

ECOLE NATIONALE DU GENIE DE L'EAU ET
DE L'ENVIRONNEMENT DE STRASBOURG

T.D.

HYDRAULIQUE A SURFACE LIBRE



Sommaire

1	CARACTERISTIQUES DES ECOULEMENTS.....	2
1.1	INTENSITE DE LA TURBULENCE DANS UN CANAL	2
1.2	REPARTITION DE LA VITESSE DANS UN CANAL TRAPEZOÏDAL	2
1.3	ETUDE DU PROFIL DES VITESSES DANS UN CANAL AU REGIME PERMANENT ET UNIFORME	3
2	ECOULEMENT UNIFORME ET PERMANENT	8
2.1	COMPARAISON DE FORMULES AU R.P.U.	8
2.2	CANAUX CIRCULAIRES AU R.P.U.	8
2.3	COMPARAISON AU R.P.U. POUR DES CANAUX OVOÏDES, CIRCULAIRES ET RECTANGULAIRES	9
2.4	ECOULEMENT PERMANENT ET UNIFORME DANS UN RESEAU D'IRRIGATION	10
2.5	ETUDE DE LA CONTRAINTE LIMITE DE DEPOT/MISE EN SUSPENSION DANS DES CONDUITES EN R.P.U.	12
2.6	COMPARAISONS DE SECTION CARREE, CIRCULAIRE, OVOÏDE ET FER A CHEVAL EN R.P.U.	16
2.7	RUGOSITE COMPOSEE	19
2.8	DETERMINATION DE LA RUGOSITE K_s EN REGIME PERMANENT ET UNIFORME	19
2.9	DETERMINATION DE LA RUGOSITE EN REGIME PERMANENT ET NON UNIFORME	20
2.10	OPTIMISATION DE LA SURFACE D'UNE SECTION AU REGIME PERMANENT ET UNIFORME	20
2.11	ETUDE D'UN RESEAU D'ASSAINISSEMENT COMPOSE DE CONDUITES OVOÏDES	23
2.12	VERIFICATION DES CONDITIONS D'AUTOCURAGE	28
3	ECOULEMENT PERMANENT NON UNIFORME	30
3.1	COURBE DE REMOUS DE PLUSIEURS CANAUX	30
3.2	COURBE DE REMOUS AVEC PRESENCE D'UNE VANNE	30
3.3	COURBE DE REMOUS AVEC RUPTURE DE PENTE FAIBLE / FORTE	31
3.4	COURBE DE REMOUS AVEC RUPTURE DE PENTE FORTE / FAIBLE	31
3.5	COURBE DE REMOUS EN CANAUX CIRCULAIRES	32
3.6	COURBE DE REMOUS EN CANAUX RECTANGULAIRES	34
3.7	COURBE DE REMOUS AVEC SEUIL	36
3.8	COURBE DE REMOUS AVEC VANNE ET SEUIL	40
3.9	REPLISSAGE D'UN BASSIN AU REGIME PERMANENT NON UNIFORME	44
3.10	ETUDE D'UN SEUIL ET D'UNE VANNE EN SERIE	49
3.11	ETUDE DU REPLISSAGE D'UN BASSIN DE STOCKAGE PAR UN CANAL DE DECHARGE	56
3.12	ETUDE D'UN BASSIN SANS TROP PLEIN COUPLE A UN DEVERSOIR LATERAL	60
4	DEVERSOIR.....	71
4.1	DIMENSIONNEMENT D'UN DEVERSOIR EN TORRENTIEL	71
4.2	DIMENSIONNEMENT D'UN DEVERSOIR EN FLUVIAL	71
4.3	DIAGNOSTIC D'UN DEVERSOIR EN FLUVIAL	71
4.4	ECOULEMENT A TRAVERS UN SEUIL	72
4.5	ETUDE D'UN DEVERSOIR LATERAL AVEC VANNE A L'AVAL	73
4.6	DEVERSOIR D'ORAGE LATERAL A CRETE HAUTE	74
4.7	REPLISSAGE D'UN RESERVOIR	79
4.8	COURBE DE FONCTIONNEMENT D'UN DEVERSOIR	84
4.9	ETUDE D'UN DEVERSOIR EVACUATEUR DE CRUE AVEC RESSAUT HYDRAULIQUE	87
4.10	DIMENSIONNEMENT D'UN DEVERSOIR LATERAL AU REGIME PSEUDO-UNIFORME	90
4.11	ETUDE DU FONCTIONNEMENT D'UN DEVERSOIR D'ORAGE EN TETE D'UN STATION DE POMPAGE	93

1 Caractéristiques des écoulements

1.1 Intensité de la turbulence dans un canal

L'enregistrement du signal de la vitesse instantanée, u mesurée pendant 4 secondes à une fréquence d'échantillonnage de 10 Hz, en un point fixe dans un canal, est reproduite dans le tableau suivant :

t (s)	0.000	0.100	0.200	0.300	0.400	0.500	0.600	0.700	0.800	0.900	1.000
u (m/s)	1.730	2.251	2.141	2.346	2.140	1.832	1.888	2.247	1.854	1.909	2.303
t (s)		1.100	1.200	1.300	1.400	1.500	1.600	1.700	1.800	1.900	2.000
u (m/s)		1.901	2.025	2.107	1.764	1.647	2.033	1.861	1.846	2.354	1.628
t (s)		2.100	2.200	2.300	2.400	2.500	2.600	2.700	2.800	2.900	3.000
u (m/s)		1.823	1.753	2.256	1.969	2.051	1.856	1.643	1.940	2.354	1.835
t (s)		3.100	3.200	3.300	3.400	3.500	3.600	3.700	3.800	3.900	4.000
u (m/s)		1.861	2.290	1.886	2.132	1.607	1.807	1.921	2.341	2.365	2.238

Déterminer la vitesse moyenne, \bar{u} , les fluctuations de vitesses, u' , la moyenne des fluctuations de vitesses $\overline{u'}$, l'intensité de la turbulence et la distribution de probabilité des valeurs de vitesse u , en prenant un échantillonnage de 0.15 m/s.

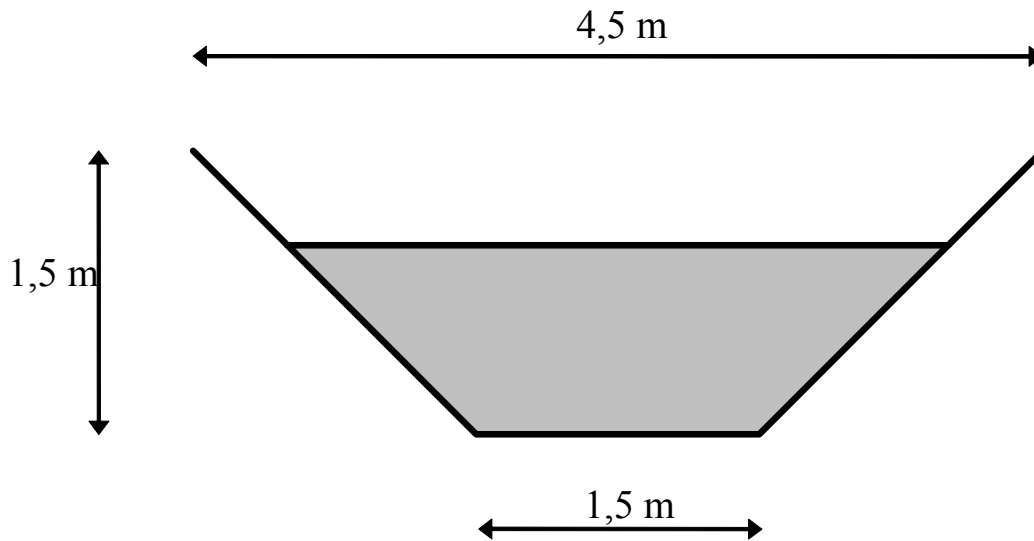
On utilisera la fonction FREQUENCE sous EXCEL.

1.2 Répartition de la vitesse dans un canal trapézoïdal

Dans un canal de décharge de station d'épuration, on mesure la répartition de la vitesse suivant la hauteur. Cette mesure se fait au moyen d'un micromoulinet. Les vitesses moyennes (temporelles) mesurées sur une verticale au centre d'une section sont reproduites dans le tableau suivant :

z (m)	u (m/s)	z (m)	u (m/s)	z (m)	u (m/s)
0	0	0.375	1.5	0.825	1.755
0.075	1.035	0.425	1.599	0.875	1.749
0.105	1.203	0.475	1.653	0.925	1.77
0.135	1.251	0.525	1.659	0.975	1.791
0.165	1.326	0.575	1.659	1.025	1.788
0.195	1.359	0.625	1.701	1.075	1.782
0.225	1.383	0.675	1.716	1.125	1.803
0.275	1.404	0.725	1.74	1.145	1.803
0.325	1.461	0.775	1.734		

Le canal est de forme trapézoïdale :



1. Dessiner la répartition de la vitesse.
2. Calculer la vitesse moyenne.
3. Calculer le débit.
4. En supposant que la vitesse varie en fonction de h de la façon suivante :
 $u(h) = A \cdot \ln(h) + B$, **déterminer les coefficients A et B.**
5. Déterminer la position verticale du capteur pour mesurer directement la vitesse moyenne.
6. Calculer le nombre de Reynolds et le nombre de Froude.

1.3 Etude du profil des vitesses dans un canal au régime permanent et uniforme

L'objectif de cette étude est de justifier par rapport à des résultats expérimentaux les hypothèses classiquement utilisées pour déterminer le profil des vitesses dans une section.

Le profil des vitesses suivant la verticale dans un canal est déterminé par la relation :

$$\tau_{xz} = \rho(v + \varepsilon) \frac{\partial \bar{u}}{\partial z} \quad (\text{Eq. 1})$$

τ_{xz} représente la contrainte de cisaillement, ρ la masse volumique et $\frac{\partial \bar{u}}{\partial z}$ la variation de la vitesse

ponctuelle moyenne temporelle en fonction de l'altitude z . Le fluide utilisé est de l'eau.

La contrainte de cisaillement τ_{xz} peut être représentée par le graphique suivant :

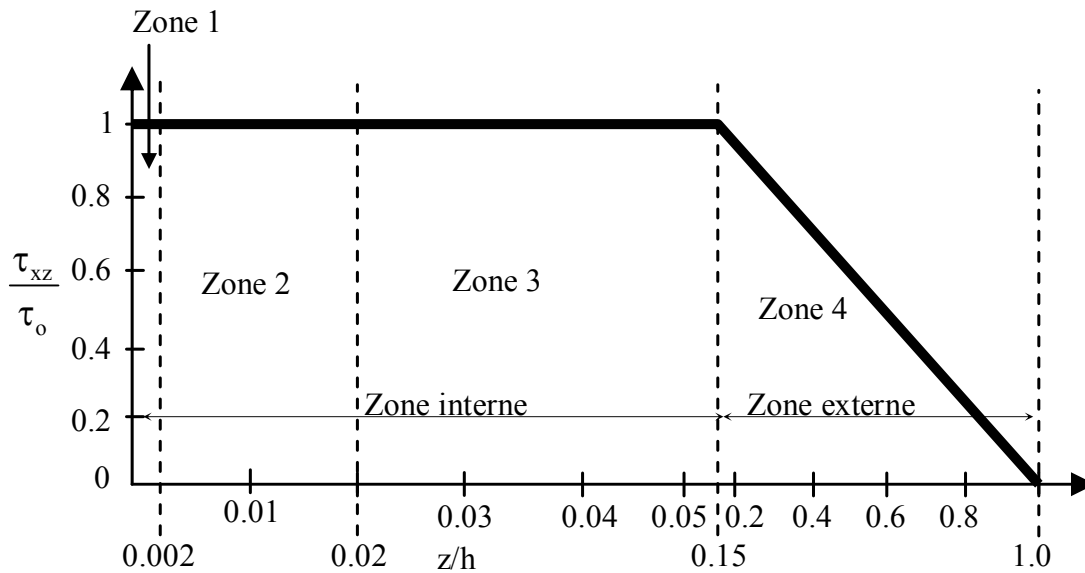


Figure 1 : Evolution de la contrainte en fonction de la hauteur

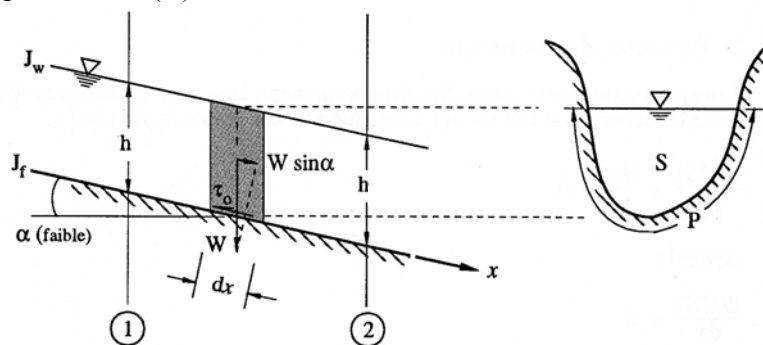
h représente le tirant d'eau dans le canal et τ_0 la contrainte de cisaillement au fond du canal. On distingue 4 zones :

- La zone 1 appelée sous couche visqueuse, $0 \leq z/h \leq 0.002$
- La zone 2 de transition, $0.002 \leq z/h \leq 0.02$
- la zone 3 turbulente dans la zone interne, $0.02 \leq z/h \leq 0.15$
- la zone 4 turbulente dans la zone externe. $0.15 \leq z/h \leq 1.0$

Préliminaire

- Dans l'équation 1, comment s'appellent les coefficients ν et ε ?
- Quelle interprétation physique en faites-vous ? Sont-ils physiquement comparables ?
- Détermination de la contrainte de cisaillement τ_0 :

On se place au régime permanent et uniforme. Le schéma suivant représente un canal incliné d'un angle α ayant une pente (I) suffisamment faible pour que l'hypothèse $\sin(\alpha) \approx \alpha \approx I$ soit vérifiée.



En faisant l'équilibre des forces de pesanteur et de cisaillement sur la paroi, déterminer une relation entre la contrainte de cisaillement τ_0 , la masse volumique ρ , la gravité g , la pente I et le rayon hydraulique R_h .

Etude de la zone 3 turbulente

Dans cette zone, on suppose le régime turbulent. Le coefficient ε peut être représenté par la relation suivante : $\varepsilon = l^2 \frac{\partial \bar{u}}{\partial z}$ ou l est appelée longueur de mélange. Avec $l = \kappa.z$ et $\kappa=0.4$ est la constante de Von Karman.

- Dans la zone 3, quelles simplifications pouvez-vous apporter à l'équation 1 ?
- En exploitant la figure 1, quelles hypothèses pouvez-vous formuler sur la variation de τ_{xz} ?

$$u^* = \sqrt{\frac{\tau_o}{\rho}}$$

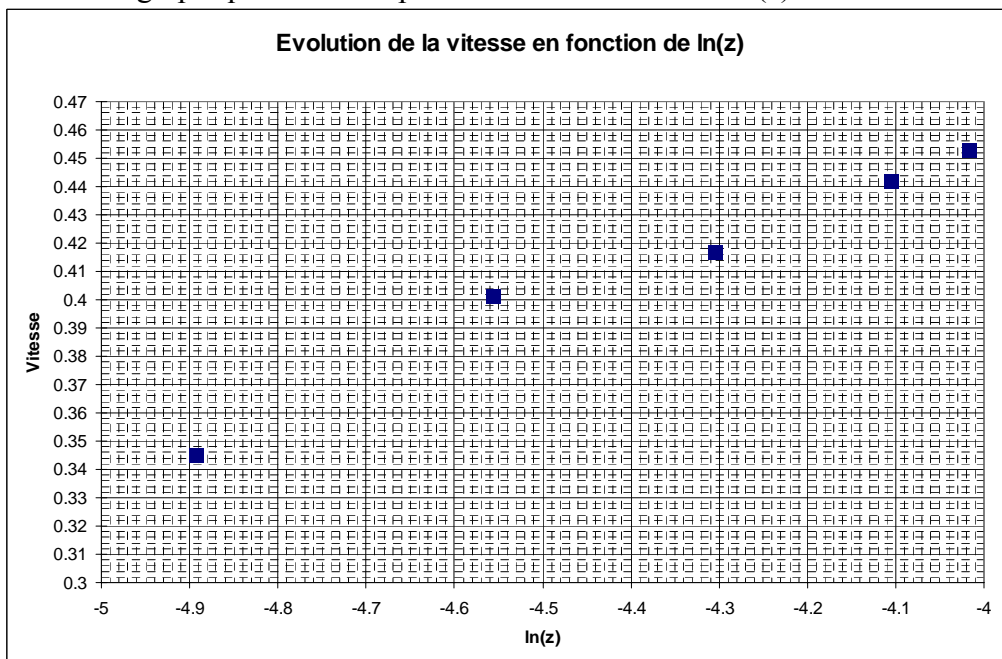
- Pour des raisons de commodité, on définit le paramètre u^* . Déterminer l'unité de u^* .

$$\bar{u} = \frac{u^*}{\kappa} \ln(z) + C^{ste}$$

- Ecrivez l'équation 1 ainsi simplifiée et montrez que
- Une série de mesures de vitesse ponctuelle dans un canal rectangulaire de 30cm de large, de tirant d'eau 11,45cm et de pente 3.5‰ au régime permanent et uniforme ont donné les valeurs suivantes dans la zone 3 :

z/h	z (cm)	\bar{u} (cm/s)
0.000	0	0
0.066	0.75	34.5
0.092	1.05	40.1
0.118	1.35	41.7
0.144	1.65	44.2
0.157	1.8	45.3

Le graphique suivant représente \bar{u} en fonction de $\ln(z)$ en unité S.I..



- Déterminer les coefficients A et B tels que $\bar{u} = A.\ln(z) + B$ par simple tracé graphique.

$$\frac{u^*}{\kappa}$$

- Calculer κ avec les données précédentes du canal.
- Comparer les deux valeurs.
- Donner l'expression de ε en fonction de u^* , κ , h et z .

On utilisera $\varepsilon = l^2 \frac{\partial \bar{u}}{\partial z}$ avec $l = \kappa \cdot z$ et $\bar{u} = \frac{u^*}{\kappa} \ln(z) + C^{ste}$.

- Dans l'intervalle de validité de la zone 3 donner la variation de $\frac{\varepsilon}{v}$.
- Concluez sur l'hypothèse du régime turbulent.

Etude de la zone 4 turbulente

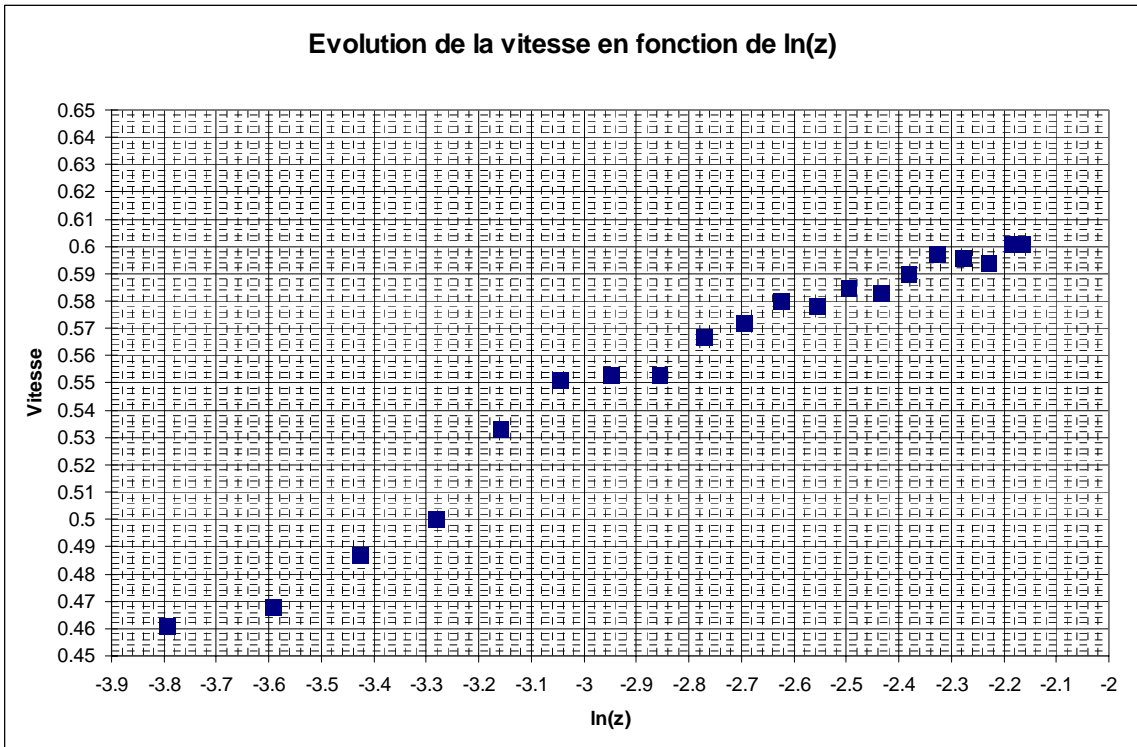
Dans cette zone, on suppose le régime fortement turbulent. Malheureusement, il n'existe pas de relation simple permettant de déterminer le coefficient ε .

- Dans la zone 4, quelles simplifications pouvez-vous apporter à l'équation 1 ?
- En exploitant la figure 1, quelles hypothèses pouvez-vous formuler sur la variation de τ_{xz} ?
- Donner une relation entre τ_{xz} et τ_o , z et h .

Les mesures expérimentales précédentes sont maintenant menées dans la zone 4. Les caractéristiques du canal et le débit sont conservés. Les mesures de vitesse ponctuelle ont donné les valeurs suivantes dans la zone 4 :

z/h	z (cm)	\bar{u} (cm/s)
0.197	2.25	46.1
0.240	2.75	46.8
0.284	3.25	48.7
0.328	3.75	50
0.371	4.25	53.3
0.415	4.75	55.1
0.459	5.25	55.3
0.502	5.75	55.3
0.546	6.25	56.7
0.590	6.75	57.2
0.633	7.25	58
0.677	7.75	57.8
0.721	8.25	58.5
0.764	8.75	58.3
0.808	9.25	59
0.852	9.75	59.7
0.895	10.25	59.6
0.939	10.75	59.4
0.983	11.25	60.1
1.000	11.45	60.1

Le graphique suivant représente \bar{u} en fonction de $\ln(z)$ en unité S.I..



- Déterminer les coefficients A' et B' tels que $\bar{u} = A'.\ln(z) + B'$ par simple tracé graphique.

- En utilisant les résultats des questions 1.3.1 et 1.3.2. ainsi que la

relation $\bar{u} = A'.\ln(z) + B'$, Montrer que $\varepsilon = \frac{z.\tau_0 \left(1 - \frac{z}{h}\right)}{0,85.A'.\rho}$

- Calculer $\frac{\varepsilon}{v}$ en fonction de $\frac{z}{h}$ pour les valeurs suivantes :

z/h	$\frac{\varepsilon}{v}$
0.15	
0.5	
0.75	

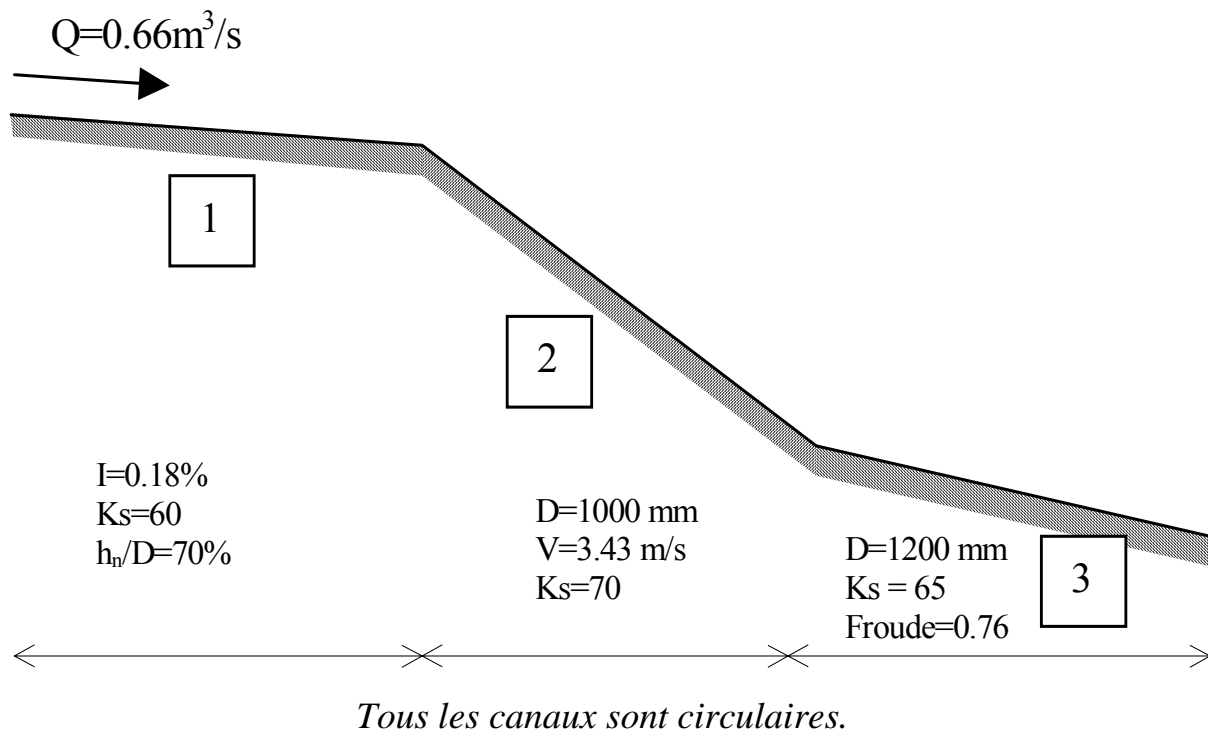
- Concluez sur l'hypothèse du régime fortement turbulent.

2 Écoulement uniforme et permanent

2.1 Comparaison de formules au R.P.U.

Déterminer le débit dans un canal rectangulaire de 1.2 m de large, formé de canaux en maçonnerie ordinaire, construction soignée avec végétation et mousse, ayant une pente de 4 m pour 10 000 m, dont le tirant d'eau est de 0.6m.
Utiliser la formule de Manning-Strickler et de Chézy (Bazin et Kutter)

2.2 Canaux circulaires au R.P.U.



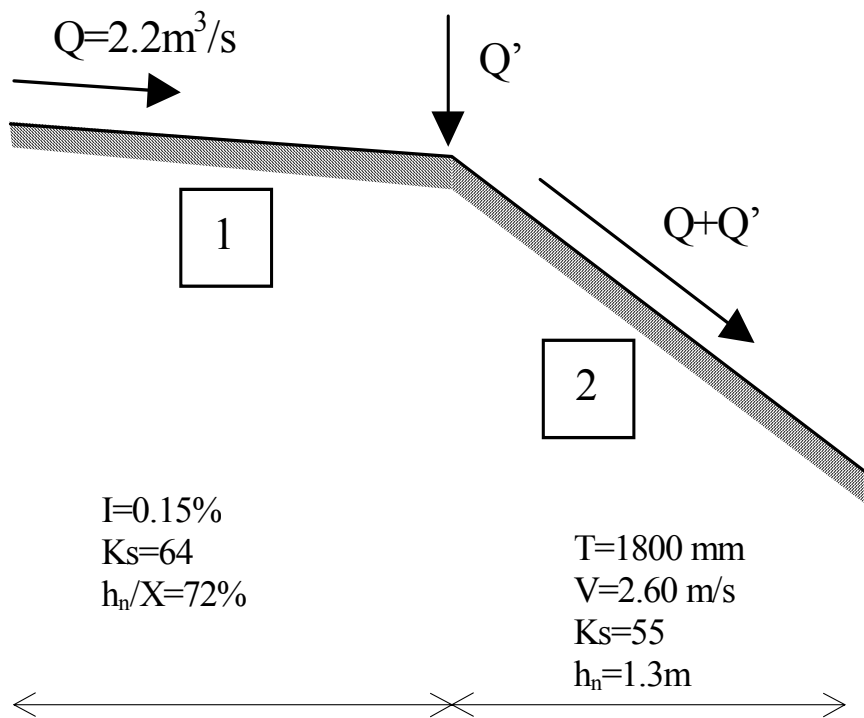
On se place en régime permanent et uniforme.

On détaillera les calculs et on encadrera les équations à résoudre.

h_n : la hauteur normale et D le diamètre du canal.

- Déterminer le diamètre du canal 1 sachant que l'on veut : $\frac{h_n}{D} = 70\%$
- Déterminer la pente du canal 2 sachant que l'on veut une vitesse d'écoulement de $V = 3.43 \text{ m/s}$.
- Déterminer la pente du canal 3 sachant que l'on veut un nombre de froude = 0.76
- Déterminer la hauteur critique et la hauteur normale dans chaque tronçon.

2.3 Comparaison au R.P.U. pour des canaux ovoïdes, circulaires et rectangulaires



On se place en régime permanent et uniforme. On détaillera les calculs.

h_n : la hauteur normale.

T : la hauteur de l'ovoïde et B la largeur avec : $B = \frac{T}{1.5}$.

- Dans le canal 1, on veut : $\frac{h_n}{X} = 72\%$,
 - Cas d'une conduite circulaire : $X = \text{Diamètre}$, déterminer le diamètre.
 - Cas d'un ovoïde : $X = T$, (hauteur de l'ovoïde), déterminer la hauteur de l'ovoïde.
 - Cas d'un rectangulaire : $X=B$, (largeur du canal), déterminer la largeur du rectangulaire.
- Dans le canal 2, pour le cas d'un ovoïde,
 - déterminer la pente du canal 2 sachant que l'on veut une vitesse d'écoulement de $V=2.60\text{ m/s}$.

2.4 Ecoulement permanent et uniforme dans un réseau d'irrigation

Dans un réseau d'irrigation constitué de canaux circulaires de diamètre 1200mm, l'écoulement se fait à surface libre. La rugosité de Strickler est de $K_s=65$. On souhaite les conditions hydrauliques suivantes :

- une vitesse minimale dans l'ensemble du réseau de 1m/s,
- un Froude maximal de 0.6,
- une hauteur dans les conduites de : $0.25\text{m} \leq \text{hauteur} \leq 1.1\text{m}$
- une pente dans le réseau comprise entre : $1.2\text{‰} \leq I \leq 3.0\text{‰}$

On se place en régime permanent et uniforme.

Etude préliminaire

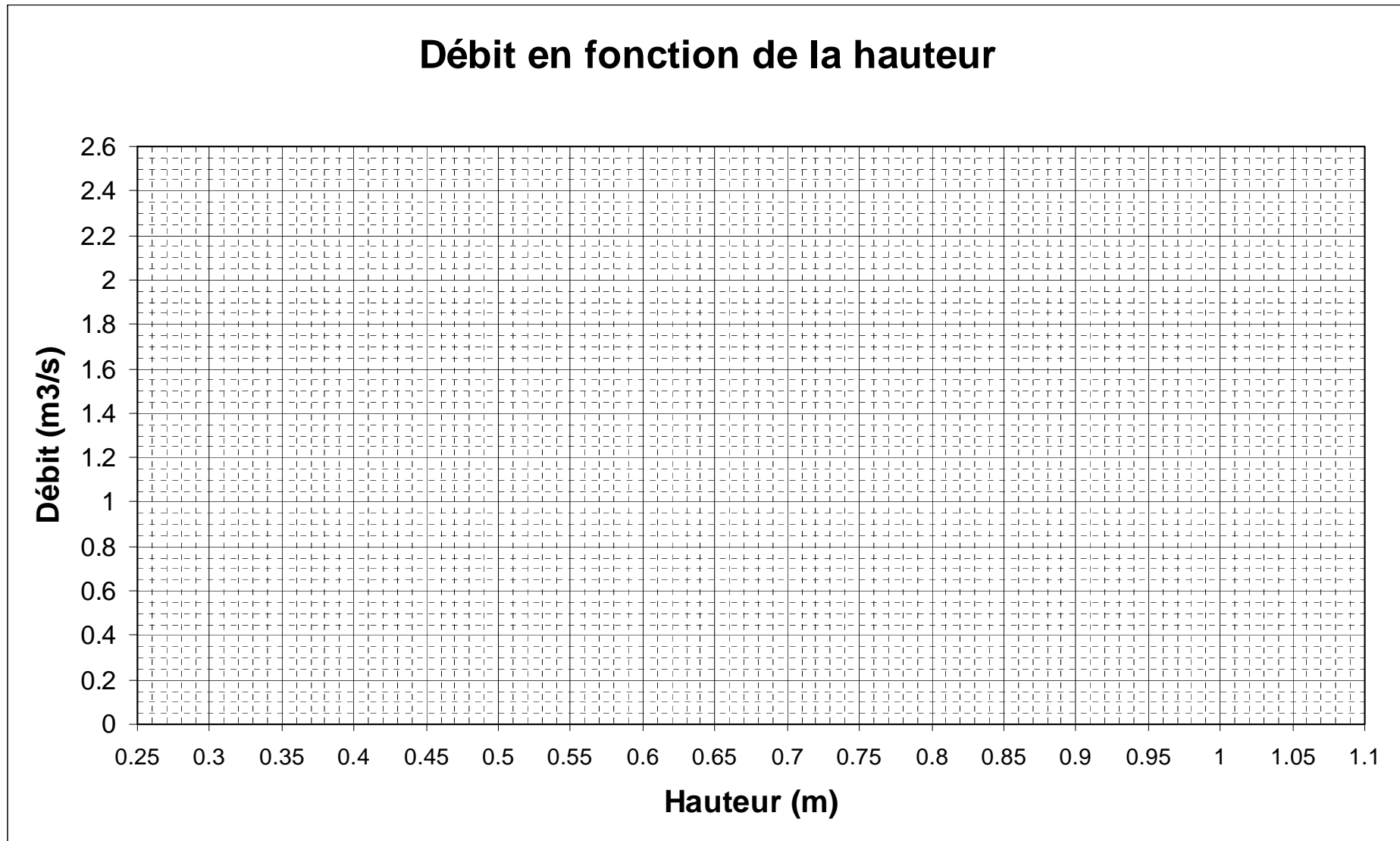
- Déterminer littéralement les différentes égalités et inégalités pour satisfaire l'ensemble des conditions hydrauliques dans le cas des conduites circulaires en fonction des variables Q, h, D et K_s . (*On utilisera les relations approchées*).

Domaine de validité du régime permanent et uniforme

- Déterminer le domaine de validité de la hauteur normale en fonction du débit de telle sorte que les conditions précédentes soient satisfaites. Pour cela, on calculera les différentes égalités et inégalités de débit en fonction de la hauteur d'eau pour les valeurs de hauteurs suivantes :

Hauteur (m)	Les différentes égalités et inégalités en Débit en fonction de la hauteur d'eau (m^3/s)			
0.25				
0.53				
0.82				
1.1				

- Tracer les différentes courbes et déterminer le domaine de validité de la hauteur normale en fonction du débit.



2.5 Etude de la contrainte limite de dépôt/mise en suspension dans des conduites en R.P.U.

Dans les canaux et conduites transportant des matières en suspension, l'approche expérimentale menée par Shields a permis de montrer que la contrainte de cisaillement au fond du canal (τ_o) permet de caractériser le transport de ses matières en suspension en fonction du diamètre des particules. Dans l'étude qui nous intéresse, on limitera la contrainte de cisaillement (τ_o) à la valeur de 3 N/m^2 .

Si $\tau_o > 3 \text{ N/m}^2 \Rightarrow$ Mise en suspension
 Si $\tau_o < 3 \text{ N/m}^2 \Rightarrow$ Décantation

L'objectif de cette étude est de comparer plusieurs formes de conduite fermée par rapport à leur pouvoir de mettre en suspension ou de faire décanter les matières en suspension. On compare les conduites circulaire, ovoïde et fer à cheval.

Dimensionnement des conduites

Déterminer le diamètre D de la conduite circulaire, la hauteur T_o de l'ovoïde et la hauteur T_f du fer à cheval pour vérifier :

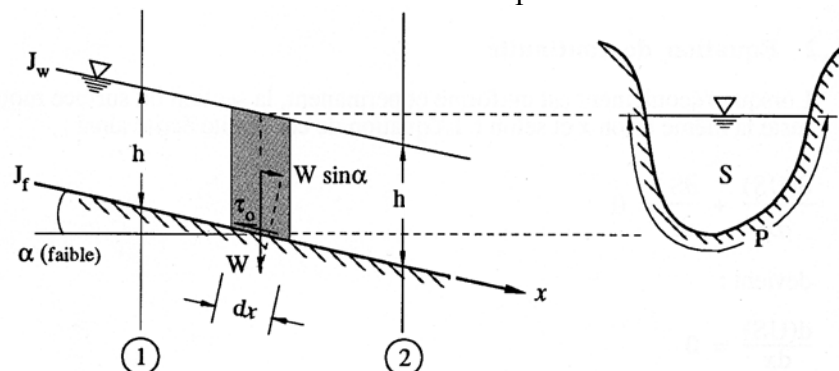
- un régime permanent et uniforme,
- un rapport (y) entre la hauteur maximale de la section et le tirant d'eau de 80%,
- une pente de 0.3%,
- un débit de $7 \text{ m}^3/\text{s}$,
- une rugosité de Strickler (K_s) de 85.

On arrondit à 1 chiffre après la virgule pour D , T_o et T_f . (On utilisera les formules approchées)

Etude de la contrainte de cisaillement

Détermination de la contrainte de cisaillement

On se place au régime permanent et uniforme. Le schéma suivant représente un canal incliné ayant une pente (I) suffisamment faible pour que l'hypothèse $\sin(\alpha) \approx \alpha \approx I$ soit vérifiée. Le canal est prismatique. On suppose que la contrainte de cisaillement est constante sur toute la paroi.



- En faisant l'équilibre dans le sens de l'écoulement des forces de pesanteur et de cisaillement sur la paroi, déterminer une relation entre la contrainte de cisaillement τ_o , la masse volumique ρ , la gravité g , la pente I et le rayon hydraulique R_h .

Expression de τ_o dans le cas des conduites fermées

- En utilisant la relation approchée de R_h pour les conduites circulaire, ovoïde et fer à cheval, donner l'expression de τ_o pour ces trois conduites.
- En utilisant $\tau_o = 3N/m$, calculer la pente I en fonction de h en complétant le tableau suivant :

Ht=D, T _o ou T _f	Circulaire		Ovoïde		Fer à cheval	
	R _h (m)	Pente (I)	R _h (m)	Pente (I)	R _h (m)	Pente (I)
$y = \frac{h}{Ht}$						
5%						
10%						
20%						

Débits et vitesses minimales

- En fonction des pentes et du rapport $y = \frac{h}{Ht}$ calculés précédemment déterminer le débit minimal et la vitesse minimale au régime permanent et uniforme assurant une mise en suspension des particules. Compléter le tableau suivant :

Ht=D, T _o ou T _f	Circulaire			Ovoïde			Fer à cheval		
	Q(m ³ /s)	S(m ²)	V(m/s)	Q(m ³ /s)	S(m ²)	V(m/s)	Q(m ³ /s)	S(m ²)	V(m/s)
$y = \frac{h}{Ht}$									
5%									
10%									
20%									

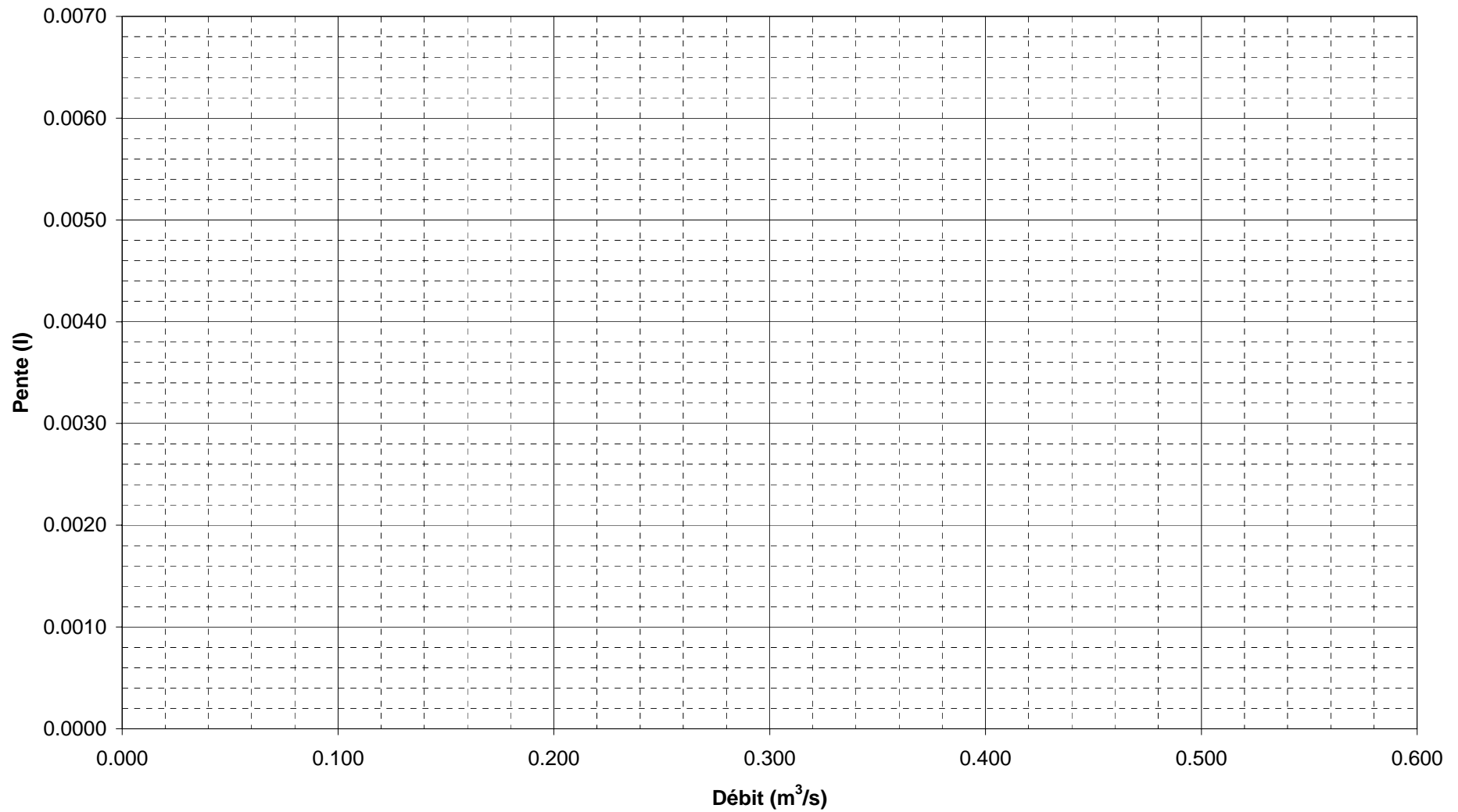
- Tracer sur le graphique suivant l'évolution de la pente en fonction de Q.
- Tracer sur le graphique suivant l'évolution de la vitesse en fonction du débit.

Exploitation des résultats

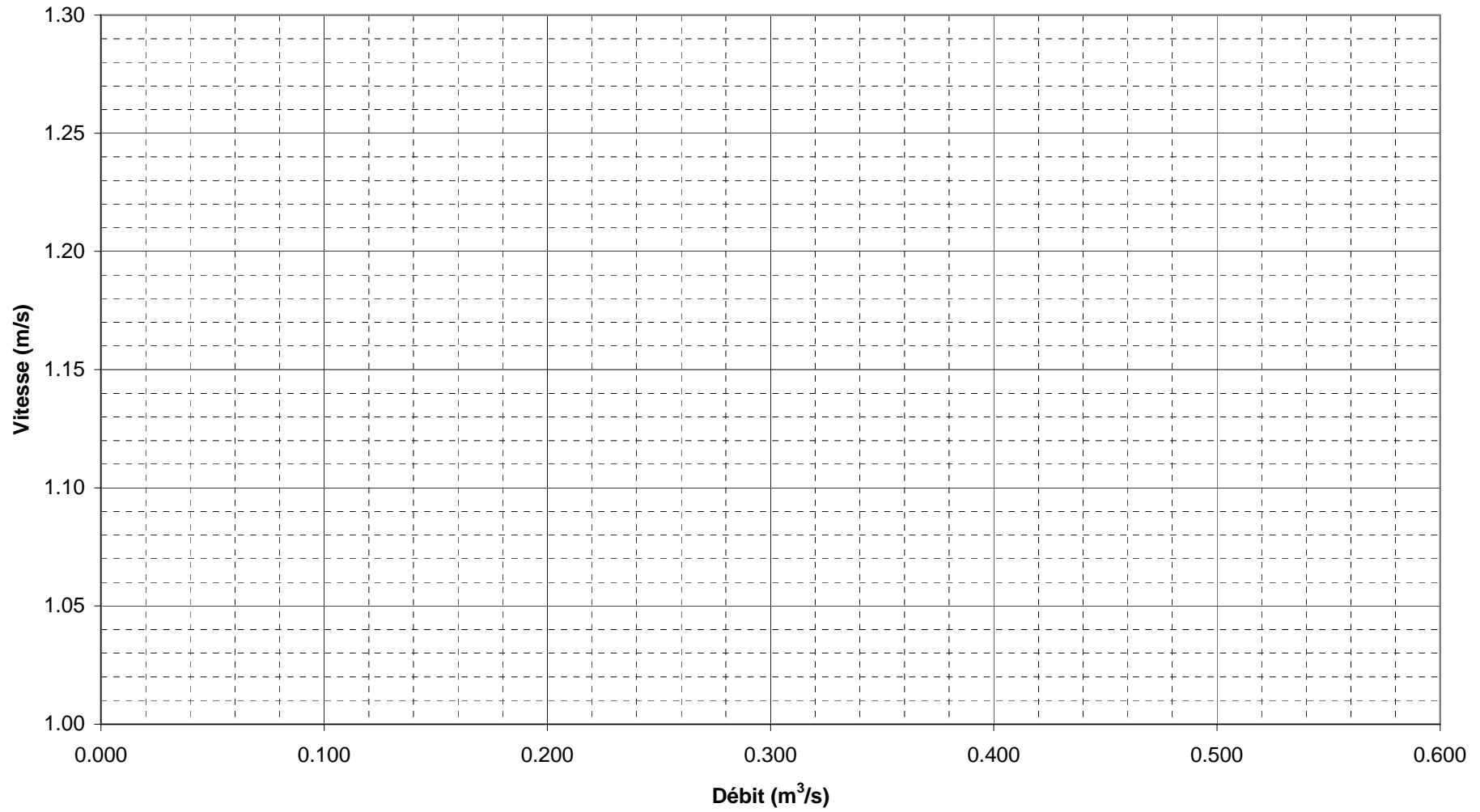
On constate que dans le réseau étudié, 80% du temps c'est un débit de à 0.1m³/s qui y transite.

- Quel type de conduite allez-vous choisir pour garantir en permanence une mise en suspension des particules ?
- Quelle est la vitesse minimale à garantir dans ce cas ?

Evolution de la pente en fonction du débit



Evolution de la vitesse en fonction du débit



2.6 Comparaisons de section carrée, circulaire, ovoïde et fer à cheval en R.P.U.

Dans cette étude, on désire comparer différentes sections afin d'en choisir une en fonction du régime Fluvial/Torrentiel s'établissant au régime permanent et uniforme. Pour cela, on dispose de 4 types de conduite *fermée* : Carré, Circulaire, Ovoïde et Fer à cheval.

On appelle R.P.U. le Régime Permanent et Uniforme et R.C. le Régime Critique.

Dimensionnement

On veut faire passer dans les conduites un débit à pleine section de $1\text{m}^3/\text{s}$ avec une pente de 0.7% et une rugosité de Strickler de 65. On rappelle que toutes les conduites sont **fermées**.

Montrer que les dimensions de chaque section sont les suivantes :

Section carrée	Section circulaire	Section ovoïde	Section fer à cheval
0.75m×0.75m	DN820 (mm)	Hauteur 1,03m	Hauteur 0.71m

Section carrée

- Donner la relation détaillée du débit en fonction du tirant d'eau en régime permanent et uniforme.
- Donner la relation détaillée du débit en fonction du tirant d'eau au régime critique.
- Compléter le tableau suivant :

Hauteur/hauteur totale	0.2	0.4	0.6	0.8
Hauteur (m)	0.15	0.30	0.45	0.60
Q(RPU) (m^3/s)				
Q(RC) (m^3/s)				

- Tracer les courbes Q(RPU) et Q(CR) en fonction de Hauteur/hauteurmax sur le graphique « section carrée ». Localiser les zones fluviale et torrentielle.

Section circulaire

- Donner la relation approchée du débit en fonction du tirant d'eau en permanent et uniforme.
- Donner la relation approchée du débit en fonction du tirant d'eau au régime critique.
- Compléter le tableau suivant :

Hauteur/hauteur totale	0.2	0.4	0.6	0.8
Hauteur (m)	0.164	0.328	0.492	0.656
Q(RPU) (m^3/s)				
Q(RC) (m^3/s)				

- Tracer les courbes Q(RPU) et Q(CR) en fonction de Hauteur/hauteurmax sur le graphique « section circulaire ». Localiser les zones fluviale et torrentielle.

Section ovoïde

- Donner la relation approchée du débit en fonction du tirant d'eau en permanent et uniforme.
- Donner la relation approchée du débit en fonction du tirant d'eau au régime critique.
- Compléter le tableau suivant :

Hauteur/hauteur totale	0.2	0.4	0.6	0.8
Hauteur (m)	0.206	0.411	0.617	0.822
Q(RPU) (m ³ /s)				
Q(RC) (m ³ /s)				

- Tracer les courbes Q(RPU) et Q(CR) en fonction de Hauteur/hauteurmax sur le graphique « section ovoïde ». Localiser les zones fluviale et torrentielle.

Section fer à cheval

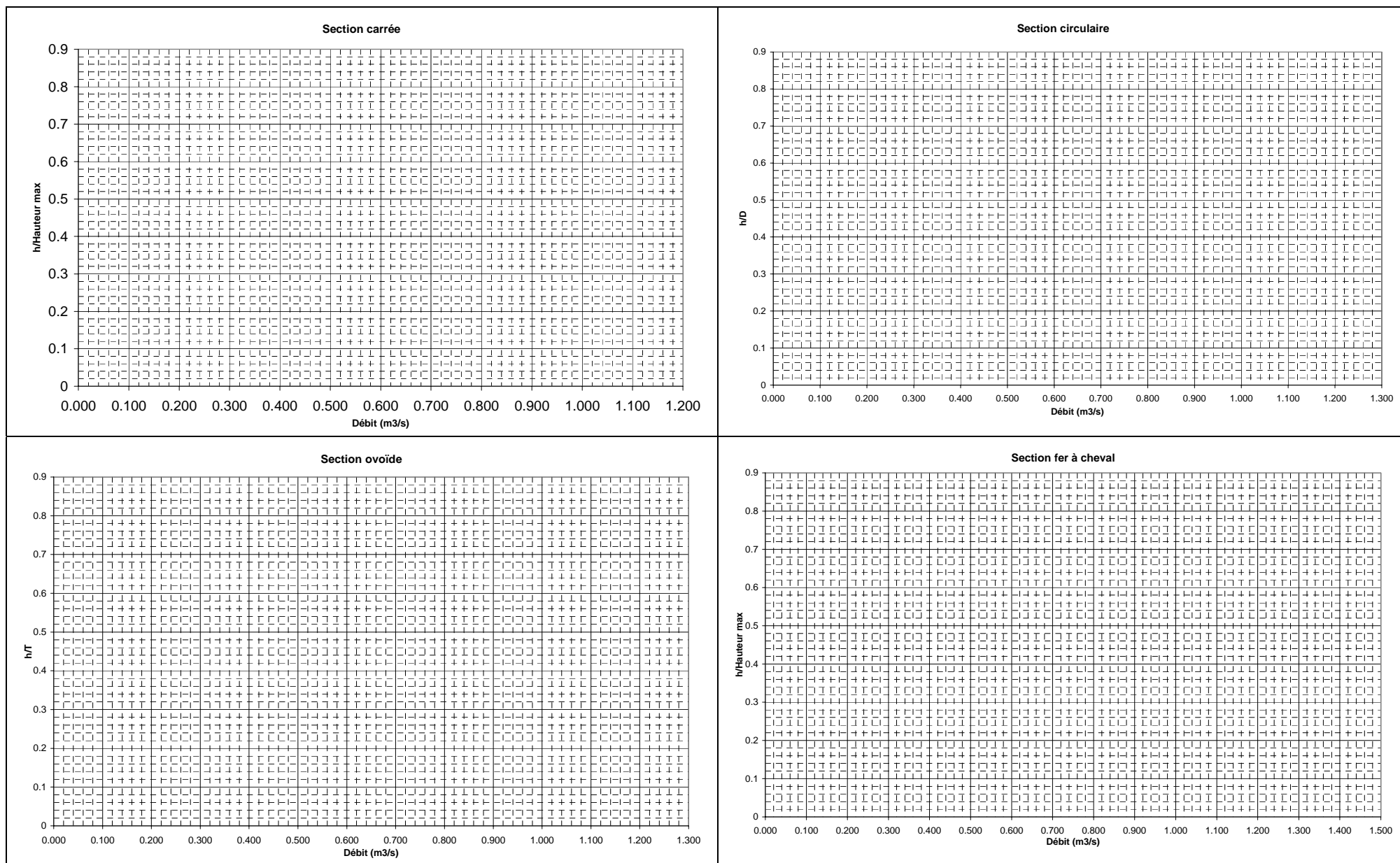
- Donner la relation approchée du débit en fonction du tirant d'eau en permanent et uniforme.
- Donner la relation approchée du débit en fonction du tirant d'eau au régime critique.
- Compléter le tableau suivant :

Hauteur/hauteur totale	0.2	0.4	0.6	0.8
Hauteur (m)	0.142	0.284	0.426	0.569
Q(RPU) (m ³ /s)				
Q(RC) (m ³ /s)				

- Tracer les courbes Q(RPU) et Q(CR) en fonction de Hauteur/hauteurmax sur le graphique « section fer à cheval ». Localiser les zones fluviale et torrentielle.

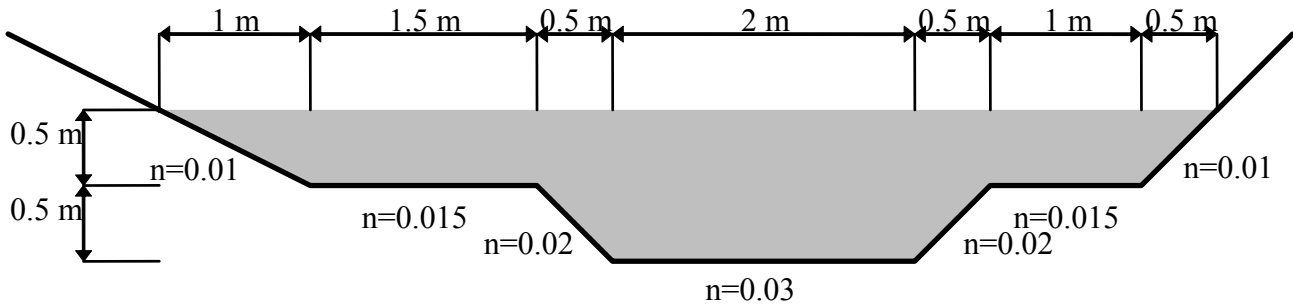
Choix de la section

- Au régime permanent et uniforme on veut choisir la section garantissant un régime torrentiel jusqu'à une hauteur de $h/H=0,6$. Quelle(s) section(s) pouvez-vous choisir ?



2.7 Rugosité composée

Un canal a les dimensions suivantes :



La pente est de 0.1%. Déterminer le débit.

2.8 Détermination de la rugosité K_s en régime permanent et uniforme

Des mesures de débit et de hauteur d'eau dans un canal de diamètre $\phi = \text{DN } 700$ et une pente de 0.5% ont donné les résultats suivants :

Débit (l/s)	111	470
h (m)	0.21	0.49

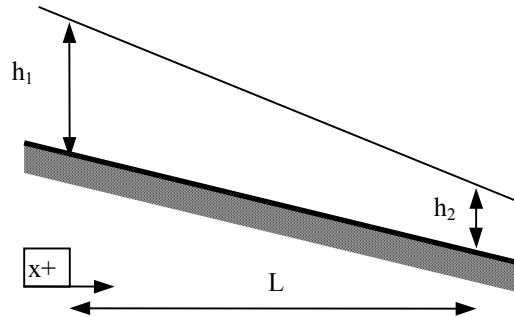
A quelle(s) profondeur(s) conseille-t-on de positionner le capteur de vitesse ponctuelle si on veut approcher la vitesse moyenne avec une (plusieurs) mesure(s) ponctuelle(s) ?

A partir du tableau précédent, calculer la valeur moyenne de K_s .
On appelle Q_h le débit à la hauteur h et Q_d le débit à pleine section.

h (m)	h/ϕ	Q_h/Q_d	$Q_d(K_s=75)$	$Q_h(K_s=75)$	$Q_h(K_s=?)$	K_s
0.21					111 l/s	
0.49					470 l/s	

2.9 Détermination de la rugosité en régime permanent et non uniforme

Dans un canal, il n'est pas toujours évident de garantir un régime permanent et surtout uniforme. Dans ce cas, on effectue une mesure amont et aval du tirant d'eau à débit constant dans un canal à pente et rugosité constantes :



Sur la longueur L , on fait l'hypothèse que h varie de façon linéaire, c'est-à-dire :

$$\frac{dh}{dx} = \frac{h_2 - h_1}{L}$$

En utilisant l'équation donnant la courbe de remous donner l'expression de K_s .
On se placera au milieu du tronçon.

Pour une section rectangulaire de largeur 3m, $h_1 = 1.8$ m, $h_2 = 1.57$ m,
 $Q = 10$ m³/s, $L = 400$ m et $I = 0.1$ % déterminer la rugosité.

2.10 Optimisation de la surface d'une section au Régime Permanent et Uniforme

L'objectif de cette étude est la recherche des caractéristiques géométriques à imposer à une section de forme connue pour que la surface mouillée soit minimale à pente, débit, contrainte de cisaillement et rugosité donnés au régime permanent et uniforme.

Préliminaire :

Pour la recherche de l'optimum, on utilisera l'outil mathématique suivant :

Soit S une quantité à minimiser ou à maximiser. La variable S fonction des paramètres x_1 et x_2 est définie par les deux fonctions suivantes :

$$S = f_1(x_1, x_2)$$

$$S = f_2(x_1, x_2)$$

L'optimum de la variable S en fonction de x_1 et x_2 est atteint quand : $dS = 0$ (différentielle totale)

Pour les fonctions f_1 et f_2 , on peut écrire :

$$dS = \frac{\partial f_1}{\partial x_1} dx_1 + \frac{\partial f_1}{\partial x_2} dx_2 = 0$$

$$dS = \frac{\partial f_2}{\partial x_1} dx_1 + \frac{\partial f_2}{\partial x_2} dx_2 = 0$$

L'écriture matricielle du système d'équations précédent s'écrit :

$$\begin{bmatrix} \frac{\partial f_1}{\partial x_1} & \frac{\partial f_1}{\partial x_2} \\ \frac{\partial f_2}{\partial x_1} & \frac{\partial f_2}{\partial x_2} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} dx_1 \\ dx_2 \end{bmatrix} = 0$$

Les différentielles dx_1 et dx_2 étant différentes de zéro, l'optimum sera atteint quand :

$$\det \begin{bmatrix} \frac{\partial f_1}{\partial x_1} & \frac{\partial f_1}{\partial x_2} \\ \frac{\partial f_2}{\partial x_1} & \frac{\partial f_2}{\partial x_2} \end{bmatrix} = 0$$

Section de forme quelconque

Donner la relation permettant de calculer le débit (Q) au régime permanent et uniforme en fonction de la pente (I), de la rugosité K_s , de la surface (S) et du périmètre mouillé (P).

Exprimer S en fonction de Q, I, K_s et P.

On appellera cette fonction $f_2(Q, I, K_s, P)$.

Donner la relation permettant de calculer la contrainte de cisaillement (τ) au régime permanent et uniforme en fonction de la pente (I), de la surface (S) et du périmètre mouillé (P).

Exprimer S en fonction de I, τ et P.

On appellera cette fonction $f_3(I, \tau, P)$.

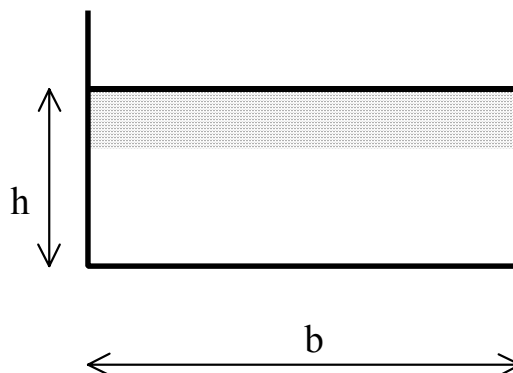
On se place dans le cas où la pente, le débit, la contrainte de cisaillement et la rugosité sont fixés (non variable). Le périmètre mouillé $P(h, x)$ est une fonction de la hauteur h et d'une caractéristique de la section que l'on appellera x.

Calculer $df_2 = \frac{\partial f_2}{\partial h} dh + \frac{\partial f_2}{\partial x} dx$ en fonction de Q, I, K_s , P, h et x.

Calculer $df_3 = \frac{\partial f_3}{\partial h} dh + \frac{\partial f_3}{\partial x} dx$ en fonction de I, τ , P, h et x.

Montrer que si l'optimum de f_2 est atteint alors l'optimum de f_3 est également atteint pour les mêmes variables h et x.

Section de forme rectangulaire



Donner l'expression de la surface S en fonction de h et b.

On appellera cette fonction $f_1(h, b)$.

Déterminer l'expression de $S = f_2(Q, I, K_s, h, b)$ définie au § 1.1.1.

On cherche une relation entre h et b de telle sorte que S soit optimal en vérifiant les relations f_1 et f_2 . Pour déterminer cette relation, on utilisera le développement mathématique détaillé dans le préliminaire.

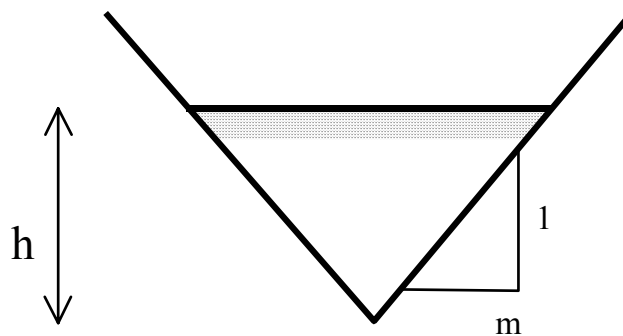
Montrer que : $h = \frac{b}{2}$

Dans le cas de l'optimum, exprimer :

- h en fonction de Q , I et K_s .
- S en fonction de Q , I et K_s .
- τ en fonction de Q , I et K_s .

Application numérique : pour un débit de $1.7\text{m}^3/\text{s}$, une pente de 0.4% et une rugosité de 70 , calculer : h , b , S et τ .

Section en Vé



Donner l'expression de la surface S en fonction de h et m .

On appellera cette fonction $f_1(h, m)$.

Déterminer l'expression de $S = f_2(Q, I, K_s, h, m)$ définie au § 1.1.1.

On cherche une relation entre h et m de telle sorte que S soit optimal en vérifiant les relations f_1 et f_2 .

Montrer que : $m = 1$

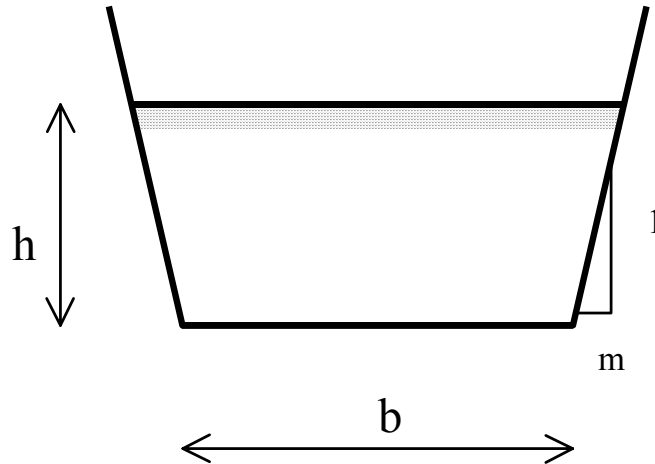
Dans le cas de l'optimum, exprimer :

- h en fonction de Q , I et K_s .
- S en fonction de Q , I et K_s .
- τ en fonction de Q , I et K_s .

Comparer ces valeurs avec celles calculées précédemment pour la section rectangulaire.

Application numérique : pour un débit de $1.7\text{m}^3/\text{s}$, une pente de 0.4% et une rugosité de 70 , calculer : h , m , S et τ .

Section de forme trapézoïdale



Donner l'expression de la surface S en fonction de h , b et m .

On appellera cette fonction $f_1(h, b, m)$.

Déterminer l'expression de $S = f_2(Q, I, K_s, h, b, m)$ définie au § 1.1.1.

On se place à m constant : on cherche une relation entre h , b et m de telle sorte que S soit optimal en vérifiant les relations f_1 et f_2 .

Montrer que :
$$h = \frac{b}{2(\sqrt{1+m^2} - m)}$$

On se place à b constant : on cherche une relation entre h , b et m de telle sorte que S soit optimal en vérifiant les relations f_1 et f_2 .

Montrer que :
$$h = \frac{mb}{1-m^2}$$

Optimum : en utilisant les deux relations précédentes des § 1.4.3 et 1.4.4 exprimer m et b en fonction de h .

Dans le cas de l'optimum, exprimer :

- h en fonction de Q , I et K_s .
- S en fonction de Q , I et K_s .
- τ en fonction de Q , I et K_s .

Application numérique : pour un débit de $1.7\text{m}^3/\text{s}$, une pente de 0.4% et une rugosité de 70 , calculer : h , m , b , S et τ .

2.11 Etude d'un réseau d'assainissement composé de conduites ovoïdes

Dans toute cette étude, on se place au régime permanent et uniforme. Les canalisations ovoïdes sont normalisées de caractéristique : Hauteur totale (T) = $1.5 \times$ Largeur.

La première partie s'intéresse au dimensionnement de la hauteur normale d'une conduite ovoïde T et de sa pente.

La deuxième partie recherche la zone de validité du débit en fonction de la pente pour certaines contraintes hydrauliques.

Dimensionnement

La rugosité de Strickler K_s est choisie à $65 \text{ (m}^{1/3}\text{s}^{-1}\text{)}$.

On veut fixer la hauteur totale T de l'ovoïde et la pente I en respectant les contraintes hydrauliques suivantes :

- $Q_{\max}=3,2 \text{ m}^3/\text{s}$ avec $y_{\max} = \frac{h_{\max}}{T} = 0,9$
- $Q_{\min}=0,2 \text{ m}^3/\text{s}$ avec pour contrainte de cisaillement au débit minimal : $\tau_{\min} = 3,2 \text{ N/m}^2$

Donner l'expression de Q_{\max} en fonction de K_s , I , T et y_{\max} dans le cas du régime permanent et uniforme.

Calculer $I^{1/2} \cdot T^{8/3}$

Donner l'expression de y_{\min} en fonction de K_s , I , T et Q_{\min} dans le cas du régime permanent et uniforme.

Calculer y_{\min} .

Donner l'expression de la contrainte τ_{\min} en fonction de ρ , g , I , T et y_{\min} .

Calculer $I \cdot T$

En utilisant les relations calculées aux questions 1.1.2. et 1.1.6., déterminer I et T .

Diagnostic au régime permanent et uniforme

Le réseau d'assainissement précédent est composé de sections ovoïdes de hauteur totale 2m et de rugosité K_s de 65.

Dans cette partie, on cherche à déterminer la zone de validité des relations suivantes :

- $0.2 \leq y_n = \frac{h_n}{T} \leq 0.9$ avec h_n est la hauteur normale,
- $3.0 \text{ N/m}^2 \leq \tau \leq 7.0 \text{ N/m}^2$ avec τ la contrainte de cisaillement,
- Froude ≤ 0.75

En utilisant l'expression de y_n en fonction de K_s , I , T et Q dans le cas du régime permanent et uniforme ainsi que la condition sur y_n , montrer que :

$$\frac{0.171 K_s I^{1/2} T^{8/3}}{0.884} \left(1 - \left(1 - \left(\frac{y_{\min}}{1.09} \right)^2 \right)^2 \right) \leq Q \leq \frac{0.171 K_s I^{1/2} T^{8/3}}{0.884} \left(1 - \left(1 - \left(\frac{y_{\max}}{1.09} \right)^2 \right)^2 \right)$$

Le terme minimal sur Q est appelé $Q_{\min}(y_{n_{\min}})$ et le terme maximal est appelé

$Q_{\max}(y_{n_{\max}})$. On a donc : $Q_{\min}(y_{n_{\min}}) \leq Q \leq Q_{\max}(y_{n_{\max}})$

Compléter le tableau suivant :

Pente I (m/m)	$Q_{\min}(y_{n_{\min}})$	$Q_{\max}(y_{n_{\max}})$
0.0005		
0.001		
0.002		
0.003		

Tracer sur le graphique suivant les deux courbes $Q_{\min}(y_{n_{\min}})$ et $Q_{\max}(y_{n_{\max}})$.

En utilisant l'expression de y_n en fonction de K_s , I , T et Q dans le cas du régime permanent et uniforme ainsi que la condition sur la contrainte de cisaillement, montrer que :

$$\frac{0,171K_s I^{1/2} T^{8/3}}{0,884} \left(1 - \left(1 - \left(\frac{\tau_{\min}}{0,29 \cdot T \rho g I \cdot 1,09^{3/4}} \right)^{8/3} \right)^2 \right) \leq Q \leq \frac{0,171K_s I^{1/2} T^{8/3}}{0,884} \left(1 - \left(1 - \left(\frac{\tau_{\max}}{0,29 \cdot T \rho g I \cdot 1,09^{3/4}} \right)^{8/3} \right)^2 \right)$$

Le terme minimal sur Q est appelé $Q_{\min}(\tau_{\min})$ et le terme maximal est appelé $Q_{\max}(\tau_{\max})$. On a donc : $Q_{\min}(\tau_{\min}) \leq Q \leq Q_{\max}(\tau_{\max})$

Compléter le tableau suivant :

Pente I (m/m)	$Q_{\min}(\tau_{\min})$	Pente I (m/m)	$Q_{\max}(\tau_{\max})$
0.0006		0.0014	
0.001		0.002	
0.002		0.003	
0.003		0.004	

Tracer sur le graphique suivant les deux courbes $Q_{\min}(\tau_{\min})$ et $Q_{\max}(\tau_{\max})$.

En utilisant l'expression de y_n en fonction de K_s , I , T et Q dans le cas du régime permanent et uniforme ainsi que la condition sur le nombre de Froude, montrer que :

$$I \leq \left(\frac{0,884Q}{0,171K_s T^{8/3} \left(1 - \left(1 - 1,8Q / \left(1,09^2 \sqrt{gT^5} \text{Froude} \right) \right)^2 \right) \right)^2$$

On utilisera la relation approchée pour le Froude dans le cas ovoïde.

Le terme maximal sur I est appelé $I_{\max}(\text{Froude}_{\max})$. On a donc : $I \leq I_{\max}(\text{Froude}_{\max})$

Compléter le tableau suivant :

Q	$I_{\max}(\text{Froude}_{\max})$
0.2	
1	
1.6	

Tracer sur le graphique suivant la courbe $I \leq I_{\max}(\text{Froude}_{\max})$.

Déterminer sur le graphique suivant le domaine correspondant aux contraintes hydrauliques définies précédemment.

Exploitation du domaine de validité

Un réseau d'assainissement est composé de conduites ovoïdes de hauteur maximale 2m, de rugosité K_s de 65. Les pentes des canalisations sont décrites dans le tableau suivant :

Conduite 1	Pente 0.1%
Conduite 2	Pente 0.2%
Conduite 3	Pente 0.35%

On a pu montrer que la condition suivante est toujours vérifiée :

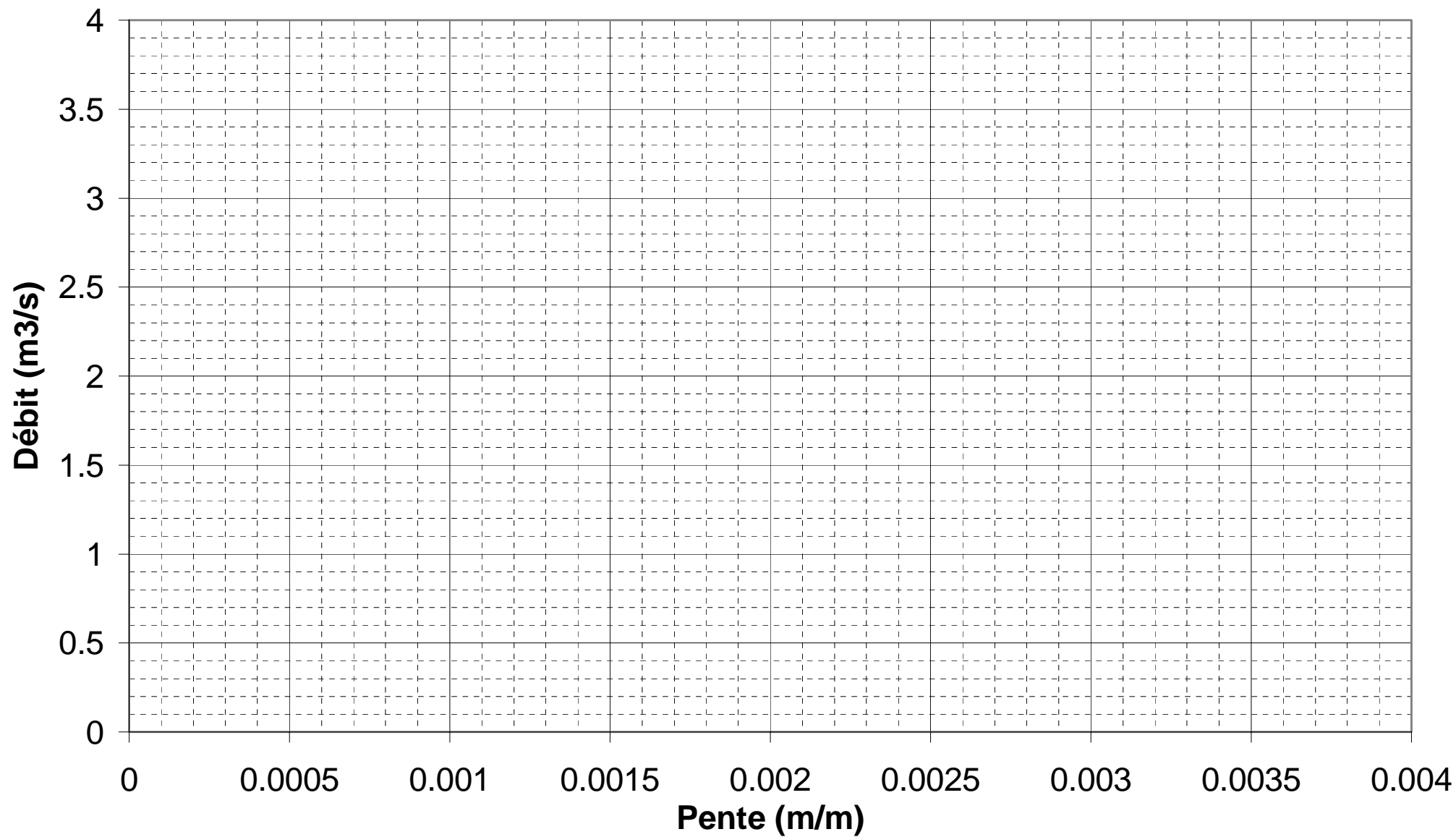
- $0.2 \leq y_n = \frac{h_n}{T} \leq 0.9$ avec h_n est la hauteur normale.

On veut vérifier les contraintes hydrauliques suivantes :

- $3.0\text{N/m}^2 \leq \tau \leq 7.0\text{N/m}^2$ avec τ la contrainte de cisaillement,
- Froude ≤ 0.75

Pour chaque conduite, donner les contraintes qui ne seront pas toujours vérifiées. Dans ce cas, donner le débit minimal ou maximal qui vérifiera l'ensemble des contraintes.

Evolution du Débit en fonction de la Pente



2.12 Vérification des conditions d'autocurage

L'autocurage est l'aptitude d'une conduite d'assainissement à transporter les écoulements qu'elle reçoit sans encrassement. En pratique, un bon autocurage impose que la capacité de transport des particules solides soit suffisante pour éviter leur sédimentation et leur dépôt.

L'objectif de ce type d'étude consiste généralement à choisir la pente et les caractéristiques géométriques de la conduite (forme, hauteur, largeur, diamètre...).

On utilise actuellement trois critères :

⇒ La pente : $I \geq I_{\text{limite}}$.

⇒ La vitesse : $V \geq V_{\text{limite}}$ pour $Q = X.Q_{\text{ps}}$.

Q est le débit pour lequel on veut une vitesse minimale V_{limite} .

X est un % permettant de caractériser le débit Q par rapport au débit à pleine section Q_{ps} .

⇒ La contrainte de cisaillement $\tau \geq \tau_{\text{limite}}$ pour $Q = X.Q_{\text{ps}}$.

Q est le débit pour lequel on veut une contrainte de cisaillement minimale τ_{limite} .

L'objectif de cette étude est de comparer les différentes pratiques pour chaque pays et de calculer les pentes et diamètres acceptables pour l'autocurage en fonction des critères choisis. Les conduites seront circulaires de diamètre D . La rugosité standard des réseaux d'assainissement est de $K_s=70$ (rugosité de Strickler).

L'ensemble de tous les calculs sera effectué au régime permanent et uniforme.

$y_n = \frac{h_n}{D}$; h_n : la hauteur normale.

ρ : la masse volumique et g la constante de gravité.

Étude générale pour les conduites circulaires

- *Dimensionnement de la canalisation*

Quel que soit le critère choisi pour l'autocurage, le dimensionnement de la canalisation se fait au régime permanent et uniforme et au débit à pleine section.

- Déterminer une relation entre : Q_{ps} , I , K_s et D .

- *Condition sur la vitesse*

On cherche à limiter la vitesse minimale dans une canalisation. On utilise les notations suivantes : $V \geq V_{\text{limite}}$ pour $Q = X.Q_{\text{ps}}$.

Cas où $X=100\%$:

- En utilisant $V \geq V_{\text{limite}}$, déterminer une condition sur le diamètre D en fonction de V_{limite} et Q_{ps} .
- En utilisant $V \geq V_{\text{limite}}$, déterminer une condition sur la pente I en fonction de K_s , V_{limite} et Q_{ps} .

Cas où $X<100\%$:

- Déterminer une relation entre : y_n et Q , I , K_s et D .
- Exprimer cette relation uniquement en fonction de X .
- En utilisant $V \geq V_{\text{limite}}$, déterminer une condition sur le diamètre D en fonction de X , V_{limite} , Q_{ps} et y_n .
- En utilisant $V \geq V_{\text{limite}}$, déterminer une condition sur la pente I en fonction de X , K_s , V_{limite} , Q_{ps} et y_n .

- *Condition sur la contrainte de cisaillement*
On cherche à limiter la contrainte de cisaillement minimale dans une canalisation. On utilise les notations suivantes : $\tau \geq \tau_{\text{limite}}$ pour $Q = X.Q_{\text{ps}}$.
 - En reprenant la même démarche que précédemment et en utilisant $\tau \geq \tau_{\text{limite}}$, déterminer une condition sur le diamètre D en fonction de ρ , g , K_s , τ_{limite} , Q_{ps} et y_n .
 - En utilisant $\tau \geq \tau_{\text{limite}}$, déterminer une condition sur la pente I en fonction de ρ , g , K_s , τ_{limite} , Q_{ps} et y_n .

Application aux conditions d'autocurage dans différents pays

Plusieurs paramètres ont été utilisés dans plusieurs pays et à plusieurs époques pour établir les conditions minimales censées assurer l'autocurage des réseaux d'assainissement.

Concernant la vitesse :

En France :	
$\Rightarrow V \geq 1.0\text{m/s}$	pour un débit : Q_{ps}
$\Rightarrow V \geq 0.6\text{m/s}$	pour un débit : $10\%.Q_{\text{ps}}$
$\Rightarrow V \geq 0.3\text{m/s}$	pour un débit : $1\%.Q_{\text{ps}}$

En Allemagne :	
$\Rightarrow V \geq 0.5\text{m/s}$	pour un débit : Q_{ps}

Au Royaume Uni :	
$\Rightarrow V \geq 0.75\text{m/s}$	pour un débit : Q_{moyen}

Concernant la contrainte :

En Suède :	
$\Rightarrow \tau \geq 1.5\text{N/m}^2$	pour un débit : Q_{min}

Q_{ps} désigne le débit en temps de pluie et à pleine section au régime permanent et uniforme.

Q_{min} est le débit minimal de temps sec pris égal à : $1\%.Q_{\text{ps}}$

Q_{moyen} est le débit moyen de temps sec pris égal à : $2\%.Q_{\text{ps}}$

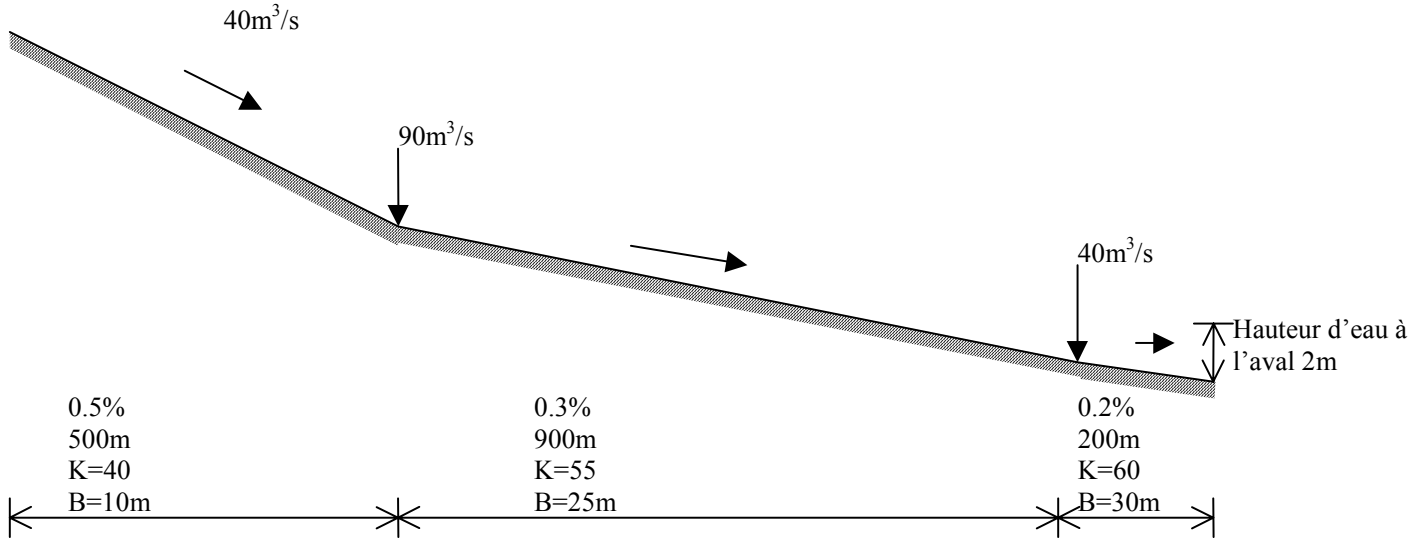
$$\rho = 1000\text{Kg/m}^3$$

$$g = 9.81\text{m/s}^2$$

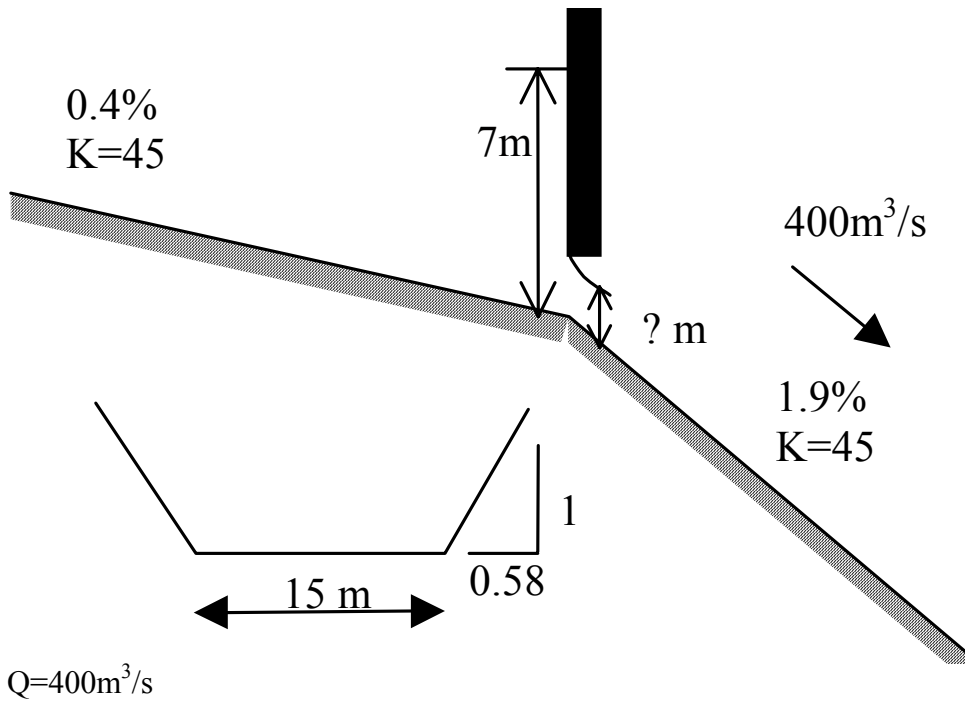
- *Conditions sur la vitesse et la contrainte de cisaillement*
Pour les conditions d'autocurage applicables en France, en Allemagne, au Royaume Uni et en Suède, et en utilisant $K_s=70$ (rugosité de Strickler) :
 - déterminer une condition sur le diamètre et la pente en fonction uniquement de Q_{ps} (on fera un tableau pour synthétiser les résultats).
- *Dimensionnement par rapport aux conditions d'autocurage*
L'objectif de cette partie est de comparer les pentes et diamètres limites acceptables pour l'autocurage dans les différents pays.
Le débit à pleine section est de $0.45\text{m}^3/\text{s}$.
 - Déterminer le diamètre limite et la pente limite pour chaque condition.
 - Conclure sur l'efficacité des trois contraintes pour l'autocurage en France.

3 Ecoulement permanent non uniforme

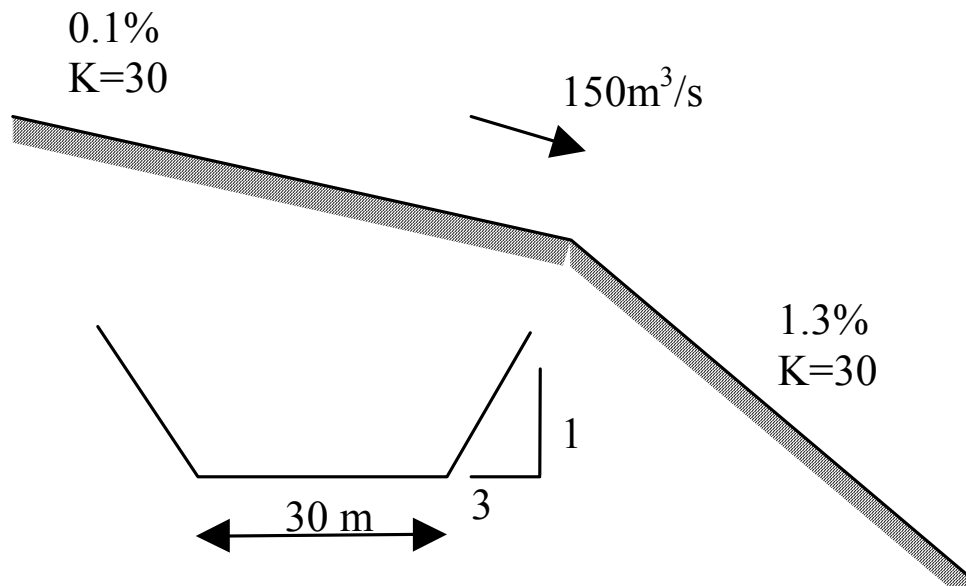
3.1 Courbe de remous de plusieurs canaux



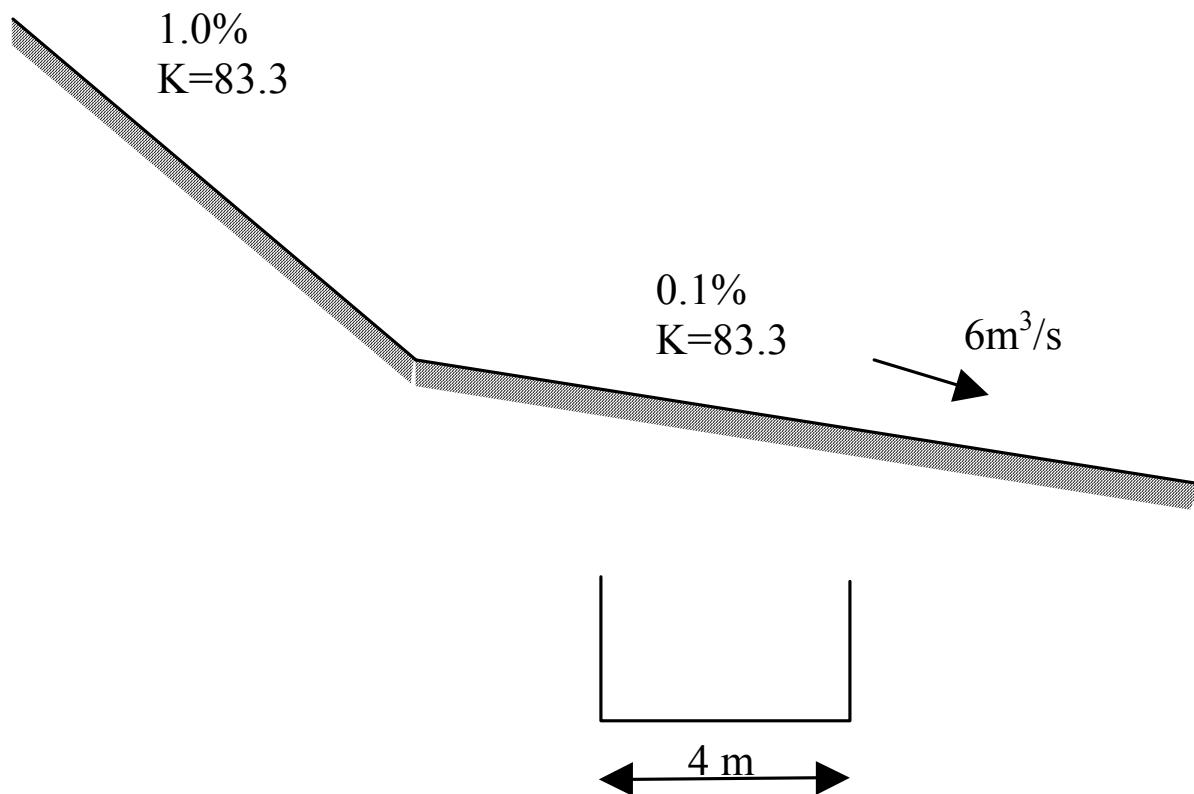
3.2 Courbe de remous avec présence d'une vanne



3.3 Courbe de remous avec rupture de pente Faible / Forte

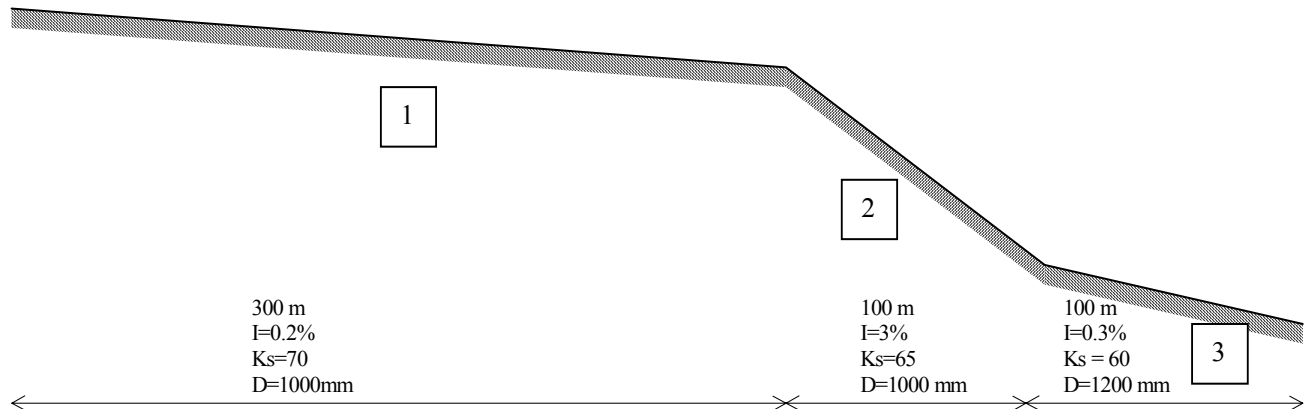


3.4 Courbe de remous avec rupture de pente Forte / Faible



3.5 Courbe de remous en canaux circulaires

→ $Q=0.70 \text{ m}^3/\text{s}$



A l'amont du canal 1 et à l'aval du canal 3, on sera en régime permanent et uniforme. Tous les canaux sont circulaires. On prendra les valeurs de h_n et h_c suivantes :

tronçon	1	2	3
h_n (m)	0.63	0.30	0.54
h_c (m)	0.48	?	0.45

Canal 1

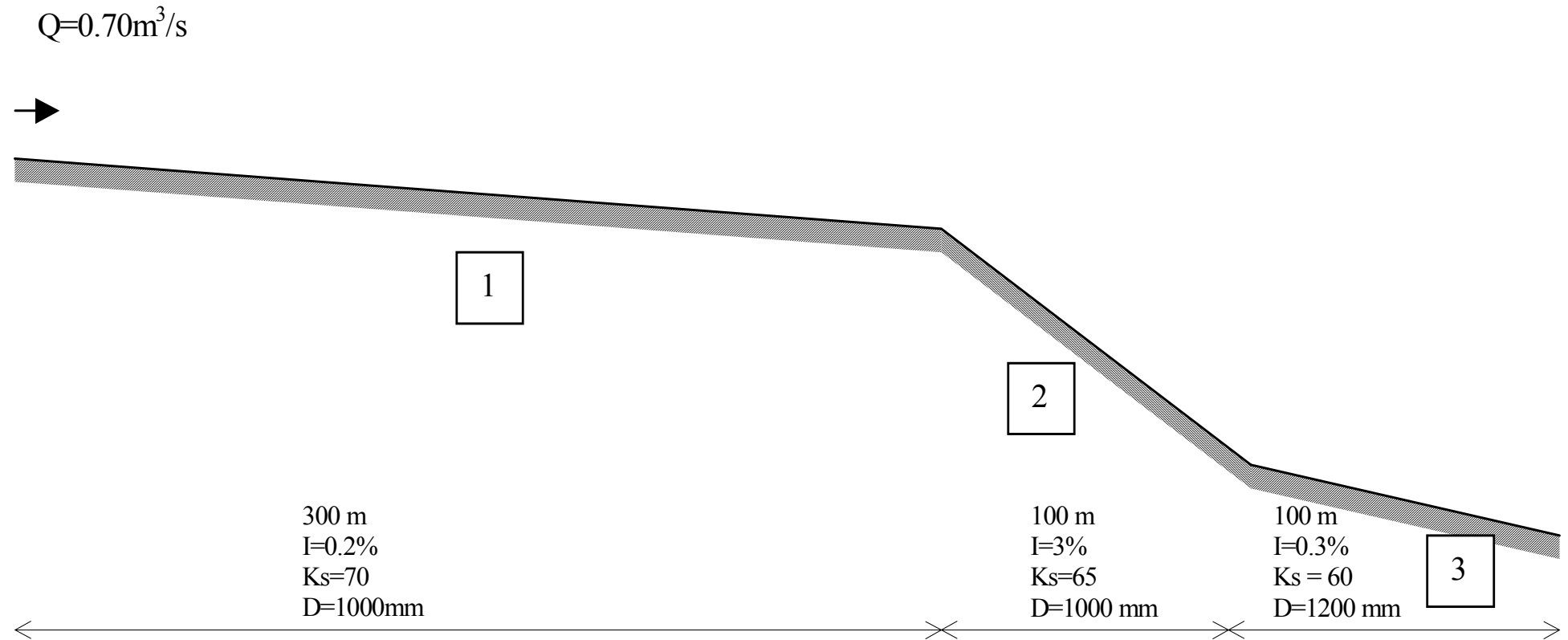
- Justifier le type de courbe de remous (M_1, M_2, \dots)
- Placer le(s) point(s) de contrôle.
- Déterminer, par rapport à l'aval du canal, la distance à laquelle on garantit un écoulement permanent et uniforme.
- Calculer la valeur du tirant d'eau à 50m et 70m par rapport à l'aval du canal.
- Tracer la courbe de remous sur la page suivante.

Canal 2

- Justifier le type de courbe de remous (M_1, M_2, \dots)
- Placer le(s) point(s) de contrôle.
- Déterminer, par rapport à l'amont du canal, la distance à laquelle on garantit un écoulement permanent et uniforme.
- Y a-t-il un ressaut hydraulique dans ce canal ? Si oui, localiser le ressaut. Justifier votre raisonnement.
- Tracer la courbe de remous sur la page suivante.

Canal 3

- Justifier le type de courbe de remous (M_1, M_2, \dots)
- Placer le(s) point(s) de contrôle.
- Y a-t-il un ressaut hydraulique dans ce canal ? Si oui, localiser le ressaut. Justifier votre raisonnement.
- Tracer la courbe de remous sur la page suivante.



3.6 Courbe de remous en canaux rectangulaires

➤ *Détermination de h_c et I_c*

Un canal rectangulaire de 3m de large est formé par les ouvrages de la figure de la dernière page.

On suppose à l'amont et à l'aval de l'ensemble des canaux un régime permanent et uniforme.
Le débit est de $10 \text{ m}^3/\text{s}$.

	Tronçon 1	Tronçon 2	Tronçon 3
I (%)	0.014	0.001	0.02
Ks (Strickler)	60	60	60
L (m)	200	300	50

Le déversoir a un coefficient de débit de $C_d = 0.42$, une largeur de 3m et une hauteur de pelle de 0.4m.

- Calculer h_c et I_c .

➤ *Détermination de h_n*

Dans le graphique suivant, on donne l'évolution de la débitance $K(h)$ en fonction du tirant d'eau, c'est-à-dire $K(h) = \frac{Q}{\sqrt{I}} = K_s R_h^{2/3} S$ dans le cas d'un canal de 3m de large et de rugosité $K_s = 60$.
Pour les tronçons 1, 2 et 3 calculer h_n .

	Tronçon 1	Tronçon 2	Tronçon 3
$K(h) = \frac{Q}{\sqrt{I}}$			
h_n			

Sur le graphique de la dernière page tracer h_n et h_c pour chaque tronçon.

➤ *Etude du tronçon 1 :*

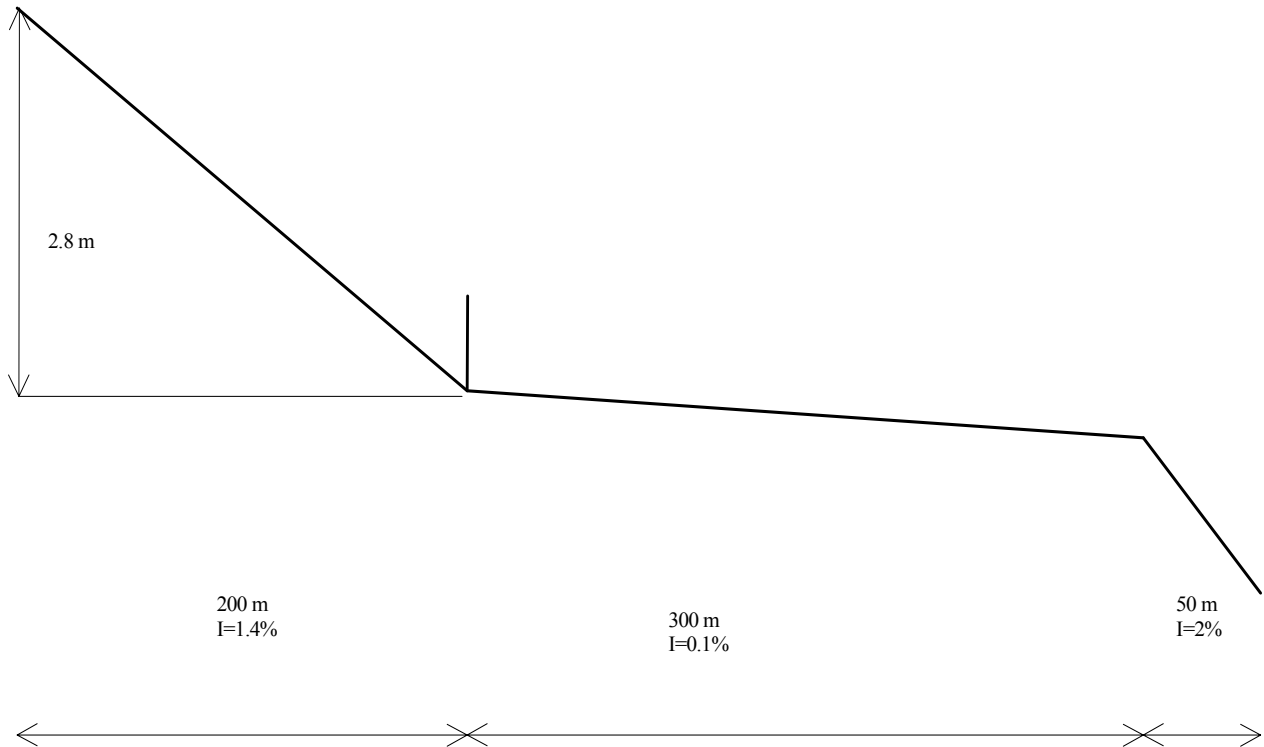
On suppose qu'à l'amont du tronçon 1 le régime est permanent et uniforme.

- Déterminer la hauteur d'eau juste à l'amont du déversoir.
- Donner le type de courbe de remous et le point de contrôle sur le tronçon 1.
- Déterminer les hauteurs conjuguées du ressaut.
- Déterminer la position du ressaut hydraulique par rapport au déversoir.
- Tracer, à main levée, la courbe de remous sur la figure de la dernière page.

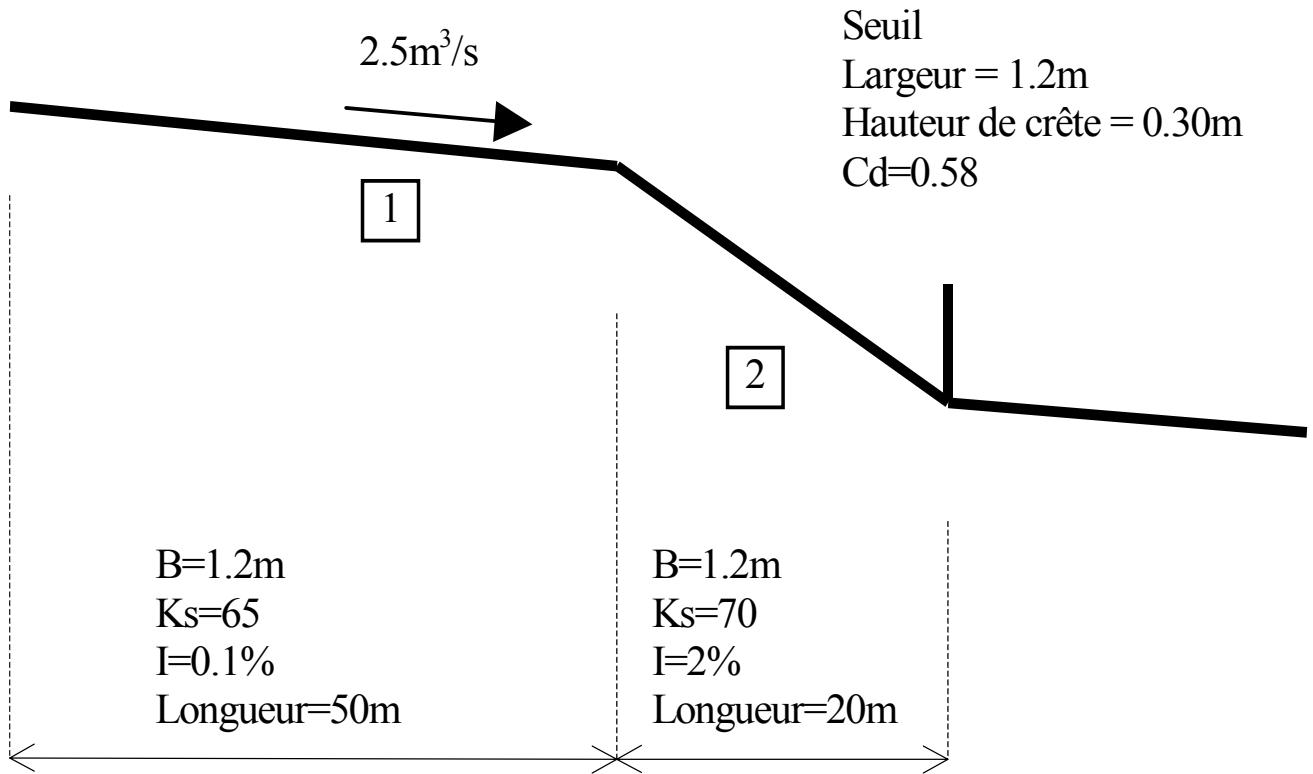
➤ *Etude du tronçon 2 :*

On suppose qu'à l'aval du déversoir la hauteur d'eau dans le canal est de 0.35m.

- Donner le type de courbe de remous avec les points de contrôle.
- Proposer une méthode pour déterminer la courbe de remous.
- Le ressaut hydraulique apparaît pour $h_1 = 0.6$, calculer la hauteur conjuguée.
- Déterminer la position du ressaut hydraulique par rapport au déversoir.
- Tracer, à main levé, la courbe de remous sur la figure de la dernière page.



3.7 Courbe de remous avec seuil



Tous les canaux sont rectangulaires

➤ Régime permanent et uniforme

- Donner l'expression de la relation de Manning Strickler pour le régime permanent et uniforme dans le cas d'un canal rectangulaire. On donnera l'expression sous la forme :

$$\frac{Q}{\sqrt{IK_s}} = f(h, B)$$

où f est une fonction du tirant d'eau h et de la largeur du canal B.

- Compléter le tableau suivant :

h (m)	0.2	0.7	1	1.5	2
f(h,B=1.2)					

- Tracer sur le graphique en annexe f(h,B) en fonction de h.
- Déterminer la hauteur normale et la hauteur critique dans chaque canal.

➤ Régime permanent non uniforme : Canal 1

On garantit un écoulement permanent et uniforme à l'amont dans le canal 1. On garantit un ressaut dans le canal 2.

- Déterminer, en justifiant votre choix, la forme de la courbe de remous (M_1, M_2, \dots) dans le premier canal.
- Placer le(s) point(s) de contrôle.

➤ Régime permanent non uniforme : Canal 2

- Calculer la hauteur d'eau à l'amont du seuil (on suppose le seuil dénoyé).

On suppose qu'il existe un ressaut dans le canal 2.

- Déterminer et justifier le type de courbe de remous (M_1, M_2, \dots) à l'amont du ressaut. Placer le(s) point(s) de contrôle.
- Déterminer et justifier le type de courbe de remous (M_1, M_2, \dots) à l'aval du ressaut. Placer le(s) point(s) de contrôle.
- Montrer qu'il existe un ressaut dans le canal 2.

On s'intéresse à la courbe de remous située à l'amont du ressaut.

- Déterminer la position des points par rapport à l'amont du canal pour les hauteurs suivantes : (I : la pente, h_n : la hauteur normale)

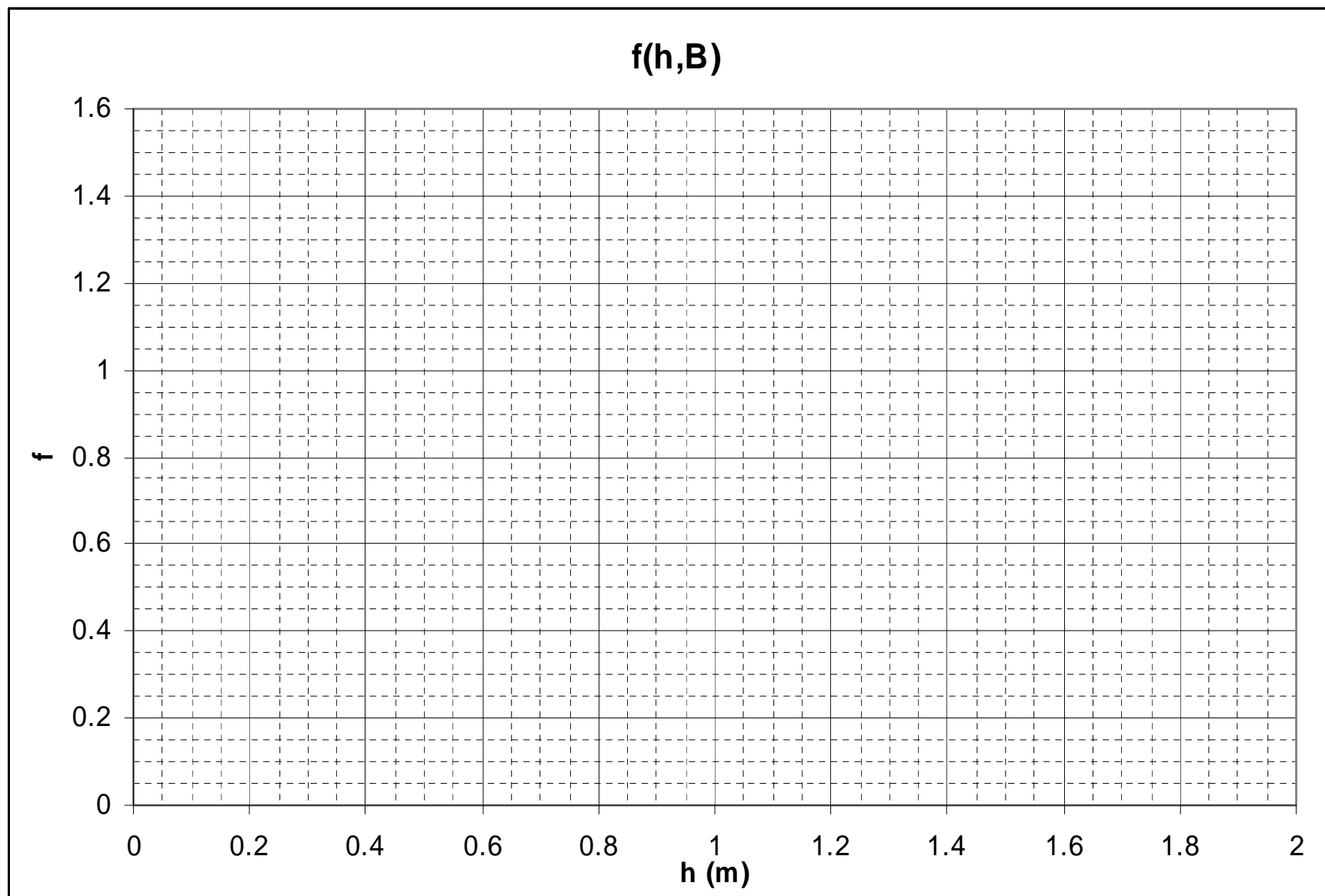
h (m)	0.76	0.7	0.6	0.54
h/h_n				
$I.x/h_n$				
x(m)				
Position / amont du canal ($x-x_{\text{amont}}$)	0			

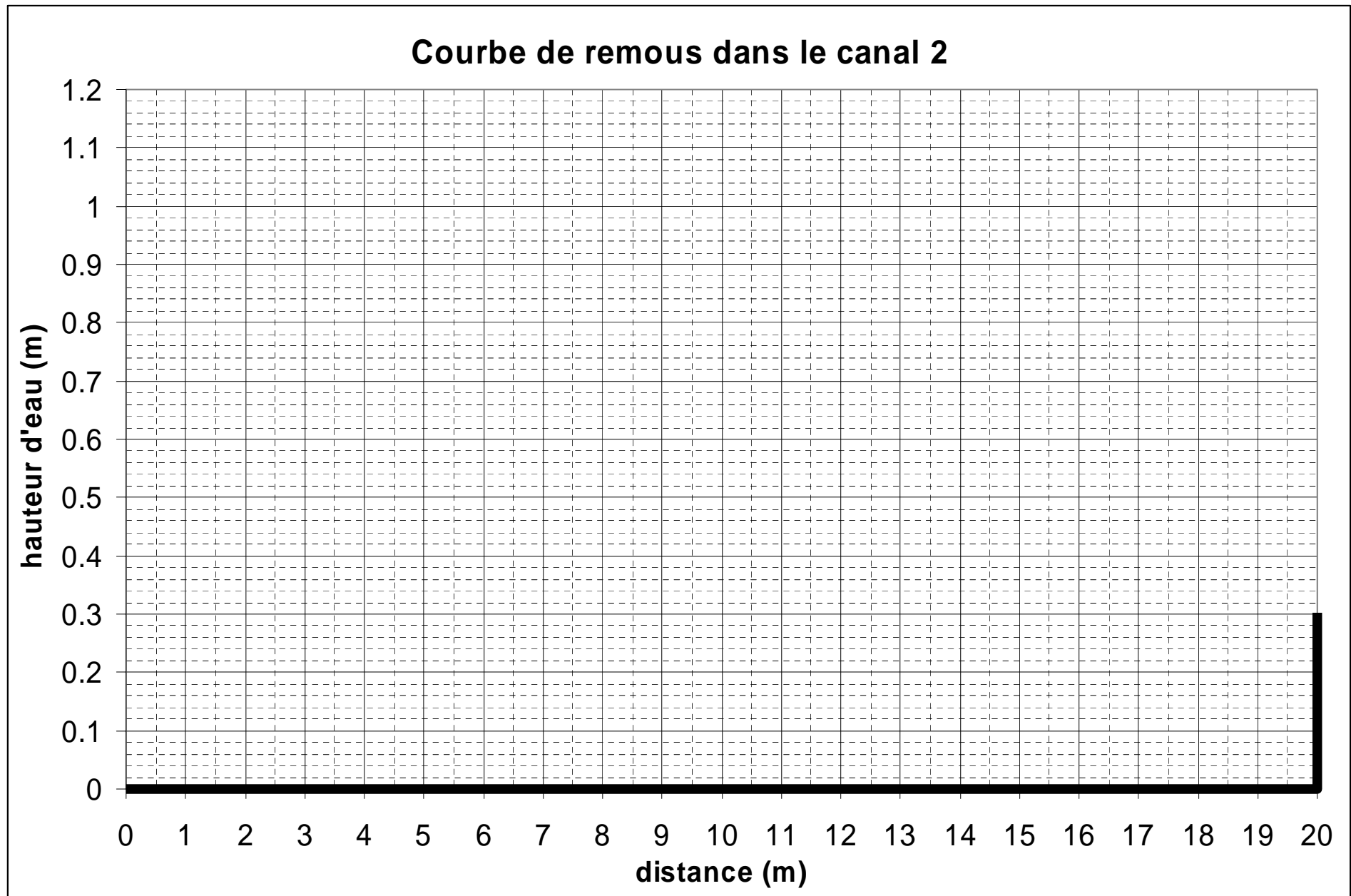
- Tracer la courbe sur la figure de la page suivante.

On s'intéresse à la courbe de remous située à l'aval du ressaut. Déterminer la position des points par rapport à l'amont du canal pour les hauteurs suivantes :

h (m)	1.17	1.1	0.95	0.8
h/h_n				
$I.x/h_n$				
x(m)				
Position / amont du canal ($x-x_{\text{amont}}$)	20			

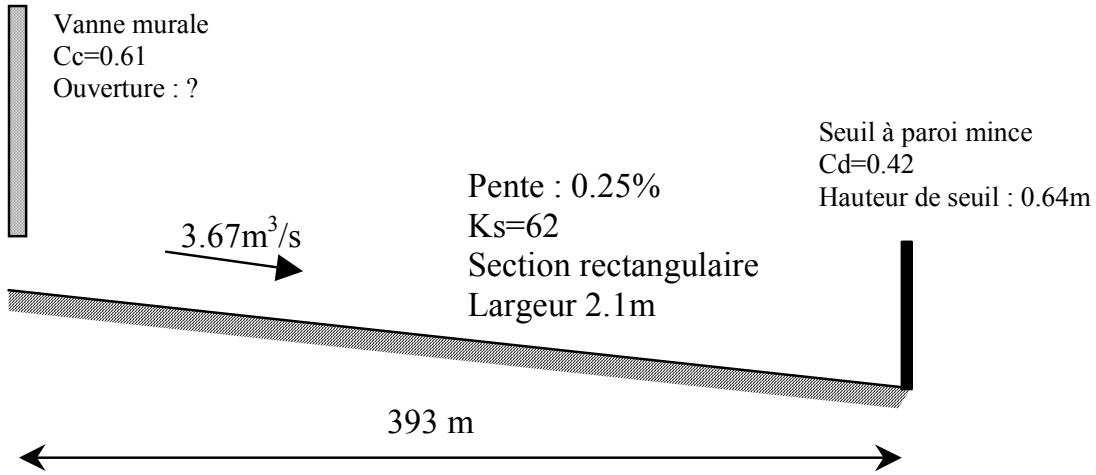
- Tracer la courbe sur la figure de la page suivante.
- Proposer une méthode pour localiser le ressaut.
- Appliquer la méthode proposée.





3.8 Courbe de remous avec vanne et seuil

Dans cette partie on fait l'étude d'un ressaut hydraulique se produisant dans un canal rectangulaire. Pour cela, on dispose d'un seuil à paroi mince sans contraction latérale à l'aval et d'une vanne murale à l'amont.



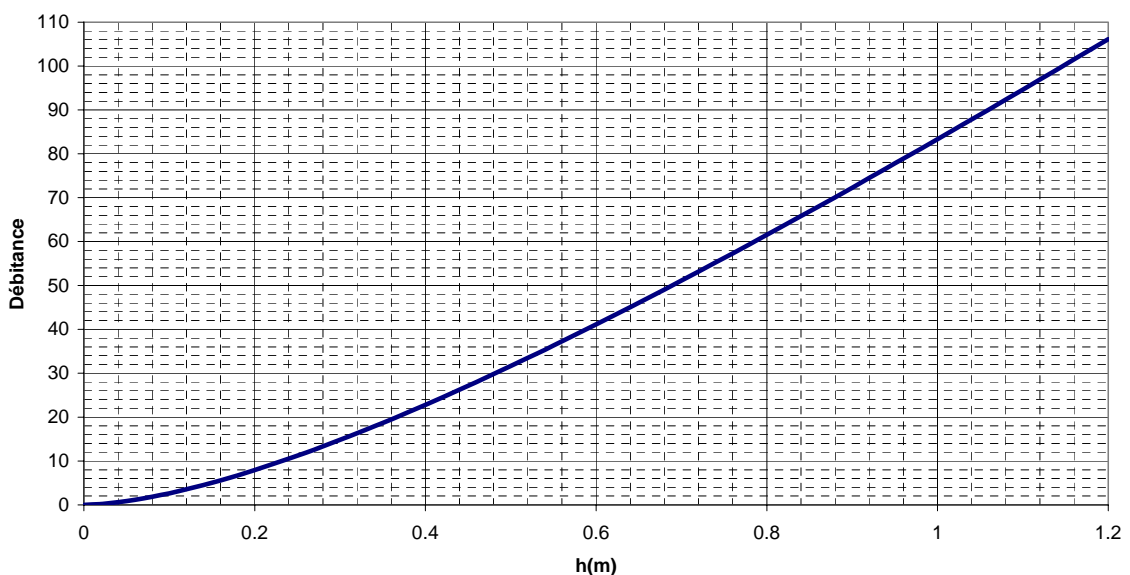
A l'aval du canal, les conditions hydrauliques sont telles que le seuil fonctionne en dénoyé.

Hauteur normale et hauteur critique

- On appelle débitance le rapport $\frac{Q}{\sqrt{I}}$ d'un écoulement au régime permanent et uniforme.

Donner l'expression détaillée de $f(h)$ telle que $f(h) = \frac{Q}{\sqrt{I}}$ avec h le tirant d'eau dans le cas d'une conduite rectangulaire. En utilisant la débitance représentée sur le graphique suivant pour un canal rectangulaire de largeur $b=2.1\text{m}$, déterminer la hauteur normale dans la section. On arrondit à un chiffre après la virgule.

Evolution de la débitance pour un canal rectangulaire de largeur 2.1m



- Déterminer la hauteur critique.
- Tracer h_n et h_c sur le graphique « courbe de remous ».
- Caractériser la pente du canal (faible/forte).

Le seuil

- Déterminer la hauteur d'eau à l'amont du seuil. A quelle position par rapport au seuil a été calculée cette hauteur ?
- Que peut-on dire du régime d'écoulement (fluvial/torrentiel) en ce point ? Expliquer votre raisonnement.

Le canal

- Déterminer le type de courbe de remous (M1,S1,...) qui se développe dans ce canal et ayant un point de contrôle au niveau du seuil.
- Déterminer la hauteur des points par rapport à l'amont du seuil pour les positions suivantes : (I : la pente, h_n : la hauteur normale)

Position / au seuil (x_{seuil})	393 (seuil)	250	150	0
I.x/ h_n				
h/h_n				
x(m)				
Hauteur (m)				

- Tracer la courbe sur la figure « courbe de remous ».

Ouverture maximale de la vanne

On cherche à connaître l'ouverture maximale de la vanne afin de garantir un ressaut entre la vanne et le seuil. Dans ce cas, on assure un fonctionnement de la vanne en dénoyée.

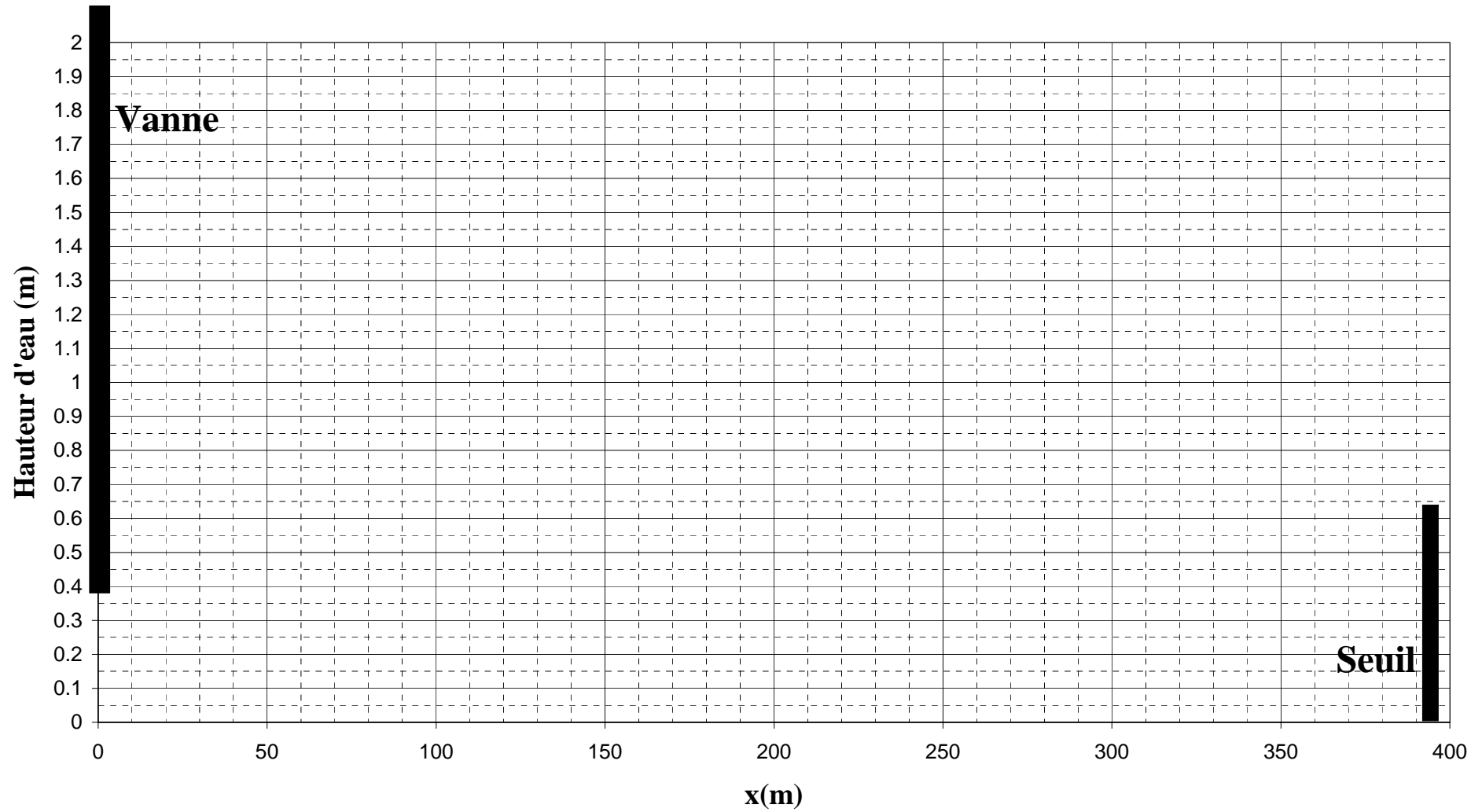
- Déterminer la valeur de la hauteur conjuguée de la hauteur d'eau sur la courbe de remous précédente au niveau de la vanne.
- A partir de quelle ouverture de vanne celle-ci est noyée ?

Evolution de la position du ressaut hydraulique

On veut contrôler la position du ressaut hydraulique dans le canal. Pour cela, on manipule la vanne située à l'amont du canal.

- Donner les différentes courbes de remous qui s'établissent dans le canal.
- Proposer une méthode pour déterminer la position du ressaut hydraulique en fonction de l'ouverture de la vanne.
- Proposer une méthode pour déterminer la hauteur minimale de la vanne.

Courbe de remous

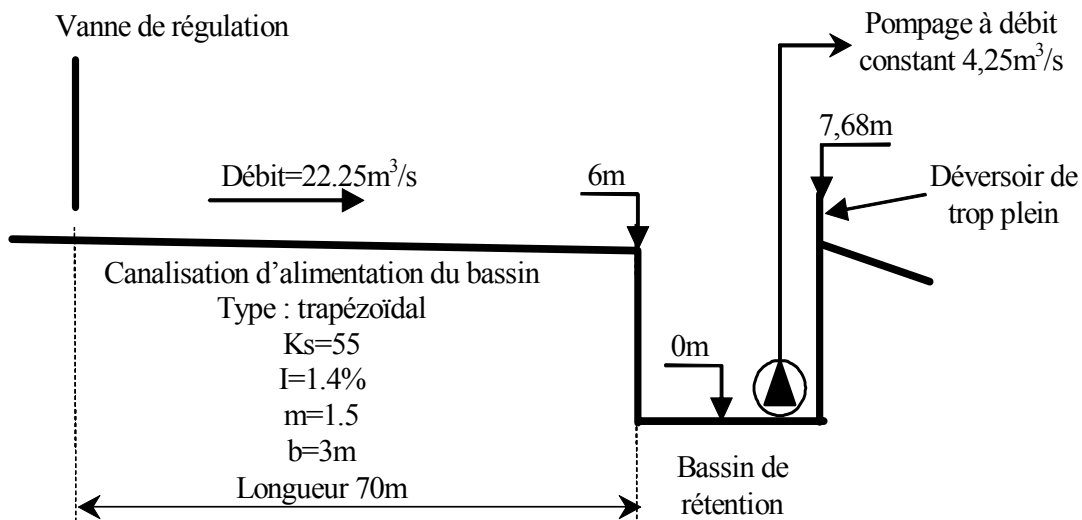


3.9 Remplissage d'un bassin au régime permanent non uniforme

Cette partie s'intéresse à l'étude d'un bassin de stockage alimenté par une canalisation. Dans ce réservoir, on dispose d'une pompe pour vidanger le bassin ainsi que d'un déversoir de trop plein afin de limiter le volume dans l'ouvrage. La pompe se met en fonctionnement dès qu'il y a de l'eau dans le bassin et le trop plein déverse vers le milieu naturel.

Dans la canalisation d'alimentation, on veut mettre en place un capteur de vitesse dans le but de mesurer le débit. Compte tenu de la technique de mesure (effet Doppler), il ne faut pas qu'un ressaut hydraulique se forme dans la zone de mesure.

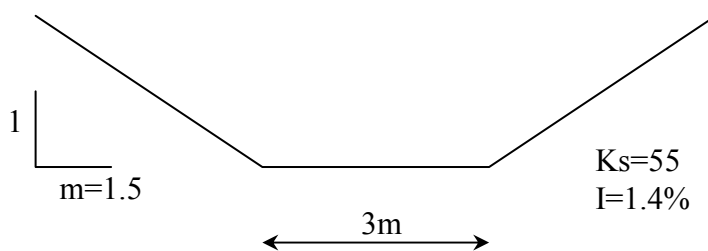
L'objectif de cette étude est de localiser la zone d'apparition de ce ressaut hydraulique afin de ne pas y placer le capteur.



La vanne de régulation impose une hauteur d'eau à l'aval de 1.25m.
Le pompage débite $4,25\text{m}^3/\text{s}$.

La canalisation

La forme de la canalisation est dessinée sur la figure suivante.



Régime permanent et uniforme

- Donner la relation permettant de déterminer le débit Q au régime permanent et uniforme en fonction de h , m , K_s et I .
- Un graphique fourni en annexe donne l'évolution de ce débit pour $m=1.5$, $K_s=55$ et $I=1.4\%$. Déterminer la hauteur normale pour $Q=22.25\text{m}^3/\text{s}$.
- Régime critique
- Donner la relation permettant de déterminer le débit Q au régime critique en fonction de h et m .
- Un graphique fourni en annexe donne l'évolution de ce débit pour $m=1.5$ et $b=3\text{m}$. Déterminer la hauteur critique pour $Q=22.25\text{m}^3/\text{s}$.

Le canal est-il à pente faible ou à pente forte ?

Hauteurs conjuguées

- Donner la relation permettant de calculer les hauteurs conjuguées dans un ressaut hydraulique en fonction de h_1 , h_2 , m , b et Q . On placera les termes en h_1 à gauche et en h_2 à droite.

$$Sy_G + \frac{Q^2}{gS}$$

- Un graphique fourni en annexe représente la fonction en fonction de h pour $Q=22.25\text{m}^3/\text{s}$, $m=1.5$ et $b=3\text{m}$.
- Montrer que ce graphique vous permettra de déterminer les hauteurs conjuguées dans notre étude.

Le déversoir de trop plein

On fera l'hypothèse que le déversoir de trop plein fonctionne comme un seuil rectangulaire sans contraction à mince paroi dénoyé. On prendra un coefficient de débit de $C_d=0,42$ et une largeur de seuil de 13m .

- Donner la loi de déversement en fonction de la hauteur d'eau dans le bassin, de C_d et de la largeur du seuil.
- Montrer que la hauteur d'eau maximale dans le bassin par rapport au fond du bassin est de $8,5\text{m}$.

Etude de la canalisation + le déversoir de trop plein + la vanne de régulation

On rappelle que la vanne de régulation impose une hauteur d'eau à l'aval de $1,25\text{m}$. Cette hauteur d'eau prend déjà en compte la contraction du tirant d'eau à l'aval de la vanne.

Le bassin est vide

- Déterminer le type de courbe de remous qui s'établit dans le canal. Donner le point de contrôle.
- Calculer la courbe de remous en utilisant le tableau suivant :

h/h_n	1.25			
X				
x				
x/vanne	0m	20m	40m	70m

- Tracer cette courbe de remous sur la figure suivante.
- A partir de quelle hauteur d'eau dans le bassin, celui-ci est capable d'influencer la canalisation amont ?

Le bassin est plein

- Montrer qu'un ressaut hydraulique est possible. Dans ce cas, déterminer les différentes courbes de remous qui s'établissent dans le canal. Donner les points de contrôle.
- Calculer la courbe de remous à l'aval du ressaut en utilisant le tableau suivant :

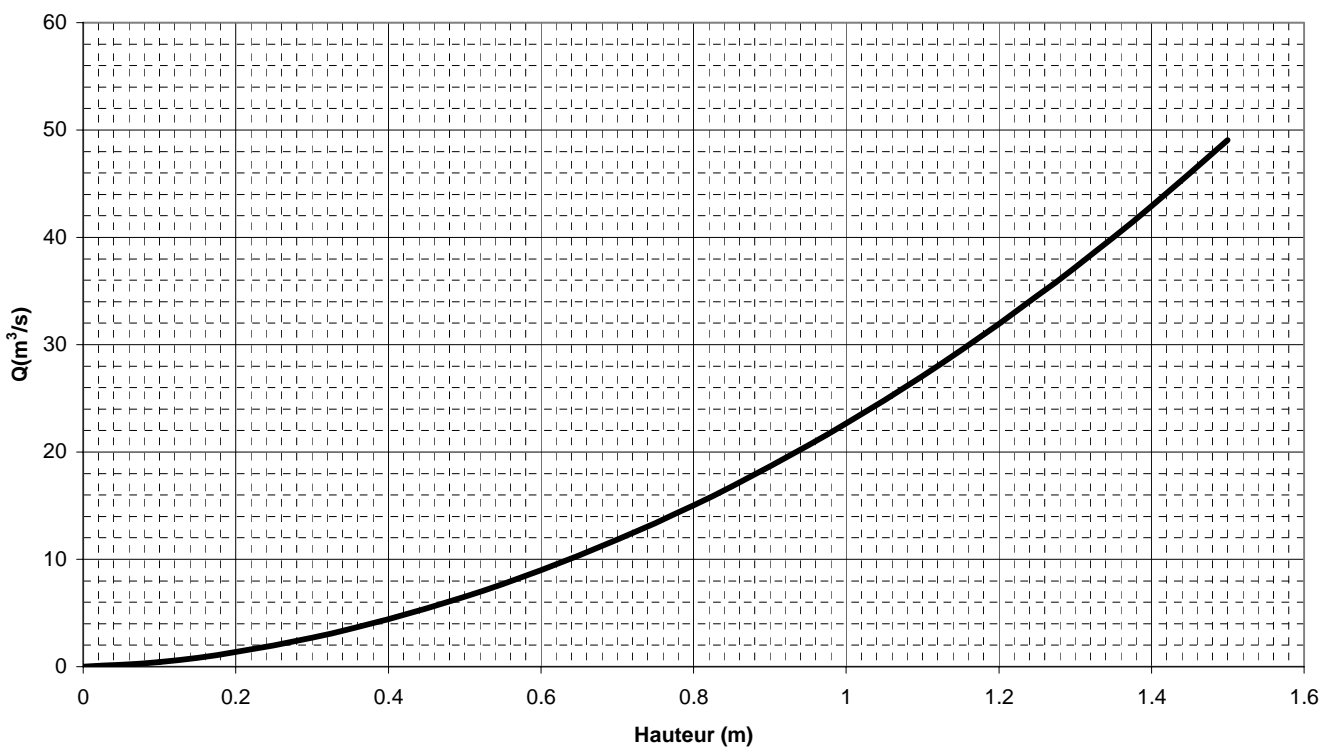
h/h_n	2.5	2	1.6	1.4
X				
x				
x/vanne	70m			

- Tracer cette courbe de remous sur la figure suivante.

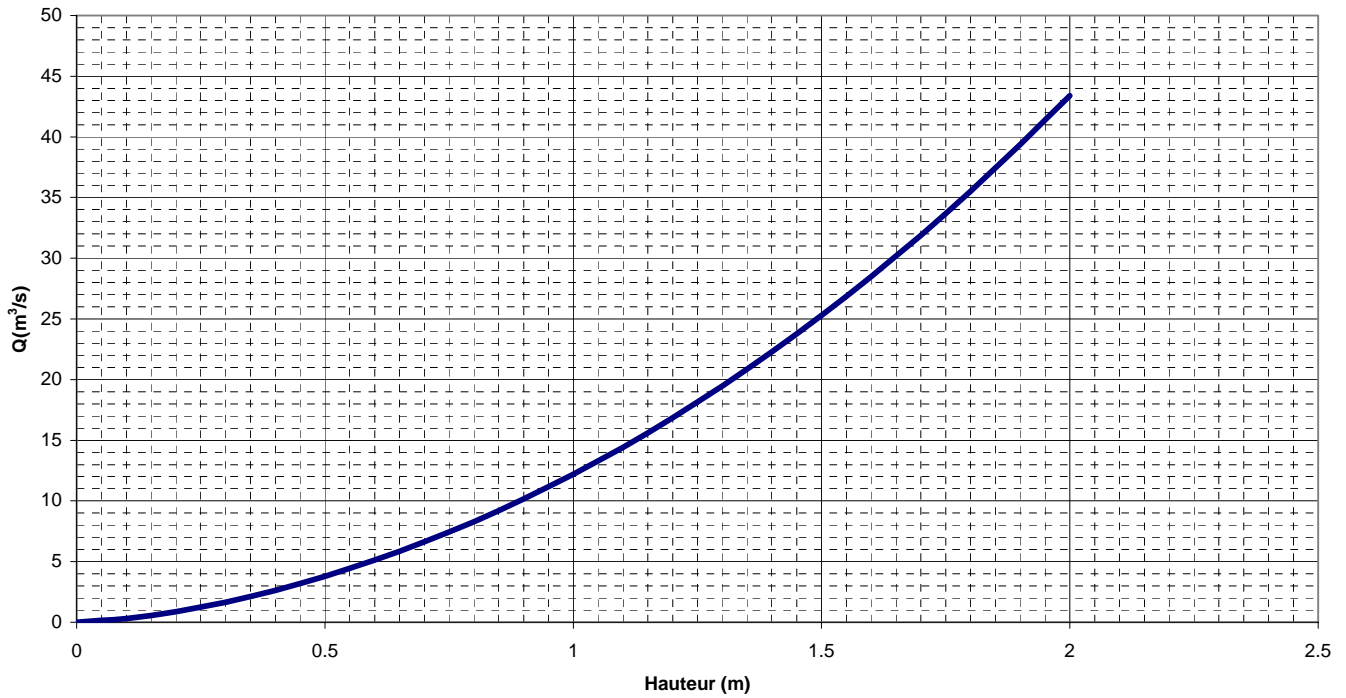
Localisation de la zone de mesure du capteur de vitesse

- A quelle distance minimale par rapport à la vanne le ressaut hydraulique peut-il avoir lieu ?
- Déterminer et tracer la courbe des hauteurs conjuguées à partir de la courbe de remous aval.
- Localiser le ressaut hydraulique.
- Dans quelle zone allez-vous placer le capteur de vitesse ?

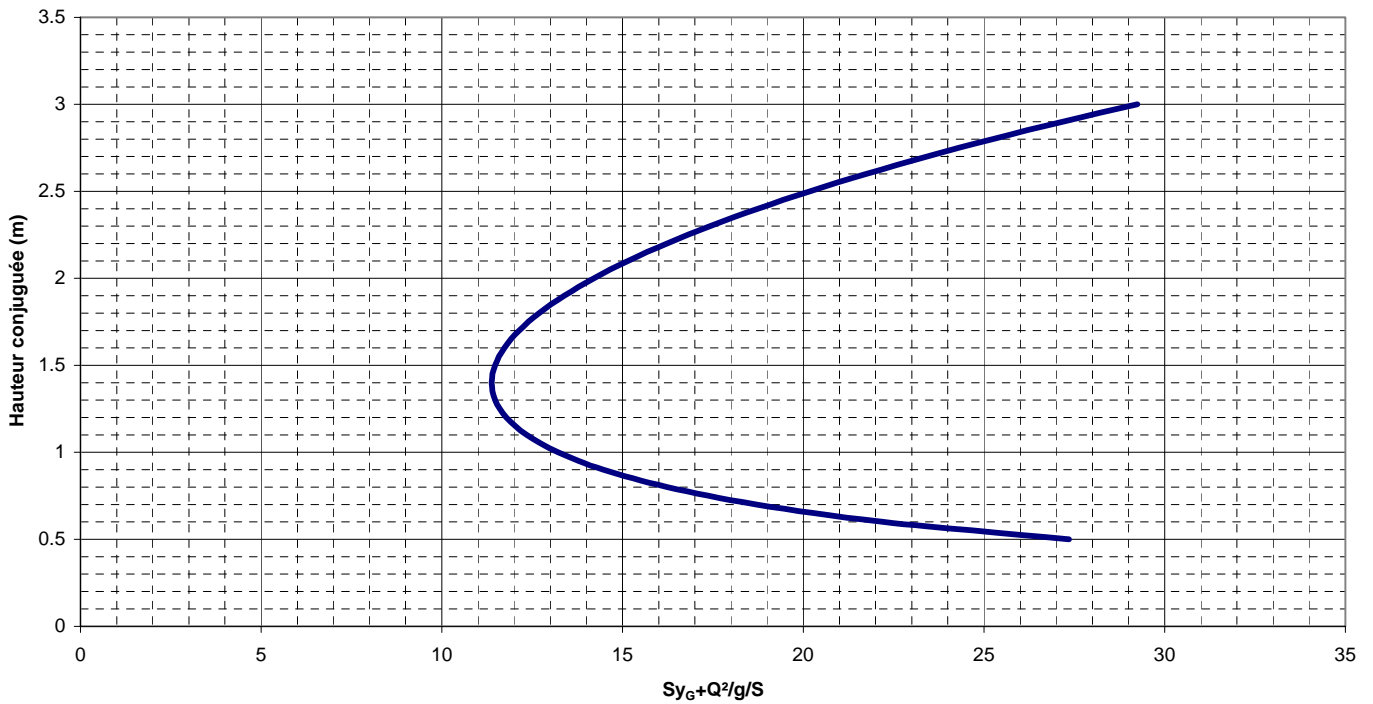
Débit au Régime Permanent et Uniforme
Conduite trapézoïdale, $m=1.5$, $b=3m$, $K_s=55$, $I=1.4\%$



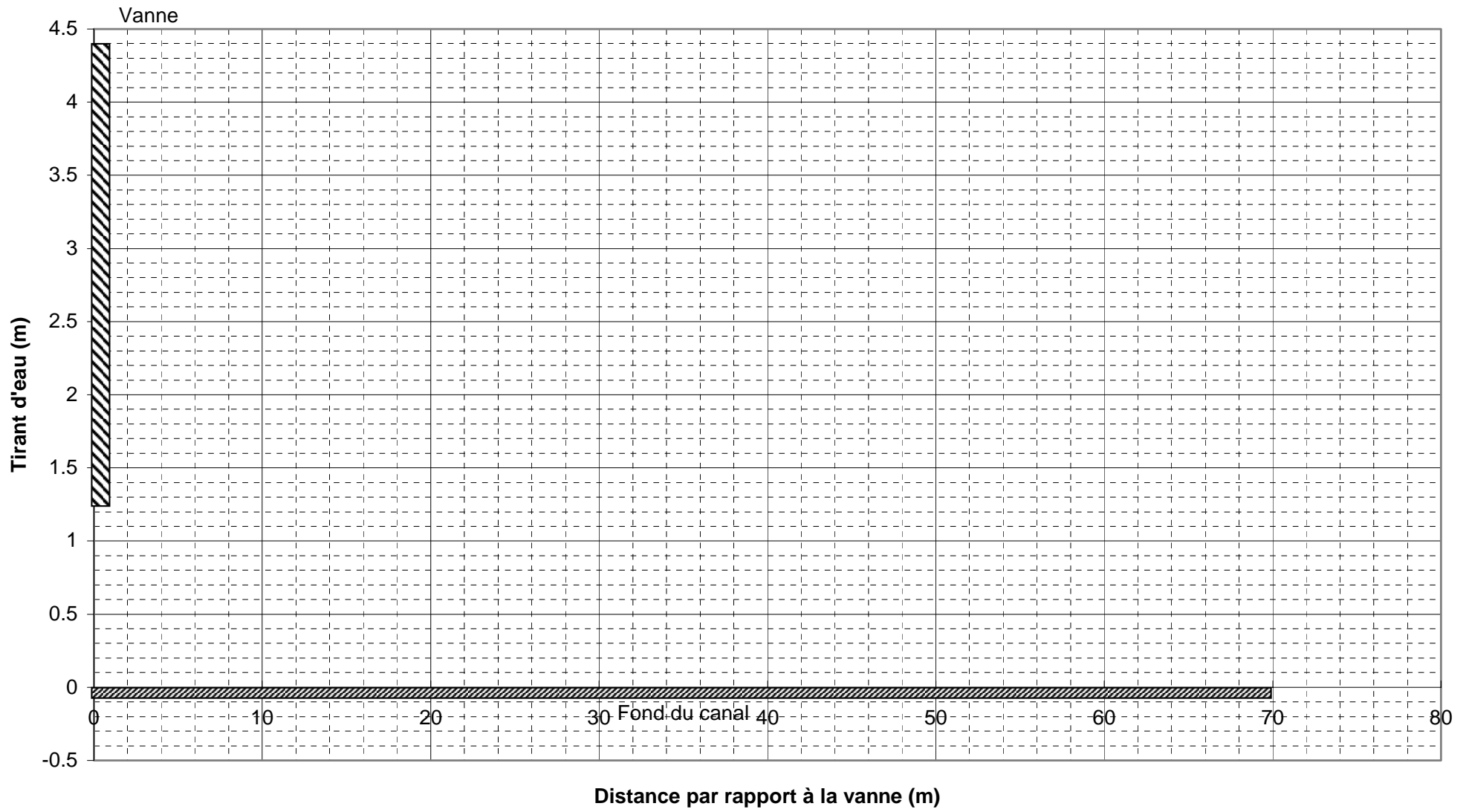
Débit au Régime critique
 Conduite trapézoïdale, $m=1.5$, $b=3m$



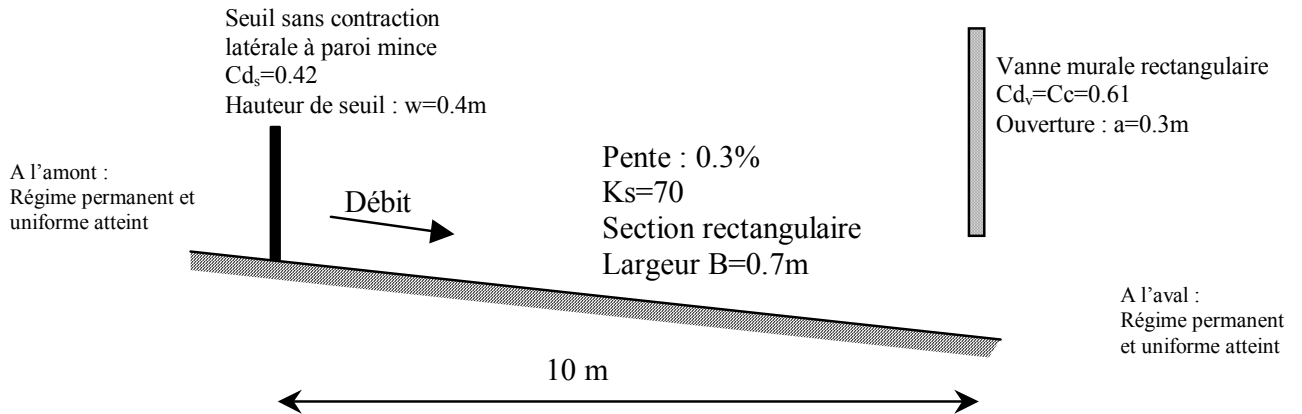
Courbe des hauteurs conjuguées pour une conduite trapézoïdale
 $b=3m$, $m=1.5$, $Q=22,25m^3/s$



Evolution de la courbe de remous



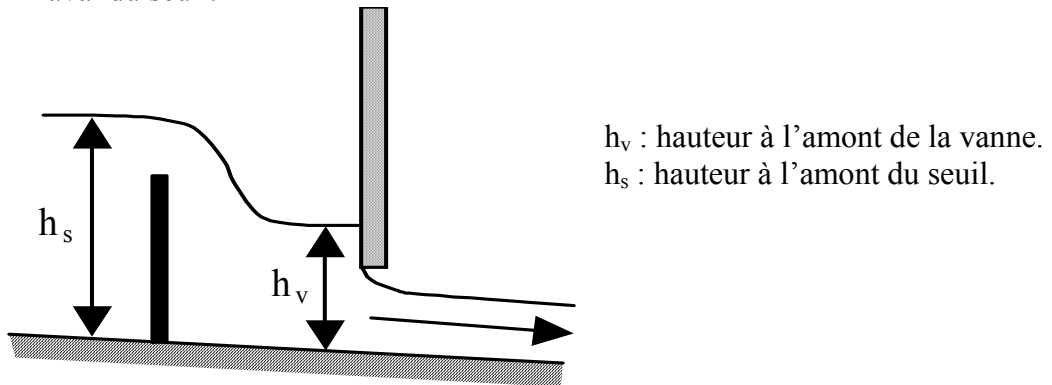
3.10 Etude d'un seuil et d'une vanne en série



On se place au régime permanent. Dans cette étude on s'intéresse à l'hydraulique dans un canal à surface libre dans lequel on dispose d'un seuil à l'amont et d'une vanne à l'aval. Le rôle du seuil est de mesurer le débit dans le canal à partir de la mesure d'une hauteur d'eau à l'amont de celui-ci. L'utilité de la vanne est de limiter le débit à l'aval en faisant déborder le canal. Toutes les hauteurs d'eau sont inférieures à la hauteur maximale du canal (hauteur des berges). L'objectif de cette étude est d'évaluer l'impact en terme hydraulique de la vanne sur le fonctionnement du seuil.

Etude simplifiée

On néglige la longueur du canal. On suppose la vanne suffisamment proche du seuil pour que la hauteur d'eau à l'amont de la vanne corresponde au tirant d'eau à l'aval du seuil.



Etude de la vanne seule

- Donner la loi de la vanne : $Q = f_v(Cd_v, a, B, h_v)$
- Compléter le tableau suivant et tracer sur le graphique en annexe la loi $h_v = g_v(Q)$:

Q (m ³ /s)	0.4	0.6	0.8	1
h_v (m)				

- A partir de quel débit dans le canal la vanne commence à fonctionner ? On pourra s'aider du graphique disponible en annexe. On fera l'hypothèse qu'il n'y a pas de ressaut hydraulique dans le canal et qu'à l'aval de la vanne on est au régime permanent et uniforme.

Etude du seuil en dénoyé

- Donner la loi du seuil en dénoyé : $Q = f_s(Cd_s, w, B, h_s)$
- Compléter le tableau suivant et tracer sur le graphique en annexe la loi $h_s = g_s(Q)$:

Q (m ³ /s)	0.2	0.4	0.6
h _s (m)			

Etude du seuil noyé

- Donner la loi du seuil noyé : $Q = f_{s-noyé}(Cd_s, w, B, h_s, h_v)$
Remarque : on utilisera la relation valable pour les seuils triangulaires noyés.

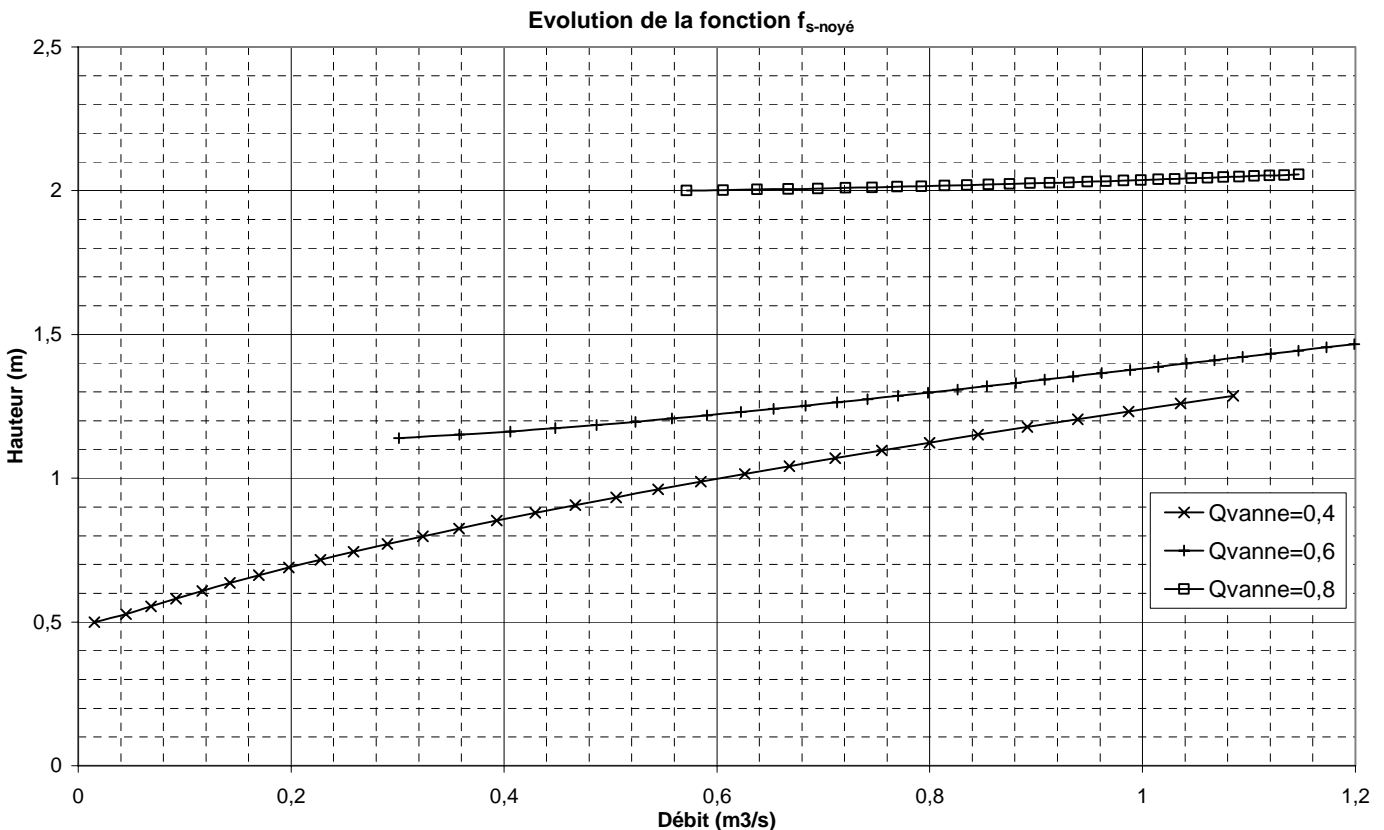
- Montrer que cette relation peut se mettre sous la forme :

$$Q = Cd_s B \sqrt{2g} (h_s - w)^{3/2} \left[1 - \frac{\left[\frac{1}{2g} \left(\frac{Q_{vanne}}{Cd_v a B} \right)^2 - w \right]^{2.5}}{h_s - w} \right]^{0.385}$$

- A partir de quelle hauteur d'eau à l'aval du seuil celui-ci commence à être noyé ?
- Déterminer le débit dans le canal correspondant à cette hauteur d'eau.

Remarque : On suppose la vanne suffisamment proche du seuil pour que la hauteur d'eau à l'amont de la vanne corresponde au tirant d'eau à l'aval du seuil.

- Sur le graphique suivant, on trace la fonction $f_{s-noyé}(Cd_s, w, B, h_s, Cd_v, a, Q_{vanne})$ en fixant le débit Q_{vanne} .



- Compléter le tableau suivant et tracer sur le dernier graphique la loi

$$h_{s\text{-noyé}} = g_{s\text{-noyé}}(Q) :$$

Q (m ³ /s)	0.4	0.6	0.8
$h_{s\text{-noyé}}$ (m)			

Etude du seuil dénoyé et noyé

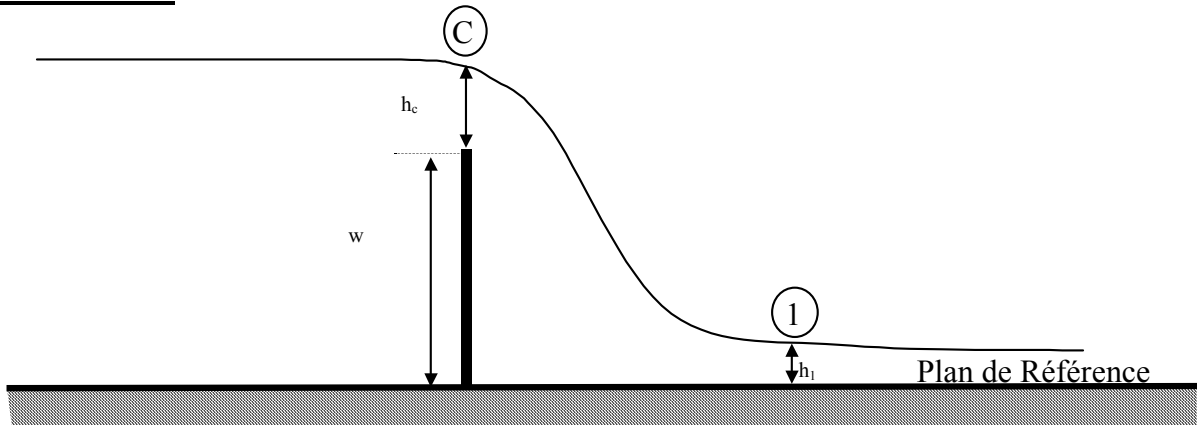
- Tracer sur le dernier graphique l'évolution de la loi du seuil en fonction du tirant d'eau mesuré à l'amont de celui-ci dans le cas où le seuil est noyé et dénoyé.

Remarque : dans ce cas particulier, on est donc capable de mesurer le débit à travers un seuil avec une seule mesure de hauteur d'eau à l'amont de celui-ci même dans le cas où il est noyé.

Etude complète

On suppose cette fois-ci qu'il existe une ou plusieurs courbes de remous entre la hauteur d'eau à l'amont de la vanne et le tirant d'eau à l'aval du seuil.

Etude du seuil



On appelle h_c la hauteur critique et h_1 la hauteur d'eau à l'aval du seuil. w est la hauteur du seuil et B la largeur du canal.

- En faisant l'hypothèse que l'on passe par la hauteur critique au-dessus du seuil et que la perte de charge entre le point C et le point 1 le long de la ligne de courant au niveau de la surface libre soit nulle et en supposant que les vitesses soient uniformes dans chaque section C et 1, écrivez Bernoulli entre le point C et 1.
- Montrer que la relation précédente peut s'écrire de la forme :

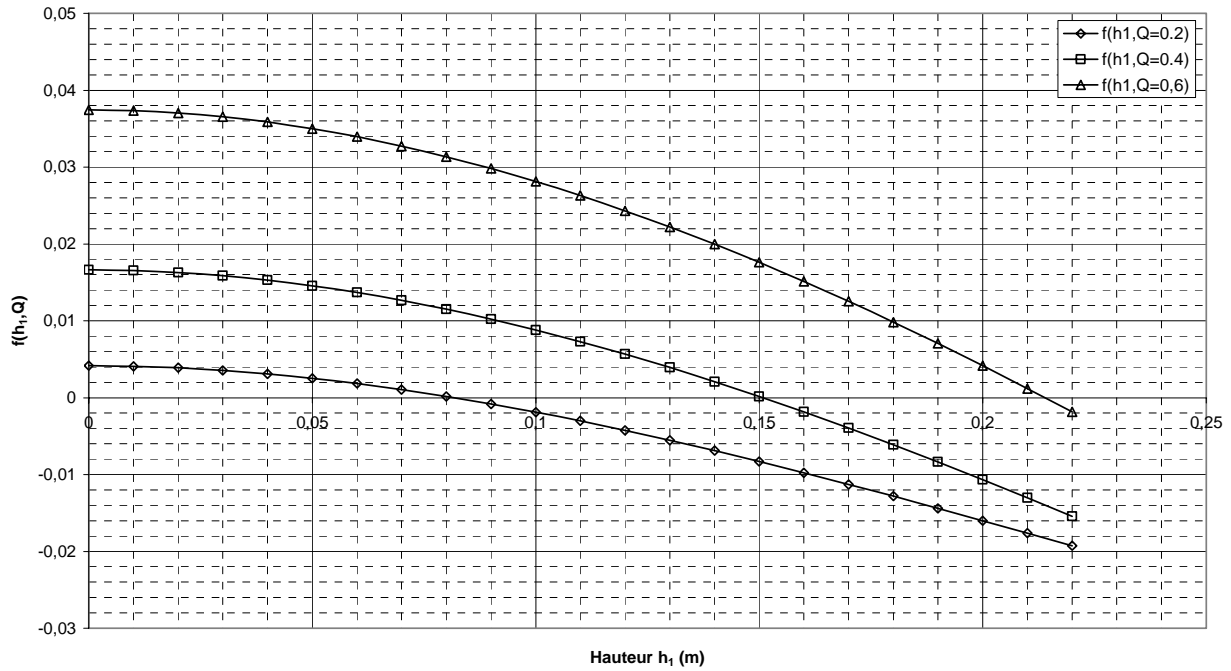
$$f(h_1, Q) = h_1^3 - h_1^2 \left(\frac{Q^2}{2gB^2 \left(\frac{Q}{\sqrt{gB}} \right)^{4/3}} + \left(\frac{Q}{\sqrt{gB}} \right)^{2/3} + w \right) + \frac{Q^2}{2gB^2} = 0$$

- La figure suivante représente le tracé de la fonction $f(h_1, Q)$ pour différents débits et pour une largeur de 0.7m et une hauteur de crête de 0.4m.

Déterminer la hauteur à l'aval h_1 pour les débits suivants :

Q (m ³ /s)	0.2	0.4	0.6
h ₁ (m)			

Evolution de f(h₁,Q) pour différents débit

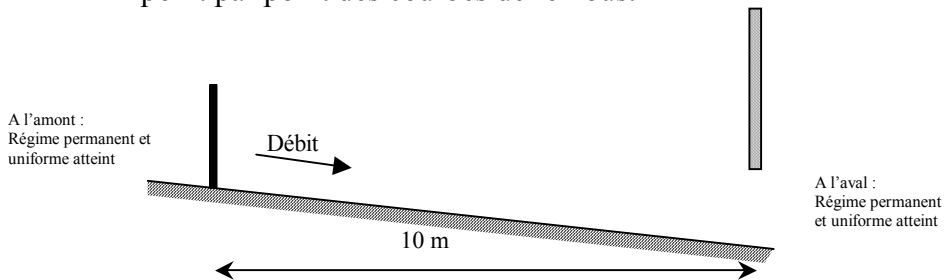


Etude des courbes de remous dans le canal

On rappelle que loin à l’aval de la vanne, le tirant d’eau est au régime permanent et uniforme.

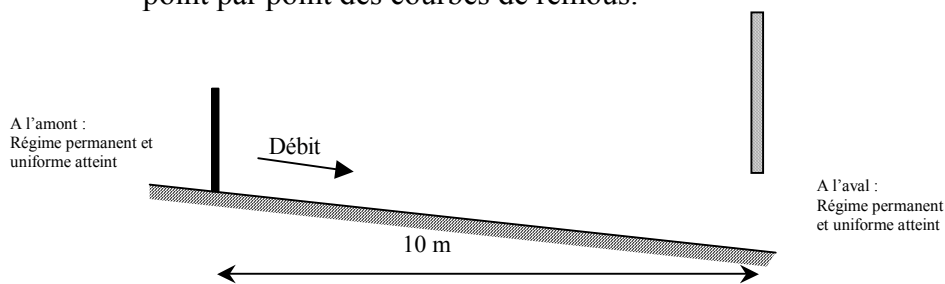
Débit de 0.2m³/s

- Déterminer la hauteur normale et la hauteur critique dans le canal. On pourra s’aider du graphique en annexe.
- La vanne est-elle en fonctionnement ?
- Le seuil est-il noyé ?
- Déterminer les différentes courbes de remous en précisant les points de contrôle.
- Déterminer les hauteurs conjuguées et la position du ressaut hydraulique par rapport au seuil.
- Tracer à main levée les courbes de remous. On demande la localisation des points de contrôle et du ressaut hydraulique. On ne demande pas le tracé point par point des courbes de remous.



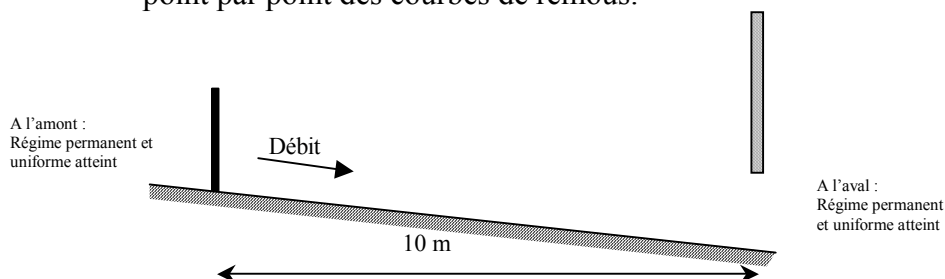
Débit de $0.4\text{m}^3/\text{s}$

- Déterminer la hauteur normale et la hauteur critique dans le canal.
- Déterminer les différentes courbes de remous en précisant les points de contrôle pour les trois cas possibles suivants :
 - La vanne n'est pas en fonctionnement,
 - La vanne est en fonctionnement et le seuil n'est pas noyé,
 - La vanne est en fonctionnement et le seuil est noyé,
- On fait l'hypothèse du premier cas :
 - Déterminer les hauteurs conjuguées et la position du ressaut hydraulique par rapport au seuil.
 - Ce cas est-il possible ?
- Tracer à main levée les courbes de remous. On demande la localisation des points de contrôle et du ressaut hydraulique. On ne demande pas le tracé point par point des courbes de remous.

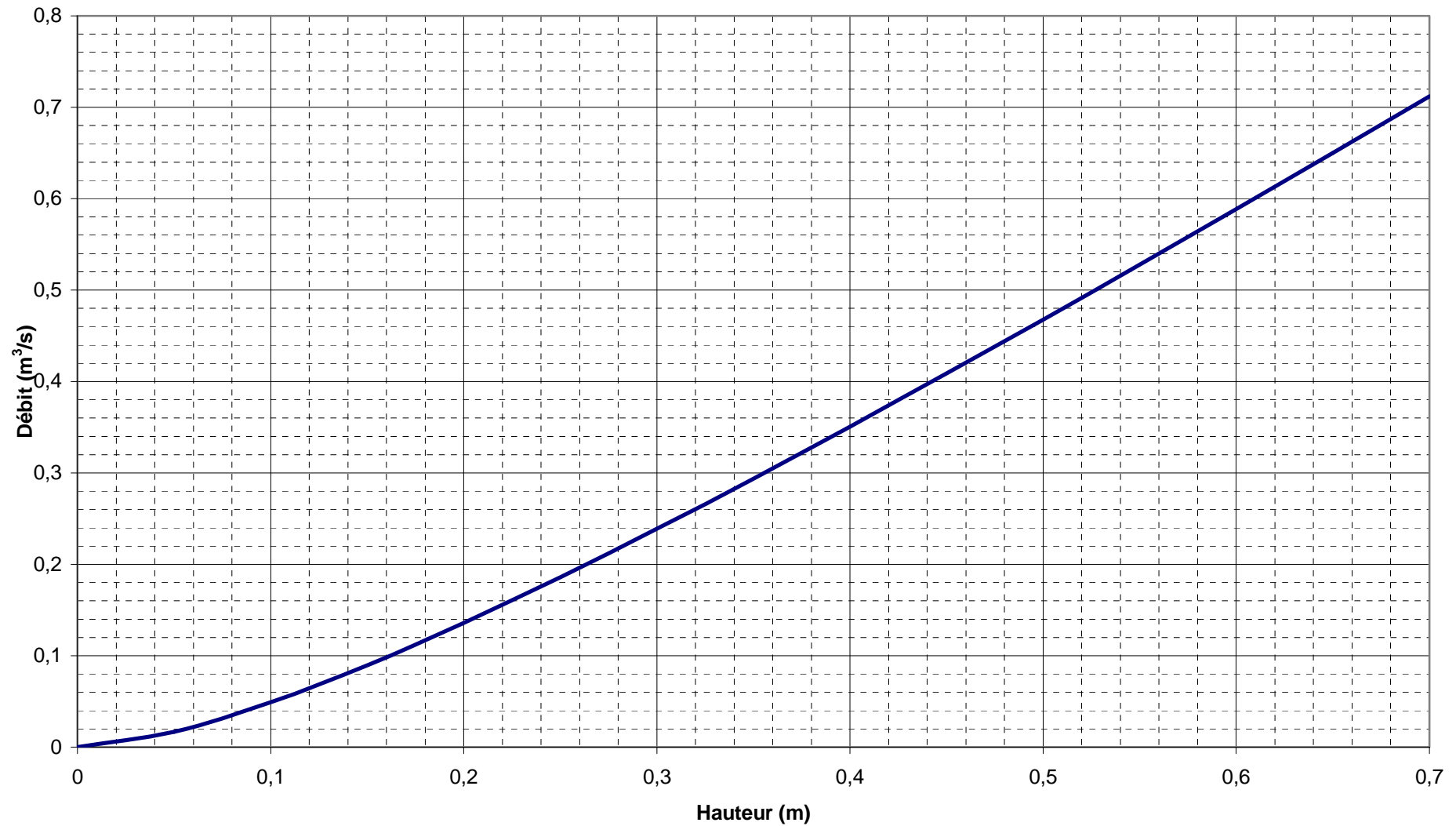


Débit de $0.6\text{m}^3/\text{s}$

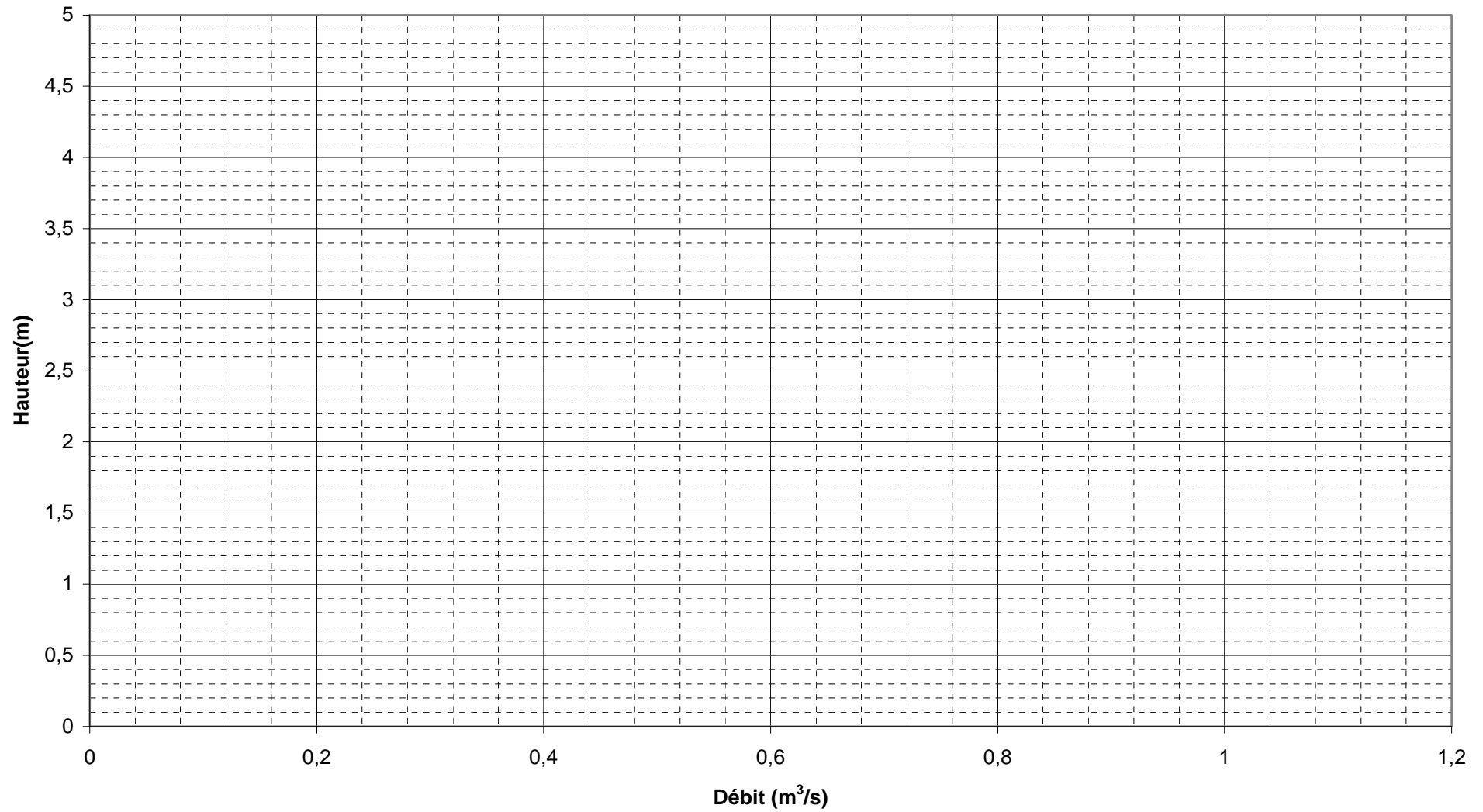
- Déterminer la hauteur normale et la hauteur critique dans le canal.
- Déterminer les différentes courbes de remous en précisant les points de contrôle pour les trois cas possibles suivants :
 - La vanne n'est pas en fonctionnement,
 - La vanne est en fonctionnement et le seuil n'est pas noyé,
 - La vanne est en fonctionnement et le seuil est noyé,
- On fait l'hypothèse du premier cas :
 - Déterminer les hauteurs conjuguées et la position du ressaut hydraulique par rapport au seuil.
 - Ce cas est-il possible ?
- On fait l'hypothèse du deuxième cas :
 - Déterminer les hauteurs conjuguées et la position du ressaut hydraulique par rapport au seuil.
 - Le seuil est-il noyé ?
- Tracer à main levée les courbes de remous. On demande la localisation des points de contrôle et du ressaut hydraulique. On ne demande pas le tracé point par point des courbes de remous.



Régime permanent et uniforme pour un canal rectangulaire $K_s=70$, $B=0,7$, $I=0,3\%$



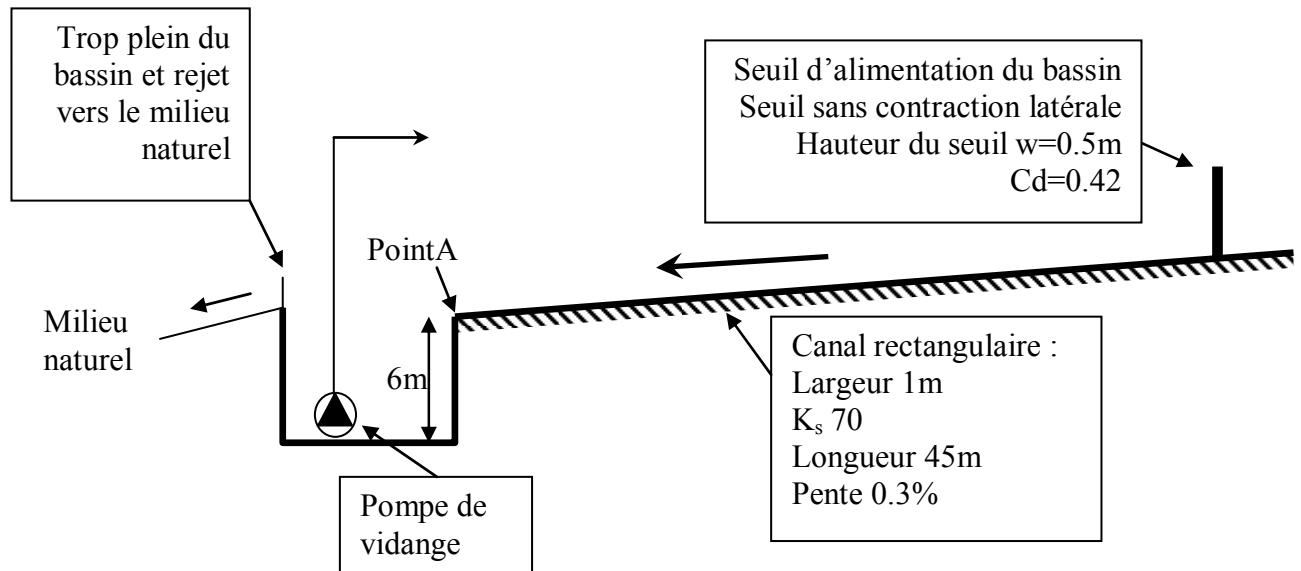
Evolution de la hauteur en fonction du débit



3.11 Etude du remplissage d'un bassin de stockage par un canal de décharge

Dans cette partie, on fait l'étude d'un canal de décharge alimentant un bassin de stockage en réseau d'assainissement. Pour simplifier le problème, la conduite d'alimentation est rectangulaire de largeur 1m.

La rugosité de Strickler est prise égale à 70.



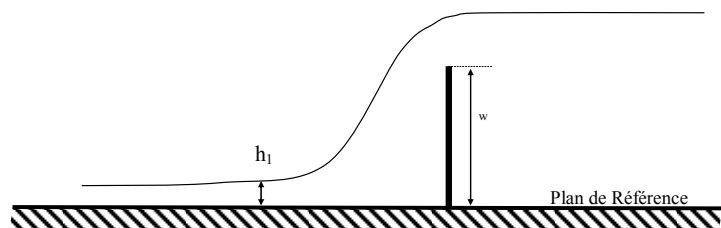
Le bassin de stockage ne se remplit qu'en période d'orage.

Tant que le bassin est en cours de remplissage ou de déversement, la pompe de vidange est à l'arrêt.

La profondeur du bassin est de 6m par rapport au radier de la canalisation d'alimentation (point A).

Pour les débits suivants, la hauteur d'eau à l'aval du seuil est de :

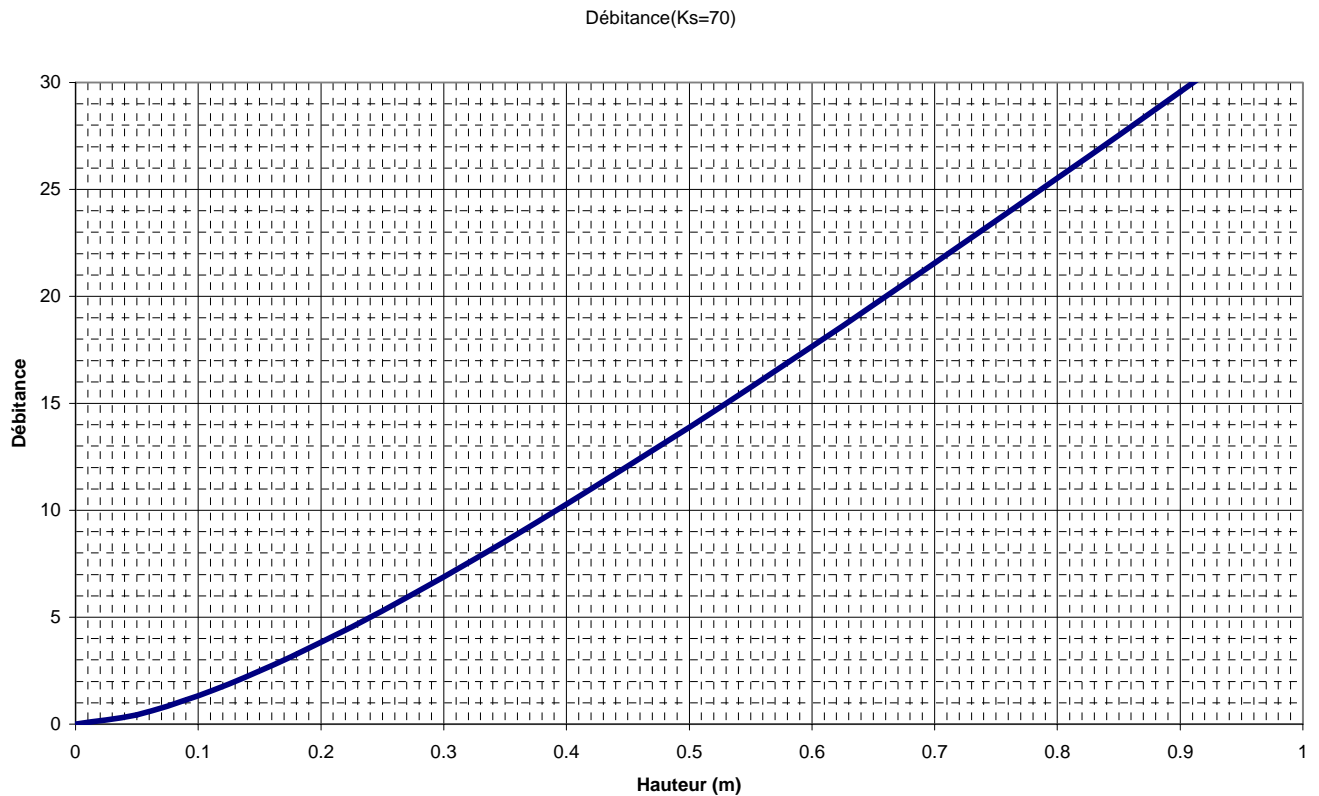
Q (m ³ /s)	h ₁ (m)
0,2	0.055
0,5	0.125
1	0.229
1,5	0.324



Etude du canal

Détermination des caractéristiques hydrauliques

- Dans le cas du régime permanent et uniforme, on appelle $\frac{Q}{\sqrt{I}}$ la débitance. Donner la relation entre $\frac{Q}{\sqrt{I}}$ et les paramètres B (largeur), h tirant d'eau dans le cas d'une conduite rectangulaire et la rugosité K_s.
- La fonction $\frac{Q}{\sqrt{I}}$ est tracée sur le graphique suivant pour une rugosité K_s de 70.



- Déterminer la hauteur normale (h_n) et la hauteur critique (h_c) dans le canal rectangulaire en fonction du débit :

Q (m ³ /s)	Débitance	h_n (m)	h_c (m)	$f = \frac{h_c}{h_n}$
0,2				
0,5				
1				
1,5				

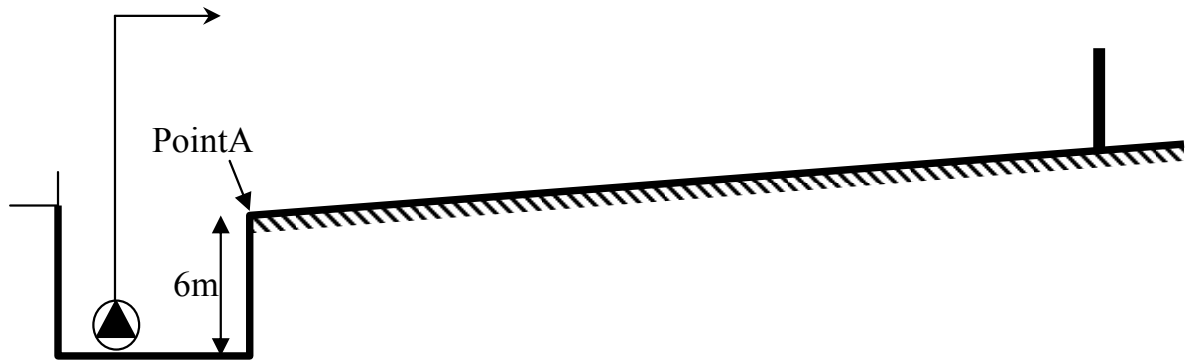
- Caractériser la pente du canal.

Etude des courbes de remous dans le canal

Bassin en cours de remplissage

On se place dans le cas où le bassin est en cours de remplissage. Ce dernier ne perturbe donc pas l'écoulement dans le canal.

- Donner les différentes courbes de remous qui peuvent s'établir dans le canal. On justifiera les points de contrôle et on donnera le nom des courbes de remous (M1, M2, ...). On dessinera les différentes courbes de remous sur la figure suivante.



- En complétant les deux tableaux suivants, montrer que quel que soit le débit entre $0.2\text{m}^3/\text{s}$ et $1.5\text{m}^3/\text{s}$, un ressaut s'établit forcément dans le canal. On ne demande pas de le localiser.

	$Q=0.2\text{m}^3/\text{s}$	$Q=1.5\text{m}^3/\text{s}$
h_1 (Hauteur à l'aval du seuil)		
h_1/h_n		
$X(h_1/h_n)$		
$x(h_1)$		

	$Q=0.2\text{m}^3/\text{s}$	$Q=1.5\text{m}^3/\text{s}$
h_c		
h_c/h_n		
$X(h_c/h_n)$		
$x(h_c)$		

- Déterminer la distance entre h_1 et h_c dans le canal pour chaque débit.
- On désire instrumenter le canal avec un débitmètre, dans quelle partie allez-vous placer le capteur sachant qu'il est incapable de mesurer le débit lorsqu'il est traversé par un ressaut hydraulique ?

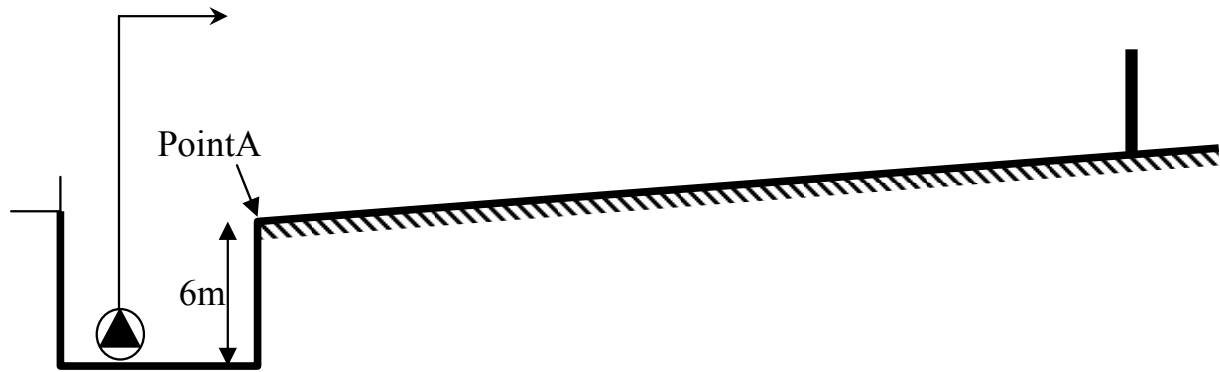
Le bassin est plein

On se place dans le cas où le bassin est plein et influence la canalisation.

Quel que soit le débit dans le canal, on ne veut pas d'influence du bassin plein sur le fonctionnement du seuil situé à l'amont du canal. On tolère donc un ressaut hydraulique dans le canal, mais avec un seuil dénoyé.

On se place en régime permanent. Le trop plein dans le bassin est en fonctionnement.

- Donner les différentes courbes de remous qui peuvent s'établir dans le canal. On justifiera les points de contrôle et on donnera le nom des courbes de remous (M_1 , M_2 , ...). On dessinera les différentes courbes de remous sur la figure suivante.



- Quelle est la hauteur conjuguée du ressaut lorsqu'il a lieu juste à l'aval du seuil ?

Q (m ³ /s)	hcj ₁ (m)	hcj ₂ (m)
0.2		
1.5		

- Déterminer dans ce cas la hauteur d'eau dans le bassin par rapport au point A. On complétera le tableau suivant. On rappelle que le canal a une longueur de 45m.

	Q=0.2m ³ /s	Q=1.5m ³ /s
hcj ₂ (m)		
hcj ₂ /h _n		
X(hcj ₂ /h _n)		
x(hcj ₂)		
x(point A)= x(hcj ₂)+45		
X(point A)		
h _{point A} /h _n		
h _{bassin} = h _{point A}		

- Calculer la hauteur d'eau maximale dans le bassin par rapport au fond du bassin pour chaque débit.

Dimensionnement du trop plein

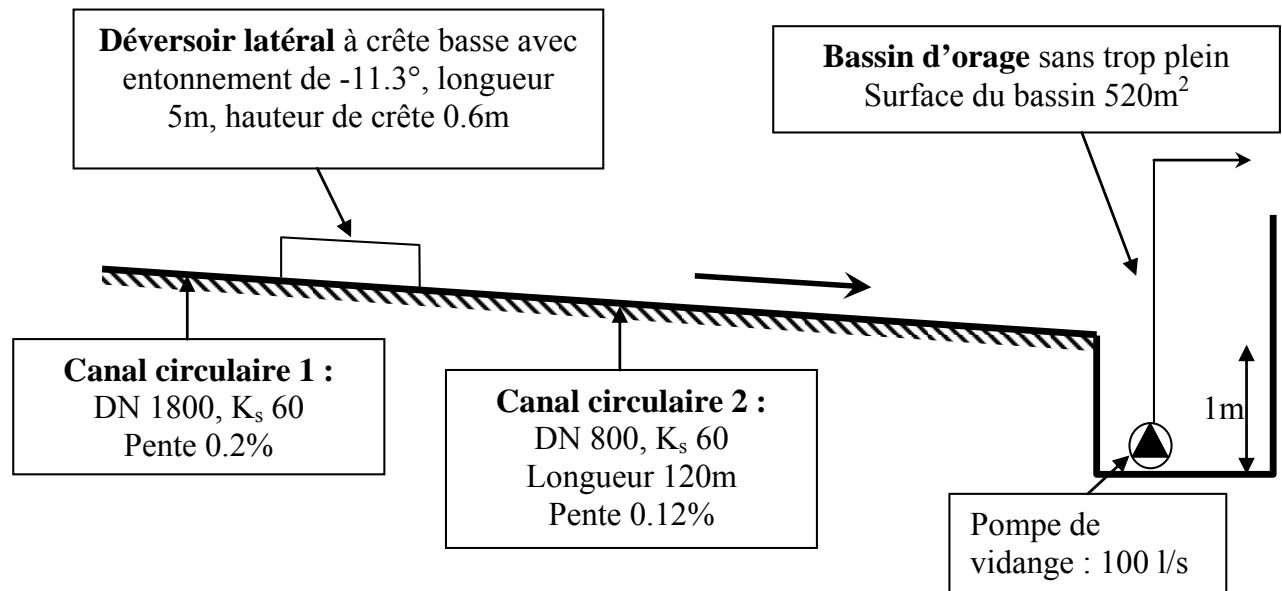
Le trop plein dans le bassin est constitué d'un seuil rectangulaire à paroi mince. On supposera que les lois de seuil sont valables.

- Le seuil a une largeur de 5m. Déterminer la hauteur de la lame déversante.
- Par rapport aux hauteurs d'eau maximales calculées précédemment dans le bassin, positionner la crête du seuil par rapport au fond du canal pour chaque débit.
- Quelle position de hauteur de crête allez-vous choisir pour que quel que soit le débit dans le canal, il n'y ait pas d'influence du bassin plein sur le fonctionnement du seuil à l'amont du canal ?

3.12 Etude d'un bassin sans trop plein couplé à un déversoir latéral

Cette étude s'intéresse au fonctionnement hydraulique d'un bassin d'orage alimenté par une canalisation et un déversoir d'orage amont. Le schéma suivant représente l'ensemble des ouvrages.

Le pompage se met en route dès qu'il y a de l'eau dans le bassin.



L'objectif de cette étude est de déterminer le temps de remplissage du bassin quand le débit amont est de 1000l/s.

On dispose en annexe de différentes courbes de remous dans la canalisation DN 800 pour les débits de 100 l/s, 200 l/s, 300 l/s, 400 l/s et 500 l/s.

Concernant le déversoir, on a représenté en annexe les différentes courbes de remous pour un débit amont 1000 l/s.

Quand le déversoir n'est pas en cours de déversement, le tirant d'eau dans celui-ci est supposé constant.

Etude préliminaire

- Déterminer le débit pleine section dans les canalisations 1 et 2. Déterminer la hauteur normale et la hauteur critique dans les canalisations amont pour les différents débits suivants :

	Débit 100 l/s		Débit 200 l/s		Débit 300 l/s		Débit 400 l/s		Débit 500 l/s		Débit 600 l/s		Débit 1000 l/s	
	h_n	h_c	h_n	h_c	h_n	h_c	h_n	h_c	h_n	h_c	h_n	h_c	h_n	h_c
DN800														
DN1800														

- Caractériser le type de pente dans les deux canalisations amont. (Pente faible, forte, critique...)
- Quelles sont les différentes courbes de remous qui peuvent se développer dans ces canalisations (M1, S1, ...)?

Etude du remplissage du bassin

On rappelle que :

- ⇒ $Q_{\text{amont}} = 1000 \text{ l/s}$,
- ⇒ Il doit y avoir continuité de la hauteur d'eau et du débit entre l'aval du déversoir et l'amont de la canalisation 2.
- ⇒ Le pompage se met en route dès qu'il y a de l'eau dans le bassin.

Début du remplissage

- Au début du remplissage, le bassin est vide. Quelle est la courbe de remous dans la canalisation 2 ? Localiser et déterminer la nature (caractéristique hydraulique) de ce point de contrôle.
- L'objectif de cette question est de déterminer le débit de remplissage du bassin.
 - Déterminer la hauteur d'eau à l'amont du canal 2 pour un débit (voir tableau suivant) et une hauteur d'eau aval dans le bassin correspondant au point de contrôle précédent. (*on utilisera les courbes de remous données en annexe*)

	h_{amont} pour h_{aval} bassin
Q=100 l/s	
Q=200 l/s	
Q=300 l/s	
Q=400 l/s	
Q=500 l/s	

- Tracer sur le graphique I l'évolution de la hauteur d'eau à l'amont du canal 2 en fonction du débit.
- Déterminer la hauteur d'eau à l'aval du déversoir pour un débit amont de 1000 l/s et un débit aval conservé connu. En vous aidant des courbes de remous tracées en annexe pour le déversoir, compléter le tableau suivant :

	Hauteur aval dans le déversoir pour $Q_{\text{amont}} = 1000 \text{ l/s}$
$Q_{\text{aval}} = 0.10 \text{ m}^3/\text{s}$ dans le déversoir	
$Q_{\text{aval}} = 0.14 \text{ m}^3/\text{s}$ dans le déversoir	
$Q_{\text{aval}} = 0.22 \text{ m}^3/\text{s}$ dans le déversoir	
$Q_{\text{aval}} = 0.38 \text{ m}^3/\text{s}$ dans le déversoir	
$Q_{\text{aval}} = 0.45 \text{ m}^3/\text{s}$ dans le déversoir	
$Q_{\text{aval}} = 0.53 \text{ m}^3/\text{s}$ dans le déversoir	

- Tracer sur le graphique I l'évolution de la hauteur d'eau à l'aval du déversoir en fonction du débit aval dans celui-ci.
- Déterminer graphiquement le débit d'alimentation du bassin.
- A partir de combien de temps, le bassin commence à influencer la canalisation 2 ?

Bassin en cours de remplissage

On suppose que l'évolution du remplissage du bassin peut être approchée par une succession de régimes permanents mais non uniformes.

- L'objectif de cette question est de déterminer le débit alimentant le bassin au régime permanent pour un niveau d'eau dans le bassin fixé.
 - Déterminer la hauteur d'eau à l'amont du canal 2 pour un débit (voir tableau suivant) et une hauteur d'eau aval dans le bassin fixée. (*on utilisera les courbes de remous données en annexe*)

	h_{amont} pour $h_{\text{aval}}=0.6\text{m}$	h_{amont} pour $h_{\text{aval}}=0.7\text{m}$	h_{amont} pour $h_{\text{aval}}=0.8\text{m}$	h_{amont} pour $h_{\text{aval}}=0.9\text{m}$
Q=100 l/s				
Q=200 l/s				
Q=300 l/s				
Q=400 l/s				
Q=500 l/s				

- Tracer sur le graphique I l'évolution de la hauteur d'eau à l'amont du canal 2 en fonction du débit pour les différentes hauteurs aval dans le bassin fixe.
- Déterminer le débit dans le canal 2 pour les différentes hauteurs dans le bassin suivantes :

Hauteur bassin (m)	Hauteur aval canal 2 (m)	Débit dans le canal 2 (l/s)
1.60	0.60	
1.70	0.70	
1.80	0.80	
1.90	0.90	

- En prenant en compte le débit de pompage dans le bassin, quel est alors le débit permettant le remplissage du bassin pour les différentes hauteurs d'eau suivantes ?

Hauteur bassin	Débit de remplissage du bassin (l/s)
1.60	
1.70	
1.80	
1.90	

- En supposant que l'équilibre entre le bassin et le déversoir soit atteint (il n'y a plus d'évolution de la hauteur d'eau dans le bassin en fonction du temps), quel est le débit dans la canalisation 2 ? Quelle est alors la hauteur d'eau maximale atteinte dans le bassin ? (On utilisera les courbes de remous données en annexe dans le canal et dans le déversoir).
- L'évolution du débit (Q) de remplissage du bassin en fonction de la hauteur (h) dans le bassin est approchée par une relation du type :

$$Q_{\text{approché}} = (a.h + b)^c \text{ avec : } a=-0.857 ; b=1.672 ; c=0.706.$$

- On veut déterminer le temps qu'il faut au bassin pour se remplir et atteindre l'équilibre. On rappelle que :

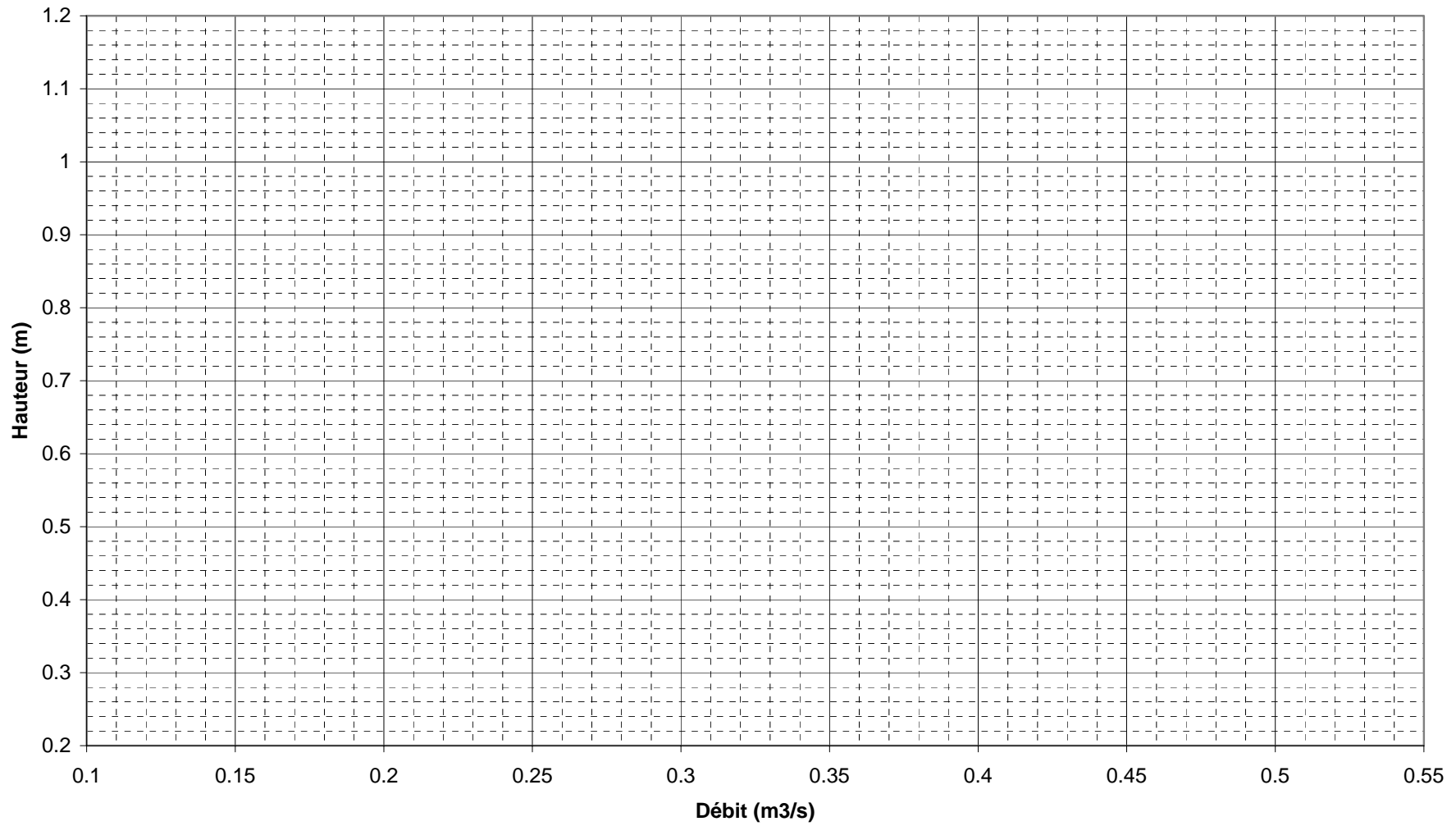
$$Q_{\text{remplissage bassin}} = S_{\text{surface du bassin}} \cdot \frac{dh}{dt}$$

En utilisant la relation précédente $Q_{\text{approché}} = (a \cdot h + b)^c$, déterminer le temps de remplissage du bassin entre le moment où le bassin influence la canalisation 2 et le moment où il est plein et à l'équilibre.

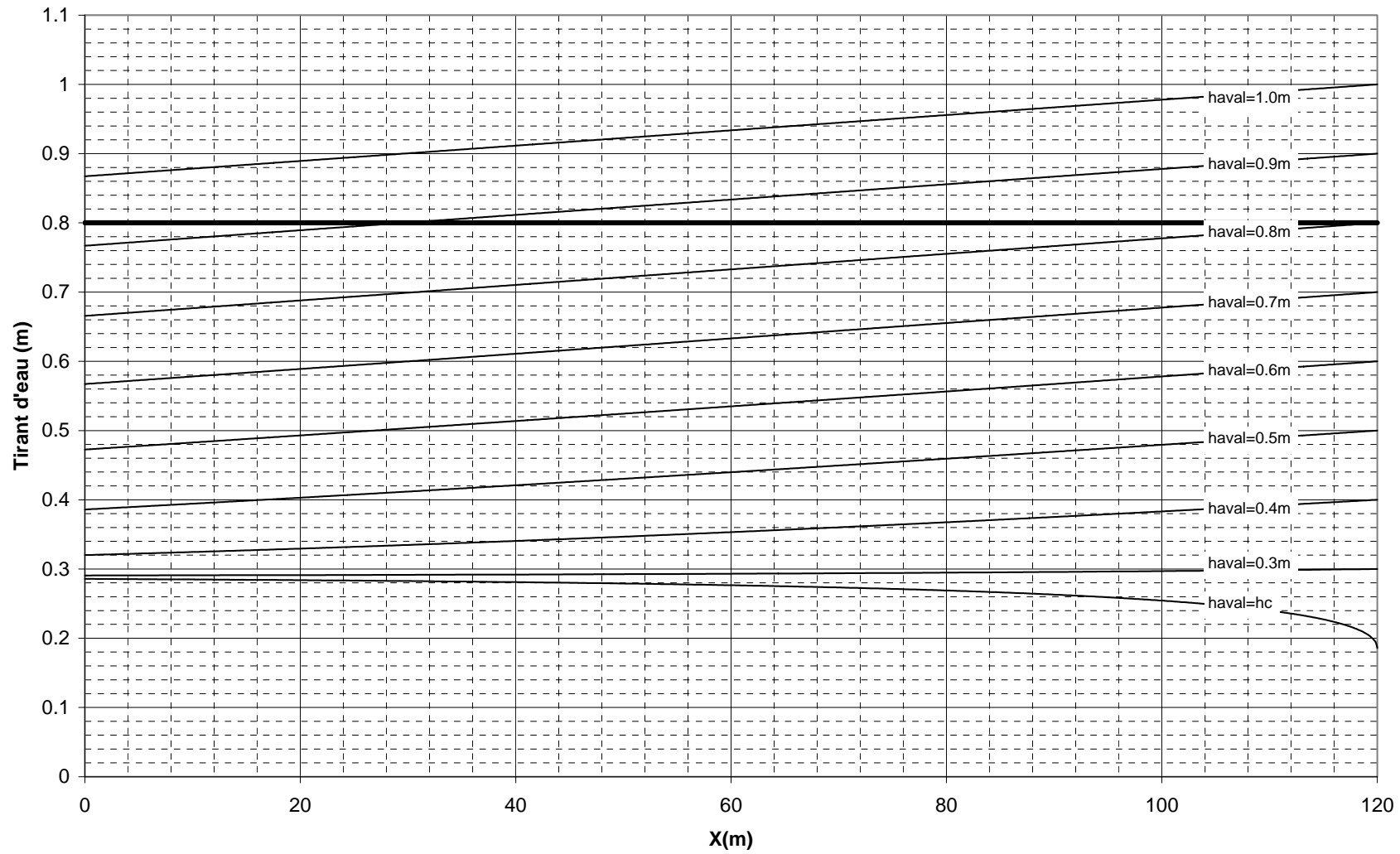
- Déterminer le temps total de remplissage du bassin entre le début du remplissage et l'équilibre.

GRAPHIQUE I

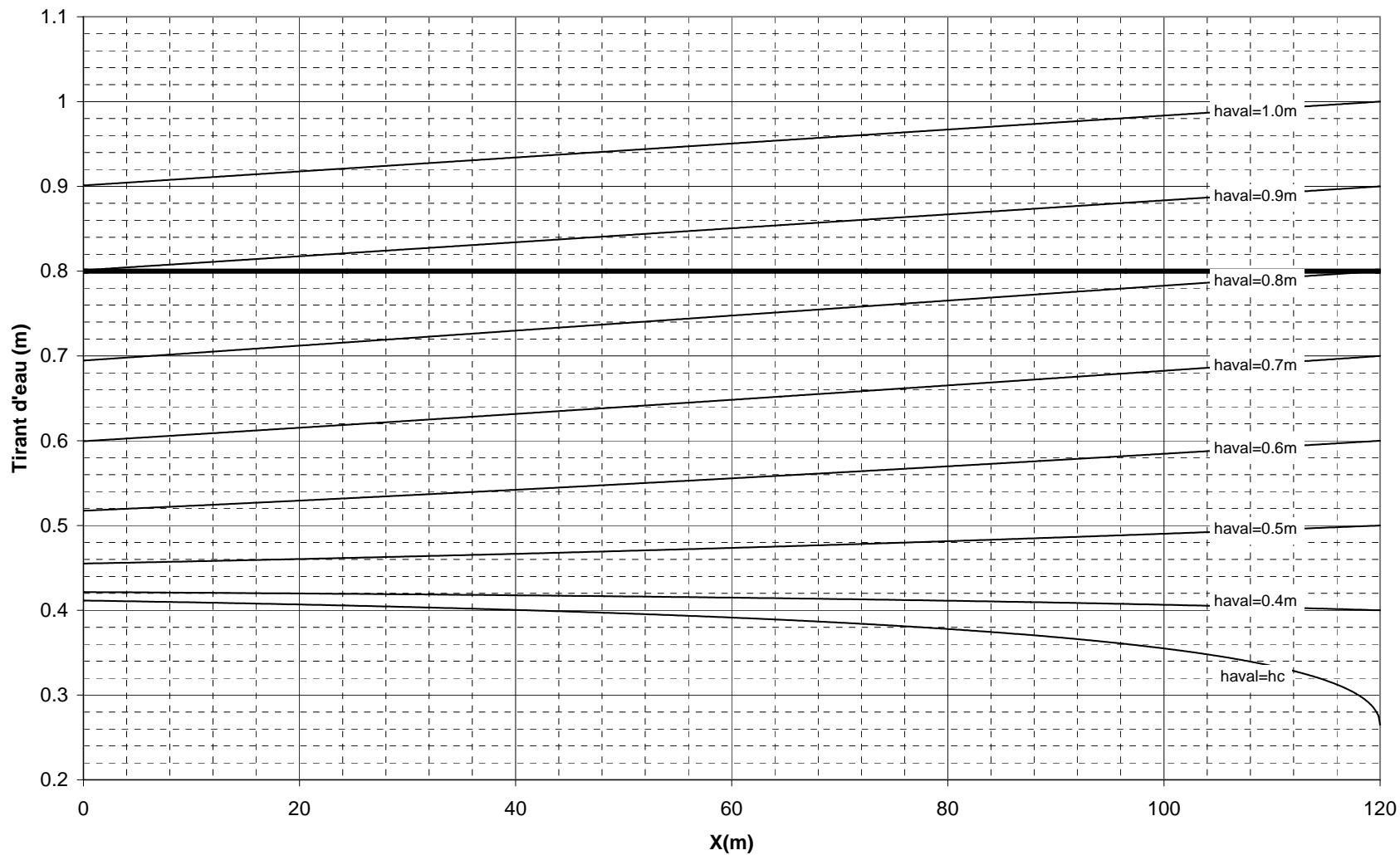
Evolution de la hauteur à l'amont du canal 2 et à l'aval du déversoir en fonction du débit



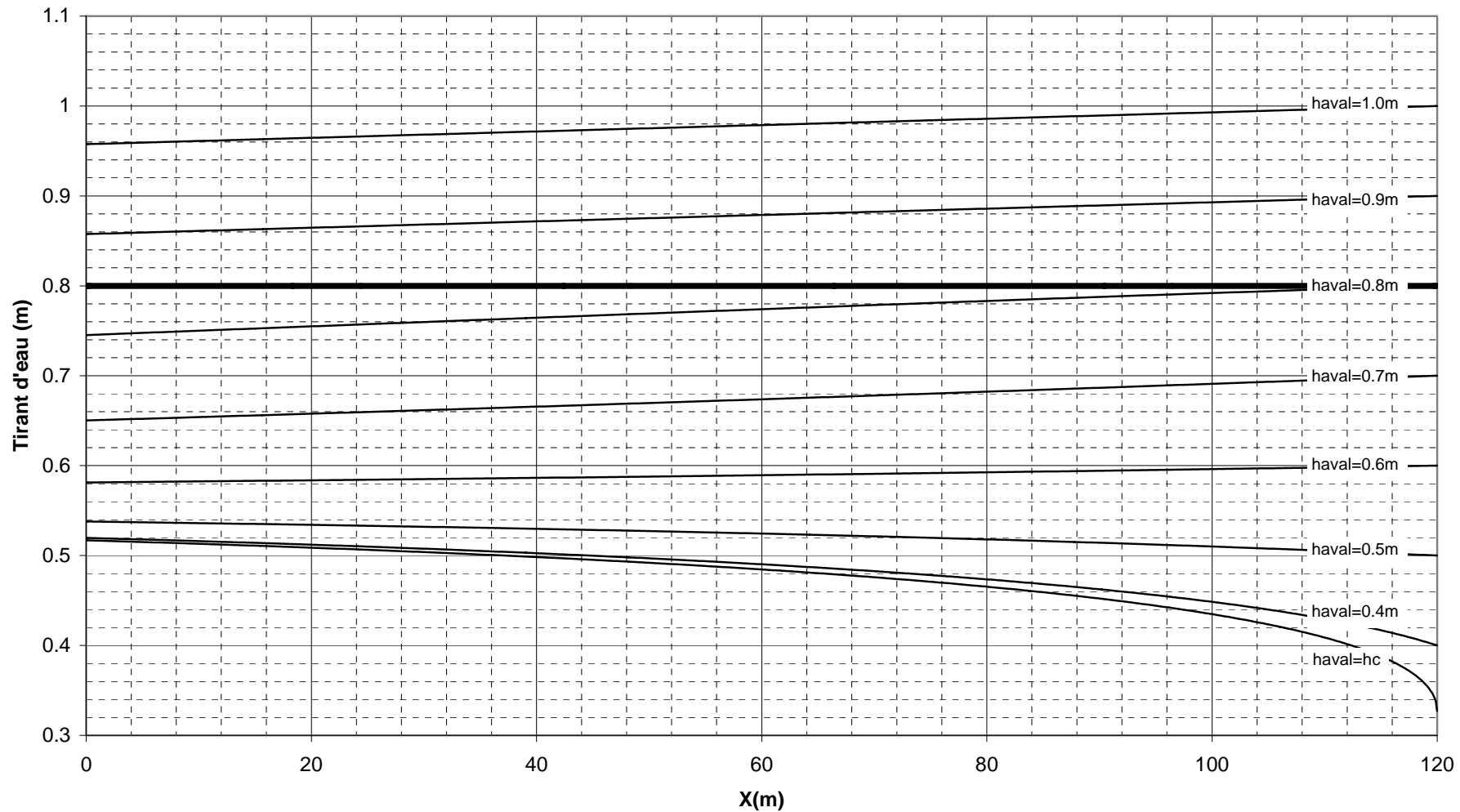
Courbes de remous : $Q=100\text{l/s}$
DN 800, $I=0.12\%$, $Ks\ 60$



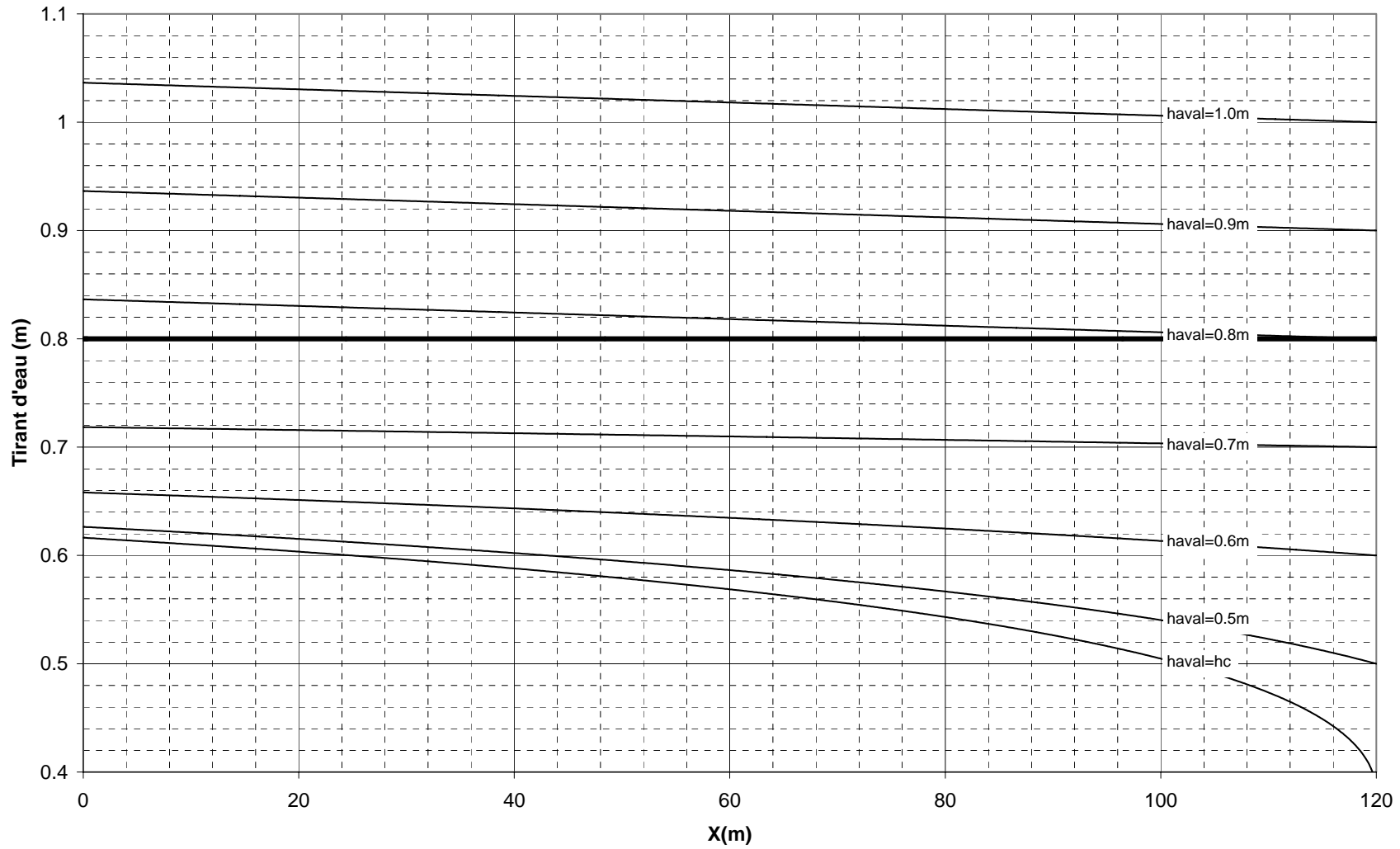
Courbes de remous : $Q=200\text{l/s}$
DN 800, $I=0.12\%$, $Ks\ 60$



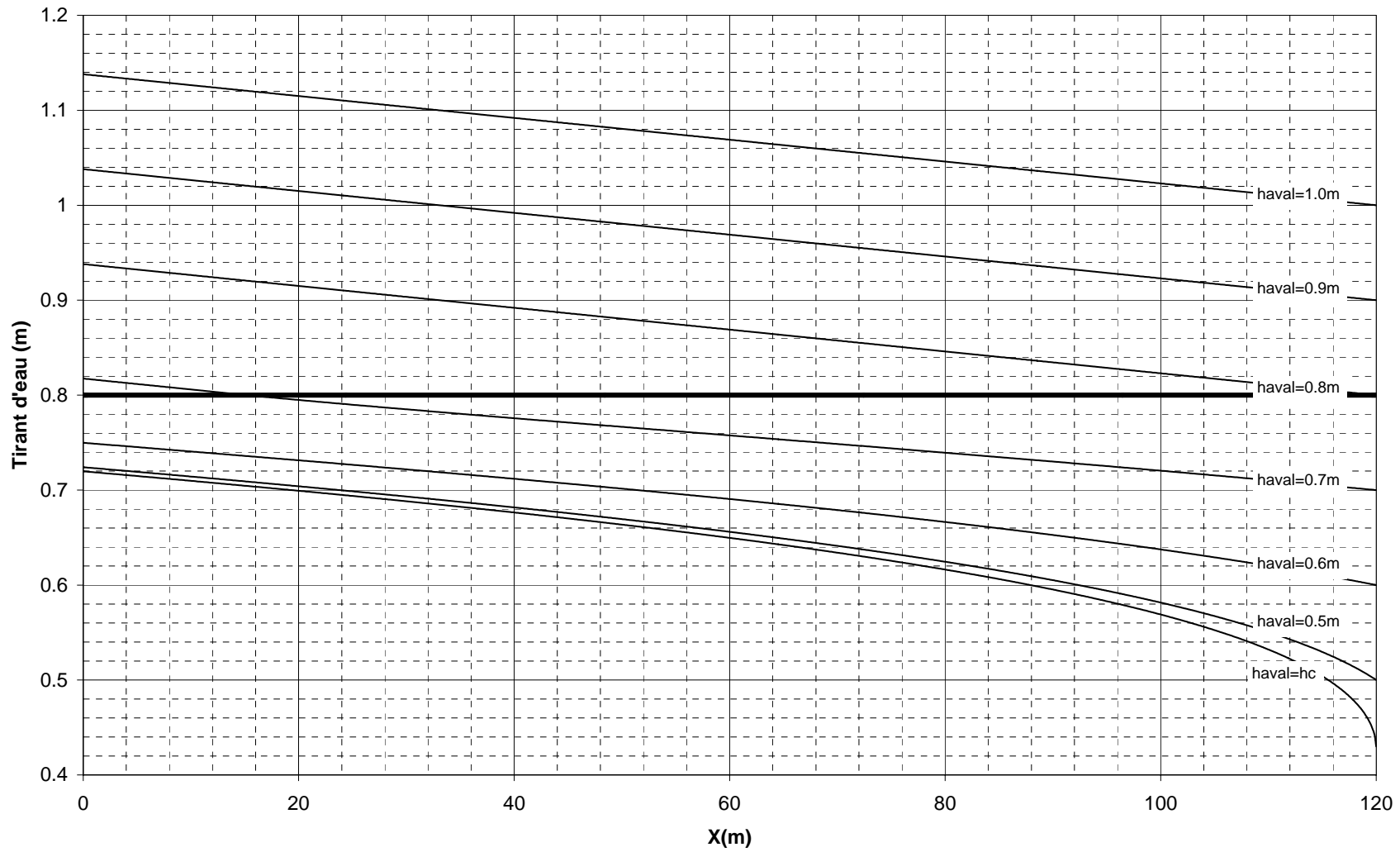
**Courbe de remous : Q=300l/s
DN 800, I=0.12%, Ks 60**



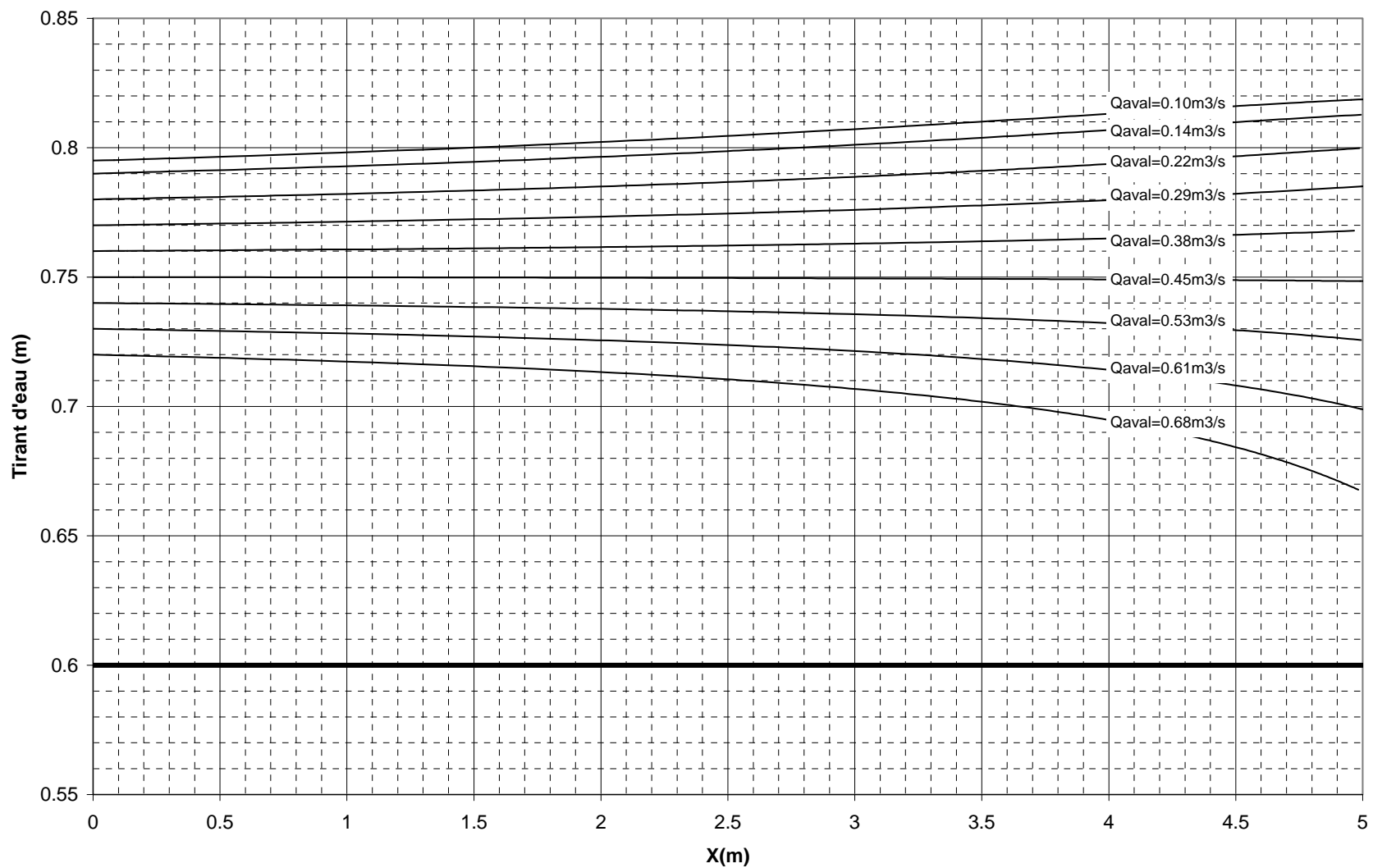
Courbe de remous : 400l/s
DN 800, I=0.12%, Ks 60



Courbe de remous : Q=500l/s
DN 800, I=0.12%, Ks 60



Courbe de remous dans le déversoir latéral pour un débit amont de 1m³/s



4 Déversoir

4.1 Dimensionnement d'un déversoir en torrentiel

Un déversoir latéral rectangulaire ayant les caractéristiques géométriques suivantes :

$$B_0 = 10\text{m}$$

$$K_s = 80$$

$$I = 1\%$$

$$w \geq 0.45\text{m}$$

a un débit d'entrée de $100\text{m}^3/\text{s}$. On veut une réduction du débit de 80%.

- Pour $\Theta = 0$: déterminer la longueur du déversoir.
- Pour un entonnement de 22° : déterminer la longueur du déversoir.

4.2 Dimensionnement d'un déversoir en fluvial

Un déversoir latéral rectangulaire ayant les caractéristiques géométriques suivantes :

$$B_{\text{aval}} = 1\text{m}$$

$$K_s = 66.7$$

$$I = 0.2\%$$

$$w = 0.6\text{m}$$

a un débit d'entrée de $1,7\text{m}^3/\text{s}$. On veut une réduction du débit de 26%.

- Pour $\Theta = 0$: déterminer la longueur du déversoir.
- Pour un entonnement de 22° : déterminer la longueur du déversoir.

4.3 Diagnostic d'un déversoir en fluvial

Un déversoir latéral rectangulaire ayant les caractéristiques géométriques suivantes :

$$B_{\text{aval}} = 1\text{m}$$

$$K_s = 60$$

$$I = 0.1\%$$

$$w = 0.4\text{m}$$

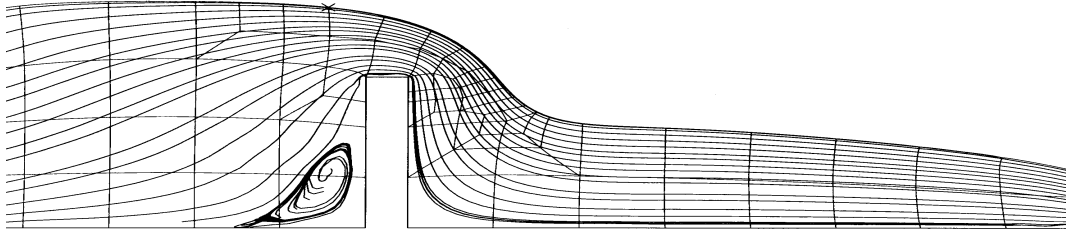
$$L = 4\text{m}$$

a un débit d'entrée de $0.58\text{ m}^3/\text{s}$.

- Pour $\Theta = 0$: déterminer le débit aval
- Pour un entonnement de $\Theta = -0.2$: déterminer le débit aval

4.4 Ecoulement à travers un seuil

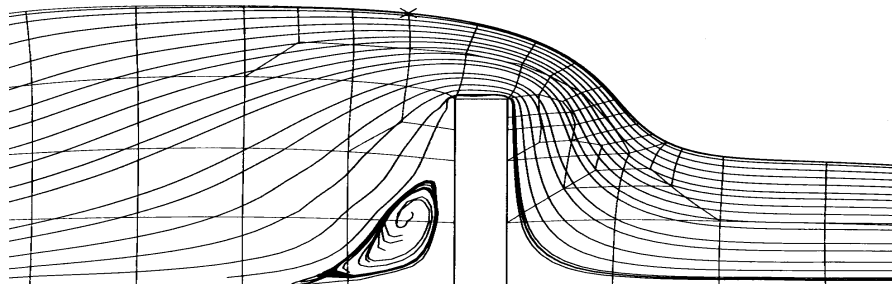
On représente sur le schéma suivant les lignes de courants à travers un déversoir.



Dans quelle(s) zone(s) l'équation de la courbe de remous est applicable ? Justifier votre réponse. (Tracer sur le schéma ci-dessus la réponse)

Détermination du coefficient de débit

Sur le schéma suivant, où placeriez-vous le capteur de hauteur d'eau pour mesurer le débit ? $Q = C_d \cdot L \cdot \sqrt{2gH}^{3/2}$



Des mesures sur site ont permis de donner Q en fonction de h_1 pour un déversoir rectangulaire de largeur 3m et de hauteur de pelle 1.69m.

$$Q = C_d \cdot L \cdot \sqrt{2gH}^{3/2}$$

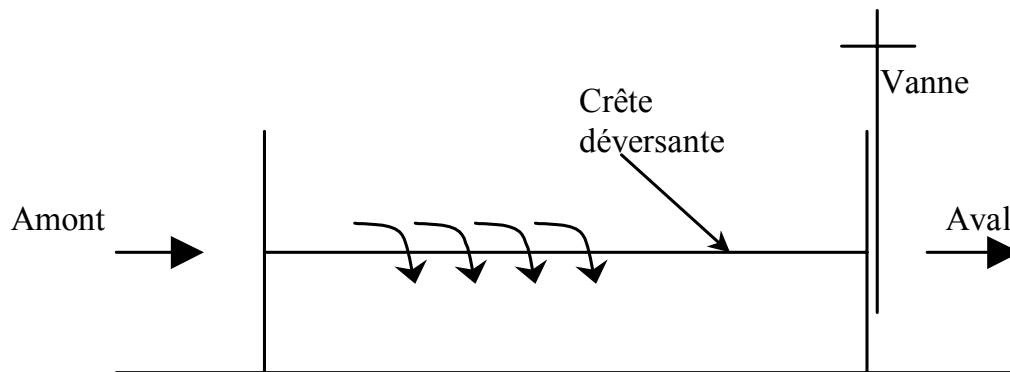
Que signifie L et H ?

Vitesse (m/s)	2.84	1.1	0.3
h_1 (m)	5.1	3	2.12
C_d			

Déterminer C_d moyen.

Dans le cas où $Q=10\text{m}^3/\text{s}$, donner h_1 .

4.5 Etude d'un déversoir latéral avec vanne à l'aval



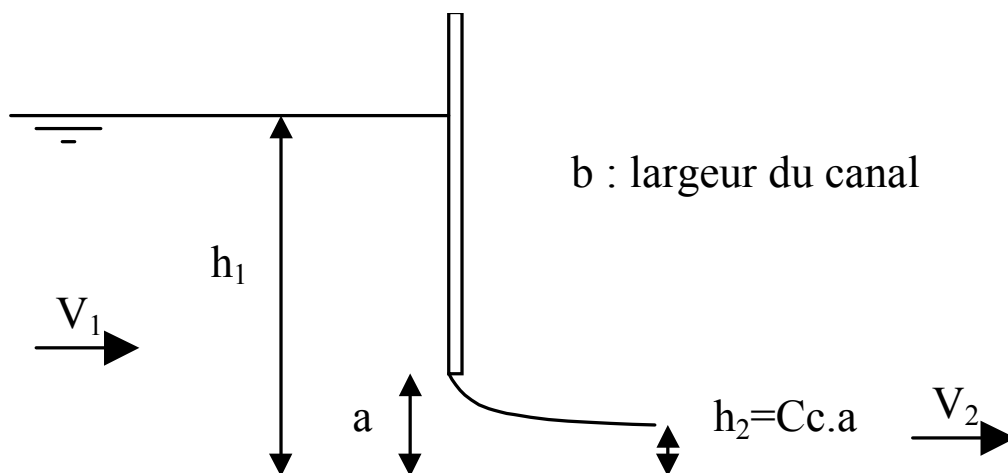
Canal rectangulaire

Déversoir latéral prismatique

Canal rectangulaire

Un déversoir prismatique est constitué d'un canal d'entrée et de sortie rectangulaire ainsi que d'une vanne murale en sortie.

Etude de la vanne murale rectangulaire



- Retrouver la relation :

$$Q = C_d \cdot a \cdot b \cdot \sqrt{2gh_1}$$

$$C_d = \frac{C_c}{\left(1 + \frac{C_c \cdot a}{h_1}\right)^{\frac{1}{2}}}$$

On détaillera les hypothèses.

- Si on se place à pente forte avec $h_2 \leq h_n$ ou à pente faible $h_2 \leq h_c$ la forme de la courbe de remous augmente. Or, la courbe de remous à l'aval de la vanne diminue. Pourquoi est-on en contradiction ?
- Justifier votre réponse.

Diagnostic du déversoir

Le déversoir et les canaux amont et aval ont les caractéristiques hydrauliques et géométriques suivantes :

- $Q_{\text{amont}} = 1.5\text{m}^3/\text{s}$
- $L = 3\text{m}$ (Longueur de la crête)
- $B = 1\text{m}$
- $K_s = 60$
- $I = 0.2\%$
- $w = 0.6\text{m}$
- $a = 0.3\text{m}$ (ouverture de la vanne)
- $C_c = C_d = 0.6$

On garantit que l'écoulement à travers le déversoir est fluvial et, qu'à l'aval, la vanne est dénoyée.

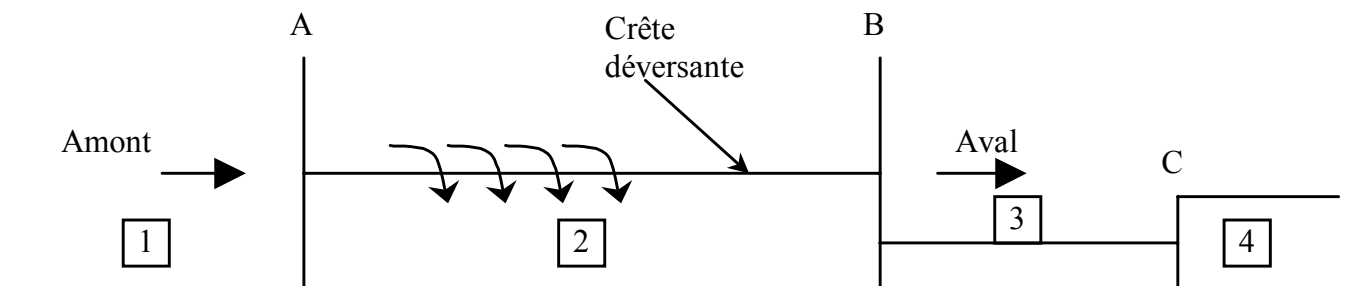
- Donner le principe de calcul pour déterminer le débit déversé.
- Quel est le débit minimal que l'on peut avoir à l'aval ?
- Déterminer le débit déversé en vous aidant du tableau suivant :

$\frac{Q_{\text{aval}}}{Q_{\text{amont}}}$ %	Q_{aval}	h_{aval}	H	y_{aval}	W	X_{aval}	X_{amont}	y_{amont}	h_{amont}	Q_{amont}
50 %										
56 %										
...										

- Montrer qu'à l'aval de la vanne on est en dénoyé, c'est-à-dire qu'il y a un ressaut à l'aval de la vanne.

4.6 Déversoir d'orage latéral à crête haute

PROFIL EN LONG



Canal rectangulaire
 Largeur : 0.8m
 Pente : 0.1%
 K_s : 65

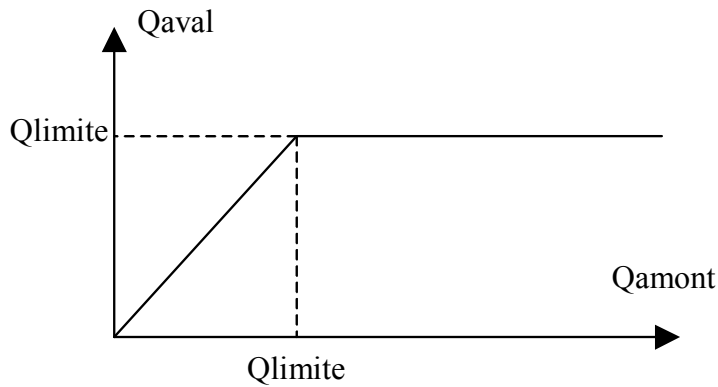
Déversoir latéral prismatique
 Largeur constante : 0.8m
 Pente : 0.1%
 K_s : 65

Conduite circulaire
 aval étranglée
 DN300
 λ : 0.0095
 pente : 0.4%

Canal circulaire
 Pente : 0.3%
 K_s : 60

Fonctionnement de l'ouvrage :

Le déversoir en réseau d'assainissement est un ouvrage de contrôle du débit aval. On cherche à limiter le débit aval à partir d'une valeur seuil (Q_{limite}) :



Fonctionnement hydraulique :

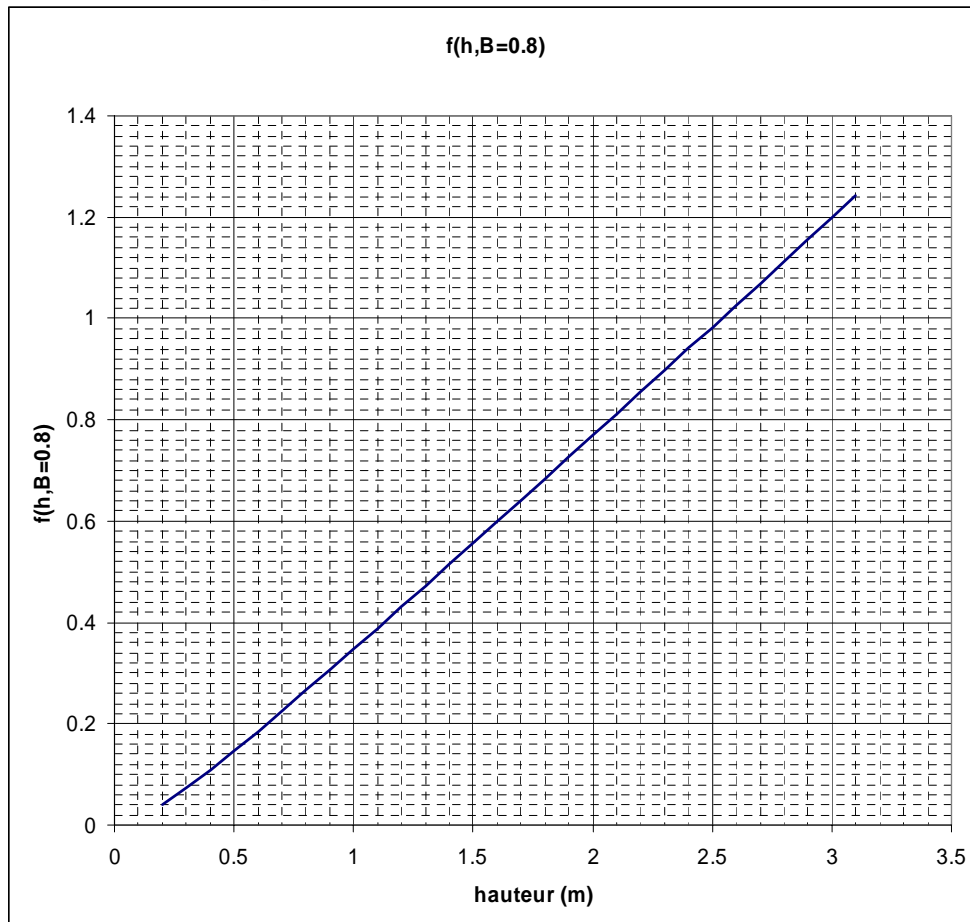
Dans la conduite amont 1, l'écoulement est toujours à surface libre. Le déversoir 2 est prismatique (largeur constante) et son fonctionnement est également à surface libre. Les abaques du cours sont donc valables. On donne en annexe l'abaque à utiliser. On place en aval du déversoir une conduite 3 appelée : conduite aval étranglée. Cette conduite est quasiment toujours en charge. La conduite 4 est à surface libre.

L'expression de la relation de Manning Strickler pour le régime permanent et uniforme dans le cas d'un canal rectangulaire peut être donnée sous la forme :

$$\frac{Q}{\sqrt{IK_s}} = f(h, B)$$

où f est une fonction du tirant d'eau h et de la largeur du canal B.

On donne la courbe pour B=0.8 :



➤ **Conduite 4**

On garantit à l'aval de la conduite 4 un régime permanent et uniforme. On se place au débit $Q_{\text{limite}}=0.22\text{m}^3/\text{s}$

- Dimensionner le diamètre de la conduite 4 de tel sorte que : $\frac{h_n}{D} = 70\%$
- Déterminer le régime d'écoulement (fluvial/torrentiel) dans cette conduite.

➤ **Conduite 3**

On se place au débit $Q_{\text{limite}}=0.22\text{m}^3/\text{s}$. On garantit à l'aval de la conduite 4 un régime permanent et uniforme.

- La conduite 3 est en charge, en fonction du régime d'écoulement et de la hauteur critique dans la conduite 4, peut-on avoir un ressaut dans la conduite 4 ?
- Quelle est la hauteur d'eau dans la conduite 4 au point C ?
En appliquant Bernoulli entre la section B dans le déversoir et la section C dans la conduite 3 avec :

une perte de charge singulière au point B de $\frac{V_{\text{conduite3}}^2}{2g}$,

une perte de charge linéaire de $\lambda \frac{L}{D} \frac{V_{\text{conduite3}}^2}{2g}$,

on supposera $\frac{V_{\text{B déversoir}}^2}{2g} \ll \frac{V_{\text{C conduite3}}^2}{2g}$,

La pression hydrostatique est vérifiée en B et C,

montrer que :

$$h_B = -I_{\text{conduite3}} \cdot L_{\text{conduite3}} + h_{n4} + \frac{V_{\text{conduite3}}^2}{2g} \left(2 + \frac{\lambda L_{\text{conduite3}}}{D} \right)$$

$I_{\text{conduite3}}$: pente de la conduite 3,

$L_{\text{conduite3}}$: longueur de la conduite 3,

h_B : hauteur d'eau au point B dans le déversoir.

On souhaite conserver un débit de $Q_{\text{limite}} = 0.22\text{m}^3/\text{s}$, la hauteur en B est fixée à 1.7m, dimensionner la longueur de la canalisation étranglée.

➤ **Conduite 1+2 sans déversement**

On se place à Q_{limite} , PAS DE DEVERSEMENT. A l'amont du canal 1, on garantit un écoulement permanent et uniforme.

- Déterminer h_n et h_c dans les conduites 1 et 2.
- Compte tenu de h_B , quelle est la forme de la courbe de remous dans les conduites 1 et 2 ?
- Par rapport à quel point dans le déversoir doit-on fixer la hauteur de crête pour qu'il n'y ait pas de déversement ?

Conduite 1+2 avec déversement

On se place à $Q_{\text{amont}} = 2.4 \text{ m}^3/\text{s}$.

A l'amont du canal 1, on garantit un écoulement permanent et uniforme.

La hauteur de crête est prise égale à 1.7m.

La longueur de la conduite étranglée est égale à 25m.

Le déversoir a une longueur de 5m.

Une lame déversante : $n^*=1$.

Déversoir à paroi mince : $c=1$.

On a $k = n^* \cdot c = 1$.

- Déterminer h_n et h_c dans la conduite 1.
- Déterminer les courbes de remous possibles dans la conduite 1.
- Au point B, on garantit une vitesse inférieure à la vitesse critique. Dans le déversoir, on suppose que le régime d'écoulement (fluvial/torrentiel) ne change pas. Justifier l'évolution de la ligne d'eau dans le déversoir.
- Calcul du débit déversé :
On estime le débit aval.
On garantit que la hauteur d'eau au point C est égale à la hauteur normale dans le canal 4. On peut donc utiliser la relation
$$h_B = -I_{\text{conduite3}} \cdot L_{\text{conduite3}} + h_{n4} + \frac{V_{\text{conduite3}}^2}{2g} \left(2 + \frac{\lambda L_{\text{conduite3}}}{D} \right).$$

On peut ainsi calculer la hauteur d'eau au point B.
Grâce aux abaques, on peut déterminer la hauteur d'eau en A.
La charge spécifique aval est égale à la charge spécifique amont.
Calcul du débit amont.
- Compléter le tableau de la page suivante et donner le débit déversé.
- Quelle est la courbe de remous dans la canal 1 ?

Q_B (m^3/s)	h_{n4} (m)	$h_{B\text{déversoir}}$ (m)	$V_{B\text{déversoir}}$ (m/s)	H_B (m)	y_B	W	X_B	X_A	y_A	h_A (m)	V_A (m/s)	Q_A (m^3/s)
0.24												
0.25												
0.26												

Q_B : débit au point B,

h_{n4} : hauteur normale dans le canal 4,

$h_{B\text{déversoir}}$: hauteur d'eau au point B dans le déversoir,

$V_{B\text{déversoir}}$: vitesse au point B dans le déversoir,

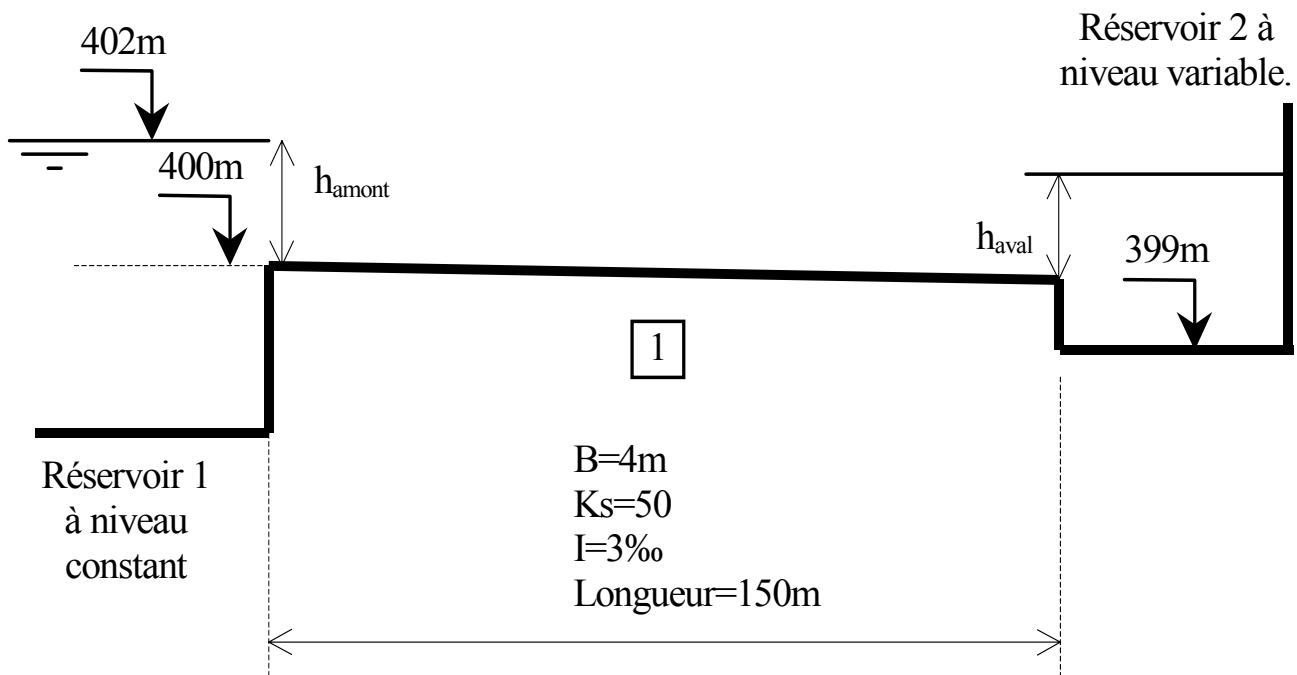
H_B : charge spécifique au point B dans le déversoir,

h_A : hauteur d'eau au point A dans le déversoir,

V_A : vitesse au point A dans le déversoir,

Q_A : débit au point A dans le déversoir.

4.7 Remplissage d'un réservoir



Cette étude s'intéresse au remplissage du réservoir 2 par le réservoir 1 via une conduite rectangulaire avec un écoulement à surface libre. Au départ, le réservoir 2 est vide. La hauteur dans le réservoir 1 est constante dans le temps. Quelque soit la hauteur d'eau dans le réservoir 2, celui-ci ne peut pas débordé.

Le réservoir 1 impose une hauteur en entrée dans la canalisation rectangulaire de 2m.

On supposera que le régime transitoire qui s'établit dans le système peut être décomposé par une succession de régime permanent non uniforme.

Régime permanent et uniforme

Donner l'expression de la relation de Manning-Strickler pour le régime permanent et uniforme ainsi que l'expression de la hauteur critique dans le cas d'un canal rectangulaire. On donnera les expressions sous la forme :

$$Q(h_n) = f(h, B, I, K_s)$$

$$Q(h_c) = f(h, B)$$

où f est une fonction du tirant d'eau h et de la largeur du canal B , I la pente K_s la rugosité de Strickler.

- Compléter le tableau suivant :

h (m)	0.5	1	1.5	2	2.5
$Q(h_n)$ (m^3/s)					
$Q(h_c)$ (m^3/s)					

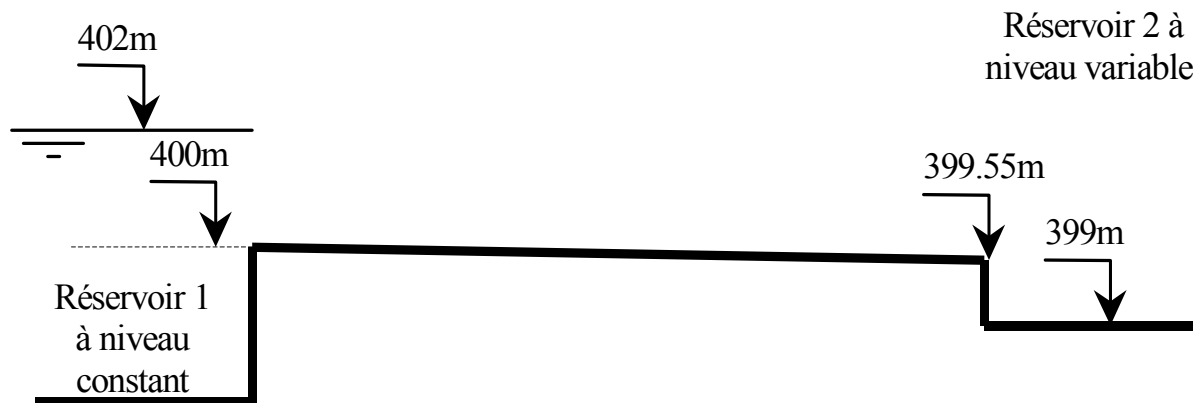
Tracer sur le graphique en annexe les deux courbes en fonction de h .

Régime permanent non uniforme : CAS 1

Le débit maximal s'établit à 23.4m³/s.

On rappelle que le réservoir 1 impose une hauteur en entrée dans la canalisation rectangulaire de 2m quelque soit le débit dans cette canalisation.

- Le canal rectangulaire, est-il à pente faible ou à pente forte pour un débit inférieur à 23.4m³/s ? Justifier votre réponse.
- Quelle est la hauteur maximale que peut atteindre l'eau dans le réservoir 2 ? Déterminer cette hauteur par rapport au fond du réservoir. Déterminer h_{aval} maximal.
- A partir de quelle hauteur dans le réservoir 2 celui-ci influence l'écoulement dans la conduite rectangulaire ?
- Dans quelles conditions le débit maximal est atteint ?
- Déterminer et tracer qualitativement sur le graphique suivant, en justifiant votre choix, les différentes courbes de remous ainsi que les points de contrôle en fonction de la hauteur dans le réservoir 2.

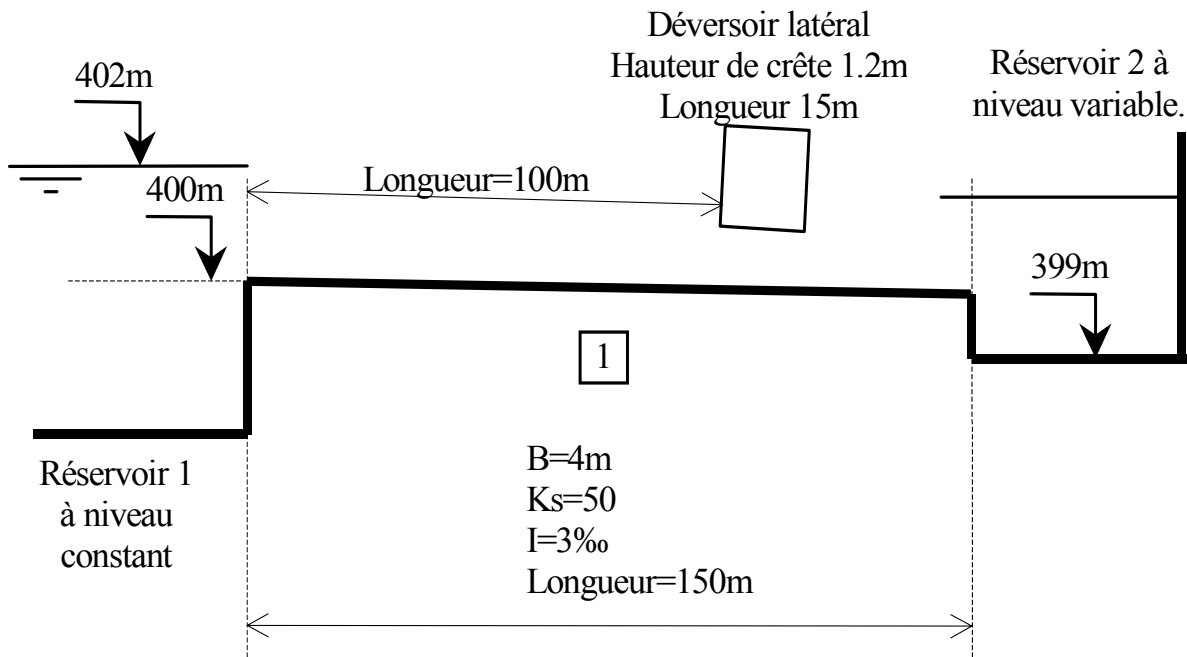


- Proposer une méthode par le calcul pour déterminer le débit maximal.
- Déterminer la hauteur dans le réservoir 2 pour les différents débits suivants :

Débit (m ³ /s)	h _n (m)	h _c (m)	$\frac{h_c}{h_n}$	$\frac{h_{amont}}{h_n}$	$\left(\frac{I \cdot X}{h_n}\right)_{amont}$	$\left(\frac{I \cdot \Delta x}{h_n}\right)$	$\left(\frac{I \cdot X}{h_n}\right)_{aval}$	$\frac{h_{aval}}{h_n}$	h _{aval}
23.4					0.4				
20									
10									
0									

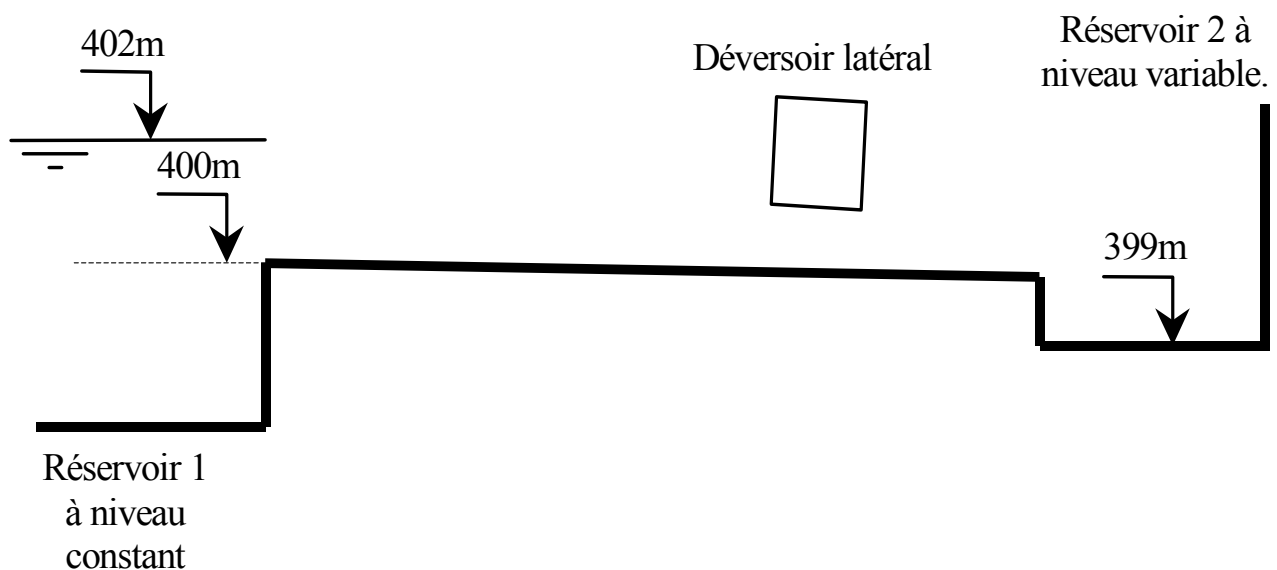
- Tracer la courbe h_{aval} = f(Débit) sur le graphique correspondant.

Régime permanent non uniforme : Cas 2



On place dans la conduite rectangulaire un déversoir latéral prismatique, à une crête déversante ($n^*=1$) mince ($c=1$), de hauteur $w=1.2\text{m}$ et de longueur 15m .

- Quelle est le débit dans la canalisation rectangulaire à l'aval du déversoir quand le réservoir 2 est à l'équilibre?
- Décrire et tracer qualitativement sur le graphique suivant les différentes étapes hydrauliques de la canalisation rectangulaire, du déversoir et du réservoir jusqu'à l'équilibre. Placer les points de contrôle. On supposera que le régime d'écoulement ne change pas dans le déversoir.



- Proposer une méthode par le calcul pour déterminer le débit à l'équilibre du système.

- Calcul du débit d'équilibre :
En vous aidant du tableau suivant, calculer le débit d'équilibre.

DEVERSOIR

H_{DO} : Charge spécifique dans le déversoir

$$y = \frac{h}{H} ; X = \frac{k \cdot X}{b}$$

$h_{aval DO}$ (m)	H_{DO}	$y_{aval DO}$	$W = \frac{w}{H_{DO}}$	$X_{aval DO}$	$X_{amont DO}$	$y_{amont DO}$	$h_{amont DO}$	Débit _{amont DO}
2.3								
2.4								

CONDUITE AMONT DEVERSOIR

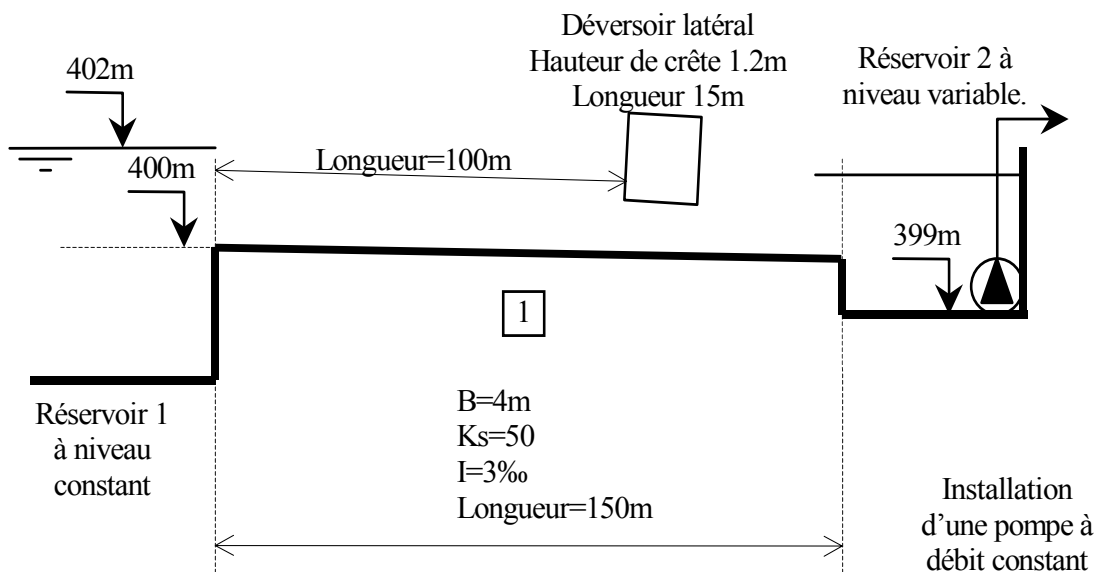
$h_{amont DO}$: hauteur d'eau à l'amont du déversoir

$h_{amont R1}$: hauteur d'eau à l'amont de la canalisation au droit du réservoir 1.

Débit _{amont DO}	h_n (m)	h_c (m)	$\frac{h_c}{h_n}$	$\frac{h_{amont R1}}{h_n}$	$\left(\frac{I \cdot X}{h_n}\right)_{amont R1}$	$\frac{h_{amont DO}}{h_n}$	$\left(\frac{I \cdot X}{h_n}\right)_{amont DO}$	Δx

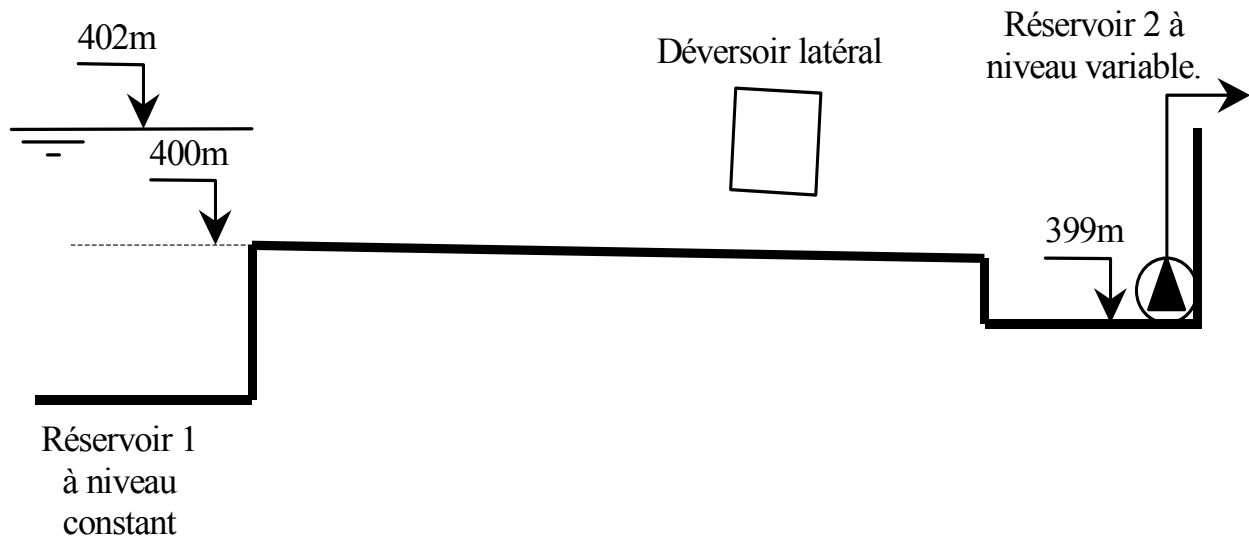
- Quel type de courbe de remous a-t-on dans la canalisation rectangulaire à l'amont du déversoir ? Quel est le débit dans la canalisation rectangulaire à l'amont du déversoir ?

Régime permanent non uniforme : Cas 3

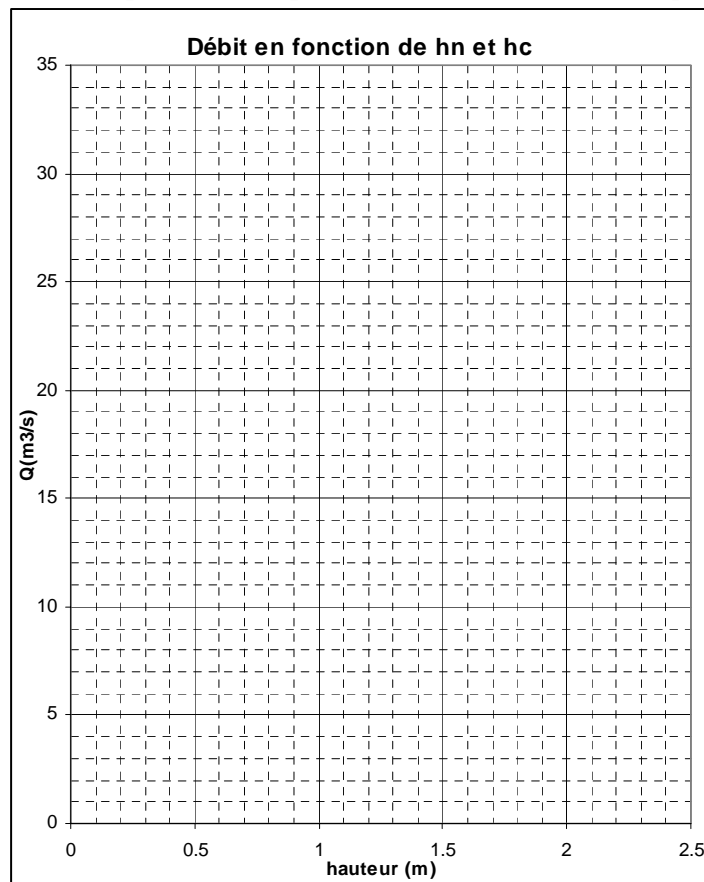


On place dans le réservoir 2 une pompe à débit constant de $7\text{m}^3/\text{s}$.

- Quelle est le débit dans la canalisation rectangulaire à l'aval du déversoir quand le réservoir 2 est à l'équilibre?
- Décrire et tracer qualitativement sur le graphique suivant les différentes étapes hydrauliques de la canalisation rectangulaire, du déversoir et du réservoir jusqu'à l'équilibre. Placer les points de contrôle. On supposera que le régime d'écoulement ne change pas dans le déversoir.

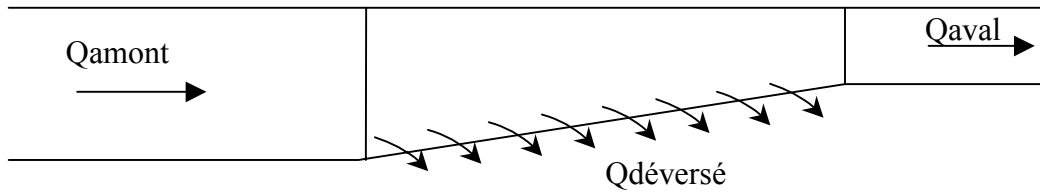


- Proposer une méthode par le calcul pour déterminer le débit à l'équilibre du système.



4.8 Courbe de fonctionnement d'un déversoir

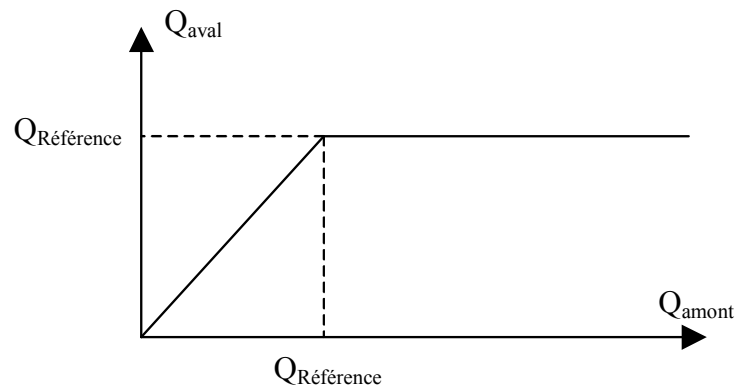
VUE DE DESSUS



D'un point de vue théorique, l'objectif d'un déversoir est de contrôler le débit aval conservé de la façon suivante :

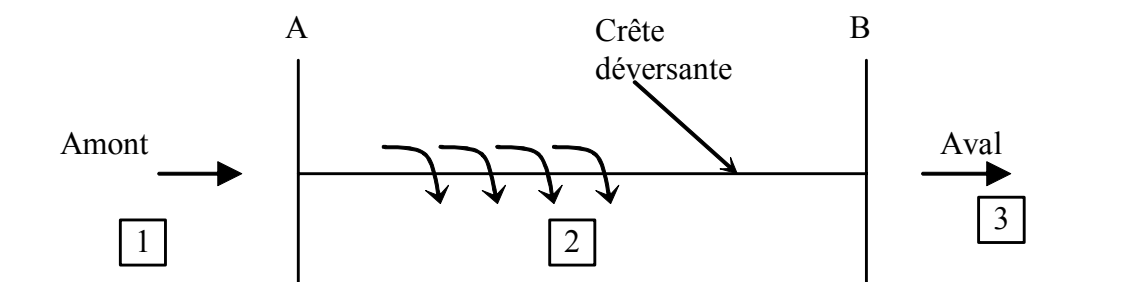
- tant que le débit amont n'atteint pas un débit limite appelé débit de référence, le débit amont est identique au débit aval, c'est-à-dire qu'il n'y a pas de déversement,
- dès que le débit amont est supérieur au débit de référence on veut que le débit aval conservé soit égal au débit de référence.

La figure suivante illustre le principe de fonctionnement d'un déversoir.



L'objectif de cette étude est de construire la courbe de fonctionnement du déversoir suivant :

PROFIL EN LONG



Canal rectangulaire
 Largeur : 1.1m
 Pente : 0.2%
 Ks : 70

Déversoir latéral
 Largeur variable
 Hauteur de crête : 0.5m
 1 crête déversante
 Paroi mince
 Longueur 3m

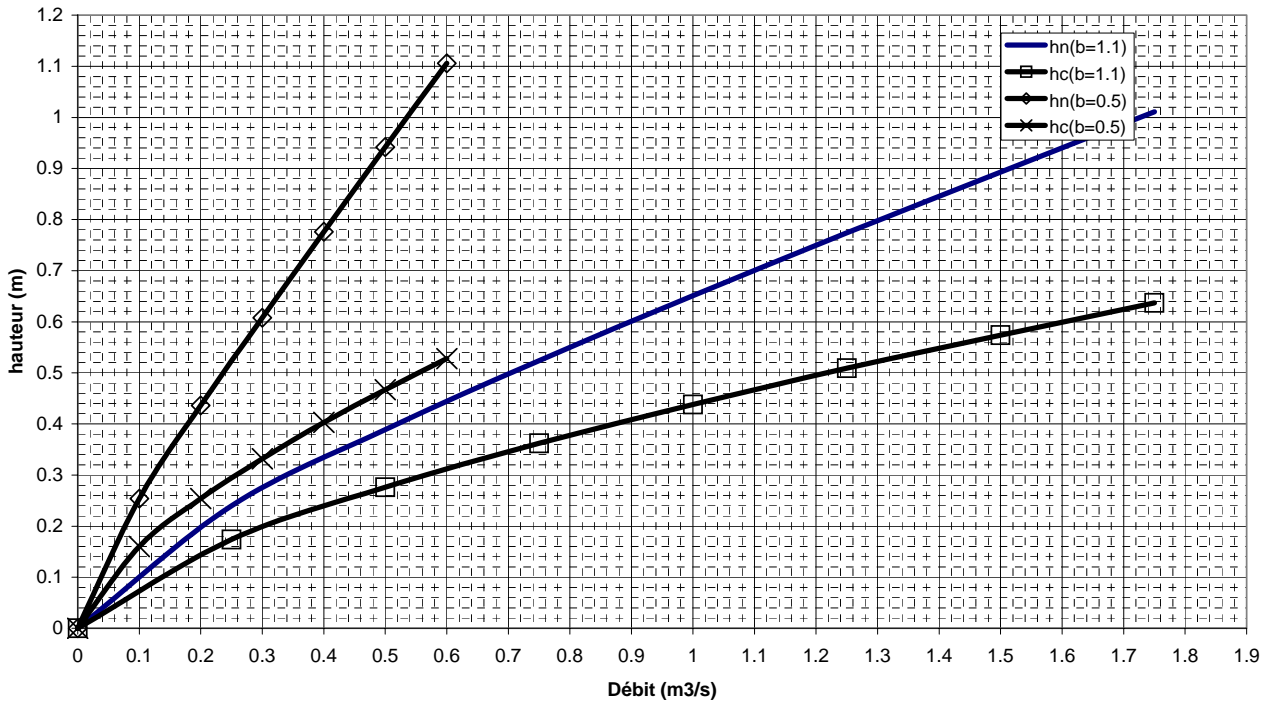
Canal rectangulaire
 Largeur : 0.5m
 Pente : 0.2%
 Ks : 70

Etude des régimes d'écoulement

Le graphique suivant donne :

- l'évolution de la hauteur normale en fonction du débit pour les sections rectangulaires de largeur $b=1.1\text{m}$ et $b=0.5\text{m}$ avec $K_s=70$, et $I=0.2\%$.
- l'évolution de la hauteur critique en fonction du débit pour les sections rectangulaires de largeur $b=1.1\text{m}$ et $b=0.5\text{m}$,

Evolution de la hauteur normale et critique en fonction de Q pour une section rectangulaire de largeur 1.1m



Les conditions aux limites des canalisations amont et aval du déversoir sont le régime permanent et uniforme. On garantit que :

le débit amont ne dépassera pas la valeur de $1.75\text{ m}^3/\text{s}$

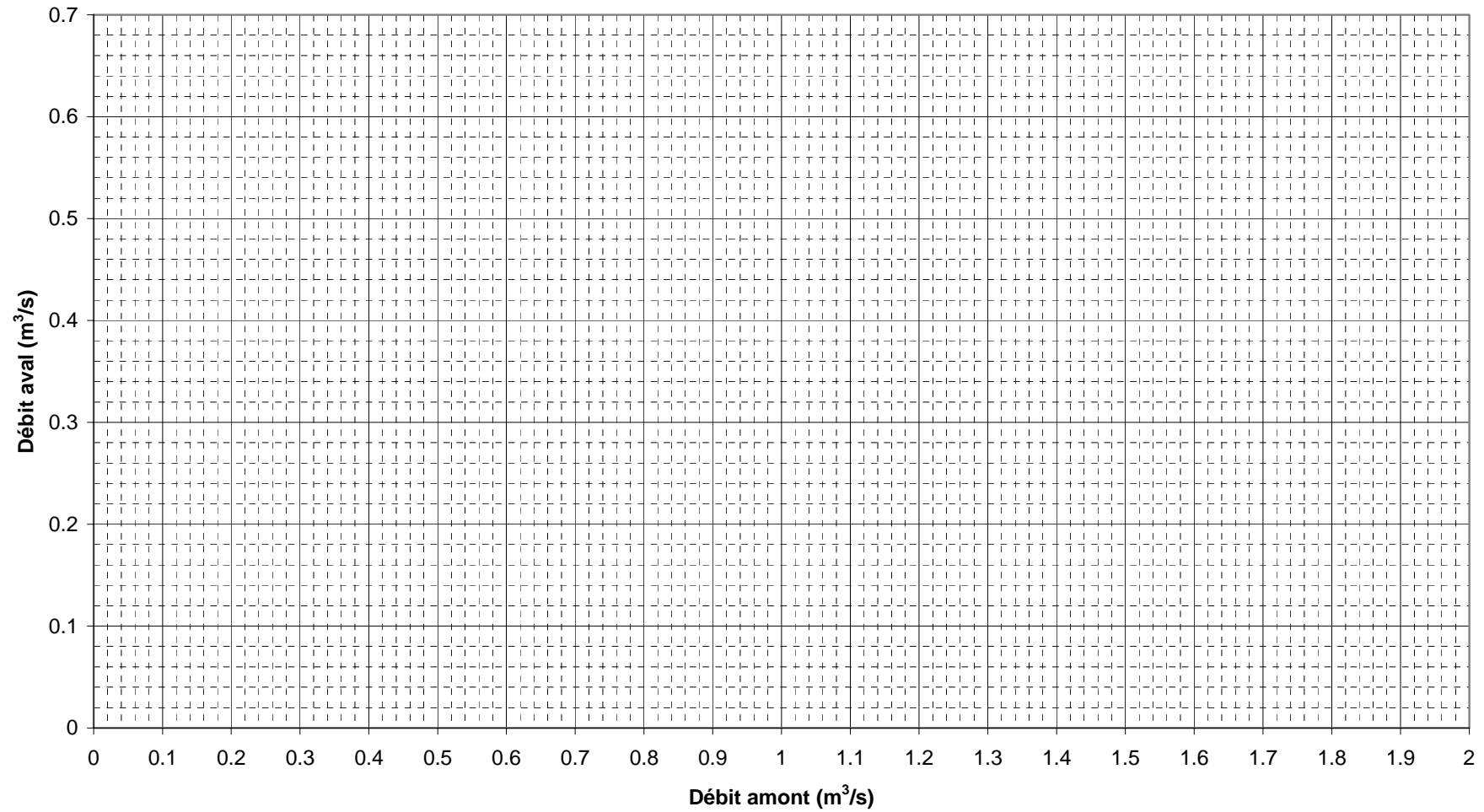
le débit aval ne dépassera pas la valeur de $0.6\text{ m}^3/\text{s}$

- Au régime permanent et uniforme, quels sont les régimes d'écoulement dans les canalisations amont et aval du déversoir ?
- Proposer une méthode pour déterminer la courbe de fonctionnement du déversoir.

Courbe de fonctionnement

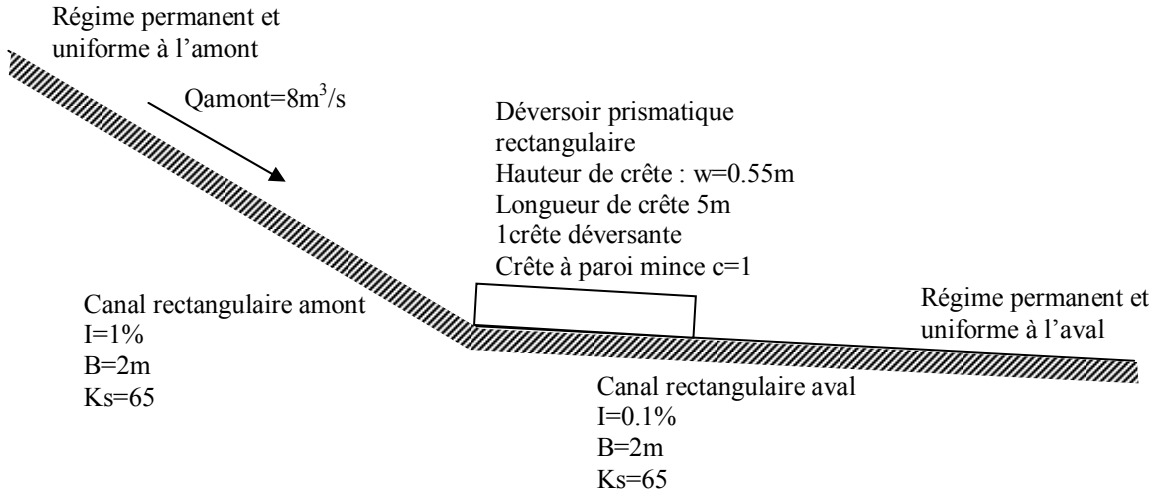
- Déterminer le débit amont pour que le débit aval soit égal à $0.5\text{m}^3/\text{s}$. Tracer ce point sur le graphique suivant.
- Quelle est la forme de la ligne d'eau au dessus du déversoir pour ce débit ?
- En supposant que la forme de la ligne d'eau précédente soit conservée quel que soit le débit, à quel endroit du seuil le déversoir commence à déverser ? Déterminer le débit de référence. Tracer ce point sur le graphique suivant.
- On suppose que la courbe de fonctionnement est une succession de droite. Tracer la courbe de fonctionnement théorique et la courbe de fonctionnement réelle.
- Les règles de dimensionnement imposent qu'au débit maximum amont le débit aval ne peut augmenter que de 30% par rapport au débit de référence.
- Déterminer le débit amont maximal pour que cette règle soit respectée.

Courbe de fonctionnement



4.9 Etude d'un déversoir évacuateur de crue avec ressaut hydraulique

Cette étude s'intéresse à un déversoir évacuateur de crue prismatique à section rectangulaire. La figure suivante représente le profil en long du déversoir.

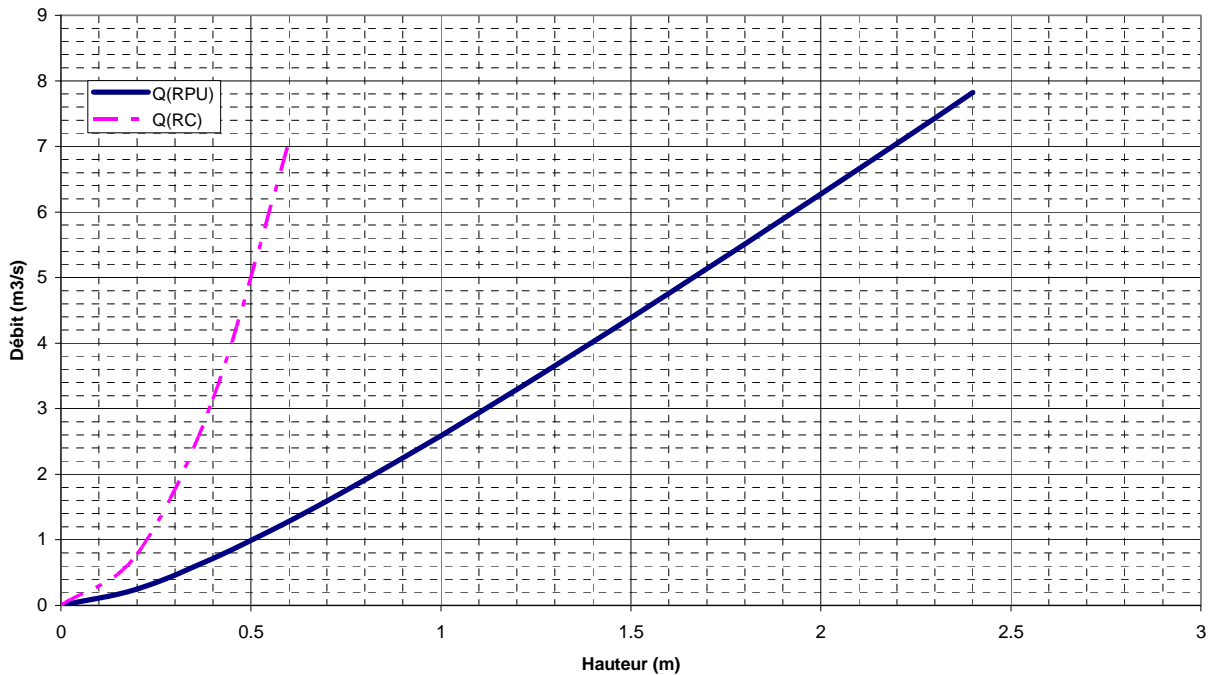


Canal	h_n	h_c
Amont $Q=8m^3/s$	0.98m	1.18m
Aval $Q<8m^3/s$	Voir figure suivante	

Etude préliminaire

- Caractériser le type de canal (pente forte/faible) dans la canalisation amont et aval. On pourra utiliser la figure suivante.

Evolution du débit au Régime Permanent et Uniforme (RPU) et au Régime Critique (RC) pour un canal rectangulaire de largeur 2m, $K_s=65$ et $I=0.1\%$



- Montrer qu'un ressaut hydraulique est possible.

- Justifier l'évolution (croissante/décroissante) du tirant d'eau dans le déversoir à l'amont et à l'aval du ressaut hydraulique.

Etude du tirant d'eau dans le déversoir

Une étude expérimentale a pu montrer que le ressaut hydraulique apparaît dans le déversoir à 3.8m de l'entrée de cet ouvrage.

Etude de l'écoulement torrentiel

- Calculer la charge spécifique H dans la zone torrentielle du déversoir.
- Déterminer la hauteur d'eau ainsi que le débit dans le déversoir pour les distances suivantes :

x/amont du déversoir	0	1	2	3.8
h/H				
X				
x				
h (m)	0.98			
Q (m ³ /s)	8			

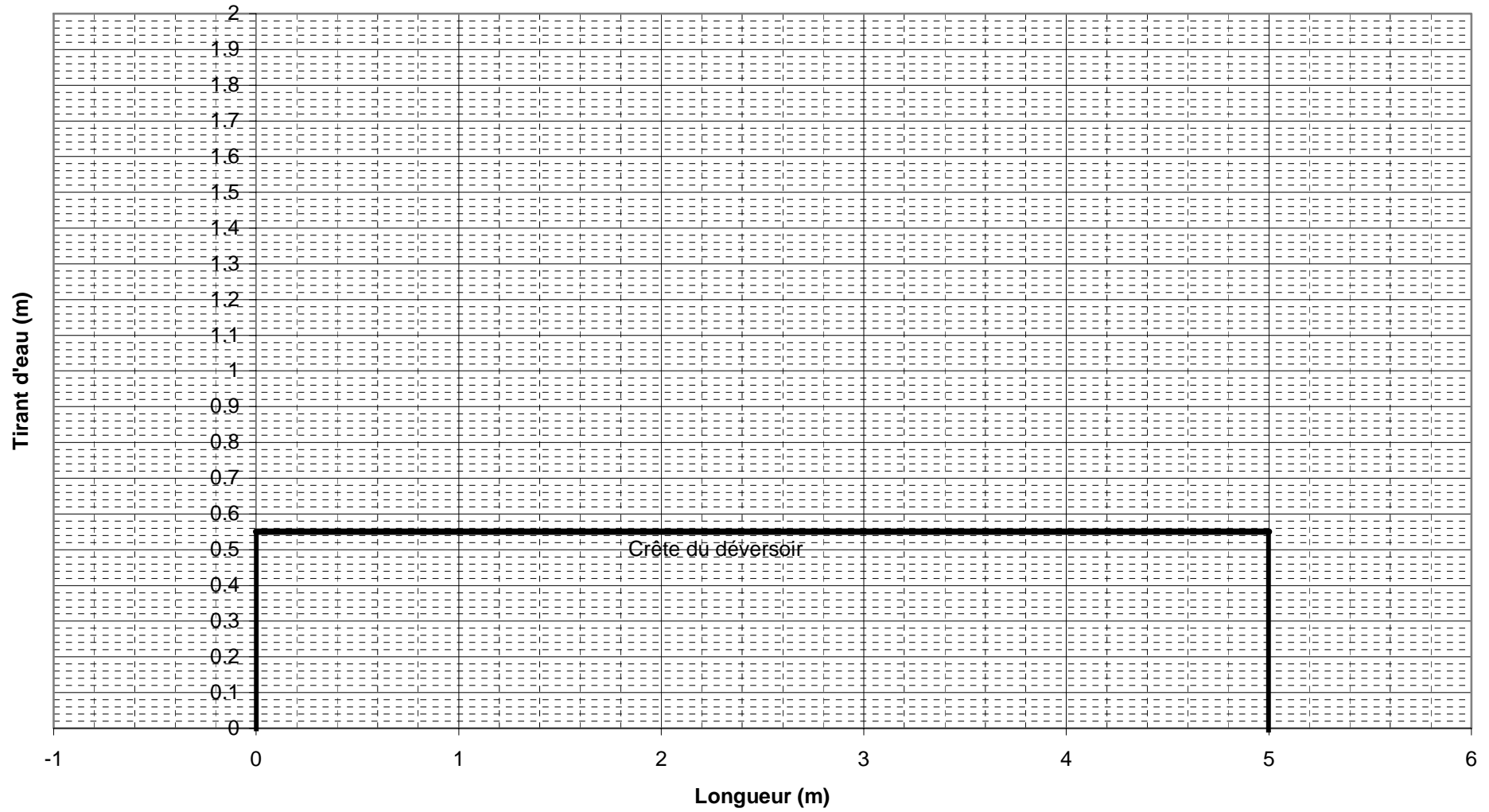
Etude de l'écoulement Fluvial

- Déterminer la hauteur conjuguée du ressaut hydraulique.
- Calculer la charge spécifique H dans la zone fluviale du déversoir.
- Déterminer la hauteur d'eau ainsi que le débit dans le déversoir pour les distances suivantes :

x/amont du déversoir	3.8	4.4	5
h/H			
X			
x			
h (m)			
Q (m ³ /s)			

- Déterminer le débit déversé et conservé.
- Montrer que l'on retrouve bien la hauteur normale dans le canal aval. On pourra utiliser la figure précédente.
- Tracer l'évolution du tirant d'eau dans le déversoir et les canalisations amont et aval.

Evolution du tirant d'eau dans le déversoir



4.10 Dimensionnement d'un déversoir latéral au régime pseudo-uniforme

L'objectif de cette étude est le dimensionnement d'un déversoir latéral (entonnement et longueur) de telle sorte que la hauteur d'eau le long du seuil soit constante (régime pseudo-uniforme).

On se place dans le cas des canaux rectangulaires.

On rappelle que :

- le long d'un déversoir latéral, la charge spécifique (H) est constante.
- L'équation permettant de caractériser l'évolution du tirant d'eau le long du déversoir est donnée par la relation :

$$y' = \frac{2\Theta y(1-y) - \frac{\bar{Q}'}{k} \sqrt{2(1-y)}}{(3y-2)(1+\Theta X)} \quad \text{Equation (1).}$$

Avec : $S = Bh$ et $X = \frac{kx}{b}$; $y = \frac{h}{H}$; $\Theta = \frac{\theta}{k}$; $W = \frac{w}{H}$
 $B = b(1 + \Theta X)$

avec Q' représentant le débit déversé par unité de longueur :

$$\frac{\bar{Q}'}{k} = \frac{Q'}{k\sqrt{gH^3}} = -\frac{3}{5}(y-W)^{3/2} \left(\frac{1-W}{3-2y-W} \right)^{1/2} \left(1 - \theta \left(\frac{3(1-y)}{y-W} \right)^{1/2} \right)$$

Etude du dénominateur de l'équation 1

Pour $y=2/3$, montrer que l'on est à la hauteur critique.

Que représente physiquement pour la section : $(1 + \Theta X) = 0$?

Etude du régime pseudo-uniforme

Quelle équation doit vérifier le tirant d'eau (h) pour que le long du déversoir la hauteur d'eau soit constante ? On donnera cette expression en fonction de y, Θ et

$$\frac{\bar{Q}'}{k}$$

Dans cette équation, une solution évidente est $y=1$, cette solution est-elle réaliste ? Que représente Q' ?

Montrer que pour $y=\text{constant}$, il faut $\Theta \neq 0$.

Dans le cas où la tirant d'eau reste constant le long du déversoir et en écrivant que la charge spécifique reste constant entre deux sections du déversoir, montrer que la vitesse de l'écoulement est constante.

$$\frac{\Delta B}{B} = \frac{\Delta Q}{Q}$$

Montrer que : avec B la largeur et Q le débit.

Montrer que si $\theta = \text{constante}$ alors $Q' = \frac{\Delta Q}{\Delta L} = \text{constante}$. L la longueur du déversoir.

Application numérique

L'objectif de cette étude est le dimensionnement d'un déversoir latéral de telle sorte que la hauteur d'eau le long du seuil soit constante (régime pseudo-uniforme).

On se place dans le cas des canaux rectangulaires.

On veut dimensionner le déversoir avec les caractéristiques géométriques et hydrauliques suivantes :

- Crête à paroi mince,
- Hauteur de crête $w=0.5\text{m}$,
- Entonnement $\theta = -0.2$,
- Deux parois déversantes,
- Largeur amont 5m ,
- Débit amont $8.41\text{m}^3/\text{s}$,
- Débit aval = Débit amont/5.

$$\frac{\Delta B}{B} = \frac{\Delta Q}{Q}$$

En utilisant la relation $\frac{\Delta B}{B} = \frac{\Delta Q}{Q}$ déterminer la largeur à l'aval du déversoir.

Déterminer la longueur du déversoir sachant que $\theta = -0.2$, $B_{\text{amont}}=5\text{m}$ et B_{aval} .

Détermination de la hauteur d'eau dans le déversoir

- Quelle équation doit vérifier le tirant d'eau (h) pour que le long du déversoir la hauteur d'eau soit constante ?
On donnera cette expression en fonction de y , W , k , et Θ .
- La courbe suivante donne l'ensemble des solutions de l'équation précédente pour y quand W varie entre 0 et 1 pour $k=2$ et $\theta = -0.2$.

On se place à l'amont du déversoir :

- Donner la relation simple entre W et w , h , Q_{amont} et B_{amont} .
- Donner la relation simple entre y et h , Q_{amont} et B_{amont} .

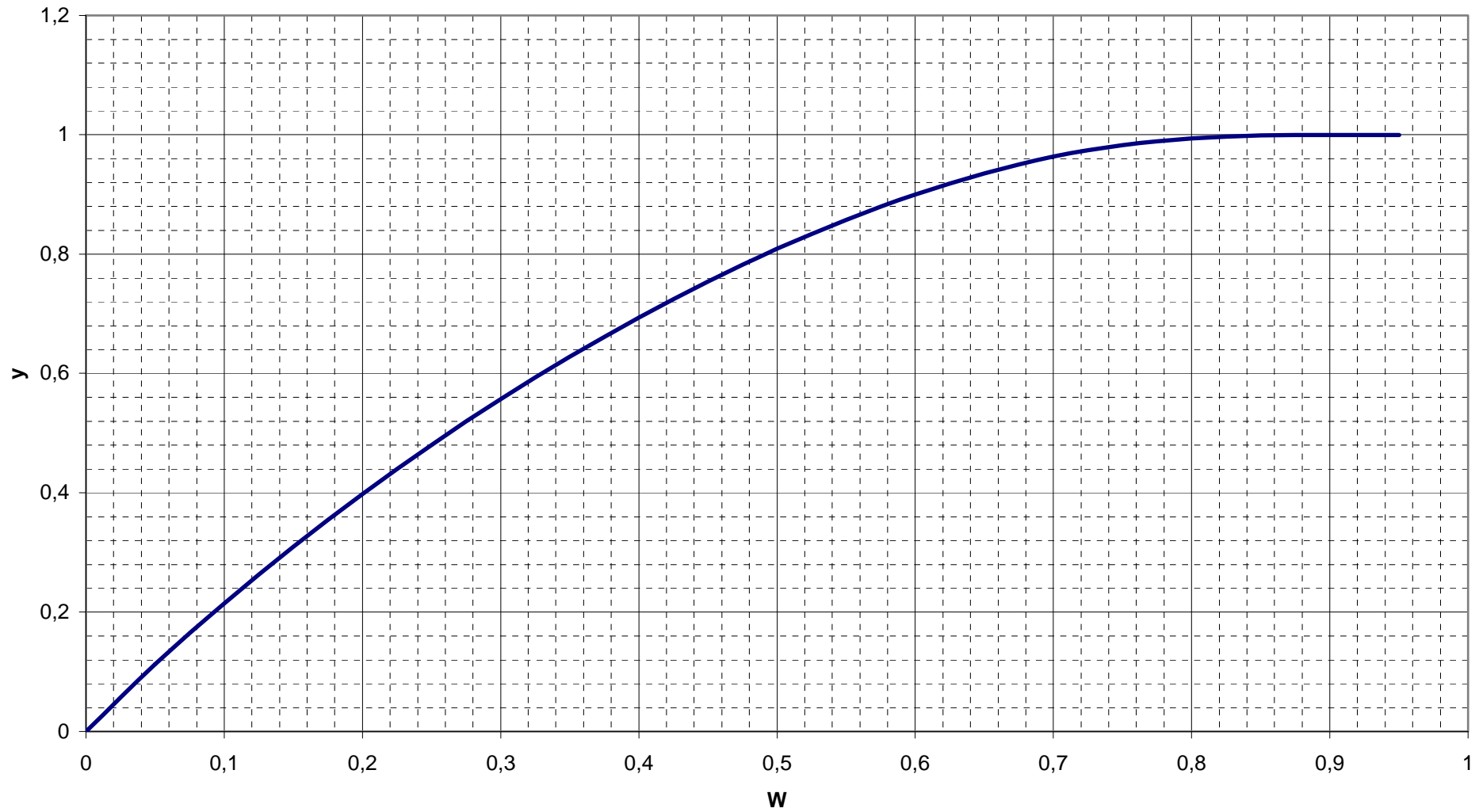
h (m)	W	y
0.5		
0.6		
0.7		
0.8		
0.9		
1		

- Tracer les coordonnées des points (W,y) sur le graphique suivant.
- Déterminer la hauteur pseudo-uniforme.
- Montrer que pour Q_{aval} et B_{aval} on trouve la même solution.

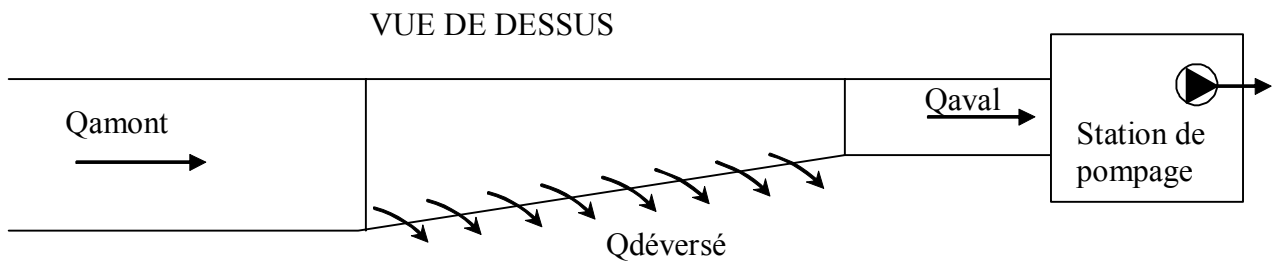
Pente des canalisations à l'amont et à l'aval du déversoir (rugosité $K_s=70$)

- Calculer la hauteur critique à l'amont et à l'aval du déversoir.
- Conclure sur le régime d'écoulement à l'amont et à l'aval du déversoir.
- Quelle est la pente de la canalisation à l'aval du déversoir pour garantir un écoulement pseudo-uniforme dans le déversoir ?
- Quelle est la pente maximale de la canalisation à l'amont du déversoir pour garantir un écoulement pseudo-uniforme dans le déversoir ?

Evolution de y en fonction de W au régime pseudo-uniforme pour $k=2$ et $\theta=-0,2$



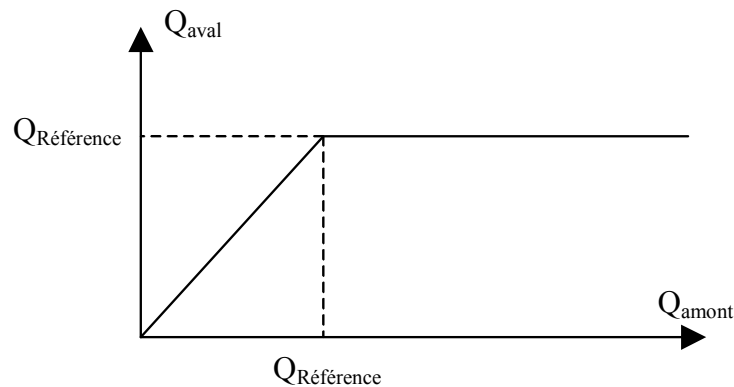
4.11 Etude du fonctionnement d'un déversoir d'orage en tête d'un station de pompage



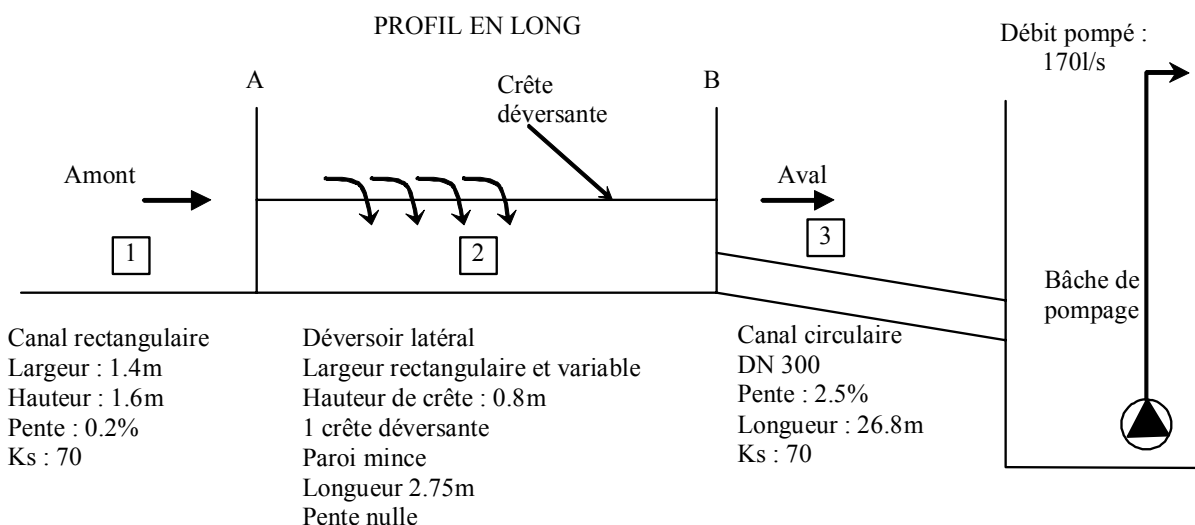
D'un point de vue théorique, l'objectif d'un déversoir est de contrôler le débit aval conservé de la façon suivante :

- tant que le débit amont n'atteint pas un débit limite appelé débit de référence, le débit amont est identique au débit aval, c'est-à-dire qu'il n'y a pas de déversement,
- dès que le débit amont est supérieur au débit de référence on veut que le débit aval conservé soit égal au débit de référence.

La figure suivante illustre le principe de fonctionnement d'un déversoir.

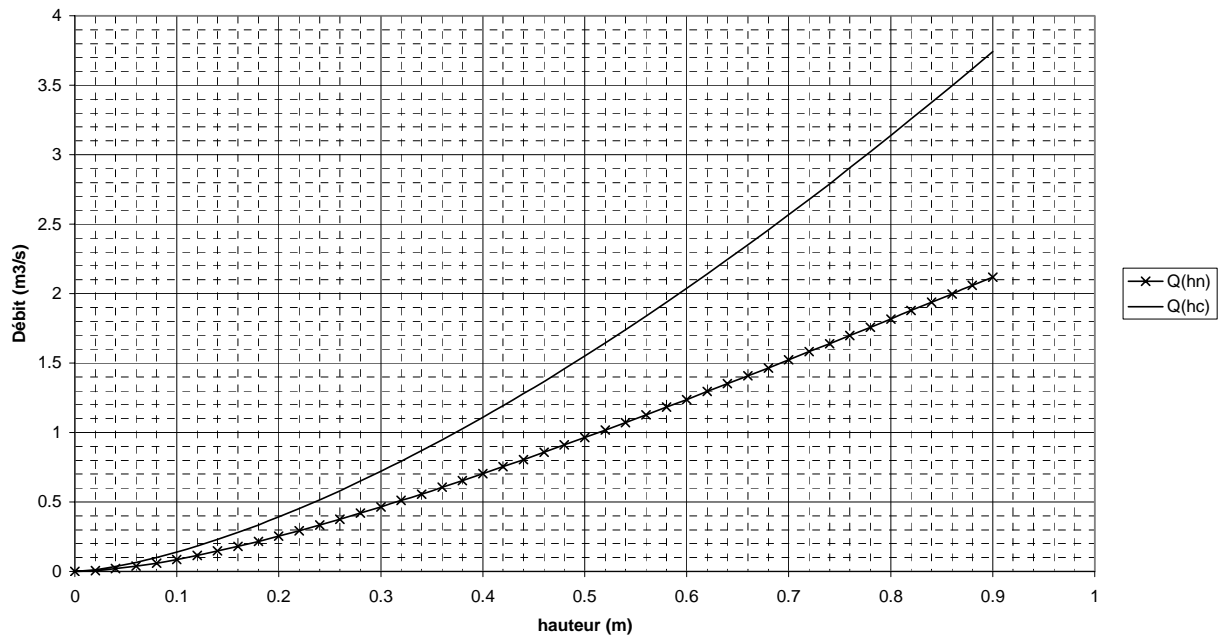


L'objectif de cette étude est de déterminer l'évolution des hauteurs d'eau dans le déversoir suivant :



La pompe permet de garantir un débit de 170l/s quelle que soit la charge dans la bâche de pompage et quels que soient le débit amont et la charge dans le déversoir.

Evolution du débit normal et critique en fonction de la hauteur d'eau dans un canal rectangulaire de largeur 1.4m, $K_s=70$ et $I=0.2\%$



Débit de référence

On se place d'un point de vue hydraulique au débit amont maximal pour lequel le déversoir ne déverse pas. Ce débit est appelé débit de référence.

On supposera que la courbe de remous dans le déversoir non prismatique est constante (hauteur d'eau constante) dans ce cas uniquement.

Les pertes de charge dans la canalisation aval seront supposées uniquement linéaires. Cette perte de charge sera calculée avec la relation de Manning-Strickler.

Quel est le débit de référence ? Quelle est la hauteur d'eau dans le déversoir ?

Pour ce débit, caractériser le type de pente de la canalisation amont (pente faible, forte, ...).

Quel est le type de courbe de remous que l'on aura dans la canalisation amont ?

Déterminer la perte de charge dans la canalisation aval supposée en charge.

Tracer sur le graphique du profil en long fourni en annexe :

- la courbe de remous dans la canalisation amont (sans calcul),
- la courbe de remous dans le déversoir,
- la ligne piézométrique dans la canalisation 3,
- le niveau d'eau dans la bêche de pompage.

Déterminer la hauteur d'eau dans la bêche de pompage.

Courbes de remous du déversoir

Afin de permettre le calcul complet du déversoir, on fournit en annexe le graphique de la courbe de remous adimensionnelle adapté à ce déversoir. On supposera que le régime d'écoulement ne change pas dans le déversoir.

Déterminer l'angle d'entonnement du déversoir ainsi que la tangente de cet angle.

Déterminer la hauteur critique au point le plus à l'aval dans le déversoir. Que pouvez-vous conclure sur le régime d'écoulement ?

Pour les valeurs de hauteur d'eau suivantes, déterminer la hauteur d'eau amont ainsi que le débit amont correspondant :

h_{aval} (m)	Q_{aval} (m ³ /s)	V_{aval} (m/s)	H_{aval} (mCE)	w/H	y_{aval}	X_{aval}
0.867	0.17					
0.922	0.17					
1.052	0.17					
1.130	0.17					
1.324	0.17					

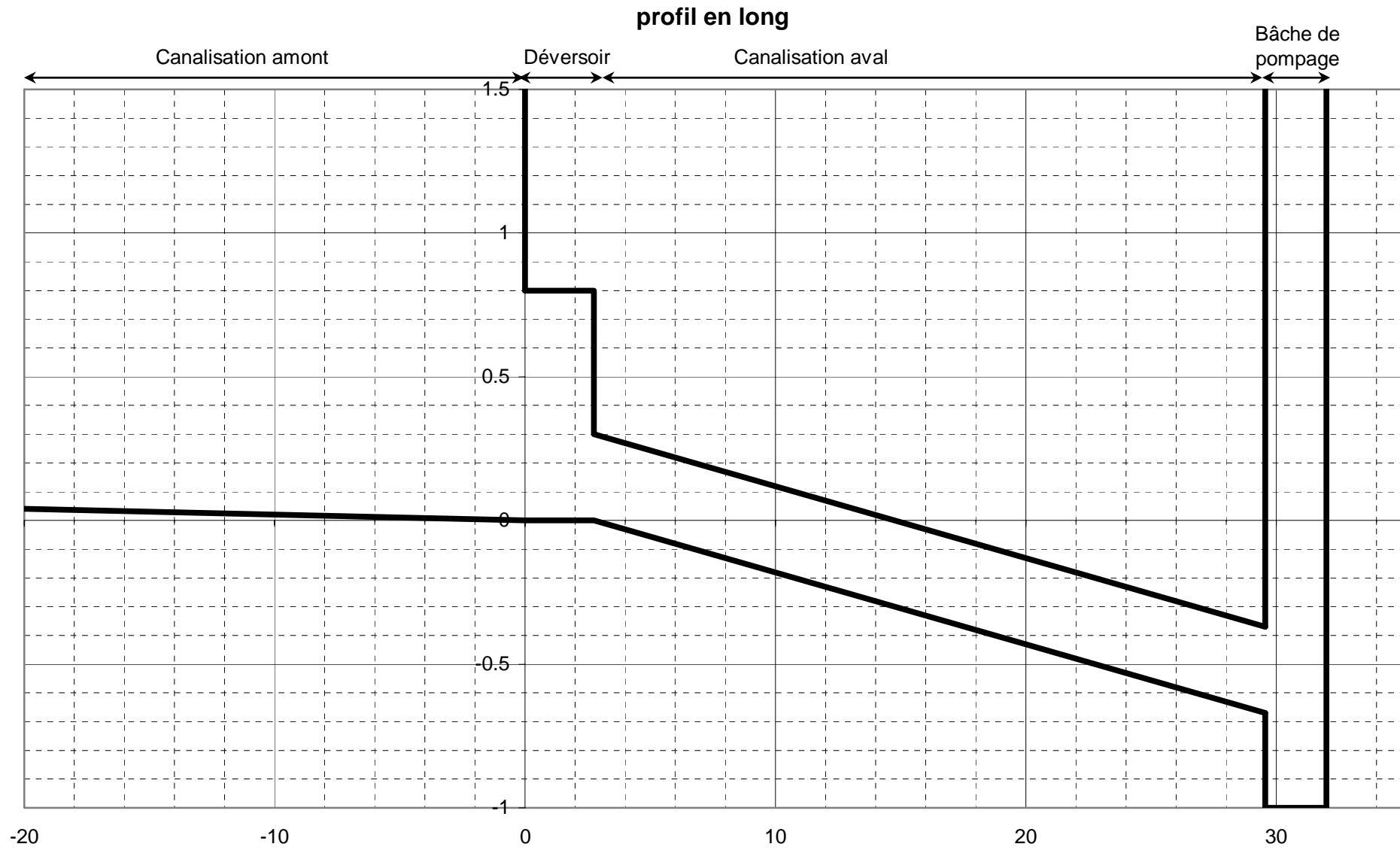
b	x_{aval} (m)	x_{amont} (m)	X_{amont}	y_{amont}	h_{amont} (m)	V_{amont} (m/s)	Q_{amont} (m ³ /s)

En fonction des débits calculés précédemment dans la canalisation amont, caractériser le type de courbe de remous dans ce canal.

Q_{amont}	Type de pente	Point de contrôle	Type de courbe de remous

Tracer sur le graphique du profil en long fourni en annexe :

- ⇒ La hauteur d'eau aval et amont dans le déversoir,
- ⇒ la courbe de remous dans le déversoir à main levée (sans calcul),
- ⇒ la ligne piézométrique dans la canalisation 3,
- ⇒ le niveau d'eau dans la bêche de pompage.



courbe de remous dans le déversoir : $Teta=-0.4, F<1$

