





INSTITUT INTERAMÉRICAIN DE COOPÉRATION POUR L'AGRICULTURE

IICA-CIDIA

BUREAU EN HAÏTI

IICA

\*\*\*\*\*

\*\*\*\*\*

\*\*\*\*\* MARND R \*\*\*\*\*

\*\*\*\*\* FAM V \*\*\*\*\*

\*\*\*\*\* IICA \*\*\*\*\*

\*\*\*\*\*

\*\*\*\*\*

\*\*\*\*\*

\*\*\*\*\*

\*\*\*\*\*

\*\*\*\*\*

\*\*\*\*\*

\*\*\*\*\*

\*\*\*\*\*

\*\*\*\*\*

\*\*\*\*\*

\*\*\*\*\*

\*\*\*\*\*

\*\*\*\*\*

\*\*\*\*\*

\*\*\*\*\*

\*\*\*\*\*

\*\*\*\*\*

\*\*\*\*\*

\*\*\*\*\*

\*\*\*\*\*

\*\*\*\*\*

\*\*\*\*\*

\*\*\*\*\*

\*\*\*\*\*

\*\*\*\*\*

\*\*\*\*\*

\*\*\*\*\*

\*\*\*\*\*

\*\*\*\*\*

\*\*\*\*\*

\*\*\*\*\*

\*\*\*\*\*

\*\*\*\*\*

\*\*\*\*\*

MARND R  
FAM V  
IICA

UNIDAD  
ACDI

**PREMIER  
COURS NATIONAL  
POST-GRADUE  
SUR L'IRRIGATION,  
LE DRAINAGE  
ET LA GESTION  
DES RESSOURCES  
HYDRIQUES**

15 Juillet - 30 Septembre 1988

Port-au-Prince, Haïti

VOLUME II

ISSN-598-0534-5391

REVISION ET EDITION: HUMBERTO PIZARRO  
Spécialiste en Irrigation et Drainage  
IICA - HAÏTI

CONSIDÉRATION DE BASE

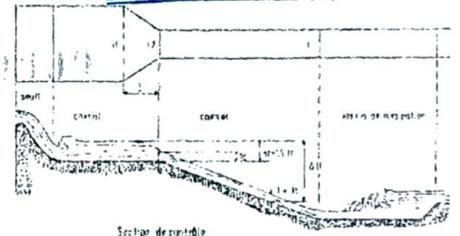
POUR DIMENSIONNER

LES STRUCTURES HYDRAULIQUES

Centre Interamericano de  
Documentación e  
Información Agrícola

29 JUL 1988

IICA - CIDIA

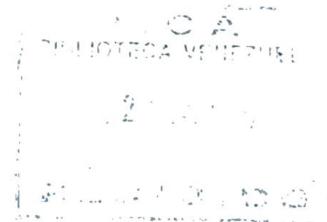


Sección de control

Nivel de agua en la corona

PAR :

Guy Bernadotte, Ing, H. IHC.



00008276

~~00000623~~

LES CANAUX D'IRRIGATION

5.1 Dimensionnement hydraulique des canaux d'irrigation

5.1.1 Formule de Manning

On utilisera la formule de Manning:

$$Q = \frac{1}{n} AR^{2/3} S^{1/2} \quad (5.1)$$

où:

Q : Débit ( $m^3/s$ )

A : Surface de la section mouillée ( $m^2$ )

R : Rayon hydraulique (m)

S : Pente de la ligne d'énergie, en écoulement uniforme et permanent est égale à la pente du fond du canal.

n : Coefficient de rugosité

En général, le débit et la pente du terrain sont les deux éléments connus.

Le Coefficient de rugosité dépend du type de parois

Tableau V.- Valeurs du coefficient de rugosité  $n$ , pour les cas les plus fréquents

Condition de la Surface	Valeur de $n$ .
<u>Canaux sans Revêtement</u>	
. Canaux en terre naturelle lisses, libres de végétation aquatique, faible rayon de courbure.	0,020
. Canaux de petites dimensions, en bon état.	0,025
. Canaux en terre, avec végétation aquatique déjà importante.	0,030 - 0,035
. Canaux en terre, avec végétation aquatique dense	0,040 - 0,050
<u>Canaux creusés dans le roc</u>	
. Canaux d'amenée	0,030 - 0,035
. Petits canaux	0,035 - 0,040
. Canaux lisses et uniformes	0,025 - 0,040
. Ebréchés et irréguliers	0,035 - 0,050
<u>Canaux avec revêtement</u>	
Béton de ciment	
. Cas rare de finition exceptionnellement bonne	0,011
. Revêtement très bien fini	0,013
. Valeur universellement adoptée pour des revêtements bien finis	0,014
. Valeur universellement adoptée pour des revêtement d'exécution moyenne	0,015
. Valeur largement adoptée pour des tronçons d'exécution médiocre ou pour des tronçons en courbes	0,017
. Canaux médiocrement exécutés, mal entretenus	0,018
<u>Moellons bruts assemblés au ciment</u>	
. Parois très bon	0,017
. Parois bon	0,020
. Parois assez bon	0,025
. Parois mauvais	0,030

S'il s'agit de canaux en terre, la pente du talus du canal va dépendre des caractéristiques du sol.

Tableau V-2 Fruits de Berges ou pentes du Talus des Canaux

Nature du Terrain	Pente talus $\frac{Z}{I} = \frac{\text{base}}{\text{hauteur}}$
Rocher très franc, sans danger de chute de pierre	(1/10) / 1
Rocher dur, sain, en bancs	(1/15) / 1
Rocher désagrégé	0,5 / 1
Conglomérats et argiles dures	0,75 / 1
Talus de déblais ordinaire	
.	
. avec argile	1 / 3
. terres argileuses	1 / 2
. terres franches	1 / 1
. terres sabloneuses	3 / 2
Talus de remblais en terre ordinaire	1,5 / 1
Talus de remblais en terre argileuse, sableux	2 / 1
Terrain très sabloneux	3 / 1

Les deux grandeurs caractéristiques de la section sont la profondeur "d" de l'eau, grandeur à laquelle il faut ajouter une revanche de 0.15 m et la largeur à la base "b".

L'équation (1) peut s'écrire:

$$b^3 = \frac{Q \cdot n}{S^{1/2} \cdot K'} \quad (5.2)$$

en posant:  $\frac{d}{b} = \alpha$

$$K' = \frac{(\alpha + Z \alpha^2)^{5/3}}{(1 + 2 \sqrt{1 + Z^2 \cdot \alpha})^{2/3}} \quad (5.3)$$

Le fruit de berge étant fixé, la valeur de  $K'$  dépend du rapport de la profondeur d'eau sur la largeur à la base. Il a été démontré que pour un canal trapézoïdal le rapport optimal est donné par l'expression:

$$\alpha_{\text{opt}} = \frac{1}{2(\sqrt{1 + Z^2} - Z)} \quad (5.4)$$

En remplaçant la valeur d'alpha ( $\alpha$ ) dans les équations (3) et (2) nous trouvons la largeur en gorge optimale. Cependant des considérations d'ordre pratique (hanc, dur, nappe d'eau, etc...) peuvent conduire à limiter la profondeur.

Deux (2) formules empiriques sont couramment utilisées.

Formule américaine:

$$d = \frac{1}{2} \sqrt{A} \text{ soit } \frac{1}{\alpha} = 4 - Z \text{ pour } Z < 4 \quad (5.5)$$

Formule indienne (canaux en terre)

$$d = \sqrt{\frac{A}{3}} \quad \text{soit} \quad 1/\alpha = 3 - Z \quad \text{pour} \quad Z < 3 \quad (5.6)$$

Pour les valeurs les plus usuelles de  $Z$ , nous donnons les valeurs d' $\alpha$  ( $\alpha$ ) et de  $K'$  calculées d'après les différentes formules ci-dessus.

Tableau V-3 Valeurs de  $K'$  pour le dimensionnement hydraulique des canaux.

Z	Optimum		Formule Américaine		Formule Indienne	
	d/b	K'	d/b	K'	d/b	K'
2 / 1	2.12	11,531	0.5	0.457	1.0	2,010
1.5 / 1	1.65	5,056	0.4	0.462	2/3	0,713
1 / 1	1.21	1,903	1/3	0.166	0.5	0.344
$\sqrt{3}/3$ / 1	0,87	0,744	0.29	0.177	0.41	0.207
1/2 / 1	0,81	0,621	0.29	0.111	0.4	0.192
0 / 1	0,5	0,198	0.25	0.076	1/3	0.114

La vitesse de l'écoulement est calculée par l'équation de continuité:

$$V = \frac{Q}{d(b + Zd)} \quad (5.7)$$

Dans un canal les vitesses au voisinage des parois et du fond ne doivent pas dépasser certaines valeurs qui risqueraient de provoquer l'érosion des berges. Les vitesses limites à ne pas dépasser sont fonction de la nature des parois.

Tableau V-4 Vitesses maximales (m/s) sans risque d'érosion dans des canaux revêtus.

Nature des parois	V (m/s)
Maçonnerie	2
Roches en couches	2,25
Béton	3,00

Tableau V-5 Vitesses permises dans les canaux en terre

Nature du lit	Avec un débit en m <sup>3</sup> /s de:			
	0.5	1.0	2.0	3.0
Limon, sable fin, limon sableux, léger	0.37	0,39	0.41	0.43
Terrain sableux, grains moyens	0.46	0.49	0.52	0.54
Limon léger	0.53	0.56	0.59	0.61
Limon moyen, loess moyen, sable à gros grains	0.59	0.63	0.67	0.69
Limon lourd, argile légère, loess à grains serrés, sable très grossier	0.67	0.71	0.75	0.78
Gravier et gravillons roulés	0.82	0.87	0.92	0.99
Argile lourde (tertiaire) gravier ou gravillons grossiers	1.26	1.34	1.42	1.47

On peut empêcher le sable fin et les matériaux solides d'entrés dans un canal, mais on ne peut pas le faire pour la boue en suspension. En conditions défavorables, cette boue peut aller se déposer dans le réseau des canaux d'irrigation d'où il sera onéreux de la retirer. Plus un canal est profond, plus grande est la vitesse nécessaire pour empêcher le limon de se déposer.

On devrait vérifier aussi que la profondeur d'eau soit franchement supérieure à la profondeur critique pour éviter tout phénomène de ressaut.

On peut démontrer que:

$$Q_c = K'cB^{5/2} \quad (5.8)$$

$$S_c = \frac{K'c \cdot n}{b^{1/3} K'} \quad (5.9)$$

ou

$Q_c$  : Débit critique ( $m^3/s$ )

$S_c$  : Pente critique

$$K'c = \frac{g (\alpha + Z\alpha)^3}{1 + 2Z\alpha} \quad 1/2 \quad (5.10)$$

$$\alpha = d/b$$

$g$  : Accélération de la pesanteur

## 5.2 Critères Généraux

### 5.2. 1. Courbure dans l'alignement des canaux

La courbure admissible pour les canaux d'irrigation dépend

- 1) la dimension ou la capacité du canal
- 2) le type du sol
- 3) le type de revêtement
- 4) la vitesse

Le rayon minimum de courbure pour les canaux d'irrigation,

centre du canal, sera le plus large des suivants (si possibles):

- a) Canal non revêtu
  - Six (6) fois la largeur au niveau projeté de l'eau dans le canal.
  - Quinze (15) fois la profondeur projetée de l'eau dans le canal
  - Dix (10) fois la largeur de la base du canal
- b) Canal revêtu
  - Trois (3) fois la largeur au niveau projeté de l'eau pour des petits canaux
  - Sept (7) fois la largeur au niveau de l'eau pour de plus grands canaux

#### 5.2.2. Revanche

On doit prévoir, dans les réseaux de canaux, une revanche d'une hauteur suffisante pour empêcher que le niveau de l'eau ne dépasse celui des bords en cas de crue subite. Sur les canaux à revêtement dur, cette hauteur dépend de la dimension du canal, des conditions de l'écoulement, du rayon de courbure, du tracé, des possibilités de pénétration des pluies d'orages dans le canal, de l'action du vent et des vagues, de l'augmentation du débit pouvant résulter d'erreurs aux points de dérivation, de variations du coefficient de rugosité, d'accumulation éventuelle de limon et, enfin, des méthodes d'exploitation envisagées.

Pour les canaux comportant des revêtements à surface dure, la hauteur normale de la revanche varie de 0,15 m. pour les canaux de petite section à plus de 0,60 m. pour les grands canaux. La hauteur du bord du canal au dessus de la partie supérieure de revêtement est en général de 0,30 m à 0,60 m, suivant la dimension du canal et les conditions locales.

### 5.2.3. Emplacement d'un canal secondaire

Le niveau de l'eau dans un canal secondaire à l'emplacement d'un ouvrage de prise est la somme de tout ce qui est décrit ci-dessous:

- 1) Le niveau de l'eau dans le champs, considéré comme 0.05m au dessus du niveau au fond du sillon.
- 2) La perte entre le canal tertiaire et le champs est égale à 0.08m (0.03m de perte entre un sillon et le champ, et 0.05m entre un sillon et un partiteur
- 3) La perte dans un canal tertiaire atteint 0.35m, cependant la pente disponible contrôlera cette perte
- 4) La perte dans un ouvrage de prise d'eau tertiaire et un appareil de mesure est de 0.40m pour une vanne glissante et un déversoir trapézoïdal.

### 5.2.4. Cavalier - Banquette

Les banquettes au dessus de la ligne de revanche ne sont pas nécessaires sur des canaux non revêtus, sauf pour de grands canaux et dans le cas où la pente du terrain naturel est très abrupte. Les banquettes sont utilisées sur les pentes en aval, des hauts remblais. Elles permettent de diminuer la charge au dessus de la section du canal.

Pour la plupart des revêtements à surface dure, les remblais des canaux doivent être compactés au moins jusqu'à la hauteur du revêtement. La largeur au sommet du remblai compacté varie avec les dimensions et l'emplacement du canal, le type de revêtement et avec d'autres facteurs, mais elle est en générale de 0.60 m à 1.20 m pour des canaux pouvant déborder jusqu'à  $3\text{m}^3/\text{s}$  et de 2 à 2.5 m pour des canaux plus importants.

Sur le remblai compacté et à l'extérieur de celui-ci, on met en place un remblai normal en terre meuble dont le rôle est d'apporter une stabilité complémentaire et de supporter la route nécessaire à l'exploitation du canal.

<u>Profondeur du canal (m)</u>	<u>Largeur banquette (m)</u>
0.5 - 1.0	0.5 - 1.0
1.0 - 1.5	1.0
1.5 - 2.0	1.0
2.0 - 3.0	1.5
3.0	1.5

### 5.3 Revêtement des Canaux

#### 5.3. 1. Généralités

Pour déterminer s'il y a lieu de revêtir un canal, on devra se baser sur une analyse des divers avantages qui en résulteraient: Conservation des eaux, moins de terrains imbibés d'eau ou à drainer, réduction du volume des excavations et des indemnités ou redevances pour droits de passage, diminution des frais d'entretien et d'exploitation, sécurité accrue des ouvrages.

Ceci doit s'appuyer sur une analyse très soignée des conditions locales: disponibilité et coût de la main d'oeuvre, possibilité de se procurer le matériel nécessaire et les matériaux pour la construction, moyens de transport, méthode d'irrigation envisagée et mode d'exploitation des canaux, techniques de revêtement habituellement utilisées dans la région, importance des futurs travaux d'entretien, etc.

C'est peut être les disponibilités de main d'oeuvre qualifiée et non qualifiée qui constituent le facteur le plus susceptible de créer des différences entre les diverses méthodes possibles.

### 5.3.2. Nécessité du Revêtement

- a) Prévention des dégâts aux terres adjacentes et réduction des frais de drainage

L'étendue des infiltrations provenant des canaux, leur influence sur le drainage des terres, et tous les problèmes qui en découlent sont difficiles à évaluer. C'est pourquoi les analyses doivent être faites avec le plus grand soin, en prenant en considération le drainage naturel de la région l'efficacité à laquelle on peut s'attendre pour l'irrigation des terrains cultivés, les problèmes probables de salinité, et les terres perdues avec toutes les implications qui pourraient en résulter sur le plan économique et humain, au cas où l'on aurait à constater une surélévation du niveau des eaux souterraines du fait des pertes excessives dans les canaux.

- b) Réduction des dimensions des canaux et du coût des droits de passage.

Dans les canaux revêtus de matériaux à surface dure non recouverte (béton de ciment, béton d'asphalte, maçonnerie de pierres ou de briques et certains types de revêtements) on peut admettre des vitesses d'écoulement bien plus élevées que celles normalement possibles dans des canaux en terre.

Elles varient de 0,3 à 1,8 m/s pour les canaux en terre, alors que, pour les revêtements en béton et en brique elles sont de 1,5 à 2,5 m/s.

Tableau V-6 Capacités relatives de canaux avec revêtement en béton et sans revêtement

Largeur du fond du lit (m)	Hauteur de l'écoulement	Capacité (m <sup>3</sup> /s)	
		Avec revêt. en béton	sans revêt.
0,30	0,45	0,40	0,23
0,90	0,60	1,27	0,71
1,20	0,75	2,40	1,33
1,50	0,90	4,00	2,24

A débit égal, la section transversale d'un canal revêtu de béton est donc moindre que celle du canal non revêtu correspondant, du fait que les pertes par frottement sont plus faibles et que la vitesse admissible est plus grande.

Lorsqu'on utilise des revêtements résistants à l'érosion (béton), on peut augmenter le gradient du lit et la pente des cotés du canal. Il peut en résulter des économies substantielles sur les droits de passage.

De plus, si l'on considère que, pour une surface donnée à irriguée, un canal pourvu d'un revêtement n'aura pas besoin de transporter l'eau qui se perdrait dans un canal non revêtu, les dimensions des canaux revêtus, ainsi que celles des ouvrages annexés, seront toujours inférieures à celles des canaux sans revêtement.

Le fait de revêtir un canal d'une surface dure permet également une certaine souplesse dans son tracé. Celui-ci pourra en effet suivre des lignes de niveau sur les pentes abruptes, étant donné que les risques d'érosion pouvant résulter de l'augmentation des vitesses de l'eau sur le bord remblayé du canal sont éliminés. On peut également, lorsque cela paraît avantageux, prévoir des canaux avec des gradients plus élevés, ce qui permettra parfois de ne pas avoir à établir des ouvrages spéciaux qui seraient indispensables pour éviter les érosions dans les canaux de même pente générale non revêtus.

En augmentant la vitesse de l'eau dans les canaux on peut aussi réduire les frais d'entretien dans les cas où l'on aura à redouter des dépôts de limon.

Les vitesses de transport plus élevées permettent d'augmenter les débits et présentent par suite l'avantage de pouvoir effectuer les irrigations dans un temps plus court.

c) Réduction des frais d'entretien et d'exploitation

Lorsqu'on évalue les avantages qui présentent le revêtement d'un canal au point de vue des frais d'entretien, on doit prendre en considération le type de ce revêtement. Dans les études de rentabilité pour l'utilisation de revêtements à surface dure, on tiendra compte de ce que les frais d'élimination de la végétation parasite, les dangers résultant des animaux fouisseurs et les quantités de limon à enlever sont considérablement réduits, indépendamment des autres avantages apportées par un revêtement rigide et de haute qualité.

L'un des éléments les plus importants parmi les frais d'entretien est l'enlèvement de la végétation parasite et des plantes aquatiques qui envahissent les canaux. Les revêtements à surface dure et de haute qualité sont relativement impénétrables à la végétation parasite et aux plantes aquatiques et ils permettent de réduire considérablement les frais à engager pour les détruire et les retirer des canaux. Quant aux dépôts de limon, tous les revêtements à surface dure permettent des vitesses d'écoulement suffisantes pour les réduire de manière substantielle ce qui réduit d'autant les frais d'entretien.

d) Protection contre l'érosion, sécurité des ouvrages annexés et autres avantages.

La stabilité des cotés et du fond des canaux et des rigoles non revêtus constitue un problème majeur dans les régions à sols sableux ou limoneux et cela particulièrement lorsque, du fait du mode d'irrigation pratiqué le régime de l'écoulement de l'eau est intermittent.

Autres avantages: L'eau ne peut plus extraire du sol, des sels qui pourraient être nuisibles aux récoltes. Réduction des frais de pompage du fait d'une utilisation plus efficace de l'eau.

## e) Conservation des eaux

L'un des principaux moyens susceptibles de permettre l'utilisation intégrale de l'eau naturelle destinée à l'agriculture consiste à réduire le volume des eaux perdues par infiltration au cours du transport jusqu'aux champs, et à détruire les mauvaises herbes.

Le pourcentage des pertes par infiltration est en général plus élevé dans les canaux de faible section et les rigoles d'irrigation que dans les grands canaux d'amenée; pour les petits canaux transportant de 30 à 140 l/s, ces pertes et la consommation d'eau par les herbes peuvent atteindre 20 pour cent par mille (1,6 km).

D'après certains auteurs, environ 60 à 80% de l'eau qui se perd dans les canaux non revêtus pourrait être récupérée par un revêtement à surface dure.

### 5.3.3 Considérations Générales relatives au mode d'Installation

#### 5.3.3.1 Sections transversales

Etant donné que le coût des revêtement à surface dure est en général élevé, c'est la section offrant le moindre périmètre pour une surface transversale donnée qui est la plus économique. Cette section est celle du demi-cercle et elle n'est pas d'un emploi pratique du fait que les parties supérieures des côtés sont trop raides. La pente la plus raide qui soit satisfaite pour les cotés de la plupart des canaux, du point de vue de la construction et de l'entretien est de: 1.5 : 1 (66%)

La raideur de la pente des revêtements à surface dure est principalement limitées par des considérations de glissement du revêtement et de stabilité du sol. Le glissement peut être causé par un frottement insuffisant entre le revêtement et le sol de fondation en combinaison avec les effets des pressions venant de l'extérieur en cas de vidange du canal.

Les canaux à revêtir en surface dure sont en général prévus avec un rapport variant de 1 à 2 entre la largeur du lit (pour l'ouvrage terminé) et la hauteur de l'eau.

#### 5.3.3.2 Sols de fondation

Une fondation ferme et stable représente une condition préalable essentielle pour la bonne tenue de la plupart des revêtements à surface dure. On pourra ainsi réduire le nombre et l'importance des fissures et le danger d'une rupture causée par le tassement du sous-sol.

Les sols naturels en place de faible densité doivent cependant être compactés à fond ou enlevés et remplacés par un matériaux adéquat.

### 5.3.3.3 Stérilisation du sol de fondation

Les herbes aquatiques constituent un risque ultérieur, non seulement pour les revêtements en terre ou par membranes, mais aussi pour ceux à base d'asphalte, car les racines peuvent pénétrer dans ces derniers en laissant, une fois la plante morte, des ouvertures par où l'eau pourra s'introduire. Il est donc recommandé de traiter le sol avec un produit stérilisant lorsqu'on doit placer un genre de revêtement dans des zones déjà envahies par les herbes, ou dans des canaux anciens où croissent les plantes, telles que: juncs, massette ou osiers. Le chlorate de sodium, en solution à 5 pour cent dans l'eau à raison de 2 litres par mètre carré, est un bon stérilisant.

### 5.3.3.4 Remblais

Avant la mise en place du remblais compacté, on devra enlever de son futur emplacement les matériaux d'origine qui se révéleraient inacceptables. Les spécifications relatives aux remblais compactés doivent prévoir que, une fois effectué le décapage nécessaire, la totalité de la surface du sol de fondation destinée à recevoir le remblai compacté sera soigneusement labourée jusqu'à une profondeur d'au moins 0.15 m puis humidifiée et compactée. Les matériaux utilisés pour le remblai devront avoir une teneur en eau spécifiée et être compactés jusqu'à une densité également spécifiée, en couches successives n'ayant pas plus de 0.10 m d'épaisseur après compactage. La densité à sec de la partie du matériau compactée, constituée par du sol ne devra pas être inférieure à 95 pour cent de la densité maximale telle que déterminé au laboratoire par la méthode de Proctor.

### 5.3.3.5 Vitesse de l'eau

Pour les canaux d'irrigation, il est recommandé de se conformer à la recommandation du U.S. Bureau of Reclamation selon laquelle les vitesses, avec les revêtements en béton armé ne doivent pas dépasser 2,5 m/s afin

d'éviter qu'ils soient soulevés et entraînés par le courant, ce qui se produit lorsque l'effet de vitesse se transforme en effet de pression à travers une crevasse dont le bord supérieur se présente opposé au côté amont ou au sens du courant. Dans la maçonnerie, la vitesse maximale sera de 1,5 m/s. Une vérification mathématique, faite en utilisant pour terme "n" de la formule de Manning, une valeur inférieure de 0,003 au terme "n" utilisé pour le projet de revêtement, est également recommandé afin de contrôler que la hauteur de l'écoulement ne se rapproche pas trop de la profondeur critique pour qu'il se crée des ondes stationnaires

#### 5.3.4 Revêtement en béton de ciment

##### 5.3.4.1 Généralités

Les revêtements en béton de ciment représente probablement le meilleur type de tous, là où les avantages qu'ils apportent justifient leur coût élevé. Convenablement étudiés, contruits et entretenus, ils doivent pouvoir, en moyenne, assurer un service satisfaisant pendant plus de 40 ans. Si l'on peut contrôler l'action dégradante des sels et la formation des fissures, le revêtement peut durer, indéfiniment.

Les revêtements en béton de ciment conviennent aux canaux de grandes et de petites dimensions, que la vitesse de l'eau soit faible ou élevée, et ils satisfont pratiquement à tous les objectifs recherchés.

##### 5.3.4.2 Etablissement de projets de revêtements

###### i) Epaisseur du revêtement

Il est impossible d'énoncer l'épaisseur des revêtements en béton. Pour les petits canaux et les rigoles, des revêtements en béton armé d'environ 0,04 m d'épaisseur ont donné satisfaction.

La figure V-1 donne quelques indications sur la relation entre l'épaisseur des revêtements à surface dure et la capacité des canaux. Les tolérances admissibles sont de 1 à 1,5 cm.

En règle générale, l'augmentation de l'épaisseur ne doit pas constituer un moyen de se protéger contre les risques résultants de défauts d'exécution (traitement insuffisant, mauvais fondation, béton de qualité médiocre ...).

### ii) Joints

On utilise pour les revêtements de canaux en béton quatre (4) sortes de joints ou de rainures: Joints de construction, joints de retrait transversaux, joints de retrait longitudinaux et joints de dilatation. (Fin. V-2 et V-3)

Le U.S Bureau of Reclamation recommande les espacements de joints suivants pour les revêtements en béton non armé:

Epaisseur du revêtement	Espacement approximatif des joints
0,05 m - 0,065 m	Environ 3 m
0,075 m à 0,01 m	3,5 - 4,5 m

On peut prendre, comme valeur moyenne de cet espacement, 50 fois l'épaisseur de la dalle.

### iii) Qualité du béton

Le béton utilisé pour les revêtements de canaux doit être

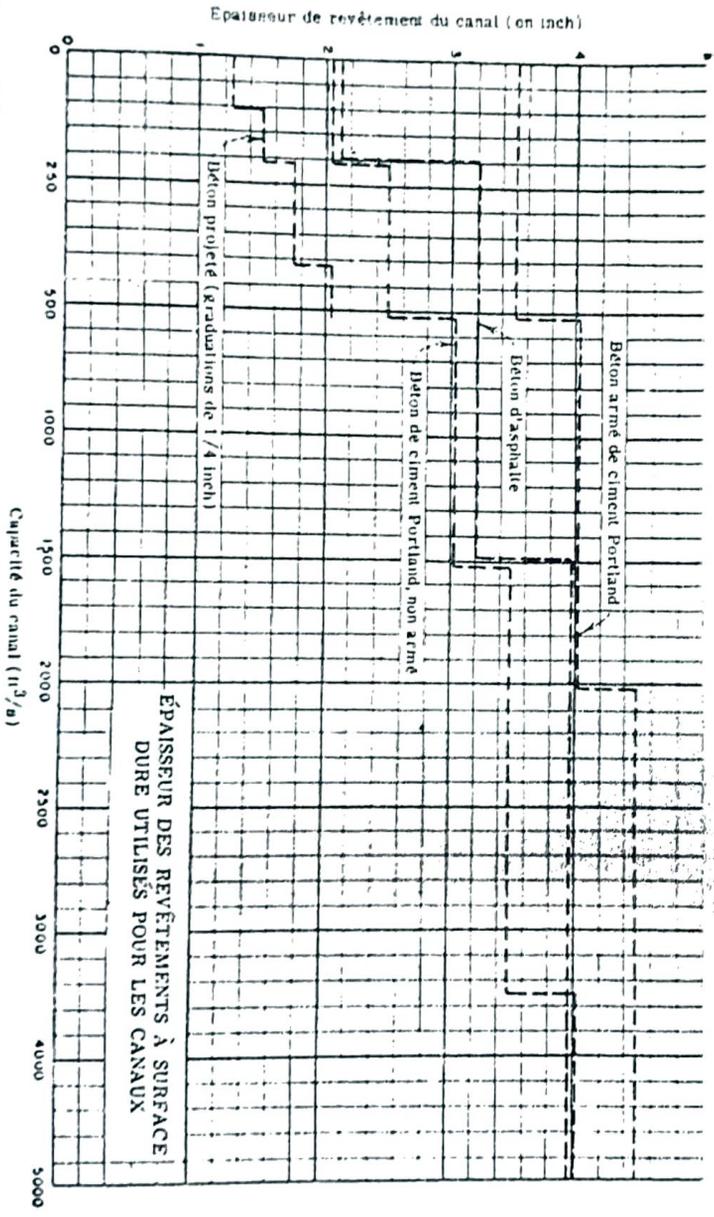


Figure V-1] Détermination de l'épaisseur des revêtements à surface dure en fonction de la capacité du canal (USBR).

FIGURE V-2 Types de joints pour revêtements de canaux en bétons.

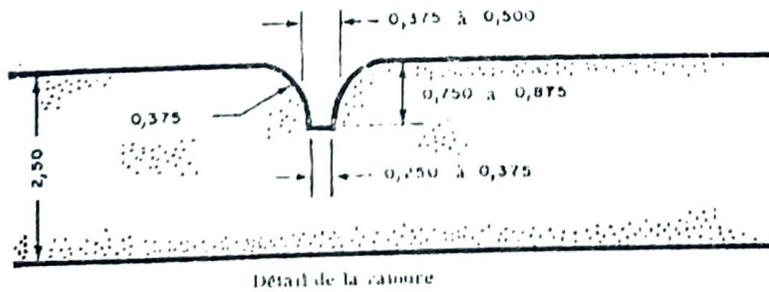
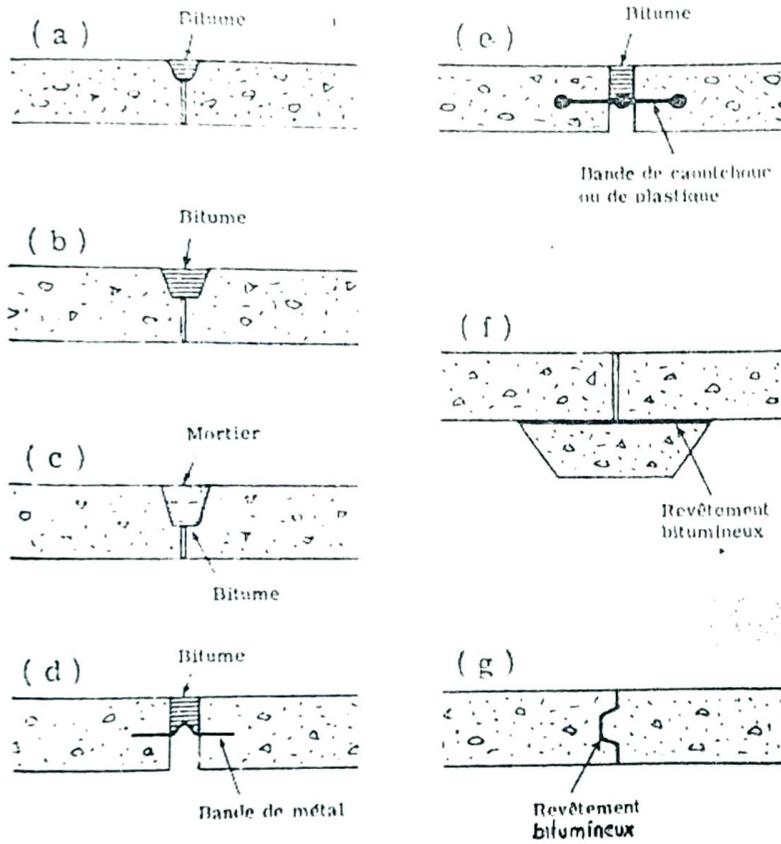


FIGURE V-3 Rainure conforme à la norme de l'ASAE (en inches).

mélangé de manière telle qu'il soit suffisamment ferme pour rester en place sur les côtés du canal. Etant donné que, dans un revêtement, le béton n'agit pas en tant que structure portante, sa résistance mécanique ne constitue pas habituellement un facteur important.

Le U.S. Bureau of Reclamation a étudié également le béton damé à sec, parce que, en raison de sa faible teneur en eau, il se produira moins de fissures de retrait au séchage, et que d'autre part, on peut réaliser une économie sur la teneur en ciment.

Avec des bétons damés à sec ou à degré d'affaissement nul, ayant une proportion eau/ciment de 44 pour cent, on a constaté un retrait au séchage bien inférieur, une plus grande durabilité, et à peu près la même résistance mécanique et la même perméabilité que les bétons à 0,09 m d'affaissement exécutés avec la même proportion d'eau. De plus, le béton damé à sec contenant 60 à 90 kg de ciment de moins au mètre cube que le béton à 0,09 m d'affaissement auquel il était comparé.

#### 5.3.4.3 Construction des Revêtements en béton

##### i) Mélanges de béton

Le béton préparé pour le revêtement d'un canal doit être assez élastique pour se tasser complètement et suffisamment ferme pour rester en place sur le talus.

Les agrégats employés pour le béton doivent être durs, propres et durables. Les dimensions maximales des agrégats grossiers ne doivent pas dépasser la moitié de l'épaisseur du revêtement.

Pour les chantiers de faible importance, où l'on ne dispose ni de temps, ni de personnel pour déterminer les proportions de mélanges confor-

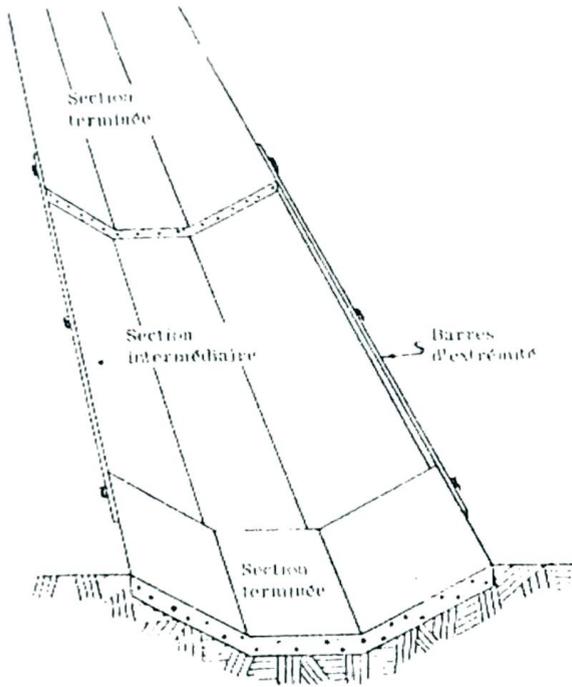


FIGURE V-6 Barres d'extrémités mises en place sur deux sections alternées d'un revêtement coulé par panneaux.

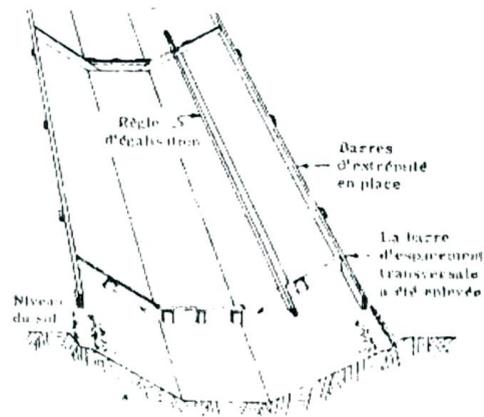


FIGURE V-5 Coffrage par panneaux en place et prêts pour le coulage du béton.

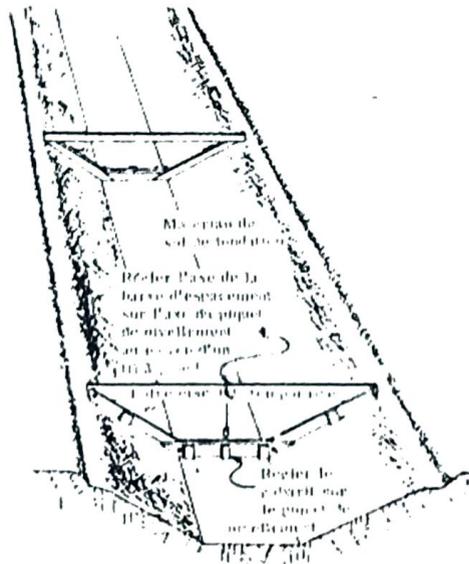


Fig. V-4. Détail des gabari utilisés pour les revêtements en béton coffrés par panneaux.

mément à des méthodes homologuées. on peut adopter les quantités approximatives données dans le tableau V-7

Tableau V-7. Proportions approximatives des mélanges pour béton.

Dimension maximale des agrégats	Poids approximatif de ciment par mètre cube de béton (kg)	Kilogrammes d'agrégats par m <sup>3</sup> de béton		
		Sable (sec)		Gravier ou pierre concasée
		Béton cellulaire	Béton sans air occlus	
1,5 cm	385	850	890	930
2,5 cm	365	790	825	1010
5 cm	330	710	750	1200

ii) Finissage et traitement en cours de prise (Curing)

Les spécifications établies pour le béton devraient toujours comporter un article relatif à son traitement pendant la prise. En effet, cette opération, lorsqu'elle est effectuée convenablement, en augmente dans de grandes proportions la durabilité, la résistance à l'usure et l'étanchéité. Les essais effectués ont montré que le béton qui avait subi un traitement humide pendant 14 jours avait, au 28<sup>ème</sup> jour, une résistance mécanique d'à peu près deux fois celle du béton qu'on avait laissé à l'air libre. Cooke estime que le fait de ne pas traiter le béton conduit au même résultat que si l'on diminuait d'un tiers ou de la moitié la proportion de ciment.

Le béton doit être maintenu continuellement saturé d'humidité pour que les résultats obtenus soient suffisants. Pour y parvenir, on humidifie en permanence la surface libre du béton, pendant 3 à 5 jours, ou on empêche l'évaporation de l'eau incorporée au béton au moyen d'un composé spécial que

l'on pulvérise sur cette surface, ou de tout autre membrane imperméable.

iii) Revêtements de béton mis en place à la main

La mise en place de revêtement à la main peut se révéler économiquement valable lorsqu'on dispose de main d'oeuvre à bon marché, ou lorsque le tronçon à revêtir est court.

Pour des rigoles de plus grandes dimensions et pour de petits canaux, Lauritzen décrit comme suit la méthode de mise en place du béton à la main par panneaux.

Après creusement de la rigole, on place des piquets de nivellement sur l'axe de celle-ci, à des intervalles égaux à la longueur du panneau à utiliser. Ces piquets sont implantés de manière que leur partie supérieure corresponde à celle du revêtement terminé.

Les gabarits sont habituellement constitués de planches de 5 x 10 cm placés de champ. La partie inférieure horizontale du gabarit est placée de niveau avec le sommet du piquet, et la barre d'espacement est boulonnée en place à titre provisoire. On centre ensuite cette barre d'espacement sur la partie inférieure du gabarit au moyen d'un niveau ou d'un fil à plomb, de façon à ce que la pente soit la même des deux côtés. On fixe alors le gabarit dans cette position définitive enfonçant des piquets dans le sol de fondation le long des côtés du canal et en clouant le gabarit sur ceux-ci.

On met ensuite en place, au piquet suivant, un deuxième gabarit, exactement de la même manière que pour le premier et à 3 m de celui-ci, si telle est la longueur que doivent avoir les panneaux. On fixe alors, parallèlement au canal et le long de la partie supérieure de chacun de ses côtés, une planche de 5 x 10 cm, qui jouera le rôle de barre d'extrémité et d'écartement entre les deux gabarits transversaux. Ces deux planches assureront la partie supérieure du coffrage. On enlève à ce moment les barres d'espacement transversales provisoires, et l'ensemble du coffrage par panneaux est

ainsi en place.

Pour réaliser plus facilement une pente bien régulière, on se sert d'une règle en bois de 5 x 12 cm, légèrement plus longue que le panneau, dans laquelle on fait à chaque extrémité une encoche de profondeur égale à l'épaisseur du revêtement en béton, et que l'on peut faire glisser sur la partie supérieure des gabarits transverseaux. Cette règle sert de guide pour amener le niveau du sol de fondation à la profondeur spécifiée.

Pour un revêtement coulé par panneaux, il faut faire un mélange de béton relativement ferme, avec un degré d'affaissement de 5 à 7,5 cm. Dès qu'il a été mélangé, le béton est mis en place sur la surface coffrée et étalée à la pelle.

On coule d'abord le fond de la rigole, puis, ensuite, du béton frais que l'on étale à la règle à trousser en remontant le long du talus. Si l'on attache une corde à la règle qui sert ainsi à l'égaliser, on pourra faire tirer cette corde par un ouvrier placé au sommet du talus et aider ceux qui travaillent au bas de celui-ci. Au fur et à mesure que la règle est tirée en avant et en arrière perpendiculairement aux gabarits, on ajoute du béton à la pelle en avant de celle-ci, pour combler les derniers vides encore présents et maintenir un peu de béton en excès à l'avant de la règle.

On peut utiliser une petite aplanissoire en bois pour boucher les petites dépressions telles que celles produites par les pierres accrochées au passage par la règle, et pour faire des retouches au revêtement si nécessaire. Si le nivellement à la règle a été exécuté correctement, il n'y aura à faire que très peu de travail de finissage.

Ce genre de revêtement se fait par sections alternées, séparées de la largeur d'un panneau. Pour la construction des sections intermédiaires, on utilisera les sections déjà bétonnées comme coffrage d'ex-

trémité, et pour terminer celui-ci on coïncera les barres d'extrémité à l'aide de piquets contre les arêtes des parties de revêtement déjà terminées.

#### 5.4 Détermination des Pertes par Infiltration

##### 5.4.1 Généralités

La prévention contre les infiltrations constitue normalement le facteur déterminant en matière de revêtements.

Pour l'évaluation, on se base sur la connaissance des propriétés hydrauliques du sol considéré et sur celle des conditions limites, telles que la profondeur jusqu'au niveau des eaux souterraines, la section transversale du canal et la hauteur dans celui-ci.

Les principales méthodes d'évaluation pour les infiltrations provenant de canaux existants sont les suivantes:

- a) Mesure du débit par la méthode débit d'entrée, débit de sortie
- b) Mesure de la vitesse de perte d'eau dans un tronçon de canal fermé à ses deux extrémités.

##### 5.4.2 Facteurs ayant une influence sur les infiltrations

La vitesse d'infiltration dépend de nombreux facteurs parmi ceux-ci, on notera principalement les trois groupes suivants:

- 1 - Caractéristiques du sol de la région traversée par le canal
- 2 - Hauteur de l'eau dans le canal, périmètre mouillé de celui-ci et profondeur jusqu'au niveau des eaux souterraines.
- 3 - Quantité de matériaux charriés par l'eau, vitesse d'écoulement dans le canal et temps écoulé depuis la mise en eau de celui-ci.

## Groupe 1

La caractéristique du sol la plus importante est la perméabilité des matériaux en place dans lesquels le canal a été ou sera creusé. Cette perméabilité est influencée à la fois par la dimension des pores et par le pourcentage des vides (porosité)

## Goupe 2

Bouwer a trouvé les corrélations suivantes entre les infiltrations, la hauteur d'eau dans le canal, la profondeur jusqu'au niveau des eaux souterraines et le périmètre mouillé du canal:

- 1- Les pertes par infiltration croissent avec l'augmentation de la hauteur d'eau dans le canal.
- 2- Les pertes par infiltration croissent avec l'augmentation de la différence entre le niveau de l'eau dans le canal et le niveau de la nappe phréatique; et lorsque cette différence atteint, on dépasse cinq (5) fois la largeur de la surface du canal, ces pertes tendent asymptotiquement vers une limite maximale.
- 3- La répartition des pertes par infiltrations au travers du fond et des talus du canal dépend de la position de la nappe phréatique ou de la couche imperméable. Lorsque cette nappe se trouve à une faible profondeur, la contribution des talus du canal est plus grande que celle du fond du lit et c'est l'inverse qui se produit en cas de nappe profonde. Dans tous les cas, les pertes maximales par infiltration se produisent aux pieds du talus, c'est à dire à la jonction du fond et des talus du canal.
- 4- Il a été constaté que la hauteur de l'eau dans le canal au

dessous de laquelle la nature du sol a une influence sur les pertes par infiltration était égale à 5 fois la largeur du fond du lit du canal. Latéralement, à une distance de dix fois la largeur du fond du lit du canal, l'effet que les pertes par infiltrations produisent sur le niveau de la nappe phréatique primitive est insignifiant.

### Groupe 3

Les matériaux en suspension charriés par l'eau d'un canal accompagnent les eaux d'infiltration dans les vides constituées par les pores du sol dans lequel, le canal a été creusé. Si cette eau contient des quantités importantes de ces matériaux, la vitesse des infiltrations diminuera au bout d'un temps relativement court.

#### 5.4.3 Evaluation des infiltrations pour un projet de canal

##### a) Calcul des pertes par infiltration

On a utilisé plusieurs méthodes pour calculer les pertes par infiltration provenant des canaux d'irrigation. On peut les grouper dans les deux catégories suivantes:

- 1- Formules empiriques
- 2- Solutions dérivées d'analogies électriques

Bower a étudié les problèmes d'infiltration en utilisant des réseaux de résistances électriques et a pu, en partant de ceux-ci, mettre au point des solutions graphiques applicables à la plupart des conditions rencontrées en général pour les infiltrations. On estime que ces solutions représentent actuellement le moyen le plus précis et le plus commode pour déterminer la valeur des infiltrations, lorsqu'on connaît le coefficient de

perméabilité des sous-sols, les côtes et le profil du canal et la position de la nappe phréatique.

### 1 Formule empiriques

Après avoir obtenu les résultats d'étude effectuées sur 8 réseaux de canaux différents, le U.S. Bureau of Recommendation a proposé la relation suivante (formule de Moritz):

$$S = 0,2 \times C \times (Q/v)^{0.5}$$

Où

S = Pertes par infiltration (en  $\text{ft}^3/\text{s}$  par mille de longueur du canal)

Q = Débit (en  $\text{ft}^3/\text{s}$ )

v = Vitesse d'écoulement (en  $\text{ft}/\text{s}$ )

C = Constante dépendant du type de sol

<u>Type de sol</u>	<u>Valeur de C</u>
. Gravier cimenté et hardpan avec limon sableux	0,34
. Argile et limon argileux	0,41
. Limon sableux	0,66
. Cendres volcaniques	0,68
. Sable ou cendres volcaniques ou argile	1,20
. Sol sableux avec pierres	1,68
. Sol sableux et graveleux	2,20

5.4. 4- Mesure des infiltrations provenant des canaux existants  
Buts des mesures d'infiltration

Les mesures d'infiltration après la construction d'un canal peuvent avoir pour but:

- a) de déterminer les pertes par infiltration provenant des canaux non revêtus, et de localiser les tronçons où celles-ci sont excessives, à titre de donnée de base pour leur revêtement éventuel.
- b) de vérifier les pertes par infiltration dans des tronçons déjà terminés d'un système de canaux en construction, en vue d'établir des prévisions de vitesses d'infiltration pour les parties non encore achevées du système, et d'adapter le mode de construction de ces dernières, suivant les résultats obtenus; cela peut entraîner à faire des revêtements là où ils n'avaient pas été prévus, ou inversement, on à modifier le type de revêtement ou à changer les dimensions de la section transversale du canal et les ouvrages annexes prévus, en fonction des vitesses d'écoulement réelles.
- c) d'enregistrer des vitesses d'infiltration sur des canaux revêtus ou non, à titre de données de comparaison utilisables pour l'étude et le mode de construction d'autres projets d'irrigation.
- d) de déterminer le volume exact d'eau transporté dans le système d'irrigation dont le canal fait partie, afin de pouvoir assurer une exploitation correcte de ce système.

Les méthodes de mesure de l'infiltration

Les méthodes utilisées de manière courante pour mesurer les quantités d'eau perdues par des infiltrations provenant de canaux existants sont:

- . La méthode par débit d'entrée et de sortie

- . La méthode par bassin fermé
- . La méthode utilisant un jaugeur d'infiltrations

Chaque méthode a ses avantages et ses limitations. Aucune d'entre'elles, considérée individuellement, ne peut s'adapter indifféremment à toutes les conditions rencontrées sur le terrain. La méthode du bassin fermé peut être considérée comme la plus précise et la plus sûre.

#### Méthode par bassin fermé

Cette méthode consiste à mesurer la vitesse de la baisse de niveau dans un bassin constitué par le tronçon de canal à contrôler, et à se servir de cette mesure pour calculer la vitesse des infiltrations et le rapport entre la surface de l'eau du bassin et la surface mouillée correspondante. Etant donné que ces observations peuvent être faites d'une manière très précise, les résultats obtenus devraient fournir une bonne indication des pertes moyennes provenant du tronçon. On peut objecter à cela que l'eau calme accumulée dans le bassin peut être bien s'infiltrer à une vitesse différente de celle de l'eau lorsqu'elle s'écoule dans le canal, en raison: de l'effet d'obturation par les matériaux en suspension qui se disposeront dans l'eau calme; de la croissance d'algues ou des mousses sur le périmètre mouillé, et cela surtout sur les canaux revêtus; de modifications du niveau de la nappe phréatique, lorsque le canal est asséché en amont et en aval du bassin fermé.

Pour isoler un tronçon de canal en vue d'essais en bassin fermé, il faut construire des digues ou des batardeaux étanches. Chaque fois qu'on le pourra, on utilisera dans ce but des ouvrages existants, tels que des déversoirs ou des ouvrages de régularisation.

Pour éliminer l'effet du vent, la vitesse à laquelle baisse le niveau sera mesurée à chaque extrémité du bassin, et on prendra la valeur

moyenne. On utilisera des échelles limnimétriques ou des limnimètres à pointes recourbées, fixés à des ouvrages existants ou des pieux enfoncés dans le lit du canal. Toutes les fuites pouvant exister sur ces ouvrages seront mesurées avec soin et, étant donné que les essais pourront s'étendre sur une longue période, on devra enregistrer les valeurs de l'évaporation et des précipitations, de façon à pouvoir apporter les corrections voulues aux mesures relatives aux infiltrations.

On propose la formule suivante pour calculer la vitesse d'infiltration:

$$S = \frac{W (d_1 - d_2) L}{PL}$$

Où:

S = Infiltrations moyennes en  $m^3/m^2/24$  heures sur la distance L

W = Largeur moyenne du bassin fermé, mesurée à la surface (m)

$d_1$  = Hauteur de l'eau en mètres au début de la mesure

$d_2$  = Hauteur de l'eau en mètre 24 heures après.

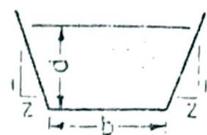
P = Périmètre mouillé moyen en mètres

L = Longueur du tronçon du canal, en mètres.

Tableau V-9 Solution de la formule de Manning pour les canaux trapezoideaux

$d/b$

Values of  $Q_n$   
for  $S = 1.2$



	$z = 0$	$z = 1/4$	$z = 1/2$	$z = 3/4$	$z = 1$	$z = 1-1/4$	$z = 1-1/2$	$z = 1-3/4$	$z = 2$	$z = 3$
32	.00213	.00213	.00216	.00217	.00218	.00219	.00220	.00220	.00221	.00223
33	.00411	.00419	.00423	.00426	.00429	.00431	.00433	.00434	.00437	.00442
34	.00661	.00670	.00673	.00685	.00690	.00695	.00700	.00704	.00707	.00722
35	.00947	.00964	.00980	.00991	.0100	.0101	.0102	.0103	.0103	.0106
36	.0127	.0130	.0132	.0134	.0136	.0137	.0138	.0140	.0141	.0145
37	.0162	.0166	.0170	.0173	.0176	.0177	.0180	.0182	.0183	.0190
38	.0200	.0206	.0211	.0215	.0219	.0222	.0225	.0228	.0231	.0240
39	.0240	.0249	.0255	.0262	.0267	.0271	.0275	.0279	.0282	.0296
40	.0283	.0294	.0305	.0311	.0318	.0324	.0329	.0334	.0339	.0358
41	.0329	.0342	.0354	.0364	.0373	.0380	.0387	.0394	.0400	.0424
42	.0376	.0393	.0403	.0420	.0431	.0441	.0450	.0458	.0466	.0497
43	.0425	.0446	.0454	.0480	.0493	.0505	.0516	.0527	.0537	.0575
44	.0476	.0501	.0504	.0542	.0559	.0573	.0587	.0599	.0612	.0659
45	.0528	.0559	.0565	.0608	.0628	.0645	.0662	.0677	.0692	.0749
46	.0582	.0619	.0620	.0676	.0699	.0720	.0740	.0759	.0776	.0845
47	.0638	.0680	.0677	.0748	.0775	.0800	.0823	.0845	.0867	.0947
48	.0695	.0744	.0736	.0822	.0854	.0883	.0910	.0936	.0961	.105
49	.0753	.0809	.0797	.0900	.0936	.0970	.100	.103	.106	.117
50	.0813	.0875	.0859	.0979	.102	.106	.110	.113	.116	.129
51	.0873	.0944	.0924	.106	.111	.115	.120	.123	.127	.142
52	.0935	.101	.0977	.115	.120	.125	.130	.134	.139	.155
53	.0997	.109	.1053	.124	.130	.135	.141	.146	.151	.169
54	.106	.116	.1119	.133	.139	.145	.152	.157	.163	.184
55	.113	.124	.1193	.142	.150	.157	.163	.170	.176	.199
56	.119	.131	.1259	.152	.160	.168	.175	.182	.189	.215
57	.126	.139	.1337	.162	.171	.180	.188	.195	.203	.232
58	.133	.147	.1409	.172	.182	.192	.201	.209	.217	.249
59	.139	.155	.1481	.182	.193	.204	.214	.223	.232	.267
60	.146	.163	.1553	.193	.205	.217	.227	.238	.248	.286
61	.153	.172	.1637	.204	.217	.230	.242	.253	.264	.305
62	.160	.180	.1709	.215	.230	.243	.256	.269	.281	.327
63	.167	.189	.1797	.227	.243	.257	.271	.285	.298	.348
64	.174	.198	.1881	.238	.256	.272	.287	.301	.315	.369
65	.181	.207	.1963	.251	.270	.287	.303	.318	.334	.392
66	.190	.216	.2047	.263	.283	.302	.319	.336	.353	.416
67	.196	.225	.2137	.275	.297	.317	.336	.354	.372	.440
68	.203	.234	.2219	.289	.311	.333	.354	.373	.392	.468
69	.210	.244	.2311	.301	.326	.349	.371	.392	.412	.497
70	.218	.254	.2403	.314	.341	.365	.389	.412	.433	.518
71	.225	.263	.2487	.328	.357	.383	.408	.432	.455	.545
72	.233	.273	.2581	.342	.373	.401	.427	.453	.478	.574
73	.241	.282	.2663	.356	.389	.418	.447	.474	.501	.604
74	.249	.292	.2759	.371	.405	.437	.467	.496	.524	.634

For  $d/b$  less than 0.04 use of the column for  $z = 1$  is more convenient and is more accurate than interpolation in the table.

Tableau V-8 (Suite 1)

d/b	Values of $\frac{V}{V_0}$									
	z=0	z=1/4	z=1/2	z=3/4	z=1	z=1/4	z=1/2	z=3/4	z=2	z=3
.45	.256	.303	.345	.385	.422	.456	.487	.519	.548	.663
.46	.253	.313	.359	.401	.439	.475	.509	.541	.574	.695
.47	.271	.323	.371	.417	.457	.494	.530	.565	.600	.727
.48	.279	.333	.381	.432	.475	.514	.552	.589	.626	.757
.49	.297	.345	.398	.448	.492	.534	.575	.614	.652	.787
.50	.255	.300	.341	.383	.422	.458	.492	.529	.569	.693
.52	.310	.377	.438	.495	.545	.599	.646	.692	.735	.865
.54	.327	.398	.465	.530	.590	.644	.692	.746	.795	.924
.56	.343	.421	.496	.567	.631	.690	.743	.803	.856	1.07
.58	.359	.444	.526	.601	.671	.739	.802	.863	.922	1.15
.60	.375	.468	.556	.640	.717	.789	.853	.924	.988	1.24
.62	.391	.492	.590	.679	.763	.841	.917	.989	1.06	1.33
.64	.408	.516	.620	.718	.809	.894	.975	1.05	1.13	1.43
.66	.424	.541	.653	.759	.858	.951	1.04	1.13	1.21	1.53
.68	.441	.566	.687	.801	.908	1.01	1.12	1.20	1.29	1.64
.70	.457	.591	.722	.842	.958	1.07	1.17	1.27	1.37	1.75
.72	.474	.617	.757	.887	1.01	1.13	1.24	1.35	1.45	1.87
.74	.491	.644	.793	.932	1.07	1.19	1.31	1.43	1.55	1.98
.76	.508	.670	.830	.981	1.12	1.26	1.39	1.51	1.64	2.11
.78	.525	.698	.862	1.03	1.18	1.32	1.45	1.60	1.73	2.24
.80	.542	.725	.906	1.08	1.24	1.40	1.54	1.69	1.83	2.37
.82	.559	.753	.945	1.13	1.30	1.47	1.62	1.78	1.93	2.51
.84	.576	.782	.985	1.18	1.36	1.54	1.71	1.87	2.03	2.65
.85	.593	.810	1.03	1.23	1.43	1.61	1.79	1.97	2.14	2.80
.88	.610	.839	1.07	1.29	1.49	1.69	1.88	2.07	2.25	2.95
.90	.627	.871	1.11	1.34	1.56	1.77	1.98	2.17	2.36	3.11
.92	.645	.898	1.15	1.40	1.63	1.86	2.07	2.28	2.48	3.27
.94	.662	.928	1.20	1.46	1.70	1.94	2.16	2.38	2.60	3.43
.96	.680	.960	1.25	1.52	1.78	2.03	2.27	2.50	2.73	3.61
.98	.697	.991	1.29	1.58	1.85	2.11	2.37	2.61	2.85	3.79
1.00	.714	1.02	1.33	1.64	1.93	2.21	2.47	2.73	2.99	3.97
1.05	.759	1.10	1.46	1.80	2.13	2.44	2.75	3.04	3.33	4.45
1.10	.802	1.19	1.58	1.97	2.34	2.69	3.04	3.37	3.70	4.96
1.15	.846	1.27	1.71	2.14	2.56	2.96	3.34	3.72	4.09	5.52
1.20	.891	1.36	1.85	2.33	2.79	3.24	3.62	4.09	4.50	6.11
1.25	.936	1.45	1.99	2.52	3.04	3.54	4.03	4.49	4.95	6.73
1.30	.980	1.54	2.14	2.73	3.30	3.85	4.33	4.90	5.42	7.39
1.35	1.02	1.64	2.29	2.94	3.57	4.18	4.76	5.34	5.90	8.10
1.40	1.07	1.74	2.45	3.16	3.85	4.52	5.13	5.80	6.43	8.83
1.45	1.11	1.84	2.61	3.39	4.15	4.88	5.60	6.29	6.98	9.62

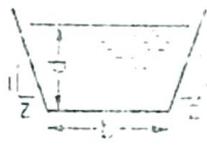


Tableau V-8 (suite 2)

d/b	Values of $\frac{100}{b^3 S^{1/2}}$									
	z = 0	z = 1/4	z = 1/2	z = 3/4	z = 1	z = 1-1/4	z = 1-1/2	z = 1-3/4	z = 2	z = 3
1.50	1.16	1.94	2.73	3.63	4.46	5.26	6.04	6.91	7.55	10.4
1.55	1.20	2.05	2.96	3.83	4.78	5.65	6.50	7.33	8.14	11.3
1.60	1.25	2.15	3.14	4.14	5.12	6.06	6.99	7.89	8.73	12.2
1.65	1.30	2.27	3.33	4.41	5.47	6.49	7.50	8.47	9.42	13.2
1.70	1.34	2.38	3.52	4.69	5.83	6.94	8.02	9.08	10.1	14.2
1.75	1.39	2.50	3.73	4.98	6.21	7.41	8.57	9.72	10.9	15.2
1.80	1.43	2.62	3.93	5.28	6.60	7.89	9.13	10.4	11.6	16.3
1.85	1.48	2.74	4.15	5.59	7.01	8.40	9.75	11.1	12.4	17.4
1.90	1.52	2.86	4.36	5.91	7.43	8.91	10.4	12.4	13.2	18.7
1.95	1.57	2.99	4.59	6.24	7.87	9.46	11.0	12.5	14.0	19.9
2.00	1.61	3.12	4.83	6.58	8.32	10.0	11.7	13.3	14.9	21.1
2.10	1.71	3.39	5.31	7.30	9.27	11.2	13.1	15.0	16.8	23.9
2.20	1.79	3.67	5.82	8.06	10.3	12.5	14.6	16.7	18.7	26.8
2.30	1.89	3.95	6.36	8.86	11.3	13.8	16.2	18.6	20.9	30.0
2.40	1.98	4.26	6.93	9.72	12.5	15.3	17.9	20.6	23.1	33.4
2.50	2.07	4.58	7.52	10.6	13.7	16.8	19.3	22.7	25.6	37.0
2.60	2.16	4.90	8.14	11.6	15.0	18.4	21.7	25.0	28.2	40.8
2.70	2.26	5.24	8.80	12.6	16.3	20.1	23.8	27.4	31.0	44.8
2.80	2.35	5.59	9.49	13.6	17.8	21.9	25.9	29.9	33.8	49.1
2.90	2.44	5.95	10.2	14.7	19.3	23.8	28.2	32.6	36.9	53.7
3.00	2.53	6.33	11.0	15.9	20.9	25.8	30.6	35.4	40.1	58.4
3.20	2.72	7.12	12.5	18.3	24.2	30.1	35.8	41.5	47.1	68.9
3.40	2.90	7.97	14.2	21.0	27.9	34.8	41.5	46.2	54.6	83.2
3.60	3.09	8.86	16.1	24.0	32.0	39.9	47.8	55.5	63.0	92.5
3.80	3.28	9.81	18.1	27.1	36.3	45.5	54.6	63.5	72.4	107
4.00	3.46	10.8	20.2	30.5	41.1	51.6	61.9	72.1	82.2	122
4.20	3.62	11.5	26.2	40.1	54.5	63.3	62.9	96.9	111	134
4.40	4.39	16.7	33.1	51.5	70.3	84.7	113	126	145	146

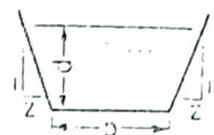


Tableau V-9 Solution de la formule de Manning pour des canaux trapézoïdaux

$V = \frac{1.49 R^{2/3} S^{1/2}}{n}$

d	z=0	z=1:0	z=1:1	z=1:1.4	z=1	z=1-1.4	z=1-1.2	z=1-1.4	z=2	z=3
.01	146.7	147.2	147.5	148.0	148.3	148.6	148.8	148.9	149.2	149.6
.02	72.4	72.9	73.4	73.7	74.0	74.3	74.5	74.8	74.9	75.6
.03	47.6	48.2	48.6	49.0	49.3	49.5	49.8	50.0	50.2	50.9
.04	35.3	35.8	36.3	36.6	36.9	37.3	37.4	37.6	37.8	38.6
.05	27.1	28.4	28.5	29.2	29.5	29.8	30.0	30.2	30.5	31.2
.06	23.0	23.5	23.9	24.3	24.6	24.8	25.1	25.3	25.5	26.3
.07	19.85	19.97	20.4	20.8	21.1	21.3	21.6	21.8	22.0	22.8
.08	16.82	17.34	17.73	18.12	18.43	18.79	18.95	19.18	19.40	20.2
.09	14.75	15.29	15.72	16.08	16.39	16.66	16.91	17.14	17.36	18.21
.10	13.16	13.66	14.14	14.44	14.75	15.02	15.28	15.51	15.74	16.60
.11	11.83	12.33	12.76	13.11	13.42	13.69	13.94	14.18	14.41	15.28
.12	10.73	11.23	11.65	12.00	12.31	12.59	12.84	13.08	13.31	14.19
.13	9.80	10.29	10.71	11.06	11.37	11.65	11.90	12.14	12.38	13.26
.14	9.00	9.49	9.91	10.26	10.57	10.85	11.10	11.35	11.58	12.48
.15	8.32	8.80	9.21	9.57	9.88	10.16	10.42	10.67	10.89	11.80
.16	7.72	8.20	8.61	8.96	9.27	9.55	9.81	10.06	10.29	11.20
.17	7.19	7.67	8.08	8.43	8.74	9.02	9.28	9.53	9.77	10.68
.18	6.73	7.20	7.61	7.96	8.27	8.55	8.81	9.05	9.30	10.21
.19	6.31	6.78	7.18	7.54	7.85	8.13	8.39	8.64	8.88	9.86
.20	5.94	6.40	6.81	7.16	7.47	7.75	8.01	8.26	8.50	9.43
.21	5.60	6.06	6.47	6.82	7.13	7.41	7.67	7.92	8.16	9.09
.22	5.30	5.75	6.16	6.50	6.82	7.10	7.36	7.61	7.86	8.79
.23	5.02	5.47	5.87	6.22	6.53	6.81	7.08	7.33	7.58	8.51
.24	4.77	5.22	5.62	5.96	6.27	6.56	6.82	7.07	7.32	8.26
.25	4.54	4.98	5.38	5.73	6.04	6.32	6.58	6.84	7.08	8.03
.26	4.32	4.77	5.16	5.51	5.82	6.10	6.37	6.62	6.87	7.81
.27	4.13	4.57	4.96	5.31	5.62	5.90	6.16	6.42	6.67	7.62
.28	3.95	4.38	4.77	5.12	5.43	5.71	5.98	6.23	6.48	7.43
.29	3.78	4.21	4.60	4.95	5.25	5.54	5.81	6.06	6.31	7.26
.30	3.62	4.05	4.44	4.78	5.09	5.38	5.64	5.90	6.15	7.10
.31	3.48	3.90	4.29	4.63	4.94	5.23	5.49	5.75	6.00	6.96
.32	3.34	3.76	4.15	4.49	4.80	5.08	5.35	5.61	5.86	6.82
.33	3.21	3.64	4.02	4.36	4.67	4.95	5.22	5.48	5.73	6.69
.34	3.09	3.51	3.89	4.23	4.54	4.83	5.09	5.35	5.60	6.56
.35	2.98	3.40	3.78	4.12	4.43	4.71	4.98	5.23	5.49	6.43
.36	2.88	3.29	3.67	4.01	4.32	4.60	4.87	5.12	5.38	6.34
.37	2.78	3.19	3.56	3.90	4.21	4.49	4.76	5.02	5.27	6.24
.38	2.68	3.09	3.47	3.81	4.11	4.40	4.67	4.92	5.17	6.14
.39	2.59	3.00	3.37	3.71	4.02	4.30	4.57	4.83	5.08	6.05
.40	2.51	2.92	3.29	3.62	3.93	4.21	4.48	4.74	4.99	5.96
.41	2.43	2.84	3.20	3.54	3.85	4.13	4.40	4.66	4.91	5.88
.42	2.36	2.76	3.13	3.46	3.77	4.05	4.32	4.58	4.83	5.80
.43	2.29	2.68	3.05	3.38	3.69	3.97	4.24	4.50	4.76	5.73
.44	2.22	2.61	2.98	3.31	3.62	3.90	4.17	4.43	4.68	5.66

For d & b less than 0.04, use of the assumption R = d is more convenient and more accurate than interpolation in the table.

Tableau V-9 (suite 1)

z/b	Values of $\frac{Q_0}{d \sqrt{g S^{3/2}}}$									
	z/b=0	z/b=1/4	z/b=1/2	z/b=3/4	z/b=1	z/b=1-1/4	z/b=1-1/2	z/b=1-3/4	z/b=2	z/b=3
45	2.15	2.58	2.91	3.24	3.58	3.83	4.10	4.26	4.61	5.59
46	2.04	2.48	2.82	3.18	3.48	3.77	4.04	4.29	4.55	5.52
47	1.93	2.42	2.75	3.12	3.42	3.70	3.97	4.23	4.49	5.46
48	1.917	2.36	2.70	3.06	3.36	3.64	3.91	4.17	4.43	5.40
49	1.923	2.31	2.65	3.00	3.30	3.58	3.85	4.12	4.37	5.34
50	1.832	2.25	2.61	2.94	3.25	3.53	3.80	4.06	4.31	5.29
52	1.777	2.18	2.56	2.84	3.14	3.43	3.70	3.96	4.21	5.19
54	1.689	2.08	2.44	2.74	3.05	3.33	3.60	3.86	4.11	5.09
56	1.608	1.977	2.33	2.66	2.96	3.24	3.51	3.77	4.02	5.00
58	1.533	1.900	2.25	2.57	2.87	3.16	3.43	3.69	3.94	4.92
60	1.464	1.827	2.17	2.50	2.80	3.08	3.35	3.61	3.86	4.85
62	1.400	1.759	2.11	2.43	2.73	3.01	3.28	3.54	3.79	4.77
64	1.340	1.694	2.04	2.36	2.66	2.94	3.21	3.47	3.72	4.71
66	1.285	1.638	1.979	2.30	2.60	2.88	3.15	3.41	3.66	4.64
68	1.234	1.583	1.922	2.24	2.54	2.82	3.09	3.35	3.60	4.59
70	1.184	1.531	1.868	2.18	2.48	2.76	3.03	3.29	3.55	4.53
72	1.139	1.482	1.818	2.13	2.43	2.71	2.98	3.24	3.49	4.48
74	1.096	1.437	1.770	2.08	2.38	2.66	2.93	3.19	3.45	4.43
76	1.056	1.393	1.725	2.04	2.33	2.61	2.88	3.15	3.40	4.38
78	1.018	1.353	1.683	1.998	2.29	2.57	2.84	3.10	3.35	4.34
80	0.982	1.315	1.642	1.954	2.25	2.53	2.80	3.06	3.31	4.30
82	0.949	1.278	1.604	1.916	2.21	2.49	2.76	3.02	3.27	4.26
84	0.917	1.243	1.568	1.886	2.17	2.45	2.72	2.98	3.23	4.22
86	0.887	1.211	1.534	1.843	2.14	2.41	2.68	2.94	3.20	4.18
88	0.858	1.180	1.501	1.810	2.10	2.38	2.65	2.91	3.16	4.15
90	0.831	1.152	1.470	1.777	2.07	2.35	2.62	2.87	3.13	4.12
92	0.805	1.122	1.441	1.747	2.04	2.32	2.58	2.84	3.10	4.08
94	0.781	1.095	1.413	1.718	2.01	2.29	2.55	2.81	3.07	4.05
96	0.758	1.070	1.387	1.690	1.981	2.26	2.53	2.78	3.04	4.03
98	0.736	1.047	1.362	1.663	1.954	2.23	2.50	2.76	3.01	4.00
100	0.714	1.022	1.338	1.638	1.928	2.21	2.47	2.73	2.99	3.97
105	0.666	0.969	1.278	1.579	1.871	2.14	2.41	2.67	2.92	3.91
110	0.622	0.921	1.225	1.525	1.813	2.09	2.36	2.61	2.87	3.85
115	0.581	0.877	1.178	1.477	1.763	2.04	2.30	2.56	2.82	3.80
120	0.548	0.837	1.136	1.432	1.717	1.993	2.26	2.51	2.77	3.76
125	0.516	0.800	1.098	1.392	1.676	1.950	2.22	2.47	2.73	3.71
130	0.487	0.767	1.062	1.354	1.638	1.912	2.18	2.43	2.69	3.67
135	0.460	0.736	1.029	1.321	1.603	1.879	2.14	2.40	2.65	3.64
140	0.434	0.707	0.998	1.286	1.570	1.845	2.11	2.37	2.62	3.60
145	0.410	0.680	0.969	1.259	1.540	1.812	2.08	2.34	2.59	3.57
150	0.387	0.654	0.942	1.233	1.512	1.784	2.05	2.31	2.56	3.54
155	0.366	0.630	0.917	1.209	1.488	1.761	2.02	2.28	2.53	3.51
160	0.347	0.607	0.893	1.187	1.467	1.741	1.993	2.26	2.51	3.49
165	0.329	0.586	0.871	1.167	1.448	1.723	1.972	2.23	2.48	3.47
170	0.312	0.566	0.850	1.148	1.431	1.706	1.956	2.21	2.46	3.44



Tableau V-9 (suite 2)

d/b										
	1:1	1:1.25	1:1.5	1:2	1:2.5	1:3	1:3.5	1:4	1:4.5	1:5
1.00	.312	.561	.810	1.110	1.360	1.666	1.808	2.19	2.44	3.42
1.25	.290	.540	.82	1.121	1.377	1.646	1.808	2.17	2.42	3.40
1.50	.278	.519	.839	1.083	1.359	1.678	1.820	2.19	2.40	3.38
1.75	.264	.504	.773	1.067	1.342	1.610	1.812	2.13	2.38	3.37
2.00	.251	.491	.700	1.051	1.326	1.594	1.8	2.11	2.36	3.35
2.25	.238	.478	.704	1.035	1.310	1.576	1.840	2.10	2.35	3.33
2.50	.219	.448	.711	1.019	1.282	1.549	1.811	2.07	2.32	3.29
2.75	.205	.430	.690	.984	1.266	1.523	1.784	2.04	2.29	3.27
3.00	.1910	.413	.671	.941	1.212	1.477	1.737	1.993	2.24	3.23
3.25	.1800	.398	.653	.922	1.192	1.457	1.717	1.972	2.22	3.21
3.50	.1693	.383	.637	.906	1.174	1.438	1.698	1.954	2.21	3.19
3.75	.1597	.371	.623	.889	1.157	1.422	1.681	1.937	2.19	3.17
4.00	.1508	.358	.609	.874	1.142	1.406	1.665	1.920	2.17	3.15
4.25	.1427	.346	.595	.861	1.128	1.391	1.650	1.905	2.16	3.14
4.50	.1354	.338	.583	.848	1.114	1.377	1.636	1.891	2.14	3.12
4.75	.1282	.320	.568	.825	1.090	1.353	1.617	1.865	2.12	3.10
5.00	.1111	.305	.545	.805	1.069	1.331	1.599	1.843	2.09	3.07
5.25	.1018	.291	.529	.787	1.050	1.312	1.569	1.823	2.07	3.05
5.50	.0932	.279	.514	.771	1.033	1.294	1.552	1.805	2.06	3.04
6.00	.0859	.268	.501	.757	1.019	1.279	1.536	1.790	2.04	3.02
6.50	.0711	.245	.474	.727	.987	1.246	1.502	1.755	2.01	2.96
7.00	.0601	.228	.453	.704	.962	1.220	1.476	1.729	1.979	2.96

Tableau V-10 Solution de la formule de Manning dans des conduites circulaires

$d$  = depth of flow  
 $D$  = diameter of pipe  
 $A$  = area of flow  
 $R$  = hydraulic radius  
 $Q$  = discharge in cfs per foot of Manning's formula  
 $V$  = Manning's coefficient  
 $S$  = slope of the pipe and bottom end of the water surface

$d/D$	$A/D^2$	$R/D$	$Q/V S^{1/2}$	$Q/V S^{1/2}$	$d/D$	$A/D^2$	$R/D$	$Q/V S^{1/2}$	$Q/V S^{1/2}$
0.01	0.0013	0.0065	0.00007	15.04	0.51	0.4027	0.2531	0.239	1.442
0.02	0.0037	0.0182	0.00031	10.57	0.52	0.4127	0.2552	0.247	1.415
0.03	0.0063	0.0317	0.00074	8.55	0.53	0.4227	0.2572	0.255	1.388
0.04	0.0105	0.0462	0.00138	7.33	0.54	0.4327	0.2621	0.263	1.362
0.05	0.0147	0.0618	0.00222	6.55	0.55	0.4428	0.2649	0.271	1.336
0.06	0.0192	0.0885	0.00328	5.95	0.56	0.4528	0.2676	0.279	1.311
0.07	0.0242	0.01451	0.00455	5.47	0.57	0.4628	0.2703	0.287	1.286
0.08	0.0294	0.0213	0.00604	5.09	0.58	0.4724	0.2728	0.295	1.262
0.09	0.0350	0.0295	0.00775	4.76	0.59	0.4822	0.2755	0.303	1.238
0.10	0.0409	0.0392	0.00967	4.49	0.60	0.4920	0.2776	0.311	1.215
0.11	0.0470	0.0503	0.01181	4.25	0.61	0.5018	0.2799	0.319	1.192
0.12	0.0534	0.0628	0.01417	4.04	0.62	0.5115	0.2821	0.327	1.170
0.13	0.0600	0.0768	0.01674	3.86	0.63	0.5212	0.2842	0.335	1.148
0.14	0.0668	0.0921	0.01952	3.69	0.64	0.5308	0.2862	0.343	1.126
0.15	0.0739	0.0995	0.0225	3.54	0.65	0.5404	0.2882	0.350	1.105
0.16	0.0811	0.0995	0.0257	3.41	0.66	0.5499	0.2900	0.358	1.084
0.17	0.0885	0.1042	0.0291	3.28	0.67	0.5594	0.2917	0.366	1.064
0.18	0.0961	0.1097	0.0327	3.17	0.68	0.5688	0.2933	0.373	1.044
0.19	0.1039	0.1162	0.0365	3.06	0.69	0.5780	0.2948	0.380	1.024
0.20	0.1119	0.1238	0.0406	2.96	0.70	0.5872	0.2962	0.388	1.004
0.21	0.1199	0.1282	0.0448	2.87	0.71	0.5964	0.2975	0.395	0.985
0.22	0.1281	0.1340	0.0492	2.79	0.72	0.6054	0.2987	0.402	0.965
0.23	0.1365	0.1394	0.0537	2.71	0.73	0.6143	0.2998	0.409	0.947
0.24	0.1449	0.1446	0.0585	2.63	0.74	0.6231	0.3008	0.416	0.928
0.25	0.1535	0.1505	0.0634	2.55	0.75	0.6319	0.3017	0.422	0.910
0.26	0.1623	0.1571	0.0685	2.49	0.76	0.6406	0.3024	0.429	0.891
0.27	0.1711	0.1643	0.0739	2.42	0.77	0.6492	0.3031	0.435	0.873
0.28	0.1800	0.1714	0.0793	2.36	0.78	0.6578	0.3036	0.441	0.855
0.29	0.1890	0.1782	0.0849	2.30	0.79	0.6665	0.3039	0.447	0.838
0.30	0.1982	0.1848	0.0907	2.25	0.80	0.6751	0.3042	0.453	0.821
0.31	0.2074	0.1913	0.0966	2.20	0.81	0.6836	0.3043	0.458	0.804
0.32	0.2167	0.1978	0.1027	2.14	0.82	0.6920	0.3043	0.463	0.787
0.33	0.2260	0.2041	0.1089	2.09	0.83	0.7003	0.3041	0.468	0.770
0.34	0.2355	0.2103	0.1153	2.05	0.84	0.7085	0.3038	0.473	0.753
0.35	0.2450	0.2163	0.1218	2.00	0.85	0.7166	0.3033	0.477	0.736
0.36	0.2545	0.2221	0.1284	1.968	0.86	0.7246	0.3026	0.481	0.720
0.37	0.2642	0.2277	0.1351	1.915	0.87	0.7324	0.3018	0.485	0.703
0.38	0.2739	0.2331	0.1420	1.875	0.88	0.7401	0.3007	0.488	0.687
0.39	0.2838	0.2383	0.1490	1.835	0.89	0.7477	0.2995	0.491	0.670
0.40	0.2934	0.2434	0.1561	1.797	0.90	0.7551	0.2980	0.494	0.654
0.41	0.3030	0.2483	0.1633	1.760	0.91	0.7624	0.2964	0.497	0.637
0.42	0.3128	0.2530	0.1705	1.724	0.92	0.7696	0.2944	0.497	0.621
0.43	0.3225	0.2575	0.1778	1.689	0.93	0.7767	0.2921	0.498	0.604
0.44	0.3323	0.2619	0.1851	1.655	0.94	0.7837	0.2895	0.498	0.588
0.45	0.3421	0.2661	0.1925	1.622	0.95	0.7906	0.2865	0.498	0.571
0.46	0.3520	0.2702	0.1999	1.590	0.96	0.7974	0.2830	0.498	0.555
0.47	0.3617	0.2741	0.2074	1.559	0.97	0.8041	0.2787	0.498	0.538
0.48	0.3715	0.2779	0.2149	1.530	0.98	0.8107	0.2735	0.498	0.521
0.49	0.3813	0.2816	0.2224	1.500	0.99	0.8172	0.2680	0.498	0.505
0.50	0.3911	0.2852	0.2300	1.471	1.00	0.8236	0.2620	0.498	0.488

## LES OUVRAGES D'ART D'UN RESEAU D'IRRIGATION

### 6.1- Généralités

Chaque réseau d'irrigation nécessite une multitude de structures qui jouent un rôle majeur dans l'économie de l'eau, l'équilibre de sa distribution et la sûreté de son alimentation. On pourrait les diviser en six grand groupes:

- i) Les ouvrages de transport et de franchissement
- ii) Les ouvrages de régulation
- iii) Les ouvrages de répartition
- iv) Les ouvrages de sécurité
- v) Les ouvrages de mesure de débit
- vi) Les ouvrages connexes.

### 6.2- Les ouvrages d'irrigation et leurs usages

#### 6.2.1 Les ouvrages de transport et de franchissement. Pont canaux et siphon inversé.

Outre le canal lui-même, il est généralement nécessaire, tout le long du tracé d'ériger des structures pour faciliter le transport de l'eau. On y construit, siphons inversés, ponts canaux au croisement d'un canal, d'un thalweg, d'une route.

#### Ponts canaux

Les ponts canaux sont de préférence en tuyaux d'acier pour des débits inférieurs à  $1,5 \text{ m}^3/\text{s}$  et en béton armé pour des débits plus grands. La section est alors rectangulaire et les murs verticaux sont calculés comme des poutres qui transmettent aux supports les poids du béton armé, de l'eau et des surcharges.

- 6.2.2 Les ouvrages de régulation: régulateur, déversoir, chute de type choc, chute avec ressaut hydraulique.

### Les régulateurs

Le régulateur est destiné à faire monter le niveau de l'eau dans un canal, ce qui peut s'imposer, par exemple, en raison de la variation des besoins en eau saisonnières des cultures, en période de faible débit dans le canal d'alimentation. On peut utiliser un déversoir pour jouer ce rôle. Le déversoir fournit alors une régulation statique donc sûre et sans entretien particulier. La cote de la crête et la longueur du déversoir sont déterminées en fonction des débits transités par le canal et des caractéristiques des modules pour lequel le déversoir règle le plan d'eau; son emplacement est fixé par la position des ouvrages de prise.

Le but du déversoir est, en effet, de maintenir devant chaque prise d'eau un plan d'eau compatible avec le fonctionnement de cette dernière, or ce marnage s'établit dans un certain bief, entre le plan d'eau à débit nul (côte du seuil du déversoir situé à l'aval du bief) et le plan d'eau à débit maximal.

On trouvera dans "Design of small canal structures" les détails du dimensionnement structural et hydraulique d'un régulateur. En général on préfère la régulation par vannes, là où la régulation se fait de façon automatique, où l'eau est dépourvue de débris et où enfin une précision plus grande est nécessaire.

La formule à utiliser pour l'écoulement sous une vanne est alors:

$$Q = CS \sqrt{2gH}$$

où:

$$Q = \text{Débit, m}^3/\text{s}$$

$$C = \text{Coefficient}$$

$$S = \text{Section transversale (m}^2\text{)}$$

$$H = \text{Charge (m)}$$

### Les chutes

Les chutes sont placées régulièrement dans un canal lorsque la pente dépasse 0,008 ou quand la vitesse d'écoulement dépasse la vitesse admissible. D'une manière générale, un ouvrage de réglage du niveau d'eau sera appelé chute lorsque la réduction de ce niveau est réalisée sur une courte distance. Lorsque l'eau est conduite sur des longueurs plus grandes et suivant des pentes plus douces, mais encore suffisantes pour maintenir de fortes vitesses d'écoulement, ces ouvrages sont désignés par le terme de "canaux à forte pente".

Ils possèdent tous en aval un dissipateur d'énergie capable de réduire l'excès d'énergie cinétique que l'écoulement a accumulé en chutant ou en descendant la pente. Un dissipateur d'énergie efficace doit pouvoir retarder très vite l'écoulement sans endommager la structure ou le canal, en aval. Plusieurs méthodes sont utilisées.

i) Le type choc dirige l'écoulement de l'eau sur un obstacle qui éparpille l'écoulement dans toutes les directions et de cette manière dissipe l'énergie de l'écoulement. Ce sont par exemple, les chutes à paroi brise charge, les puits d'amortissement et les chutes verticales.

On trouvera dans "Techniques Rurales en Afrique # 4, les ouvrages

d'un petit réseau d'irrigation" une discussion pertinente sur le volume du bassin d'amortissement d'une chute verticale. Dans le cas des petites hauteurs, les caractéristiques dimensionnelles de l'ouvrage peuvent être obtenues à partir du schéma et de l'abaque

ii) Le type ressaut hydraulique dirige l'écoulement torrentiel dans un ressaut hydraulique où l'énergie est dissipée

### 6.2.3 Les ouvrages de répartition

On y retrouve:

- . Les ouvrages de prise
- . Les partiteurs
- . Les ouvrages de distributions

i) les ouvrages de prise

On entend par prise d'eau un ouvrage qui a pour but de régulariser le débit dans un canal dérivé dont la pleine capacité ne dépasse pas 25 pour cent de celle du canal d'alimentation. Si on désire prélever un débit bien déterminé, indépendant du débit du canal d'alimentation, on utilisera soit un pertuis de fond avec régulateur, soit des modules à masques. Si au contraire, la répartition du débit doit se faire dans des rapports donnés, quel que soit ce débit, le déversoir de prise suffira.

#### . Partiteur

Lorsque le canal où les canaux dérivés laissent moins de 75 pour cent du débit dans le bief aval du canal d'alimentation, l'ouvrage qui effectue le partage du débit en deux, trois portions ou davantage est considéré comme un partiteur. Ces proportions peuvent être fixés ou réglés

bles par variation de l'orifice de réglage.

On désigne par distributeur proportionnel un partiteur dont le débit n'est pas réparti en plusieurs fractions par une lame mobile, mais dirigé vers les canaux dérivés par des prises individuelles, groupées en un seul ouvrage. Chaque prise est alors dimensionnée de manière à laisser passer une fraction du débit total et comporte une section contractée ou un déversoir dénoyé. L'avantage indiscutable de ce système est sa grande robustesse, le distributeur proportionnel est particulièrement adopté aux régions où les fraudes constituent un problème.

On entend par répartiteurs des ouvrages utilisés pour assurer la régulation du débit entre un canal et un autre ou plusieurs autres. Ils sont en général constituées d'un caisson, dans les parois verticales duquel ont été ménagées des ouvertures pourvues d'un système de réglage.

. Ouvrage de distribution à la parcelle

L'ouvrage de distribution à la parcelle de type tout ou rien est implanté sur le canal de dernier ordre et dérive la totalité du débit vers une unité d'arrosage.

Son fonctionnement permet:

- . Soit la dérivation totale du débit par sectionnement du canal
- . Soit l'alimentation d'un autre ouvrage par fermeture de son pertuis

L'ouvrage en béton ou en maçonnerie est composé d'une échancrure disposée dans la berge du canal et équipé d'une vannette en bois. Les parcelles arrosées par infiltration (raies, billons) ou par ruissellement (catalants, bassin de submersion) peuvent être alimentées par siphons mobiles en plastique, à condition que le canal adducteur domine directement les parcelles. Cette méthode nécessite néanmoins l'implantation de seuils (déver-

soirs fixes) dans le canal pour créer la charge nécessaire au fonctionnement des siphons.

#### 6.2.4 Les ouvrages de sécurité, rôle, emplacement

L'extrait suivant de Techniques rurales en Afrique, résume assez bien le rôle des ouvrages de sécurité et leur localisation.

"Un canal est fait pour véhiculer un débit maximum déterminé. Il ne peut supporter une surcharge que dans la limite de sa revanche. Au-delà, le débordement peut causer sa ruine rapide si les berges sont en terre et surtout s'il est implanté à flanc de coteau. En outre, le ruissellement et l'érosion provoqués par l'eau de débordement peuvent causer des dommages considérables aux cultures avoisinantes.

Les ouvrages de sécurité ont donc pour but d'évacuer hors du réseau adducteur une partie ou la totalité du débit affluent. Ceci pourra résulter.

- . D'un réglage défectueux de l'ouvrage de prise en tête du réseau.
- . De la fermeture inopinée de prises situées dans les divers tronçons du canal adducteur
- . D'un refus de l'aval et de la fermeture corrélative des régulateurs d'aval.
- . De la nécessité de vidanger les divers tronçons de canaux et sans avoir à vider les biefs d'aval de l'admission d'eaux sauvages (ruissellement de pluies dérivé dans le canal).

En conséquence, des ouvrages de sécurité sont à prévoir:

- . A l'extrémité des canaux

- . En amont des principaux régulateurs
- . En tête des biefs transportant des débits inférieurs au débit du bief amont.
- . En tête du canal adducteur principal (immédiatement à l'aval de l'ouvrage de prise) et aussi à l'extrémité aval du tronçon de ce canal formant tête morte, en vue de se prémunir contre un excès de débit résultant d'une fausse manoeuvre des vannes de prise.
- . En amont des tronçons de canaux en terre établis en fort remblai où une augmentation inopinée des débits et une élévation corrélative de la ligne d'eau pourraient avoir des conséquences graves.
- . En amont des ouvrages d'art (siphon) de valeur importante et susceptibles d'être détériorés par un afflux d'eau excessif"

#### 6.2.5 Les ouvrages de mesure de débit. Jaugeur Parshall, prise à charge constante, déversoir.

Les principaux ouvrages qui assurent la mesure des débits dans un réseau d'irrigation sont les suivants:

- . Les jaugeurs Parshall
- . Les prises à charge constante
- . Les déversoirs

#### Les déversoirs

Les déversoirs, les plus couramment utilisés sont à crête mince de section rectangulaire, trapézoïdale (Cipolletti) ou triangulaire. Ils nécessitent une charge substantielle au-dessus de la crête pour leur fonctionnement correct; la charge minimale est de six centimètres, mais la charge maximale sera limitée au tiers de la longueur de la crête.

Ces structures ne donnent des mesures exactes que si elles sont construites avec soin et selon des dimensions standards . Les débits peuvent alors être déterminés par les formules suivantes:

- . Déversoir rectangulaire à lame sans contraction latérale

$$Q = 1.84 L H^{3/2}$$

- . Déversoir rectangulaire à lame contractée

$$Q = 1.84 \times (L - 0.2H) \times H^{3/2}$$

- . Déversoir trapézoïdal Cipolletti

$$Q = 1.86 L H^{3/2}$$

- . Déversoir triangulaire ( $90^\circ$ )

$$Q = 1.32 H^{2.48}$$

Où:

Q est le débit, en  $m^3/s$

L est la longueur de la crête, en m

H est la charge au dessus de la crête du déversoir, en m

#### 6.2.6 Les ouvrages connexes

Il existe dans un système d'irrigation différents ouvrages dont le rôle n'est pas de transporter ou de régulariser le débit, mais de contribuer au bien être et à la santé de la population, de protéger le canal où d'en limiter l'accès. On y distingue:

- . Les aménagements pour la lessive et le bain
- . Les abreuvoirs et les bains pour les animaux
- . Les ouvrages de croisement des canaux de drainage
- . Les entrées de drainage
- . Les clôtures et les barrières
- . Les ponts

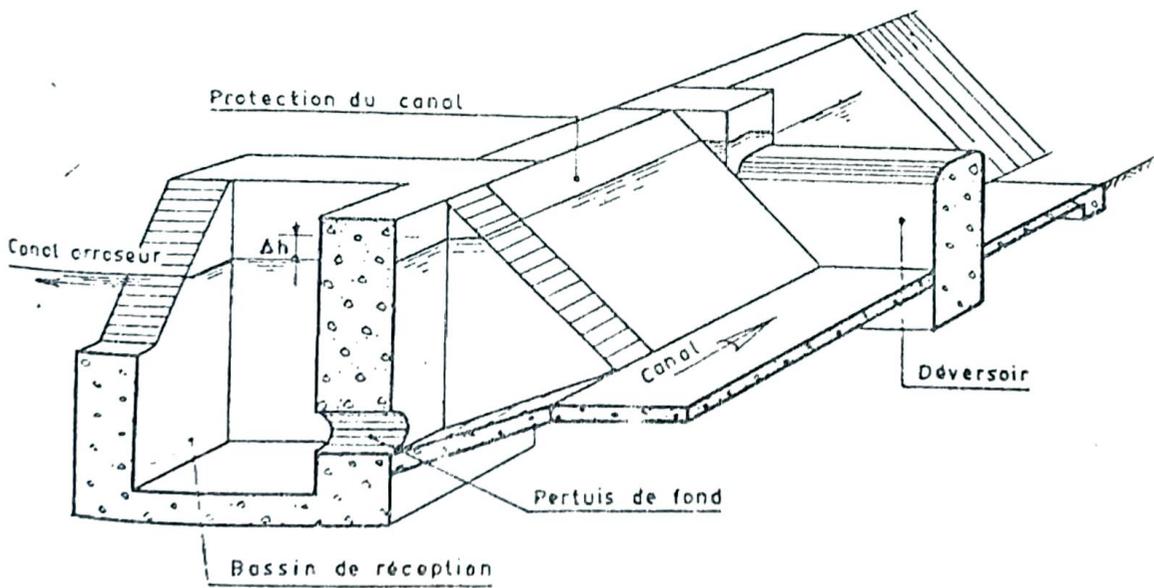


Fig. VI-1 Schéma d'un ouvrage de prise

### 6.3. Le siphon inversé

#### 6.3.1- Généralités

Le siphon inversé est utilisé pour la traversée, par gravité, de l'eau d'un canal, sous une route, un chemin de fer, un drain ou un ouvrage d'art. Ses principales composantes sont :

- a) Le conduit
- b) Les raccordements à l'entrée et à la sortie
- c) Des colliers aux buses
- d) Un ouvrage de décharge
- e) Une revanche additionnelle
- f) Un déversoir de sécurité
- g) Des dispositifs de sécurité

#### 6.3.2 Le conduit

Le conduit généralement utilisé en Haiti pour la construction des siphons est la buse, tuyau en béton armé. On identifie, la buse par une lettre et un chiffre. La lettre détermine la couverture maximale de terre au-dessus de la buse. Le type A peut recevoir 1,5 m de terre, le type B 3 m, le type C 4,5 m et le type D 6 m. Le chiffre qui suit la lettre indique la pression hydrostatique maximale (pied) que peut supporter la buse. Ainsi une buse C 50 aura une couverture maximale de 4,5 m et une pression hydrostatique maximale de 15 m.

Les extrémités des buses seront munies de bagues en caoutchouc pour assurer l'étanchéité des joints. Il est indispensable, si on veut éviter des fuites de respecter les normes relatives aux courbes et aux raccordements.,

Le profil de la conduite doit satisfaire aux conditions minimales suivantes:

- i) 0,6 m de couverture sous une route de ferme ou sous les drains longitudinaux d'une route.
- ii) 0,9 m de couverture sous une route nationale
- iii) 0,9 m sous une rivière ou un drain. S'il s'avère que le fond de la rivière peut s'affouiller, la buse sera placée en dessous de la zone instable.
- iv) 0,6 m sous un canal en terre et 0,15 m sous un canal revêtu.
- v) La pente de la conduite sera comprise entre 0,005 et 0,5.

### 6.3.3 Les raccordements

Un raccordement se retrouve presque toujours à l'entrée et à la sortie d'un siphon. Il assure un écoulement doux, réduit les pertes d'énergie, combat l'érosion et augmente la stabilité hydraulique et structurale de l'ouvrage. Il se produit une accélération graduelle à l'entrée et une décélération à la sortie.

Là où la section de contrôle se trouve à l'aval, la différence de niveau entre la hauteur d'eau amont et le dessus de l'ouverture amont de la buse sera la plus grande des deux valeurs suivantes:

- . 1,5 fois la différence entre l'énergie cinétique dans la buse et l'énergie cinétique dans le canal.
- . 0,075 m

Cette épaisseur d'eau favorisera la transformation de l'énergie de pression en énergie cinétique et diminuera les pertes.

A la sortie, on cherchera à placer le dessus de la buse hors de l'eau. Si l'épaisseur d'eau de couverture est supérieure à un sixième du diamètre, les pertes de charge se rapprocheront de celles d'un élargissement brusque.

Les pertes de charge dans un raccordement en béton dépend avant tout de la différence entre l'énergie cinétique dans le canal et l'énergie cinétique dans le conduit  $\Delta h_v$ . Les pertes de charges sont obtenues en multipliant  $\Delta h_v$  par les coefficients suivants:

- Raccordement en béton:

$$K_1 = 0,4 \text{ à l'entrée}$$

$$K_2 = 0,7 \text{ à la sortie}$$

- Raccordement en terre

$$K_1 = 0,5 \text{ à l'entrée}$$

$$K_2 = 1,0 \text{ à la sortie}$$

Les principales dimensions du type I sont choisies de la façon suivante: (Design canal structures)

- i) La longueur  $L$  sera égale à trois fois le diamètre de la buse
- ii) Les murs de pente 1.1/2 dans  $l$  sont approximativement tangents à l'ouverture du mur d'entrée.  $B$  peut être détermi-

née en utilisant la relation .

$$B = 0,303 D$$

- iii) La largeur  $C$  du radier, dépend de l'angle de convergence de la surface de l'eau. Pour un angle de  $25^{\circ}$  par exemple, on pourra utiliser:

$$C = 0,8 D \text{ quand } D = d$$

$$C = 1,4 D \text{ quand } D = 1,25 d$$

$$C = 1,8 D \quad " \quad D = 1,5 d$$

$$C = 2,3 D \quad " \quad D = 2 d$$

où:

$D$  : diamètre buse

$d$  : hauteur d'eau dans le canal amont.

- iv) On désigne par  $p$  la différence d'altitude des radiers entre les extrémités du raccordement. Il ne doit pas être supérieur à  $3/4 D$  pour le raccordement amont et  $1/2 D$  pour le raccordement aval.
- v) Les murs de parafouille amont ont une profondeur de 0,6 m et une épaisseur de 0,15 m pour les hauteurs d'eau ne dépassant pas 0,9 m.

### Les colliers

Les colliers en maçonnerie ou en béton armé sont utilisés lorsqu'on désire réduire la vitesse de l'eau circulant à l'extérieur de la conduite. Ils contribuent à augmenter le cheminement du courant et sont

indispensables dans les sols limoneux et sableux. Ils découragent, en outre, les rongeurs qui cherchent à se cacher le long de la conduite.

#### 6.3.5- L'ouvrage de décharge

Périodiquement, il faut vidanger le siphon et enlever les sédiments et les couches de matériaux cohérents accolés aux buses. Pour le siphon relativement court, le vidange se fait par pompage. Pour les siphons de grande longueur, une vanne de décharge est placée au point bas. Essentiellement, l'ouvrage comporte une vanne en acier scellée à la conduite, un trou d'homme, un tuyau amenant à ciel ouvert l'eau du siphon.

#### 6.3.6- Revanche additionnelle

La revanche en amont du siphon sera majorée de 50% pour protéger le canal contre tout débordement. Cette revanche additionnelle s'étendra sur au moins 15 m en amont du siphon.

#### 6.3.7- Déversoir de sécurité

Un déversoir en amont du siphon peut permettre la dérivation du débit en cas d'urgence

#### 6.3.8- Dispositif de sécurité

Un siphon inversé représente un véritable danger dans les zones à forte densité de population. Il convient donc de placer une grille à l'entrée du siphon et de cloturer l'entrée et la sortie.

#### 6.3.9- Critères de dimensionnement hydraulique

Le dimensionnement hydraulique consiste à calculer toutes les pertes de charge et à les comparer à la charge disponible. La vitesse à

l'intérieur du siphon sera déterminée comme suit:

- i) 1 m/s ou moins, pour un siphon relativement court pourvu d'un raccordement en terre
- ii) 1,5 m/s ou moins, pour un siphon relativement court pourvu de raccordement, structure de contrôle en maçonnerie ou en béton.
- iii) 3 m/s ou moins, pour un siphon relativement long pourvu de raccordement, structure de contrôle en béton

Les principales pertes de charge sont les suivantes:

- i) Les pertes dans le raccordement convergent
- ii) Les pertes dans un régulateur de débit
- iii) Les pertes dans un ouvrage de contrôle de la hauteur d'eau
- iv) Les pertes de frottement. La pente de la ligne d'énergie se calcule par la formule:

$$s_f = \frac{V^2 n^2}{(r/2)^{4/3}}$$

où:

V : est la vitesse dans la conduite (m/sec)

n : est le coefficient de frottement de Manning

r : est le rayon de la conduite (m)

- v) Les pertes dans les courbes

- vi) Les pertes dans le raccordement divergent
- vii) Les pertes dans les grilles

$$\Delta H = 361 \left( \frac{T V}{D} \right) \sin A \left( \frac{1}{\cos B} \right)^{15/8}$$

où:

- $\Delta H$  : Perte de charge, en mm
- T : Epaisseur des barres de la grille, en mm
- D : Distance d'axe en axe entre les barres, en mm
- V : Vitesse d'écoulement, en m/s
- A : L'angle verticale que fait la grille avec l'horizontale
- B : L'angle horizontale que fait la direction de l'écoulement avec la grille.

On se réserve un facteur de sécurité, en majorant les pertes calculées, de 10%

### 6.3.10 - Cheminée

Une attention particulière devra être accordée aux entrées des siphons longs. Lorsque le débit dans le canal est inférieur au débit nominal ou que le coefficient de frottement se révèle inférieur à celui utilisé dans les calculs, le niveau amont baisse et la conduite en amont peut, ne peut plus être en charge.

Un ressaut hydraulique se forme à l'intérieur de la conduite et peut, sous certaines conditions, provoquer des courants d'air et nuire

au fonctionnement du siphon. Rappelons que dans une conduite à surface libre

$$S = 0,5 (r^2 (\theta - \sin\theta))$$

$$P = r\theta$$

$$D - y = r (1 + \cos\theta/2)$$

où:

S : est section mouillée de la section d'écoulement

r : Est le rayon de la conduite

$\theta$  : est l'angle au centre aux deux extrémités de la section d'écoulement (radians)

P : est le périmètre mouillé

D : est le diamètre de la conduite

On peut se prémunir contre ces inconvénients en plaçant aux endroits où peuvent s'accumuler l'air des cheminées.

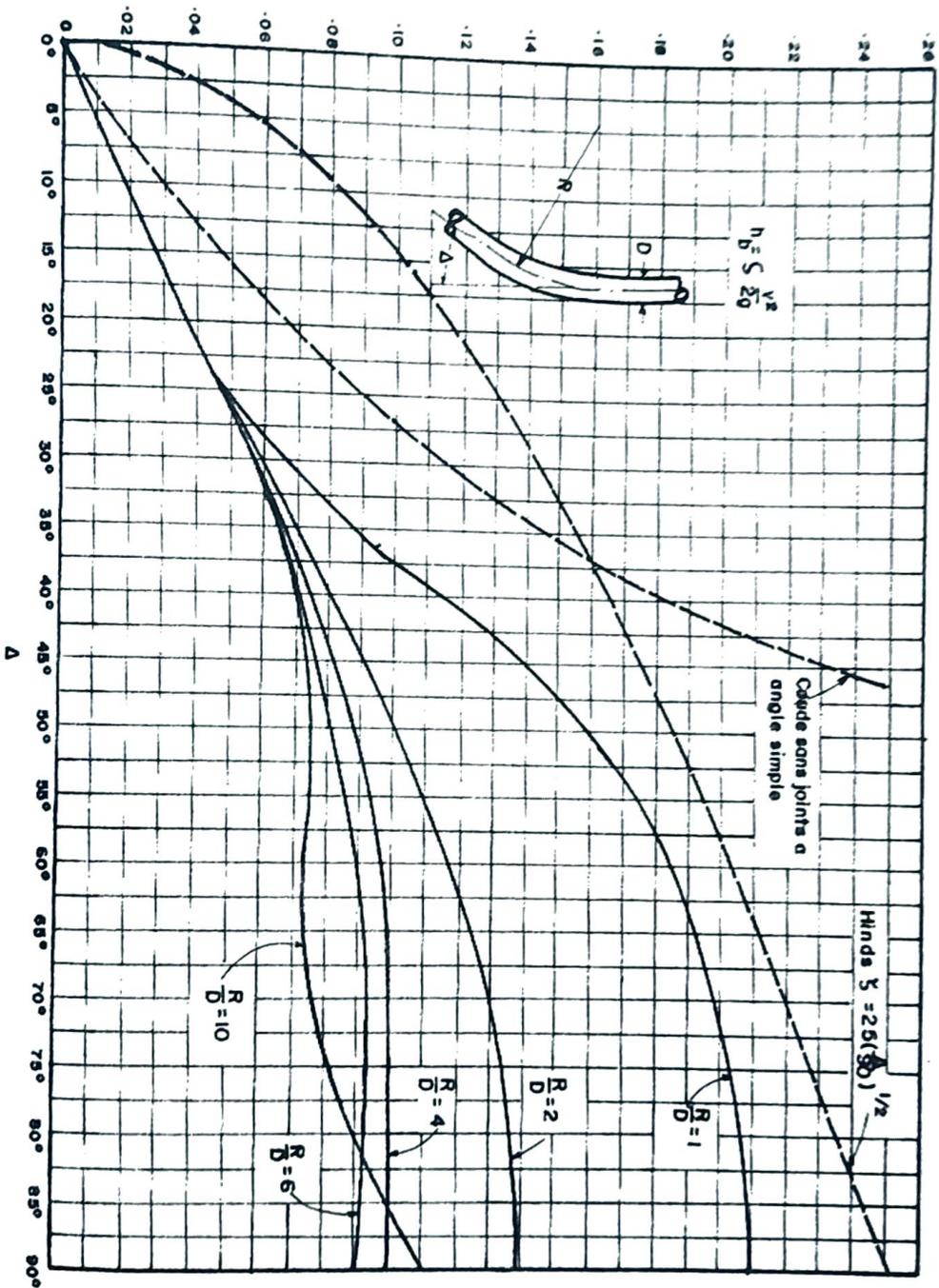


Figure VI-2 Coefficients de pertes de charge pour les cordes dans les tuyaux.

## 6.4 La chute Inclinée

### 6.4.1 : Généralités

Pour protéger les parois des canaux à fortes pentes ( $S > 0,008$ ), il devient indispensable de briser l'énergie du courant.

L'ouvrage que nous nous proposons d'étudier est le canal à forte pente, de section rectangulaire, adapté aux chutes de 1 à 4,5 mètres. Il permet de contrôler le niveau d'eau en amont, de véhiculer un débit à grande vitesse et de dissiper l'excès d'énergie. Il comprend :

- . Un raccordement amont et aval
- . Une section de contrôle
- . Un canal rectangulaire à forte pente
- . Un bassin de dissipation d'énergie

On se reportera au siphon pour les détails des raccordements.

### 6.4.2 La section de contrôle

Une section de contrôle peut s'avérer nécessaire pour maintenir la hauteur d'eau dans le canal, ou empêcher une accélération de l'écoulement à l'approche de la chute. Elle sera dimensionnée de façon à maintenir à peu près la même hauteur d'eau pour des débits variant de  $0,2Q$  à  $Q$ . Elle est formée d'une boîte en béton avec une encoche de forme trapézoïdale et de deux déversoirs latéraux. Le fond de l'encoche est placée à la même élévation que le fond du canal, sa hauteur est égale à la profondeur d'eau. La procédure pour la détermination de la largeur de la base et de la pente du talus est la suivante :

On calcule l'énergie spécifique à  $0,2 Q$  et à  $Q$

$$E = d + h_v$$

$$h_v = \frac{V^2}{2g}$$

où:

$d$  = la hauteur d'eau

$V$  = la vitesse

Il s'agit maintenant de choisir, l'encoche à largeur de base la plus petite et à pente de talus  $S$ , pouvant régulariser les débits compris entre  $0,2 Q$  et  $Q$ . On se référera à Small Canal structure pour la détermination de cette section de contrôle.

Le USBR a standardisé les dimensions de ces ouvrages. Le déversoir est suffisamment long pour faire passer tout le débit même dans le cas d'une obstruction complète de l'encoche; l'élévation du plan incliné est mis à une élévation suffisamment basse ( $R$ ) pour que la section de contrôle reste au niveau de l'ouvrage.

#### 6.4.3 Le canal rectangulaire incliné

Sa largeur sera celle du bassin de dissipation

$$b = \frac{360 (Q)^{0,5}}{Q - 350}$$

où:

$b$  : Largeur du bassin de dissipation(en pieds)

$Q$  : Le débit ( $\text{pi}^3/\text{s}$  )

Le radier aura une inclinaison comprise entre 1,5 : 1 et 2 : 1

#### 6.4.4. Le bassin de dissipation

Pour le dimensionnement structural et hydraulique on se réfère à Small Canal Structures. Pour le dimensionnement hydraulique on calcule:

$$q = \frac{Q}{b}$$

$$d_c = \frac{(q^2)^{1/3}}{g}$$

$$E = d + hv$$

L'énergie spécifique est déterminée dans le canal amont avec un coefficient de frottement  $n$  et dans le canal aval avec un coefficient de frottement  $0,8 n$ .

$$H = E \text{ amont} - E \text{ aval}$$

On néglige les pertes dans les raccordements, la section de contrôle, le canal incliné

On entre dans le tableau VI.1, avec la valeur  $H/dc$  et on en sort avec  $d_1/dc$  et  $d_2/d_1$ .

On calcule:

$$v_2 = \frac{Q}{bd_2}$$

$$h_{v2} = \frac{v_2^2}{2g}$$

La longueur du bassin sera égale à  $4 d_2$ .

H/d <sub>c</sub>	0		0.1		0.2		0.3		0.4		0.5		0.6		0.7		0.8		0.9	
	d <sub>2</sub> /d <sub>1</sub>	d <sub>1</sub> /d <sub>c</sub>	d <sub>2</sub> /d <sub>1</sub>	d <sub>1</sub> /d <sub>c</sub>	d <sub>2</sub> /d <sub>1</sub>	d <sub>1</sub> /d <sub>c</sub>	d <sub>2</sub> /d <sub>1</sub>	d <sub>1</sub> /d <sub>c</sub>	d <sub>2</sub> /d <sub>1</sub>	d <sub>1</sub> /d <sub>c</sub>	d <sub>2</sub> /d <sub>1</sub>	d <sub>1</sub> /d <sub>c</sub>	d <sub>2</sub> /d <sub>1</sub>	d <sub>1</sub> /d <sub>c</sub>	d <sub>2</sub> /d <sub>1</sub>	d <sub>1</sub> /d <sub>c</sub>	d <sub>2</sub> /d <sub>1</sub>	d <sub>1</sub> /d <sub>c</sub>	d <sub>2</sub> /d <sub>1</sub>	d <sub>1</sub> /d <sub>c</sub>
0	1.0	1.0	2.07	.680	2.48	.614	2.81	.572	3.09	.541	3.35	.516	3.59	.494	3.82	.477	4.04	.461	4.24	.448
1	4.44	.436	4.64	.425	4.82	.415	5.00	.405	5.18	.397	5.35	.389	5.53	.38	5.69	.375	5.86	.368	6.02	.362
2	6.18	.356	6.33	.351	6.49	.345	6.64	.340	6.79	.336	6.94	.331	7.09	.327	7.23	.323	7.38	.319	7.52	.315
3	7.66	.31	7.80	.308	7.94	.304	8.07	.301	8.21	.298	8.34	.295	8.46	.292	8.61	.289	8.74	.286	8.87	.284
4	9.00	.281	9.13	.278	9.26	.276	9.39	.274	9.51	.271	9.64	.269	9.76	.267	9.89	.265	10.01	.263	10.13	.261
5	10.25	.259	10.38	.257	10.50	.255	10.62	.253	10.73	.251	10.85	.250	10.97	.248	11.09	.246	11.21	.244	11.32	.243
6	11.44	.241	11.55	.240	11.67	.238	11.78	.237	11.90	.235	12.01	.234	12.12	.233	12.24	.231	12.35	.230	12.46	.228
7	12.57	.227	12.68	.226	12.79	.225	12.90	.223	13.01	.222	13.12	.221	13.23	.220	13.34	.219	13.45	.218	13.56	.216
8	13.66	.215	13.77	.214	13.88	.213	13.98	.212	14.09	.211	14.19	.210	14.30	.209	14.41	.208	14.51	.207	14.61	.206
9	14.72	.205	14.82	.204	14.93	.203	15.03	.202	15.13	.202	15.23	.201	15.34	.200	15.44	.199	15.54	.198	15.64	.197
10	15.74	.197	15.84	.196	15.95	.195	16.05	.194	16.15	.193	16.25	.193	16.35	.192	16.45	.191	16.54	.191	16.64	.190
11	16.74	.189	16.84	.188	16.94	.187	17.04	.187	17.13	.186	17.23	.185	17.33	.185	17.43	.184	17.52	.183	17.62	.183
12	17.72	.182	17.81	.181	17.91	.181	18.01	.180	18.10	.180	18.20	.179	18.29	.178	18.39	.178	18.48	.177	18.58	.176
13	18.67	.176	18.77	.175	18.87	.175	18.95	.174	19.05	.174	19.14	.173	19.24	.173	19.33	.172	19.42	.171	19.52	.171
14	19.67	.170	19.70	.170	19.79	.169	19.89	.169	19.98	.168	20.07	.168	20.16	.167	20.25	.167	20.34	.166	20.44	.166
15	20.53	.165	20.62	.165	20.71	.164	20.80	.164	20.89	.164	20.98	.163	21.07	.163	21.16	.162	21.25	.162	21.34	.161
16	21.43	.161	21.52	.160	21.61	.160	21.70	.160	21.79	.159	21.88	.159	21.97	.158	22.05	.158	22.14	.157	22.23	.157
17	22.32	.157	22.41	.156	22.50	.156	22.58	.155	22.67	.155	22.76	.155	22.85	.154	22.93	.154	23.02	.154	23.11	.153
18	23.19	.153	23.28	.152	23.37	.152	23.45	.152	23.54	.151	23.63	.151	23.71	.151	23.80	.150	23.89	.150	23.97	.150
19	24.06	.149	24.14	.149	24.23	.148	24.31	.148	24.40	.148	24.49	.147	24.57	.147	24.66	.147	24.74	.146	24.83	.146
20	24.91	.146	24.99	.145	25.08	.145	25.16	.145	25.25	.145	25.33	.144	25.42	.144	25.50	.144	25.58	.143	25.67	.143
21	25.75	.143	25.83	.142	25.92	.142	26.00	.142	26.08	.141	26.17	.141	26.25	.141	26.33	.141	26.42	.140	26.50	.140
22	26.58	.140	26.66	.139	26.75	.139	26.83	.139	26.91	.139	26.99	.138	27.08	.138	27.16	.138	27.24	.138	27.32	.137
23	27.40	.137	27.48	.137	27.57	.136	27.65	.136	27.73	.136	27.81	.136	27.89	.135	27.97	.135	28.05	.135	28.13	.135
24	28.22	.134	28.30	.134	28.38	.134	28.46	.134	28.54	.133	28.62	.133	28.70	.133	28.78	.133	28.86	.132	28.94	.132
25	29.02	.132	29.10	.132	29.18	.131	29.26	.131	29.34	.131	29.42	.131	29.50	.131	29.58	.130	29.66	.130	29.74	.130
26	29.82	.130	29.89	.129	29.97	.129	30.05	.129	30.13	.129	30.21	.128	30.29	.128	30.37	.128	30.45	.128	30.52	.128
27	30.60	.127	30.68	.127	30.76	.127	30.84	.127	30.92	.127	31.00	.126	31.07	.126	31.15	.126	31.23	.126	31.31	.126
28	31.38	.125	31.46	.125	31.54	.125	31.62	.125	31.69	.125	31.77	.124	31.85	.124	31.93	.124	32.00	.124	32.08	.124
29	32.16	.123	32.24	.123	32.31	.123	32.39	.123	32.46	.123	32.54	.122	32.62	.122	32.69	.122	32.77	.122	32.85	.122
30	32.92	.121	33.00	.121	33.08	.121	33.15	.121	33.23	.121	33.31	.121	33.38	.120	33.46	.120	33.53	.120	33.61	.120
31	33.68	.120	33.76	.119	33.84	.119	33.91	.119	33.99	.119	34.06	.119	34.14	.119	34.21	.118	34.29	.118	34.36	.118
32	34.44	.118	34.51	.118	34.59	.118	34.66	.117	34.74	.117	34.81	.117	34.89	.117	34.96	.117	35.04	.117	35.11	.116
33	35.19	.116	35.26	.116	35.34	.116	35.41	.116	35.49	.116	35.56	.115	35.63	.115	35.71	.115	35.78	.115	35.86	.115
34	35.93	.115	36.00	.115	36.08	.114	36.15	.114	36.23	.114	36.30	.114	36.37	.114	36.45	.114	36.52	.113	36.59	.113
35	36.67	.113	36.74	.113	36.81	.113	36.89	.113	36.96	.112	37.03	.112	37.11	.112	37.18	.112	37.25	.112	37.33	.112
36	37.40	.112	37.47	.112	37.55	.111	37.62	.111	37.69	.111	37.76	.111	37.84	.111	37.91	.111	37.98	.111	38.05	.110
37	38.13	.110	38.20	.110	38.27	.110	38.34	.110	38.42	.110	38.49	.110	38.56	.109	38.63	.109	38.70	.109	38.78	.109
38	38.85	.109	38.92	.109	38.99	.109	39.06	.109	39.14	.108	39.2	.108	39.28	.108	39.35	.108	39.42	.108	39.49	.108
39	39.56	.108	39.64	.107	39.7	.107	39.78	.107	39.85	.107	39.92	.107	39.99	.107	40.06	.107	40.14	.107	40.21	.106
40	40.28	.106	40.35	.106	40.42	.106	40.49	.106	40.56	.106	40.63	.106	40.70	.106	40.77	.105	40.84	.105	40.91	.105

TABLEAU VI-1 Relation des composantes du ressaut hydraulique.

Les relations de la perte de charge, de la profondeur critique et des profondeurs avant et après le ressaut hydraulique. Pour les canaux rectangulaires dont leur radier est horizontal.

- $H$  = Différence d'énergie des points en amont et en aval du ressaut hydraulique  
 $d_c$  = Profondeur critique pour l'écoulement considéré, calculée pour la largeur du bassin.

$$d_c = (q^2/g)^{1/3}$$

$d_1$  = Profondeur de l'écoulement en amont du ressaut hydraulique

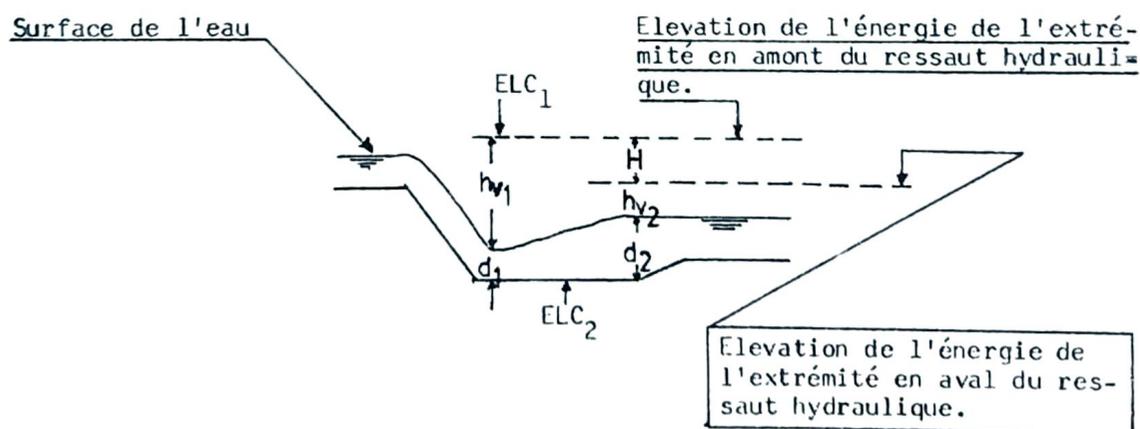
$d_2$  = Profondeur de l'écoulement en aval du ressaut hydraulique

$$K = d_2 - d_1$$

$$ELC_2 = ELC_1 - (d_1 + hv_1) = ELC_1 - (d_2 + hv_2 + H)$$

$$d_1/d_c = (2/(K(K + 1)))^{1/3}$$

$$H/d_c = ((K - 1)^3/4K)(2/(K(K + 1)))^{1/3}$$



## 6.5- Prise d'eau à orifice sous charge constante

### 6.5.1 Généralités

La prise d'eau à orifice noyé sous charge constante est un ouvrage de régulation et de mesure qui utilise pour la régulation du débit une ouverture submergée à ouverture réglable. Elle a été mise au point et adoptée sur une grande échelle par le Bureau of Reclamation des Etats-Unis comme dispositif de répartition pour les petits canaux.

### 6.5.2- Caractéristiques et mode de conception

La prise d'eau à orifice noyé sous charge constante est constituée par un court canal d'entrée menant à un mur amont comportant un ou plusieurs pertuis réglés par vanne, un bassin de tranquillisation et un mur aval avec également un ou plusieurs pertuis réglés par vanne, qui débitent dans un conduit de répartition. Celui-ci est constitué d'un tuyau en charge, en béton préfabriqué, horizontal ou incliné, selon les besoins, et dont la longueur dépend de la largeur des berges du canal et de la présence éventuelle d'une route latérale.

A l'origine, la charge effective était mesurée de part et d'autre du mur amont, à l'aide d'échelles limnimétriques. La fluctuation des niveaux au droit de ces échelles, en particulier aux forts débits, entraînaient cependant des erreurs de lecture assez importantes. Aussi, des puits de mesure sont-ils maintenant placés extérieurement, en amont et en aval du mur amont, pour augmenter la précision des lectures de différences de niveau et en conséquence, du réglage du débit.

### 6.5.3- Dimensions

Pour que le réglage de débit soit précis, il faut qu'il y ait, en amont de la vanne à pertuis réglable, un radier horizontal d'une longueur

égale ou supérieure à la hauteur du pertuis à pleine ouverture. Pour les prises d'une capacité inférieure à 300 l/s, la longueur du bassin de tranquillisation devra être d'au moins 2,25 fois la hauteur d'ouverture de la vanne amont à plein débit, soit 1,75 fois la hauteur du pertuis lui-même. Pour les prises d'une capacité supérieure à 300 l/s, la longueur du bassin sera au moins égale à 2,75 fois la hauteur de l'ouverture de la vanne amont à plein débit. Les murs du canal d'entrée devront être parallèles, à moins qu'une plus grande largeur ne soit nécessaire pour éviter au mur parafouille amont de jouer un rôle de contrôle. Dans ce cas, la largeur supplémentaire pourra être obtenue en donnant aux parois un évasement horizontal de 5:1. La distance entre le mur parafouille de l'entrée et la vanne amont devra être au minimum de 1,5 fois la différence des cotes du radier au mur parafouille et à la vanne amont. Dans un canal en terre, la partie supérieure des murs de l'entrée devrait recouper la pente du talus du canal au niveau normal de l'eau. On donne, en général, au murs de l'entrée une pente plus forte que celle du talus du canal, et on les établit en retrait des talus, de sorte qu'ils ne passent pas en saillie dans le canal, dans le cas d'un élargissement de celui-ci à sa base au cours des curages ou autres travaux de réfection.

#### 6.5.4- Mode de fonctionnement

Le débit est mesuré en utilisant le principe d'après lequel un orifice noyé d'une dimension donnée, fonctionnant sous une charge différentielle déterminée, laissera toujours passer un débit constant. Les vannes à pertuis réglable amont constituent cet orifice. La différence de hauteur d'eau de part et d'autre de la vanne est en général d'environ : 0,06 m, mais elle peut être supérieure à cette valeur si l'on dispose d'une plus grande charge. Cette différence de hauteur d'eau est maintenue constante en réglant la vanne aval et elle est mesurée à l'aide d'échelles limnimétriques installées dans les puits de mesure.

### 6.5.5- Effets des herbes

L'obstruction du pertuis de réglage par les herbes qui sont venues s'y loger peut avoir de sérieuses conséquences, d'autant plus que celles-ci peuvent être difficiles à détecter lorsque l'écoulement est chargé de sédiments. La principale cause d'obstruction résulte de la présence d'herbes gorgées d'eau qui s'immobilisent dans l'ouverture. Ces herbes peuvent arrêter d'autres matériaux et finalement obstruer la prise d'eau.

### 6.5.6- Méthodes de calcul

- i) Déterminer le diamètre du conduit. On se rappellera que la vitesse maximale dans un raccordement en terre est de 1 m/s . Elle est de 1,5 m/s dans un raccordement en béton.
- ii) Déterminer la section de l'orifice. Cette surface doit être atteinte, lorsque la ou les vannes sont ouvertes entre 75 et 80% de leur débouchée maximale.

$$Q = CA \sqrt{2g \Delta h}$$

Dans laquelle:

$Q$  = Débit de la prise de dérivation en l/s

$\Delta h = h$  = Charge différentielle sur la vanne de pertuis réglable = 0,06 m

$A$  = Aire de l'ouverture du pertuis réglable en mètre carré

$C$  = Coefficient de débit

$g$  = Accélération due à la pesanteur soit 9,81 m/s<sup>2</sup>

- iii) Déterminer les longueurs du radier en amont du bassin de tranquillisation. La submersion minimale au dessus de la vanne sera égale à l'ouverture de la vanne; la hauteur du pertuis égale à l'ouverture de la vanne plus l'épaisseur du mur amont.
- iv) Déterminer les côtes au mur aval. La submersion minimale au dessus du conduit devra être supérieure à 1,78 fois l'énergie cinétique  $h_v$ , dans la dérivation plus 0,075 m. La buse sera en outre, placée à 0,10 m au dessus du radier du bassin de tranquillisation.
- v) Déterminer l'altitude maximale du radier au mur parafouille pour que la section de contrôle soit à la vanne amont. Au mur parafouille amont, le débit peut être estimé à l'aide de la formule du déversoir sans contraction latérale, à lame déprimée.

$$Q = C L h^{3/2}$$

où:

$Q$  = Le débit, en  $m^3/s$

$L$  = La largeur du déversoir, (m)

$h$  = La charge sur le déversoir, (m)

$C$  = Coefficient

- vi) Déterminer la côte maximale de la surface d'eau dans le canal aval.
- . Les pertes à l'entrée du conduit est de  $0,78 h_v$
  - . Les pertes par frottement s'obtiennent en multipliant la longueur de la conduite par la pente de la ligne d'énergie.

- Les pertes à la sortie sont de  $h_v$  pour un raccordement en terre; de  $0,7 h_v$  pour un raccordement en béton.
- La submersion minimale au dessus du conduit devra être supérieure à  $0,075$  m pour le raccordement en terre et à  $0,15$  m pour le raccordement en béton.

## 6.6 Partiteur à rapport de répartition constant.

### 6.6.1 Généralités

La principale caractéristique des partiteurs proportionnels à rapport de répartition constant est que le partage, permanent du débit en deux parties ou davantage, s'effectue dans une section de contrôle où la vitesse de l'écoulement est supérieure à la vitesse critique. L'ouvrage présenté ici, détaille assez bien les différents éléments d'une structure conçue pour la répartition équitable d'un débit, le texte est de "Les Petits Ouvrages Hydrauliques No. 26, Bulletin Irrigation et Drainage, IAO".

### 6.6.2- Caractéristiques générales

Le seuil de l'ouvrage que nous allons examiner est de section triangulaire, à pente douce en amont et en aval. La hauteur d'eau à la section de contrôle est égale à la hauteur critique, quelque soit le débit et elle est située exactement au sommet du triangle. La hauteur minimale de la crête du seuil au dessus du niveau du radier de la prise est égale à la hauteur du ressaut lorsqu'il se forme à une distance de  $2H_c$  en aval de la crête ou du seuil. La longueur du radier horizontal d'approche jusqu'à la naissance de la pente amont du seuil est égal à  $2,5 d_1$ ;

$d_1$  étant la hauteur d'eau dans le canal d'alimentation.

La longueur des murs en aile amont est égale à:

$$d_1 + \left[ d_1 + (FB) \right] ss$$

Avec:

$d_1$  = Hauteur d'eau en amont de l'ouvrage

(FB) = Fevanche

ss = Fente des talus du canal

La hauteur des parafouilles amont et aval est égale au double de l'épaisseur du radier.

La hauteur du seuil  $H_{(c-b)}$  est définie à la figure en fonction de la profondeur d'eau critique  $d_c$  et de la profondeur d'eau à l'aval  $d_2$ .

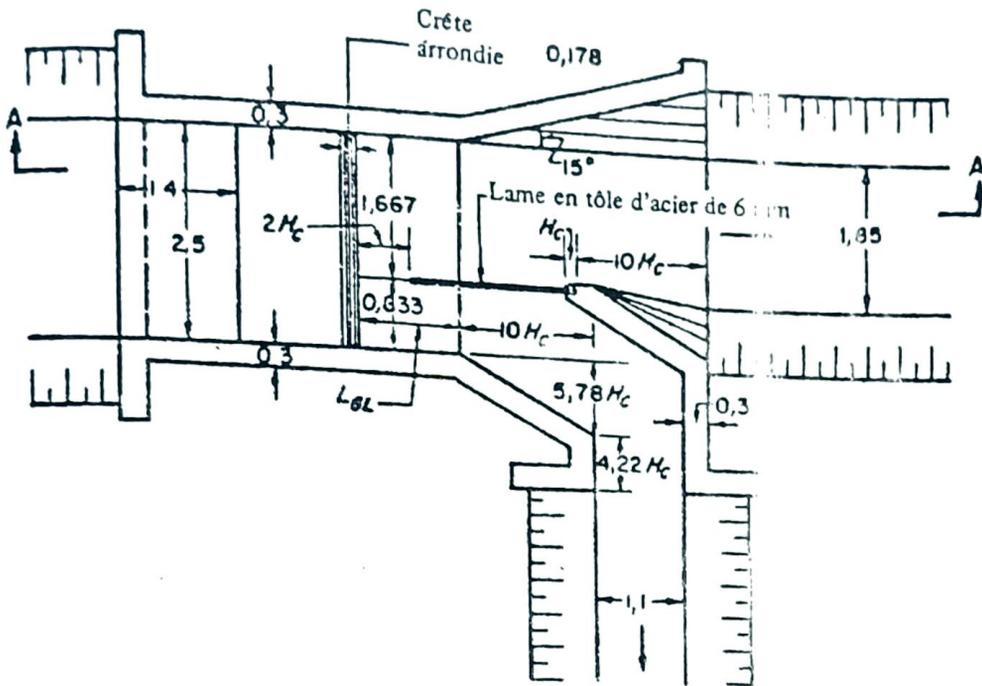
La pente amont du seuil est de 1:4 à 1:5.

Le sommet du seuil triangulaire est arrondi, dans le but d'éviter une contraction de l'écoulement. Le rayon de courbure est égal à  $3 d_c$ .

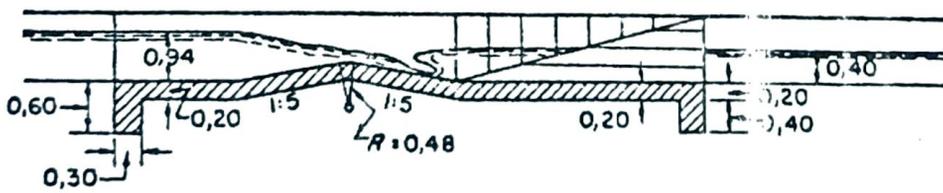
Le seuil a pour longueur  $1,176 d_c$ . La longueur  $L_{GL}$  du coursier aval du seuil (pente 1:5) de l'axe de la crête au raccordement avec le radier est égale à  $d_{(c-b)} + 0,59 d_c$ . Les fonds du canal d'alimentation et des canaux dérivés sont tous au même niveau, et il se pourrait que la hauteur dans le canal d'alimentation diffère quelque peu de la hauteur calculée, mais cela serait alors composé graduellement dans le bief situé immédiatement en amont de l'ouvrage. De même, le niveau du fond de l'autre canal dérivé, immédiatement en aval de l'ouvrage, est le même que celui du canal d'alimentation et toute modification du niveau du plan d'eau, s'il en était besoin, pourrait être effectué plus en aval.

La forme et le profil de l'ouvrage en aval du seuil sont représentés sur la figure

L'épaisseur des murs (murs en aile amont, murs latéraux de la section de contrôle, murs latéraux, murs en aile et murs de séparation aval) et du radier, dépendent de la nature du sol à l'emplacement choisi et de la hauteur à laquelle est située le radier d'approche. L'épaisseur de ces différents éléments peut toutefois être déterminée comme suit:



Plan



Coupe A-A

Note: Toutes les dimensions sont en mètres, sauf indication contraire

FAO - ICID
PARTITEUR SANS RETRECISSEMENT DE SECTION ET SEUIL A PROFIL TRIANGULAIRE
Figure VI.3

## i) En béton

Pour  $Q$  inférieur à 100 l/s, l'épaisseur des murs est de 0,15 m

Pour  $Q$  compris entre 100 l/s et 240 l/s, elle est de 0,20 m

Pour  $Q$  compris entre 240 l/sec et 1 000 l/s, elle est de 0,25 m

## ii) En maçonnerie; l'épaisseur de ces murs est de 0,30 m

L'épaisseur du mur de séparation est de 0,10 m pour un ouvrage en béton et de 0,20 m s'il est en maçonnerie de briques.

L'épaisseur du radier sur toute sa longueur est comme suit:

i) Pour des débits inférieurs à 30 l/s, elle est de 0,10 m en béton et de 0,15 m en maçonnerie.

ii) Pour des débits compris entre 30 l/s et 150 l/s, elle est de 0,12 m en béton et de 0,15 m en maçonnerie

iii) Pour des débits compris entre 150 l/s et 1 000 l/s, elle est de .15 m en béton et de .20 m en maçonnerie

L'épaisseur de la plaque en tôle d'acier qui partage l'écoulement est de 6 mm et elle prend naissance à une distance de  $2 d_c$  en aval de la crête du seuil triangulaire

## Mode de calcul

i) Calculer le débit unitaire  $q$  (par mètre de largeur de la section de contrôle), lequel est égal à

$$q = \frac{Q}{B(t)}$$

$Q$  = étant le débit en  $m^3/s$  du canal d'alimentation

$B(t)$  = La largeur de la section de contrôle en mètres

- ii) Rechercher d'abord la valeur de la profondeur critique  $d_c$  correspondant à  $q$

$$d_c = \sqrt[3]{\frac{q^2}{g}}$$

- iii) La hauteur du seuil  $H_{(c-b)}$  peut être calculée à l'aide de la figure où est définie la relation entre:

$$\frac{H_{(c-b)}}{d_c} \quad \text{et} \quad \frac{d_2}{d_c}$$

- iv) La hauteur d'eau sur le seuil  $d_c$  est donnée par:

$$q = C H_{(crt)}^{3/2} (2g)^{1/2}$$

où:

$C$  est un coefficient déterminé selon:

$$C = \frac{1 + \left[ 1 + \frac{2}{3} \left( \frac{H_{(c-b)}}{d_c} \right)^2 \right]^{0,42}}{2^{1/2} \left[ 3/2 + 0,0066 \frac{H_{(c-b)}}{d_c} \right]^{3/2}}$$

v) La hauteur d'eau en amont du seuil sera donc:

$$d_1 = H_{(c-b)} + d_c$$

et la perte de charge dans la traversée de l'ouvrage:

$$d_1 - d_2$$

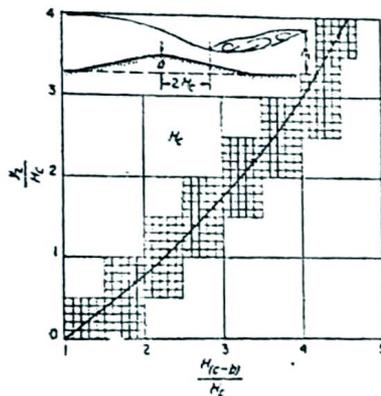


Figure VI.4

- Pariteur avec seuil à profil triangulaire.

Relation entre  $\frac{y_2}{y_1}$  et  $y_2$

$\frac{H(c-b)}{H_c}$

## 6.7 Les jaugeurs Parshall

### 6.7.1 Description

Les jaugeurs Parshall sont des ouvrages spécialement conçus pour mesurer les débits dans les canaux découverts. L'eau transite d'abord dans un tronçon vers une gorge en pente, puis vers un tronçon divergent en contre-pente. Le radier du convergent, placé au-dessus du radier du canal amont, est horizontal et constitue la crête du déversoir. En écoulement dénoyé, la hauteur d'eau au-dessus de la crête est la profondeur critique et une seule mesure permet de calculer le débit. Si le niveau de l'eau en aval dépasse les limites spécifiées ci-dessous, l'écoulement est noyé; deux mesures sont alors nécessaires pour déterminer le débit.

A des débits compris entre 1.5 l/s et 4 m<sup>3</sup>/s correspondent des largeurs de gorge variant de 0,15 m à 2.4 m. Le degré maximum de submersion en écoulement dénoyé, des jaugeurs de 0,15 m et 0,225 m est de 60% (rapport  $\frac{H_b}{H_a}$  fig.VI-5; il est de 70% pour des jaugeurs de 0,3 à 2,4 m. Des échelles limnimétriques pour  $H_a$  et  $H_b$ , sont placées avec le zéro au niveau de la crête. Les jaugeurs Parshall peuvent être construits en béton, en bois, en métal galvanisé; ils peuvent être exécutés au chantier ou préfabriqués. On doit veiller à respecter les dimensions standards. Seuls les murs en aile ont la possibilité d'être rallongés. Le radier du tronçon convergent sera rigoureusement horizontal de façon à répartir la même quantité d'eau sur toute la largeur de la gorge. Une cornière est habituellement encastrée à l'extrémité aval de la crête pour combattre l'érosion. Les murs, de chaque côté de la gorge, seront parallèles et verticaux.

Les jaugeurs Parshall ne peuvent être placés qu'aux tronçons droits des canaux; là où l'écoulement est uniforme. Ils ne doivent jamais être utilisés dans une courbe ou une prise sans que l'écoulement ait été rectifié et uniformément redistribué.

## 6.7.2- Dimensionnement

Les jaugeurs Parshall seront désignés par leur largeur en gorge, les autres dimensions sont données à la figure . On tiendra compte, lors du choix d'un jaugeur de la section du canal, de la gamme des débits à mesurer, de la perte de charge dans le jaugeur, des hauteurs d'eau dans les canaux. En règle générale, la largeur du jaugeur Parshall sera comprise entre 25 et 33% de la largeur de la surface de l'eau à l'amont, au débit nominal et à la profondeur normale.

## 6.7.3- Méthode de calcul

- i) Choisir de la figure les jaugeurs pouvant mesurer la gamme de débits; ne retenir que ceux dont la largeur de la gorge est comprise entre 25 et 30% de la largeur de la surface d'eau
- ii) Déterminer, en écoulement dénoyé, les hauteurs  $H_a$  correspondant, pour les jaugeurs retenus, au débit nominal.

$$Q = 2,06 H_a^{1,58} \text{ jaugeurs de } 0,15 \text{ m}$$

$$Q = 3,07 H_a^{1,53} \text{ jaugeurs de } 0,225 \text{ m}$$

$$Q = 4 W H_a^{1,522} W^{0,026} \text{ jaugeurs de } 0,30 \text{ à } 2,4 \text{ m}$$

où:

$Q$  Est le débit nominal ( $\text{pi}^3/\text{s}$  )

$H_a$  Est la hauteur d'eau dans le puit amont (pied)

$W$  Est la largeur de la gorge (pied)

$H_a + \frac{M}{4}$  devra être inférieur à la profondeur d'eau amont (se référer à la figure pour l'identification de H)

iii) Déterminer à l'aide de la figure les pertes de charge  $H_L$  sur les courbes

$\frac{H_b}{H_a} = 60\%$  jaugeurs de 0,15 m et de 0,225 m

$\frac{H_b}{H_a} = 70\%$  jaugeurs de 0,30 à 2,4 m

$H_L$  devra être inférieur à la charge disponible

iv) Déterminer l'énergie du courant au droit du seuil.

$$E_{\text{courant}} = \text{Élévation du radier} + H_a + \frac{v^2}{2g}$$

où:

v: est la vitesse (m/s) dans la section  $H_a \times W$

g: l'accélération de la pesanteur (32,2 m/s<sup>2</sup>)

Si l'énergie du courant est supérieure à l'énergie potentielle dans le canal amont, le remous provoquera une remontée du niveau amont; un jaugeur plus large est nécessaire.

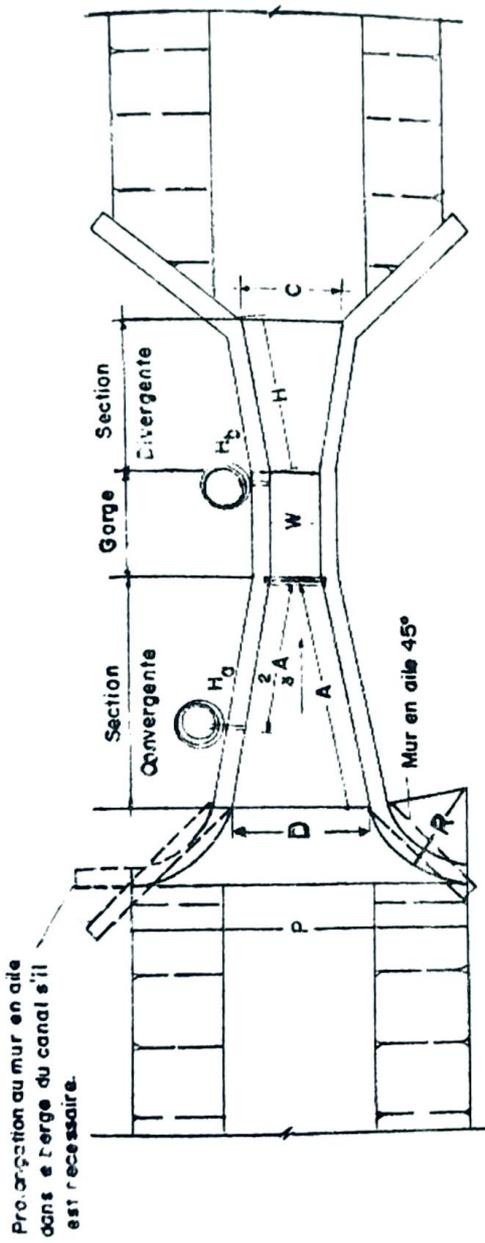
- v) Si la charge disponible est suffisante, régler le niveau d'eau aval de manière à maintenir le rapport  $\frac{H_b}{H_a}$

inférieur ou égal à 60% (jaugeurs de 0,15 m à 0,225 m)

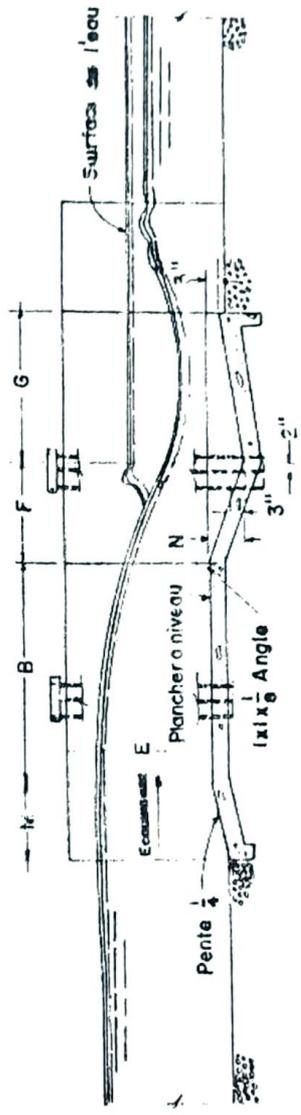
inférieur ou égal à 70% (jaugeurs de 0,3 m à 2,4 m)

Le jaugeur Parshall est habituellement dimensionné pour des conditions dénoyées.

- vi) Sinon, se référer à Small Canal Structures pour les corrections nécessaires en écoulement noyé et déterminer par approximations successives les valeurs  $H_a$ ,  $H_b$ ,  $\frac{H_b}{H_a}$ ,  $H_L$  qui satisfont les données du problème.



PLAN



PROFIL

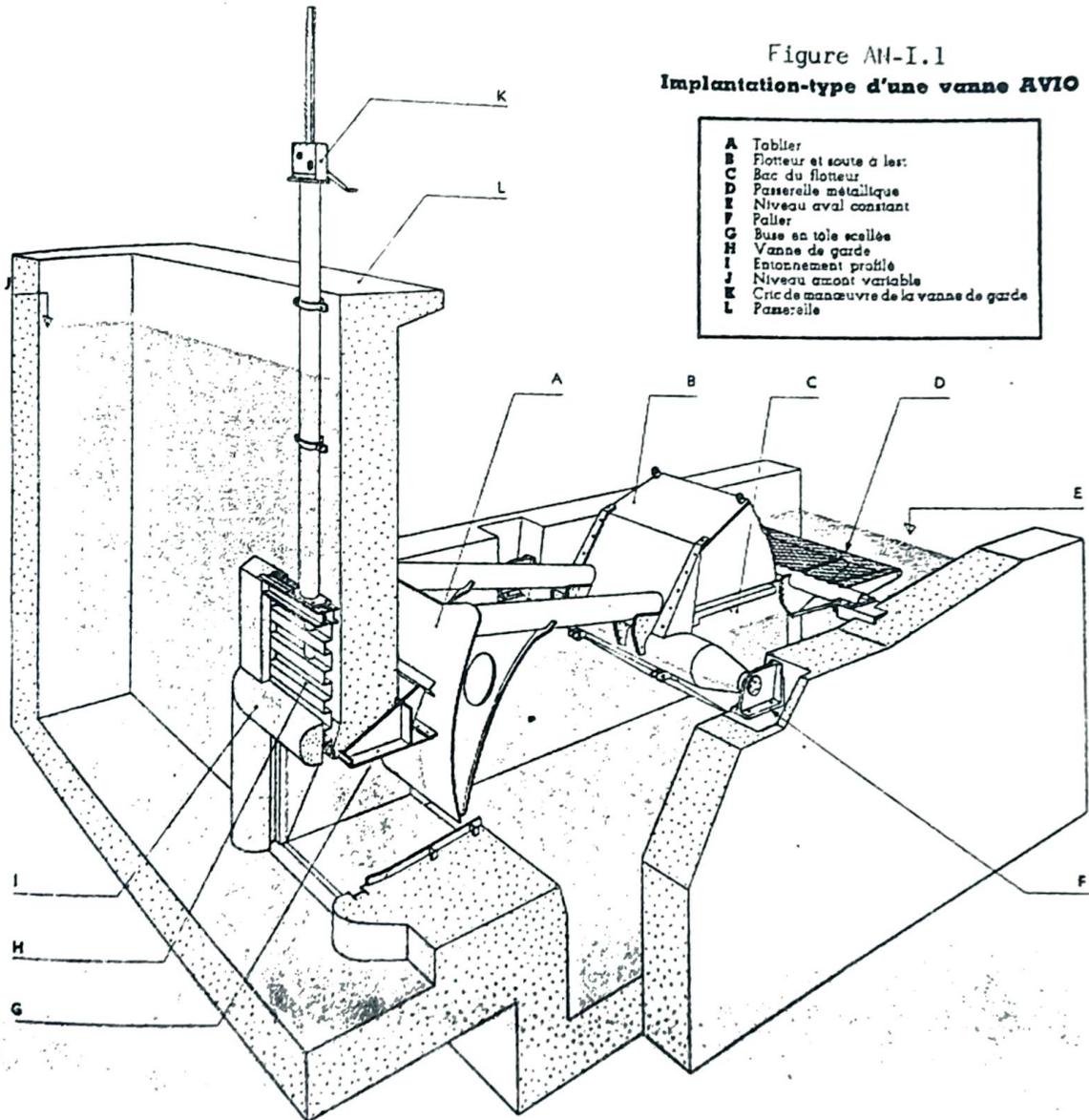
Figure VI-5 Jaugeur Parshall

TABLEAU VI.2 DIMENSIONS STANDARDIS DU CAUCUR PARSHALL

W	A	2/3 A	B	C	D	E	F	G	H	N	P	R	Débit à Ecoulement Maximum Minimum																					
0	6	2	-7/16	1	4 5/16	2	0	1	3.5	1	3 5/8	2	0	0.05	1.9																			
9	2	10 5/8	1	11 1/8	2	10	1	3	1	10 5/8	2	6	1	0.09	4.9																			
1	0	4	6	3	0	4	4 7/5	2	0	2	9 1/4	3	0	2	0	0	3	0	3	0	2	0	0	3	0	1	6	9	4	10 3/4	1	8	.11	16.1
1	6	4	9	3	2	4	7 7/9	2	6	3	4 3/8	3	0	2	0	3	0	1	3	9	5	6	1	5	.15	24.6								
2	0	5	0	3	4	4	10 7/9	3	0	3	11.5	3	0	2	0	3	0	1	3	9	6	1	1	5	.42	33.1								
3	0	5	6	3	8	5	4 3/4	4	0	5	1 7/8	3	0	2	0	3	0	1	3	9	7	3.5	1	8	.61	50.4								
4	0	6	0	4	0	5	10 5/8	5	0	6	4 1/4	3	0	2	0	3	0	1	6	9	8	10 3/4	2	0	1.3	67.9								
5	0	6	6	4	4	5	2.5	6	0	7	6 5/8	3	0	2	0	3	0	1	6	9	10	1 1/4	2	0	1.6	95.6								
6	0	7	0	4	9	6	10 3/8	7	0	9	9	3	0	2	0	3	0	1	6	9	11	3.5	2	0	2.6	103.5								
7	0	7	6	5	0	7	4 1/4	8	0	9	11 3/8	3	0	2	0	3	0	1	6	9	12	6	2	0	3.0	121.4								
8	0	5	0	5	4	7	10 1/8	9	0	11	1 3/4	3	0	2	0	3	0	1	6	9	13	6 1/4	2	0	3.5	139.5								

ANNEXE I  
STRUCTURES HYDRAULIQUES  
POUR LE CONTROLE AUTOMATIQUE

Figure AN-I.1  
 Implantation-type d'une vanne AVIO



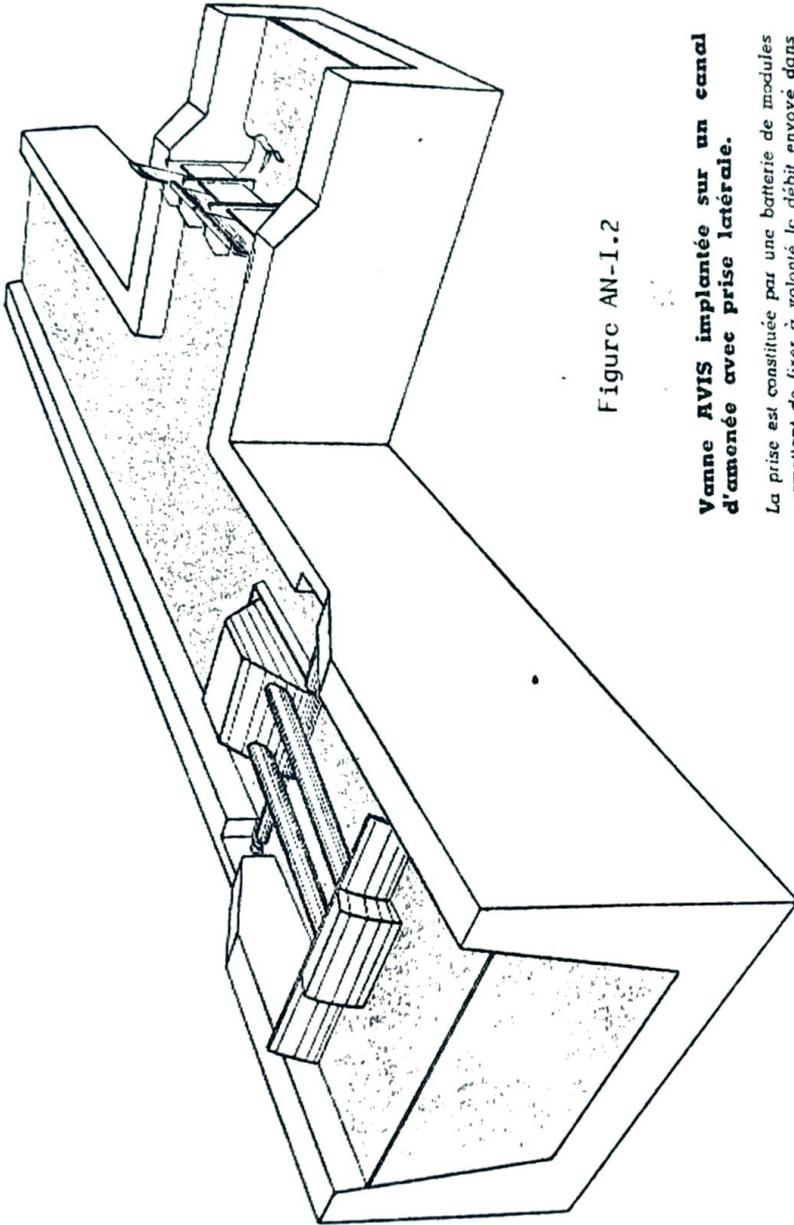


Figure AN-I.2

**Vanne AVIS implantée sur un canal d'amenée avec prise latérale.**

La prise est constituée par une batterie de modules permettant de fixer à volonté le débit envoyé dans le canal secondaire.

La vanne AVIS maintient automatiquement le niveau dans le canal principal, dont le débit d'amenée s'ajuste ainsi aux variations de la demande.

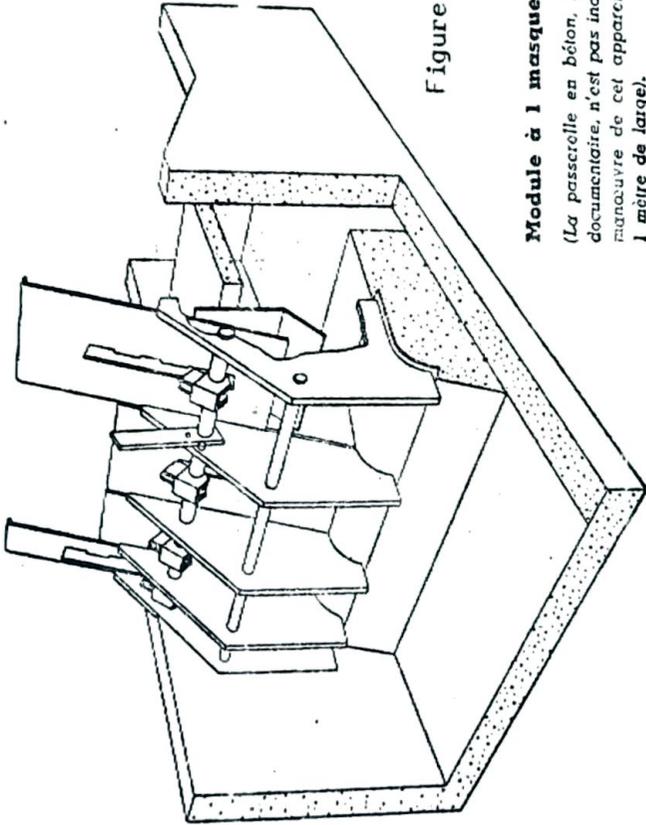


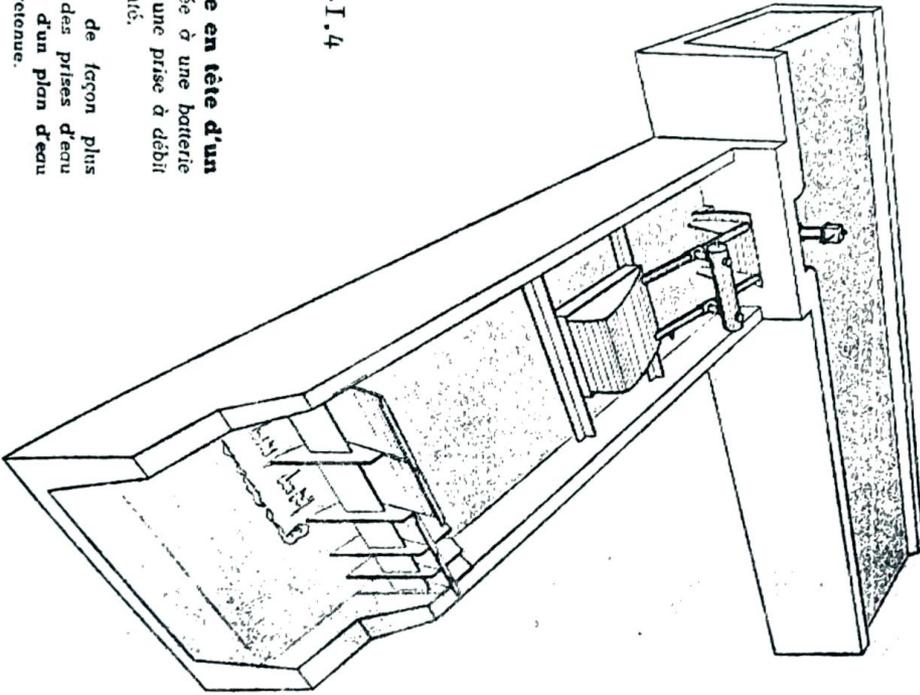
Figure AN-I.3

**Module à 1 masque, type XX, 90**  
(La passerelle en béton, représentée à titre documentaire, n'est pas indispensable pour la manœuvre de cet appareil qui a moins de 1 mètre de large).

Figure AN-I.4

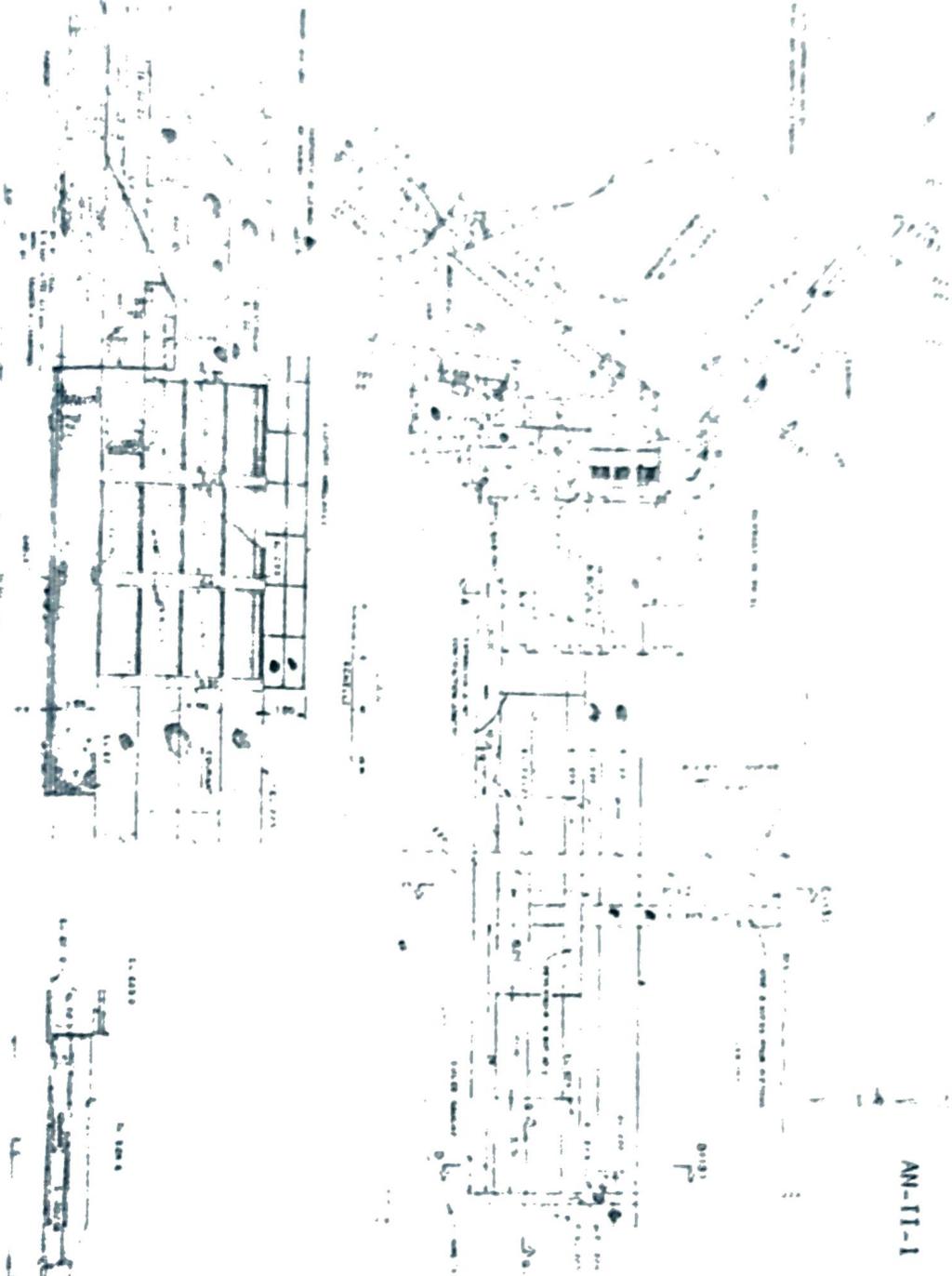
**Vanne AVIO installée en tête d'un canal dérivé :** associée à une batterie de modules, elle constitue une prise à débit constant ajustable à volonté.

Cette solution s'applique de façon plus générale à l'équipement des prises d'eau à débit réglable à partir d'un plan d'eau variable, tel celui d'une retenue.



ANNEXE II  
LES OUVRAGES D'ART DANS UN  
RESEAU D'IRRIGATION  
PRIX DU PROJET RIVIERE BLANCHE

AN-II-1 BARRAGE PROVISOIRE  
 Plan Général et Sections



- NOTES
- 1. Les dimensions indiquées sur les plans sont en mètres.
  - 2. Les dimensions des ouvrages sont indiquées en mètres.
  - 3. Les dimensions des ouvrages sont indiquées en mètres.
  - 4. Les dimensions des ouvrages sont indiquées en mètres.
  - 5. Les dimensions des ouvrages sont indiquées en mètres.
  - 6. Les dimensions des ouvrages sont indiquées en mètres.
  - 7. Les dimensions des ouvrages sont indiquées en mètres.
  - 8. Les dimensions des ouvrages sont indiquées en mètres.
  - 9. Les dimensions des ouvrages sont indiquées en mètres.

BARRAGE PROVISOIRE GENERAL PLAN SECTION 4-4 SECTION 9-9	
No. 1 No. 2 No. 3 No. 4 No. 5 No. 6 No. 7 No. 8 No. 9 No. 10 No. 11 No. 12 No. 13 No. 14 No. 15 No. 16 No. 17 No. 18 No. 19 No. 20 No. 21 No. 22 No. 23 No. 24 No. 25 No. 26 No. 27 No. 28 No. 29 No. 30 No. 31 No. 32 No. 33 No. 34 No. 35 No. 36 No. 37 No. 38 No. 39 No. 40 No. 41 No. 42 No. 43 No. 44 No. 45 No. 46 No. 47 No. 48 No. 49 No. 50 No. 51 No. 52 No. 53 No. 54 No. 55 No. 56 No. 57 No. 58 No. 59 No. 60 No. 61 No. 62 No. 63 No. 64 No. 65 No. 66 No. 67 No. 68 No. 69 No. 70 No. 71 No. 72 No. 73 No. 74 No. 75 No. 76 No. 77 No. 78 No. 79 No. 80 No. 81 No. 82 No. 83 No. 84 No. 85 No. 86 No. 87 No. 88 No. 89 No. 90 No. 91 No. 92 No. 93 No. 94 No. 95 No. 96 No. 97 No. 98 No. 99 No. 100	No. 1 No. 2 No. 3 No. 4 No. 5 No. 6 No. 7 No. 8 No. 9 No. 10 No. 11 No. 12 No. 13 No. 14 No. 15 No. 16 No. 17 No. 18 No. 19 No. 20 No. 21 No. 22 No. 23 No. 24 No. 25 No. 26 No. 27 No. 28 No. 29 No. 30 No. 31 No. 32 No. 33 No. 34 No. 35 No. 36 No. 37 No. 38 No. 39 No. 40 No. 41 No. 42 No. 43 No. 44 No. 45 No. 46 No. 47 No. 48 No. 49 No. 50 No. 51 No. 52 No. 53 No. 54 No. 55 No. 56 No. 57 No. 58 No. 59 No. 60 No. 61 No. 62 No. 63 No. 64 No. 65 No. 66 No. 67 No. 68 No. 69 No. 70 No. 71 No. 72 No. 73 No. 74 No. 75 No. 76 No. 77 No. 78 No. 79 No. 80 No. 81 No. 82 No. 83 No. 84 No. 85 No. 86 No. 87 No. 88 No. 89 No. 90 No. 91 No. 92 No. 93 No. 94 No. 95 No. 96 No. 97 No. 98 No. 99 No. 100





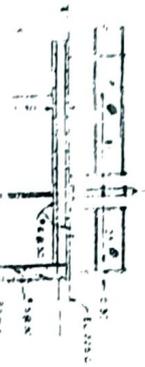
SECTION A-A



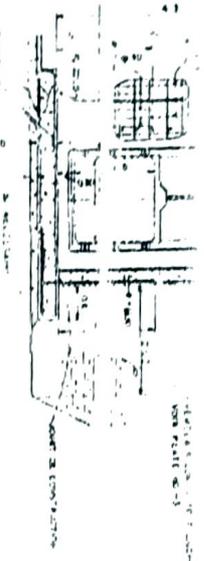
SECTION B-B



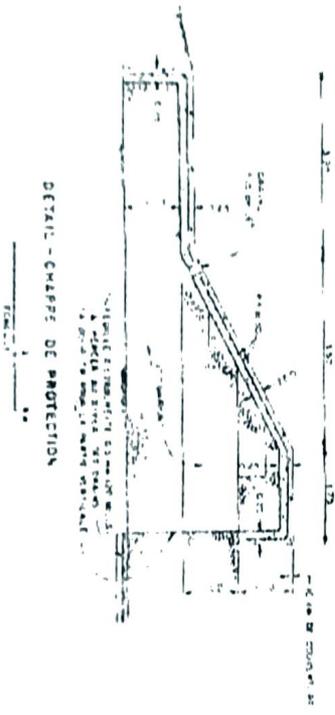
SECTION C-C



SECTION D-D



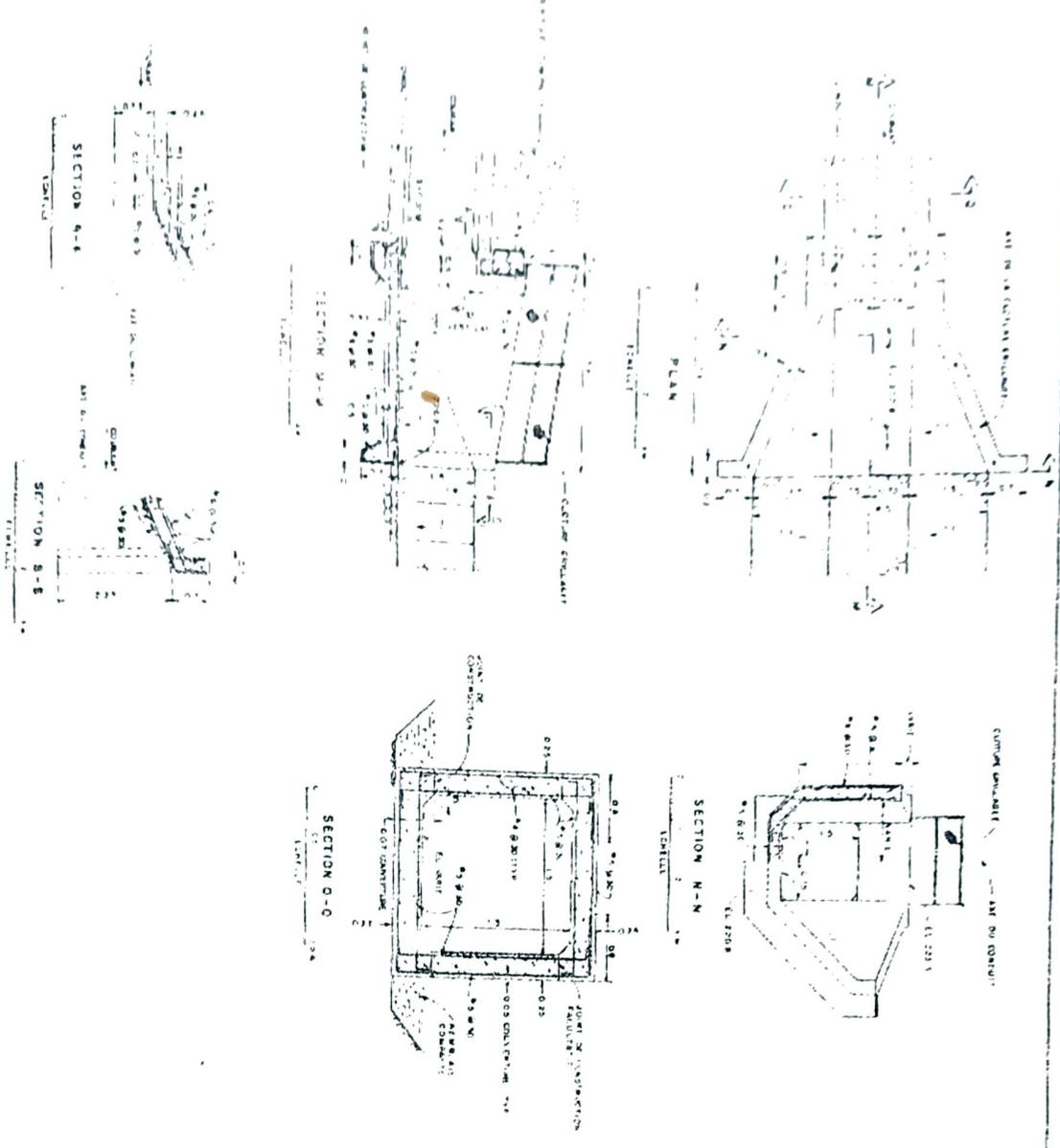
DETAIL - CHASSE DE PROTECTION



NOTES  
 1. VOIR LES NOTES DU PLAN NO 10

DÉPARTEMENT DE LA SÉCURITÉ DES BÂTIMENTS - BUREAU 111 111, RUE DE LA MONTAGNE OTTAWA, K1P 6K6	
BARRAGE PROVISOIRE SECTION DÉTAIL	
CORRIGÉ PAR : M. J. B.	DATE : 1964
POUR APPROBATION : M. J. B.	DATE : 1964
APPROBÉ PAR : M. J. B.	DATE : 1964
DÉSIGNATION : BARRAGE PROVISOIRE	PROJET NO : 111
ÉCHELLE : 1/20	PLAN NO : 111

AN-II-4 BARRAGE PROVISOIRE Conduit

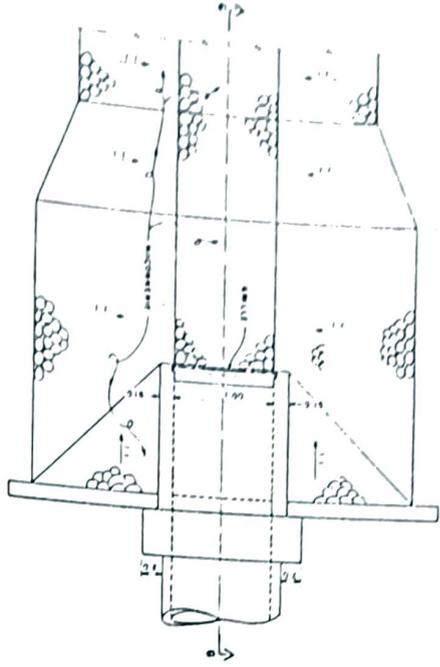


NOTE  
1. TOUTES LES NOTES SONT EN FRANÇAIS

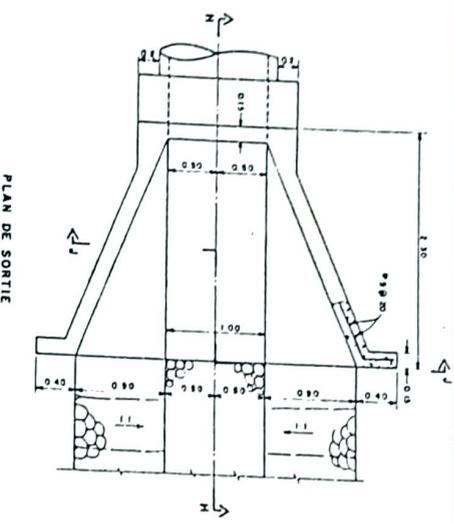
BARRAGE PROVISOIRE  
CONDUIT

CONTRACTANT		REVISIONS	
NO. 1	DATE: 1954.08.10	NO. 1	DATE: 1954.08.10
NO. 2	DATE: 1954.08.10	NO. 2	DATE: 1954.08.10
NO. 3	DATE: 1954.08.10	NO. 3	DATE: 1954.08.10
NO. 4	DATE: 1954.08.10	NO. 4	DATE: 1954.08.10
NO. 5	DATE: 1954.08.10	NO. 5	DATE: 1954.08.10
NO. 6	DATE: 1954.08.10	NO. 6	DATE: 1954.08.10
NO. 7	DATE: 1954.08.10	NO. 7	DATE: 1954.08.10
NO. 8	DATE: 1954.08.10	NO. 8	DATE: 1954.08.10
NO. 9	DATE: 1954.08.10	NO. 9	DATE: 1954.08.10
NO. 10	DATE: 1954.08.10	NO. 10	DATE: 1954.08.10

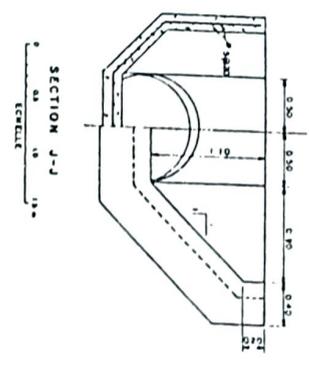
MI-11-5 (Suite)



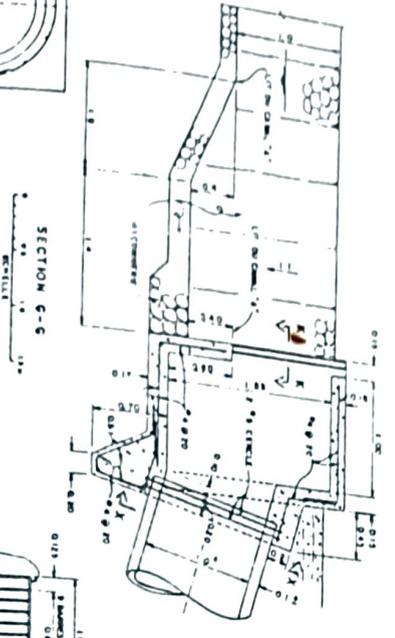
PLAN D'ENTREE  
Echelle 1/50



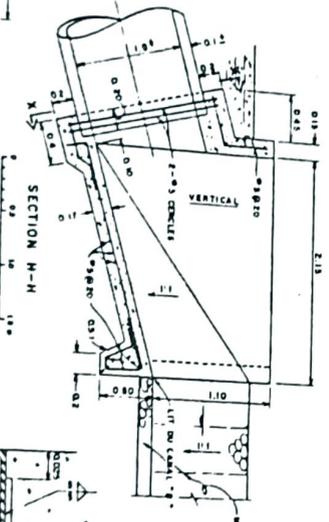
PLAN DE SORTIE  
Echelle 1/50



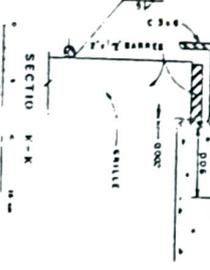
SECTION J-J  
Echelle 1/50



SECTION 6-6  
Echelle 1/50



SECTION M-M  
Echelle 1/50



SECTION K-K  
Echelle 1/50



Grille à ressorts

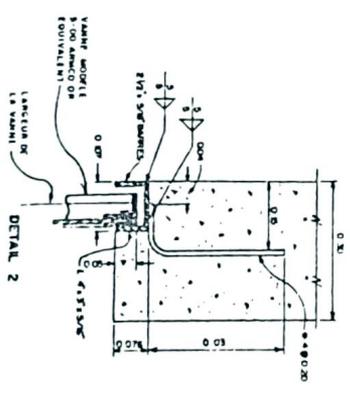
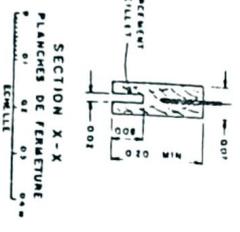
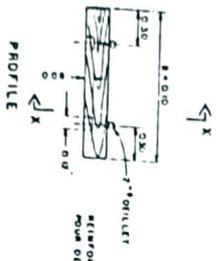
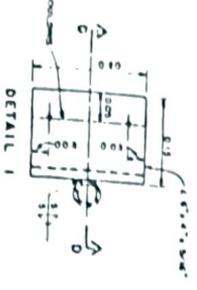
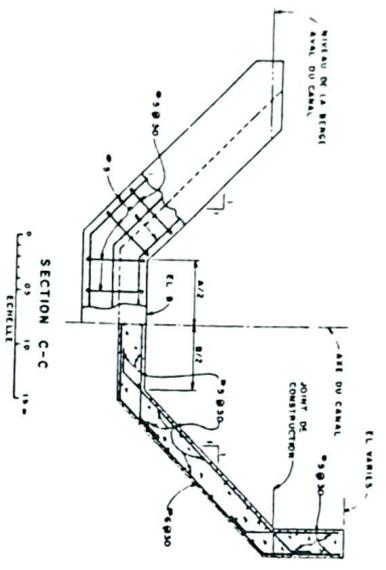
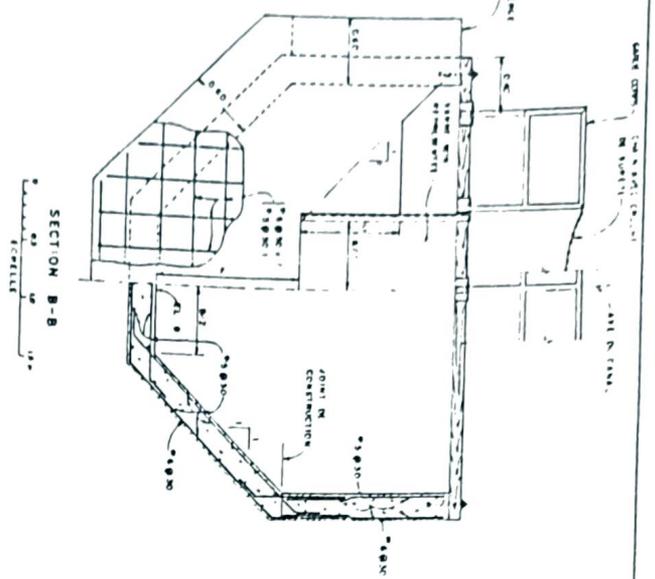
NOTE  
1. POUR LES NOTES VOIR PLANT NO 33

CANAL PETIT BOIS  
SIPHONS

PLANS ET SECTIONS

NO	DATE	REVISIONS	PROJ.	DESIGN.
1				
2				
3				
4				
5				
6				
7				
8				
9				
10				
11				
12				
13				
14				
15				
16				
17				
18				
19				
20				
21				
22				
23				
24				
25				
26				
27				
28				
29				
30				
31				
32				
33				
34				
35				
36				
37				
38				
39				
40				
41				
42				
43				
44				
45				
46				
47				
48				
49				
50				
51				
52				
53				
54				
55				
56				
57				
58				
59				
60				
61				
62				
63				
64				
65				
66				
67				
68				
69				
70				
71				
72				
73				
74				
75				
76				
77				
78				
79				
80				

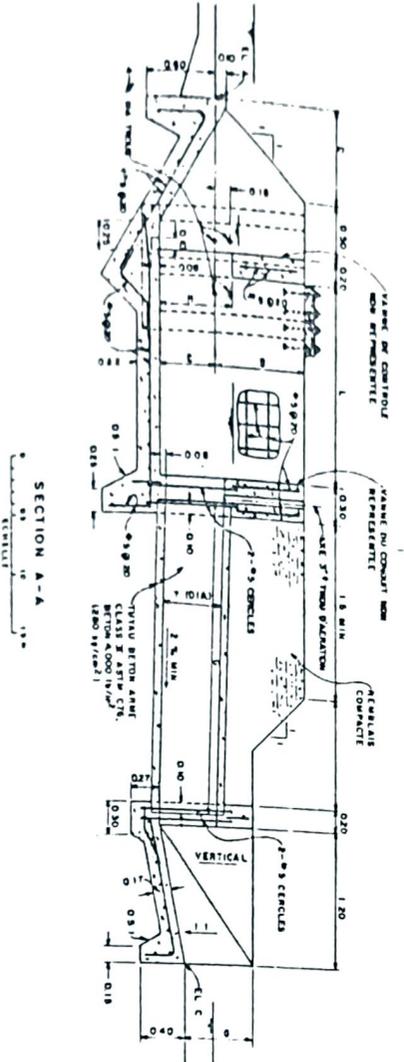
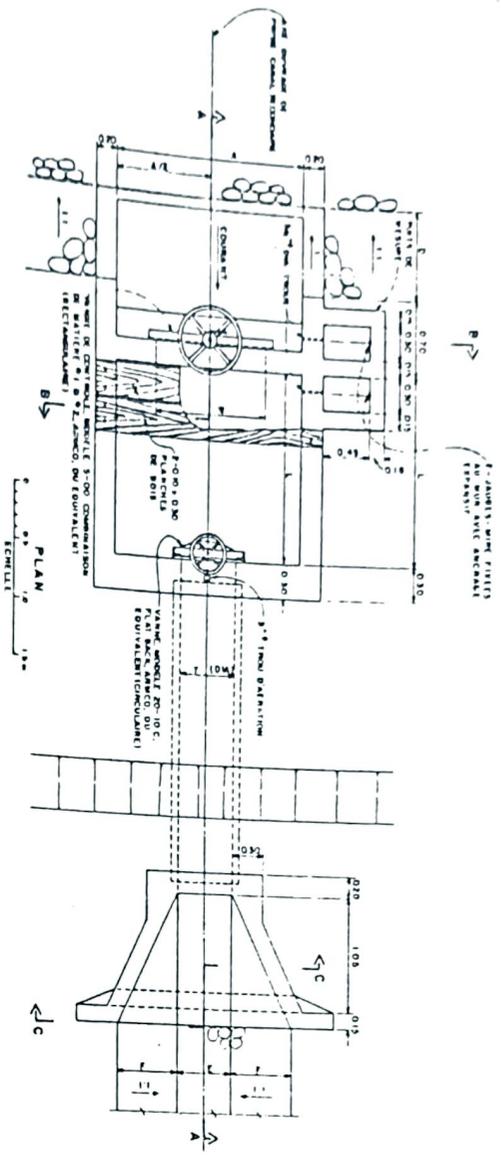




NOTE  
1. POUR NOTES VOIR PLATE NO 28

CHUTE - REGULATUEUR (Section et Détails)

1			
2			
3			
4			
5			
6			
7			
8			
9			
10			
11			
12			
13			
14			
15			
16			
17			
18			
19			
20			
21			
22			
23			
24			
25			
26			
27			



SECTION A-A  
1:50

- NOTES
- 1 POUR NOTES GÉNÉRALES, VOIR PLATE NO 1
  - 2 DIMENSIONS SONT EN MÈTRES SAUF INDICATION CONTRAIRE
  - 3 EL = ALTITUDE

MI-11-8 OUVRAVE DE PRISE SECONDAIRE (Plan et Section)

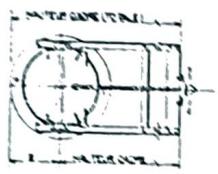
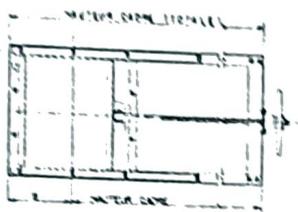
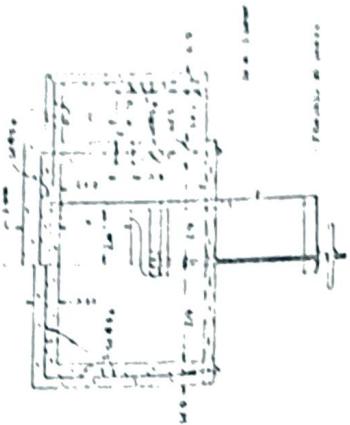
NO	DATE	OBJET	PROJET
1			
2			
3			

RENDUJOUR 0 NAITI  
 DÉPARTEMENT DE L'AGRICULTURE  
 DU DÉVELOPPEMENT RURAL  
 PROJET RIVIERE BLANCHE

OUVRAGE DE PRISE SECONDAIRE  
 PLAN ET SECTION

CONSULTANTS  
 FOC ASSOCIATION SYSTEM ENGINEERS  
 INC. CONSULTING ENGINEERS, INC.

PROJETEUR: M. J. G. MONTFORT  
 ARCHITECTE: M. J. G. MONTFORT  
 DATE: 1971



Cote	Particular	Cote	Section	Part	M	N	O	P	Q	R	S	T	U	V	W	X	Y	Z	VANNIE DE CONDUIT		VANNIE DE CONTROLE	
																			Largeur	Hauteur	Largeur	Hauteur
1.00	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	1.00	1.00	1.00	1.00

NOTE  
1. POUR NOTER VUE PLAN NO 30

**OUVRAGE DE PRISE SECONDAIRE**  
SECTIONS

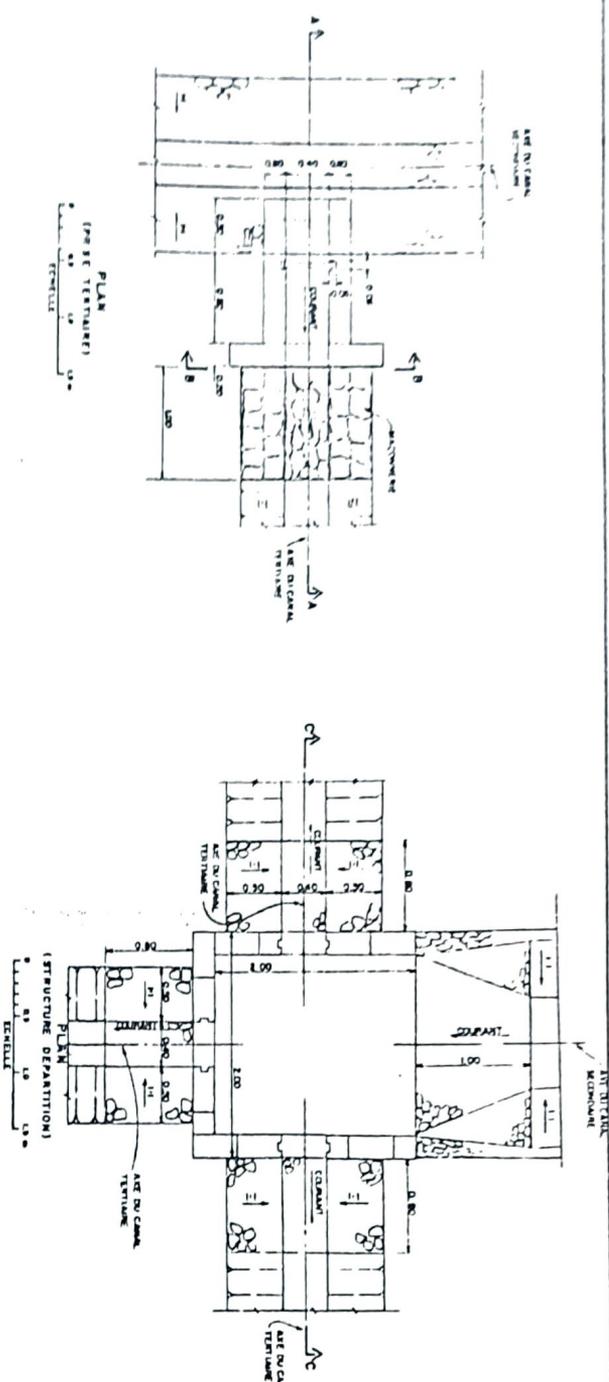
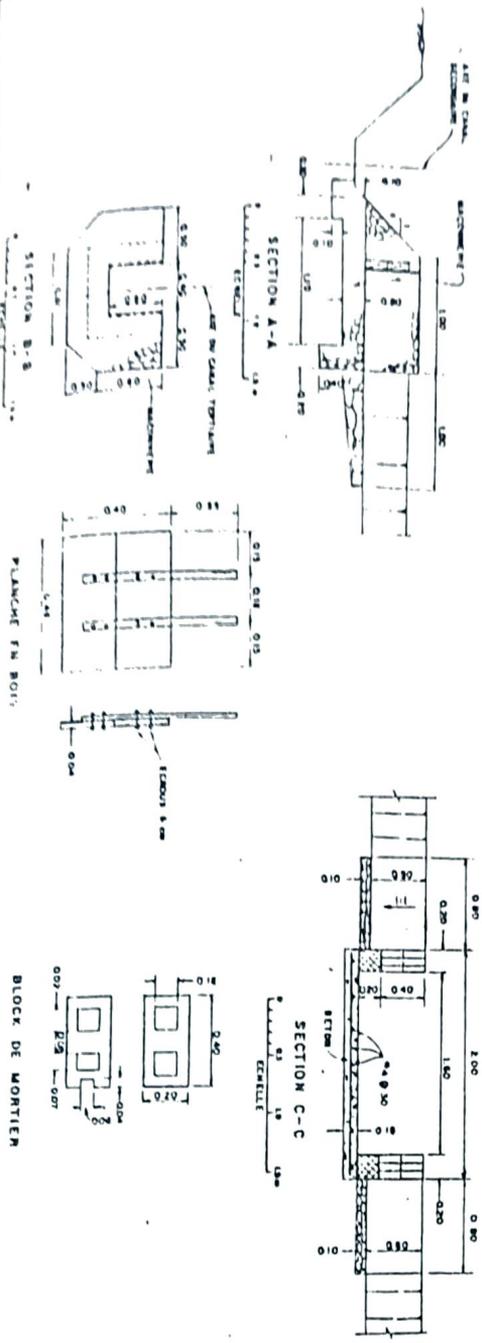
DEPARTEMENT DE L'INDUSTRIE  
DES RESSOURCES NATURELLES ET  
DU DEVELOPPEMENT DURABLE  
PROJET RIVER BLANCHE

CONTRACTANTS  
2000 BROADVIEW AVENUE  
MONTREAL, QUEBEC H3T 2M4

PROJET DE TRAVAIL  
PROJET RIVER BLANCHE - AMELIORATION CANAL  
SECTION 2 DE 2



STRUCTURES DE PRISE TERTIAIRE ET STRUCTURE DE PARTITION



BLOCK DE MORTIER

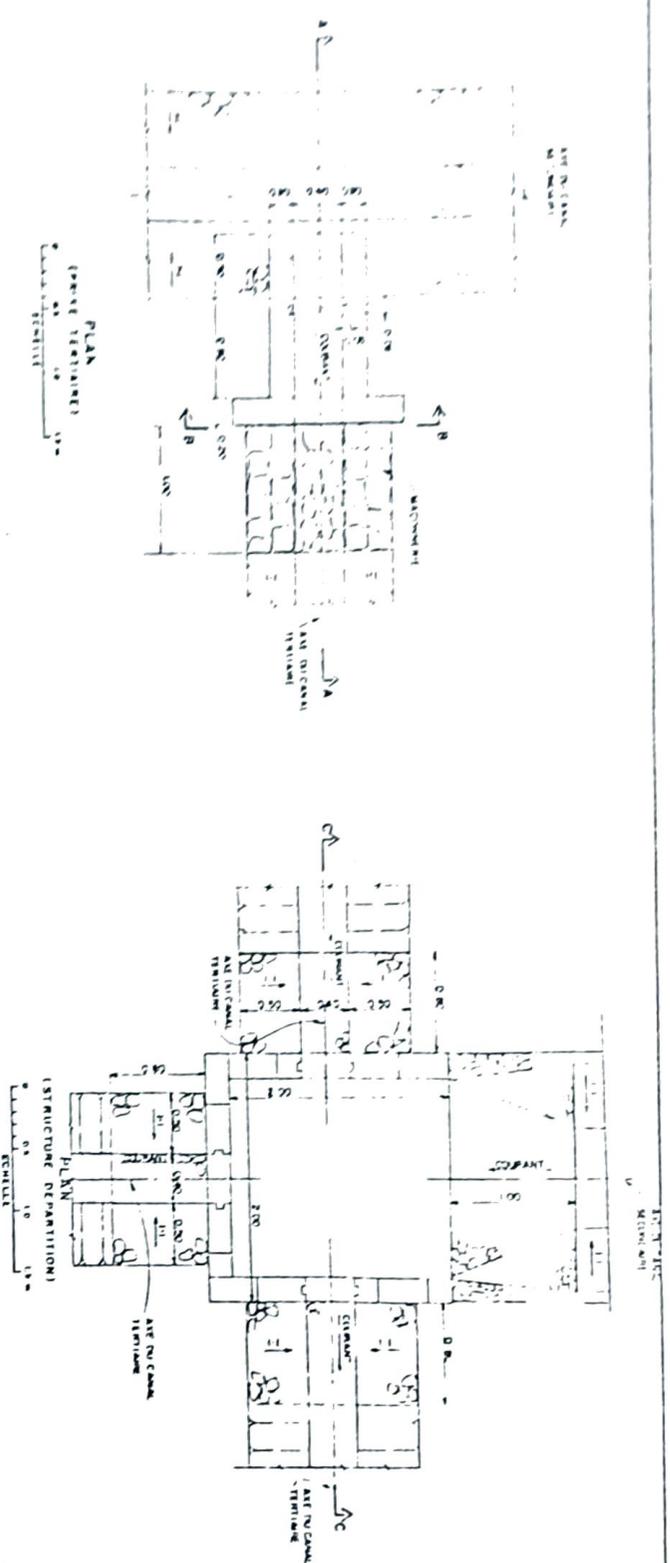
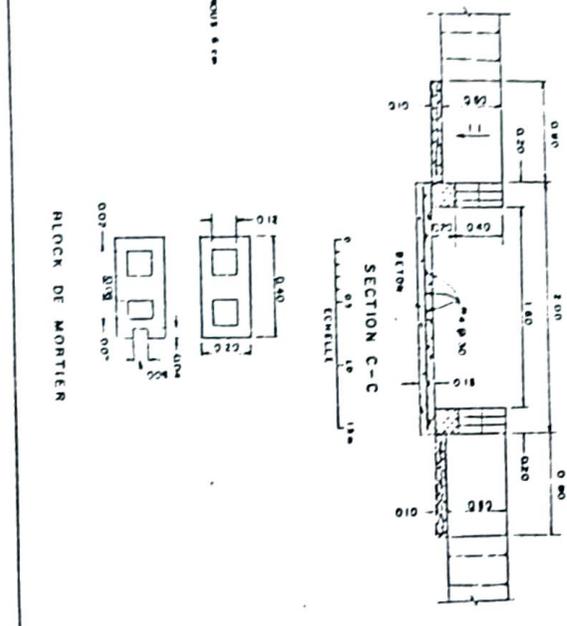
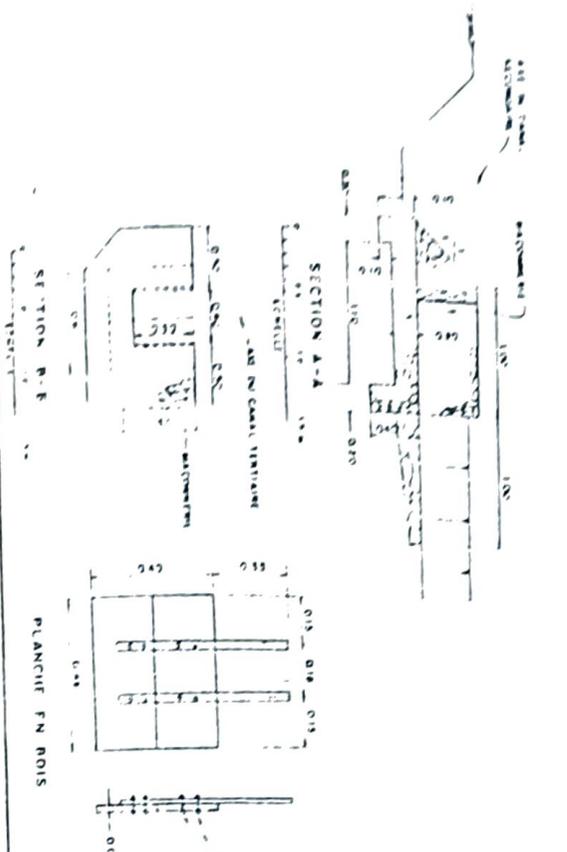
STRUCTURES DE PARTITIONS:

CLASSE	RENDRE	PLATEAU	ETA
CLASSE 1 (P-1)	81	11-80	11-80
CLASSE 2 (P-2)	82	11-80	11-80
CLASSE 3 (P-3)	83	11-80	11-80
CLASSE 4 (P-4)	84	11-80	11-80
CLASSE 5 (P-5)	85	11-80	11-80
CLASSE 6 (P-6)	86	11-80	11-80
CLASSE 7 (P-7)	87	11-80	11-80
CLASSE 8 (P-8)	88	11-80	11-80
CLASSE 9 (P-9)	89	11-80	11-80
CLASSE 10 (P-10)	90	11-80	11-80
CLASSE 11 (P-11)	91	11-80	11-80
CLASSE 12 (P-12)	92	11-80	11-80
CLASSE 13 (P-13)	93	11-80	11-80
CLASSE 14 (P-14)	94	11-80	11-80
CLASSE 15 (P-15)	95	11-80	11-80
CLASSE 16 (P-16)	96	11-80	11-80
CLASSE 17 (P-17)	97	11-80	11-80
CLASSE 18 (P-18)	98	11-80	11-80
CLASSE 19 (P-19)	99	11-80	11-80
CLASSE 20 (P-20)	100	11-80	11-80

NOTE  
1 POUR MORTS DESEPARER VOIR PLATEAU NO 1

PRISES TERTIAIRES: STATIONS NON REPRESENTES NON VERIFIEES SUR LE TERRAIN AVANT CONSTRUCTION

NO	DESCRIPTIF	UNITE	QUANTITE	REMARQUES
1	NETTOYAGE D'AVANT	m <sup>2</sup>		
2	DEBARRAS DE L'ARMEE	m <sup>2</sup>		
3	ETOUVEMENT	m <sup>2</sup>		
4	PROJET RIVE	m <sup>2</sup>		
5	PRISE TERTIAIRE			
6	STRUCTURE DE PARTITION			
7	CONCRETE			
8	MORTIER			
9	BOIS			
10	FER			
11	MAISONNETTE			
12	BOIS			
13	FER			
14	BOIS			
15	FER			
16	BOIS			
17	FER			
18	BOIS			
19	FER			
20	BOIS			
21	FER			
22	BOIS			
23	FER			
24	BOIS			
25	FER			
26	BOIS			
27	FER			
28	BOIS			
29	FER			
30	BOIS			
31	FER			
32	BOIS			
33	FER			
34	BOIS			
35	FER			
36	BOIS			
37	FER			
38	BOIS			
39	FER			
40	BOIS			
41	FER			
42	BOIS			
43	FER			
44	BOIS			
45	FER			
46	BOIS			
47	FER			
48	BOIS			
49	FER			
50	BOIS			
51	FER			
52	BOIS			
53	FER			
54	BOIS			
55	FER			
56	BOIS			
57	FER			
58	BOIS			
59	FER			
60	BOIS			
61	FER			
62	BOIS			
63	FER			
64	BOIS			
65	FER			
66	BOIS			
67	FER			
68	BOIS			
69	FER			
70	BOIS			
71	FER			
72	BOIS			
73	FER			
74	BOIS			
75	FER			
76	BOIS			
77	FER			
78	BOIS			
79	FER			
80	BOIS			
81	FER			
82	BOIS			
83	FER			
84	BOIS			
85	FER			
86	BOIS			
87	FER			
88	BOIS			
89	FER			
90	BOIS			
91	FER			
92	BOIS			
93	FER			
94	BOIS			
95	FER			
96	BOIS			
97	FER			
98	BOIS			
99	FER			
100	BOIS			



STRUCTURES DE PARTITIONS

CLASSE	DESCRIPTION	DATE	PROJ.
1	CLASSE 1 (198-01)	01	1980
2	CLASSE 2 (198-02)	02	1980
3	CLASSE 3 (198-03)	03	1980
4	CLASSE 4 (198-04)	04	1980
5	CLASSE 5 (198-05)	05	1980
6	CLASSE 6 (198-06)	06	1980
7	CLASSE 7 (198-07)	07	1980
8	CLASSE 8 (198-08)	08	1980
9	CLASSE 9 (198-09)	09	1980
10	CLASSE 10 (198-10)	10	1980
11	CLASSE 11 (198-11)	11	1980
12	CLASSE 12 (198-12)	12	1980
13	CLASSE 13 (198-13)	13	1980
14	CLASSE 14 (198-14)	14	1980
15	CLASSE 15 (198-15)	15	1980
16	CLASSE 16 (198-16)	16	1980
17	CLASSE 17 (198-17)	17	1980
18	CLASSE 18 (198-18)	18	1980
19	CLASSE 19 (198-19)	19	1980
20	CLASSE 20 (198-20)	20	1980

NOTE  
1. MOUS MOTIS GENERALIS VOIS "PLAN NO 1"

PRISE TERTIAIRE  
ET  
STRUCTURE DE PARTITION

NO	DESCRIPTION	DATE	PROJ.
1	CLASSE 1 (198-01)	01	1980
2	CLASSE 2 (198-02)	02	1980
3	CLASSE 3 (198-03)	03	1980
4	CLASSE 4 (198-04)	04	1980
5	CLASSE 5 (198-05)	05	1980
6	CLASSE 6 (198-06)	06	1980
7	CLASSE 7 (198-07)	07	1980
8	CLASSE 8 (198-08)	08	1980
9	CLASSE 9 (198-09)	09	1980
10	CLASSE 10 (198-10)	10	1980
11	CLASSE 11 (198-11)	11	1980
12	CLASSE 12 (198-12)	12	1980
13	CLASSE 13 (198-13)	13	1980
14	CLASSE 14 (198-14)	14	1980
15	CLASSE 15 (198-15)	15	1980
16	CLASSE 16 (198-16)	16	1980
17	CLASSE 17 (198-17)	17	1980
18	CLASSE 18 (198-18)	18	1980
19	CLASSE 19 (198-19)	19	1980
20	CLASSE 20 (198-20)	20	1980

PRISES TERTIAIRES S'ATTACHENT  
AUX SYSTEMES SANS VENTILATION  
ET TERRAIN AVALI CONSTRUCTION



ANNEXE III

TABLEAUX

- DE CHARGES DE CALCUL MINIMALES DES PLANCHERS ET DES ELEMENTS SUSPENDUS
- SURCHARGES DUES AU BETAIL SUR PLANCHER A CLAIRE VOIE
- MASSE VOLUMIQUE DES MATERIAUX ET ENSEMBLE DE CONSTRUCTION
- MASSE VOLUMIQUE APPARENTE DES PRODUITS AGRICOLES

Tableau AN-III-1

CHARGES DE CALCUL MINIMALES DES PLANCHERS ET DES ELEMENTS  
SUSPENDUS, SUIVANT L'USAGE

Usage du plancher	Surcharge de calcul en kN/m <sup>2</sup>
<b>Sovins</b>	
Etable à stalles	3,352
Stabulation libre (vaches laitières ou bovins de boucherie)	3,830
Aire d'attente (pour la traite)	3,830
Salles de traite ou laiteries	3,352 2,394 (1)
<b>Moutons</b>	
	1,436
<b>Porcs -</b>	
planchers pleins	1,915
<b>Chevaux</b>	
	4,788
<b>Poulets</b>	
Élevage au sol	1,915 (2)
cages	
sur plancher (2)	
suspendues	
. deux séries de rangées doubles en gradin (sans planches à déjection);	(3) 1,095 kN/m par rangée de cages
. deux séries de rangées doubles en gradin avec superposition partielle des cages (avec planches à déjec- tion);	(3) 1,459 kN/m par rangée de cages
. deux séries de rangées triples en gradin avec superposition partielle des cages (avec planches à déjec- tion).	(3) 2,407 kN/m par rangée de cages
<b>Dindes</b>	
	1,915
<b>Stockage de produits</b>	
	(4)
<b>Matériel agricole</b>	
	(5)
<b>Serres</b>	
	2,394
<b>Ateliers</b>	
	3,352 (voir texte)

(1) (2) (3) (4) (5) - Voir texte pour ces remarques.

TABLEAU AN-III-2

SURCHARGES DUES AU BETAIL SUR PLANCHER A CLAIRE-VOIE		
Bétail	Surcharges à prévoir pour le calcul d'un plancher à claire-voie, en kN/m de longueur de latte	Surcharges uniformément réparties pour des supports de lattes, en kN/m <sup>2</sup> de plancher
Vaches laitières et génisses	4,378	4,788
Vaches de boucherie et bovins à l'engrais	3,648	4,788
Veaux laitiers et veaux de boucherie, jusqu'à 137 kg	2,189	2,394
Moutons	2,189	2,394
Porcs		
jeunes, jusqu'à 23 kg (1)	0,730	1,676
porcs à l'engrais, jusqu'à 91 kg	1,459	2,394
truies, jusqu'à 227 kg (2)	2,481	3,352

## Remarques:

- (1) On peut remplacer les valeurs du tableau par une charge concentrée de 978 N (homme + porc) appliquée au point créant le moment maximal puis à celui produisant l'effort tranchant maximal dans les lattes et leurs supports.
- (2) Les planchers à claire-voie d'une case de maternité doivent être calculés pour une seule charge concentrée de 1 112 N appliquée au point créant le moment maximal puis à celui produisant l'effort tranchant maximal dans les lattes et leurs supports.

Tableau AII-III-3

## MASSE VOLUMIQUE DES MATÉRIEAUX ET ENSEMBLES DE CONSTRUCTION

Matériaux	Masse volumique kg/m <sup>3</sup>	Poids équivalent kN/m <sup>3</sup>
Maçonnerie de pierres artificielles	2 307	22,628
Scories de remplissage	913	8,957
Béton		
ordinaire	2 307	22,628
léger (structural)	1 442-1 242	14,143-12,971
de laitier	2 114	20,743
de pierres	2 307	22,628
armé	2 403	23,571
blocs (porteurs)	961	9,428
Maçonnerie de briques		
dures	2 082	20,428
semi-dures	1 242	12,971
tendres	1 602	15,714
Enduit, mortier	1 538	15,086
Bois de construction séché		
frêne blanc	657	6,443
sapin de Douglas	513	5,029
pruche	449	4,400
pin	481	4,714
épinette	449	4,400
cèdre rouge	384	3,771
Ensembles	Poids par unité de surface kN/m <sup>2</sup>	
Toit de bardeaux, ossature comprise	0,287-0,479	
Toit de tuiles, ossature comprise	0,575-0,718	
Toit de goudron et gravier	0,479-0,575	
Cloisons		
en bois	0,718-0,958	
en maçonnerie d'éléments creux	0,718-1,436	
Murs		
blocs de béton de 300 mm	2,586-4,644	
Planchers		
en bois	0,479-0,718	
en béton de 150 mm d'épaisseur	3,352-3,830	
Murs		
de 100 mm en briques d'argile	1,915	
de 100 mm en blocs d'argile	0,862	
de 100 mm en blocs de béton		
lourds	2,202	
légers	1,580	
Murs		
de 100 mm en blocs de verre	0,862	
de 200 mm en briques d'argile	3,830	
de 200 mm en blocs de béton	2,633	
légers	1,676	
de 200 mm en blocs d'argile	2,011	
de 300 mm en blocs d'argile	2,777	

Tableau AN-III-3, (Suite)

Ensembles	Poids par unité de surface $\text{kN/m}^2$
Poteaux en bois de 38 x 89 mm et enduits	0,958
Dalles de plancher en béton (par 10 mm d'épaisseur) béton de pierres, armé	0,237
béton ordinaire	0,226
Scories de remplissage, avec armatures (par 10 mm d'épaisseur)	0,170
Granulats légers (par 10 mm d'épaisseur)	0,151
Plancher double en bois 38 mm avec solives en bois (épinette) tous les 400 mm	0,215
solives de 38 x 114 mm	0,226
solives de 38 x 140 mm	0,244
solives de 38 x 184 mm	0,265
solives de 38 x 235 mm	0,287
solives de 38 x 286 mm	0,016
Couvertures	0,192
aluminium	0,144
bardeaux d'amiante	0,048
bardeaux d'asphalte	0,287
acier	0,144
5 épaisseurs de feutre et gravier	0,239
Bois de construction	0,144
support de revêtement (par 19 mm d'épaisseur)	0,144
bardeaux de sciage en bois	0,144
bardeaux de fente en bois	0,239
Contreplaqué de sapin	0,040
6 mm	0,050
8 mm	0,065
11 mm	0,082
14 mm	0,100
17 mm	0,006
Panneaux de particules (minimum par mm d'épaisseur, consulter les spécifications du manufacturier)	0,201
Toits à fermes d'une construction agricole - charge permanente	0,273
A - fermes (espacement entre axes de 1 200 mm)	0,441
- couverture métallique	
- sans plafond	
B - fermes (espacement entre axes de 1 200 mm)	
- couverture métallique	
- isolant et plafond en contreplaqué	
C - fermes (espacement entre axes de 1 200 mm)	
- bardeaux d'asphalte - support de couverture en bois de construction	
- isolant et plafond en contreplaqué	

Tableau AI-111-4

## MASSE VOLUMIQUE APPARENTE DES PRODUITS AGRICOLES

Matériel	Masse volumique apparente kg/m <sup>3</sup>	Poids équivalent kN/m <sup>3</sup> (1)	Remarques
<b>GRAINS</b>			
Orge	641	6,286	
Graines de lin	721	7,071	
Avoine	400-561	3,929-5,500	
moulue ou en flocons	304-400	2,986-3,929	
Graines de colza			
Polonais	641	6,286	
Argentin	769	7,543	
Riz	577	5,657	
Seigle	721	7,071	
Grains de soja	769	7,543	
Blé	769	7,543	
Blé moulu	609	5,971	
<b>MAIS</b>			
Egrené, humidité 15,5%	721	7,071	
humidité 24%	737	7,228	
humidité 28%	746	7,323	
humidité 32%	759	7,448	
Egrené et moulu, humidité 15,5%	817	8,014	
Epis de maïs épluchés	449	4,400	
Epis en maïs moulu	577	5,657	
<b>ALIMENTS CONCENTRES</b>			
Luzerne, déshydratée	256-352	2,514-3,457	
Tourteau de luzerne	657-689	6,443-6,757	
Pulpe de betterave, séchée	176-256	1,729-2,514	
Grains de brasserie			
séchés	224-240	2,200-2,357	
humides	881-961	8,643-9,428	
Poudre d'os	801-849	7,857-8,328	
Farine de poisson	481-545	4,714-5,343	
Farine de viande	593	5,814	
Farine de lin	513	5,029	
Farine de soja	545-673	5,343-6,600	
Sel	993-1 121	9,743-11,000	
Son de blé	176-256	1,729-2,514	
Issues de blé	288-400	2,829-3,929	
Tourteau	593-625	5,814-6,129	
Ration broyée	545	5,343	

La masse volumique du maïs égrené augmente d'environ 14% lorsqu'il est moulu et entreposé en cellules profondes  
2 m<sup>3</sup> de maïs en épis donnent environ 1 m<sup>3</sup> de maïs égrené

Tableau AN-111-4 (Suite 1)

MASSE VOLUMIQUE APPARENTE DES PRODUITS AGRICOLES			
Matériel	Masse volumique apparente kg/m <sup>3</sup>	Poids équivalent kN/m <sup>3</sup> (1)	Remarques
<b>FOURRAGES ET LITIERES</b>			
Foin			
long	64-80	0,629-0,786	Ces valeurs doivent être augmentées lorsque le foin est séché artificiellement
haché	128-160	1,257-1,571	
en balles			
liées à la corde	96-128	0,943-1,257	
liées à la broche	160-224	1,571-2,200	
pressé	320	3,143	
Produits ensilés			
sur une hauteur moyenne de 2,4 m	559	5,485	} Sur une base de teneur en humidité de 70% (2).
sur une hauteur moyenne de 9 m	656	6,443	
sur une hauteur moyenne de 12 m	751	7,371	
sur une hauteur moyenne de 15 m	816	8,004	
sur une hauteur moyenne de 18 m	896	8,787	
sur une hauteur moyenne de 21 m	960	9,418	
sur une hauteur moyenne de 24 m	1 024	10,047	
Paille			
longue	56-64	0,550-0,629	
hachée	96-128	0,943-1,257	
en balles lâches	112-128	1,100-1,257	
Copeaux en bois, en balles	320	3,143	
<b>FRUITS ET LEGUMES</b>			
Pommes	609	5,971	Dimensions intérieures de la boîte, 267 x 292 x 457 mm
Haricots			
en cosses	400	3,929	
écosés	769	7,543	
Carottes	641	6,286	
Cerises			
avec queue	721	7,071	
équeutées	817	8,014	
Canneberges	481	4,714	
Oignons, séchés	641-737	6,286-7,228	
Pommes de terre	673	6,600	
Pommes (en boîtes de 36 dm <sup>3</sup> )	481	4,714	

Tableau AN-III-4 (Suite 2)

## MASSE VOLUMIQUE APPARENTE DES PRODUITS AGRICOLES

Matériel	Masse volumique apparente kg/m <sup>3</sup>	Poids équivalent kN/m <sup>3</sup> (1)	Remarques
PRODUITS DIVERS			
Bois avec emballage	192	1,886	
Tabac	561	5,500	
Laine			
en balles comprimées	769	7,543	
en balles non comprimées	208	2,043	
Engrais			
fumier frais (déjections solides et liquides)	1 041-1 121	10,214-11,000	
Ciment Portland	1 394-1 506	13,671-14,771	
Charbon			
anthracite	753 -929	7,386-9,114	
charbon bitumineux	641-865	6,286-8,486	

(1) Le poids équivalent (en N/m<sup>3</sup>) est le produit de la masse volumique apparente (kg/m<sup>3</sup>) par l'accélération gravitationnelle (9,81 m/s<sup>2</sup>) qui varie selon les endroits.

(2) Pour le calcul de la masse volumique apparente à une teneur en eau différente, utiliser la formule suivante:

$$D = [0,30 (D_{70})] / 1-M$$

où D = Masse volumique apparente (ou poids équivalent) à teneur en humidité donnée, en kg/m<sup>3</sup> (ou kN/m<sup>3</sup>)

D<sub>70</sub> = Masse volumique apparente (ou poids équivalent) à 70% de teneur en humidité.

M = Teneur en humidité donnée,  $\frac{\text{pourcentage d'humidité}}{100}$ , base mouillée

M = Poids de l'eau/poids du produit ensilé humide.



