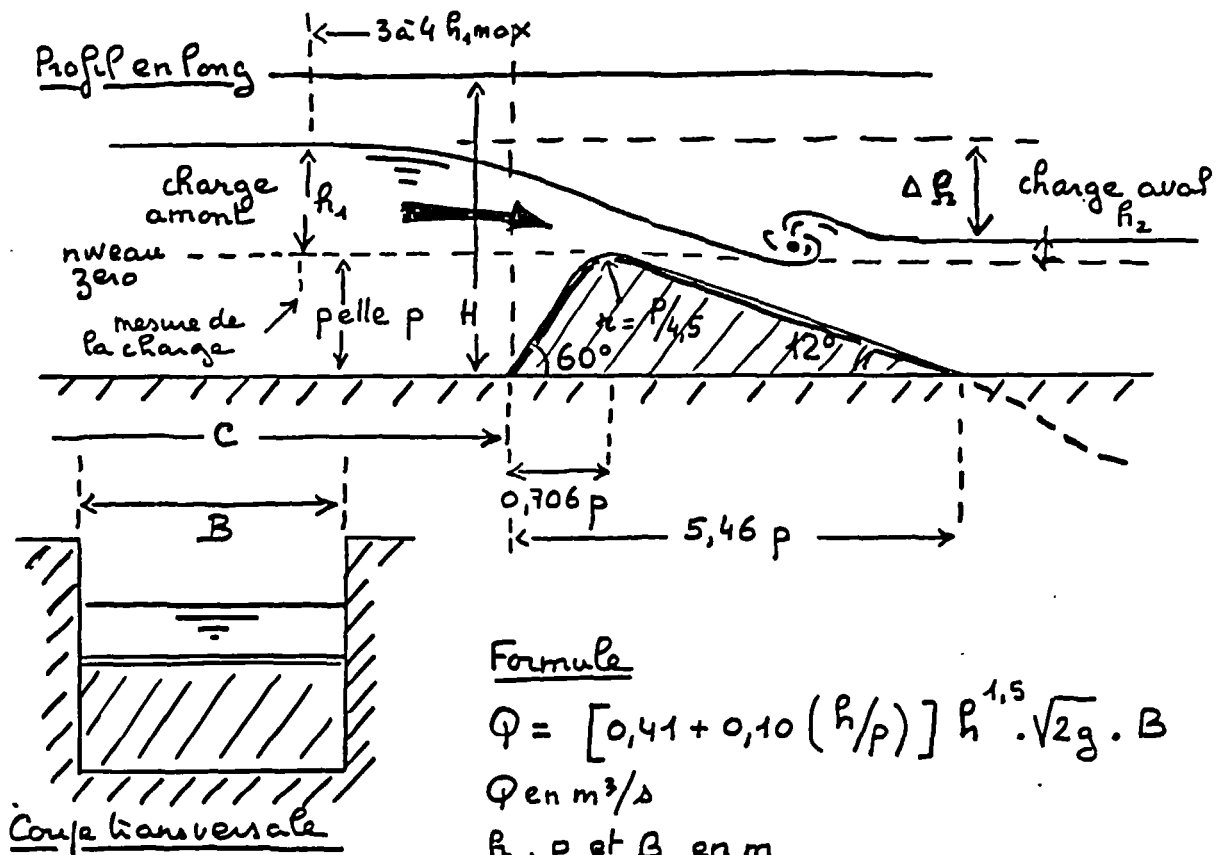
$$Q = 1,32 \cdot \operatorname{tg} \frac{\alpha}{2} \cdot \left[ h^{5/2} - (h-e)^{5/2} \right]$$

\* si  $h > f$  deversoir triangulaire surmonté de deux parois verticales echançant un deversoir rectangulaire

$$Q = 1,65 \cdot \left[ 2 \cdot l_1 \cdot \left\{ \frac{h^{5/2} - (h-e)^{5/2}}{5 \cdot e} \right\} + l_2 (h-f)^{3/2} \right]$$

[ d'après " la mesure directe des débits dans les cours d'eau " R. HLAVEK ]

# SEUIL JAUGEUR NEYRPIE



## Limites d'application

- canal amont    pente  $\leq 5\%$   
                   longueur  $C \geq 5 \text{ à } 10 \cdot B$  ( $\geq 0,4 p$ )  
                   hauteur du canal  $H = p + h_{1,max} + revanche$   
                                   en pratique  $H \geq 2,8 p$
- canal aval    doit permettre respect de la condition de "perte de niveau"
- condition hydraulique     $h_{1,max} = 1,4 \cdot p$   
                   denoyage     $\Delta h = h_1 - h_2 \geq 0,4 h_1$   
                                   ou  $h_2 \leq 0,6 \cdot h_1$
- la hauteur de charge amont  $h_1$  doit être mesurée à une distance égale à 3 à 4  $h_{1,max}$

Conditions de raccordement dans un canal existant de largeur  $L$   
 $0,65 \cdot B \leq b \leq 1,5 \cdot B$   
 avec convergents et divergents adaptés

NB si  $h_2 > 0,6 \cdot h_1$  l'écoulement est noyé et le débit  
 $Q = f(h_1, h_2) \Rightarrow$  il faut mesurer  $h_1$  et  $h_2$

# PRECISION DES MESURES AU DEVERSOIR

(mur à paroi, écoulement libre)

Toutes les formules sont du type  $Q = C \cdot b \cdot h^\alpha \sqrt{2g}$

où  $C$  = coefficient de débit (fonction de  $p, h, b, B \dots$ )

$b$  = largeur de la crête deversante

$h$  = charge

$\alpha$  = exposant  $\alpha = 1,5$  échancrure rectangulaire

$2,5$  " triangulaire

$g$  = accélération de la pesanteur ( $9,81 \text{ m}^2/\text{s}$ )

$B$  = largeur du canal d'avalée

$p$  = hauteur de pelle

## Calcul de l'erreur relative

$$\frac{\Delta Q}{Q} = \frac{\Delta C}{C} + \frac{\Delta b}{b} + \alpha \frac{\Delta h}{h}$$

En 1<sup>ère</sup> approximation on peut écrire

$$\frac{\Delta Q}{Q} \approx \alpha \frac{\Delta h}{h}$$

Exemple

Précision de la mesure de charge (mm)	Erreur relative sur le débit pour $h = 10 \text{ cm}$	
	dév. rectangulaire	dév. en crête triangulaire
$\pm 1$	2,5 %	1,5 %
$\pm 5$	12,5 %	7,5 %
$\pm 10$	25 %	15 %

## CALCUL DE LA LIMITE DE L'ETENDUE DE MESURE D'UN DEVERSOIR

### DEBIT MINIMUM

- on choisit l'erreur relative maximale admissible sur le débit  
ex  $(\Delta Q/Q)_{\max} = 2\%$

- on calcule la charge sur la crête correspondant à la limite inférieure de la précision requise

ex - pour un deversoir mur à paroi à échancrure triangulaire

$$\frac{\Delta Q}{Q} = 2,5 \frac{\Delta h}{h}$$

$$\text{d'où } h = 2,5 \frac{\Delta h}{\Delta Q/Q}$$

$$\text{soit } h_{\min} = 2,5 \frac{\Delta h}{(\Delta Q/Q)_{\max}}$$

- pour un déversoir à échancrure rectangulaire

$$\frac{\Delta Q}{Q} = 1,5 \frac{\Delta h}{h}$$

$$\Rightarrow h_{\min} = 1,5 \frac{\Delta h}{(\Delta Q/Q)_{\max}}$$

Le Tableau 1 ci dessous donne pour ces deux type de déversoir en fonction des hauteurs minimales de charge - compte tenu de la précision des mesures de charge ( $\Delta h$ ) et de l'erreur relative maximale admissible ( $\Delta Q/Q$ ) sur les débits -

type de déversoir	$\Delta h$ mm					$\Delta Q/Q$
	0,5	1	2	5	10	
triangulaire	62,5	125	250	625	1250	2%
	25,0	50	100	250	500	5%
rectangulaire	37,5	75	150	375	750	2%
	15	30	60	150	300	5%

Tabl.1- hauteur de charge minimale (en mm) pour différents valeurs de  $\Delta h$  et  $\Delta Q/Q$

L'examen de ce tableau montre clairement qu'il faut effectuer les mesures de charge avec le maximum de précision

NB - La valeur minimale de débit mesurable peut aussi être conditionnée par des raisons purement hydraulique. Ainsi pour un déversoir triangulaire à 90° des expériences ont montré que lorsque la charge devenait inférieure à 50 mm la relation hauteur débit n'était pas la même lorsque la charge diminuait et lorsqu'elle croissait: de plus on pouvait noter une certaine instabilité. C'est pourquoi il est préconisé de ne pas utiliser ce type de déversoir pour des charges inférieures à 50 mm.

### DEBIT MAXIMUM

- La valeur du débit maximum est déterminée d'après la valeur de la charge maximum - préconisée - par les conditions d'application des différentes formules

Le tableau 2 donne, pour quelques formules les conditions d'application relatives aux charges. On constatera que pour un même type de dispositif ces valeurs peuvent varier notablement d'une formule à une autre

Type de seuil ou seuil	nom de la formule	conditions d'application pour les charges (en m.)
rectangulaire (avec ou sans contraches latérales)	Hegly	$0,1 < h < 0,6$
	Kundsvater - Carter	$0,03 \leq h \leq 2 \cdot p$ avec $p \geq 0,1$
triangulaire	Kundsvater - Shen	$0,05 \leq h < 0,38$ $h < 0,2 \cdot B$ $h \leq 0,4 \cdot p$
	Groud	$0,05 \leq h < 0,15$
Seuil jaugeur Neyric	Neyric	$h_{max} = 1,4 \cdot p$ $h_{aval} \leq 0,6 \cdot h_{amont}$
Canal Venturi	Venturi	$h_{max} = 1,3 \cdot B$ $h_{aval} \leq 0,75 \cdot h_{amont}$

B : largeur du canal d'amont  
p : hauteur de jette

Tabl. 2 - Conditions d'application des charges pour diverses formules

NB : Le débit maximum peut aussi être conditionné par des raisons locales relative notamment à la remontée de niveau admissible en amont

ETENDUE DE MESURE

L'étendue de mesure est :

$$\frac{Q_{min}}{Q_{max}} = \left( \frac{h_{min}}{h_{max}} \right)^{1,5}$$

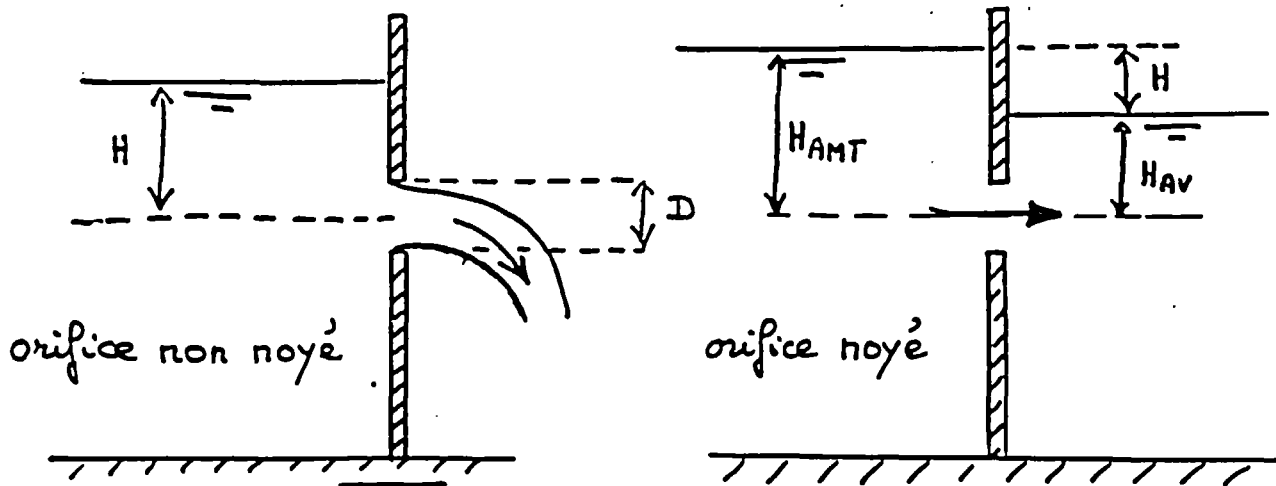
Exemple

Pour un seuil rectangulaire où l'on admet  $h_{min} = 75 \text{ mm}$ , on aura :

$$\frac{Q_{min}}{Q_{max}} = \left( \frac{75}{h_{max}} \right)^{1,5}$$

$h_{max}$	75	100	200	300	400	500	750
$\frac{Q_{min}}{Q_{max}}$	1/1	1/1,54	1/4,35	1/8	1/12,33	1/17,22	1/32

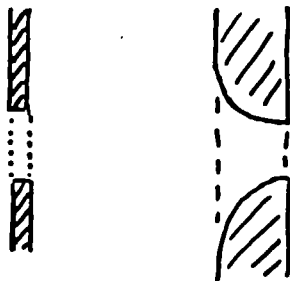
# ORIFICE DE JAUGE



$$Q = m S \sqrt{2gH}$$

$m$  coef. de débit fonction forme de l'orifice, des dimensions, son orientation, l'acuité de ses arêtes et la charge  
 Pour un calcul approché et un orifice circulaire en mince paroi  $\rightarrow m = 0,62$

$S$  surface de l'orifice  $= \pi D^2 / 4$   
 $g$  accélération de la pesanteur  $9,81 \text{ m/s}^2$   
 $H$  Charge sur l'orifice

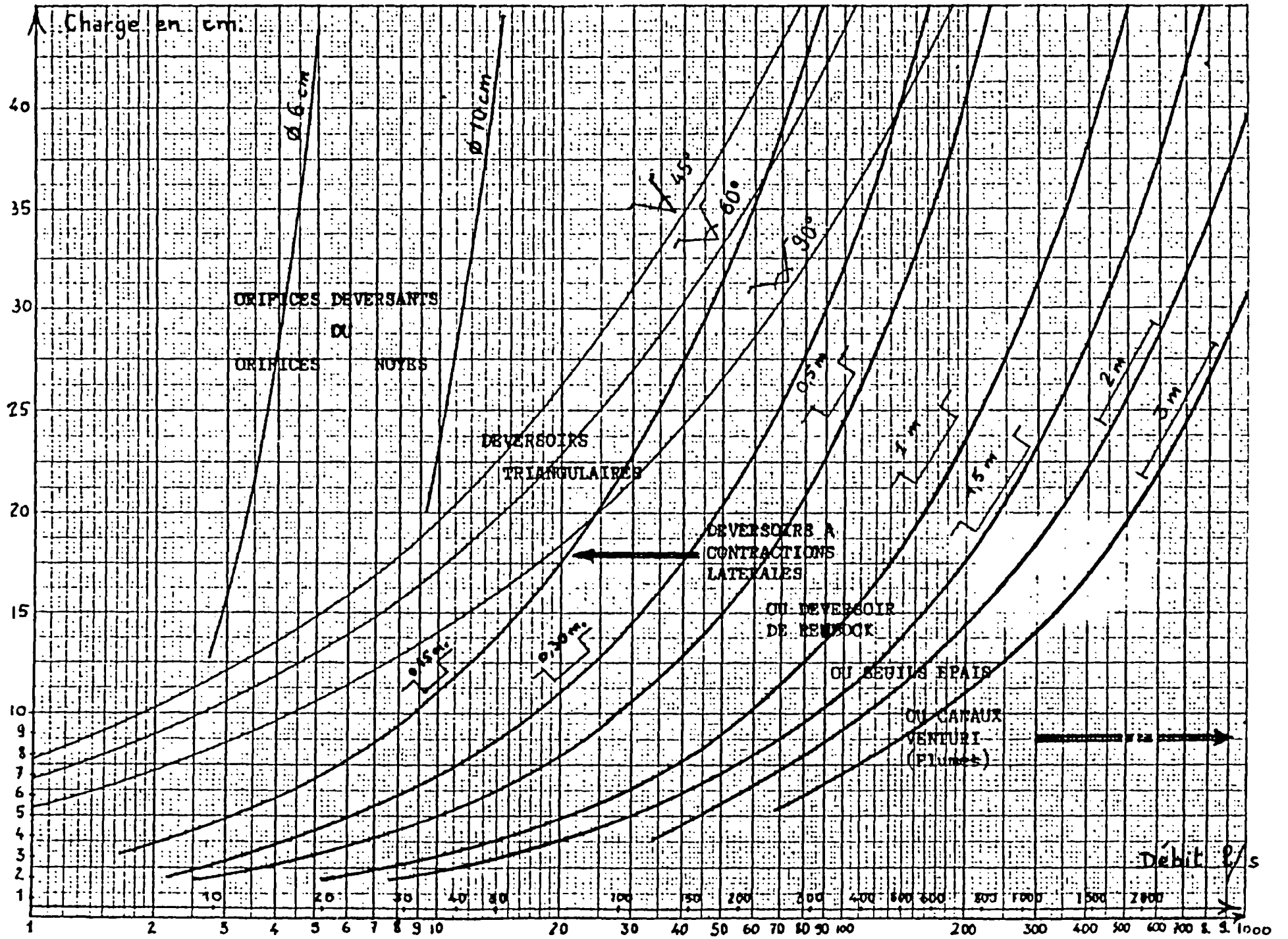


$m = 0,62$  mince paroi       $m = 0,98$  veine moulée

## Gamme des débits

Ø orifice cm	Charge cm			
	0,5	2,5	5	15
1	0,015	0,055	→ 0,084 0,300	
5	0,853 3,06			
10			→ 4,823 17	
			→ 8,354 30	

0,055 m<sup>3</sup>/h  
 0,015 l/s



**CRITERES DE CHOIX D'UN DISPOSITIF JAUGEUR**

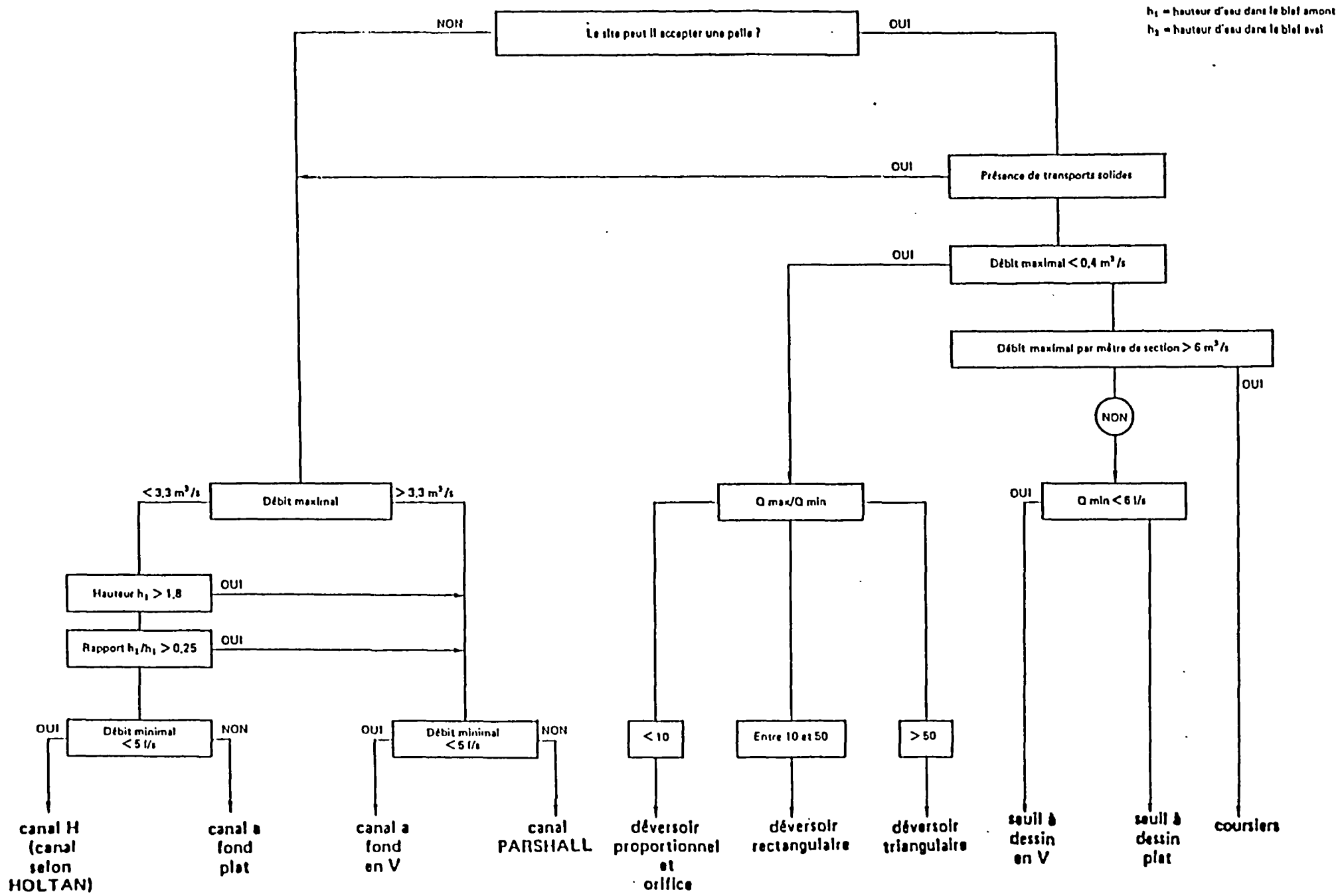
Types de dispositifs jaugeurs	Déversoirs en mince paroi						Canaux à ressaut, type Venturi								Seuils jaugeurs type épais							
	(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	(7)	(8)	(9)	(10)	(11)	(12)	(13)	(14)	(15)	(16)	(17)	(18)	(19)	(20)	(21)	
N° de colonne																						
Forme spécifique	Rectangulaire sans contraction	Rectangulaire avec contraction	Triangulaire	Trapézoïdal	Circulaire	Proportionnel	A fond plat rectangulaire	A fond plat trapézoïdal	A fond plat col en U	Radier en saillie rectangulaire	Radier en saillie trapézoïdal	Radier en saillie col en U	Parshall	Canal H	Profil triangulaire arête vive	Profil triangulaire arête arrondie	Profil rectangulaire	Profil trapézoïdal	Profil circulaire	Seuil cylindrique à chute aval	Seuil WES standard à chute aval	
Critères de choix																						
Transport de matériaux flottants	F	M	D	M	D	D	M	M	M	M	M	M	M	F	F	F	F	F	F	F	F	
Transport de matériaux décantables	D	D	D	D	D	D	F	F	F	M	M	M	F	M	M	M	D	M	M	M	M	
Différence de niveau Amont-Aval nécessaire	M	D	D	M	D	D	F	F	F	M	M	M	F	M	F	F	F	F	F	F	D	D
Précision absolue	F	F	F	F	M	M	M	M	M	M	M	M	M	M	M	M	D	D	D	D	D	
Précision relative sur l'étendue de mesure	D	M	F	F	M	M	M	F	F	M	F	F	M	F	D	D	D	D	D	D	D	
Limite inférieure de fonctionnement correct	F	F	M	D	M	M	M	M	M	M	M	M	M	F	F	F	F	F	F	F	F	
Facilité de réalisation (coût)	F	F	F	F	F	M	M	M	M	M	D	D	M	D	M	M	F	M	M	M	M	
Implantation provisoire (amovible) sans déviation du flot	M	M	F	F	F	F	M	M	M	M	D	D	D	D	M	M	M	M	M	M	M	
Usure	D	D	D	D	D	D	F	F	F	F	F	F	F	F	M	M	M	M	M	M	M	
Capacité de submersions $\frac{h_2}{h_1}$	nulle						0,7 à 0,9						0,95	0,25	0,4 à 0,8		0,7 à 1				0,3	

Légende    F : Favorable  
                   M : Moyen  
                   D : Défavorable

QUELQUES EXEMPLES DE CHOIX DE DEVERSOIRS

Gamme de débits à mesurer		Type de déversoir à utiliser	Lame d'eau correspondante		Observations
Mini	Maxi		Mini	Maxi	
0,2 l/s	35 l/s	Triangulaire type 1/4 $\operatorname{tg} \frac{\alpha}{2} = \frac{1}{4}$	5 cm	40 cm	La pelle doit avoir si possible plus de 0,45 m donc le canal doit avoir plus de 0,85 m de hauteur
0,4 l/s	70 l/s	Triangulaire type 1/2 $\operatorname{tg} \frac{\alpha}{2} = \frac{1}{2}$	5 cm	40 cm	
1 à 20 l/s	Plus de 70 l/s mais moins de 140 l/s	Triangulaire type 90° $\operatorname{tg} \frac{\alpha}{2} = 1$	5 cm pour 1 l/s	40 cm pour 140 l/s	
Plus de 20 l/s	200 l/s	Rectangulaire de 0,30 m de largeur	10 cm	40 cm	pelle > 40 cm
50 l/s	500 l/s	Rectangulaire de 1 m de largeur	10 cm	40 cm	hauteur canal > 80 cm
100 l/s	1 000 l/s	Rectangulaire largeur 1 à 2 m	15 cm à 10 cm	65 cm à 45 cm	haut. canal > 1,30 m haut. canal > 90 cm
500 l/s(1)	5 m <sup>3</sup> /s	Rectangulaire largeur 5 à 10 m	15 cm à 10 cm	65 cm à 40 cm	haut. canal > 1,30 m haut. canal > 90 cm

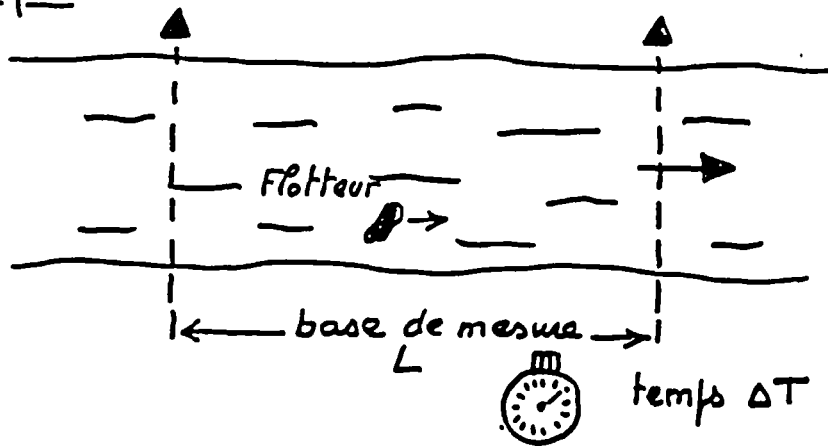
(1) En pratique l'emploi des déversoirs en mince paroi pour le contrôle permanent des débits est délicat : la courbe de tarage  $Q(h)$  est en effet influencée de façon appréciable par les variations de la pelle et il est difficile, en raison de l'ensablement, de maintenir constante la hauteur de pelle.



## AUTRES METHODES DE JAUGEAGE

# JAUGEAGE AU FLOTTEUR

## Principe



$$\text{Vitesse de surface } U_s = \frac{L}{\Delta T}$$

Calcul de la vitesse moyenne  $\bar{U}$

$$\bar{U} = k_1 \cdot \bar{U}_s \quad \text{ou} \quad \bar{U} = k_2 \cdot U_{s \text{ max}}$$

$k_1$  et  $k_2$  variable suivant géométrie des sections de mesure, rugosité, etc... nature du flotteur

→ déduit de mesures au moulinet  
ou évaluation d'après valeurs les plus courantes  
 $0,85 < k_1 < 1,10$

Calcul du débit

$$Q = S \cdot \bar{U} \quad \rightarrow \text{nécessite la mesure de la section mouillée lors mesure des vitesses ou a posteriori si la section ne de faire pas prof.}$$

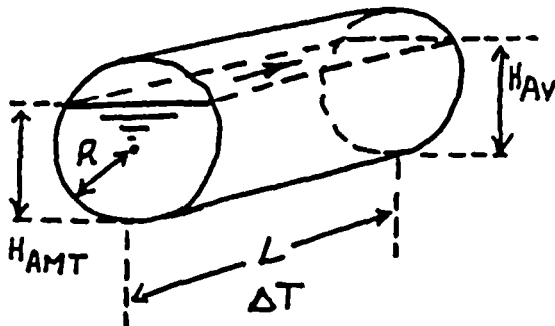
## Applications

- Méthode à utiliser si on ne dispose pas de matériel de jaugeage ou si celui-ci tombe en panne.  
une mesure de vitesse vaut mieux qu'une fautive évaluation
- Méthode à utiliser lors de fortes crues

## Matériel nécessaire

- Chronomètre
- Instrument de mesure des longueurs (mètre, decamètre ...)
- Flotteur
- Eventuellement matériel topographique pour faire un profil en travers afin de calculer la section mouillée.

# MESURE DU DEBIT DANS UNE BUSE CYLINDRIQUE EN ECOULEMENT LIBRE



\* Evaluation de la vitesse moyenne par jaugage au flotteur

$$U_s = L / \Delta T$$

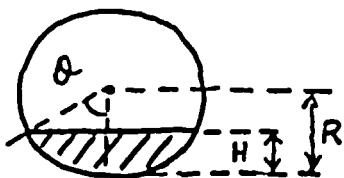
$$\bar{U} \approx 0,9 \cdot U_s$$

\* Calcul de la section mouillée moyenne

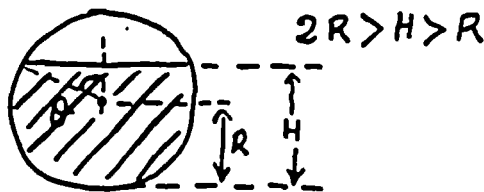
$$\bar{S} = f(H_{AMT}, H_{AV}, R)$$

Note de calcul de la surface d'un segment de cercle

$$H < R$$



$$\theta = \arctg \left[ \frac{\sqrt{H(2R-H)}}{R-H} \right]$$



$$\theta = \arctg \left[ \frac{\sqrt{H(2R-H)}}{R-H} \right] + \pi$$

$$S = R^2 \theta - (R-H) \cdot \sqrt{H(2R-H)}$$

si on définit  $K = f(\bar{H}/R)$  où  $\bar{H} = \frac{H_{AMT} + H_{AV}}{2}$

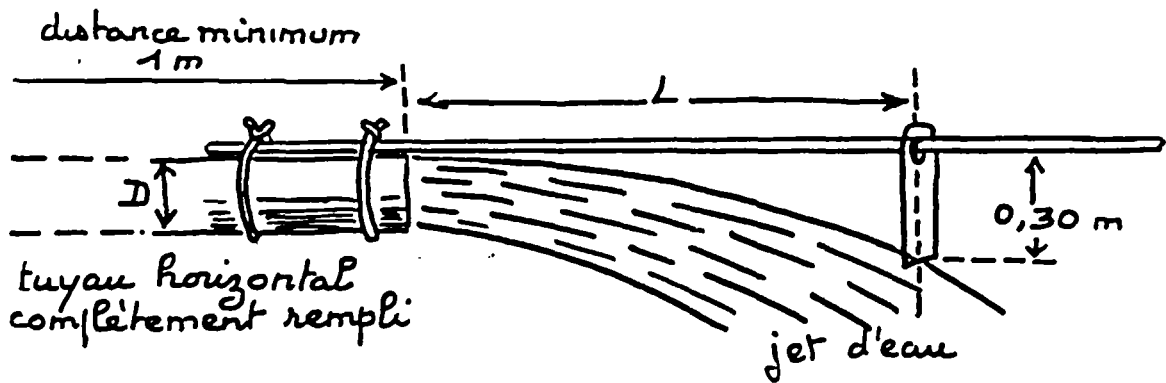
$$S = K (\pi R^2)$$

On peut tabuler la valeur de K en fonction de  $\bar{H}/R$

$\bar{H}/R$	0,25	0,50	0,75	1,00	1,25	1,50	1,75
K	0,072	0,196	0,343	0,500	0,657	0,804	0,928

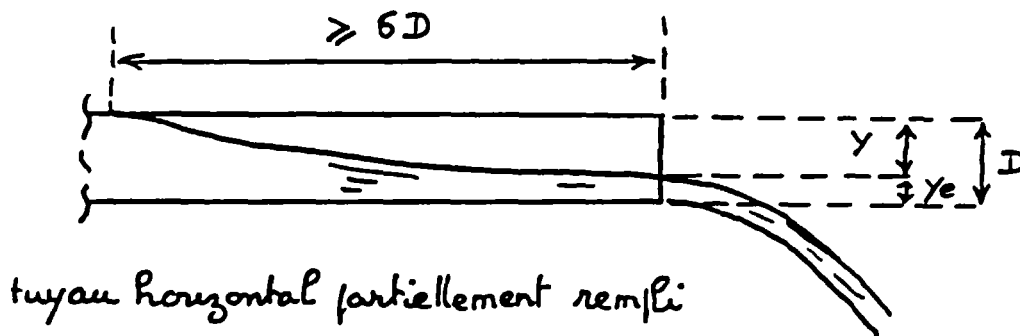
# METHODES D'EVALUATION RAPIDE D'UN DEBIT

①



$$Q = 3,9 \cdot L \cdot \sqrt{\pi D^2 / 4}$$

②



$$Q \approx \frac{y_e}{D} \cdot 3,9 \cdot L \cdot \sqrt{\pi D^2 / 4}$$

③

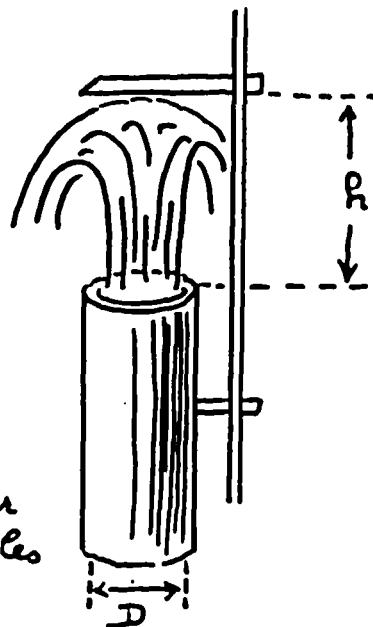
Mesure du débit  
d'un forage artésien

$$R \leq 0,37 D \quad Q = 5,47 \cdot D^{1,25} \cdot R^{1,35}$$

$$R \geq 1,4 \cdot D \quad Q = 3,15 \cdot D^{1,99} \cdot R^{0,53}$$

$0,37 D < R < 1,4 D$   $Q$  légèrement inférieur  
à ceux donnés par les formules  
ci-dessus

[cf Lawrence et Branworth]



NB: cotations en m pour les longueurs, m<sup>3</sup>/s pour les débits

HEAD  $h_s$  in metres

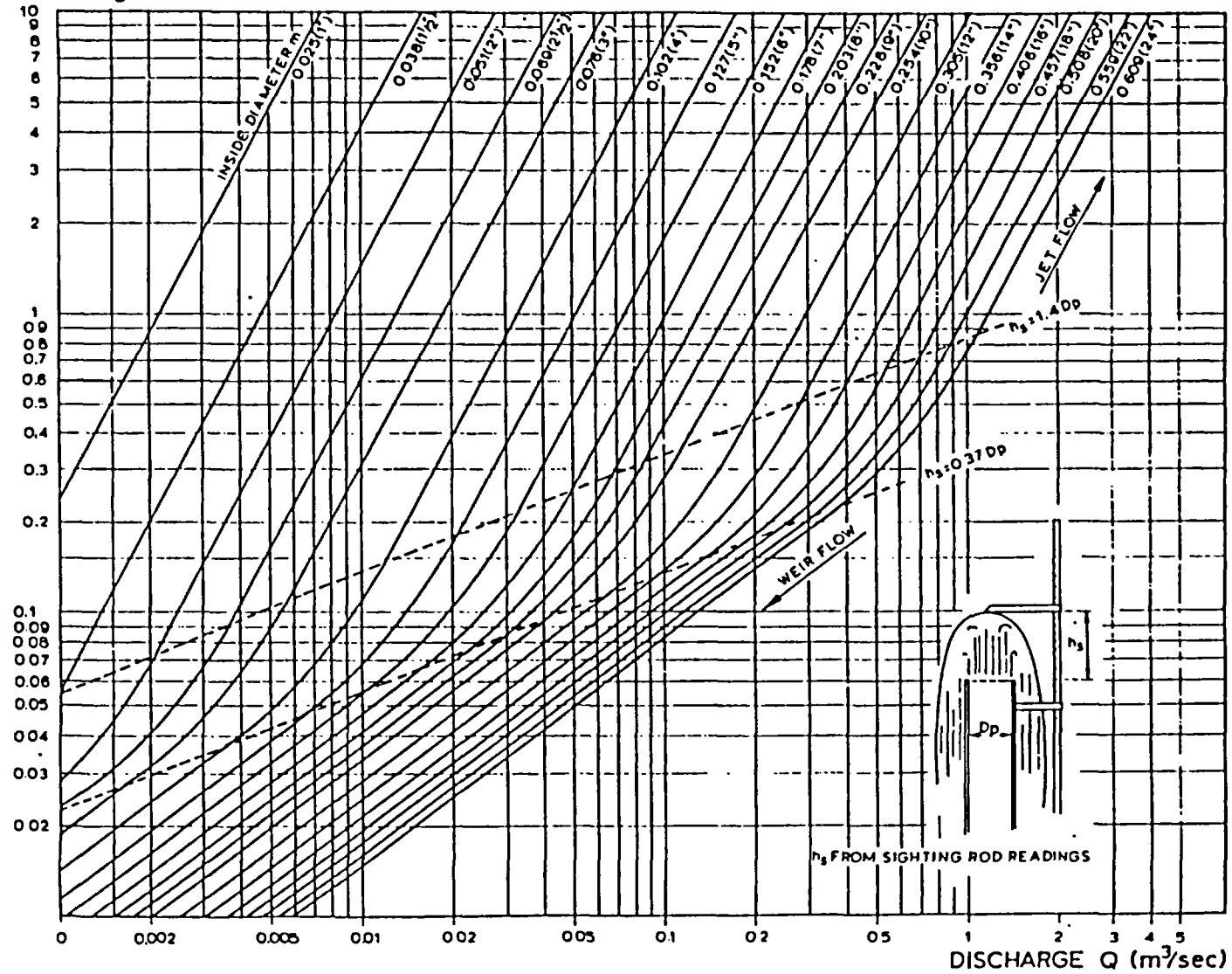
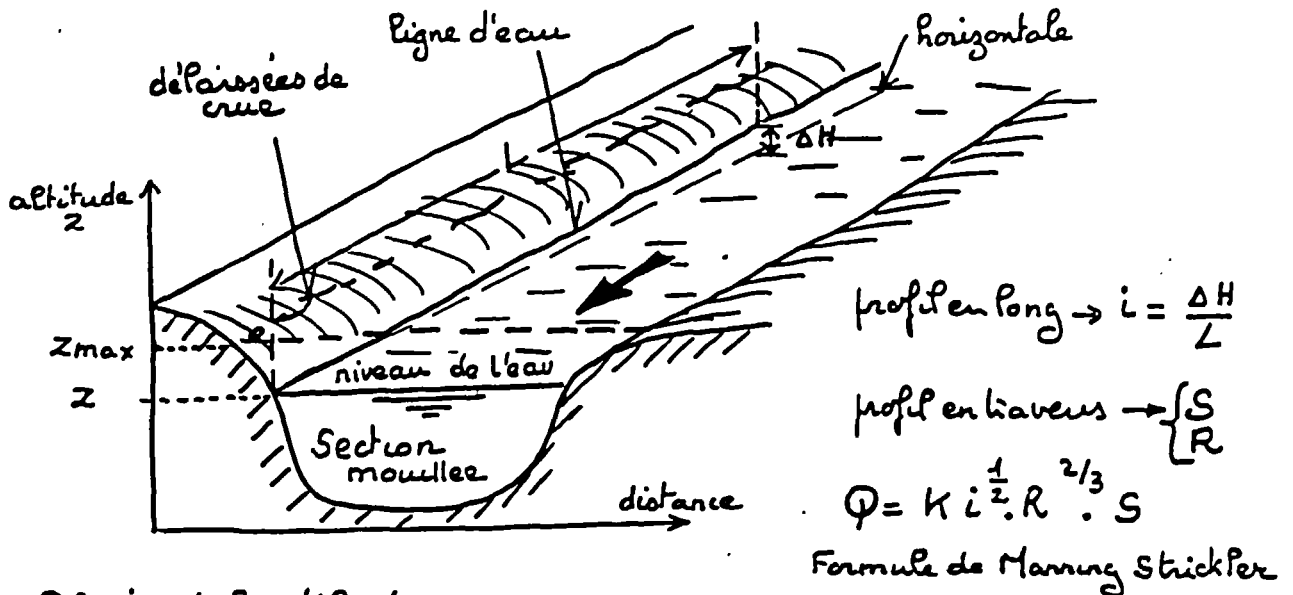


Fig. Discharge from vertical pipes.

# ESTIMATION DES DEBITS PAR LES FORMULES D'ÉCOULEMENT



## Principe de la méthode

$$Q = S \cdot \bar{U}$$

$S \rightarrow$  Déterminée par un (ou plusieurs) profils en travers.

$\bar{U} = f(i) \rightarrow$  La pente de la ligne d'eau est mesurée par un profil en long.

$\Rightarrow$  Mesures topographiques sur le terrain  $\rightarrow$  profil en long  
 $\rightarrow$  profil en travers

Appréciation des conditions de rugosité des berges

## Détermination de la section mouillée $S$ et du rayon hydraulique $R$

- Choisir un bief rectiligne de section et de pente régulières

- Établir un profil en travers représentatif de la section du bief de mesure

NB - Attention aux modifications survenues après crues importantes dans un bief : ex. berge emportée  $\rightarrow$  surévaluation d'une crue future...

## Détermination de la pente de la ligne d'eau $i$

- La pente de la ligne d'eau varie souvent suivant le niveau de l'eau dans la rivière en fonction des contrôles aval.

- Mesurer la pente de la ligne d'eau par un profil en long sur 500 m de part et d'autre du profil en travers (l'exprimer dans le même système de coordonnées que le profil en travers)

Éventuellement faire pente du fond du cours d'eau

- Détermination de la pente par linéimètres (au moins 2 situés à une distance  $L$ )

## Évaluation de la vitesse par les formules d'écoulement

- Plusieurs formules : Chezy, Manning-Strickler

- Formule de Manning-Strickler

$$\bar{U} = K i^{\frac{1}{2}} R^{\frac{2}{3}}$$

Formule de Chezy

$$\bar{U} = C \sqrt{R \cdot i}$$

$K$  coefficient de rugosité de Manning-Strickler (valeurs généralement comprises entre 15 et 35 suivant le type d'eau et la nature des berges) déterminé d'après des valeurs types (cf littérature) et/ou par l'expérience de terrain.

## FORMULES D'ÉCOULEMENT (suite)

$K$  coefficient de Manning-Strickler =  $\frac{1}{n}$  ← Coef. de Manning

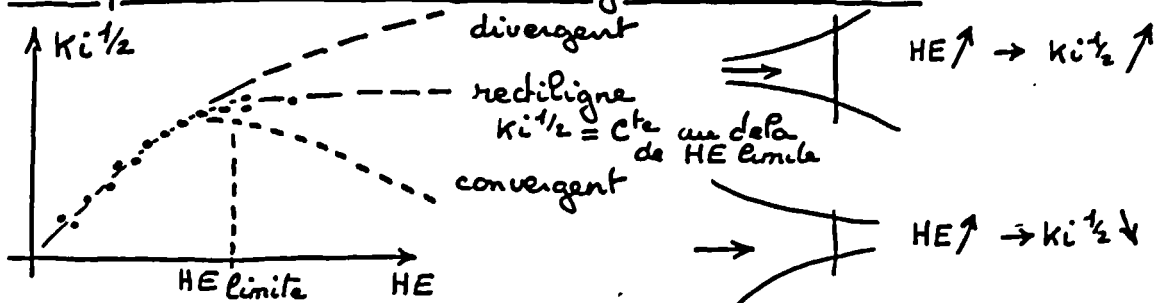
Le coefficient  $K$  peut être déterminé dans une section si on effectue un jaugeage et si on mesure la pente hydraulique

$$\rightarrow K = \frac{V}{i^{1/2} R^{2/3}}$$

$$Q = \bar{v} \cdot S$$

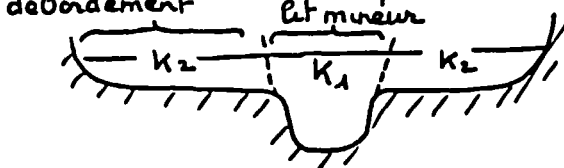
### Exemples d'application

1. Évaluation d'un débit de pointe de crue non jaugeé
  - rejeuillage des données de crue par observations sur le terrain et/ou recoupement de témoignages d'autochtones (riverains)
  - Profil en travers et en long, appréciation de la rugosité des berges
2. Détermination d'une courbe d'étalonnage théorique
  - pour dimensionner le genre civil et les équipements hydrométriques d'une future station hydrométrique
  - pour exploiter des relevés de hauteurs d'eau en l'absence de jaugeages (A CONSEILLER)
3. Détermination de la valeur du coefficient de rugosité  $K$ 
  - La valeur de  $K$  est indispensable pour les modèles d'étoulement dans un cours d'eau. Souvent on se contente d'estimations grossières, parfois on a besoin de mesures précises
  - Choix d'un bief, mesure du débit (à gué ou par un dispositif temporaire comme un jaugeage au zodiac), mesure de la pente de la ligne d'eau, suivi de l'évolution des hauteurs d'eau
4. Extrapolation d'une courbe d'étalonnage en hautes eaux



- Graphique  $K i^{1/2} = f(HE)$

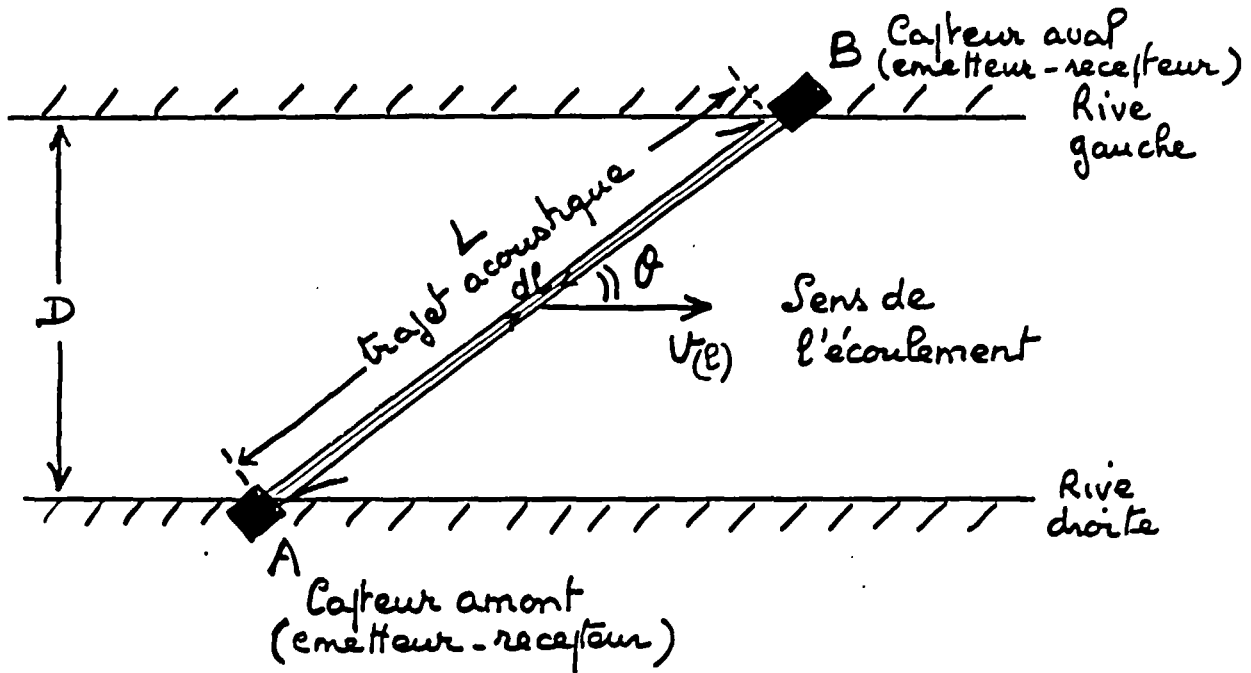
- Attention au problème des débordements (ou aux sections complexes)



$$Q = \sum_{j=1}^n S_j \cdot K_j i_j^{1/2} R_j^{2/3}$$

5. Appréciation de l'influence de la végétation sur l'étoulement dans un bief  
Valeurs de  $K$  différentes avec ou sans végétation → tirant d'eau différents

# PRINCIPE DE LA MESURE DES VITESSES PAR ULTRASONS



Temps de trajet amont-aval  $T_{AB} = \int_L \frac{dl}{C + v(e) \cos \theta}$

Temps de trajet aval-amont  $T_{BA} = \int_L \frac{dl}{C - v(e) \cos \theta}$

Différence de temps de parcours  $\Delta T = T_{AB} - T_{BA} = \int_L \frac{2 v(e) \cos \theta}{C^2 - v^2(e) \cos^2 \theta} dl$

$v(e)$  vitesse du fluide (EAU) en chaque point du trajet acoustique AB  
 $v \approx 1 \text{ à } 3 \text{ m/s}$  en général

$C$  vitesse de propagation du son dans le fluide au repos  
 $C \approx 1500 \text{ m/s}$  (Eau)

$\Rightarrow C^2 \gg \bar{v}^2 \Rightarrow v^2 \cos^2 \theta$  négligeable devant  $C^2$

$$\Delta T = \int_L \frac{2 v(e) \cos \theta}{C^2} dl$$

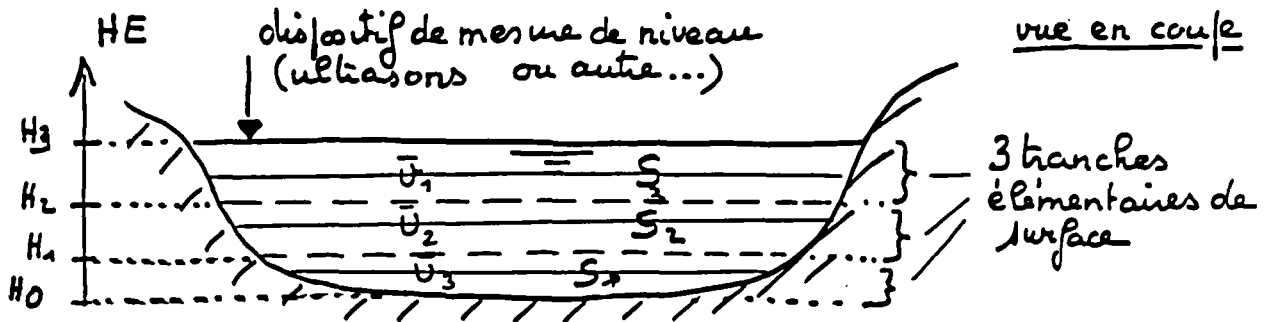
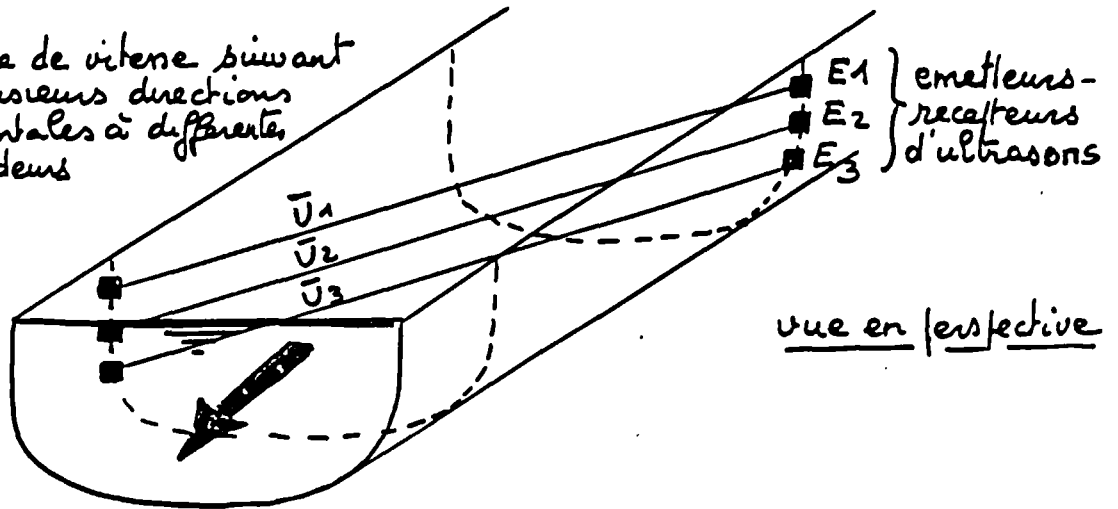
en appelant  $\bar{v}$  la vitesse moyenne sur le trajet AB

$$\Delta T = \frac{2 \bar{v} L \cos \theta}{C^2}$$

$$\Rightarrow \bar{v} = \frac{C^2}{2 L \cos \theta} \cdot \Delta T$$

# PRINCIPE DE LA MESURE DES DEBITS POUR DES ECOULEMENTS A SURFACE LIBRE PAR ULTRASONS

Mesure de vitesse suivant  
1 ou plusieurs directions  
horizontales à différentes  
profondeurs



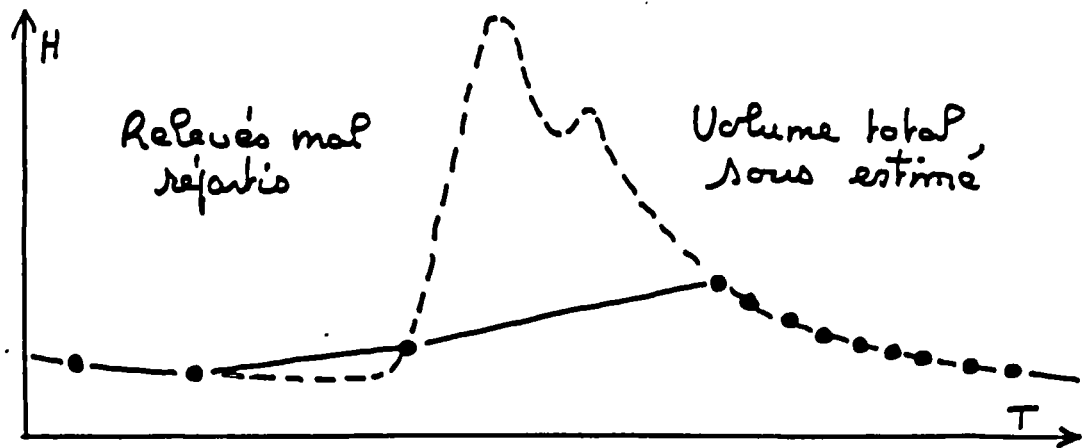
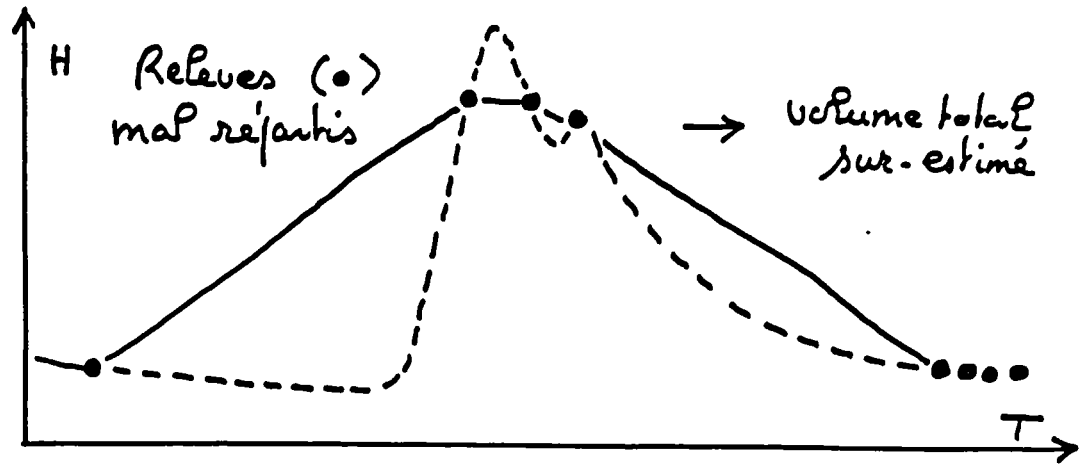
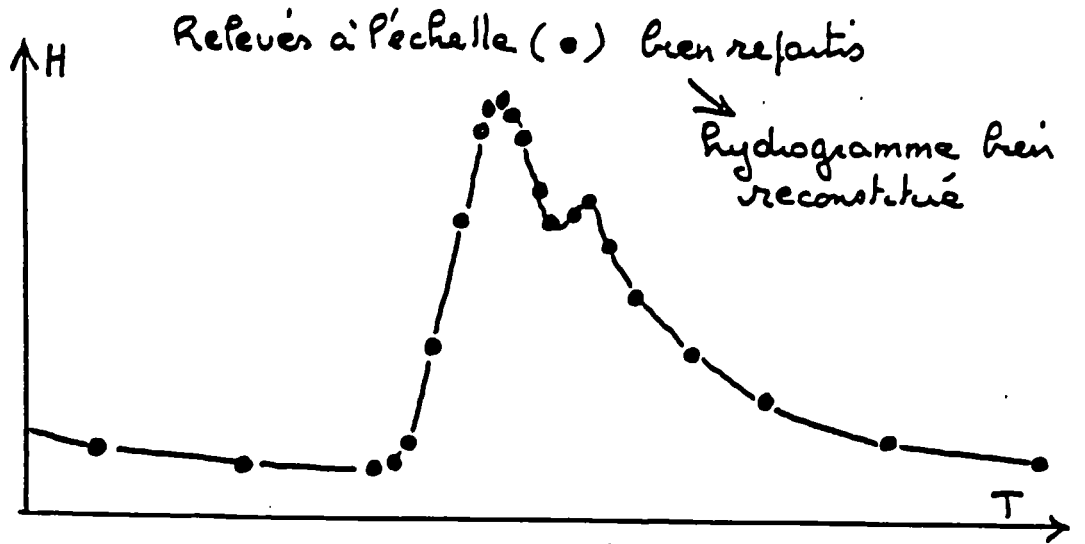
$$Q = \sum_{i=1}^3 S_i \cdot U_i = S_1 \cdot U_1 + S_2 \cdot U_2 + S_3 \cdot U_3$$

DEBIT

courantomètre à ultrasons → vitesse moyenne  
 selon une direction  
 horizontale  
 étalonnage → relation vitesse moyenne sur l'horizontale  
 vitesse moyenne sur toute la section  
 dispositif de mesure des hauteurs  
 d'eau } → section maillée  
 relation hauteur d'eau - surface  
 mouillée

### **3. LES MESURES DE HAUTEUR D'EAU – LIMNIMETRIE**

# REPARTITION DES RELEVES DE HAUTEURS D'EAU



## Stage hydrologie

- 3 - Tracé de la courbe  $dh = f(t)$  donnant la surélévation  $dh$  en fonction du temps  $t$ . Cette courbe a une forme de "chapeau de gendarme". On peut en pratique discrétiser cette courbe en une série de "marches d'escalier".
- 4 - Les cotes à l'échelle observées  $Hmt$  seront corrigées  $Hct$  d'un facteur  $dht$  en fonction de la période d'observation  $t$  :

$$Hct = Hmt + dht$$

- 5 - Les hauteurs d'eau corrigées  $Hct$  seront ensuite traduites en débits instantannés par une courbe la d'étalonnage de référence établie en hiver.

REMARQUES

Cette méthode paraît être utilisée par certains SRAE pour exploiter les données hydrométriques de certaines stations herbeuses. L'utilisation de cette méthode nécessite l'exécution d'un nombre suffisant de jaugeages aussi bien en hiver pour tracer la courbe d'étalonnage de référence qu'en été pour tracer sans ambiguïté la courbe en "chapeau de gendarme". Cette méthode suppose implicitement que la seule cause de détarage est due à l'existence d'une végétation aquatique plus ou moins abondante : elle ne prend pas en compte les autres causes possibles de détarage (sédimentation ou creusement du lit, etc...).

Evaluation de la précision d'une courbe de tarage de la forme

$$\Phi = a \cdot (H + H_0)^b$$

### 1. Considérations théoriques

L'équation de la courbe de tarage pour quelques formes géométriques de la section mouillée peut s'écrire

$$\Phi = a h^{1,5} \quad \text{pour une section rectangulaire}$$

$$\Phi = a h^{2,0} \quad \text{pour une section concave en forme de segment parabolique d'axe vertical}$$

$$\Phi = a h^{2,5} \quad \text{pour une section triangulaire}$$

$$\Phi = a h^{3,5} \quad \text{pour une section convexe en forme de segment parabolique d'axe horizontal}$$

Dans ces relations  $\Phi$  est le débit,  $h$  la hauteur d'eau mesurée par rapport à la crête du seuil de contrôle de la section de jaugeage et  $a$  un coefficient de débit intégrant notamment la largeur du bief.

Dans la pratique les hauteurs d'eau lues à l'échelle limnimétrique ont rarement leur zéro calé au niveau de la crête du seuil de contrôle. C'est pourquoi on écrit  $h = (H + H_0)$  ou  $H$  est la cote lue à l'échelle et  $H_0$  une constante positive, nulle ou négative selon que le zéro de l'échelle est placé au dessus, au niveau ou en dessous du seuil de contrôle.

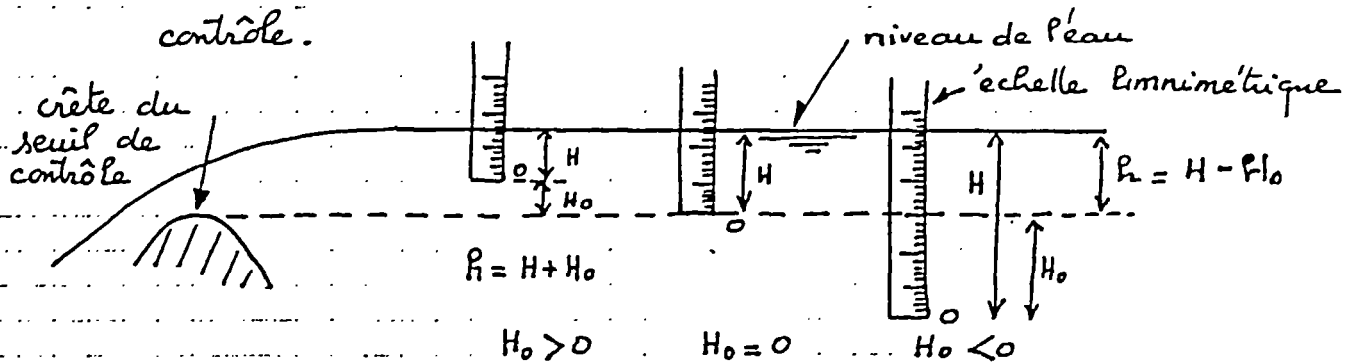


Fig. 1 - Position du zéro de l'échelle par rapport à la crête du seuil de contrôle - Signe de  $H_0$

En général on ne connaît pas la valeur de  $H_0$ . Si la cote

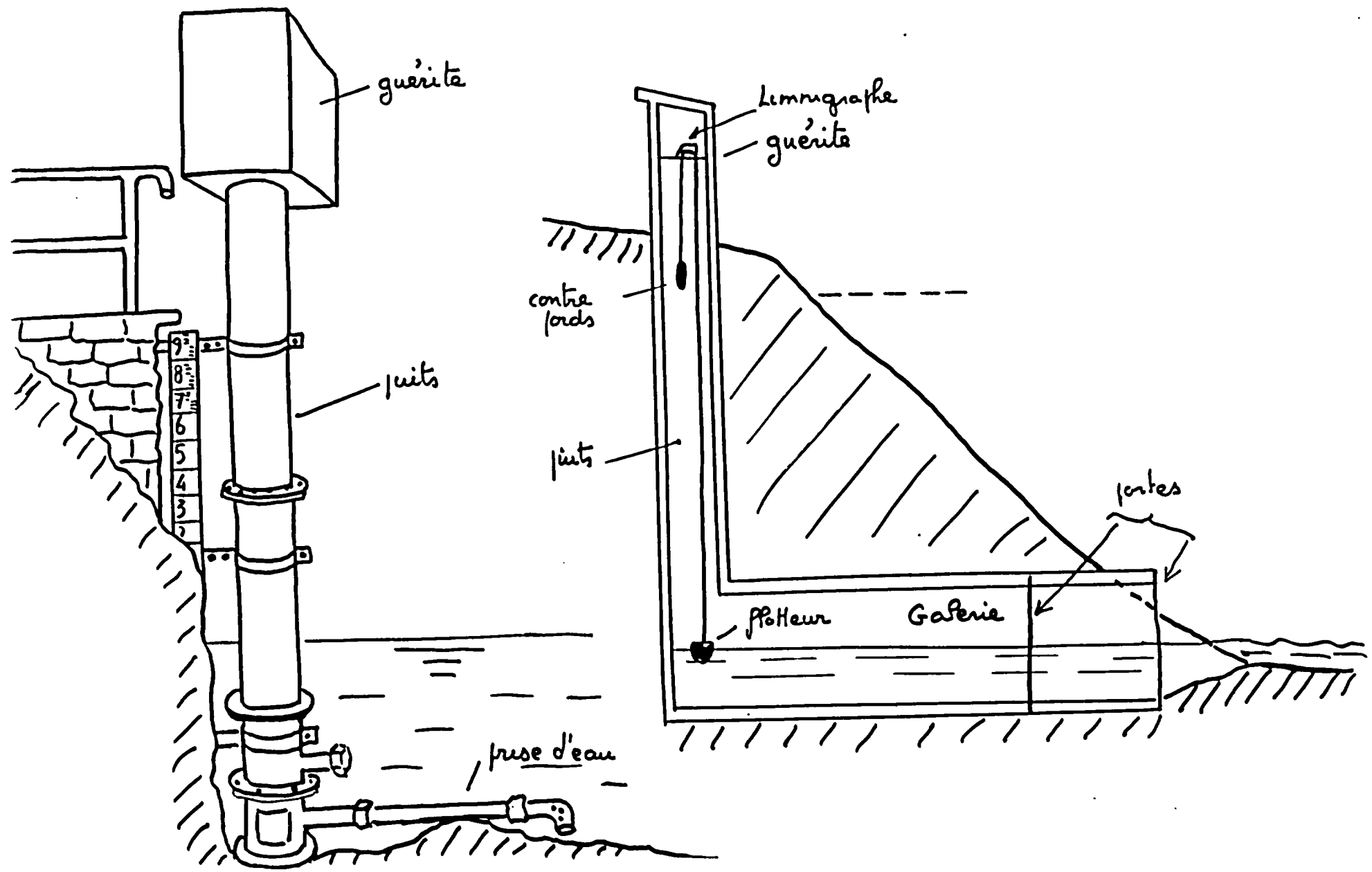
lue à l'échelle est inférieur ou égal à  $H_0$  le débit est égal à zéro.

$$H \leq H_0 \rightarrow \Phi = 0$$

# INSTALLATIONS LIMNIGRAPHIQUES

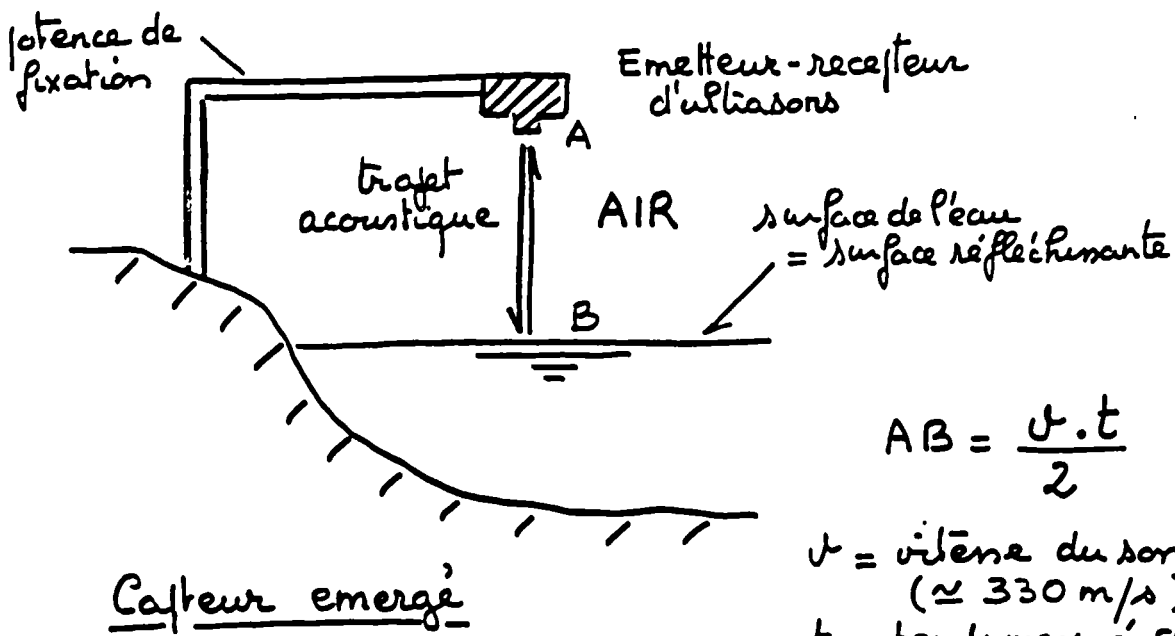
EN ACIER

EN BÉTON





# PRINCIPE DE LA MESURE DES HAUTEURS D'EAU PAR ULTRASONS

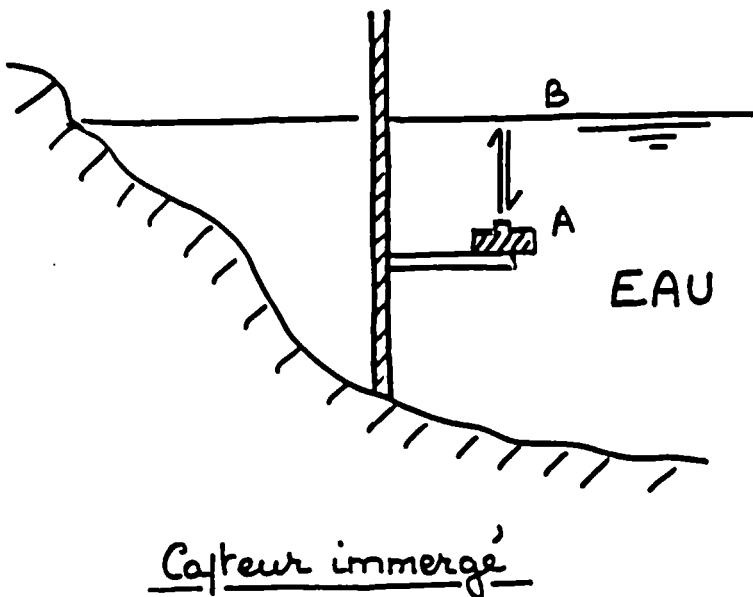


$$AB = \frac{v \cdot t}{2}$$

$v$  = vitesse du son dans l'air  
( $\approx 330$  m/s)

$t$  = temps mesuré correspondant à l'aller-retour du train d'onde

$AB$  = distance entre l'émetteur d'ultrasons et la surface de l'eau



$v$  = vitesse du son dans l'eau  
( $\approx 1400$  m/s)

# MADO®

## MODULE D'ACQUISITION DE DONNÉES

**MADO** est un système autonome d'acquisition de données, adapté aux conditions de terrain difficiles. Sa principale application est l'enregistrement du niveau des nappes phréatiques et des eaux de surface; on l'utilise également pour les pompages d'essai et la mesure de débits.

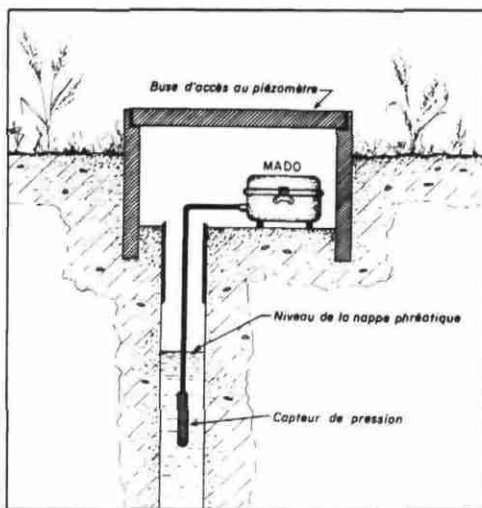
Le principe de fonctionnement est l'enregistrement sur mémoire électronique du niveau d'eau mesuré par un capteur de pression. L'utilisateur peut transférer ultérieurement les données sur un micro-ordinateur portable qui sert également à définir les paramètres de fonctionnement de **MADO**.

La conception du système répond à plusieurs critères :

- acquisition de 1 à 4 paramètres,
- fiabilité (aucune pièce mécanique),
- autonomie importante (par exemple : 1 mesure toutes les 20 mn pendant 6 mois),
- mise en œuvre très simple et sécurité d'utilisation,
- étanchéité, faible encombrement,
- possibilités d'extension sur option, carte télétransmission (ARGOS, MINITEL), autres types de mesures (conductivité, température).

Le système complet comprend, pour un suivi piézométrique :

- un boîtier contenant l'électronique et les piles,
- un capteur de pression immergé dans le forage et relié au boîtier par un câble blindé,
- un petit micro portable pour la gestion et le transfert des mémoires de **MADO** sur cassettes.



BRGM Instruments

B.P. 6009  
45060 ORLÉANS CEDEX 2 - FRANCE  
Tél.: (33) 38.64.34.18  
Télex : BRGM 780258 F

### CARACTÉRISTIQUES TECHNIQUES

#### Présentation

- boîtier en fibre de verre et résine gris clair
- dimensions : 110 x 220 x 250 mm
- étanche aux projections d'eau (IP55), double étanchéité de l'électronique
- connecteurs étanches et verrouillables
- poids : 2,5 kg

#### Conditions de fonctionnement

- température d'utilisation : -25°C à +70°C
- humidité : 0 à 100 %

#### Alimentation

- 6 piles rondes de type R20,
- sauvegarde des mémoires sur pile au lithium assurée pour 10 ans.

#### Capacités d'enregistrement

- sauvegarde de 16 000 mesures, arrêt automatique de l'acquisition à saturation des mémoires
- sauvegarde des paramètres d'étalonnage de chaque capteur

#### Programmation de l'acquisition

- sortie RS232C
- fréquence de mémorisation (interrogation du capteur) programmable de 5 s à 23 h 59 mn 59 s
- possibilité de différer la date et l'heure de début d'enregistrement

#### Options

MODEM, MINITEL, interface balise ARGOS

# MADO®

## CARACTÉRISTIQUES DES CAPTEURS PROPOSÉS

### Capteurs de pression

(mesure de niveaux d'eau)

BHL de Transamerica Instruments, avec compensation de la pression atmosphérique.

Gammes de mesure :

- BHL 4292-4293 : 0-1, 0-1.6, 0-2.5, 0-4, 0-6, 0-10 bar pour des variations de quelques mètres à 100 mètres d'eau
- BHL 4194 : 0-35, 0-75, 0-150, 0-200, 0-275, 0-350 mbars pour des variations de quelques dm à 3,5 m d'eau

Non linéarité et hystérésis :  $\pm 0,2\%$  PE (pleine échelle)

Gamme de température : compensation de  $-54^{\circ}\text{C}$  à  $+120^{\circ}\text{C}$

Dérive thermique du zéro :  $\pm 0,03\%$  PE/ $^{\circ}\text{C}$

Dérive thermique de la sensibilité :  $\pm 0,015\%$  PE/ $^{\circ}\text{C}$

Les capteurs de pression sont livrés avec un lest et une prise de mise à pression atmosphérique (licence BRGM)

### Capteurs de température

Gamme de mesure :  $-20^{\circ}\text{C}$  à  $+80^{\circ}\text{C}$ , résolution  $0,1^{\circ}\text{C}$

**Autres capteurs** (débit, résistivité, ...) nous consulter

## LOGICIEL

Un logiciel qui permet de définir les paramètres de fonctionnement du système d'acquisition et d'effectuer les relevés de données. Il est disponible sur EPSON HX 20 et sur PC compatible portable. Ses principales fonctions sont :

- initialisation de **MADO** (date de début des mesures, fréquence d'acquisition...),
- étalonnage des capteurs,
- sauvegarde des données sur une micro-cassette ou sur disquette,
- impression des données, édition de graphiques,
- transfert vers un autre micro-ordinateur.

Le programme est entièrement conversationnel pour une utilisation optimale sur le terrain.

## LOGICIELS DE TRAITEMENT

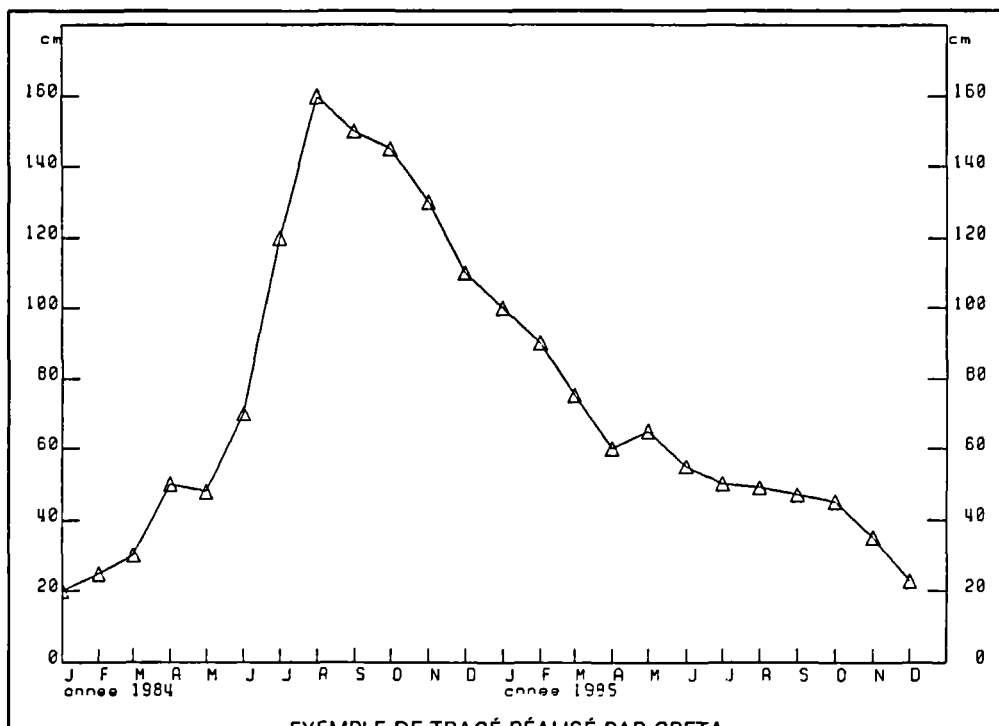
**ISAPE** est un programme d'interprétation de pompages d'essai. Il permet la détermination des paramètres hydrogéologiques par ajustement des points de mesures avec une courbe théorique.

Le programme prend en compte la géométrie de l'aquifère, différents schémas hydrodynamiques, ainsi que des phénomènes perturbateurs : pertes de charge, effet de capacité, variations de débit, etc.

**GRETA** est un logiciel de tracé d'historiques de mesures sur compatible PC. Il permet de visualiser immédiatement les données acquises par **MADO**. De nombreuses options peuvent être sélectionnées :

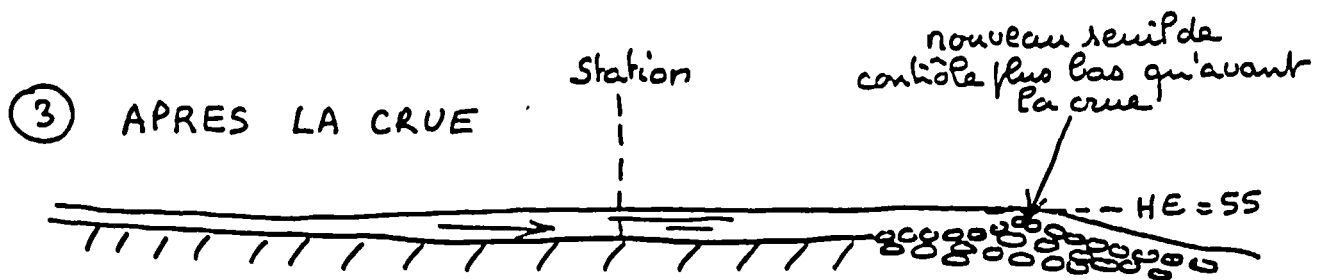
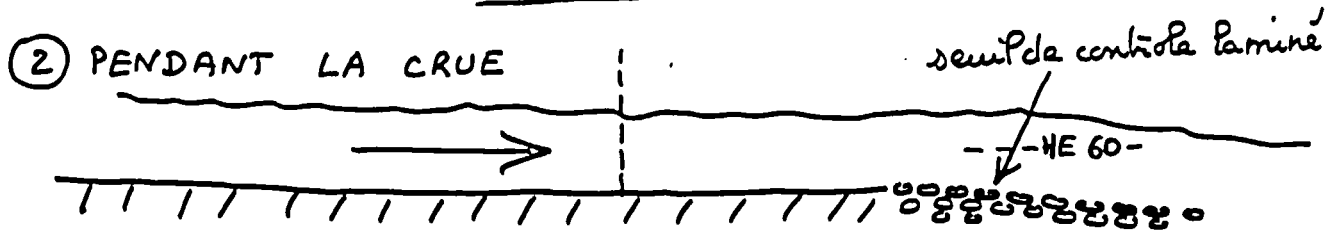
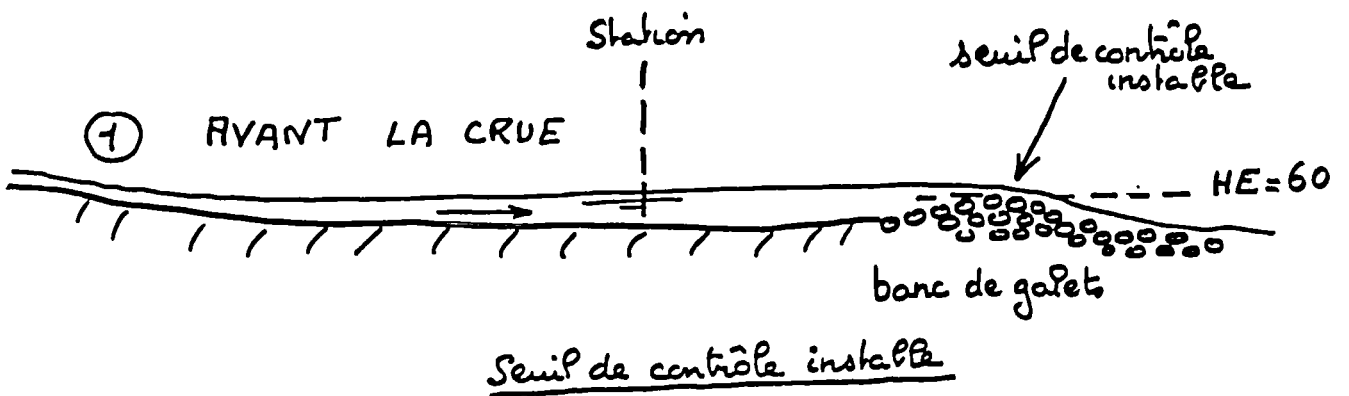
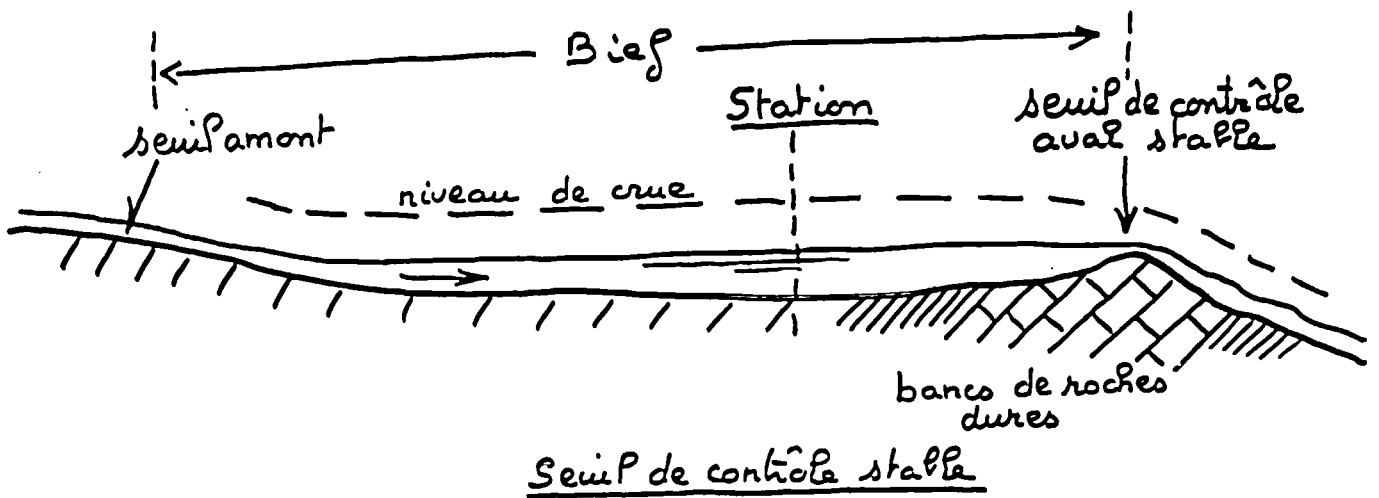
- le type de report (cartésien, logarithmique),
- le type de trait (continu ou tireté),
- les symboles utilisés pour représenter les points,
- un commentaire sur la figure,
- un quadrillage sur le fond du tracé,
- la possibilité de ne pas relier deux points éloignés de plus d'un certain temps,
- l'élimination de certaines valeurs,
- etc.

Le dessin visualisé à l'écran peut être copié sur imprimante graphique ou sur traceur.

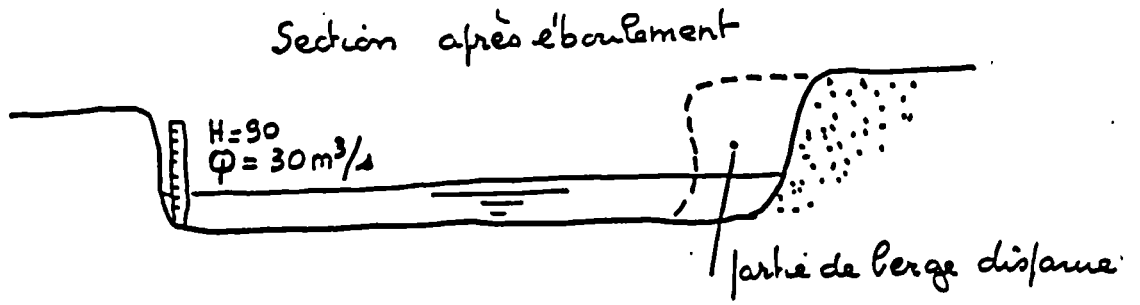
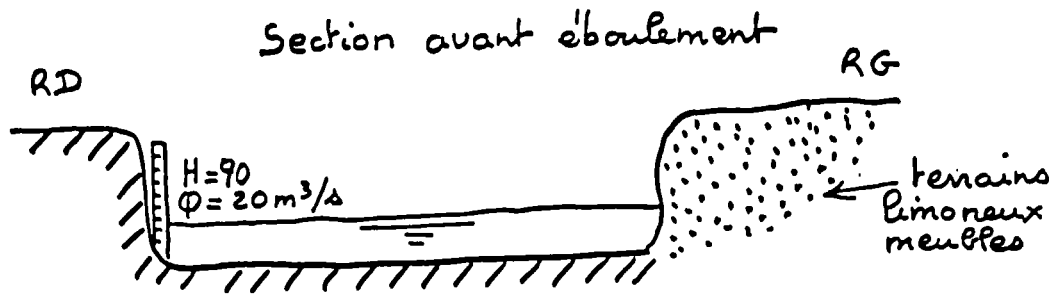


EXEMPLE DE TRACÉ RÉALISÉ PAR GRETA

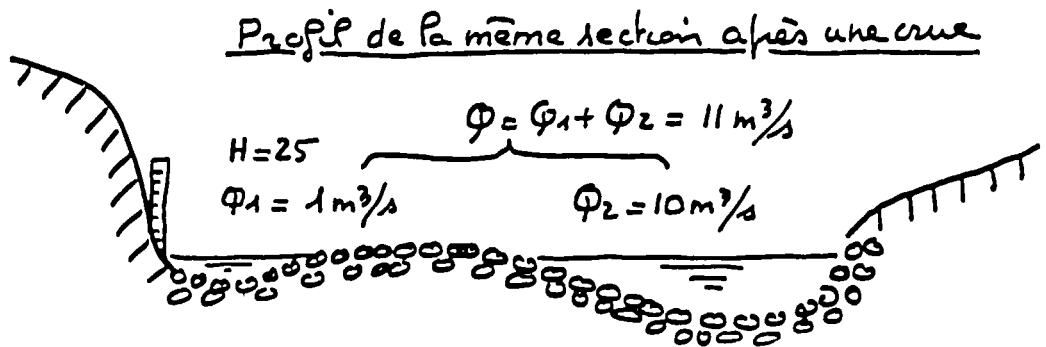
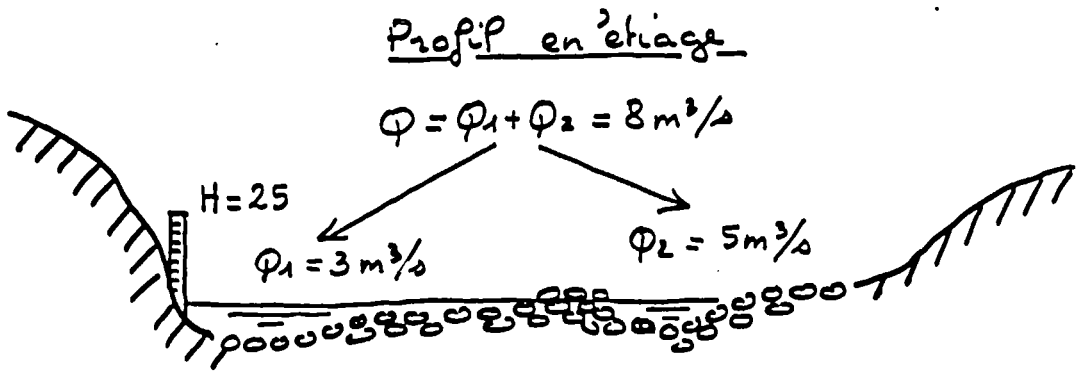
## **4. LES STATIONS HYDROMETRIQUES**



Evolution d'un seuil installé lors d'une crue

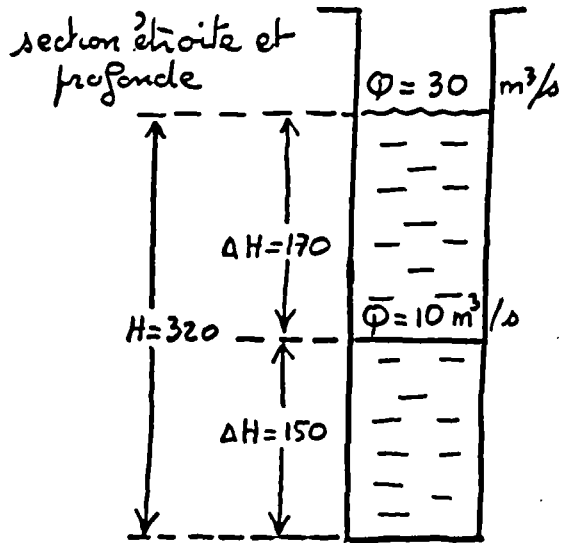


Evolution d'une section à berges instables



Evolution d'un fond instable

## SECTION 1



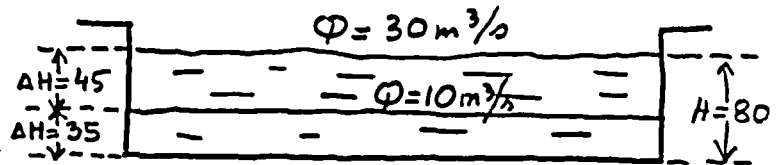
$$\Delta H = 170 \text{ cm}$$

$$\Delta \Phi = 20 \text{ m}^3/\text{s}$$

$$1 \text{ cm correspond à } \frac{20}{170} = 0,118 \text{ m}^3/\text{s}$$

## SECTION 2

section large et peu profonde



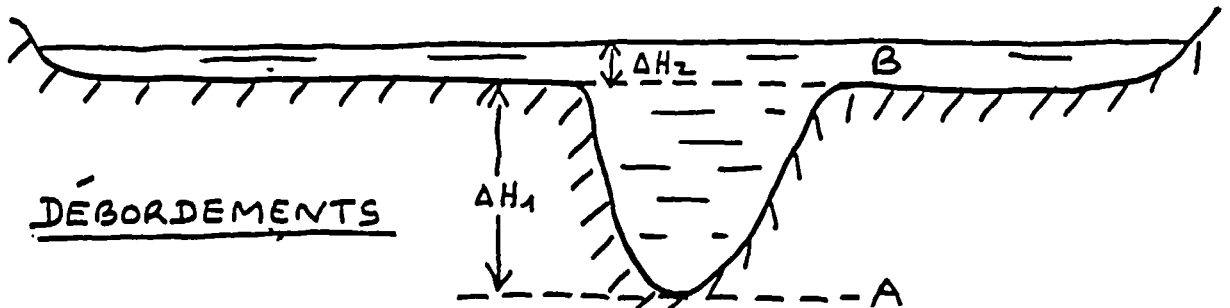
$$\Delta H = 45 \text{ cm}$$

$$\Delta \Phi = 20 \text{ m}^3/\text{s}$$

$$1 \text{ cm correspond à } \frac{20}{45} = 0,45 \text{ m}^3/\text{s}$$

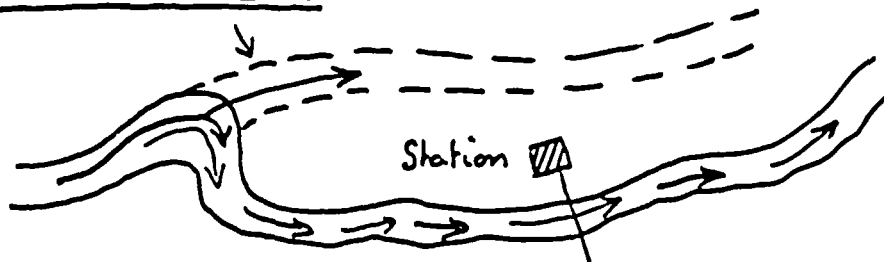
⇒ La section 1 est plus sensible que la section 2

## NOTIONS DE SENSIBILITE



Pour des côtes complètes entre A et B la section est sensible  
 Pour les côtes supérieures à B la section est peu sensible - débordement

## CONTOURNEMENT



— Ecoulement en crue  
 — Ecoulement en régime

# BUREAU DE RECHERCHES GEOLOGIQUES ET MINIERES



FICHE DE RECONNAISSANCE POUR SITE DE STATION HYDROMETRIQUE

Dénomination du point d'eau :  
 Nom de la station :  
 Numéro d'identification :  
 Surface du bassin versant : km<sup>2</sup>  
 Coordonnée : Latitude                      Longitude                      Altitude  
 Lambert zone : X =                      Y =                      Z =  
 D'après la carte topographique au 1 /

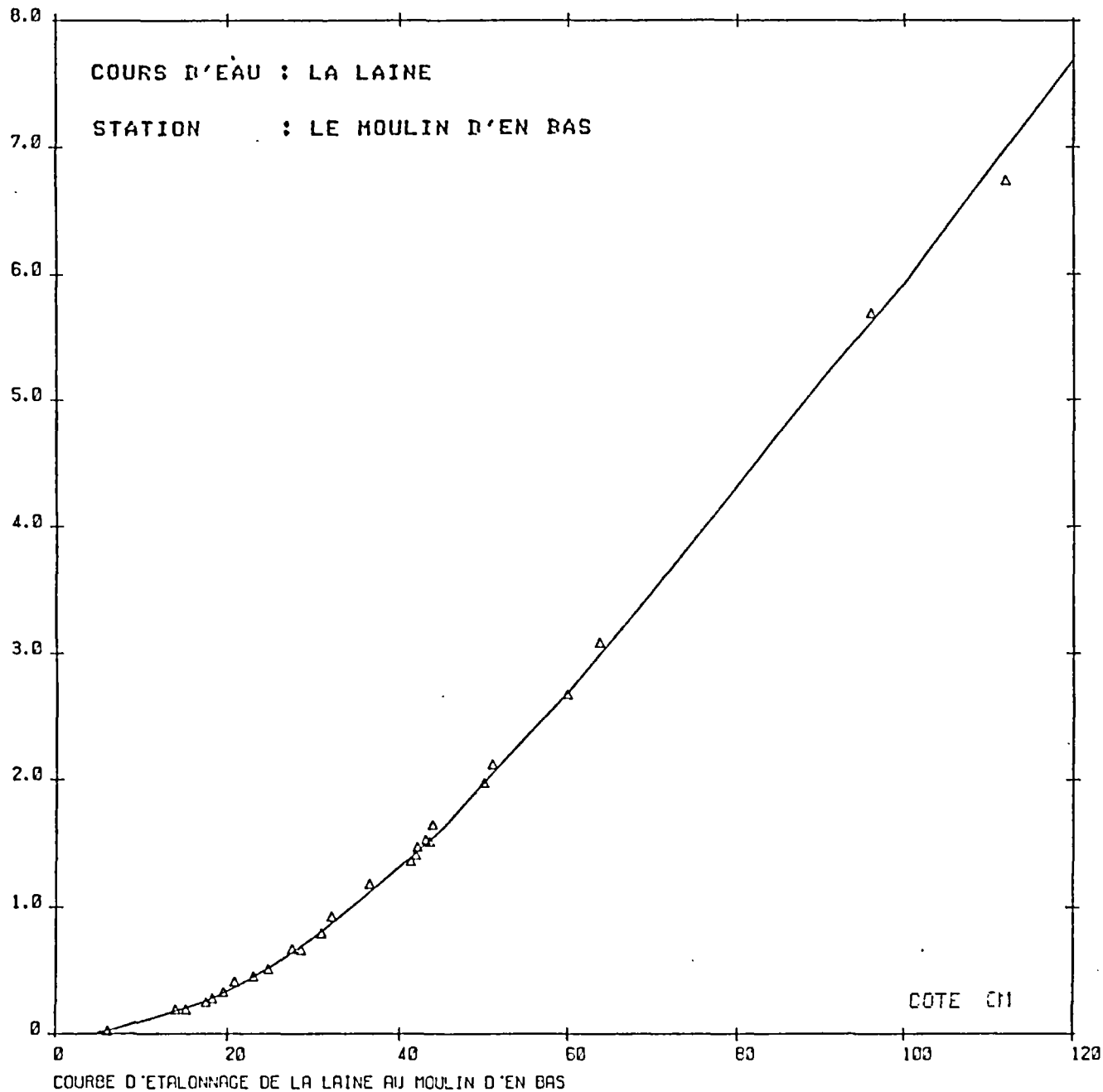
CRITERES DE CHOIX	CARACTERISTIQUES PRINCIPALES	DESCRIPTION ET APPRECIATION
STABILITE  ET  SENSIBILITE	Seuil de controle	
	Nature et forme des berges	
	Nature et forme du fond	
	Sensibilité de la section	
ABSENCE DE DEBORDEMENT	Possibilité de Débordement	
	Possibilité de Contournement	
STABILITE DES ECHELLES	Echelle Etiage	
	Echelle Crue	
ENREGIS- TREMENT DES HAUTEURS D'EAU	limnigraphe à Flotteur	
	limnigraphe à Pression	
MESURE des DEBITS de CRUE	Régularité de l'écoulement	
	Type de mesure	
	Implantation du local technique	
	Visibilité	
MESURE des DEBITS d'ETIAGE	Régularité de l'écoulement	
	Pompage et/ou dérivation	
ACCES	Description	
	Isolément	



## **5. EXPLOITATION DES DONNEES HYDROMETRIQUES**

## **5.1 ETABLISSEMENT DES COURBES D'ETALONNAGE**

Débit l/s



STATION : RIVIERE LA LAINE - MOULIN D'EN BA  
LISTE DES JAUGEAGES

JOUR	MOIS	ANNEE	HEURE MOY	COTE M	DEBIT L/S
21	11	1984	9H23	0.435	1520
20	12	1984	10H17	0.413	1360
23	1	1985	14H25	0.430	1530
30	1	1985	11H54	0.500	1980
5	2	1985	10H59	0.420	1470
12	2	1985	15H20	0.365	1180
19	2	1985	14H10	0.320	927
5	3	1985	11H52	0.285	669
19	3	1985	8H48	0.308	797
16	4	1985	10H50	0.418	1410
9	5	1985	17H 0	1.120	6740
13	5	1985	14H37	0.598	2680
14	5	1985	14H20	0.960	5690
22	5	1985	9H28	0.637	3090
11	7	1985	10H20	0.247	516
13	8	1985	10H 3	0.195	334
22	8	1985	9H45	0.182	283
2	9	1985	12H 2	0.175	254
24	9	1985	11H 0	0.152	196
31	10	1985	15H 7	0.140	195
21	11	1985	16H10	0.060	27.0
12	12	1985	16H45	0.230	457
18	12	1985	15H50	0.208	416
2	1	1986	10H36	0.275	676
14	1	1986	9H23	0.510	2120
21	1	1986	12H 2	0.438	1650
15	5	1986	14H24	0.338	871
10	6	1986	17H58	0.266	663
17	7	1986	10H59	0.207	363
4	8	1986	6H46	0.167	293
8	9	1986	9H22	0.173	219
5	11	1986	9H 3	0.458	1670
6	1	1987	9H48	0.702	3370
17	2	1987	9H23	0.405	1380
3	3	1987	11H41	0.526	2570
17	3	1987	9H15	0.350	1040

MISE A JOUR LE 25- 3-87



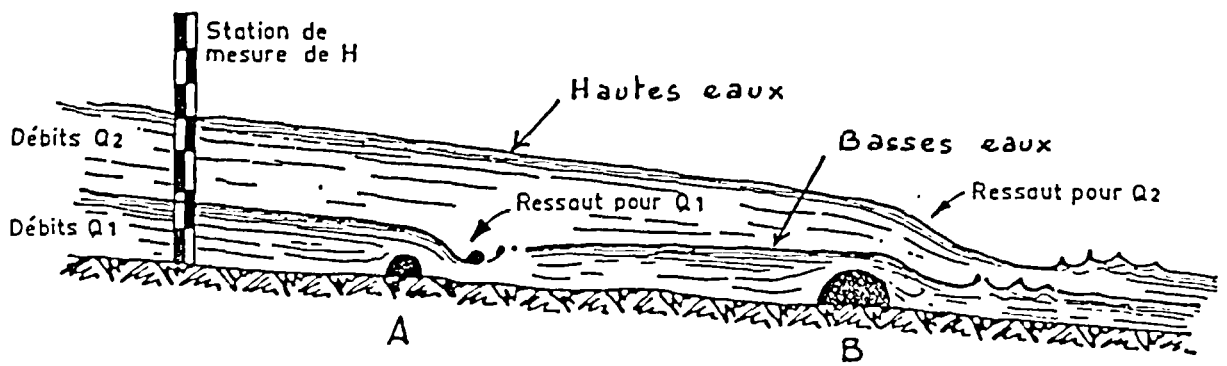


Fig. - Station à 2 seuils de contrôle A et B

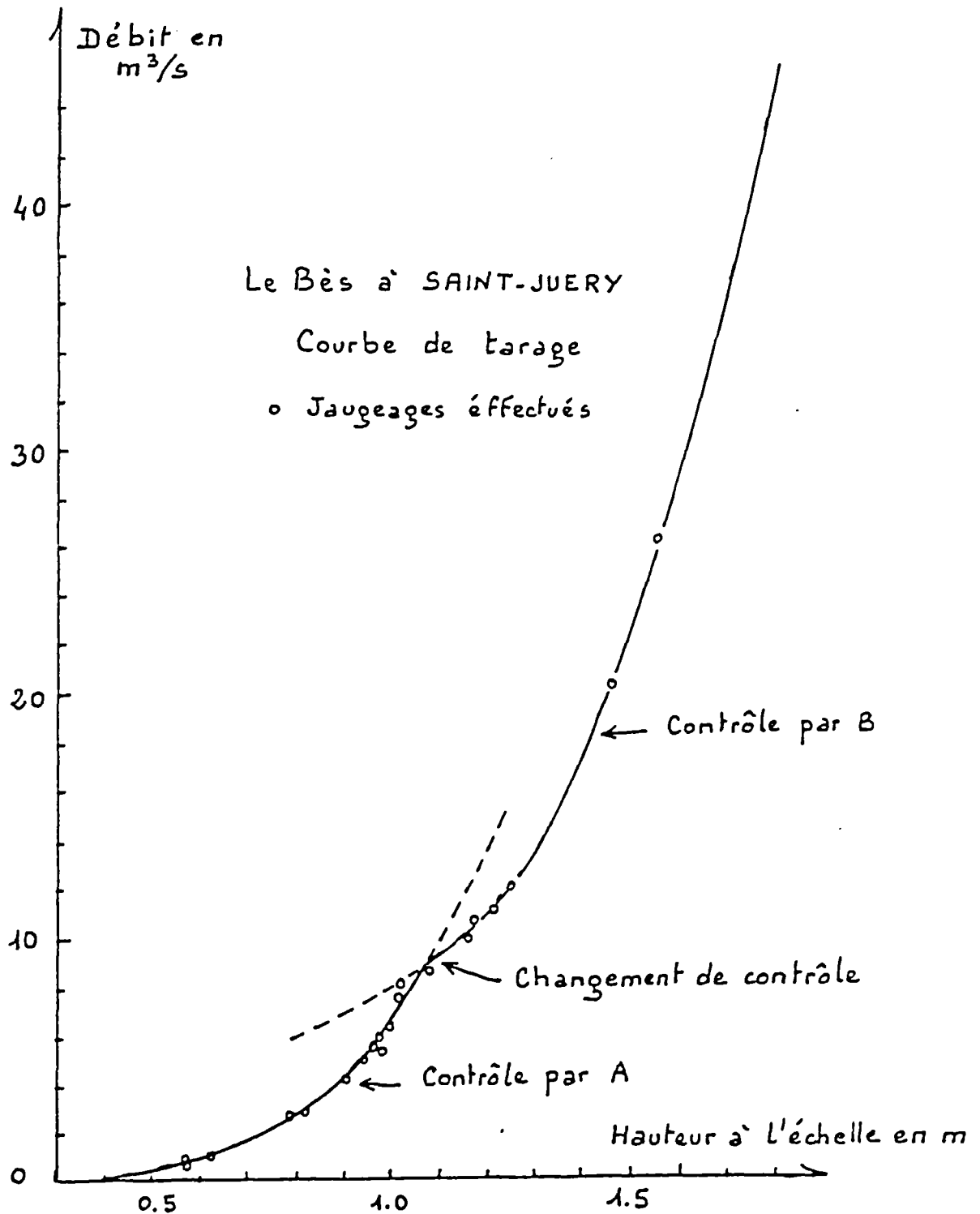


Fig. - Exemple de courbe de tarage d'une station hydrométrique à deux seuils de contrôle

## Stage hydrologie

## EXEMPLE D'ETABLISSEMENT D'UNE COURBE D'ETALONNAGE AVEC DETARAGE

## CAS DE L'EXUTOIRE DU LAC MUHAZI (RWANDA)

Dans le cadre de l'étude de l'alimentation en eau potable de la ville de KIGALI (capitale du RWANDA) nous avons été amené à jauger l'exutoire du LAC MUHAZI. C'est un lac naturel d'une superficie de 33 km<sup>2</sup> alimenté par un bassin versant de 870 km<sup>2</sup> avec un exutoire naturel affluent de la rivière NYABUGOGO. Les hauteurs d'eau du lac sont mesurées régulièrement depuis 1968 (fig.1) mais aucun jaugeage des débits de son exutoire naturel n'a été effectué avant avril 1985. Pour essayer de valoriser ces mesures de hauteur d'eau vingt neuf jaugeages au moulinet ont été effectués entre avril 1985 et septembre 1986 pour établir une relation hauteur-débit. Le tableau 1 récapitule les résultats de l'ensemble de ces mesures.

Numéro d'ordre	Date	Hauteur d'eau cm	Débit l/s
1	6-04-1985	125.8	1395
2	11-06-1985	158	2972
3	20-06-1985	151	2736
4	4-07-1985	141.8	2364
5	8-07-1985	141	2112
6	18-07-1987	132.5	1796
7	23-07-1985	132	1707
8	29-07-1985	129	1636
9	5-08-1985	125	1528
10	12-08-1985	122	1360
11	22-08-1985	119.1	1260
12	26-08-1985	116.4	1180
13	4-09-1985	116.7	1172
14	10-09-1985	117	1132
15	18-09-1985	117.5	1008
16	26-09-1985	117.8	996
17	9-10-1985	120.0	1042
18	29-01-1986	137.5	1590
19	5-02-1986	138.2	1747
20	12-02-1986	142.5	1839
21	19-02-1986	141.5	1828
22	26-02-1986	136.8	1704
23	25-03-1986	140.5	1837
24	2-04-1986	139.0	1762
25	9-04-1986	140.5	1834
26	11-06-1986	158.0	2491
27	18-06-1986	152.8	2622
28	3-09-1986	111.5	900
29	23-09-1986	108.5	819

Tabl. 1 - Liste des jaugeages de l'EXUTOIRE du LAC MUHAZI

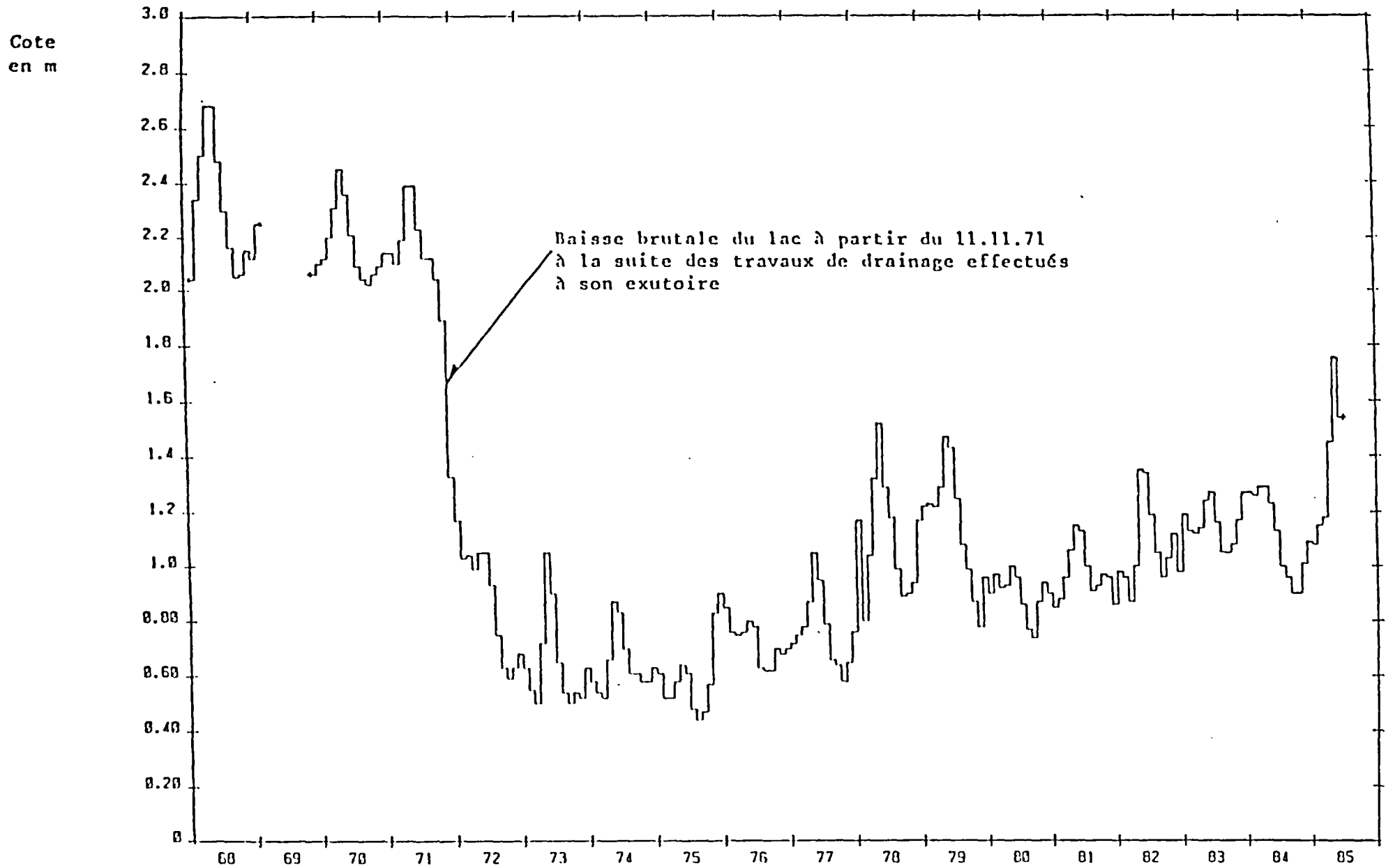
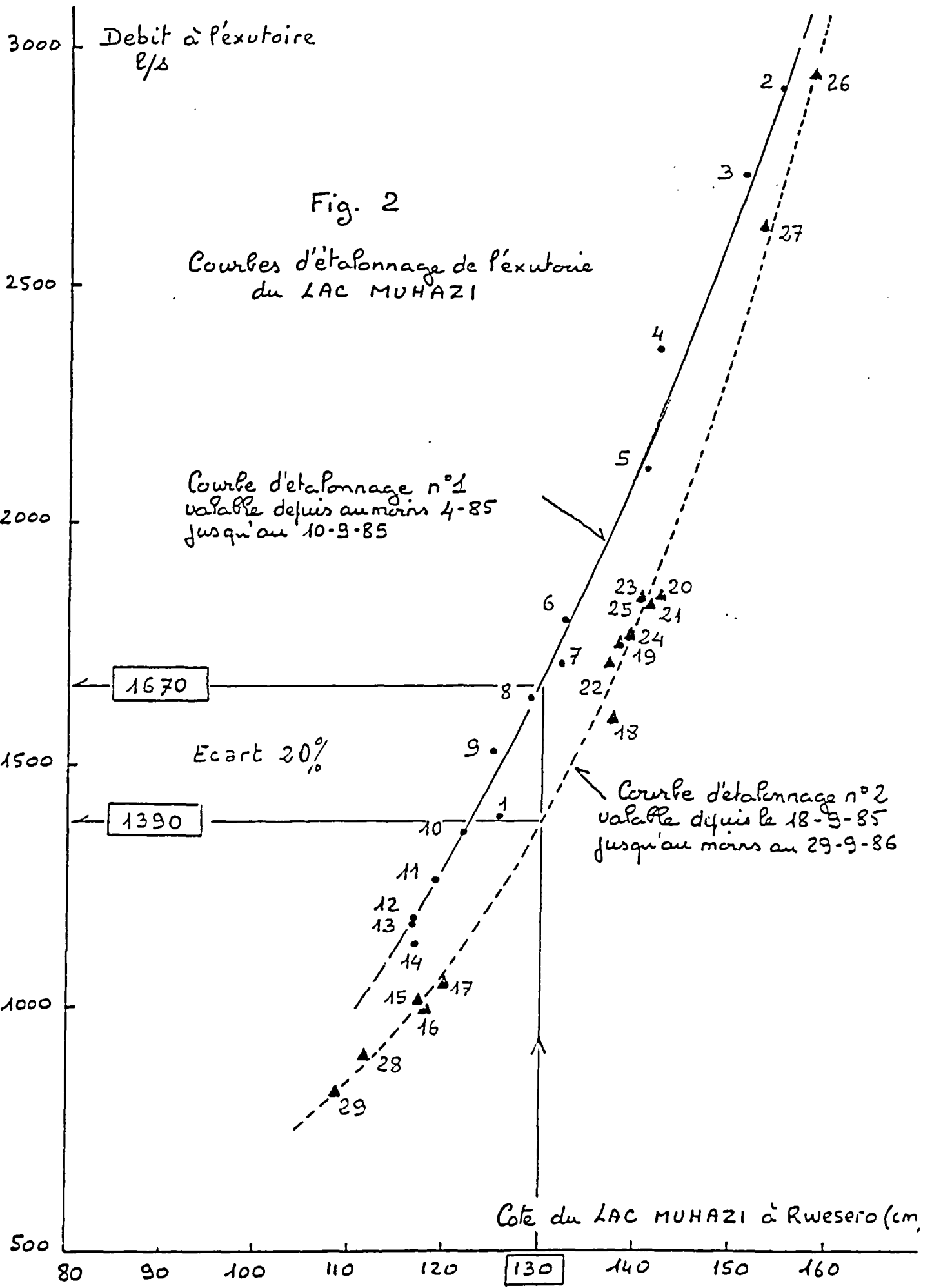


Figure 1 - Linnigramme des cotes moyennes mensuelles du LAC MUIHAZI de 1968 à 1985



## Stage hydrologie

## Etablissement des courbes d'étalonnage à partir des jaugeages

Les jaugeages ont été classés dans l'ordre chronologique de leur exécution et un numéro d'ordre leur a été attribué. Les couples hauteur d'eau-débit ont été reportés sur un graphique (fig.1) avec leur numéro d'ordre. L'examen de ce graphique montre que ces points expérimentaux se répartissent sur deux courbes d'étalonnage :

- la première valable depuis au moins avril 1985 (jaugeage n° 1) jusqu'au moins au 10 septembre 1985 (jaugeage n° 14).
- la seconde valable depuis le 18 septembre 1985 (jaugeage n° 15) jusqu'au moins au 29 septembre 1986 (jaugeage n°29 , dernière mesure effectuée).

Ce graphique met en évidence l'existence d'un détarage survenu entre le 10 et le 18 septembre 1985 (c'est à dire entre les jaugeages n° 14 et 15). Les informations dont nous disposons ne permettent pas de préciser la date exacte du détarage survenu en période d'étiage : peut-être a-t-il d'ailleurs été progressif puisque le jaugeage n° 14 s'écarte déjà un peu de la courbe n° 1. Ce détarage se traduit pour une même cote à l'échelle, par exemple 130 cm, par des débits respectivement de 1680 l/s avec la première courbe et de 1390 avec la seconde soit pour cette cote un écart de 20 % sur les débits : ce détarage important en basses et moyennes eaux s'estompe vers les hautes eaux. Le détarage observé peut s'expliquer par un léger rehaussement du seuil de contrôle aval probablement dû à la prolifération de la végétation aquatique (papyrus) à l'exutoire du lac. Ainsi ces jaugeages ont montré l'instabilité du seuil de contrôle aval du lac et donc la difficulté sinon l'impossibilité de valoriser à posteriori par une transformation hauteur-débit les mesures de hauteurs d'eau effectuées avant avril 1985 : en effet quelle(s) courbe(s) de tarage utiliser entre 1968 et avril 1985 ?

## Extrapolation log-log de la courbe d'étalonnage n° 1

Pour la période de validité de la courbe d'étalonnage n° 1 les hauteurs d'eau moyennes journalières du lac ont varié entre 178 cm (du 30 avril au 6 mai et du 8 au 10 mai 1985) et 116 cm (du 28 août au 3 septembre 1985). Or pour cette période on ne dispose que de jaugeages effectués entre les cotes 116 et 158 cm. Pour traduire en débit toutes les cotes observées il faut donc extrapoler la courbe vers les hautes eaux.

L'extrapolation a été faite selon la méthode log-log. On reporte sur un graphique (fig. 3) le logarithme du débit en fonction du logarithme de la hauteur d'eau. Les treize valeurs s'ajustent bien selon une droite d'équation :

$$Q = 0,0002735 \cdot H^{3.2096}$$

avec : Q Débit en l/s  
 H Hauteur d'eau en cm  
 n Nombre de valeurs = 13  
 r Coefficient de corrélation = 0.995

Le jaugeage n° 1 qui sort quelque peu de la courbe n° 1 n'a pas été pris en compte pour l'établissement de cette relation : effectué avec un matériel de mesure défectueux ce jaugeage donne une valeur de débit sous-estimée.

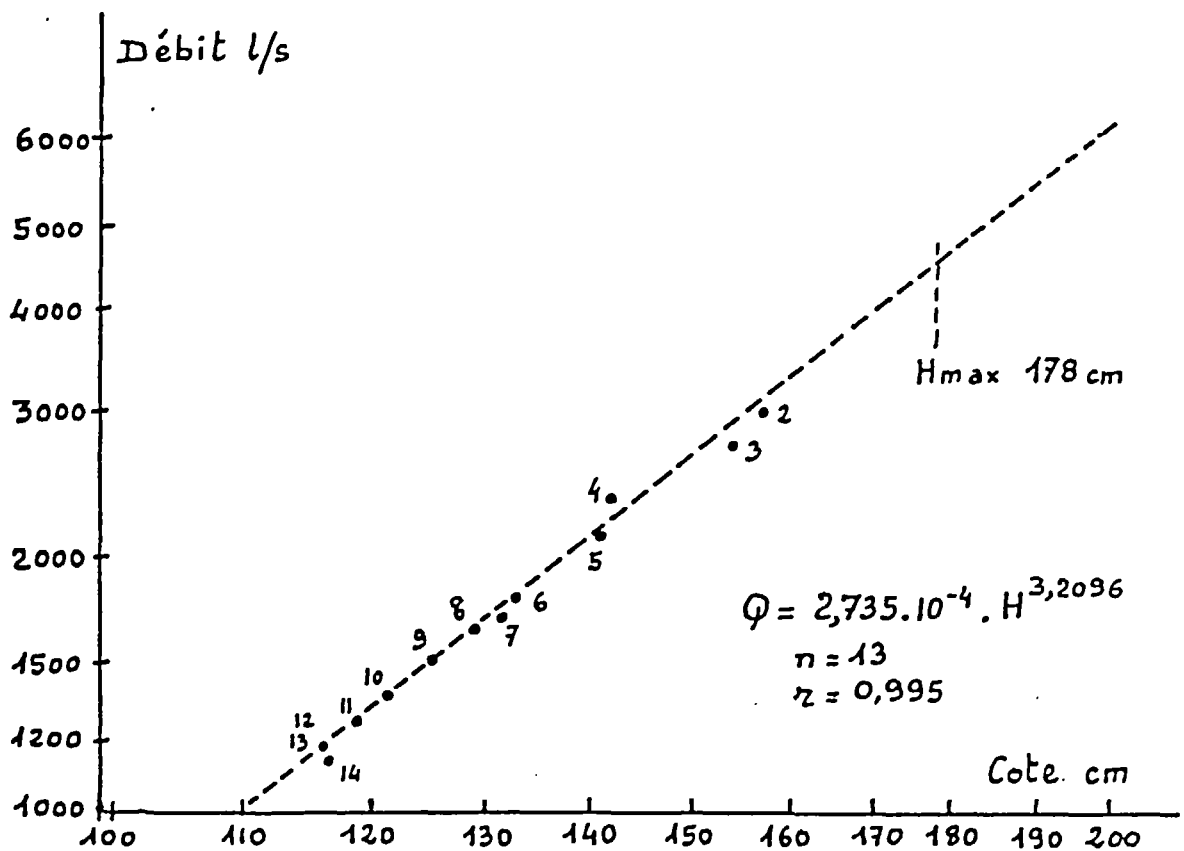


Fig. 3 - Extrapolation Log-log de la courbe d'étalonnage n°1 de l'Exutoire du LAC MUHAZI (RWANDA)

Tabl. 3 - BAREME D'ETALONNAGE

Exutoire du LAC MUHAZI (RWANDA)

Valable du 6 avril 1985 au 10 septembre 1985

COTE CM	DEBIT EN L/S									
	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
110						1130	1160	1190	1230	1250
120	1290	1320	1360	1400	1430	1470	1510	1550	1590	1630
130	1670	1710	1750	1790	1840	1890	1930	1970	2020	2070
140	2110	2160	2210	2260	2310	2370	2420	2470	2530	2590
150	2640	2700	2750	2910	2970	2990	2990	3050	3120	3190
160	3250	3310	3390	3450	3510	3590	3650	3730	3800	3870
170	3940	4020	4100	4170	4250	4330	4410	4490	4570	4650
180	4740	4820	4910	5000	5080	5170				

## Stage hydrologie

## Etablissement d'un barème d'étalonnage

Pour établir un barème d'étalonnage de la courbe n° 1 nous avons choisi huit couples hauteur d'eau-débit judicieusement répartis entre les cotes extrêmes observées pendant la période de validité de la courbe : ces points sont déduits de la courbe expérimentale élaborée à partir des jaugeages et des valeurs extrapolées (tabl. 2).

Hauteurs d'eau cm	Débits l/s	
115	1125	)
125	1470	) interpolation au
135	1882	)-- mieux parmi les
145	2367	) jaugeages
155	2932	)
165	3584	)
175	4329	)-- extrapolation
185	5173	)

Tabl. 2 - Discrétisation en huit couples cote-débit de la courbe d'étalonnage n° 1.

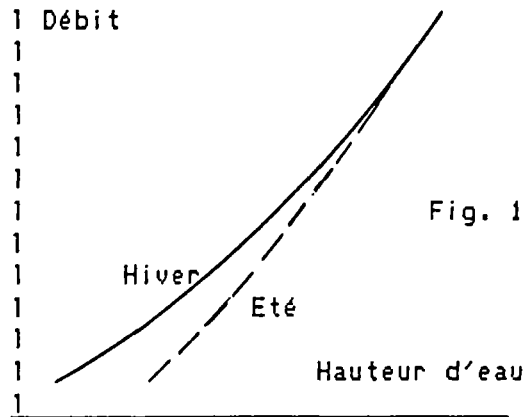
Le tableau 3 donne le barème d'étalonnage de la courbe n° 1 établi à partir des huit couples cote-débit avec le logiciel BAREME.

## Stage hydrologie

## COURBE D'ETALONNAGE EN "CHAPEAU DE GENDARME" POUR LES STATIONS HERBEUSES

La prolifération saisonnière de la végétation aquatique dans le lit d'une rivière provoque, à débit égal, un relèvement du plan d'eau pouvant atteindre plusieurs dizaines de centimètres par rapport à la période où la végétation aquatique est inexistante ou minimale. Ce phénomène se traduit par une évolution progressive de la relation hauteur-débit entre une courbe de tarage d'hiver (végétation minimale) et une courbe de tarage correspondant au maximum de croissance de la végétation.

En FRANCE la végétation commence à faire sentir son influence courant mai (la date peut varier d'une quinzaine de jours d'une année à l'autre selon l'état plus ou moins avancé de la végétation). Après un maximum en aout-septembre, on observe une décroissance et une disparition à des dates situées entre le 1er novembre et le 15 décembre environ, dates variables en particulier selon l'époque de la première crue qui, si elle survient assez tôt nettoie le lit. On trouvera ci-après une note sur l'influence d'une modification de la rugosité des berges sur les hauteurs d'eau et donc sur la relation hauteur-débit.

Fig. 1 - Courbes d'étalonnage

## Mode opératoire pour le tracé de la courbe en "chapeau de gendarme"

- 1 - Tracé de la courbe d'étalonnage d'hiver (absence de végétation).
- 2 - Pour la période végétative détermination pour chaque jaugeage de la surélévation  $dh$  entre la cote observée lors du jaugeage et celle correspondant au même débit sur la courbe d'étalonnage d'hiver.

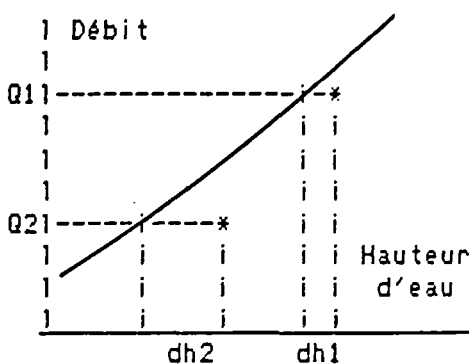
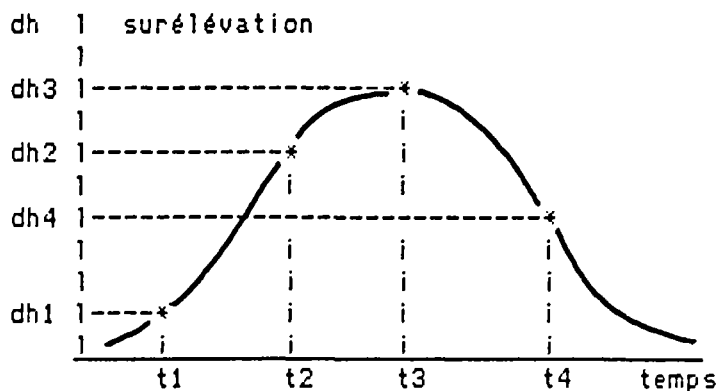


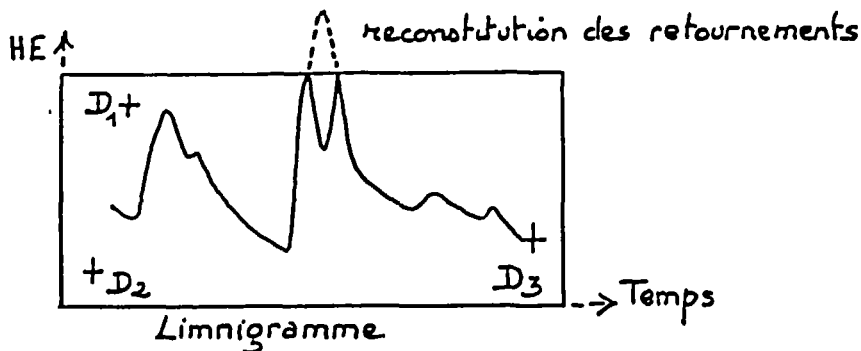
Fig. 2 - Courbe d'étalonnage d'hiver

Fig. 3 - Evolution de  $dh$  en fonction du temps  
Courbe en "Chapeau de gendarme"

## **5.2 DISCRETISATION DES HAUTEURS D'EAU**

# CHAINE DELPHES

## TRAITEMENT DES HAUTEURS D'EAU



### PREPARATION DES LIMNIGRAMMES

- vérification du bon fonctionnement en coté et temps
- reconstitution des retournements
- définition de 3 points  $D_1$ ,  $D_2$  et  $D_3$  définissant le système de coordonnées en cotés et dates

### CALCUL DES DATES DECIMALES → Programme DATEDECI

- traduction des dates (jour, mois, année, heure et minute) en jours décimaux par rapport à une date de référence

### DIGITALISATION DES LIMNIGRAMMES → Programme SDESM TABLE A DIGITALISER

- création pour chaque limnigramme d'un fichier avec
  - lignes titres
  - un paquet de données date en jours décimaux, hauteur d'eau  
L nomfic n. dat

### ASSEMBLAGE DES FICHIERS "LIMNIS" DIGITALISES

↳ Programme COLLIMNI

- reformate la ligne titre
- permet de mettre bout à bout, dans un ordre chronologique en vérifiant la chronologie des dates, les  $N$  fichiers hauteur d'eau d'une même station
- chaque paquet de données correspondant à 1 limni est reformaté dans un ordre par une ligne titre  
HE nomfic . dat

### TRACE GRAPHIQUE DU LIMNIGRAMME → Logiciel GRECO

- visualisation à la console GRECOTEK ou sur traceur GRECO
- permet une vérification du traitement des hauteurs d'eau

### REARRANGEMENT DU FICHIER, HAUTEUR D'EAU → Editeur de texte

- après détermination des périodes de validité de la ou des courbes d'étalonnage et calcul des dates décimales correspondantes
- on ne garde de lignes titres que celles correspondant à un changement de courbe d'étalonnage  
HE nomfic . dat

### DISCRETISATION A PAS DE TEMPS EGAUX → Programme DISCRET

- possibilité de discrétiser à n'importe quel pas de temps égaux les hauteurs d'eau (ou données pézométriques)  
HJ nomfic . dat

### EDITION D'ANNUAIRE → Programme ANNUAIRE ou EDITAN

- édition d'annuaire des HE journalières (ou pézo journalière)
- possibilité de changer l'unité de hauteur par relation  $HE = a + b \cdot HE$

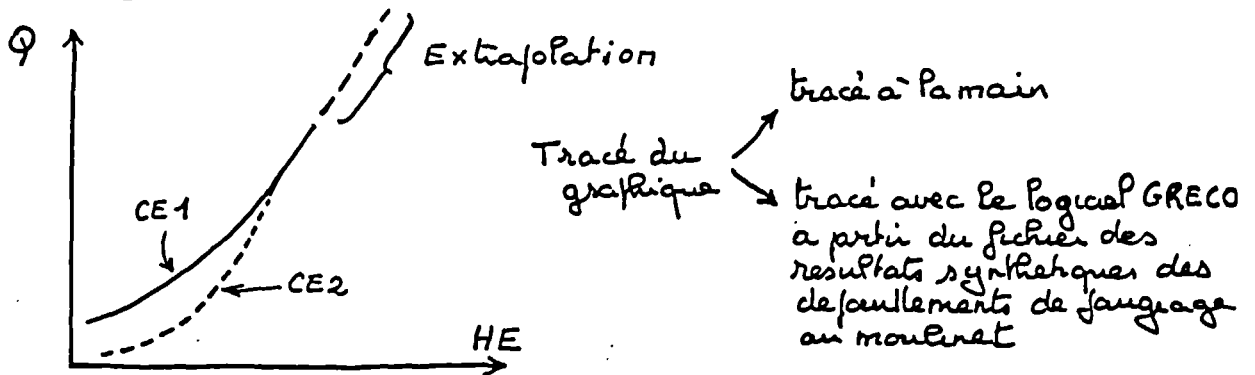
## **5.3 TRANSFORMATION DES HAUTEURS D'EAU EN DEBITS**

### **ELABORATION DES DEBITS D'ANNUAIRE**

# CHAINE DELPHES

## ELABORATION DES DEBITS D'ANNUAIRE

### ELABORATION DES COURBES D'ETALONNAGE



- Tracé des courbes d'étalonnage à partir des jaugeages ( $HE, Q$ )
- Extrapolation des CE de façon à couvrir toute la plage entre les hauteurs d'eau extrêmes observées pendant la période de validité de la CE
- Détermination des dates de détarage  $\rightarrow$  période de validité des CE  
 $\hookrightarrow$  DATEDECI  $\rightarrow$  dates de moules

### DISCRETISATION DES COURBES D'ETALONNAGE (TARAGE)

- 2 possibilités
- $\rightarrow$  discrétisation à la table à digitaliser  $\rightarrow$  Prog. SDESM  
 $\rightarrow$  fichier CE nomfic.n.dat
  - $\rightarrow$  détermination sur le graphique de CE d'un certain nombre de couples  $HE, Q$  définissant la CE  
 $\downarrow$   
CHARGEMENT DE LA COURBE D'ETALONNAGE  
 $\rightarrow$  Programme COURTARA  
 $\rightarrow$  fichier CE nomfic.n.dat

TRACE GRAPHIQUE DES COURBES D'ETALONNAGE  $\rightarrow$  logiciel GRECO

- permet la vérification des courbes d'étalonnage (attention GRECO interpole linéairement entre les points ( $HE, Q$ ))

ETABLISSEMENT DE BAREMES D'ETALONNAGE  $\rightarrow$  prog BAREME

- 2 possibilités
- $\rightarrow$  Etablissement d'un barème d'étalonnage à partir d'un fichier de couples ( $HE, Q$ ) entre  $H_{min}$  et  $H_{max}$  avec un incrément donné (cm, mm)
  - $\rightarrow$  Etablissement d'un barème d'étalonnage à partir d'une formule empirique

TRANSFORMATION DES HAUTEUR D'EAU EN DEBITS INSTANTANES  $\rightarrow$  programme HAUTDEBI

- transformation d'un fichier de  $HE$  en débits instantanés  $QI$  (par l'intermédiaire d'une CE (ou d'une formule analytique prog...))
- Possibilité de traiter à la suite plusieurs fichiers de  $HE$  repris sur une ligne tête, chacun d'eux correspondant à une CE différente  
 $\rightarrow$  fichier  $QI$  nomfic.dat

TRACE GRAPHIQUE DE L'HYDROGRAMME DES DEBITS INSTANTANES  $\rightarrow$  logiciel GRECO

- permet une vérification des calculs HAUTDEBI

# CHAINE DELPHES

## ELABORATION DES DEBITS D'ANNUAIRE ( Suite )

### DISCRETISATION DES DEBITS A PAS EGAUX → Prog. DISCRET

- Permet de calculer les débits moyens pour n'importe quel pas de temps égaux. On pourra aussi faire un changement d'unité du type  $Q = a + b \cdot Q'$
- Permet de calculer le volume écoulé entre deux dates décimales  
→ fichier QJ nomfic.dat

### TRACE GRAPHIQUE DE L'HISTOGRAMME DES DEBITS JOURNALIERS

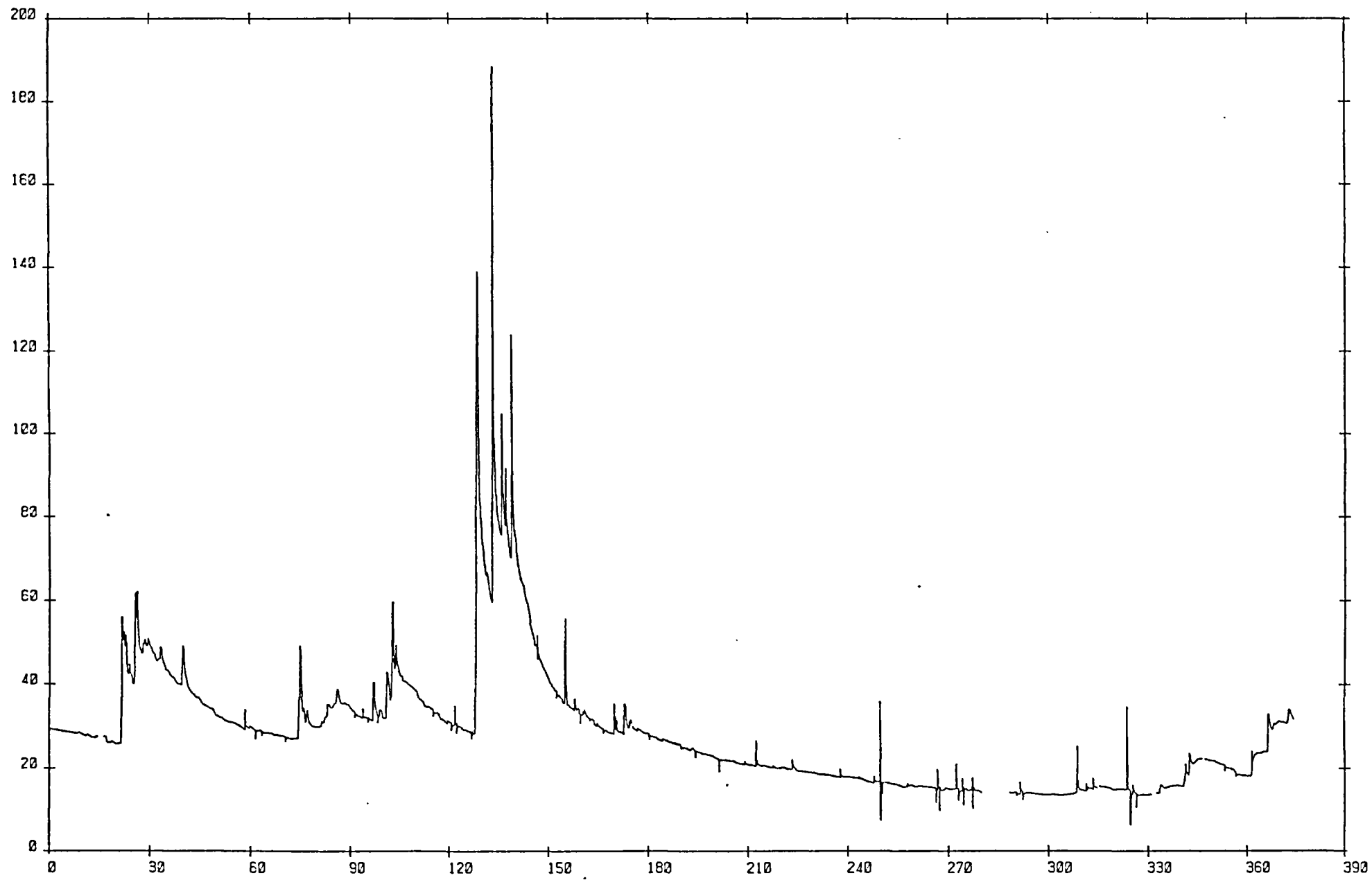
- tracé graphique à partir du logiciel GRECO

### EDITION D'ANNUAIRE DES DEBITS → programme EDITAN

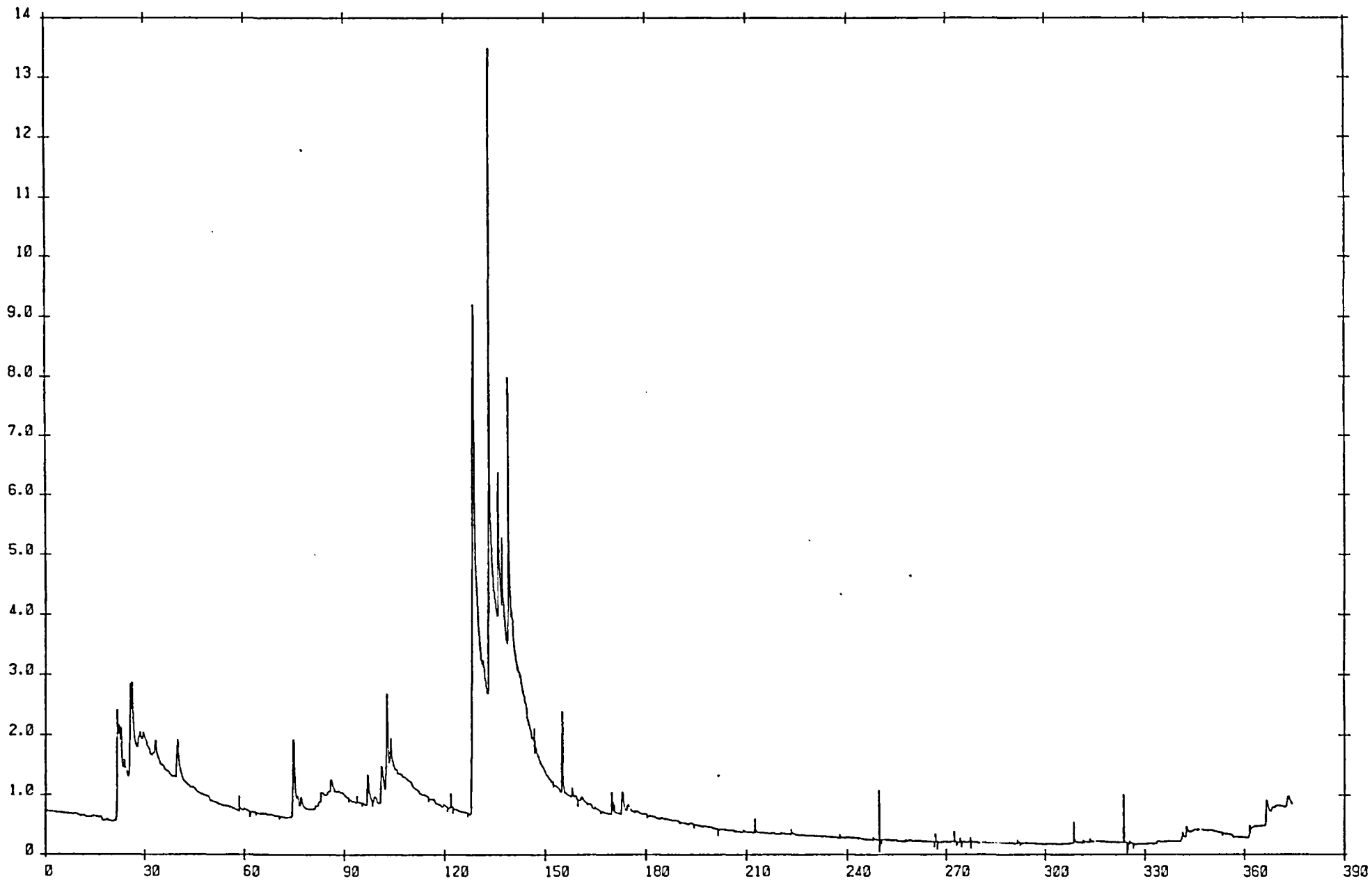
- Edition d'annuaire des débits journaliers à partir :
  - d'un fichier de débits journaliers en format type SGN/EAU (annuaire ou séquentiel)
  - de données sur les caractéristiques de la station (nom du cours d'eau, de la station, coordonnées, altitude, surface du bassin versant, date de mise en service, unité de débit...) entrées au clavier ou lues sur un fichier nomfic.CAR
- On pourra lors de cette édition faire un changement d'unité des débits (ex  $m^3/s \rightarrow l/s$ ).
- Les débits sont exprimés avec 3 chiffres significatifs dans l'unité de débit choisie conformément aux règles d'usage en la matière.
- Le programme calcule, si les débits journaliers sont complets, les valeurs décennales, mensuelles et la valeur annuelle.

### TRANSFORMATION DES DEBITS JOURNALIERS EN DEBITS MOYENS PAS DE TEMPS PENTADAIRE, DECADAIRE OU MENSUEL → programme TRANSDON

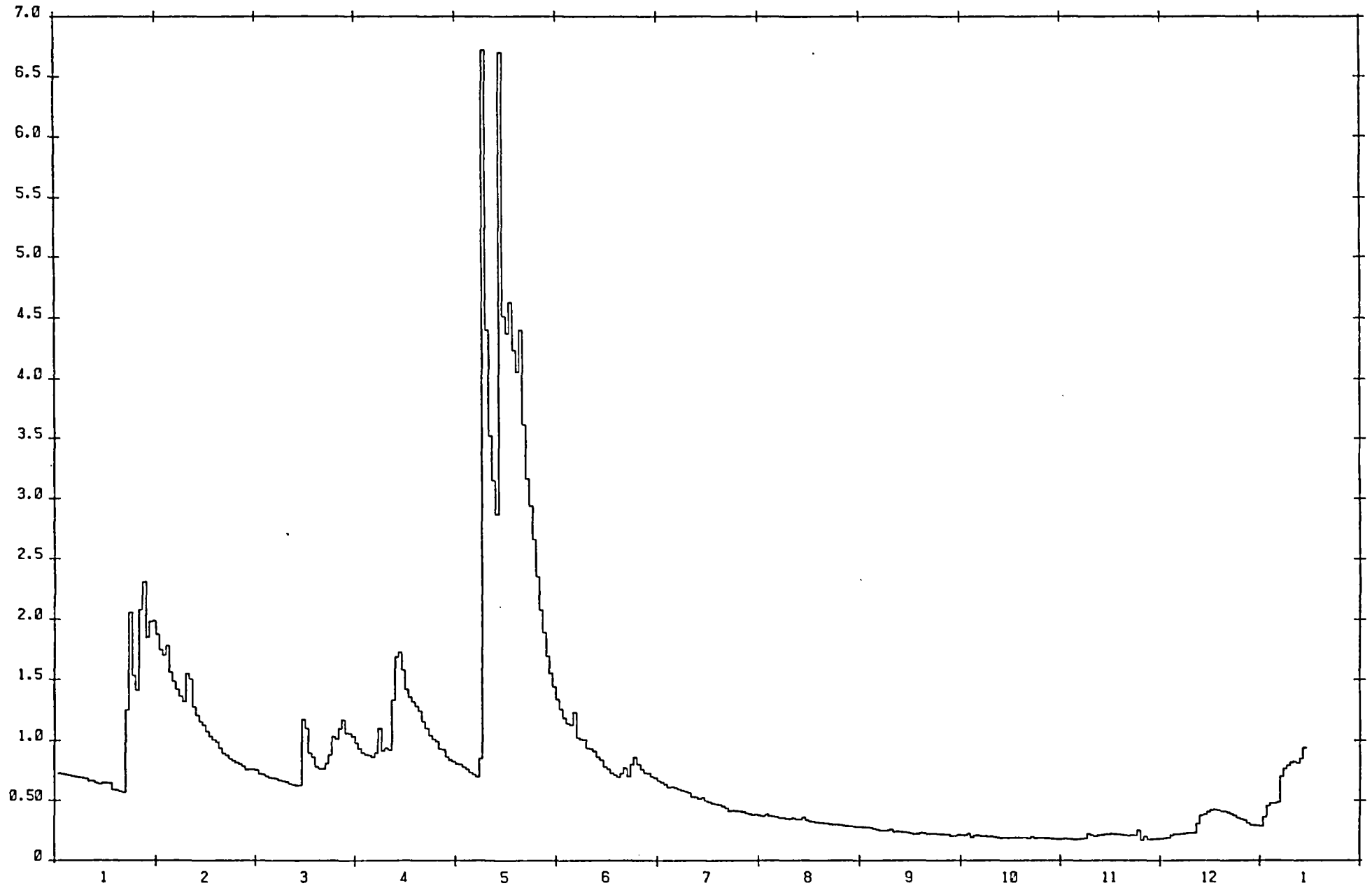
- Permet de changer le pas de temps des données : journalier, pentadaire, décadaire ou mensuel
- formatage type "annuaire" ou "séquentiel"
- possibilité de faire un changement d'unité  $Y = a + b \cdot X$



LIMNIGRAMME DE LA LAINE A LA STATION MOULIN D'EN BAS



HYDROGRAMME DE LAINE AU MOULIN D'EN BAS



HYDROGRAMME DES DEBITS MOYENS JOURNALIERS DE LA LAINE AU MOULIN D'EN BAS

COURS D'EAU : LA LAINE

BUREAU DE RECHERCHES  
GEOLOGIQUES ET MINIERES

STATION : LE MOULIN D'EN BAS (SRAE)  
NUMERO : 8133301

SURFACE DU BASSIN VERSANT : 21.4 KM2  
ALTITUDE DU ZERO DE L'ECHELLE : 137.0 M NGF

ANNEE 1986

COORDONNEES LAMBERT ZONE 1

LATITUDE N X : 777.690 KM

LONGITUDE E Y : 78.220 KM

DATE DE MISE EN SERVICE : JANVIER 1985

DEBITS MOYENS JOURNALIERS

EN L/S

JOUR	JANV	FEVR	MARS	AVRI	MAI	JUIN	JUIL	AOUT	SEPT	OCTO	NOVE	DECE
1	488	1500	523	1870	1650	860	469	310	272	403	1840	905
2	699	1420	495	1820	1540	844	463	309	272	389	2600	885
3	766	1380	451	2050	1430	819	460	306	269	371	1820	855
4	790	1320	442	1910	1350	873	452	302	265	352	1720	813
5	815	1270	1600	1740	1290	806	440	298	263	333	1620	789
6	825	1180	3090	1970	1230	769	454	295	264	316	1550	885
7	815	1100	2230	2280	1190	825	429	291	278	306	1500	883
8	853	1050	1990	1860	1140	769	416	287	287	301	1420	850
9	941	1000	1800	1730	1090	739	414	284	287	297	1320	793
10	898	932	1700	2340	1050	716	413	294	283	288	1240	747
11	1460	893	1570	2160	1100	694	406	337	280	284	1160	724
12	1380	863	1510	1940	1040	676	401	330	307	280	1080	718
13	1610	837	1440	1840	1030	666	390	323	273	279	1010	707
14	2130	812	1360	1820	983	654	379	317	266	278	950	697
15	2240	783	1330	1790	940	623	374	310	255	273	882	712
16	2020	753	1280	1710	934	607	373	303	738	269	820	762
17	1800	724	1240	1590	934	936	374	295	697	267	767	1090
18	1600	695	1190	1510	1050	725	362	288	667	267	726	3860
19	1610	675	1130	1630	1080	663	356	284	654	264	693	3380
20	1810	634	1060	2140	1010	626	357	282	615	271	713	2950
21	1530	611	1030	3200	1020	609	354	280	581	282	1000	2500
22	1490	603	978	4610	954	588	344	299	526	487	1070	2190
23	2910	593	969	3330	946	574	336	310	517	1740	1480	2010
24	2950	586	1800	3070	3030	554	328	295	517	1180	1080	1870
25	2360	574	2020	2940	1410	536	325	287	505	1320	1070	1820
26	2130	545	1530	2800	1220	516	324	285	490	1270	1070	3630
27	1990	531	1460	2590	1090	504	320	284	477	1250	1050	3130
28	2050	527	1420	2290	1020	492	320	293	456	1240	1000	2500
29	2030		1440	2030	981	488	316	288	436	1220	968	2580
30	1880		2190	1820	916	480	308	280	419	1170	931	2620
31	1620		2250		895		311	275		1110		2560

DEBITS MOYENS  
MENS

DEBITS MOYENS DECADAIRES

EN L/S

DECADE	JANV	FEVR	MARS	AVRI	MAI	JUIN	JUIL	AOUT	SEPT	OCTO	NOVE	DECE
1	789	1210	1430	1960	1300	802	441	297	274	336	1660	840
2	1770	767	1310	1810	1010	687	377	307	475	273	880	1560
3	2090	571	1550	2870	1230	534	326	289	492	1120	1070	2490

DEBIT MOYEN ANNUEL : 1040 L/S

## ANNUAIRE DES DEBITS JOURNALIERS

COURS D'EAU : LES NOUES D'AMANCE

BUREAU DE RECHERCHES  
GEOLOGIQUES ET MINIERES

STATION : PONT RD.24  
NUMERO : 300-1X-67

SURFACE DU BASSIN VERSANT : 42.5 KM2  
ALTITUDE DU ZERO DE L'ECHELLE : 123.228 M NGF

ANNEE 1986

COORDONNEES LAMBERT ZONE 1

LATITUDE N X : 773.250 KM  
LONGITUDE E Y : 82.200 KM  
DATE DE MISE EN SERVICE : 14 FEV 1985

### DEBITS MOYENS JOURNALIERS

EN L/S

JOUR	JANV	FEVR	MARS	AVRI	MAI	JUIN	JUIL	AOUT	SEPT	OCTO	NOVE	DECE
1	30.6	151	72.1	1190	215	65.0	3.10	1.10	2.50	12.9	218	85.1
2	60.8	141	61.5	559	190	67.6	2.95	0.960	2.52	12.3	794	79.4
3	195	144	48.9	419	163	79.1	5.78	0.740	2.59	11.6	654	75.1
4	120	222	88.9	737	149	234	10.6	0.940	2.54	11.0	196	71.5
5	83.9	165	215	450	163	174	7.76	1.08	2.29	10.4	142	68.8
6	75.0	136	1400	334	150	101	14.3	1.10	2.10	9.80	137	68.3
7	74.8	141	2240	896	154	184	18.5	1.00	2.10	9.30	157	96.0
8	86.2	181	1120	1060	423	223	11.8	1.00	2.10	9.10	138	103
9	209	66.6	515	522	237	125	10.0	0.920	2.08	8.99	113	94.7
10	124	42.7	351	524	168	75.5	9.02	0.770	2.10	9.04	100	77.7
11	307	39.8	265	1080	253	57.4	7.50	1.20	2.10	9.20	100	68.7
12	409	37.7	220	765	198	49.0	7.21	2.87	4.01	9.15	104	66.9
13	339	36.0	201	404	131	45.0	7.23	2.72	26.0	9.07	95.3	66.0
14	546	34.3	162	375	166	39.2	7.11	1.98	34.1	11.1	82.7	66.2
15	799	35.6	130	432	132	39.4	6.95	1.46	24.1	15.4	79.5	68.2
16	522	38.1	117	586	91.6	38.5	6.09	1.02	74.3	15.6	79.2	136
17	409	40.6	100	421	120	70.0	4.83	0.780	276	18.0	74.5	199
18	233	43.1	119	371	191	155	3.19	1.03	81.6	26.8	70.8	606
19	216	41.1	130	590	544	64.6	2.60	3.70	42.2	26.2	70.2	2870
20	469	36.5	145	791	406	47.1	2.40	4.70	27.6	41.1	79.9	2870
21	290	34.7	149	1870	301	36.5	2.20	3.20	22.9	81.1	218	1130
22	258	36.6	119	3720	227	29.6	1.90	2.40	21.0	148	785	453
23	578	28.5	144	2530	129	23.5	1.70	34.2	19.1	820	986	288
24	1510	38.4	410	949	760	18.8	1.50	15.4	17.3	439	567	239
25	1300	58.5	1250	535	1220	15.3	1.40	8.50	16.6	188	224	186
26	525	69.7	1450	539	288	12.9	1.50	5.30	16.0	249	170	1080
27	296	81.0	691	535	141	10.0	1.50	2.80	15.3	185	151	2650
28	256	70.7	457	410	106	6.70	1.50	2.30	14.7	153	125	1080
29	314		379	319	99.6	4.43	1.46	2.32	14.1	137	109	584
30	299		421	255	81.1	3.46	1.46	2.48	13.5	159	94.1	423
31	196		973		72.0		1.33	2.56		292		367
DEBITS MENS	359	78.4	456	805	247	69.9	5.37	3.63	26.2	101	230	526

### DEBITS MOYENS DECADEIRES

EN L/S

DECADE	JANV	FEVR	MARS	AVRI	MAI	JUIN	JUIL	AOUT	SEPT	OCTO	NOVE	DECE
1	106	139	611	669	201	132	9.38	0.961	2.29	10.4	265	82.0
2	425	38.3	160	582	223	60.5	5.51	2.15	59.3	18.2	83.7	701
3	529	52.3	586	1170	311	16.1	1.59	7.41	17.0	259	343	770

DEBIT MOYEN ANNUEL : 243 L/S

ANNUAIRES DES DEBITS JOURNALIERS

COURS D'EAU : RU DE SAINT-VICTOR

BUREAU DE RECHERCHES  
GEOLOGIQUES ET MINIERES

STATION : AVAL PONT ROUTE D.960  
NUMERO : 300-1X-64

SURFACE DU BASSIN VERSANT : 2.04 KM2  
ALTITUDE DU ZERO DE L'ECHELLE : 142.066 M NGF

ANNEE 1985

COORDONNEES LAMBERT ZONE 1  
LATITUDE N X : 775.750 KM  
LONGITUDE E Y : 77.250 KM  
DATE DE MISE EN SERVICE : 25 MARS 1985

DEBITS MOYENS JOURNALIERS EN L/S

JOUR	JANV	FEVR	MARS	AVRI	MAI	JUIN	JUIL	AOUT	SEPT	OCTO	NOVE	DECE
1	--	--	--	4.40	2.04	7.74	3.54	1.31	0	0	0	84.0
2	--	--	--	3.94	2.56	6.93	3.09	0.740	0	0	0	46.2
3	--	--	--	3.40	3.97	6.05	2.85	0	0	0	0	9.12
4	--	--	--	3.32	2.96	6.63	2.62	0	0	0	0	0
5	--	--	--	3.04	2.37	131	2.38	0	0	0	0	0
6	--	--	--	2.91	1.94	24.6	2.15	0.235	0	0	0	0
7	--	--	--	4.96	1.67	21.2	1.91	0.417	0	0	0	21.6
8	--	--	--	55.4	34.5	22.3	1.67	0	0	0	0	10.4
9	--	--	--	33.6	940	16.9	1.44	0	0	0	0	0
10	--	--	--	30.1	109	24.9	1.20	0	0	0	0	0
11	--	--	--	28.7	42.1	17.9	0.965	0	0	0	0	0.062
12	--	--	--	54.5	28.7	11.8	0.728	5.14	0	0	0	0.135
13	--	--	--	58.5	41.1	6.92	0.492	2.89	0	0	0	0.208
14	--	--	--	44.3	464	4.86	0.260	1.22	0	0	0	0.260
15	--	--	--	23.0	51.7	4.11	0.040	0	0	0	0	0.354
16	--	--	--	11.0	100	3.47	0	0	0	0	0	0.430
17	--	--	--	7.70	112	3.11	0	0	0	0	0	0.500
18	--	--	--	5.32	224	3.00	0	0	0	0	0	0.570
19	--	--	--	3.79	218	5.08	0	0	0	0	0	0.580
20	--	--	--	3.37	137	13.9	0	0	0	0	0	0.410
21	--	--	--	3.09	46.2	8.72	0	0	0	0	0	0.326
22	--	--	--	2.56	33.9	29.2	0	0	0	0	0	0.290
23	--	--	--	2.23	37.2	41.7	0	0	0	0	0	0.240
24	--	--	--	1.93	23.9	21.8	0	0	0	0	0	0.201
25	--	--	--	1.62	17.2	21.8	0	0	0	0	0	0.195
26	--	--	14.1	1.32	13.6	15.4	0	0	0	0	0	0.188
27	--	--	20.8	1.01	10.9	17.2	0	0	0	0	0	0.170
28	--	--	26.1	0.710	9.59	11.4	0	0	0	0	0	6.50
29	--	--	11.5	0.463	9.15	7.90	0	0	0	0	25.2	6.99
30	--	--	7.53	1.00	8.73	5.55	0	0	0	0	96.0	2.73
31	--	--	5.99		8.29		0	0		0		1.46
DEBITS MENS	--	--	--	13.4	88.4	17.5	0.817	0.386	0	0	4.04	6.26

DEBITS MOYENS DECADEIRES EN L/S

DECADE	JANV	FEVR	MARS	AVRI	MAI	JUIN	JUIL	AOUT	SEPT	OCTO	NOVE	DECE
1	--	--	--	14.5	110	26.9	2.29	0.270	0	0	0	17.1
2	--	--	--	24.0	142	7.42	0.248	0.926	0	0	0	0.353
3	--	--	--	1.59	19.9	18.1	0	0	0	0	12.1	1.75

DEBIT MOYEN ANNUEL : -- L/S

## DELPHES

```

  ||-----||
  ||   La chaîne DELPHES   ||
  ||-----||
  -----

```

DEpouillement de données Limnigraphiques,  
Pluviographiques ou Hydrométriques En Séries

## BUT DE LA CHAINE DELPHES

La chaîne DELPHES est un ensemble de logiciels permettant de dépouiller et de réaliser des traitements sur des données temporelles. L'utilisation du logiciel s'effectue entièrement en mode conversationnel. La chaîne DELPHES comprend un MENU d'utilisation donnant des explications sur les différents traitements possibles :

- dépouillement ou saisie des données temporelles à partir
  - . d'une digitalisation des enregistrements graphiques ,
  - . d'une saisie de relevés périodiques d'observateurs ou d'enregistrements graphiques déjà dépouillés ,
  - . d'enregistrements sur mémoire magnétique (mémoires mortes, cassettes ou bandes magnétiques).
- opérations sur ces fichiers de données
  - . transformation d'une variable temporelle en une autre par une relation du type  $Y = a \cdot X + b$  (changements d'unité ou de système de référence, etc...) ,
  - . transformation d'une variable temporelle en une autre par application d'une courbe d'étalonnage univoque de forme quelconque ,
  - . discrétisation à pas de temps égaux de durée quelconque 1 mn. , 1/4 heure , 1 jour , ..., 1 mois , etc...,
  - . sortie des résultats sous des formats prêts à l'édition : liste des jaugeages, barèmes d'étalonnage, annuaire des valeurs journalières
  - . édition des résultats sous forme de fichiers de données qui peuvent être directement utilisées dans d'autres logiciels comme le modèle GARDENIA du BRGM ,
  - . possibilité de sorties graphiques à partir des fichiers de données en utilisant les logiciels de dessin GRECO et GRETA du BRGM.

## DELPHES

## DOMAINES D'APPLICATION

## \* HYDROMETRIE

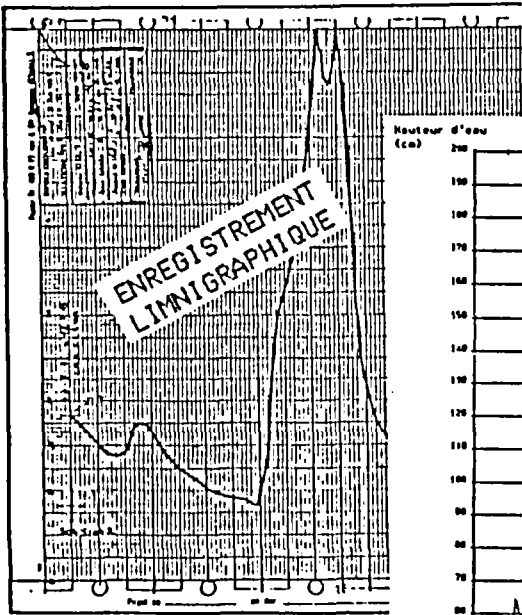
La chaîne DELPHES est particulièrement adaptée pour le traitement des données hydrométriques depuis le dépouillement des mesures de base (limnigrammes, jaugeages au moulinet) jusqu'à l'élaboration des débits moyens pour différents pas de temps (annuaires hydrologiques notamment).

- Dépouillement automatique des jaugeages au moulinet.
- Digitalisation des enregistrements limnigraphiques à la table à digitaliser.
- Archivage des courbes d'étalonnage à partir d'une saisie à la table à digitaliser ou d'une introduction point par point.
- Etablissement de barèmes d'étalonnage prêts à l'édition.
- Transformation d'une chronique de hauteurs d'eau en débits instantanés par application d'une ou plusieurs courbes d'étalonnage (prise en compte des détarages).
- Discrétisation des débits instantanés ou des hauteurs d'eau à n'importe quel pas de temps.
- Edition sous forme d'annuaires des données journalières (hauteurs d'eau ou débits).
- Les fichiers de données (jaugeage, hauteur d'eau, courbe d'étalonnage, débit) peuvent être dessinés avec les logiciels GRECO ou GRETA du BRGM.
- Les fichiers de débits élaborés aux pas de temps journalier, pentadaire, décadaire ou mensuel sont directement utilisables dans des logiciels d'exploitation des données comme le modèle hydrologique global GARDENIA du BRGM.

## \* PIEZOMETRIE

La chaîne DELPHES permet la mise en forme des mesures de niveaux piézométriques à partir d'enregistrements graphiques, de relevés périodiques ou d'enregistrements sur mémoire magnétique. Les profondeurs peuvent être transformées en niveaux piézométriques si le repère des mesures est connu. Il est possible de discrétiser ensuite ces données à n'importe quel pas de temps. Si les données (profondeurs ou niveaux) ont été discrétisées au pas de temps journalier il est possible de les éditer sous forme d'annuaire. Les fichiers de niveaux élaborés aux pas de temps journalier, pentadaire, décadaire ou mensuel sont directement utilisables dans des programmes d'exploitation des données comme le modèle hydrologique global GARDENIA du BRGM.

# la chaîne DELPHES



Hauteur d'eau (cm)

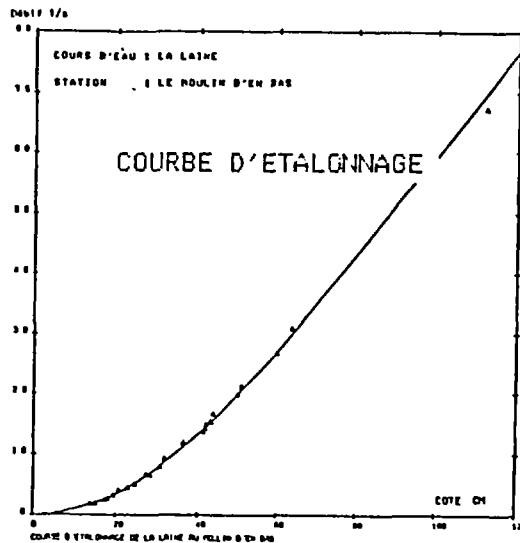
LIMNIGRAMME

FIGURE n° 1 - Limnigramme du ruissseau de l'ETANG GUILLAUME du pont route 0.960

STATION I ROUTIERE LA LAITHE - ROULIN D'EN BAS  
LISTE DES JAUAGES

JOUR MOIS ANNEE	HEURE	COTE	DEBIT L/S
21 11 1984	14H20	0.433	1570
20 12 1984	09H17	0.412	
22 1 1985	14H23	0.430	
20 3 1985	11H54	0.397	
0 3 1985	10H39	0.410	1410
12 2 1985	15H		1180
19 2 1985		0.250	620
5 3 1985		0.285	620
19 3 1985		0.200	707
16 3 1985	08H30	0.418	1410
0 1985	17H 0	1.130	4740
0 1985	14H37	0.370	2100
0 1985	14H20	0.740	3490
22 0 1985	9H20	0.437	3090
11 7 1985	16H20	0.247	514
13 0 1985	16H 3	0.195	334
22 0 1985	9H43	0.182	283
2 9 1985	12H 2	0.179	254
24 0 1985	11H 0	0.122	194
31 10 1985	15H 7	0.140	195

RISE A JOUR LE 25- 3-87

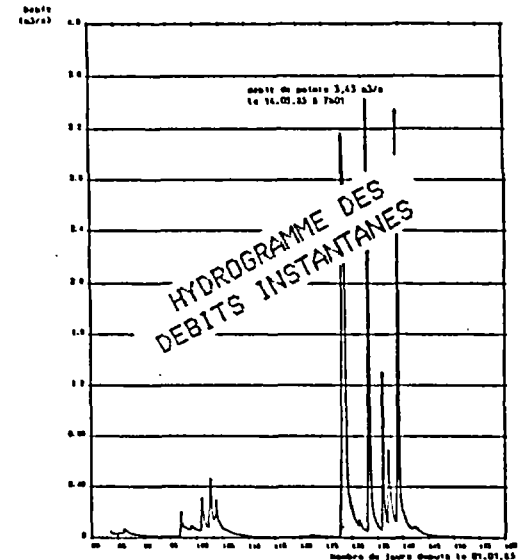


COURBE D'ETALONNAGE

BAREME D'ETALONNAGE

Escale de LAC MURAZI (RWANDA)  
Valable de 4 avril 1985 au 10 septembre 1985

COTE (m)	DEBIT EN L/S									
	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
0.10										
0.20	1290	1370	1360	1400	1430	1470	1510	1520	1590	1630
0.30	1470	1710	1750	1790	1810	1860	1930	1970	2020	2070
0.40	2110	2120	2210	2240	2310	2370	2420	2470	2530	2580
0.50	2410	2500	2750	2810	2870	2930	2990	3050	3120	3180
0.60	3250	3310	3380	3450	3510	3580	3650	3720	3800	3870
0.70	3940	4020	4100	4170	4250	4330	4410	4490	4570	4650
0.80	4740	4820	4910	5000	5080	5170				



HYDROGRAMME DES DEBITS INSTANTANES

FIGURE n° 2 - Hydrogramme de ruissseau de l'ETANG GUILLAUME, à la station aval de 1/2 de la route 0.960

COURS D'EAU I LES BARRAGES D'AVANCE  
STATION I PONT 00.24  
MONTÉE I 200-12-87  
SURFACE DU BARRAGE VERSANT I 42.0 H2O  
ALTITUDE DU SEIN DE L'ECHELLE I 123.220 M NAP  
COORDONNEES LAMBERT ZONE I  
LATITUDE N I 2 272.250 00  
LONGITUDE E I 7 02.700 00  
DATE DE MISE EN SERVICE I 16 FEV 1980

JOUR	DEBITS MOYENS JOURNALIERS EN L/S																
	JANV	FEBV	MARS	AVRIL	MAI	JUIN	JUIL	AOUT	SEPT	OCTO	NOV	DECE					
1	20.4	151	72.1	1190	215	45.0	3.10	1.10	2.20	12.9	210	83.4					
2	60.0	101	61.5	359	190	67.4	3.95	0.1	33	12.3	294	39.4					
3	195	104	48.9	410	163	29.1	2.78		10	11.4	404	70.1					
4	120	222	90.9	237	107	231	10		34	21.0	170	21.5					
5	82.9	143	215	450	143	174			2.27	10.4	142	68.0					
6	75.0	136	1600	234	150				1.10	2.10	9.00	137	68.2				
7	74.0	140	22400	894	134				2.00	2.10	0.20	139	94.0				
8	84.2	101	1170	1040					1.00	2.10	1.10	110	103				
9	209	61.4	315	322					10.0	0.200	3.00	0.99	113	94.2			
10	124	43.7	231	37					0.02	0.200	2.10	0.04	100	77.7			
11	307	29.0	247						2.00	1.20	1.10	9.70	100	68.9			
12	410	27.7	119	2320	239	37.4	1.70	2.40	21.0	1.00	2.00	140	283	64.9			
13	330	24.0							1.31	41.0	0.22	2.22	24.0	90.7	64.0		
14	344	34							370	104	37.7	7.18	1.90	21.1	11.1	82.7	64.2
15	399								432	132	27.4	6.93	1.44	24.1	15.4	29.3	40.2
16	324	30.3	1250	804	914	12.3	1.40	0.30	10.4	10.0	10.0	10.0	214	100			
17	409	4	100	421	120	70.0	4.02	0.700	276	18.0	74.8	100					
18	213	43.1	110	371	391	139	2.19	1.01	0.4	24.0	70.0	404					
19	214	41.1	110	371	391	139	2.19	1.01	0.4	24.0	70.0	404					
20	410	24.3	110	371	391	139	2.19	1.01	0.4	24.0	70.0	404					
21	250	34.0	110	371	391	139	2.19	1.01	0.4	24.0	70.0	404					
22	370	28.5	144	2530	129	23.3	1.70	34.2	19.1	870	904	200					
23	1910	30.4	410	649	760	10.9	1.50	15.4	19.3	400	347	237					
24	1704	30.3	1250	804	914	12.3	1.40	0.30	10.4	10.0	10.0	214	100				
25	823	67.7	1030	317	200	12.9	1.30	5.30	14.0	24.0	170	1400					
26	274	61.4	110	371	391	139	2.19	1.01	0.4	24.0	70.0	404					
27	323	70.7	110	371	391	139	2.19	1.01	0.4	24.0	70.0	404					
28	314											100	100				
29	379											100	100				
30	379											100	100				
31	194	973	72.0	1.27	0.24					302		347					
DEBITE	359	70.4	454	605	247	46.9	1.37	3.63	24.2	101	210	524					
MOYEN																	
DEBITS MOYENS DECADES																	
DECADE	JANV	FEBV	MARS	AVRIL	MAI	JUIN	JUIL	AOUT	SEPT	OCTO	NOV	DECE					
1	104	139	411	649	760	107	1.70	0.740	2.29	10.4	24.0	82.0					
2	423	24.3	140	249	273	44.2	1.31	2.15	30.3	10.2	10.2	201					
3	520	82.3	300	1070	111	14.3	1.30	7.40	12.0	11.0	34.0	370					

ANNUAIRE JOURNALIER

BUREAU DE RECHERCHES GEOLOGIQUES ET MINIERES

FEUILLE DE JAUSAGE

STATION I ROUTIERE LA LAITHE - ROULIN D'EN BAS

LISTE DES JAUAGES

DATE DE MISE EN SERVICE I 16 FEV 1980

DEBITS MOYENS JOURNALIERS EN L/S

DECADE JANV FEBV MARS AVRIL MAI JUIN JUIL AOUT SEPT OCTO NOV DECE

MOYEN

DEBITS MOYENS DECADES

DECADE JANV FEBV MARS AVRIL MAI JUIN JUIL AOUT SEPT OCTO NOV DECE



Bordereau de saisie chaîne DELPHES

Denomination du point d'eau :  
 Nom de la station :  
 Numero d'identification :  
 Coordonnees Latitude Longitude Altitude  
 Desre, minute, seconde :  
 Lambert ( zone : ) :  
 D'apres la carte topographique au 1/ de  
 Surface du bassin versant : km2  
 Type de donnee :  
 Unite :  
 Pas de temps des donnees :  
 Bordereau rempli par : 1e / /19 Page

TITRE DECRIVANT LES DONNEES

TITRE DECRIVANT LES DONNEES						
Jour	mois	annee	h	mn	Valeur	Remarque
1	/	/19	A	H		
	/	/19	A	H		
	/	/19	A	H		
	/	/19	A	H		
5	/	/19	A	H		
	/	/19	A	H		
	/	/19	A	H		
	/	/19	A	H		
	/	/19	A	H		
10	/	/19	A	H		
	/	/19	A	H		
	/	/19	A	H		
	/	/19	A	H		
	/	/19	A	H		
15	/	/19	A	H		
	/	/19	A	H		
	/	/19	A	H		
	/	/19	A	H		
	/	/19	A	H		
20	/	/19	A	H		
	/	/19	A	H		
	/	/19	A	H		
	/	/19	A	H		
	/	/19	A	H		
25	/	/19	A	H		
	/	/19	A	H		
	/	/19	A	H		
	/	/19	A	H		
	/	/19	A	H		
30	/	/19	A	H		
	/	/19	A	H		
	/	/19	A	H		
	/	/19	A	H		
	/	/19	A	H		
35	/	/19	A	H		
	/	/19	A	H		
	/	/19	A	H		
	/	/19	A	H		
	/	/19	A	H		
40	/	/19	A	H		

## DELPHER

## \* PLUVIOMETRIE

La chaîne DELPHES aide à la mise en forme de données pluviométriques. Les enregistrements de précipitations instantanées (avec par exemple le nombre de 1/10 de mm tombés tous les 5 ou 10 minutes ou bien les dates auxquelles le pluviographe a cumulé 1 mm) peuvent être discrétisés à n'importe quel pas de temps égaux : 1 heure, 1 jour ,etc...

## \* AUTRES APPLICATIONS POSSIBLES

Le caractère général de la chaîne DELPHES fait qu'elle peut être utilisée pour dépouiller, mettre en forme et effectuer des traitements sur d'autres types de données temporelles climatologiques (température, humidité ,etc...), hydrochimiques (conductivité électrique de l'eau, teneur en certains éléments chimiques...), neutrométriques, etc...

## QUELQUES REFERENCES

Etude hydroclimatologique du site de stockage de Soulaines (Aube) ,  
Etude des ressources en eaux de surface pour l'alimentation en eau potable de la ville de KIGALI à l'horizon 2000 (RWANDA), Etude des aquifères du SAQ ( ARABIE SAOUDITE) ,etc ...

## ORDINATEUR

Implanté sur ordinateur VAX 780 il est adaptable facilement, par son écriture en FORTRAN 77 Standard à tout autre ordinateur ou micro-ordinateur IBM/PC .

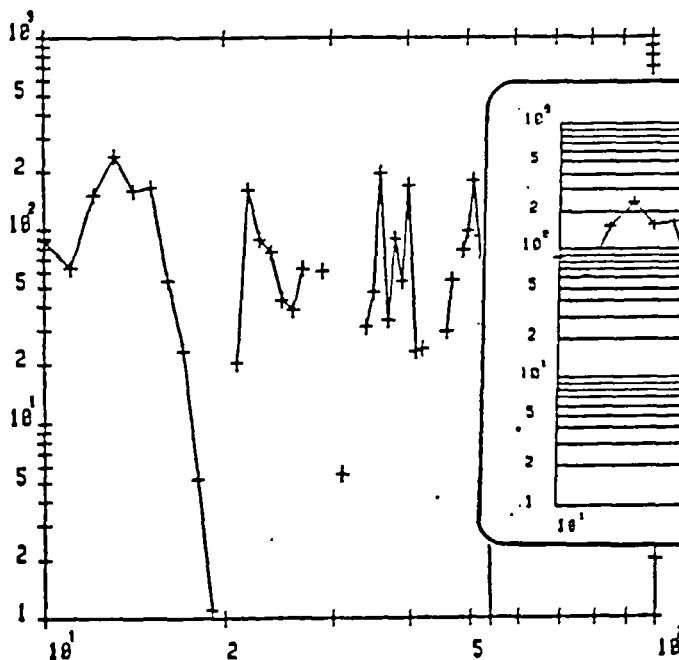
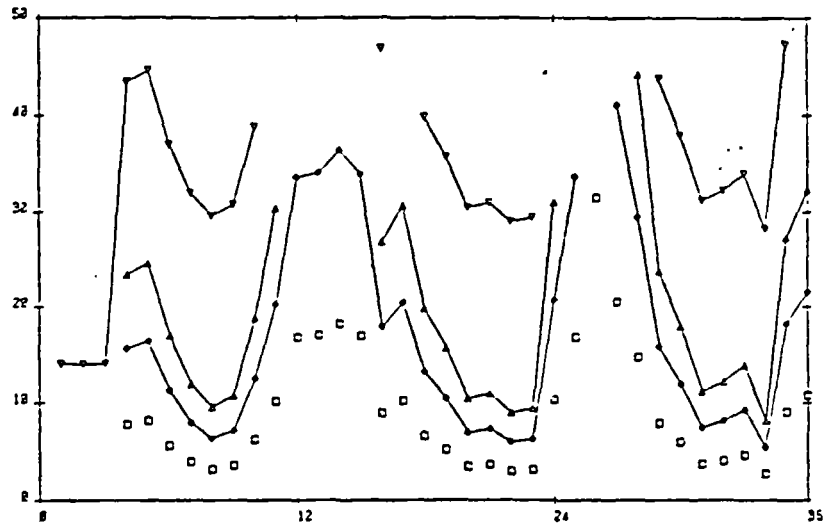
1		1
1	Pour tous renseignements, s'adresser à	1
1		1
1	MM. D. THIERY et M. NORMAND	1
1		1
1	BUREAU DE RECHERCHES GEOLOGIQUES ET MINIERES	1
1	Département EAU-ENVIRONNEMENT-ENERGIE	1
1	B.P. 6009 - 45060 ORLEANS CEDEX	1
1	Tél. (38) 64.34.34	1
1		1

# VISUALISATION DE SERIES DE VALEURS A L'AIDE DE GRAPHIQUES

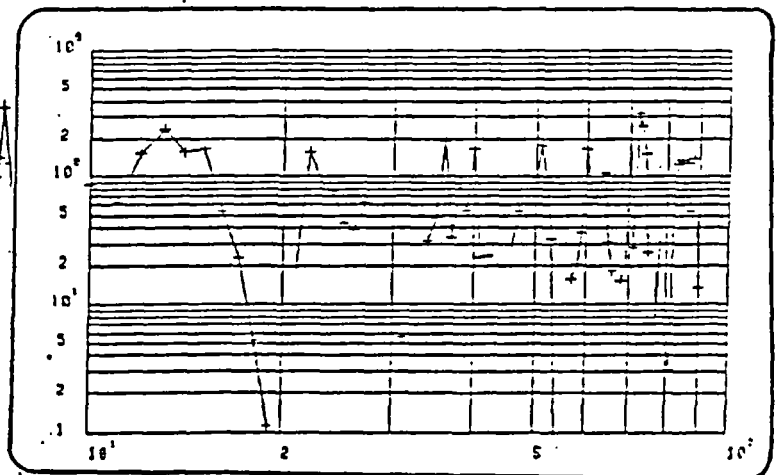
Le logiciel "GRECO", mis au point par le BRGM et fonctionnant sur tout micro-ordinateur compatible PC, permet de tracer sur un même dessin à l'écran ou sur table traçante un ensemble de graphiques dont les points sont définis :

- soit par une série d'ordonnées régulièrement espacées ;
- soit par une série d'ordonnées correspondant à une série d'abscisses.

Les échelles des abscisses et des ordonnées peuvent être, au choix, arithmétiques ou logarithmiques. Il est possible d'enchaîner le tracé de plusieurs dessins. Les données, regroupées par paquets (ligne + lignes de données) peuvent être placées dans un même fichier ou dans des fichiers différents.



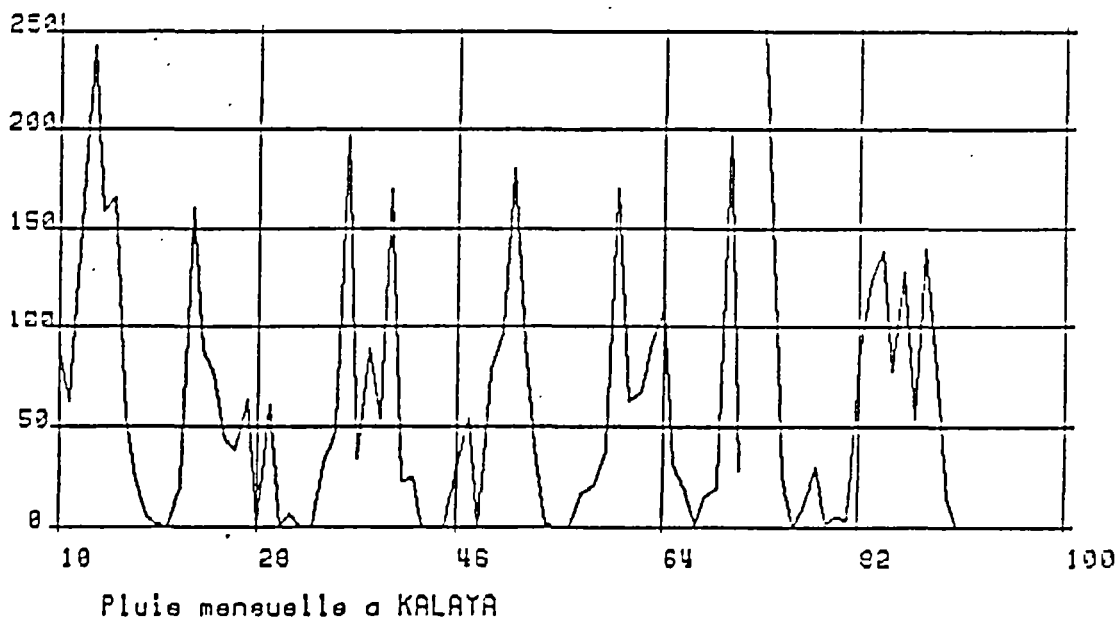
Série  $Y = f(x)$  tracé logarithmique  
(sortie sur table traçante)



Série  $Y = f(x)$  tracé logarithmique  
(copie d'écran sur imprimante FUJI)

Il convient de définir les paramètres suivants :

- Les limites inférieures et supérieures des abscisses et des ordonnées ;
- Les dimensions horizontales et verticales du dessin ;
- La nature de chaque axe (arithmétique ou logarithmique) ;
- Les graduations à porter sur les axes pour un tracé arithmétique ; pour un tracé logarithmique, le nombre des graduations est calculé automatiquement ;
- Le type de courbes. Il peut s'agir :
  - . de valeurs  $y$  à tracer en fonction de valeurs  $x$  ;
  - . de valeurs sous forme d'une série ; il n'y a, dans ce cas, pas d'abscisses à lire et 4 options sont proposées :
    - .. tracé des valeurs dans l'ordre de la série,
    - .. tracé des valeurs en escalier,
    - .. tracé des valeurs dans l'ordre décroissant,
    - .. tracé des valeurs en escalier et dans l'ordre décroissant ;
- Le type de trait et de symboles à utiliser :
  - . type de trait : le trait peut être continu, en pointillés ou absent ;
  - . symboles : 7 symboles peuvent être utilisés pour matérialiser les points. Il est ainsi possible de distinguer des courbes proches ou de séparer des nuages de points correspondant à des expériences ou des périodes différentes ;
- Les valeurs des coefficients  $A$  et  $B$  d'une transformation  $AY + B$  ;
- Format de lecture : il faut spécifier le format FORTRAN de lecture des données.



Pour tous renseignements, s'adresser à :

M.L. NOYER ou D. THIERY

BUREAU DE RECHERCHES GEOLOGIQUES ET MINIERES  
Département EAU  
B.P. 6009 - 45060 ORLEANS CEDEX 2  
Tél. (33) 38.64.34.34

OCCERG







## **6. TRAVAUX DIRIGES**

6.2 - Déroulement et interprétation des mesures hydrométéorologiques effectuées lors de la sortie de terrain du 10 avril 1987

—

# MESURES HYDROMETRIQUES SUR LE TERRAIN

(Sortie du 10 avril 1987 après midi)

## 1. LOCALISATION

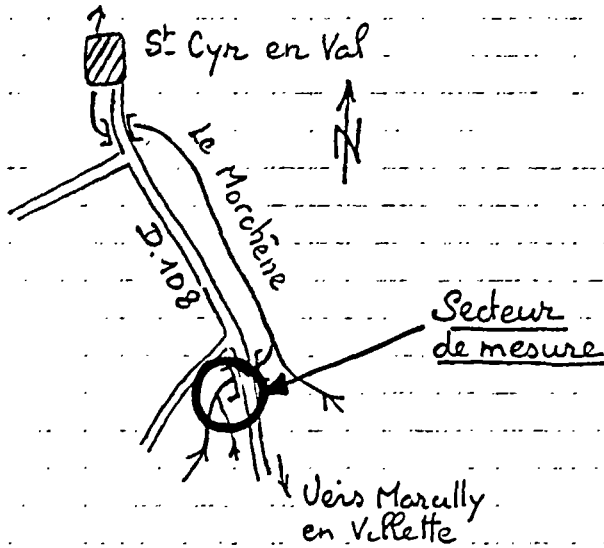


Fig. 1 - Plan de localisation

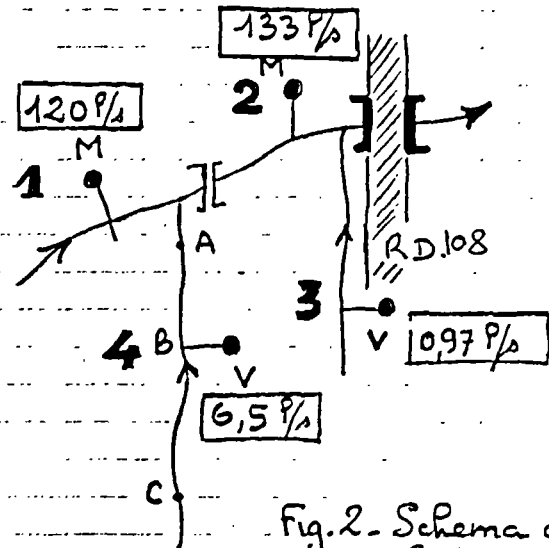


Fig. 2 - Schema du réseau hydrographique et des points de mesure

● Point de mesure  
 M micromoulinet  
 V canal Venturi

## 2. CHOIX ET AMENAGEMENT DES SECTIONS DE JAUGEAGE

- Choix de 4 sections de jaugeage : les sections 1 et 2 pour jaugeage au micromoulinet, les sections 3 et 4 pour jaugeage au canal venturi fortatif
- Aménagement des sections de jaugeage (nécessité de disposer d'une pelle, d'une pioche, d'un bateau, etc...)

## 3. EXECUTION DES JAUGEAGES

### 3.1. JAUGEAGE AU MICROMOULINET

- La seule possibilité ici est de jaugeer à gué (suivant la profondeur, nécessité de disposer de bottes, cunards ou bottes-pantalon et d'un ciré)
- Choix du dispositif de jaugeage (micromoulinet) avec perche continuant et hélice, de préférence autocomposante (existence de vitesses obliques), du dispositif de comptage (3 dispositifs testés : compteur électromécanique + chrono, compteur électromécanique et chrono synchronisés, compteur Z 200-OTT et CTR-33X à affichage numérique avec ou sans présélection des temps ou des tours et horloge à quartz)
- Vérification du bon état de fonctionnement du moulinet : changer l'huile, tester l'arrêt de l'hélice, vérification des contacts électriques et du bon fonctionnement des compteurs d'impulsion et de temps (nécessité de vérifier l'état des fils du compteur).

- Choix d'un repère permettant d'afficher la stabilité de la cote pendant le jaugeage : ici on prendra le sommet du macaron de revêtement fixé sur le pont.
- Installation du décimètre en travers du cours d'eau pour repérage des verticales (nécessité de disposer d'un deca, double deca ou pentadécimètre et de deux piquets de fixation sur les berges)
- Choix du nombre et de la position des verticales de mesure
- Choix pour chaque verticale du nombre et de la position des points de mesure des vitesses.
- exécution des mesures et report sur la feuille de jaugeage.  
Vérification au fur et à mesure des données : recommencer mesures "anormales", réputer le cas échéant des points de mesure de vitesse ou des verticales supplémentaires

Voire les figures 2 et 3 représentant les feuilles de jaugeage de terrain et le résultat des doublements informatiques.

### 3.2. JAUGEAGE AU CANAL VENTURI PORTATIF

- Choix du bief de mesure
- Mise en place du dispositif : colmatage sur les bords (nécessité de disposer d'une pelle, d'une pioche, d'un râteau, d'un niveau à bulle ...)
- Attendre la stabilité du régime d'écoulement puis procéder à la mesure de la hauteur de charge en millimètre (disposer d'un mètre rigide gradué en mm)
- Mesure de la vitesse d'approche :
  - soit au flotteur
  - soit au micromoulinet

des mesures effectuées sur les sections 3 et 4 furent respectivement :

#### Section 3

Canal Venturi Ref 1253 AX  
hauteur de charge 52 mm → d'après le barème du tableau 2 0,97 l/s

#### Section 4

Canal Venturi Ref 1253 AZ  
hauteur de charge 126 mm → d'après le barème du tableau 1 6,00 l/s

#### Vérification des conditions d'utilisation du canal Venturi

\* Mesure au micromoulinet de la vitesse d'approche en amont immédiat du canal Venturi.

Nombre de fops 181 Temps 30,0 s

$$v = 0,0556 n + 0,038 = 0,0556 \times \frac{181}{30} + 0,038 = 0,373 \text{ m/s}$$

La charge dynamique correspondante est :

$$h_d = \frac{v^2}{2g} = \frac{0,373^2}{2 \times 9,81} = 0,007 \text{ m soit } 7 \text{ mm.}$$

La charge totale est donc  $H = h_{\text{mesure}} + h_d = 126 + 7 = 133 \text{ mm}$

d'où un débit  $Q = 6,54 \text{ l/s}$

Si on ne tient pas compte de la vitesse d'approche on commet une erreur relative  $\Delta Q/Q$  sur le débit de :

$$\frac{\Delta Q}{Q} = \frac{6 - 6,54}{6} = 0,09 \text{ soit une sous-estimation de } \underline{9\%}$$

Tabl. 1 - BAREME D'ETALONNAGE

Canal VENTURI Réf. 1253AZ (largeur 125mm pelle 30mm)

Valable du au

COTE MM	DEBIT EN L/S									
	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
0	0	.019	.036	.052	.068	.079	.09	.11	.108	.115
10	.121	.124	.127	.128	.127	.125	.174	.22	.262	.301
20	.337	.37	.4	.427	.45	.47	.496	.524	.551	.58
30	.609	.639	.669	.7	.732	.764	.797	.831	.865	.9
40	.934	.969	1.01	1.04	1.08	1.12	1.16	1.21	1.25	1.29
50	1.34	1.39	1.44	1.48	1.54	1.59	1.64	1.69	1.75	1.8
60	1.85	1.9	1.95	2	2.05	2.1	2.15	2.2	2.25	2.3
70	2.35	2.4	2.45	2.5	2.57	2.63	2.69	2.76	2.82	2.88
80	2.94	3	3.06	3.12	3.17	3.23	3.29	3.34	3.39	3.45
90	3.5	3.57	3.63	3.7	3.77	3.83	3.9	3.97	4.03	4.1
100	4.17	4.23	4.3	4.37	4.43	4.5	4.57	4.64	4.71	4.77
110	4.86	4.93	5	5.07	5.14	5.21	5.29	5.36	5.43	5.5
120	5.57	5.64	5.71	5.78	5.85	5.93	6	6.07	6.15	6.23
130	6.3	6.38	6.46	6.54	6.63	6.71	6.79	6.88	6.96	7.04
140	7.13	7.21	7.29	7.38	7.46	7.54	7.63	7.72	7.81	7.91
150	8	8.1	8.19	8.29	8.39	8.49	8.59	8.69	8.8	8.9
160	9.01	9.12	9.22							

\* Précision des débits entre 1,5 et 3% // hors plage d'utilisation  
 Pour  $h \geq 50$  mm Précision 1,5%  
 Si la longueur du chenal d'approche est  $\leq 5$  fois sa largeur majorer les erreurs de 1%

Tabl. 2 - BAREME D'ETALONNAGE

Canal VENTURI Réf. 1253AX (largeur 85mm -pelle 30mm)

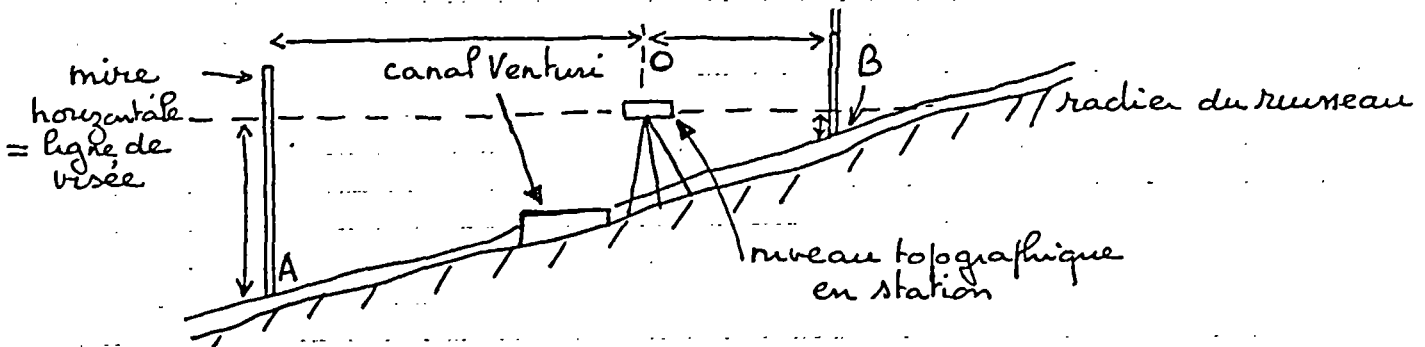
Valable du au

COTE MM	DEBIT EN L/S									
	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
0	0	.06	.013	.021	.03	.04	.05	.061	.072	.086
10	.1	.103	.119	.129	.141	.153	.166	.18	.195	.21
20	.227	.244	.262	.28	.3	.318	.336	.354	.373	.393
30	.413	.434	.456	.478	.5	.523	.547	.571	.596	.621
40	.647	.673	.7	.72	.741	.764	.788	.814	.841	.87
50	.9	.932	.965	1	1.03	1.06	1.1	1.13	1.16	1.19
60	1.23	1.26	1.29	1.33	1.36	1.4	1.43	1.46	1.5	1.54
70	1.57	1.61	1.64	1.68	1.72	1.75	1.79	1.83	1.87	1.9
80	1.94	1.98	2.02	2.06	2.1	2.14	2.18	2.22	2.26	2.3
90	2.35	2.39	2.43	2.48	2.52	2.57	2.61	2.66	2.71	2.75
100	2.8	2.85	2.9	2.95	3	3.05	3.1	3.15	3.2	3.25
110	3.3									

\* Précision des débits entre 1,5 et 3% // hors plage d'utilisation  
 pour  $h \geq 34$  mm Précision 1,5%  
 Si la longueur du chenal d'approche est  $\leq 5$  fois sa largeur majorer les erreurs de 1%

\* Mesure de la pente du profil en long du radier du ruisseau  
INITIATION A LA TOPOGRAPHIE

- On utilise généralement un niveau topographique pour mesurer
- des différences de niveau.
  - des distances.



- Présentation du matériel (niveau topographique, trépied, mire) et exposé du principe de la méthode
- Mise en station du niveau dans l'axe du Thalweg
- Mesure des distances horizontales soit avec un télémètre soit avec la STADIA

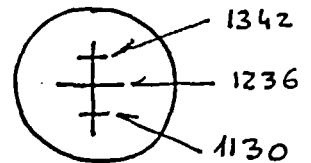
La stadia est une constante pour un appareil topographique donné. Elle permet de relier la différence entre les lectures des fils Haut et Bas par une relation simple avec la distance entre le niveau et la mire.

$$\text{ici distance niveau-mire (en m)} = \frac{\text{lecture Haut (mm)} - \text{lecture Bas (mm)}}{10}$$

Cette mesure n'est pas très précise mais suffit en général pour les levés hydrologiques courants.

- Mesures de l'altitude relative et de la distance entre deux points A et B situés de part et d'autre du canal Venturi dans le Thalweg

point B amont	$\left. \begin{array}{l} 1342 \\ 1236 \\ 1130 \end{array} \right\}$	$1342 - 1236 = 106 \text{ mm}$
		$1236 - 1130 = 106$



Le calcul des différences entre les lectures, c'est-à-dire Haut - Centre et Centre - Bas permet de vérifier la verticalité des lectures de niveau.

point A aval	$\left. \begin{array}{l} 2067 \\ 1988 \\ 1912 \end{array} \right\}$	$2067 - 1988 = 79 \text{ mm}$
		$1988 - 1912 = 76$

$$\text{distance OB (m)} = \frac{1342 - 1130}{10} = \frac{212}{10} = 21,2 \text{ m}$$

$$\text{distance OA} = \frac{2067 - 1912}{10} = \frac{155}{10} = 15,5 \text{ m}$$

$$\text{denivelé entre A et B} = 1988 - 1236 = 752 \text{ mm}$$

$$\text{pente du radier du Thalweg} = \frac{0,752}{21,2 + 15,5} = 0,02 \text{ soit } \underline{2\%}$$

Cette forte pente de 2% explique l'importance non négligeable de la vitesse d'approche de 0,37 m/s. Rappelons que le canal VENTURI doit en principe être installé sur un canal dont le radier a une pente inférieure ou égale à 0,5%

### 3.3 - JAUGEAGE AU FLOTTEUR

- Choix d'un bief de mesure en amont de la section de jaugeage au moulinet aval.

NB ce bief n'est toutefois pas très bon car l'écoulement est oblique par rapport aux berges

- base de longueur : 2 m.

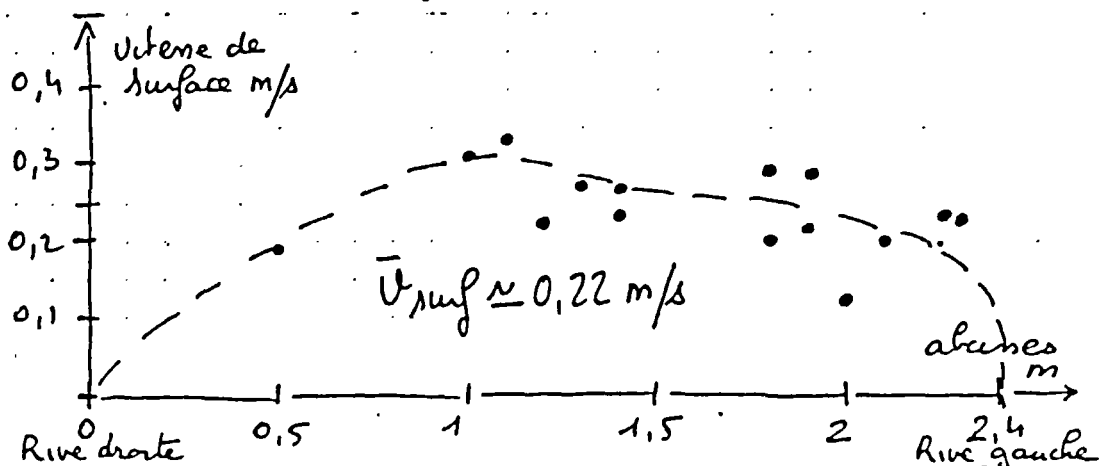
- Le décamètre de la section de jaugeage permettra de repérer la position des flotteurs

- mesures des vitesses de surface

abaxe cm	Temp 1/10 s	Vitesse de surface m/s
110	61	0,33
225	87	0,23
100	64	0,31
140	86	0,23
50	107	0,19
130	73	0,27
180	98	0,20
190	89	0,22
190	88	0,22
210	101	0,20
140	75	0,27
120	90	0,22
200	161	0,12
180	67	0,30
190	70	0,29
230	88	0,23
180	70	0,29

- de fouillement des mesures

- calcul des vitesses de surface
- tracé du graphique des vitesses de surface en fonction de la largeur
- calcul de la vitesse moyenne de surface



Remarque - Comme les trajets reels sont obliques ils sont plus long que la base de 2m d'où une sous estimation des vitesses de surface.

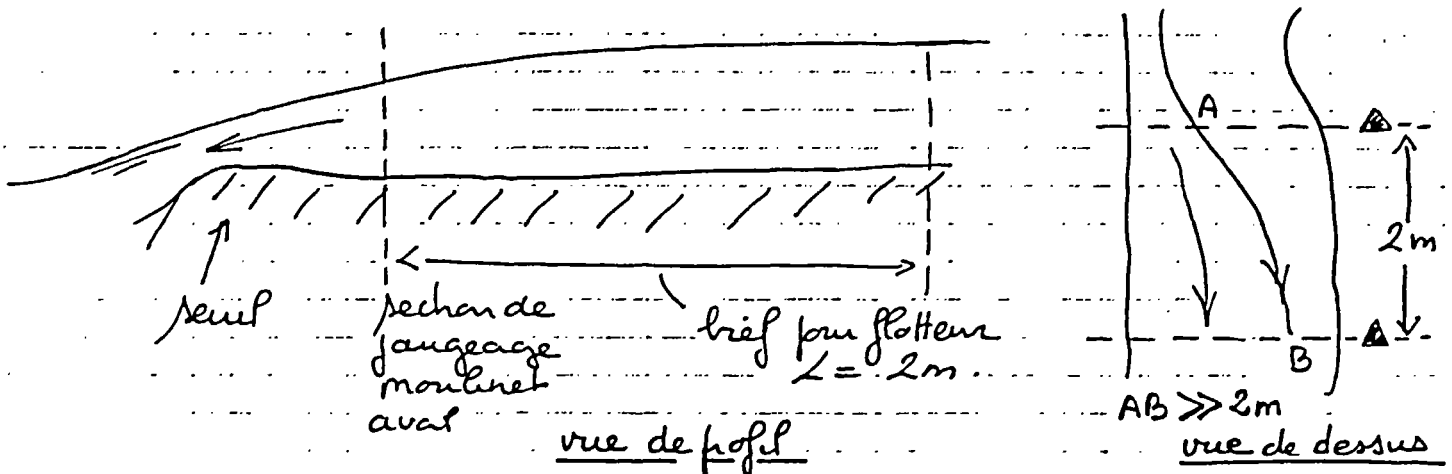
- Calcul de la vitesse moyenne

$$\bar{V} = k \bar{V}_{\text{surface}}$$

En 1<sup>re</sup> approximation  $k \approx 0,95$

[ D'après le jaugeage aval  $k = 0,952$  ]

- Calcul de la section moulinet  $S = 0,414 \text{ m}^2$  d'après jaugeage aval



NB - La section moulinet calculée d'après les mesures du jaugeage moulinet aval est certainement sous estimée compte tenu de la courbure du plan d'eau vers le seuil aval.

- Calcul du débit

$$Q = (0,22 \times 0,95) \times 0,414 = 0,087 \text{ m}^3/\text{s}$$

Remarque : Comme on le verra par la suite ce débit est fortement sous estimé par rapport à la réalité (cf jaugeage moulinet) d'environ 35%  
 }  $\Rightarrow$  Méthode approximative d'autant plus que les conditions d'application de la méthode n'étaient pas respectées

#### 4. DEPOUILLEMENT DES JAUGEAGES AU MOULINET (séance de travaux dirigés du 11 avril 1987)

##### 4.1. Depouillement à la main

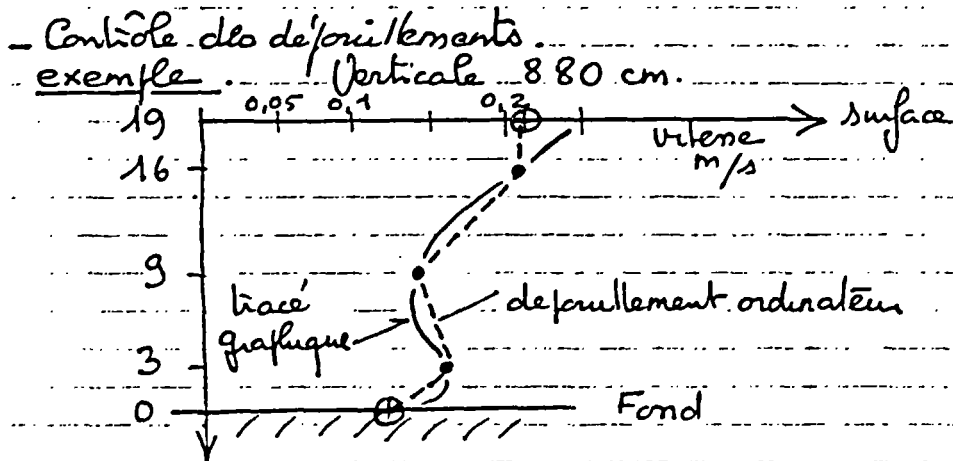
- Calcul des vitesses
- Tracé des "paraboles des vitesses"
- Planimétriage des "paraboles des vitesses" et calcul des débits laminaires
- INITIATION A L'UTILISATION DU PLANIMETRE
- Tracé du graphique des débits
- Planimétriage et calcul du DEBIT

## 4.2 - Déroulement à l'ordinateur

INITIATION A L'UTILISATION DU LOGICIEL "DEPJAU" sur le VA

NB : ce logiciel existe aussi sur microordinateur MICRAL en Fortran, sur APPLE 2C en Basic-AppleSoft et sur VICTOR en Basic-Microsoft.

Les figures 3 et 4 donnent les listings des déroulements ordinateur.



répartition anormale des vitesses sur cette verticale: feuillage à mi hauteur, vitesse plus forte au fond.  
 → imprecision entre la verticale 850 et le bord à 895 cm

### Résultats

jaugeage amont	120 p/s.	20 mesures de vitesse
jaugeage aval	133 p/s	27 mesures de vitesse

### Influence du nombre de verticales de mesure sur la précision du jaugeage

Pour apprécier la précision des jaugeages au moulinet nous avons comparé le jaugeage aval (section 2) en ne retenant que trois verticales de mesure. Le tableau ci dessous donne les résultats de ce déroulement et la comparaison avec ceux obtenus avec les 10 verticales de mesure.

Nombre de verticales	Nombre de points de mesure des vitesses	Débit p/s
10	27	133
3	8	125

La figure 5 donne le listing des déroulements. On constate, qu dans ce cas, avec 3 verticales seulement de mesure on aurait sous-estimé le débit d'environ 6%.

Les récentes études ont montré, que parmi les différentes causes d'erreurs sur les jaugeages, la principale cause d'erreur est imputable au nombre de points de mesure des vitesses et au nombre de verticales de mesure.

Fig. 3 - Feuille de jaugeage et listing du dépouillement ordinateur



BUREAU DE RECHERCHES  
GÉOLOGIQUES ET MINIÈRES

JAUGEAGE AU MOULINET

N°.....

Dénomination du point d'eau.....	TYPE DE JAUGEAGE	Nombre de bras <b>1</b>
Station... <i>5 m. en amont du pont route de St. Et. en Val-Maurilly</i>	Gut / Pont .....	Normal par points.....
N° d'identification.....	CARACTERISTIQUES DU MICRO/MOULINET	
Date... <i>9 avr. 1987</i>	Marque... <i>P.T.T. r. C.R.</i>	N°.....
Opérateur... <i>X, Y, Z</i>	Hélice n°... <i>R-71877</i>	S... <i>5</i> ...cm
Température °C Eau..... Air.....	Etalonnage	
Conductivité ..... microS/cm à .....°C	jour le jour $V = .0,103 n + 0,018$	
Résistivité..... à .....°C	K1 = <i>n</i> V = ..... n + .....	
DEBIT..... /s	K2 = ..... V = ..... n + .....	
	Type de perche... <i>sautoportée</i>	
	Compteur d'impulsions... <i>C.T.R.</i>	

Heure minute	Cote cm	Distance cm	Profondeur cm totale/mesure	Tops	Temps 1/10s	Observations
14.00	-100,7	240	0			BRG
		230	13			
			6	51	300	
			10	58	300	
		200	17,5			
			5	88	300	
			10	100		
			15	103		
		170	19			
			5	88	300	
			10	102		
			16	109		
		140	20			
			5	98	300	
			11	113		
			16	114		
		110	20			
			5	96	300	
			11	110		
			16	115		
		80	19			
			5	80	300	
			11	103		
			16	100		
		60	17			
			5	81	300	
			10	91		
			15	93		
		40	17			
			5	73	300	
			10	80		
			15	85		
		20	15,5			
			6	76	300	
			12	75		
		10	13			
			5	40	300	
			10	53		
15h30	-100,7	0	13,5			BRD

DEPOUILLEMENT D'UN JAUGEAGE AU MOULINET

Nom du point d'eau	RIVIERE
Nom de la station	5 M EN AMONT DU PONT
N° d'identification	
Date de la mesure	9-4-87 à 14.45
Largeur	2.400 m
Profondeur moyenne	.173 m
Profondeur maximum	.200 m
Rayon hydraulique	.170 m
Coef. K1 1/2	1.046
Vitesse moy. surface	.337 m/s
Vitesse maximum	.427 m/s
Coef. Vmoy/Vmoy surf	.952
Vitesse moyenne	.321 m/s
Section mouillée	.414 m <sup>2</sup>
Cote moyenne	-1.007 m
DEBIT .....	.133 m <sup>3</sup> /s

Détail des résultats

Formule d'étalonnage

Quel que soit N  $V = .103 * N + .018$

Temps présélectionné en 1/10s 300

Heure	Cote m	Distance m	Prof m	Tops	Temps 1/10s	Vitesse m/s	Débit l/s
14	-1.007	2.4	0				0
		2.3	.13				
			.06	51	300	.193	
			.1	58	300	.217	.025
		2	.175				
			.05	88	300	.32	
			.1	100	300	.351	
			.15	103	300	.372	.059
		1.7	.19				
			.05	88	300	.32	
			.1	102	300	.368	
			.16	109	300	.372	.066
		1.4	.2				
			.05	98	300	.254	
			.11	119	300	.427	
			.16	114	300	.409	.077
		1.1	.2				
			.05	96	300	.348	
			.11	110	300	.356	
			.16	115	300	.413	.075
		.8	.19				
			.05	80	300	.293	
			.11	103	300	.372	
			.16	100	300	.351	.062
		.6	.17				
			.05	81	300	.256	
			.1	91	300	.33	
			.15	93	300	.337	.052
		.4	.17				
			.05	73	300	.269	
			.1	80	300	.293	
			.15	85	300	.31	.047
		.2	.155				
			.06	76	300	.279	
			.12	75	300	.276	.041
		.1	.13				
			.05	40	300	.155	
			.1	53	300	.2	.022
15.3	-1.007	0	.135				.013

Fig. 4 - Feuille de jaugeage et listing du défillement ordinateur



BUREAU DE RECHERCHES GÉOLOGIQUES ET MINIÈRES

JAUGEAGE AU MOULINET

N°.....

Denomination du point d'eau.....	TYPE DE JAUGEAGE Nombre de bras ...
Station... 20 m avant pont... 5.4.87	Gué / Pont .....
N° d'identification... Handy	Normal par points.....
Date... 5.4.87	CARACTERISTIQUES DU MICRO/MOULINET
Opérateur.....	Marque... O.T.T. J.H.E.C.I. N°... 15.76.1
Température °C Eau..... Air.....	Hélice n°... 1-15-261... cm
Conductivité ..... microS/cm à .....°C	Etalonnage U = 0.0556 n + 0.038
Résistivité..... à .....°C	K1 = 6.36 U = 0.0545 n + 0.045
DEBIT..... /s	K2 = ..... U = ..... n + .....
	Type de perche.....
	Compteur d'impulsions.....

DEPUILLEMENT D'UN JAUGEAGE AU MOULINET

Nom du point d'eau RIVIERE  
 Nom de la station 20 M AVANT PONT  
 N° d'identification  
 Date de la mesure 9-4-87 à 14.35  
 Largeur 1.750 m  
 Profondeur moyenne .251 m  
 Profondeur maximum .310 m  
 Rayon hydraulique .191 m  
 Coef. KI 1/2 .625  
 Vitesse moy. surface .291 m/s  
 Vitesse maximum .360 m/s  
 Coef. Vmoy/Vmoy surf .938  
 Vitesse moyenne .273 m/s  
 Section mouillée .439 m<sup>2</sup>  
 Cote moyenne -1.007 m  
 DEBIT ..... 12 m<sup>3</sup>/s

Heure minute	Cote cm	Distance cm	Profondeur cm totale/mesure	Tops	Temps 1/10s	Observations
14.10	-	720	31			BRD
		730	24			
			3	61	300	
			8	98		
			13	112		
			18	121		
			22	117		
		770	28			
			3.5	106	300	
			10	143		
			17	158		
			25	151		
		810	29			
			3	114	300	
			10	153		
			17	164		
			25	124		
		850	24.5			
			3	142	300	
			9	164		
			15	150		
			21	142		
		880	19			
			3	66		
			9	59		
			16	91		
15.00	-	895	15			BRG

Détail des résultats

Formule d'étalonnage

$$N < 6.36 \quad U = .0556 * N + .038$$

$$N > 6.36 \quad U = .0545 * N + .045$$

Temps présélectionné en 1/10s 300

Heure	Cote m	Distance m	Prof m	Tops	Temps 1/10s	Vitesse m/s	Débit l/s m <sup>2</sup> /s
14.1	-1.007	7.2	.31				.055
		7.3	.24				
			.03	61	300	.151	
			.08	96	300	.22	
			.13	112	300	.246	
			.18	121	300	.262	
			.22	117	300	.255	.053
		7.7	.28				
			.035	106	300	.234	
			.1	143	300	.303	
			.17	158	300	.331	
			.25	151	300	.316	.063
		8.1	.28				
			.03	114	300	.249	
			.1	153	300	.322	
			.17	164	300	.342	
			.25	174	300	.36	.059
		8.5	.245				
			.03	142	300	.301	
			.09	164	300	.342	
			.15	150	300	.316	
			.21	142	300	.301	.076
		8.6	.19				
			.03	66	300	.16	
			.09	59	300	.147	
			.16	91	300	.207	.032
15	-1.007	8.95	.15				.02

DEFOUILLEMENT D UN JAUCEAGE AU MOULINET

NOM DU POINT D EAU.....RIVIERE  
 NOM DE LA STATION.....5 M AMONT DU PONT  
 NUMERO D IDENTIFICATION...  
 DATE DE LA MESURE..... 9- 4-1967 A 14.45

LARGEUR..... 2.400 M  
 PROFONDEUR MOYENNE..... 0.155 M  
 PROFONDEUR MAXIMUM..... 0.200 M  
 RAYON HYDRAULIQUE..... 0.153 M  
 COEF. K11/2..... 1.171

VITESSE MOY. DE SURFACE.. 0.306 M/S  
 VITESSE MAXIMUM..... 0.413 M/S  
 RAPPORT VMOY/VMOYS..... 1.093

VITESSE MOYENNE..... 0.335 M/S  
 SECTION MOUILLEE..... 0.372 M2  
 COTE MOYENNE..... -1.007 M

DEBIT..... 0.125 M3/S

DETAIL DES RESULTATS  
 =====

FORMULE D ETALONNAGE  
 QUEL QUE SOIT N  $V = 0.1030 * N + 0.0160$

TEMPS PRESELECTIONNE EN 1/10 S 300.

HEURE	COTE M	DISTANCE M	PROF M	TOPS	TEMPS 1/10S	VITESSE M/S	DEBIT LAM M2/S
14.00	-1.007	2.400	0.000				0.000
		1.700	0.190				
			0.050	88.	300.	0.320	
			0.100	102.	300.	0.362	
			0.160	109.	300.	0.392	0.066
		1.100	0.200				
			0.050	96.	300.	0.348	
			0.110	110.	300.	0.396	
			0.160	115.	300.	0.413	0.075
		0.200	0.155				
			0.060	76.	300.	0.279	
			0.120	75.	300.	0.275	0.041
15.30	-1.007	0.000	0.135				0.029

Fig. 5 . Defouillement du jaugeage aval (section 2) avec 3 verticales de mesures.

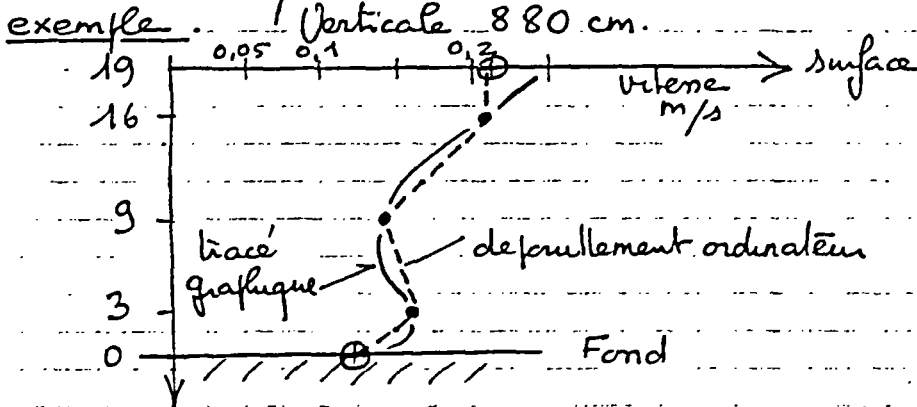
## 4.2 - Déroulement à l'ordinateur

### INITIATION A L'UTILISATION DU LOGICIEL "DEPJAU" sur (EVA)

NB : ce logiciel existe aussi sur microordinateur MICRAL en Fortran, sur APPLE 2C en Basic-Apple soft et sur VICTOR en Basic-Microsoft.

Les figures 3 et 4 donnent les listing des déroulements ordinateur.

- Contrôle des déroulements.



répartition anormale des vitesses sur cette verticale : freinage à mi-hauteur, vitesse plus forte au fond.  
→ imprecision entre la verticale 850 et le bord à 885 cm

### Résultats

jaugeage amont	120 p/s.	20 mesures de vitesse
jaugeage aval	133 p/s	27 mesures de vitesse

### Influence du nombre de verticales de mesure sur la précision du jaugeage

Pour apprécier la précision des jaugeages au moulinet nous avons comparé le jaugeage aval (section 2) en ne retenant que trois verticales de mesure. Le tableau ci dessous donne les résultats de ce déroulement et la comparaison avec ceux obtenus avec les 10 verticales de mesure.

Nombre de verticales	Nombre de points de mesure des vitesses	Débit p/s
10	27	133
3	8	125

La figure 5 donne le listing des déroulements. On constate, que dans ce cas, avec 3 verticales seulement de mesure on aurait sous-estimé le débit d'environ 6%.

Les récentes études ont montré, que parmi les différentes causes d'erreurs sur les jaugeages, la principale cause d'erreur est imputable au nombre de points de mesure des vitesses, et au nombre de verticales de mesure.

## TRAVAUX DIRIGES

DEPOUILLEMENT DE JAUGEAGES AU MOULINET  
A L'ORDINATEURThème

1. Dépeillement à l'ordinateur d'un jaugeage au moulinet
2. Analyse de la précision d'un jaugeage en fonction du nombre de verticales de mesure et de leur représentativité.  
Parmi les 7 verticales d'un jaugeage on en a choisi 3 et 5 avec deux répartitions différentes. On a ainsi 4 jaugeages dont on pourra comparer les résultats

n° exemple	nb de verticales	nb de l <sub>i</sub> de mesure des vitesses	Debit $\frac{Q}{s}$	ecart % $\frac{Q_n - Q_1}{Q_1} \times 100$
1	7	26	1220	0
2	5	20	1200	-1,6
3	5	19	1040	-14,8
4	3	13	923	-24,3

Exemple 1



**BUREAU DE RECHERCHES  
GÉOLOGIQUES ET MINIÈRES**

Jaugeage au moulinet

N° 5-87

Dénomination du point d'eau ..... ..... Rivière Blanche ..... Station ..... Moulin .....  N° d'identification ..... 1X-32 ..... Date ..... 12. mars. 1987 ..... Opérateur ..... A. DUPONT .....  Température °C Eau. 15,7° Air. 18,9° Conductivité .. 526 .. microS/cm à 25.°C Résistivité ..... à .....°C	TYPE DE JAUGEAGE Nombre de bras 1 Gué / Pont ..... Normal par points .....  CARACTERISTIQUES DU MICRO/MOULINET Marque .. O.T.T. - C2 .. N° ..... Hélice n° 1 ..... 2 ..... 3 ..... 4 ..... 5 ..... cm Etalonnage $V = 0,0623 \cdot n + 0,015$ $K1 = 1,82 \cdot V = 0,0579 \cdot n + 0,023$ $K2 = 6,55 \cdot V = 0,455 \cdot n + 0,042$ Type de perche simple. Ø. 9 mm. Compteur d'impulsions. C.J.R. 33 ....
--	--

Heure minute	Cote cm	Distance cm	Profondeur cm		Tops	Temps 1/10s	Observations	
			totale	mesure				
11	103	10	30				R.D	
		20	50				S	Présélection des temps 30s
				3	349	300	F	
				14	485			
				25	535			
				36	563			
				47	544			
		60	80				S	
				3	515	300	F	
				23	566			
				41	620			
				60	670			
				77	658			
		110	60				S	
				3	328	300	F	
				16	426			
				30	493			
				43	525			
				57	509			
		210	30				S	
				3	271	300	F	
				9	302			
				15	315			
				21	321			
				27	317			
		310	20				S	
				3	224	300	F	
				10	278			
				17	313			
		350	9				S	
				3	210	300	F	
				6	230			
		400	4				S	
				3	185	300	F	
12	115	104	410	0				RG

DEPOUILLEMENT D'UN Jaugeage AU MOULINET

Nom du point d'eau **Rivière Blanche**

Nom de la station **Moulin**  
 N° d'identification **1X-32**  
 Date de la mesure **12-3-1987 à 11.43**

Largeur **4.000 m**  
 Profondeur moyenne **.361 m**  
 Profondeur maximum **.800 m**  
 Rayon hydraulique **.304 m**  
 Coef. KI 1/2 **1.869**  
 Vitesse moy.surface **.739 m/s**  
 Vitesse maximum **1.270 m/s**  
 Coef. Vmoy/Vmoy surf **1.144**

Vitesse moyenne **.845 m/s**  
 Section mouillée **1.443 m2**  
 Cote moyenne **1.035 m**

DEBIT ..... **1.22 m3/s**

Détail des résultats

=====

Formule d'étalonnage

$N < 1.82$   $V = .0623 * N + .015$   
 $1.82 < N < 6.55$   $V = .0579 * N + .023$   
 $N > 6.55$   $V = .055 * N + .042$

Temps présélectionné en 1/10s **300**

Heure	Cote m	Distance m	Prof m	Tops	Temps 1/10s	Vitesse m/s	Débit lam m2/s
11.1	1.03	.1	.3				.229
		.2	.5				
			.03	349	300	.682	
			.14	485	300	.931	
			.25	535	300	1.023	
			.36	563	300	1.074	
			.47	544	300	1.039	.477
		.6	.8				
			.03	515	300	.986	
			.23	566	300	1.08	
			.41	620	300	1.179	
			.6	670	300	1.27	
			.77	658	300	1.248	.921
		1.1	.6				
			.03	328	300	.643	
			.16	426	300	.823	
			.3	493	300	.946	
			.43	525	300	1.005	
			.57	509	300	.975	.531
		2.1	.3				
			.03	271	300	.539	
			.09	302	300	.596	
			.15	315	300	.62	
			.21	321	300	.631	
			.27	317	300	.623	.179
		3.1	.2				
			.03	224	300	.453	
			.1	278	300	.552	
			.17	313	300	.616	.107
		3.5	.09				
			.03	210	300	.427	
			.06	230	300	.464	.039
		4	.04				
			.03	185	300	.38	.014
12.15	1.04	4.1	0				0



Exemple 2

**BUREAU DE RECHERCHES  
GÉOLOGIQUES ET MINIÈRES**

JAUGEAGE AU MOULINET

N°...5-87

Dénomination du point d'eau.....  
 .....Rivière...Blanche.....  
 Station.....Moulins.....  
 N° d'identification...1X-32.....  
 Date.....12 mars...1987.....  
 Opérateur.....A. Dujont.....  
 Température °C Eau.15,7°.Air.18,9°  
 Conductivité ...526. micros/cm à 25.°C  
 Résistivité..... à ....°C

TYPE DE JAUGEAGE Nombre de bras 1  
 Gué / Pont .....  
 Normal par points.....  
 CARACTERISTIQUES DU MICRO/MOULINET  
 Marque...O.T.T.-C2..N°.....  
 Hélice n°...1.7.....8.5....cm  
 Etalonnage  
 $V = 0,0623 n + 0,015$   
 $K1 = 1,82 V = 0,0579 n + 0,023$   
 $K2 = 6,55 V = 0,055 n + 0,042$   
 Type de perche.1m fl. φ. 9mm.  
 Compteur d'impulsions..C.R.33-F.RON

Heure minute	Cote cm	Distance cm	Profondeur cm		Tops	Temps 1/10s	Observations
			totale	mesure			
11h10	103	10	30				R.D
		60	80				S
				3	515	300	F
				23	566	}	Prise de lecture des temps 30A
				41	620		
				60	670		
				77	658		
		110	60				S
				3	328	300	F
				16	426	}	
				30	493		
				43	525		
				57	509		
		210	30				S
				3	271	300	F
				9	302	}	
				15	315		
				21	321		
				27	317		
		310	20				S
				3	224	300	F
				10	278	}	
				17	313		
		350	9				S
				3	210	300	F
				6	230	/	
12h15	104	410	0				R.G

DEPOUILLEMENT D'UN JAUGEAGE AU MOULINET

Nom du point d'eau **Rivière Blanche**

Nom de la station **Moulin**  
 N° d'identification **IX-32**  
 Date de la mesure **12-3-1987 à 11.43**

Largeur **4.000 m**  
 Profondeur moyenne **.353 m**  
 Profondeur maximum **.800 m**  
 Rayon hydraulique **.302 m**  
 Coef. KI 1/2 **1.894**  
 Vitesse moy.surface **.684 m/s**  
 Vitesse maximum **1.270 m/s**  
 Coef. Vmoy/Vmoy surf **1.245**

Vitesse moyenne **.852 m/s**  
 Section mouillée **1.410 m<sup>2</sup>**  
 Cote moyenne **1.035 m**

DEBIT ..... **1.2 m<sup>3</sup>/s**

Détail des résultats  
 =====

Formule d'étalonnage

N < 1.82                    V = .0623 \* N + .015  
 1.82 < N < 6.55            V = .0579 \* N + .023  
 N > 6.55                    V = .055 \* N + .042

Temps présélectionné en 1/10s    300

Heure	Cote m	Distance m	Prof m	Tops	Temps 1/10s	Vitesse m/s	Débit lam m <sup>2</sup> /s
11.1	1.03	.1	.3				.276
		.6	.8				
			.03	515	300	.986	
			.23	566	300	1.08	
			.41	620	300	1.179	
			.6	670	300	1.27	
			.77	658	300	1.248	.921
		1.1	.6				
			.03	328	300	.643	
			.16	426	300	.823	
			.3	493	300	.946	
			.43	525	300	1.005	
			.57	509	300	.975	.531
		2.1	.3				
			.03	271	300	.539	
			.09	302	300	.596	
			.15	315	300	.62	
			.21	321	300	.631	
			.27	317	300	.623	.179
		3.1	.2				
			.03	224	300	.453	
			.1	278	300	.552	
			.17	313	300	.616	.107
		3.5	.09				
			.03	210	300	.427	
			.06	230	300	.464	.039
12.15	1.04	4.1	0				0



Exemple 3

**BUREAU DE RECHERCHES  
GÉOLOGIQUES ET MINIÈRES**

JAUGEAGE AU MOULINET

N°. 5-87

Dénomination du point d'eau.....  
 .....*Rivière Blanche*.....  
 Station.....*Moulin*.....  
 N° d'identification...*1X-32*.....  
 Date.....*12 mars 1987*.....  
 Opérateur.....*A. Dupont*.....  
 Température °C Eau *15,7°* Air *18,9°*  
 Conductivité ...*526* micros/cm à *25* °C  
 Résistivité..... à .....°C

TYPE DE JAUGEAGE Nombre de bras *1*  
 Gué / Pont .....  
 Normal par points.....  
 CARACTERISTIQUES DU MICRO/MOULINET  
 Marque...*O.T.T.-C2*...N°.....  
 Hélice n°. *1*.....*8*...*5*...cm  
 Etalonnage  
 $V = 0,0623 n + 0,015$   
 $K1 = 1,82 V = 0,0579 n + 0,023$   
 $K2 = 6,55 V = 0,055 n + 0,042$   
 Type de perche...*Simple*... $\phi$  *9*mm...  
 Compteur d'impulsions...*C.R. 33-FRAN*

Heure minute	Cote cm	Distance cm	Profondeur cm		Tops	Temps 1/10s	Observations
			totale	mesure			
<i>11h 10</i>	<i>103</i>	<i>10</i>	<i>30</i>				<i>RD</i>
		<i>20</i>	<i>50</i>				<i>S</i>
				<i>3</i>	<i>349</i>	<i>300</i>	<i>F</i>
				<i>14</i>	<i>485</i>	}	<i>présélection des temps 30s</i>
				<i>25</i>	<i>535</i>		
				<i>36</i>	<i>563</i>		
				<i>47</i>	<i>544</i>		
		<i>110</i>	<i>60</i>				<i>S</i>
				<i>3</i>	<i>328</i>	<i>300</i>	<i>F</i>
				<i>16</i>	<i>426</i>	}	
				<i>30</i>	<i>493</i>		
				<i>43</i>	<i>525</i>		
				<i>57</i>	<i>509</i>		
		<i>210</i>	<i>30</i>				<i>S</i>
				<i>3</i>	<i>271</i>	<i>300</i>	<i>F</i>
				<i>9</i>	<i>302</i>	}	
				<i>15</i>	<i>315</i>		
				<i>21</i>	<i>321</i>		
				<i>27</i>	<i>317</i>		
		<i>310</i>	<i>20</i>				<i>S</i>
				<i>3</i>	<i>224</i>	<i>300</i>	<i>F</i>
				<i>10</i>	<i>278</i>	}	
				<i>17</i>	<i>313</i>		
		<i>400</i>	<i>4</i>				<i>S</i>
				<i>3</i>	<i>185</i>	<i>300</i>	<i>F</i>
<i>12h 15</i>	<i>104</i>	<i>410</i>	<i>0</i>				<i>RG</i>

DEPOUILLEMENT D'UN JAUAGE AU MOULINET

Nom du point d'eau **Rivière Blanche**

Nom de la station **Moulin**  
 N° d'identification **1X-32**  
 Date de la mesure **12-3-1987 à 11.43**

Largeur **4.000 m**  
 Profondeur moyenne **.336 m**  
 Profondeur maximum **.600 m**  
 Rayon hydraulique **.287 m**  
 Coef. KI 1/2 **1.779**  
 Vitesse moy. surface **.717 m/s**  
 Vitesse maximum **1.074 m/s**  
 Coef. Vmoy/Vmoy surf **1.080**

Vitesse moyenne **.775 m/s**  
 Section mouillée **1.345 m2**  
 Cote moyenne **1.035 m**

DEBIT ..... **1.04 m3/s**

Détail des résultats

=====

Formule d'étalonnage

$N < 1.82$   $V = .0623 * N + .015$   
 $1.82 < N < 6.55$   $V = .0579 * N + .023$   
 $N > 6.55$   $V = .055 * N + .042$

Temps présélectionné en 1/10s **300**

Heure	Cote m	Distance m	Prof m	Tops	Temps 1/10s	Vitesse m/s	Débit lam m2/s
11.1	1.03	.1	.3				.229
		.2	.5				
			.03	349	300	.682	
			.14	485	300	.931	
			.25	535	300	1.023	
			.36	563	300	1.074	
			.47	544	300	1.039	.477
		1.1	.6				
			.03	328	300	.643	
			.16	426	300	.823	
			.3	493	300	.946	
			.43	525	300	1.005	
			.57	509	300	.975	.531
		2.1	.3				
			.03	271	300	.539	
			.09	302	300	.596	
			.15	315	300	.62	
			.21	321	300	.631	
			.27	317	300	.623	.179
		3.1	.2				
			.03	224	300	.453	
			.1	278	300	.552	
			.17	313	300	.616	.107
		4	.04				
			.03	185	300	.38	.014
12.15	1.04	4.1	0				0



DEPOUILLEMENT D'UN JAUGEAGE AU MOULINET

Nom du point d'eau **Riviere Blanche**

Nom de la station **Moulin**  
 N° d'identification **1X-32**  
 Date de la mesure **12-3-1987 à 11.43**

Largeur **4.000 m**  
 Profondeur moyenne **.313 m**  
 Profondeur maximum **.600 m**  
 Rayon hydraulique **.282 m**  
 Coef. KI 1/2 **1.718**  
 Vitesse moy.surface **.602 m/s**  
 Vitesse maximum **1.005 m/s**  
 Coef.  $V_{moy}/V_{moy surf}$  **1.226**

Vitesse moyenne **.738 m/s**  
 Section mouillée **1.250 m<sup>2</sup>**  
 Cote moyenne **1.035 m**

DEBIT ..... **.923 m<sup>3</sup>/s**

Détail des résultats

=====

Formule d'étalonnage

$N < 1.82$   $V = .0623 * N + .015$   
 $1.82 < N < 6.55$   $V = .0579 * N + .023$   
 $N > 6.55$   $V = .055 * N + .042$

Temps présélectionné en 1/10s **300**

Heure	Cote m	Distance m	Prof m	Tops	Temps 1/10s	Vitesse m/s	Débit lam m <sup>2</sup> /s
11.1	1.03	.1	.3				.212
		1.1	.6				
			.03	328	300	.643	
			.16	426	300	.823	
			.3	493	300	.946	
			.43	525	300	1.005	
			.57	509	300	.975	.531
		2.1	.3				
			.03	271	300	.539	
			.09	302	300	.596	
			.15	315	300	.62	
			.21	321	300	.631	
			.27	317	300	.623	.179
		3.1	.2				
			.03	224	300	.453	
			.1	278	300	.552	
			.17	313	300	.616	.107
12.15	1.04	4.1	0				0

## **7. REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES**

## REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- ALDEGHERI M. - 1979 - Manuel d'hydrométrie. Tome IV - Mesure des débits à partir des vitesses.  
O.R.S.T.O.M..
- ANDRE H. AUDINET M. MAZERAN G. et RICHER C. - 1976 - Hydrométrie pratique des cours d'eau.  
Eyrolles.
- ANONYME - 1980 - Manual of stream gauging.  
OM1. Operational hydrology report N°13.
- ANONYME - 1979 - Guide des pratiques hydrométéorologiques.  
OM1. N°168. TP. B2.
- ANONYME - 1987 - Programme GRETA. Graphique En Temps Automatisé. Notice d'utilisation provisoire.  
BRGM SGN/EAU.
- ANONYME - 1976 - DISCHARGE MEASUREMENT STRUCTURES.  
DELFT HYDRAULICS LABORATORY. Publication N° 161.
- ANONYME - 1987 - Guide de prévision des crues.  
Ministère de l'Environnement - SHF.
- ANONYME - 1971 - Use of weirs and flumes in stream gauging.  
WMO. N°280 - Technical note n°117.
- AUSSEUR J.Y. JEAN Ph. - 1987 - Guide d'utilisation de MADU.  
B.R.G.M. - Rapp. n° 87 SGN 474 EAU.
- CARLIER M. - 1972 - Hydraulique générale et appliquée.  
Eyrolles.
- CASTEX L. - 1969 - Quelques nouveautés sur les déversoirs pour la mesure des débits.  
La HOUILLE BLANCHE - N°5-1969.
- DICONNE M.-A. - 1972 - Les jaugeages des débits des cours d'eau au moulinet hydrométrique par la méthode d'intégration.  
La HOUILLE BLANCHE - N°1-1972.
- GALLE-CAVALLONI H. FARAND R. - 1973 - Stations de jaugeage en haute altitude. Principes et méthodes de réalisation.  
B.R.G.M. - Rapp. 73 SGN 151 AME.
- GOUBET A. - 1969 - Détermination des débits dans les rivières herbeuses.  
La HOUILLE BLANCHE - N°5-1969.
- GROUD P. - 1966 - Contribution à l'étude du déversoir Thomson. essai de formulation d'une loi de débit d'un déversoir Thomson. Influence de la pelle.  
Thèse de Docteur-Ingénieur Fac. des Sc. de Toulouse.
- LABORDE J.F. - 1982 - Eléments d'hydrologie de surface.  
Ecole Nat. Sup. de Géol. appliquée et de Prospection Minière. Nancy.
- LENCASTRE A. - 1969 - Manuel d'hydraulique générale.  
Eyrolles.

- NORMAND M. - 1985 - Programme DEPJAU. DEPouillement de JAUgeages au moulinet.  
B.R.G.M. - Note technique SGN/EAU n° 85/32.
- REMENIERAS G. - 1972 - L'hydrologie de l'ingénieur.  
Eyrolles.
- ROCHE M. - 1963 - Hydrologie de surface.  
Gauthier-Villars.
- ROCHE M.F. - 1986 - Dictionnaire français d'hydrologie.  
MASSON.
- THIERY D. - 1985 - La chaîne DELPHES. DEPouillement de données Limnigraphiques.  
B.R.G.M. - Note technique SGN/EAU n° 85/25.
- TROKOLANSKI A. - 1962 - Théorie et pratique des mesures hydrauliques.  
Dunod.
- VARIERAS A. - 1987 - Mise au point de logiciels de communication avec MADO.  
B.R.G.M. - Rapp.87 SGN 474 EAU (Stage Ecole Sup. de l'Energie et des Matériaux).
- FARAND R. NORMAND M. - 1987 - Présentation de la station climatologique automatique CENTRALP..  
B.R.G.M. Note technique SGN/EAU n° 87/26..

2. Ajustement par la méthode des moindres carrés

L'équation  $Q = a (H - H_0)^b$  peut s'écrire sous la forme linéaire suivante :

$$\ln Q = \ln a + b \cdot \ln (H - H_0)$$

où  $\ln a$  est le logarithme népérien de  $a$ .

Les paramètres de cette droite  $\ln a$  et  $b$  peuvent être déterminés :

- soit par un ajustement graphique sur papier log-log,
- soit par la méthode des moindres carrés

La détermination de  $H_0$  pourrait se faire de façon analytique mais on lui préférera ici une méthode de détermination par approximations successives. On ajustera une droite des moindres carrés pour différentes valeurs de  $H_0$  et on cherchera la valeur de  $H_0$  qui permet d'avoir le meilleur coefficient de corrélation.

Exemple

Calculer l'équation de la courbe de tarage du type  $Q = a(H - H_0)^b$  à partir de l'échantillon suivant?

H cm	Q p/s		H cm	Q p/s
158	2972		129	1636
151	2736		125	1528
141,8	2364		122	1360
141	2112		119,1	1260
132,5	1796		116,4	1180
132	1707		116,7	1172
			117	1132

Nous ajustons des droites des moindres carrés aux 13 couples de points expérimentaux  $\ln (H - H_0)$ ,  $\ln Q$  en faisant varier  $H_0$ . La valeur optimisée de  $H_0$  est celle pour laquelle le coefficient de corrélation  $r$  est maximum ou l'écart type  $\ln^2 \sigma$  minimum. Le tableau 1 donne les résultats de ces calculs.

$H_0$	$\mu$	$a$	$b$	$\sigma$
0	0,99495	$2,73525 \cdot 10^{-4}$	3,20965	0,03427
-20	0,99526	$4,50160 \cdot 10^{-3}$	2,72844	0,03321
-50	0,99575	0,25995	2,00261	0,03147
-60	0,99586	0,96054	1,75872	0,03106
-64	0,995879	1,60881	1,66071	0,03099
-65	0,995880	1,82902	1,63616	0,03098
-66	0,995879	2,07883	1,61159	0,03099
-70	0,99586	3,45975	1,51307	0,03106
-80	0,99559	12,12600	1,26465	0,03207

Tabl. - Ajustement de  $H_0$  par approximations successives

l'équation retenue pour la courbe de tarage sera donc :

$$Q = 1,82902 (H - 65)^{1,63616}$$

où  $Q$  est le débit en l/s.

$H$  est la cote lue à l'échelle en cm

$$\mu = 0,99588$$

$$\sigma = 0,03098$$

La valeur de  $H_0 = -65$  est donc négative ce qui signifie que le zéro de l'échelle est situé en dessous de la crête du seuil de contrôle. L'exposant  $b = 1,63616$  est voisin de celui d'une section rectangulaire.

Extrapolation : calcul du débit pour la cote 178 cm

$$Q = 1,82902 (178 - 65)^{1,63616} = 4182 \text{ l/s}$$

Notons que cette valeur est notablement différente de celle que l'on peut calculer avec la relation où  $H_0 = 0$

$$Q = 2,73525 \cdot 10^{-4} \cdot 178^{3,20965} = 4572 \text{ l/s}$$

On commet donc une erreur importante en extrapolant une relation où  $H_0$  n'a pas été optimisée. Dans cet exemple cela conduit à une surestimation de 10% du débit

### 3. Précision de la courbe de tarage

L'équation de régression entre  $H$  et  $Q$  peut s'écrire sous la forme :

$$\ln Q = \ln a + b \cdot \ln(H - H_0) \pm t \cdot \sigma$$

où  $t$  est un facteur fréquentiel pour un seuil de confiance  $\alpha$  donné d'après la loi de STUDENT à  $(n-1)$  degrés de liberté

$n$  est le nombre de couples de valeurs  $(Q, H)$

$\sigma$  est l'écart type lié de  $\ln Q$  par rapport à  $\ln(H - H_0)$

On peut écrire :

$$\ln Q = \ln a + b \cdot \ln(H - H_0) \pm \ln(e^{t\sigma})$$

Les bornes de l'intervalle de confiance du débit pour un seuil de confiance  $\alpha$  donné seront donc :

$$* \ln Q_1 = \ln a + b \cdot \ln(H - H_0) + \ln e^{t\sigma}$$

$$Q_1 = a \cdot (H - H_0)^b \cdot e^{t\sigma}$$

$$* \ln Q_2 = \ln a + b \cdot \ln(H - H_0) - \ln e^{t\sigma}$$

$$Q_2 = a \cdot (H - H_0)^b \cdot \frac{1}{e^{t\sigma}}$$

en posant  $c = e^{t\sigma}$

on aura donc

$$a(H - H_0)^b \cdot \frac{1}{c} < Q < a(H - H_0)^b \cdot c$$

#### Exemple

Calculer l'intervalle de confiance à 90%, 95 et 99% du débit pour la cote 178 cm?

Nous avons la relation  $Q = 1,82902(H - 65)^{1,63616}$

$$n = 13$$

$$\sigma = 0,03098$$

$$c = e^{t\sigma}$$

La valeur de  $t$  pour les seuils de confiance de 90, 95 et 99% est donnée par des tables de la loi de STUDENT pour  $13-1=12$  degrés de liberté soit respectivement 1,782, 2,170 et 3,055.

$H_0 = 0$  $H_0 = -65$ 

100	718	615
105	840	765
110	975	927
115	1125	1102
120	1290	1287
125	1470	1484
130	1667	1692
135	1882	1910
140	2115	2139
145	2367	2377
150	2639	2625
155	2932	2882
160	3247	3148
165	3584	3424
170	3944	3709
175	4329	4002
180	4738	4304
185	5174	4614
190	5636	4933
195	6126	5260
200	6645	5595

seuil de confiance %	facteur fréquentiel $t$ Student	$c = e^{t\sigma}$	Intervalle de confiance	
			Borne inférieure	Borne supérieure
90	1,782	1,05676	3957	4419
95	2,170	1,06954	3910	4473
99	3,055	1,09927	3804	4597

Tabl. - Intervalle de confiance des débits - pour  $H = 178$   
(valeur moyenne 4182 P/s)

L'écart moyen  $(E)$  par rapport à la valeur moyenne est donc

$$E = \frac{(Q_1 - Q_2)}{2} = \frac{cQ - Q/c}{2}$$

L'erreur relative moyenne sera donc donnée par la relation

$$ER = \left( \frac{cQ - Q/c}{2} \right) / Q$$

soit en %

$$ER = \left( \frac{c}{2} - \frac{1}{2c} \right) \times 100$$

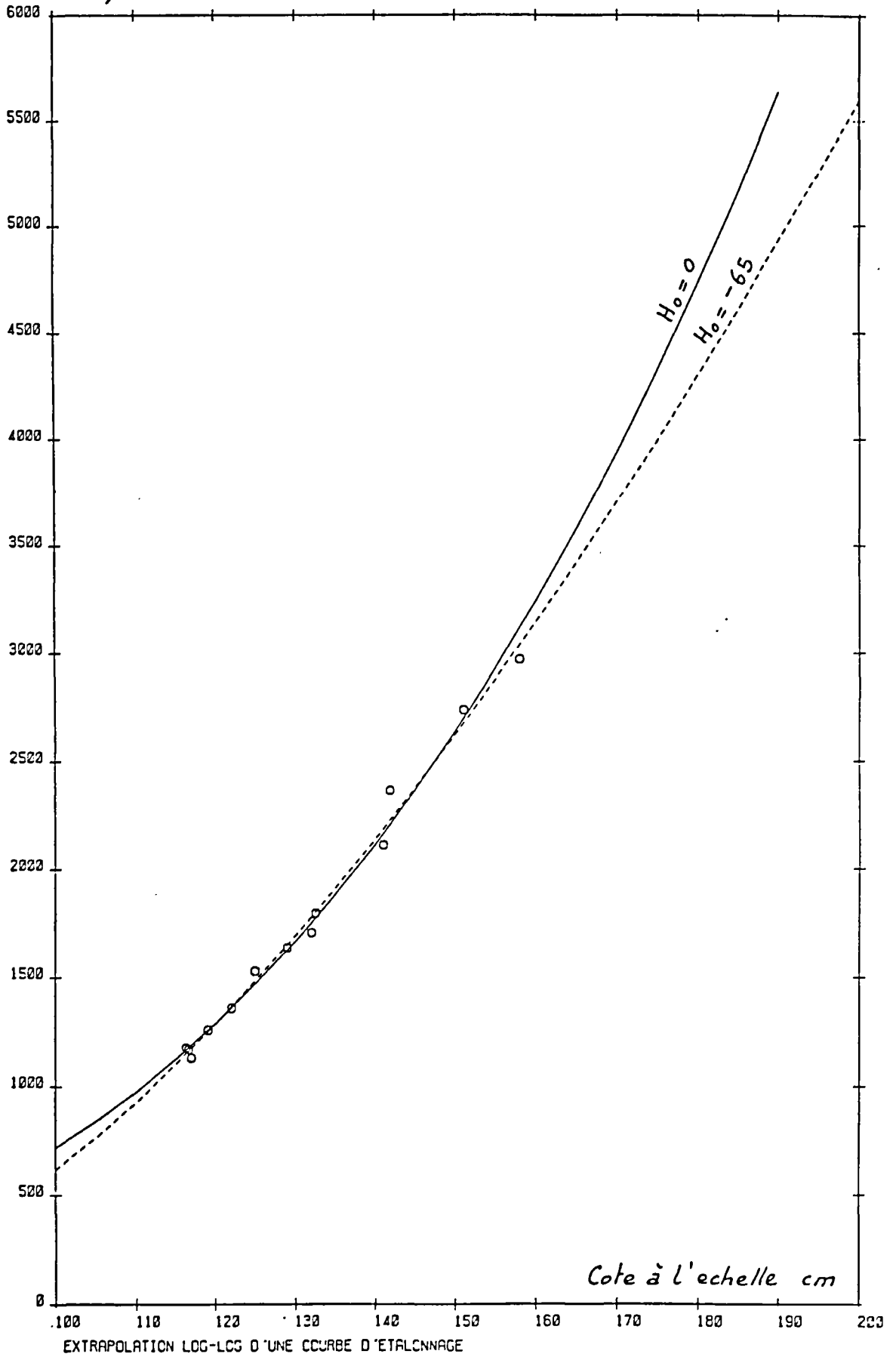
Ce raisonnement n'est pas tout à fait exact en raison de la dissymétrie des écarts de part et d'autre de la valeur moyenne mais il permet de fixer l'ordre de grandeur de la précision de la valeur calculée

### Exemple

Calculer l'erreur relative sur la valeur du débit correspondant à la cote 178 cm, pour les seuils de confiance 90 95 et 99% ?

seuil de confiance %	Erreur relative en %
90	± 5,5
95	± 6,7
99	± 9,5

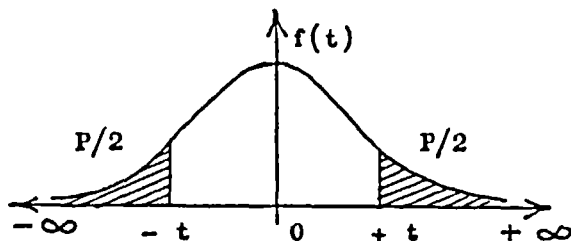
Debit  $l/s$



ANNEXE 1

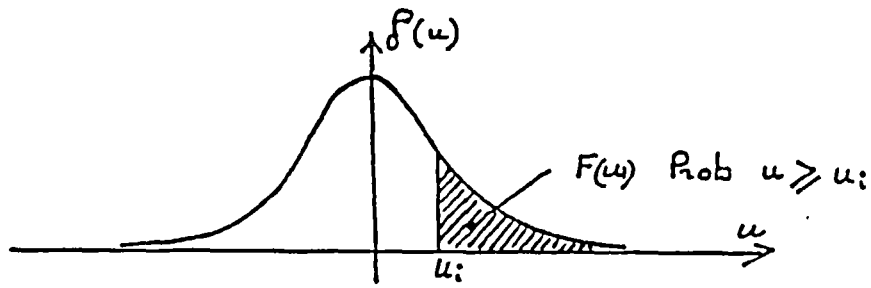
Valeurs critiques de  $t$  ayant la probabilité  $P$  d'être dépassées en valeur absolue en fonction du nombre  $\nu$  de degré de liberté

Loi de STUDENT



$1 - P$	0,20	0,50	0,80	0,90	0,95	0,98	0,99	0,995	0,998	0,999
$\nu$ P	0,80	0,50	0,20	0,10	0,05	0,02	0,01	0,005	0,002	0,001
1	0.325	1.000	3.078	6.314	12.706	31.821	63.657	127.32	318.31	636.62
2	0.289	0.816	1.886	2.920	4.303	6.965	9.925	14.089	22.326	31.598
3	0.277	0.765	1.638	2.353	3.182	4.541	5.841	7.453	10.213	12.924
4	0.271	0.741	1.533	2.132	2.776	3.747	4.604	5.598	7.173	8.610
5	0.267	0.727	1.476	2.015	2.571	3.365	4.032	4.773	5.893	6.860
6	0.265	0.718	1.440	1.943	2.447	3.143	3.707	4.317	5.208	5.959
7	0.263	0.711	1.415	1.895	2.365	2.998	3.499	4.029	4.785	5.408
8	0.262	0.706	1.397	1.860	2.306	2.896	3.355	3.833	4.501	5.041
9	0.261	0.703	1.383	1.833	2.262	2.821	3.250	3.690	4.297	4.781
10	0.260	0.700	1.372	1.812	2.228	2.761	3.169	3.581	4.144	4.587
11	0.260	0.697	1.363	1.796	2.201	2.718	3.106	3.497	4.025	4.437
12	0.259	0.695	1.356	1.782	2.179	2.681	3.055	3.428	3.930	4.318
13	0.259	0.694	1.350	1.771	2.160	2.650	3.012	3.372	3.852	4.221
14	0.258	0.692	1.345	1.761	2.145	2.624	2.977	3.326	3.787	4.140
15	0.258	0.691	1.341	1.753	2.131	2.602	2.947	3.286	3.733	4.073
16	0.258	0.690	1.337	1.746	2.120	2.583	2.921	3.252	3.686	4.015
17	0.257	0.689	1.333	1.740	2.110	2.567	2.898	3.222	3.646	3.965
18	0.257	0.688	1.330	1.734	2.101	2.552	2.878	3.197	3.610	3.922
19	0.257	0.688	1.328	1.729	2.093	2.539	2.861	3.174	3.579	3.883
20	0.257	0.687	1.325	1.725	2.086	2.528	2.845	3.153	3.552	3.850
21	0.257	0.686	1.323	1.721	2.080	2.518	2.831	3.135	3.527	3.819
22	0.256	0.686	1.321	1.717	2.074	2.508	2.819	3.119	3.505	3.792
23	0.256	0.685	1.319	1.714	2.069	2.500	2.807	3.104	3.485	3.767
24	0.256	0.685	1.318	1.711	2.064	2.492	2.797	3.091	3.467	3.745
25	0.256	0.684	1.316	1.708	2.060	2.485	2.787	3.078	3.450	3.725
26	0.256	0.684	1.315	1.706	2.056	2.479	2.779	3.067	3.435	3.707
27	0.256	0.684	1.314	1.703	2.052	2.473	2.771	3.057	3.421	3.690
28	0.256	0.683	1.313	1.701	2.048	2.467	2.763	3.047	3.408	3.674
29	0.256	0.683	1.311	1.699	2.045	2.462	2.756	3.038	3.396	3.659
30	0.256	0.683	1.310	1.697	2.042	2.457	2.750	3.030	3.385	3.646
40	0.255	0.681	1.303	1.684	2.021	2.423	2.704	2.971	3.307	3.551
60	0.254	0.679	1.296	1.671	2.000	2.390	2.660	2.915	3.232	3.460
120	0.254	0.677	1.289	1.658	1.980	2.358	2.617	2.860	3.160	3.373
$\infty$	0.253	0.674	1.282	1.645	1.960	2.326	2.576	2.807	3.090	3.291

# Annexe - LOI de GAUSS



Fonction de repartition de la loi normale reduite  
Probabilité de dépassement

Valeurs de l'intégrale de Gauss pour  $u > 0$   
(Probabilités pour que  $u$  soit supérieur ou égal à ...)

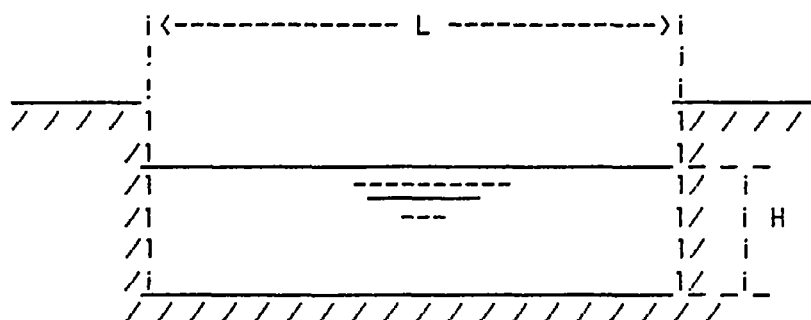
u		0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
0,0	0,	50000	49601	49202	48803	48405	48006	47608	47210	46812	46414
0,1		46017	45620	45224	44828	44433	44038	43644	43251	42858	42465
0,2		42074	41683	41294	40905	40517	40129	39743	39358	38974	38591
0,3		38209	37828	37448	37070	36693	36317	35942	35569	35197	34827
0,4		34458	34090	33724	33360	32997	32636	32276	31918	31561	31207
0,5		30854	30503	30153	29806	29460	29116	28774	28434	28096	27760
0,6		27425	27093	26763	26435	26109	25785	25463	25143	24825	24510
0,7		24196	23885	23576	23270	22965	22663	22363	22065	21770	21476
0,8		21186	20897	20611	20327	20045	19766	19489	19215	18943	18673
0,9		18406	18141	17879	17619	17361	17106	16853	16602	16354	16109
1,0		15866	15625	15386	15151	14917	14686	14457	14231	14007	13786
1,1		13567	13350	13136	12924	12714	12507	12302	12100	11900	11702
1,2		11507	11314	11123	10935	10749	10565	10383	10204	10027	98525
1,3	0,0	96800	95098	93418	91759	90123	88508	86915	85343	83793	82264
1,4		80757	79270	77804	76359	74934	73529	72145	70781	69437	68112
1,5		66807	65522	64255	63008	61780	60571	59380	58208	57053	55917
1,6		54799	53699	52616	51551	50503	49471	48457	47460	46479	45514
1,7		44565	43633	42716	41815	40930	40059	39204	38364	37538	36727
1,8		35930	35148	34380	33625	32884	32157	31443	30742	30054	29379
1,9		28717	28067	27429	26803	26190	25588	24998	24419	23852	23295
2,0		22750	22216	21692	21178	20675	20182	19699	19226	18763	18309
2,1		17864	17429	17003	16586	16177	15778	15386	15003	14629	14262
2,2		13903	13553	13209	12874	12545	12224	11911	11604	11304	11011
2,3		10724	10444	10170	99031	96419	93867	91375	88940	86563	84242
2,4	0,0 <sup>2</sup>	81975	79763	77603	75494	73436	71428	69469	67557	65691	63872
2,5		62097	60366	58677	57031	55426	53861	52336	50849	49400	47988
2,6		46612	45271	43965	42692	41453	40246	39070	37926	36811	35726
2,7		34670	33642	32641	31667	30720	29798	28901	28028	27179	26354
2,8		25551	24771	24012	23274	22557	21860	21182	20524	19884	19262
2,9		18658	18071	17502	16948	16411	15889	15382	14890	14412	13949
3,0		13499	13062	12639	12228	11829	11442	11067	10703	10350	10008
3,1	0,0 <sup>3</sup>	96760	93544	90426	87403	84474	81635	78885	76219	73638	71136
3,2		68714	66367	64095	61895	59765	57703	55706	53774	51904	50094
3,3		48342	46648	45009	43423	41889	40406	38971	37584	36243	34946
3,4		33693	32481	31311	30179	29086	28029	27009	26023	25071	24151
3,5		23263	22405	21577	20778	20006	19262	18543	17849	17180	16534
3,6		15911	15310	14730	14171	13632	13112	12611	12128	11662	11213
3,7		10780	10363	99611	95740	92010	88417	84957	81624	78414	75324
3,8	0,0 <sup>4</sup>	72348	69483	66726	64072	61517	59059	56694	54418	52228	50122
3,9		48096	46148	44274	42473	40741	39076	37475	35936	34458	33037
4,0		31671	30359	29099	27888	26726	25609	24536	23507	22518	21569
4,1		20658	19783	18944	18138	17365	16624	15912	15230	14575	13948
4,2		13346	12769	12215	11685	11176	10689	10221	97736	93447	89337
4,3	0,0 <sup>5</sup>	85399	81627	78015	74555	71241	68069	65031	62123	59340	56675
4,4		54125	51685	49350	47117	44979	42935	40980	39110	37322	35612
4,5		33977	32414	30920	29492	28127	26823	25577	24386	23249	22162
4,6		21125	20133	19187	18283	17420	16597	15810	15060	14344	13660
4,7		13008	12386	11792	11226	10686	10171	96796	92113	87648	83391
4,8	0,0 <sup>6</sup>	79333	75465	71779	68267	64920	61731	58693	55799	53043	50418
4,9		47918	45538	43272	41115	39061	37107	35247	33476	31792	30190

Pour  $u < 0$ , il suffit de prendre le complément à 1 des valeurs contenues dans le tableau, les nombres de la première colonne désignant alors les valeurs absolues de  $u$ .

## Stage hydrologie

INFLUENCE D'UNE MODIFICATION DE LA RUGOSITE  
DES BERGES ET DU FOND SUR LES HAUTEURS D'EAU

Nous allons montrer l'influence d'une modification de la rugosité des berges et du fond sur le niveau de l'eau dans un cours d'eau à partir du cas simple d'une section de forme rectangulaire :



Q = débit  
S = section mouillée  
L = largeur  
H = tirant d'eau  
K = coefficient de Manning-Strickler  
i = Pente hydraulique  
R = Rayon hydraulique  
V = vitesse moyenne  
P = périmètre mouillé

$$Q = S \cdot V \quad \text{avec} \quad V = K \cdot i^{1/2} \cdot R^{2/3}$$

$$R = S / P = (H \cdot L) / (2 \cdot H + L)$$

Si on suppose que  $2 \cdot H$  est négligeable devant  $L$  on pourra écrire :

$$R \approx (H \cdot L) / L \approx H$$

$$Q = L \cdot H \cdot K \cdot i^{1/2} \cdot H^{2/3}$$

$$Q = L \cdot H^{5/3} \cdot i^{1/2} \cdot K$$

Avec cette relation nous pouvons quantifier l'influence d'une modification de la rugosité des berges donc du coefficient  $K$  de la formule de Manning-Strickler sur les hauteurs d'eau dans le cours d'eau. Nous prendrons comme exemple une modification du coefficient  $K$  passant de 15 à 28 toutes choses étant égales par ailleurs : mêmes débit, pente hydraulique et largeur de la section. L'influence de cette modification de  $K$  sur le tirant d'eau  $H$  sera donnée par la relation :

$$L \cdot H_1^{5/3} \cdot i^{1/2} \cdot K_1 = L \cdot H_2^{5/3} \cdot i^{1/2} \cdot K_2$$

$$(H_1 / H_2)^{5/3} = K_2 / K_1$$

$$H_1 / H_2 = (K_2 / K_1)^{3/5}$$

## Stage hydrologie

Soit avec les valeurs  $K_1 = 15$  et  $K_2 = 28$  :

$$H_1 / H_2 = ( 28 / 15 )^{3/5} = 1.45$$

$$\text{ou encore } H_1 = 1,45 \cdot H_2 \quad \text{et} \quad H_2 = 0,69 \cdot H_1$$

Ainsi le débroussaillage du lit d'un cours d'eau qui fait passer le coefficient de Manning-Strickler de 15 (lit encombré de végétation) et 28 (lit débroussaillé) permettra de réduire la hauteur d'eau de 69 % de ce qu'elle était avant le débroussaillage pour le même débit.