

Cours
Ouvrage des systèmes
d'irrigation

Les barrages

Définition

Ouvrage artificiel coupant le lit d'un cours d'eau et servant soit à en assurer la régulation, soit à pourvoir à l'alimentation des villes ou à l'irrigation des cultures, ou bien à produire de l'énergie

Classement des barrages

Barrages de classe A

h supérieure ou égale à 20 m

Barrages de classe B

h supérieure ou égale à 10 m et $h^2 \times V^{0.5}$ supérieur ou égal à 200

Barrages de classe C

h supérieure ou égale 5 m et $h^2 \times V^{0.5}$ supérieur ou égal à 20


Barrages de classe D

h supérieure ou égale à 2 m

NB : h est, en mètres, la hauteur du barrage au-dessus du terrain naturel et V le volume du réservoir en millions de m³.

Fonctions des barrages

Les barrages ont une ou plusieurs fonctions, répondant à une ou plusieurs demandes :




Approvisionnement en eau (consommation, agriculture)




Production hydroélectrique



Contrôle d'inondation et soutien d'étiage



Contrôle du lit du cours d'eau



Tourisme aquatique

Types et critères de choix

Grands barrages fixes (constitution de réserves d'eau) :

Géographie du bassin versant

Hydrologie du bassin

Hydraulique et sédiments du cours d'eau

Climatologie

Tectonique

Environnement

Economie

Petits barrages fixes (réserve) ou barrages mobiles (relèvement du fil d'eau) :

Géographie, géologie et morphologie du cours d'eau (local)

Régime hydraulique du cours d'eau

Régime sédiment logique du cours d'eau

Régime des glaces et débris flottants

Environnement

Economie du projet



Eléments d'un barrage

La digue du barrage

Une digue est un remblai longitudinal, naturel ou artificiel, le plus souvent composé de terre.

La fonction principale de cet ouvrage est d'empêcher la submersion des basses-terres se trouvant le long de la digue par les eaux d'un lac, d'une rivière ou de la mer.

Classement des digues

Digues de classe A

Hauteur supérieure ou égale à 1 m et nombre d'habitants dans la zone protégée supérieur ou égal à 50000

Digues de classe B

Hauteur supérieure ou égale à 1 m et nombre d'habitants dans la zone protégée supérieur ou égal à 1000

Digues de classe C

Hauteur supérieure ou égale à 1 m et nombre d'habitants dans la zone protégée supérieur ou égal à 10

Digues de classe D

Hauteur inférieure à 1 m ou nombre d'habitants dans la zone protégée inférieur à 10.

L'évacuateur de crue

Un déversoir ou évacuateur de crue est une structure construite pour dériver ou évacuer l'eau retenue derrière un vannage ou barrage fixe, dont la hauteur excèderait une certaine limite (par exemple la crête de l'ouvrage).

Un déversoir assure diverses fonctions :



Envoyer un « trop plein » d'eau vers un « bras de décharge », pour étaler une crue quand le débit en amont provoque une montée d'eau incompatible avec la capacité d'absorption des vannages ou de moulins recevant cette eau.



Conserver une hauteur minimale d'eau en amont d'un bief (les biefs servaient aussi de réserve d'eau et de poissons nourris par les déchets de meunerie et vers de farines sous les moulins à eau produisant le froment ou d'autres farines).



Maintenir en amont du déversoir une hauteur importante d'eau dans la rivière permettrait aussi d'utiliser des pierres gélives (moins coûteuses et plus facile à tailler) pour les radiers, les fondations et la partie basse et immergée des maçonneries de berges.



Permettre un débit de fuite, détournant la rivière lorsqu'il faut la barrer provisoirement pour l'assécher en aval, afin par exemple d'y faire des travaux (de réfection d'un radier, d'un vannage, d'un mur, ou d'un support de roue à aubes.



Certains déversoirs peuvent être conçus comme passe à poissons.

L'évacuateur de fond

Les vidanges de fond ou de demi-fond ne sont pas à proprement parler des évacuateurs de crue, mais il convient de ne pas minimiser leur importance.

Dans certains cas, lorsque les débits à évacuer ne sont pas trop forts, ces organes peuvent suffire à préserver l'ouvrage de tout danger de submersion sinon, ils peuvent contribuer efficacement à éliminer une fraction importante du volume total à évacuer.

La prise d'eau

Les ouvrages de prise d'eau servent à régler en permanence le débit d'eau qui pénètre dans l'étang. Il est plus ou moins nécessaire de construire un ouvrage de ce genre suivant le type d'alimentation en eau utilisé.

Une prise d'eau est inutile en cas d'alimentation exclusive par les eaux de pluie ou de ruissellement, la nappe phréatique ou une source située à l'intérieur de l'étang, ou dans le cas d'un étang de barrage construit directement sur le cours d'eau qui l'alimente.

Une prise d'eau peut être construite pour un étang approvisionné par un canal d'alimentation, par exemple par l'eau dérivée d'une rivière, une source extérieure à l'étang, un puits ou une pompe.

Les stations de pompage

Les stations de pompage sont parfois nécessaires sur certains réseaux d'égouttage ou de collecte.

Elles permettent par exemple de refouler les eaux qui s'écoulent dans un bassin versant opposé à celui dans lequel se situe la station d'épuration.

Cette station de pompage remplace alors économiquement la station d'épuration qui aurait été construite pour ce versant.

•

•

Les prises d'eau principales

Les prises d'eau principales servent à régler globalement et à dériver l'alimentation en eau d'un étang ou d'un groupe d'étangs

Dans nombre de cas, elles se distinguent des ouvrages de transport de l'eau et des ouvrages d'arrivée plus petits, qui approvisionnent et règlent le débit d'alimentation de chaque étang individuellement.

Une prise d'eau a essentiellement pour rôle d'assurer une alimentation régulière en eau, susceptible d'être réglée en fonction des conditions présentes.

Classification

Il y a deux principaux types de prises d'eau:

Une prise d'eau ouverte ou à niveau libre

Dans laquelle les niveaux d'alimentation ne sont pas contrôlés et où la prise fonctionne dans toutes les conditions de débit; ce système est simple et relativement à bon marché, mais il exige généralement une alimentation en eau fiable et qui ne varie pas trop

Une prise d'eau à niveau régularisé

Comportant en aval un ouvrage de dérivation dans le cours d'eau pour y maintenir les niveaux d'eau dans diverses conditions de débit; ce système plus onéreux mais plus fiable garantit un approvisionnement en eau constant.

Cas des prises d'eau avec barrage

La prise d'eau est en quelque sorte l'entonnoir qui capte et dirige l'eau vers la centrale.

Une prise d'eau adaptée aux caractéristiques du cours d'eau la forme ou le débit de la prise d'eau sont calculés en fonction de la propreté de l'eau.

Plus l'eau est sableuse ou limoneuse, plus la vitesse de l'eau à l'arrivée du bassin de décantation doit être lente.

Emplacement d'une prise d'eau

La prise d'eau peut se faire à différents endroits :

en amont du barrage,

en bordure du cours d'eau,

dans le lit du cours d'eau, etc.

Tout dépend de la nature du cours d'eau ou du plan d'eau, par exemple :

En rivière : il est rare que la prise d'eau puisse se faire par le fond à cause des nombreuses particules entraînées par le courant (prise d'eau par en dessous ou prise tyrolienne)

Dans un lac : la prise d'eau par galerie souterraine peut être une excellente option.

Centrale hydroélectrique : le rôle du canal d'amenée

Le canal d'amenée d'une centrale hydroélectrique est un canal aménagé qui permet d'amener l'eau vers la centrale grâce à une pente légère.

En règle générale, la pente du canal se situe entre 0,5/1000 et 3/1000.

Afin que l'eau s'écoule parfaitement, le débit doit être calculé en fonction :

De la pente

De la nature des parois du canal

De la nature du lit.

Le calcul du débit du canal d'amenée

En règle générale, on utilise la formule de Manning-Strickler pour connaître le débit d'un cours d'eau :

$$Q = KSR^{2/3} I^{1/2}$$

S représente la section en contact avec l'eau

R représente le rayon hydraulique

I représente la pente du canal

K représente le coefficient de Strickler dont voici les valeurs selon la nature des parois :

COEFFICIENT DE STRICKLER

Nature des parois du canal d'amenée	K (coefficient de Strickler)
Ciment lisse	100
Béton	80
Gravier fin et sable	50
Gros gravier	35
Galets	30
Gros cailloux	20

Régler le débit pour éviter l'érosion du canal

L'eau, en s'écoulant par le canal d'amenée, provoque une érosion naturelle du sol.

Si celui-ci n'est pas aménagé, la pente devra être réglée de façon à ce que le débit ne soit pas trop important.

Aménager une galerie d'amenée : en cas d'éboulement

En montagne, les risques d'éboulement sont fréquents. Afin d'éviter les problèmes de canaux bouchés, une galerie d'amenée peut être créée. Avant de creuser la galerie, il est nécessaire de :

Faire une étude géologique

solidifier l'ensemble au béton armé pour les terrains instables.

Adduction des eaux

L'adduction d'eau désigne l'ensemble des techniques permettant de transporter l'eau de sa source à son lieu de consommation.

L'eau peut être acheminée grâce à des conduites ou des aqueducs.

Constitution de l'adduction d'eau

L'adduction est constituée :

de la source (rivière, plan d'eau, nappe), à partir de laquelle on pompe l'eau

du réseau de transport (canal, canalisation)

du stockage (bassin, château d'eau)

Enfin du réseau de distribution qui amène l'eau aux consommateurs (robinet, fontaine, etc.).

Les différents systèmes d'adduction

L'adduction par refoulement emploie un système de pompes pour créer une pression dans le réseau tandis que l'adduction gravitaire utilise les différences d'altitude de l'eau, comme c'est le cas pour les châteaux d'eau

Divers problèmes concernent l'adduction d'eau

En effet, dans le cas où les pompes cessent brusquement de fonctionner, l'eau va refluer et soumettre les canalisations à des fortes pressions.

D'autre part, en cas d'inondations, le niveau des eaux usées peut atteindre le circuit d'eau potable et s'y mélanger. On parle ainsi de refoulement.

Notion de débit de dérivation

Le débit liquide Q d'un cours d'eau, volume d'eau qui s'écoule en une seconde dans une section transversale, est le produit:

de la section mouillée S , produit de la profondeur moyenne Hm par la largeur superficielle L

par la vitesse moyenne d'écoulement U , moyenne des vitesses des particules d'eau dans toute la section mouillée

$$Q = L \times Hm \times U$$

Les unités utilisées le plus couramment sont:

le mètre cube par seconde (m³/s) pour le débit, que l'on exprime avec trois chiffres significatifs étant donné qu'il n'est jamais mesuré dans les lits naturels avec une précision supérieure à 2 à 5%

le mètre (m) pour les distances horizontales et verticales, pour lesquelles la précision maximale espérée est de 1%;

le mètre par seconde (m/s) pour la vitesse moyenne d'écoulement, que l'on exprimera avec 2 chiffres après la virgule (précision du cm/s), même si l'on utilise toujours trois chiffres décimaux pour les vitesses ponctuelles.

OUVRAGES DE TRANSPORT DE L'EAU

Types de canaux à découvert

Les fermes agricoles sont équipées de divers types de canaux à découvert pour le transport de l'eau, généralement par gravité; on distingue quatre principaux types d'utilisation:

Canaux d'alimentation pour amener l'eau depuis la prise d'eau principale jusqu'aux étangs; une ferme importante qui possède plusieurs groupes d'étangs en dérivation a habituellement un canal d'alimentation principal, qui se divise en canaux secondaires et même tertiaires;

canaux de drainage pour évacuer l'eau des étangs, par exemple vers une vallée;

canaux de dérivation pour détourner des étangs de barrage les débits d'eau excédentaires;

canaux de protection pour détourner des étangs d'élevage les eaux de ruissellement.

Conception des canaux

Tous les canaux doivent être soigneusement conçus de façon à avoir la *capacité de débit* requise.

Or, la conception d'un canal repose sur l'application de formules mettant en rapport sa capacité de débit, son *profil*, sa *pente* ou *perte de charge* effective et la *rugosité* de ses parois.

***La relation de Manning* est la formule la plus couramment employée:**

$$v = (1 \div n) (R^{2/3}) (S^{1/2})$$

Avec

v = vitesse de l'eau dans le canal;

n = coefficient de rugosité des parois du canal;

R = rayon hydraulique du canal;

S = pente réelle du fond du canal.

Ces termes vous seront précisés par la suite, mais considérons tout d'abord quelques-uns des facteurs fondamentaux pour la conception d'un canal.

Quel profil de canal adopter

Les canaux peuvent avoir différents profils, le *profil semi-circulaire* étant en principe le plus efficient.

Toutefois, ce dernier ne convient pas dans le cas des canaux de terre, et son utilisation est donc généralement limitée aux *canaux surélevés* en béton préfabriqué ou en plastique.

Dans les fermes, les canaux sans revêtement d'étanchéité ont la plupart du temps une *section transversale de forme trapézoïdale*, définie par les éléments suivants:

la largeur (b) de son fond (ou plafond) horizontal;

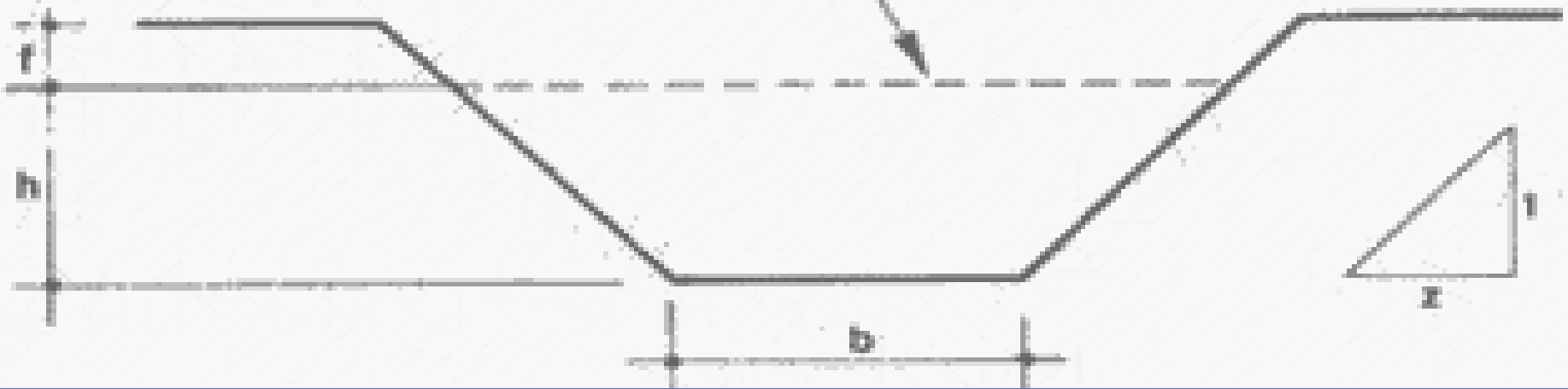
la pente ($z:1$) des parois latérales;

la profondeur maximale de l'eau (h);

la *revanche* (f) permettant d'éviter tout débordement.

Les canaux munis d'un revêtement d'étanchéité de brique ou de béton peuvent aussi avoir un profil transversal rectangulaire.

Surface
de l'eau



Pente 1,5:1



Choix de la pente des parois latérales d'un canal trapézoïdal

La pente des parois latérales d'un canal trapézoïdal est donnée habituellement par la valeur d'un rapport, par exemple 1,5:1.

Ce rapport est égal par définition à la *variation de distance horizontale* (ici 1,5 m) *par mètre de distance verticale*.

La pente latérale peut aussi s'exprimer par l'angle de la paroi par rapport à la verticale, mesuré en degrés et minutes.

La valeur qu'il convient de choisir pour la pente des parois latérales d'un canal de terre de section trapézoïdale dépend du type de sol dans lequel les parois sont creusées (voir tableau 1**).**

La pente des parois peut être d'autant plus forte que le matériau du sol est plus stable.

S'il s'agit d'un canal à revêtement d'étanchéité, la pente des parois est également fonction du type de revêtement employé.

TABLEAU 1 : Pente des parois latérales de canaux trapézoïdaux creusés dans divers types de sols

<i>Type de sol ou de revêtement</i>	<i>Pente des parois latérales inférieure ou égale à:</i>	
Sable léger, argile humide	3:1	18° 20'
Terre meuble, limon, sable limoneux, limon sableux	2:1	26° 30'
Terre ordinaire, argile molle, limon, limon graveleux, limon argileux, gravier	1,5:1	33° 40'
Terre ou argile raide	1:1	45°
Hardpan, sol alluvial, gravier ferme, terre compactée dure	0,5:1	63° 30'
Revêtement de pierre, béton coulé sur place, blocs en béton	1:1	45°
Film plastique enterré	2,5:1	22° 30'

Choix de la pente du fond d'un canal

La pente longitudinale du fond des canaux de terre dépend des caractéristiques topographiques présentes:

en *terrains très plats*, la pente du fond peut être réduite à zéro (canal horizontal) ou tout au plus maintenue à une valeur minimale de 0,05 pour cent, soit 5 cm pour 100 m;

en *terrains plus accidentés*, la pente du fond devrait être limitée à une valeur comprise entre 0,1 et 0,2 pour cent, soit 10 à 20 cm pour 100 m, afin d'éviter un écoulement trop rapide de l'eau dans les canaux et l'érosion de leurs parois.

Si nécessaire, le niveau du fond du canal peut être diminué par la construction de *seuils* dans le canal.

Dans le cas de *canaux à revêtement d'étanchéité* de briques ou de béton par exemple, la pente du fond peut être plus forte, compte tenu du risque d'érosion moins important.

Détermination de la vitesse d'écoulement maximale dans les canaux

La vitesse d'écoulement de l'eau dans les canaux à découvert varie selon la profondeur et la distance par rapport aux parois.

A proximité du fond et au voisinage des bords, l'eau s'écoule moins rapidement.

Lors de la conception d'un canal, l'attention porte d'ordinaire sur la *vitesse moyenne de l'eau* calculée sur toute la section transversale du canal.

***La vitesse moyenne maximale* admissible dans un canal pour éviter l'érosion dépend du type de sol, ou du matériau de revêtement.**

Les valeurs maximales admissibles des vitesses d'écoulement dans les canaux ordinaires et dans les canaux surélevés, pour divers types de sols et de revêtements, sont indiquées au **tableau 2.**

TABLEAU 2 : Vitesses moyennes maximales admissibles de l'eau dans les canaux ordinaires et les canaux surélevés

<i>Type de sol ou de revêtement</i>	<i>Vitesse moyenne maximale admissible (m/s)</i>
Canaux ordinaires sans revêtement	
Argile molle ou très fine	0,2
Sable très fin ou sable pur très léger	0,3
Sable ou limon meuble très léger	0,4
Sable grossier ou sol sablonneux léger	0,5
Sol sablonneux moyen ou limon de bonne qualité	0,7
Limon sablonneux ou petit gravier	0,8
Limon moyen ou sol alluvial	0,9
Limon ferme ou limon argileux	1,0
Gravier ou argile ferme	1,1
Sol argileux raide; sol graveleux ordinaire; argile et gravier	1,4
Pierres cassées et argile	1,5
Gravier grossier, cailloux, schistes	1,8
Conglomérats, gravier aggloméré, ardoise tendre	2,0
Roche tendre, roches stratifiées, hardpan dur	2,4
Roche dure	4,0
Canaux ordinaires à revêtement	
Béton coulé sur place	2,5
Béton préfabriqué	2,0
Pierres	1,6 - 1,8
Blocs de béton	1,6
Briques	1,4 - 1,6
Film plastique enterré	0,6 - 0,9
Canaux surélevés	
Béton ou tôle lisse	1,5 - 2,0
Tôle ondulée	1,2 - 1,8
Bois	0,9 - 1,5

Calcul des caractéristiques géométriques du canal et de son rayon hydraulique R

La connaissance de la largeur du fond b (en mètres),

de la profondeur d'eau maximale h (en mètres)

et de la pente ($z:1$)

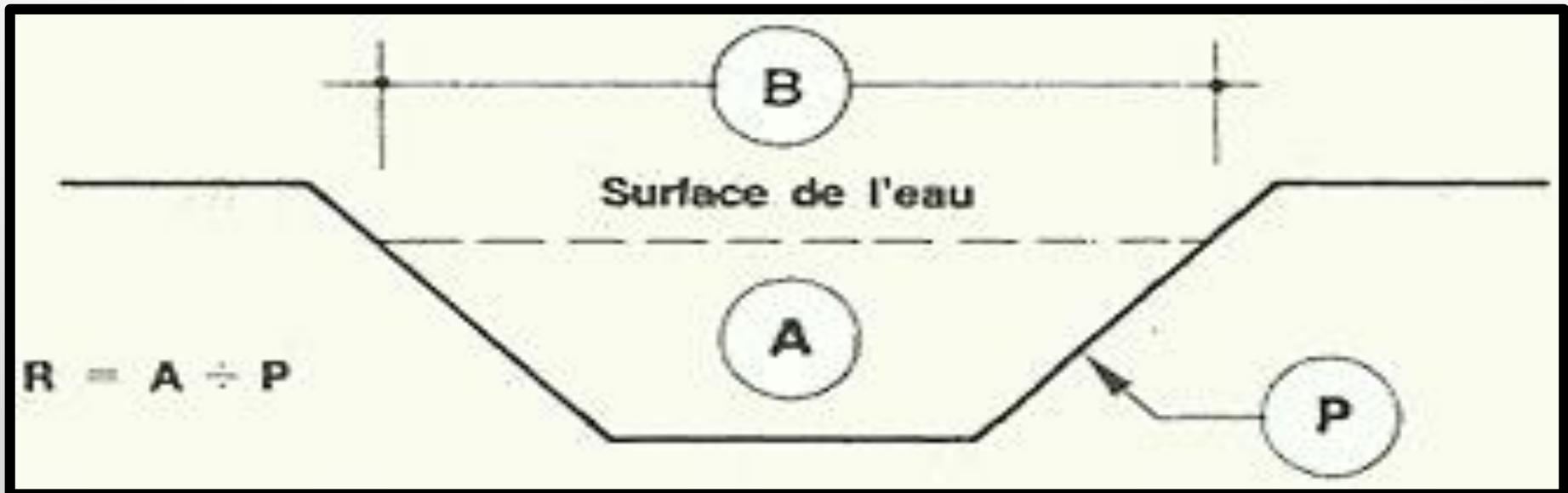
des parois latérales permet de calculer aisément les caractéristiques suivantes du canal:

la section transversale mouillée A (en mètres carrés);

le périmètre mouillé P (en mètres), c'est-à-dire la longueur du périmètre de la section transversale effectivement au contact de l'eau, sans inclure la largeur B à la surface de l'eau (voir tableau 3, colonne 5);

le rayon hydraulique R (en mètres), égal à l'aire A de la section transversale mouillée divisée par le périmètre mouillé P ; on utilise souvent ce paramètre pour définir le profil du canal;

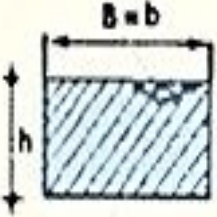
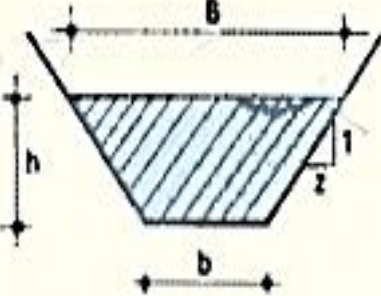
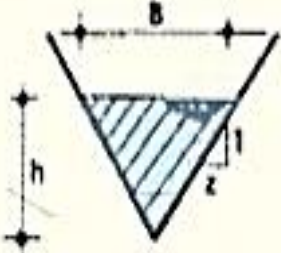
la largeur en surface de l'eau B (en mètres), c'est-à-dire la distance séparant les deux berges à la surface de l'eau.



Les caractéristiques géométriques de la section transversale mouillée des canaux sont récapitulées au **tableau 3 pour les trois types de profils les plus courants: **rectangulaire, trapézoïdal et triangulaire.****

Note: Plus le rayon R est Important, plus le débit du canal est élevé.

TABLEAU 3: Géométrie de la section transversale immergée d'un canal

Section transversale du canal	Superficie de la section transversale A (m ²)	Périmètre mouillé P (m)	Rayon hydraulique R = (2) ÷ (3) (m)	Largeur à la surface de l'eau B (m)
(1)	(2)	(3)	(4)	(5)
	bh	$b + 2h$	$\frac{bh}{b + 2h}$	b
	$(b + zh) h$	$b + 2h \sqrt{1 + z^2}$	$\frac{(b + zh) h}{b + 2h \sqrt{1 + z^2}}$	$b + 2zh$
	zh^2	$2h \sqrt{1 + z^2}$	$\frac{zh}{2 \sqrt{1 + z^2}}$	$2zh$

Abréviations:

b = largeur du fond du canal (m)

h = profondeur maximale de l'eau dans l'axe du canal (m)

z = facteur de pente des parois latérales: variation de distance horizontale par unité de distance verticale

Coefficient de rugosité d'un canal

Le coefficient de rugosité (n) exprime la résistance à l'écoulement créée par les parois latérales et le fond d'un canal.

Plus n est grand, plus la rugosité des parois est importante et plus l'écoulement de l'eau dans le canal est difficile.

Le tableau 4 indique les valeurs du coefficient de rugosité observé dans différentes conditions; il indique également les valeurs inverses ($1 \div n$) qu'il convient d'utiliser dans les calculs.

Conditions d'écoulement de l'eau

n

1 ÷ n

Canal de terre, ordinaire et sans revêtement

Terre lisse et propre, ouvrage récemment terminé	0,017	58,82
Tracé légèrement incurvé, argile ou limon massif, avec dépôts de vase, pas de végétation, en état d'entretien moyen	0,025	40,00
Herbes courtes, peu de mauvaises herbes	0,024	41,67
Mauvaises herbes denses en profondeur	0,032	31,25
Sol irrégulier contenant des pierres	0,035	28,57
Canal mal entretenu, herbes denses sur toute la hauteur de l'eau	0,040	25,00
Fond propre, broussailles sur les berges	0,070	14,29

Canal ordinaire à revêtement

Briques de béton	0,020	50,00
Béton coulé, non fini, rugueux	0,015	66,67
Béton fini à la truelle, lisse	0,013	76,92
Parois de briques grossières	0,015	66,67
Parois de briques soigneusement construites	0,013	76,92
Planches couvertes d'algues/de mousse	0,015	66,67
Planches bien droites, sans végétation	0,013	76,92
Planches bien planes et ajustées	0,011	90,91
Film plastique enterré	0,027	37,04

Canaux surélevés/rigoles/aqueducs

Béton	0,012	83,33
Tôle lisse	0,015	66,67
Tôle ondulée	0,021	47,62
Bois et bambou (lisse)	0,014	71,43

Importance de la pente ou gradient

Dans les cas simples, vous pouvez supposer que la pente du fond du canal est dirigée vers l'aval.

En fait, l'eau circulera dans un canal dans la mesure où le niveau d'eau à l'extrémité amont est plus élevé que le niveau d'eau à l'extrémité aval.

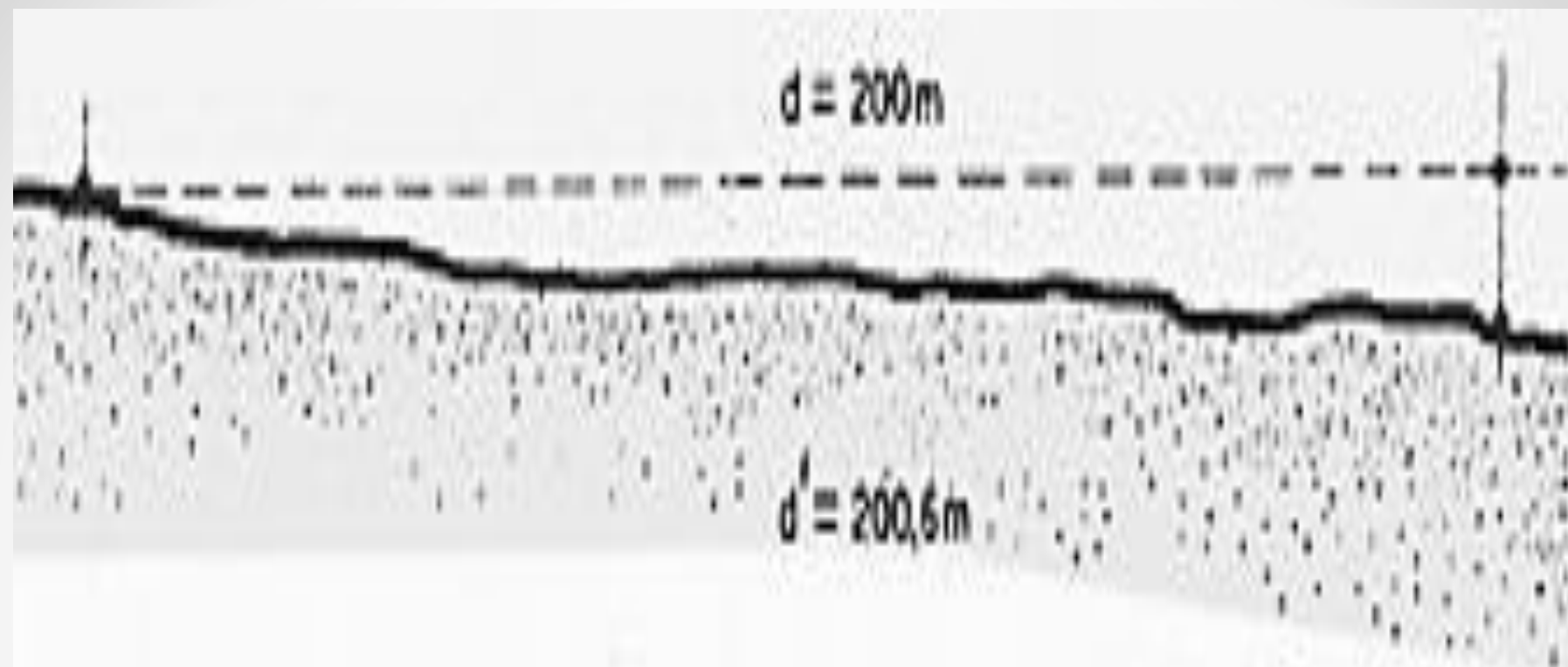
Si le fond d'un canal est horizontal, le gradient peut être considéré comme étant égal à la différence de charge entre l'amont et l'aval.

La pente S du fond du canal est exprimée en mètres de charge par mètre de longueur, par exemple $S = 0,01$ ou 1 pour cent.

Le débit est d'autant plus important que la valeur de S soit élevée.

Il est à noter que pour obtenir un débit régulier et uniforme et réduire au minimum le risque de sédimentation, le canal doit être construit de façon que sa pente de fond suive la déclivité générale du terrain, **c'est-à-dire que la profondeur d'eau demeure constante.**

En raison toutefois de leur plus grande facilité de réalisation, les fonds des canaux sont fréquemment construits horizontaux.



**Quand la pente est très faible,
vous pouvez mesurer soit la distance d sur l'horizontale,
soit la distance d' au sol, et obtenir des résultats
très peu différents**

Estimation de la capacité de débit des canaux de terre

La formule de Manning peut être appliquée directement ou peut être utilisée sous différentes formes simplifiées.

Si vous envisagez de construire un canal de section trapézoïdale standard comportant:

une largeur de fond $b = 1$ m,

des pentes des parois latérales $z:1 = 1,5:1$

et une pente longitudinale très faible $S = 0,0001- 0,0002$ (0,01-0,02 pour cent),

il est possible d'estimer la capacité de débit approximative Q (en mètres cubes par seconde) d'un tel canal, en supposant que la vitesse moyenne de l'eau sera de $v = 0,3-0,5$ m/s, comme suit:

-

Q = aire de la section transversale mouillée x v

Exemple : Si l'on choisit une valeur $v = 0,3$ m/s en raison de la rugosité relative des parois, la capacité de débit d'un tel canal est alors évaluée comme suit:

Profondeur d'eau h (m)	Section transversale mouillée A* (m ²)	Capacité de débit Q	
		(m ³ /s)**	(m ³ /jour)
0.1	0.115	0.0345	2981
0.2	0.260	0.0780	6739
0.3	0.435	0.1305	11275
0.4	0.640	0.1920	16589
0.5	0.875	0.2625	22207

*** $A = (b + zh) h$ avec $b = 1$ m et $z = 1,5$; h obtenu de la colonne 1.**

**** $Q = A \times 0,3$; pour obtenir le résultat en litres par seconde, multipliez par 1000.**

Une autre méthode simple consiste à utiliser un tableau indiquant des estimations de la capacité de débit d'eau pour un certain nombre de dimensions, de profondeurs d'eau et de pentes longitudinales de canaux.

Le tableau 5 fournit des données de ce genre pour un canal de section trapézoïdale creusé dans un sol ordinaire, avec des pentes de parois latérales de 1,5:1.

<i>Pente longitudinale du canal</i>	<i>Profondeur d'eau (m)</i>	<i>Largeur du fond du canal (m)</i>						
		0,10	0,15	0,20	0,30	0,40	0,50	0,75
0,05 pour cent (S = 0,0005)	0,05	—	—	—	—	—	1,40	2,10
	0,10	—	—	—	—	5,05	6,24	9,15
	0,12	—	—	—	5,21	7,47	9,07	13,33
	0,14	4,17	5,22	6,58	8,18	10,31	12,33	17,48
	0,16	5,85	7,03	8,33	10,84	13,59	16,14	23,08
	0,18	7,83	9,38	10,97	13,90	17,38	19,87	29,78
	0,20	10,20	11,53	13,94	17,11	21,81	25,65	36,54
	0,22	13,10	15,12	17,52	22,11	26,76	31,84	43,88
	0,24	16,15	19,74	21,93	28,20	32,10	38,12	52,84
	0,30	29,28	32,80	37,24	44,86	53,72	61,61	81,50
0,40	62,72	69,46	76,94	88,30	104,80	116,16	153,45	
0,50	116,14	124,19	134,65	152,25	175,12	192,00	316,30	
0,1 pour cent (S = 0,001)	0,05	—	—	—	—	1,67	2,09	3,18
	0,10	2,60	—	4,23	5,7	7,10	8,80	12,96
	0,12	3,99	5,04	6,08	8,29	10,50	12,87	18,85
	0,14	5,91	7,23	8,44	11,50	14,52	17,13	24,81
	0,16	8,18	10,17	11,79	14,86	19,03	22,40	32,15
	0,18	11,27	13,10	15,56	19,97	24,36	28,48	41,27
	0,20	14,96	16,72	19,91	24,91	30,45	37,09	52,50
	0,22	18,05	21,09	25,05	31,93	37,80	45,65	63,38
	0,24	23,56	26,62	30,96	40,02	46,50	55,06	75,88
	0,30	41,53	47,87	52,63	61,72	74,77	88,02	118,18
0,40	91,60	98,75	109,92	126,14	147,68	163,68	220,16	
0,50	164,55	179,28	187,34	216,56	248,29	271,99	355,86	
0,2 pour cent (S = 0,002)	0,05	0,60	0,98	1,16	1,79	2,37	2,94	4,51
	0,10	3,74	4,60	5,73	8,04	9,90	12,37	18,31
	0,12	5,78	7,11	8,64	11,72	14,52	18,28	26,65
	0,14	8,63	10,22	11,68	16,59	20,32	24,73	35,44
	0,16	11,75	14,15	16,67	21,55	27,18	33,03	46,76
	0,18	15,95	18,96	22,23	28,16	34,22	41,42	59,20
	0,20	21,37	23,88	28,05	34,66	43,89	52,55	73,50
	0,22	26,40	29,72	34,98	43,90	53,51	63,91	87,76
	0,24	32,80	38,20	42,58	56,07	63,84	76,24	103,99
	0,30	59,82	66,30	72,87	90,20	105,23	125,74	167,08
0,40	126,00	139,60	153,89	178,28	209,61	232,32	306,90	
0,50	231,41	257,72	269,30	308,44	350,24	392,00	514,00	

Estimation de la capacité de débit des canaux à revêtement

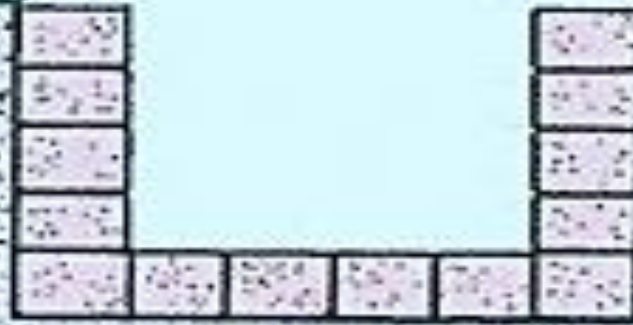
Si vous envisagez de construire un canal rectangulaire revêtu de briques, de parpaings ou de béton, vous pouvez évaluer sa capacité de débit (en litres par seconde) comme suit:

Largeur du fond (m)	Profondeur d'eau (m)	Pente longitudinale (pourcent)			
		0.02	0.05	0.10	0.15
0.30	0.30	20-30*	30-40	40-60	40-70
0.50	0.40	40-70	70-120	100-160	120-200
0.80	0.60	140-240	230-370	320-530	400-650

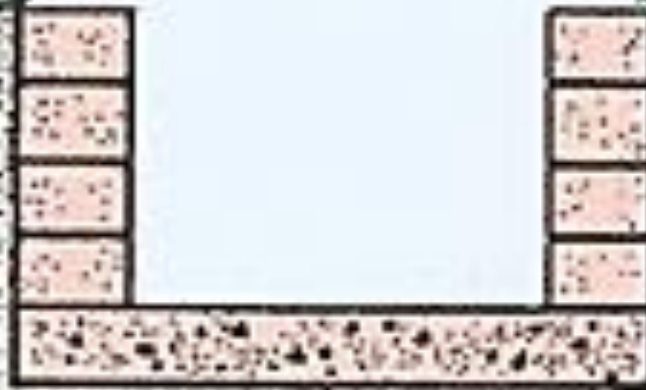
*** Le premier chiffre se rapporte aux canaux dont les parois sont rugueuses, le second à ceux dont les parois sont lisses.**

Exemples de canaux rectangulaires revêtus

Canal tout en briques



Canal en briques
sur fondation en béton



Fondation
en béton

Conception d'un canal à l'aide de graphiques

Les graphiques facilitent également le calcul des canaux, notamment:

Le graphique 1, qui indique la capacité de transport des canaux de terre de section trapézoïdale à parois lisses, inclinées suivant une pente de 1:1 et une pente longitudinale du fond $S = 0,1$ pour cent;

Le graphique 2, qui indique la capacité de transport de canaux similaires mais à parois rugueuses.

Il y a deux façons d'utiliser ces graphiques:

a) Les caractéristiques du canal étant fixées, le graphique permet de déterminer sa capacité de transport.

Exemple

Soit un canal dont les caractéristiques sont les suivantes:

- **largeur du fond = 1,20 m**
- **profondeur d'eau = 0,40 m**
- **pente des parois latérales = 1:1**
- **pente longitudinale du fond = 0,1 pour cent**
- **n = 0,020 (sol ordinaire)**

Le graphique 1 permet de déterminer le point A, lequel correspond à une capacité de transport

$$Q = \mathbf{620 \text{ m}^3/\text{h.}}$$

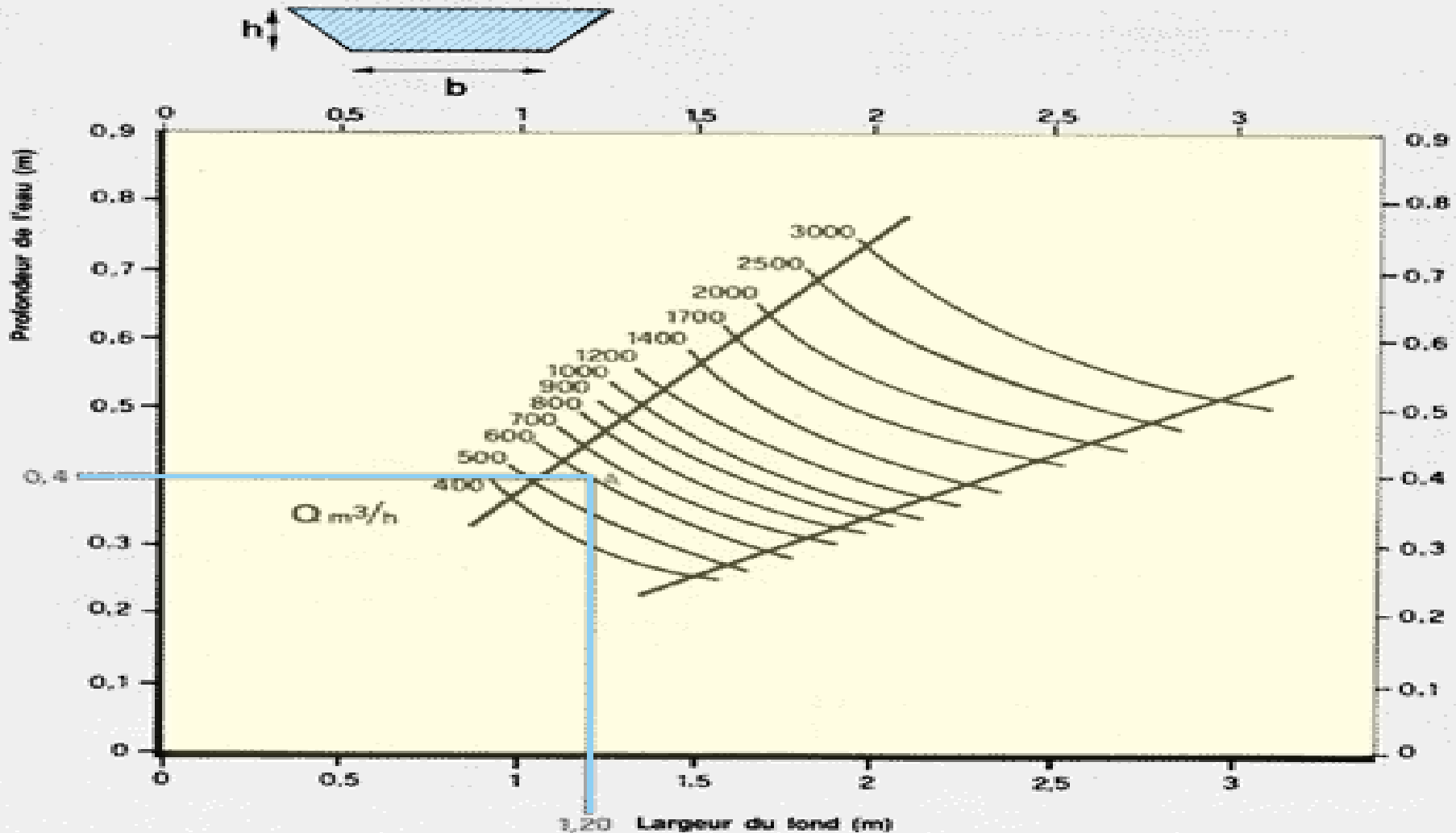
b) La Capacité de transport du canal étant fixée, le graphique permet de déterminer les caractéristiques géométriques requises.

Exemple

Si le canal doit avoir une capacité de transport $Q = 425 \text{ m}^3/\text{h}$ et s'il doit être creusé dans un terrain pierreux ($n = 0,035$), avec une pente des parois latérales de **1:1 et une pente longitudinale $S = 0,1\%$ utilisez alors le graphique 2.**

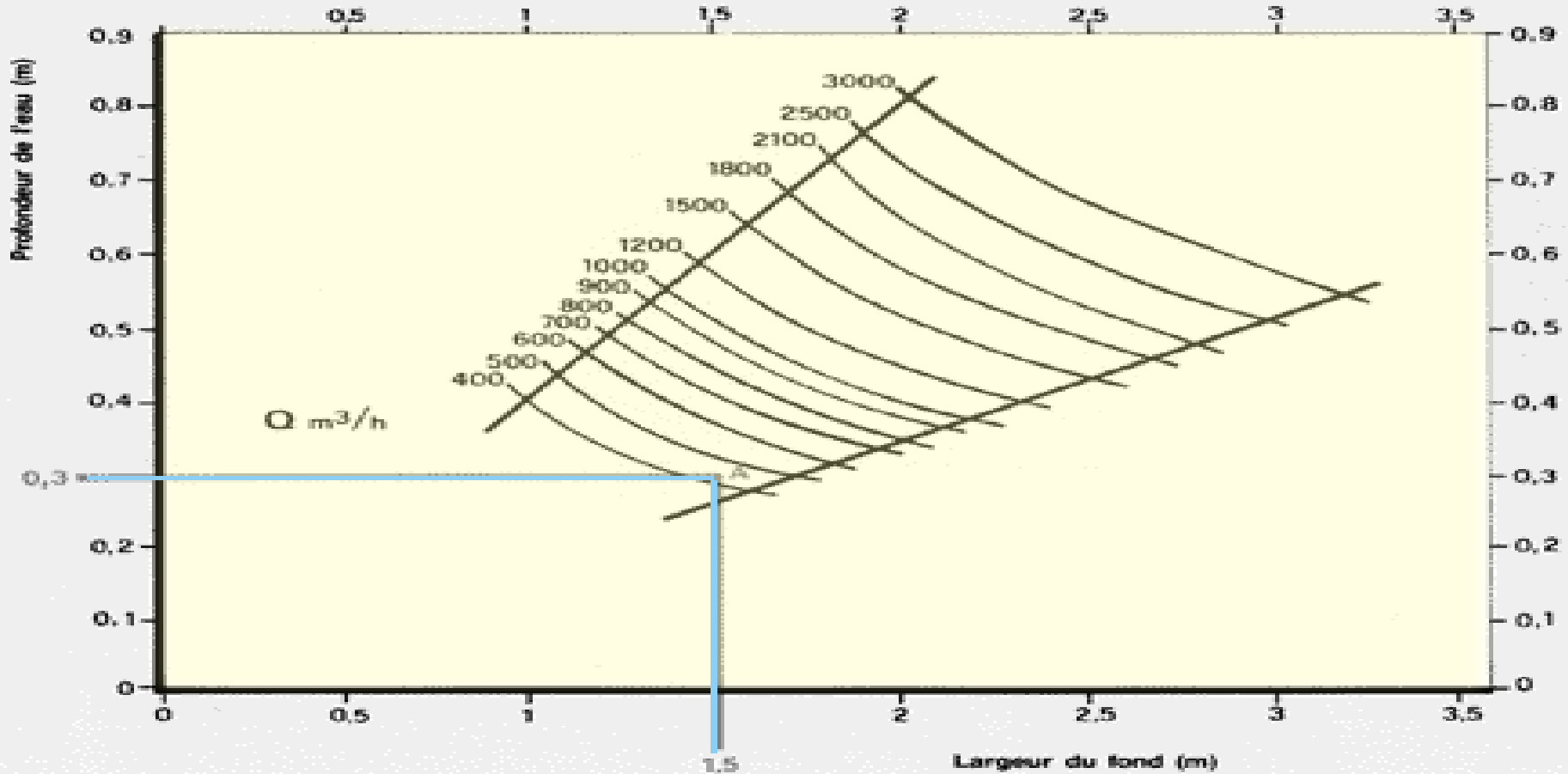
En suivant la ligne $Q = 400 \text{ m}^3/\text{h}$, choisissez une valeur de la largeur du fond relativement importante (par exemple, **1,5 m) et déterminez le point A correspondant à $Q = 425 \text{ m}^3/\text{h}$. A partir de ce point repérez la profondeur de l'eau $h = 0,30 \text{ m}$ sur l'échelle de gauche.**

GRAPHIQUE 1: Capacité de transport d'un canal trapézoïdal de terre avec parois lisses (pente des parois 1:1; coefficient de rugosité $n = 0,020$; pente longitudinale $S = 0,1$ pour cent)



Rappelez-vous: $Q \text{ m}^3/h = 86,4 \text{ Q-l/s}$

GRAPHIQUE 2: Capacité de transport d'un canal trapézoïdal de terre avec parois rugueuses (pente des parois 1:1; coefficient de rugosité $n = 0,035$; pente longitudinale $S = 0,1$ pour cent)



Rappelez-vous: $Q \text{ m}^3/\text{h} = 86,4 Q\text{-l/s}$

Calcul de la capacité de transport d'un canal d'après la formule de Manning

Il est relativement simple de calculer directement la capacité de transport (en mètres cubes par seconde) d'un canal à découvert quelconque, dont le débit est régulier et uniforme en appliquant la formule de Manning sous la forme suivante:

$$Q = A (1 \div n) R^{2/3} S^{1/2}$$

Avec, comme vous l'avez vu plus haut:

A = aire de la section transversale mouillée (en mètres carrés) ([voir tableau 3](#));

R = rayon hydraulique (en mètres) ([voir tableau 3](#));

S = pente longitudinale du fond du canal;

n = coefficient de rugosité ([voir tableau 4](#)).

Pour faciliter les calculs, vous pouvez également consulter:

le tableau 4, qui donne certaines valeurs de $(1 \div n)$;

le tableau 6, qui donne la valeur de $\ddot{O}(1 + z^2)$ pour les valeurs courantes de z ;

le tableau 7, qui donne les valeurs des puissances un demi de S ($S^{1/2}$);

le tableau 8 qui donne les valeurs des puissances deux tiers de R ($R^{2/3}$).

Exemple

Un canal trapézoïdal possède les caractéristiques suivantes:

- largeur du fond $b = 0,50$ m
- profondeur d'eau $h = 0,40$ m
- $n = 0,030$
- $S = 0,003$
- pente des parois latérales $z:1 = 1,5:1$

Déterminez sa capacité de transport comme suit:

$$A = (b + zh) h = [0,50 \text{ m} + (1,5 \times 0,40 \text{ m})] \times 0,40 \text{ m} =$$

0,44 m²

$$(1 \div n) = 1 \div 0,030 = 33,33$$

$$R = A \div [b + 2h (\ddot{O}(1 + z^2))] =$$

$$0,44 \text{ m}^2 \div [0,50 \text{ m} + (2 \times 0,40 \text{ m})(1,80)] =$$

$$0,44 \text{ m}^2 \div 1,94 \text{ m} = 0.227 \text{ m (tableau 6)}$$

$$R^{2/3} = (0,227 \text{ m})^{2/3} = 0,372 \text{ m (tableau 8)}$$

$$S^{1/2} = (0,003)^{1/2} = 0,055 \text{ (tableau 7)}$$

$$Q = (0,44 \text{ m}^2) (33,33) (0,372 \text{ m}) (0,055) =$$

$$0,300 \text{ m}^3/\text{S} = 300 \text{ l/s}$$

Calcul et vérification de la vitesse moyenne de l'eau dans le canal

Il existe plusieurs méthodes de calcul de la *vitesse moyenne de l'eau* dans un canal à découvert. Vous pouvez par exemple utiliser l'une des trois méthodes simples suivantes:

Connaissant le débit d'eau Q (en mètres cubes par seconde) transporté par un canal dont l'aire de la section transversale mouillée est de A (en mètres carrés), déterminez la vitesse moyenne de l'eau v (en mètres par seconde) par la relation: $v = Q \div A$

Exemple

Supposons que pour le canal ci-dessus

$$Q = 0,300 \text{ m}^3/\text{s}$$

$$A = 0,44 \text{ m}^2,$$

$$\text{alors } v = 0,300 \text{ m}^3/\text{s} \div 0,44 \text{ m}^2 =$$

$$0,68 \text{ m/s}$$

b) La *vitesse moyenne de l'eau* v (en mètres par seconde) peut aussi être calculée directement par la formule classique de Manning, avec l'aide des [tableaux 4](#), [7](#) et [8](#):

$$v = (1 \div n) R^{2/3} S^{1/2}$$

Exemple :

Supposons que, pour le canal ci-dessus,

$$n = 0,030,$$

$$R = 0,227 \text{ m}$$

$$\text{et } S = 0,003,$$

$$\text{alors } v = (33,33) (0,372 \text{ m}) (0,055) =$$

$$0,68 \text{ m/s.}$$

TABLEAU 6 : Valeurs courantes de $\ddot{O}(1 + z^2)$

z	1	1.5	2	2.5	3
\ddot{O}_{1+z^2}	1.41	1.80	2.24	2.69	3.16

Attention: z correspond au rapport de pente des parois latérales exprimé sous la forme $z:1$.

TABLEAU 7 : Valeurs courantes de $S^{1/2}$

S	$S^{1/2}$	S	$S^{1/2}$	S	$S^{1/2}$	S	$S^{1/2}$
0,0001	0,0100	0,0010	0,0316	0,0020	0,0447	0,0030	0,0548
0,0002	0,0141	0,0011	0,0332	0,0021	0,0458	0,0032	0,0566
0,0003	0,0173	0,0012	0,0346	0,0022	0,0469	0,0034	0,0583
0,0004	0,0200	0,0013	0,0361	0,0023	0,0480	0,0036	0,0600
0,0005	0,0224	0,0014	0,0374	0,0024	0,0490	0,0038	0,0616
0,0006	0,0245	0,0015	0,0387	0,0025	0,0500	0,0040	0,0632
0,0007	0,0265	0,0016	0,0400	0,0026	0,0510	0,0042	0,0648
0,0008	0,0283	0,0017	0,0412	0,0027	0,0520	0,0044	0,0663
0,0009	0,0300	0,0018	0,0424	0,0028	0,0529	0,0046	0,0678
		0,0019	0,0436	0,0029	0,0539	0,0048	0,0693
						0,0050	0,0707

Attention: S = pente longitudinale du fond du canal exprimée en unités de dénivellation (m) par unité de distance horizontale (m). Notez que $S^{1/2} = \ddot{O}(S)$

TABLEAU 8 : Valeurs courantes de $R^{2/3}$ $R = \text{rayon hydraulique (m)}$ *

R	Deuxième décimale									
	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
			↓	↓						
0,0	0,000	0,046	0,074	0,097	0,117	0,136	0,153	0,170	0,186	0,201
0,1	0,215	0,220	0,243	0,256	0,269	0,282	0,295	0,307	0,319	0,331
0,2 →	0,342	0,353	0,364	0,375	0,386	0,397	0,407	0,418	0,428	0,438
0,3	0,448	0,458	0,468	0,477	0,487	0,497	0,506	0,515	0,525	0,534
0,4	0,543	0,552	0,561	0,570	0,578	0,587	0,596	0,604	0,613	0,622
0,5	0,630	0,638	0,647	0,655	0,663	0,671	0,679	0,687	0,695	0,703
0,6	0,711	0,719	0,727	0,735	0,743	0,750	0,758	0,765	0,773	0,781
0,7	0,788	0,796	0,803	0,811	0,818	0,825	0,832	0,840	0,847	0,855
0,8	0,862	0,869	0,876	0,883	0,890	0,897	0,904	0,911	0,918	0,929
0,9	0,932	0,939	0,946	0,953	0,960	0,966	0,973	0,980	0,987	0,993

***Voir tableau 3**

Mode d'utilisation du tableau: par exemple, *si*

$R = 0,227 \text{ m}$, déterminez la valeur de $R^{2/3}$:

dans la première colonne, repérez la valeur de R à la première décimale près (0,2)

suivez cette ligne vers la droite jusqu'à la colonne indiquant le chiffre de la deuxième décimale (2)

notez ce chiffre = 0,364, qui correspond à la valeur recherchée pour $R = 0,220 \text{ m}$

suivez la ligne jusqu'à la colonne suivante vers la droite (3)

**notez ce nombre = 0,375, qui correspond à la valeur
recherchée pour $R = 0,230$ m**

**puisque $R = 0,227$ m est compris entre les deux valeurs
ci-dessus, vous devez interpoler**

**calculez la différence entre les deux nombres
précédemment relevés: soit $0,375 - 0,364 = 0,011$**

divisez cette différence par 10: $0,011 \div 10 = 0,0011$

multipliez le résultat par la troisième décimale de la valeur de $R = 0,227$ m: $0,0011 \times 7 = 0,0077$

ajoutez ce résultat au plus petit des deux nombres relevés précédemment: $0,364 + 0,0077 = 0,3717$ arrondi à $0,372$ m

$$R^{2/3} = (0,227 \text{ m})^{2/3} = 0,372 \text{ m}$$

c) La vitesse moyenne de l'eau v (en mètres par seconde) peut être déterminée *graphiquement* par la relation:

$$v = C \ddot{O}(RS)$$

C étant obtenu du *graphique 3* en fonction du coefficient de rugosité ($1 \div n$, [voir tableau 4](#)) et du rayon hydraulique R ([voir tableau 3](#));

$\ddot{O}(RS)$ étant obtenu du [graphique 4](#) en fonction de R ([rayon hydraulique](#)) et de S (pente longitudinale du fond du canal).

Exemple

A partir de données identiques à celles de l'exemple précédent, déterminons:

- d'après le *graphique 3*, pour $R = 0,227\text{m}$ et $(1 \div n) = 33,33$, $C = 26$
- d'après le *graphique 4*, pour $R = 0,227\text{ m}$ et $S = 0,003$, $\ddot{O}(RS) = 0,0262$
- $v = C\ddot{O}(RS) = 26 \times 0,0262 = 0,6812 = 0,68\text{ m/s}$

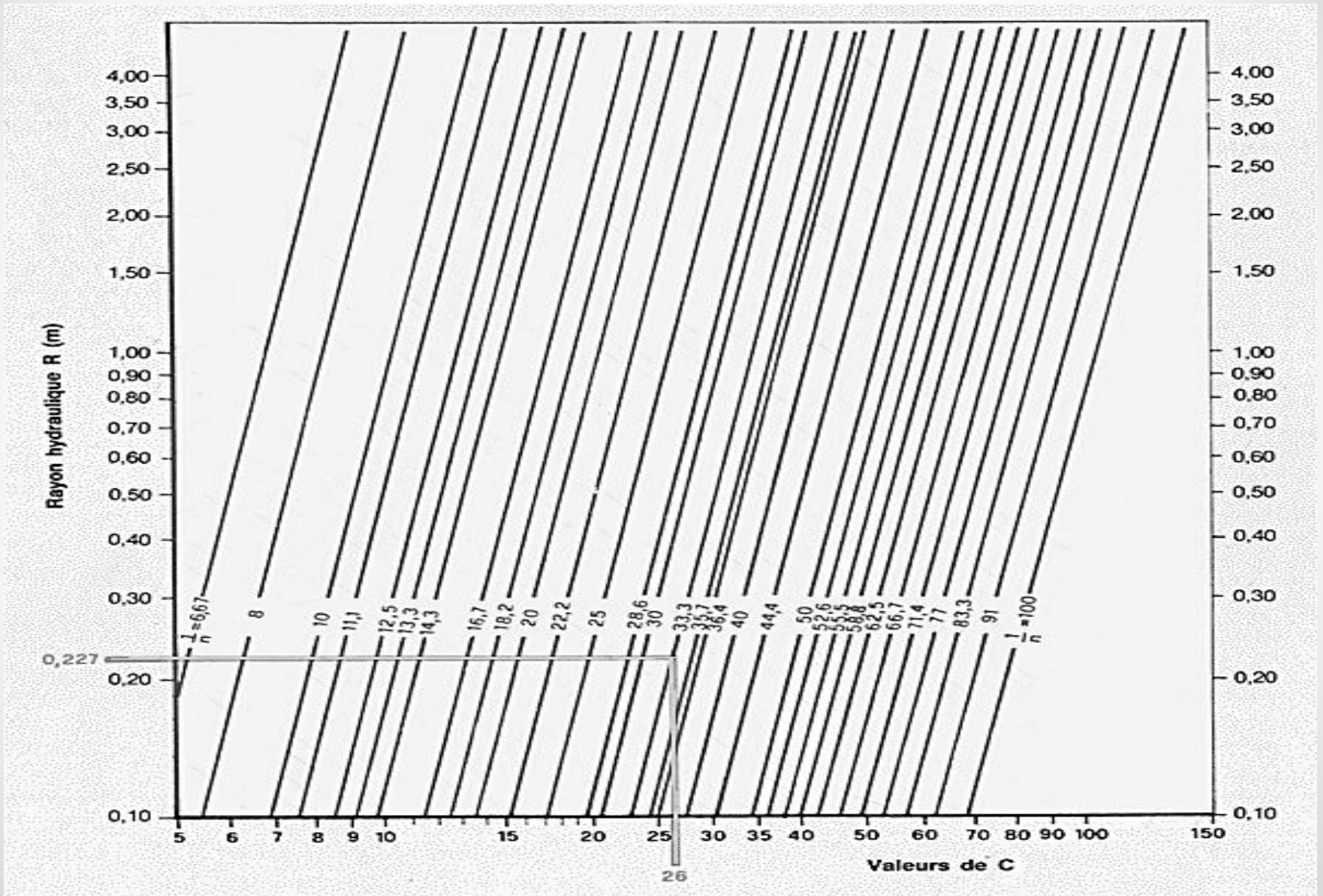
Une fois connue la vitesse moyenne v de l'eau (en mètres par seconde), il est possible de comparer cette valeur à la *vitesse moyenne maximale admissible* dans le canal considéré ([voir tableau 2](#)).

La vitesse v calculée lors de la conception du canal doit être inférieure à la valeur maximale admissible, pour éviter l'érosion du canal.

Exemple

Si le canal est creusé dans un limon sableux, la vitesse moyenne maximale admissible est égale à **0,8 m/s**, et la valeur prévue **$v = 0,68$ m/s** est acceptable.

GRAPHIQUE 3: Valeurs du coefficient C



Détermination des caractéristiques du canal trapézoïdal optimal

Si la *capacité de transport* Q (en mètres cube par seconde) d'un canal de terre trapézoïdal est connue (par exemple, une fois établi le projet d'aménagement de la ferme piscicole), il est facile de déterminer les caractéristiques du canal optimal. Procédez de la façon suivante:

- a) En fonction de la qualité du sol, déterminez la *vitesse moyenne maximale admissible* v_{max} (en mètres par seconde) d'après le [tableau 2](#) et la pente des parois latérales du canal ($z:1$) d'après le [tableau 1](#).

b) Relevez le *coefficient de rugosité n* indiqué au [tableau 4](#).

c) Calculez l'aire optimale de la *section transversale mouillée* (en mètres carrés) par la relation : $A = Q \div v \text{ max}$.

d) Calculez la racine carrée de A , soit \sqrt{A} .

e) D'après le [tableau 9](#), calculez les caractéristiques du canal optimal en multipliant cette valeur \sqrt{A} par les chiffres indiqués sur la ligne correspondant à la valeur choisie pour la pente des parois latérales $z:1$.

Exemple

Procédez comme indiqué ci-dessous pour déterminer les caractéristiques d'un canal trapézoïdal à creuser dans un sol limoneux ferme, de façon à obtenir une capacité de transport de $1,5 \text{ m}^3/\text{s}$:

a) D'après le *tableau 2*, la vitesse maximale admissible est de $v_{\text{max}} = 1 \text{ m/s}$.

b) D'après le *tableau 1*, supposons une pente des parois latérales de $1,5:1$.

c) D'après le *tableau 4*, supposons $n = 0,025$.

d) Calculez $A = 1,5 \text{ m}^3/\text{s} \div 1 \text{ m/s} = 1,5 \text{ m}^2$.

e) Calculez $\ddot{O}A = \ddot{O} (1,5 \text{ m}^2) = 1,225 \text{ m}$.

f) Consultez le *tableau 9* pour une pente des parois latérales de 1,5:1 et calculez comme suit les caractéristiques du canal optimal:

Profondeur de l'eau

$$h = 0,689 \ddot{O}A = 0,689 \times 1,225 \text{ m} = 0,84 \text{ m}$$

$$\text{Largeur du fond } b = 0,417 \ddot{O}A = 0,417 \times 1,225 \text{ m} = 0,51 \text{ m}$$

$$\text{Largeur à la surface de l'eau } B = 2,483 \ddot{O}A = 2,483 \times 1,225 \text{ m} = 3,04 \text{ m}$$

Périmètre mouillé

$$**P = 2,905 \text{ ÖA} = 2,905 \times 1,225 \text{ m} = 3,559 \text{ m}**$$

Rayon hydraulique

$$**R = 0,344 \text{ ÖA} = 0,344 \times 1,225 \text{ m} = 0,421 \text{ m}**$$

TABLEAU 9 : Coefficients servant à la détermination des caractéristiques du canal trapézoïdal optimal (Multipliez ÖA par le coefficient indiqué pour obtenir la caractéristique à définir)

Pente des parois latérales du canal	Caractéristiques du canal				
	h	b	B	P	R
1:1	0.739	0.612	2.092	2.705	0.370
1.5:1	0.689	0.417	2.483	2.905	0.344
2-1	0.636	0.300	2.844	3.145	0.318
2.5:1	0.589	0.227	3.169	3.395	0.295
3:1	0.549	0.174	3.502	3.645	0.275

avec

h = profondeur de l'eau (m) b = largeur du fond (m)

B = largeur à la surface de l'eau (m) P = périmètre mouillé (m)

R = rayon hydraulique (m) A = aire de la section transversale (m²)

Détermination de la pente longitudinale du fond du canal

Pour un canal donné, la *pente longitudinale* S peut être calculée par la formule:

$$S = (nv \div R^{2/3})^2$$

Avec

n = coefficient de rugosité ([voir tableau 4](#));

v = vitesse moyenne de l'eau (en mètres par seconde);

R = rayon hydraulique (en mètres) ([voir tableau 8](#)).

Exemple

Pour le canal dimensionné ci-dessus:

$$S = [(0,025) (1 \text{ m/s}) \div (0,421^{2/3})]^2$$

$$S = [0,025 \div 0,562]^2$$

$$S = 0,002 = 0,2 \%$$

Pertes d'eau d'un canal de terre

Les pertes d'eau d'un canal de terre sont dues à *l'évaporation* (de 1 à 2 %) et aux infiltrations (de 5 à 40 %).

Les pertes par infiltration, de loin les plus importantes, sont variables en fonction du *type de sol* dans lequel le canal est creusé:

1 - 2%

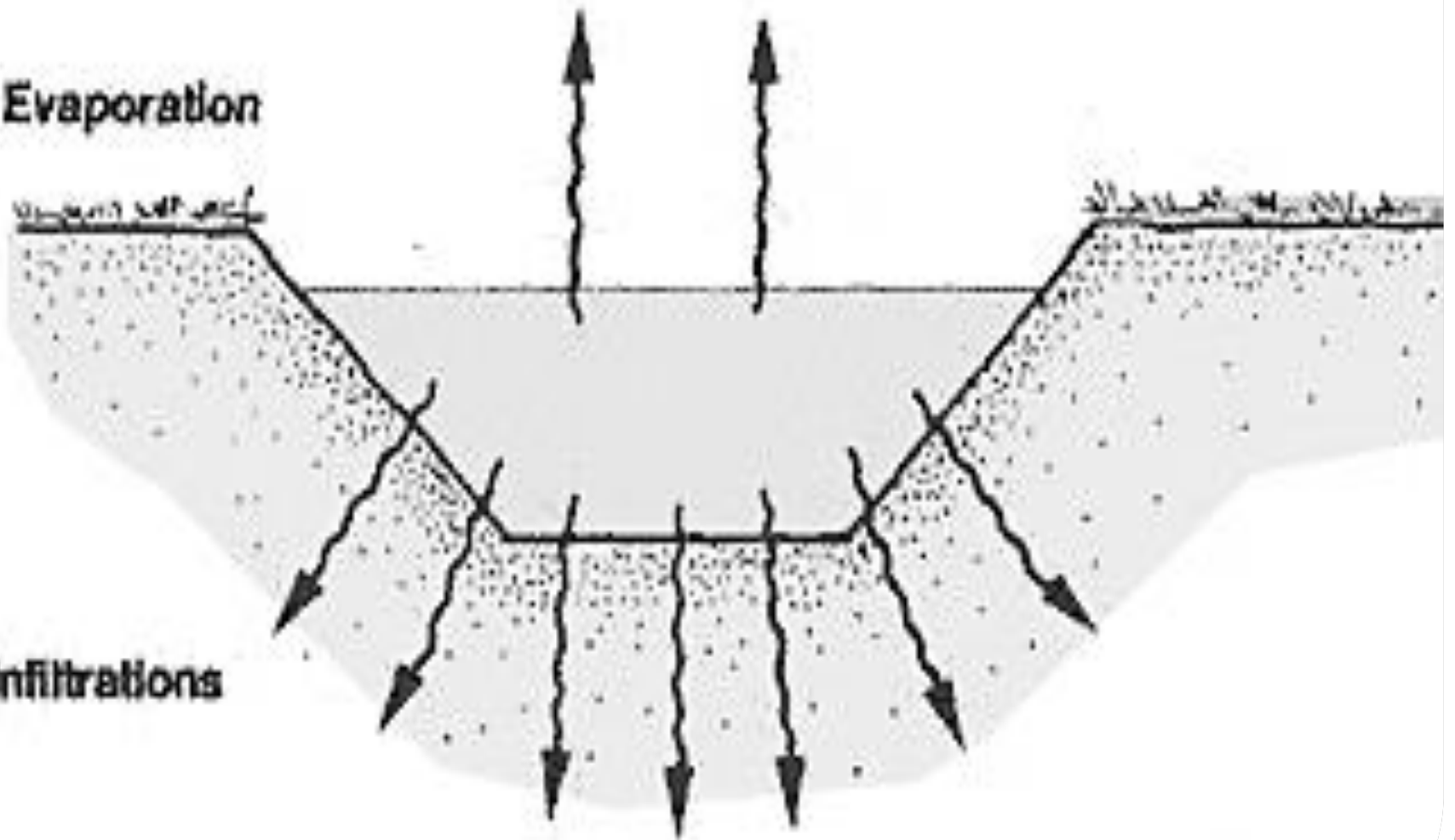
Evaporation

Water level surface

Water level surface

Infiltrations

5 - 40%



Pertes d'eau selon le type de sol

<u>Type de sol*</u>	Pertes d'eau moyennes par mètre carré de périmètre mouillé	
	(m ³ /jour)	(l/jour)
Argile imperméable	0.09	90
Limon argileux	0.18	180
Argile sableux ou conglomérats	0.25	250
Limon argilo-sableux ou limon	0.40	400
Limon sableux	0.50	500
Sable et graviers ou alluvions	0.70	700
Sol graveleux et poreux	1.00	1000
Graviers très poreux	1.80	1800

Exemple

Un canal de terre creusé dans un sol de limon sableux a un périmètre mouillé $P = 3,559$ m.

Si sa longueur totale est de 78 m, la surface de sol mouillée est de $3,559 \text{ m} \times 78 \text{ m} = 277,6 \text{ m}^2$.

Les pertes totales par infiltration atteindront donc en moyenne $277,6 \times 0,50 \text{ m}^3/\text{jour} = 138,8 \text{ m}^3/\text{jour}$.

Lors de la conception des *canaux d'alimentation*, il est indiqué d'inclure un pourcentage de pertes d'eau de 10 à 20 % en moyenne, suivant le type de sol en présence.

Si le canal est très long, il est également possible d'adopter une règle simple consistant à prévoir une perte de 10 % des quantités d'eau transportées *par kilomètre* de canal.

Exemple

Si vous disposez au niveau de la prise d'eau principale d'un débit de 100 l/s, vous aurez seulement 90 l/s au bout de 1 km et 81 l/s au bout de 2 km.

Choix de la revanche du canal

Il a surtout été question jusqu'à maintenant de la notion de *section transversale mouillée* des canaux.

Comme nous l'avons déjà mentionné brièvement au début, la hauteur des berges du canal doit être légèrement supérieure à la hauteur requise pour assurer une certaine capacité de transport, de façon à éviter les débordements.

Cette hauteur supplémentaire des parois par rapport au niveau normal de l'eau est appelée *la revanche*.

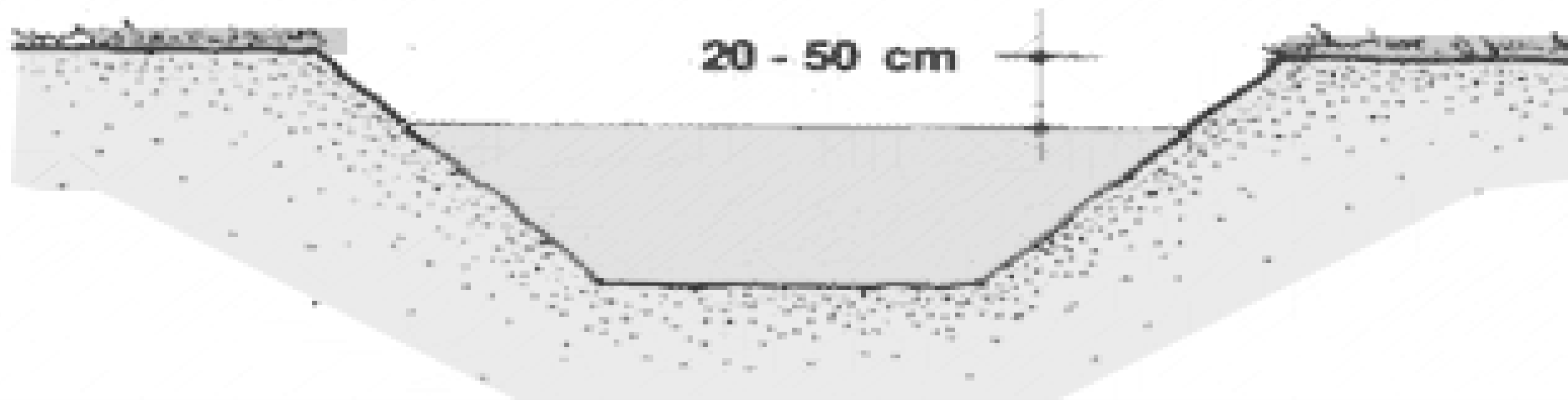
La revanche est plus ou moins importante suivant le type de canal considéré:

pour les *canaux de terre*, elle varie de 20 à 50 cm;

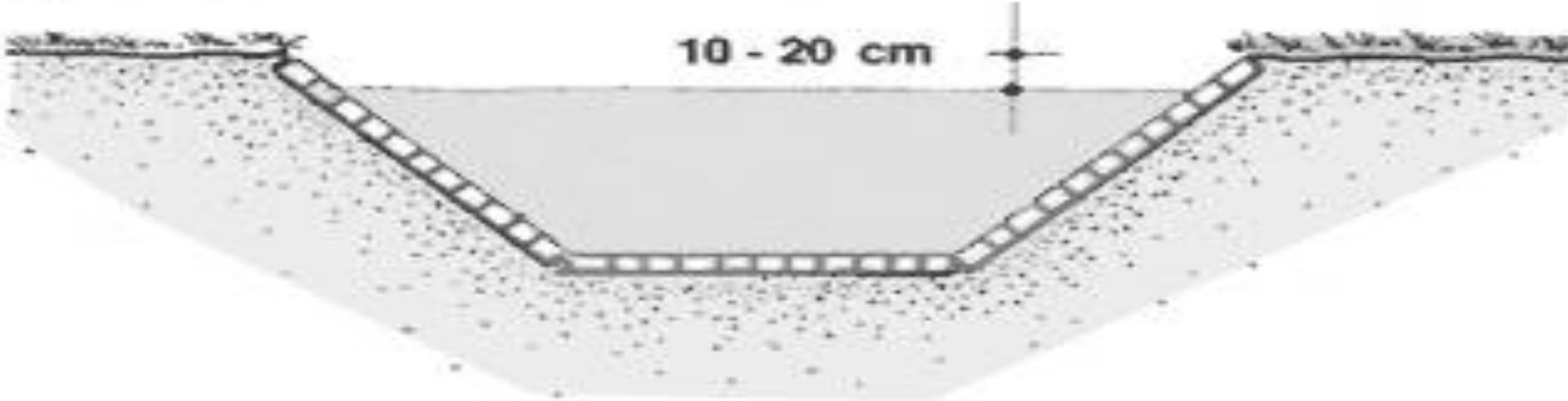
pour les *canaux à revêtement*, elle varie de 10 à 20 cm.

Les sections qui suivent vous donneront des indications complémentaires sur la notion de revanche.

Revanche pour canaux de terre.

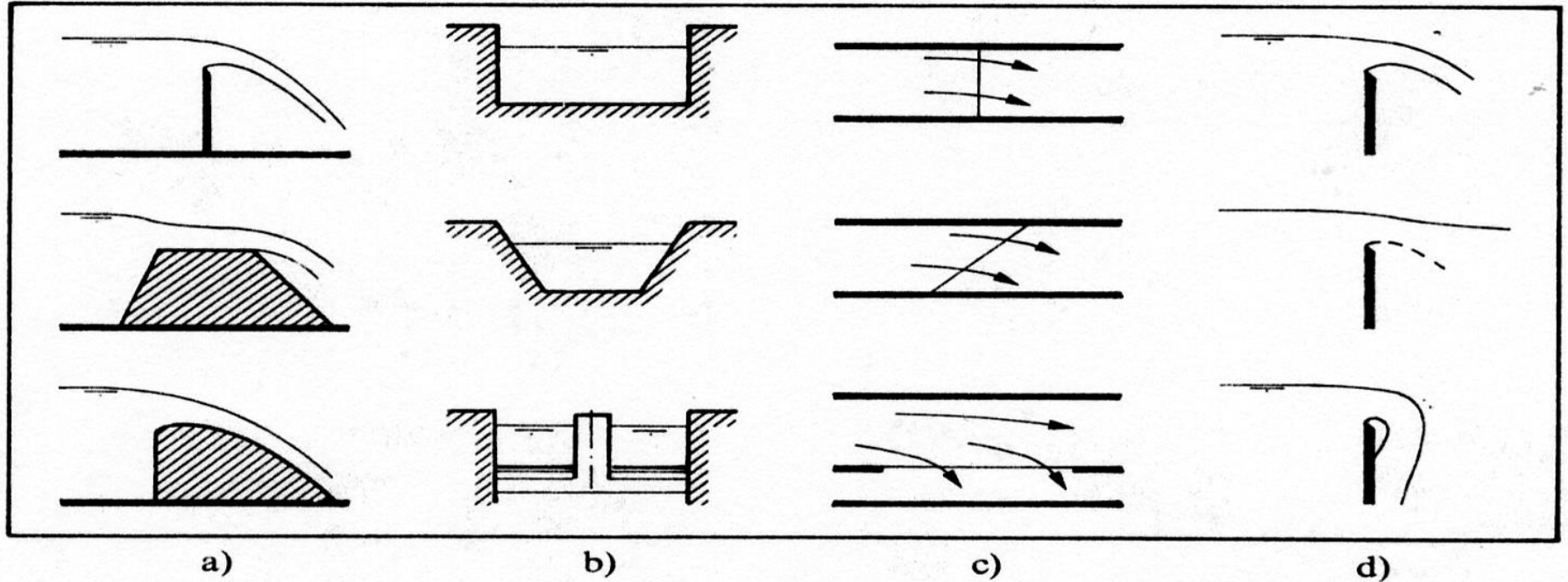


Revanche pour canaux revêtus



Contrôle des débits

Types de déversoirs



a) Coupe longitudinale (en mince paroi, à seuil épais, à crête arrondie)

b) Coupe transversale (profil rectangulaire, trapézoïdal, rectangulaire avec pilier)

c) Vue en plan (à crête perpendiculaire et oblique à l'axe, déversoir latéral)

d) Types d'écoulement (dénoyé, noyé, adhérent).

Déversoir en mince paroi

Les déversoirs en mince paroi sont des dispositifs avec un sans échancrure par-dessus lesquels l'eau s'écoule en permettant le contrôle du niveau de l'écoulement.

Le débit est déterminé par application d'une relation univoque entre le débit et la hauteur de lame, dont la formule fondamentale est due à Poleni :

$$Q = \frac{2}{3} \cdot C \cdot b \sqrt{2g} \cdot h^{3/2},$$

Où :

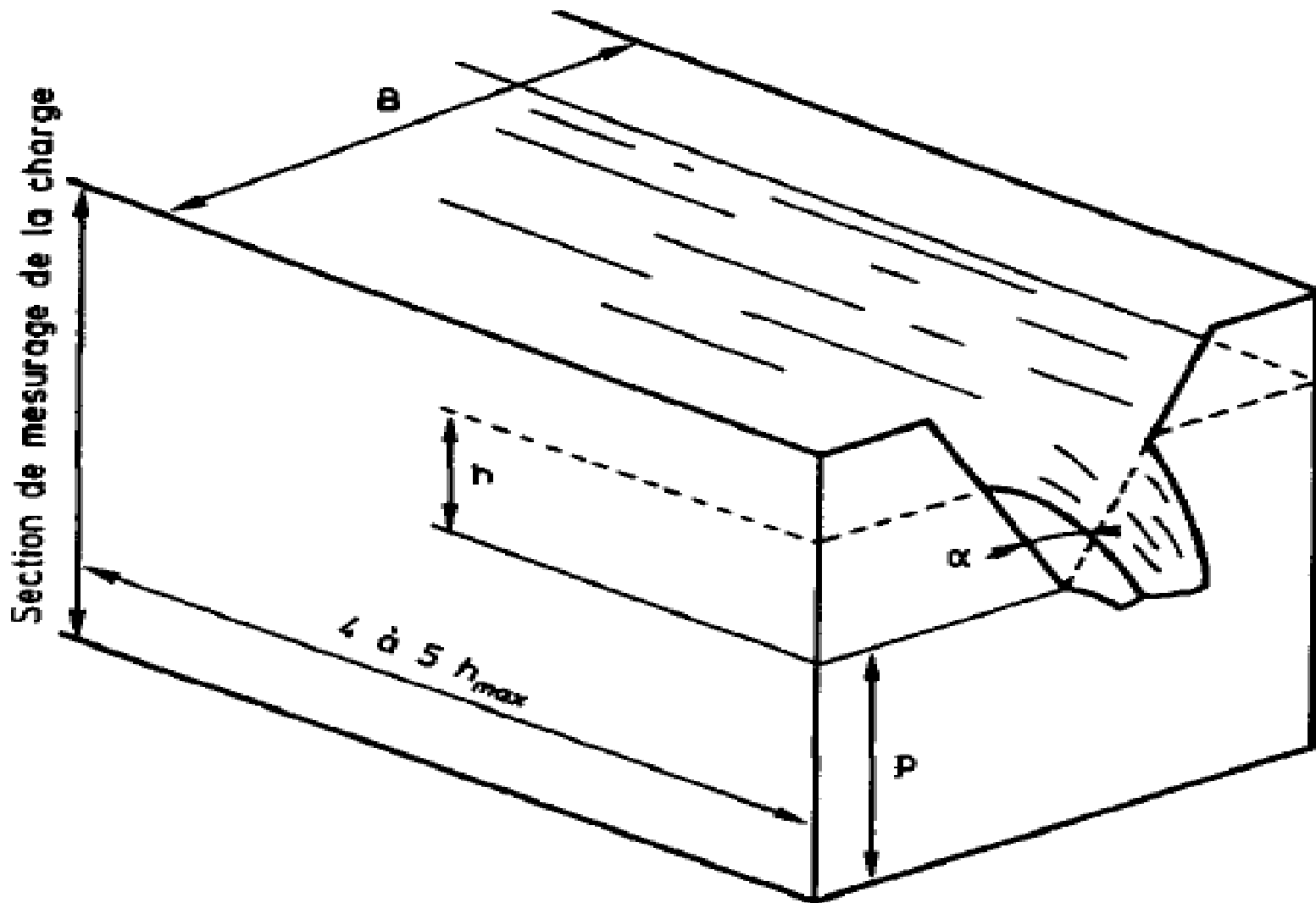
Q : débit (m³/s),

C : coefficient de débit (nombre sans dimension),

b : largeur de l'ouverture (b est remplacée par une fonction de h et de la tangente de l'angle au sommet dans le cas des déversoirs triangulaire (m),

h : hauteur de lame mesurée à l'amont du déversoir (m).

Déversoir triangulaire



Formule de Kindsvater - Shen

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

Où :

Q : débit (m³/s),

C_e : coefficient de débit (nombre sans dimension),

α : angle formé par les parois de l'échancrure,

g : accélération de la pesanteur (m/s²),

h_e : hauteur de lame fictive (m) = $h + Kh$,

h = hauteur mesurée (m).

Kh : coefficient expérimental proposé dans la norme,

Avec les limitations d'ordre pratique suivantes :

$h > 0,06$ m,

$p > 0,10$ m ($/>$ = hauteur de pelle, c'est la hauteur entre le lit du canal - ici le radier du collecteur et le point le plus bas de la crête du déversoir mesurée en amont de celui-ci).

Formule de Gourley

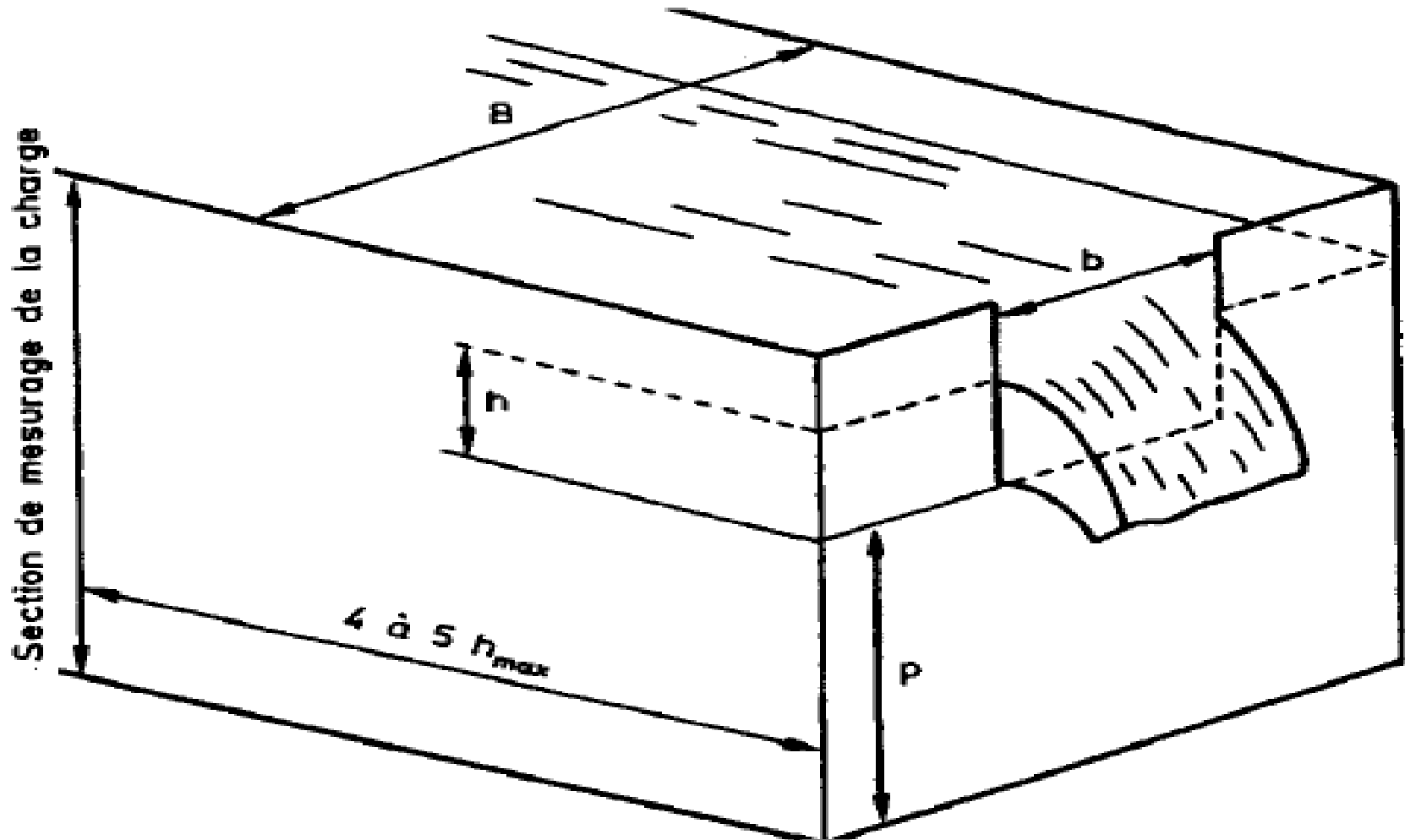
$$Q = 1,32 \operatorname{tg} \frac{\alpha}{2} h^{2,47}$$

Avec :

Q (m³/s),

h (m).

Déversoir rectangulaire



Formule de Kindsvater - Carter

$$Q = C_e \frac{2}{3} \sqrt{2g} b_e h_e^{3/2}$$

Où :

Q : débit (m³/s),

C_e : coefficient de débit (nombre sans dimension),

g : accélération de la pesanteur (m/s²),

b_e : largeur fictive de l'échancrure (m) = $b + Kh$,

h_e : hauteur de lame fictive (m) = $h + Kh$,

Kh et Kh : coefficients expérimentaux proposés dans la norme.

Avec les limitations d'ordre pratique suivantes :

$h > 0,03$ m,

$h/p < 2,0$,

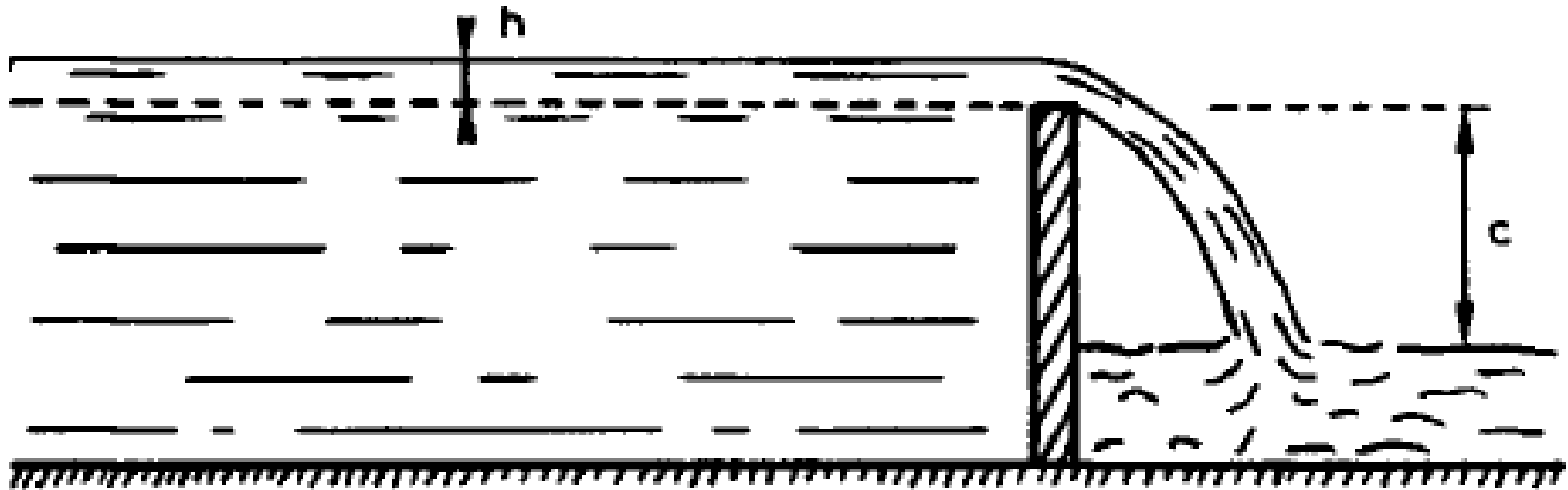
$b > 0,15$ m,

$$p \text{ et } \frac{B - b}{2} > 0,10 \text{ m}$$

Formule de Francis

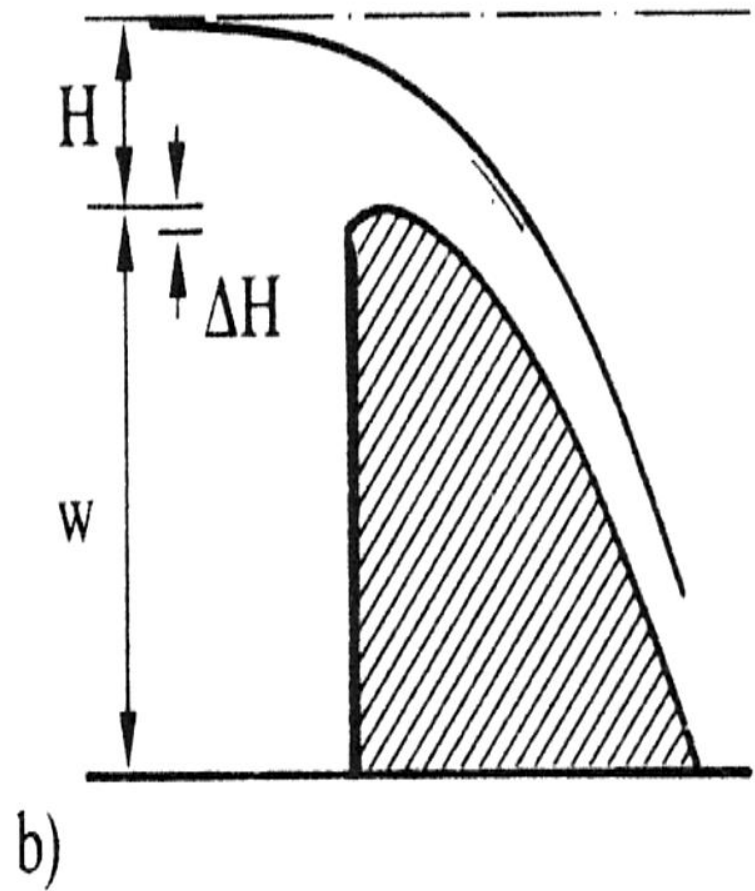
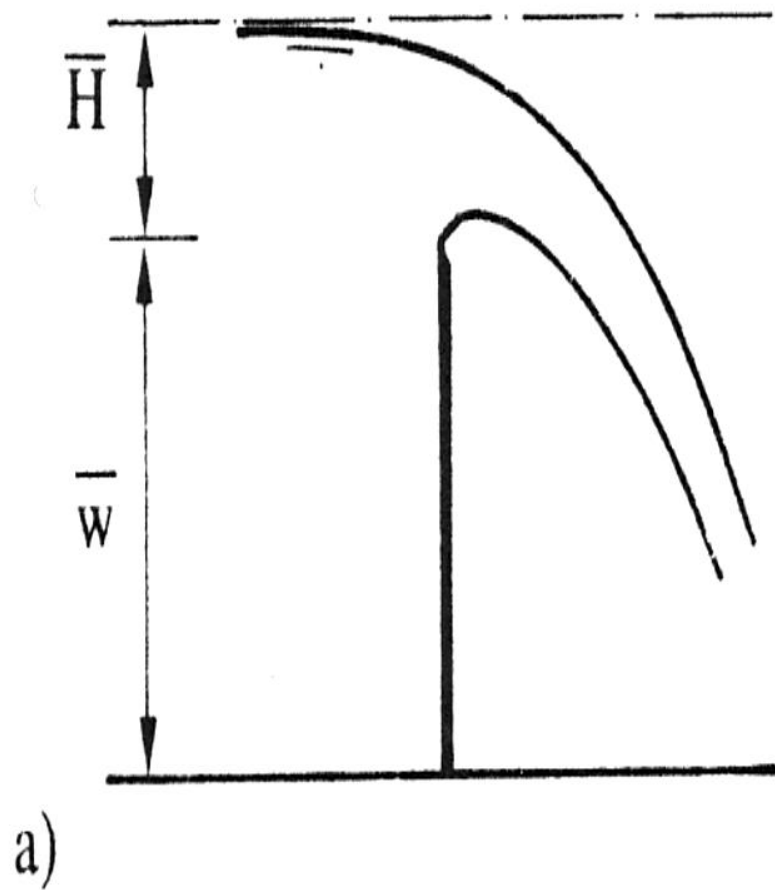
$$Q = 1,83 (b - 0,2h) h^{3/2}$$

Avec la limitation d'ordre pratique suivante :
 $c > 5$ cm pour $b < 1$ m.



Déversoir standard

Pour éviter des zones de sous-pressions le long du radier, la nappe inférieure du déversoir en mince paroi pourrait être reprise comme géométrie du déversoir à crête fixe. Théoriquement ainsi une pression égale à zéro le long du radier est garantie.



a) déversoir en mince paroi standard et
b) déversoir standard correspondant

Capacité du déversoir standard

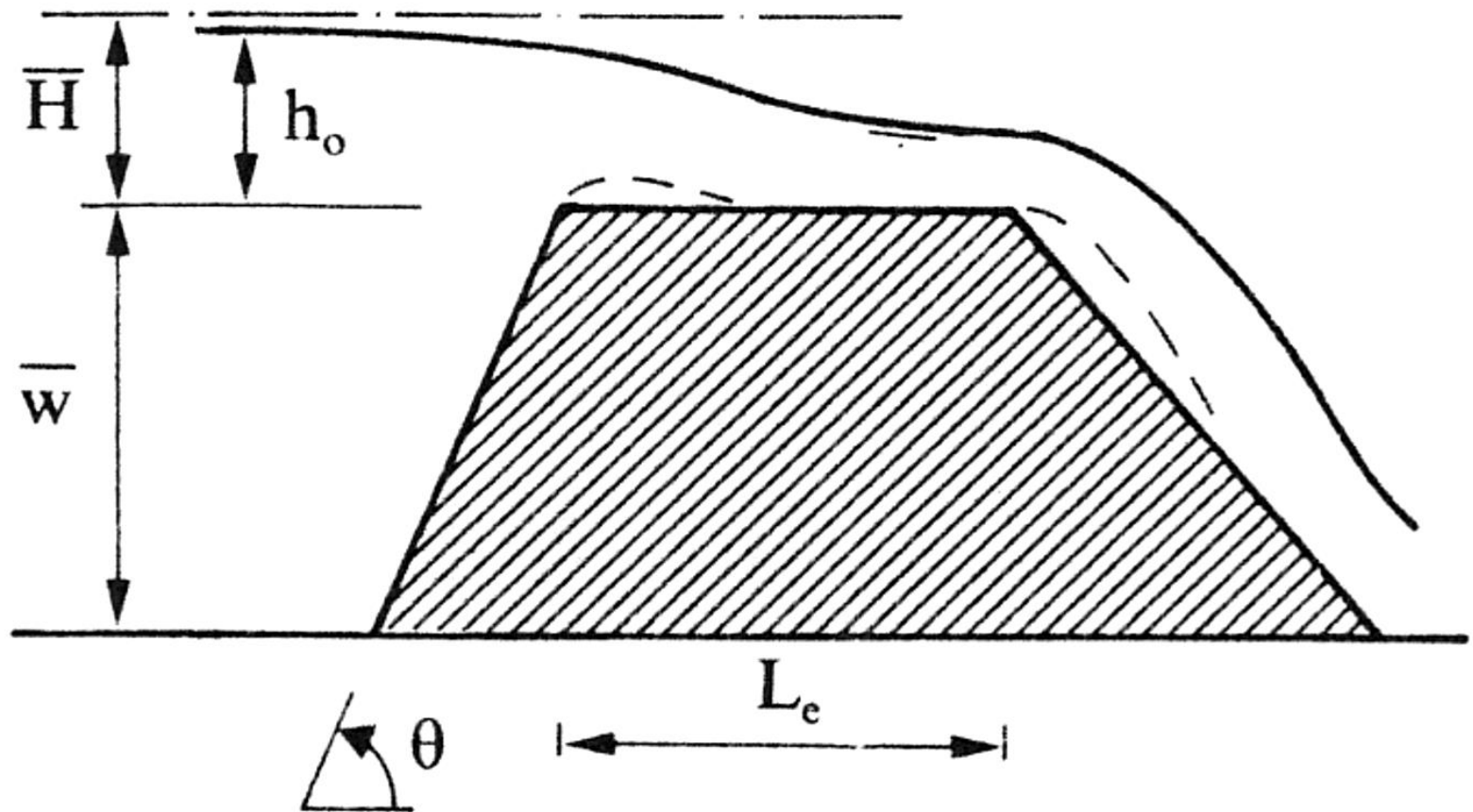
La charge H est mesurée à partir de la crête du déversoir standard

$$Q = C_d b \sqrt{2g} H^{3/2}$$

C_d : coefficient du débit du déversoir standard qui dépend de la charge H

Déversoirs à seuil épais :

Forme trapézoïdale / polygonale



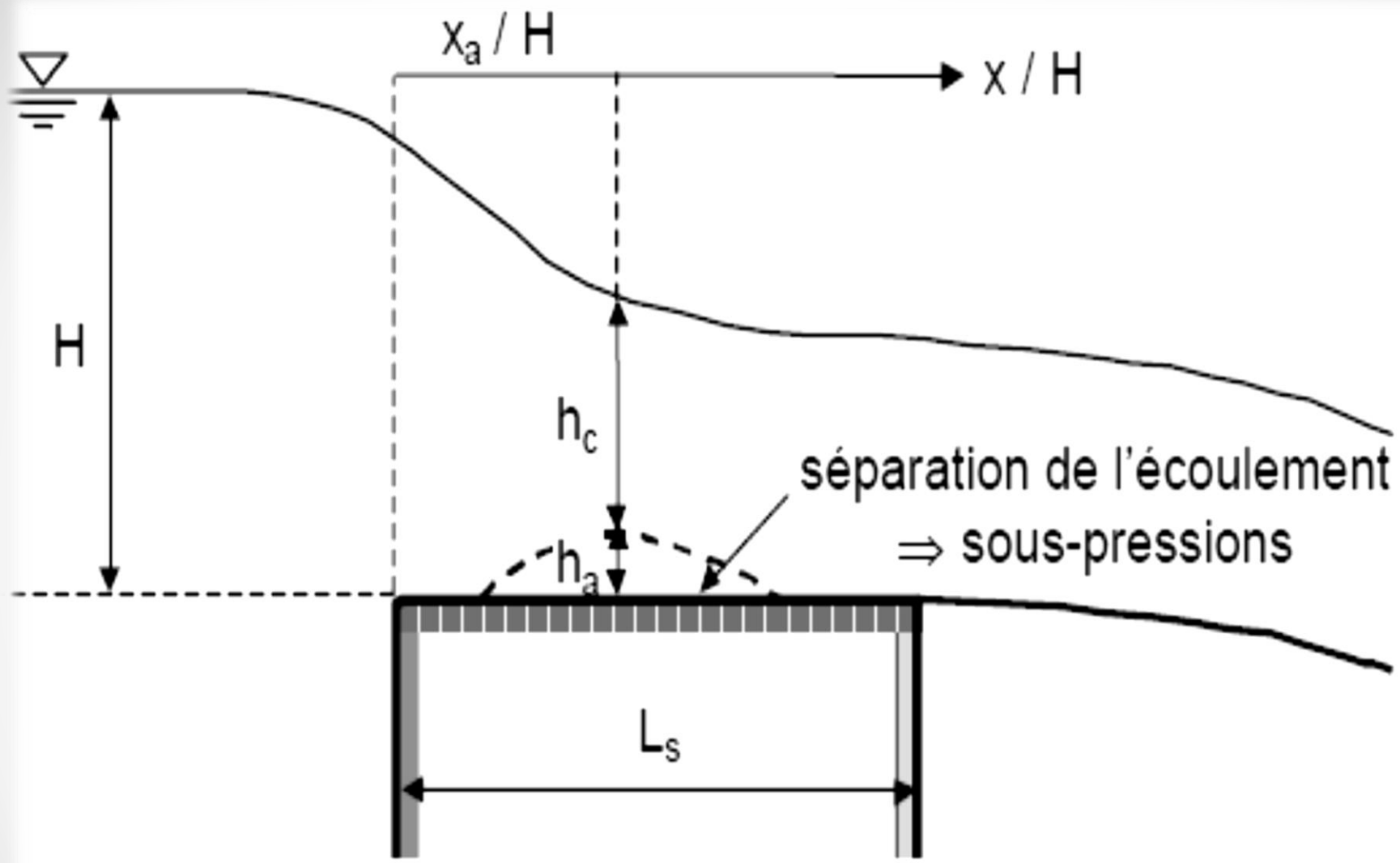
Capacité du déversoir polygonal

$$Q = \overline{C}_d c_e b \sqrt{2g} \cdot \overline{H}^{3/2}$$

Ce : coefficient de correction

$$c_e = 1 - \frac{2 \sin \theta}{9(1 + \xi_e^4)} \quad \xi_e = (\overline{H} - \overline{w}) / L_e$$

pour $w \gg \overline{H}$



Facteur caractéristique

$$\sigma_{\omega} = H / L_s$$

$$Q = C_d \cdot b \cdot \sqrt{2 \cdot g \cdot H^3}$$

Avec :

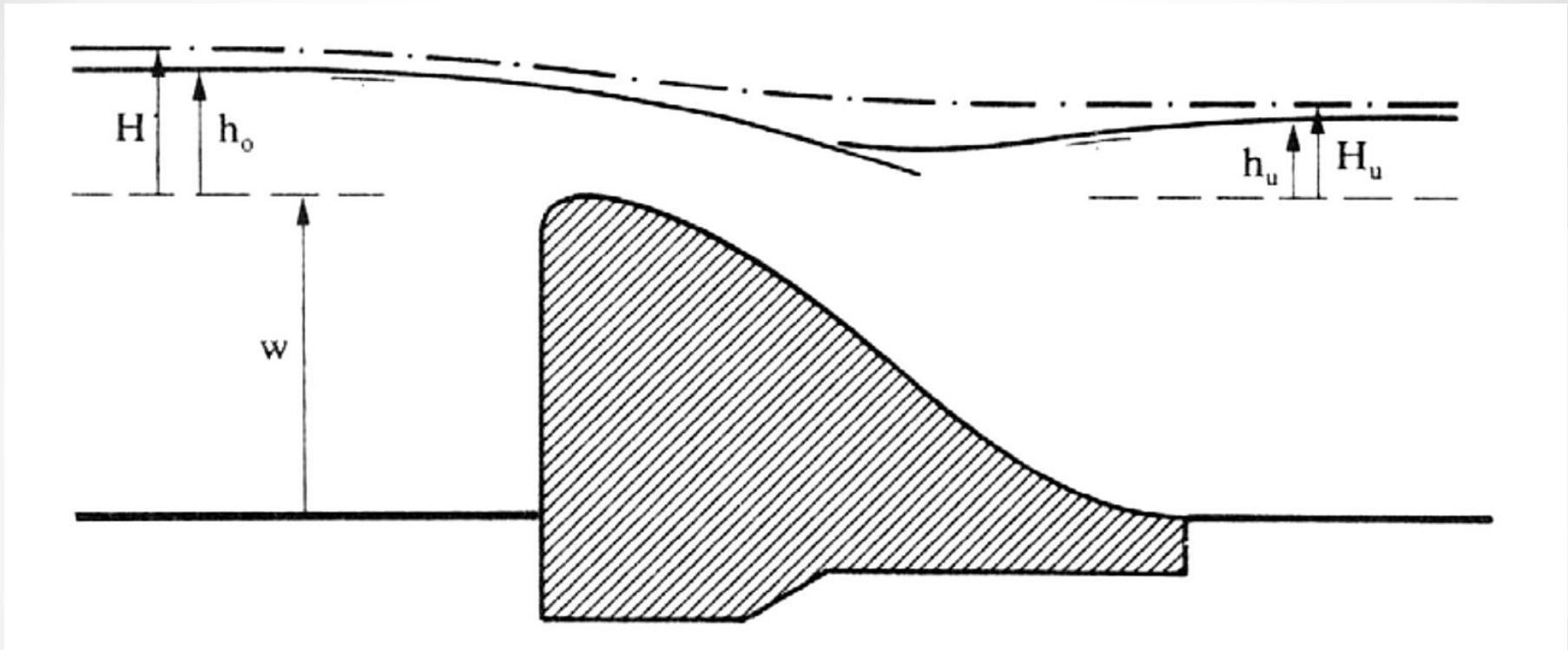
$$C_d = 0.326$$

Si $0.1 < \sigma \omega < 0.4$ (seuil large)

$$h_a = 0.20 \cdot H$$

$$x_a = 0.44 \cdot H$$

Déversoir standard noyé



Déversoir noyé pour lequel l'écoulement dépend des charges amont H et aval H_u .

Capacité d'un déversoir standard noyé

$$Q = C_d S b \sqrt{2g} H^{3/2}$$

Coefficient de submersion

$$S = \left(1 - (H_u / H)^2\right)^{1/2}$$

avec $H = V_o^2 / 2g$ ou $V_o = Q / ((h_o + w)b)$