

Hydraulique 2

Fiches de révision

David Consuegra | Timur Gökoc

Sommaire

- Profils M et S
- Exemple de profils
- Energie totale
- Equation de Manning
- Niveau de danger et Niveau d'intensité
- Obstruction de ponts
- Génie biologique ou Génie végétal

Travaux pratiques

- ☐ Calcul de la profondeur normale
- ☐ Calcul de la profondeur critique
- ☐ Profil M1
- ☐ Profil S1S2S3
- ☐ Profil M1M2

— H normale ou torrentiel
 — H critique

La ligne d'eau cherche toujours à converger vers « *H normale* »

Ecoulement :

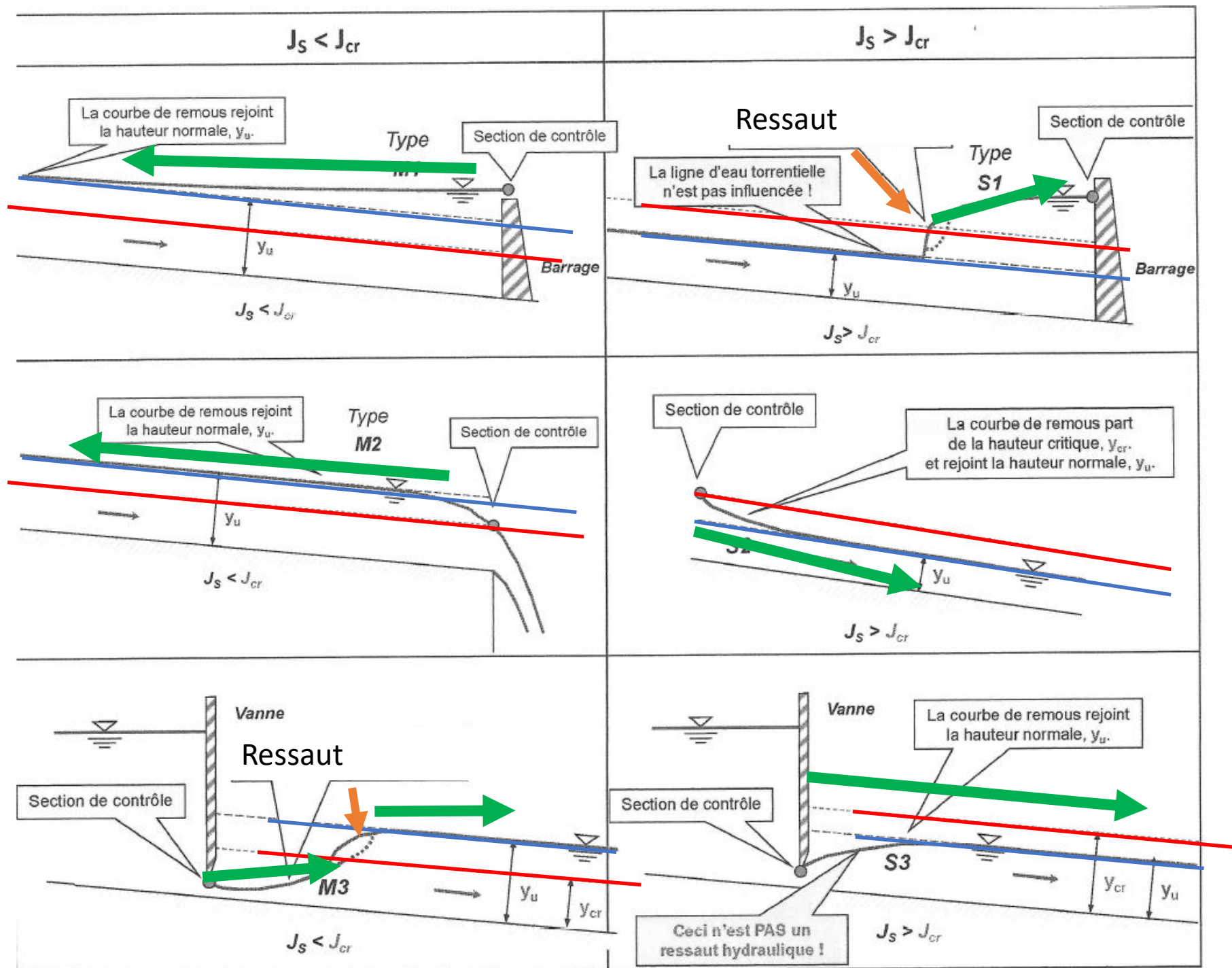
- M : Fluvial (supercritical)
- S : torrentiel (subcritical)

M → S : profondeur critique

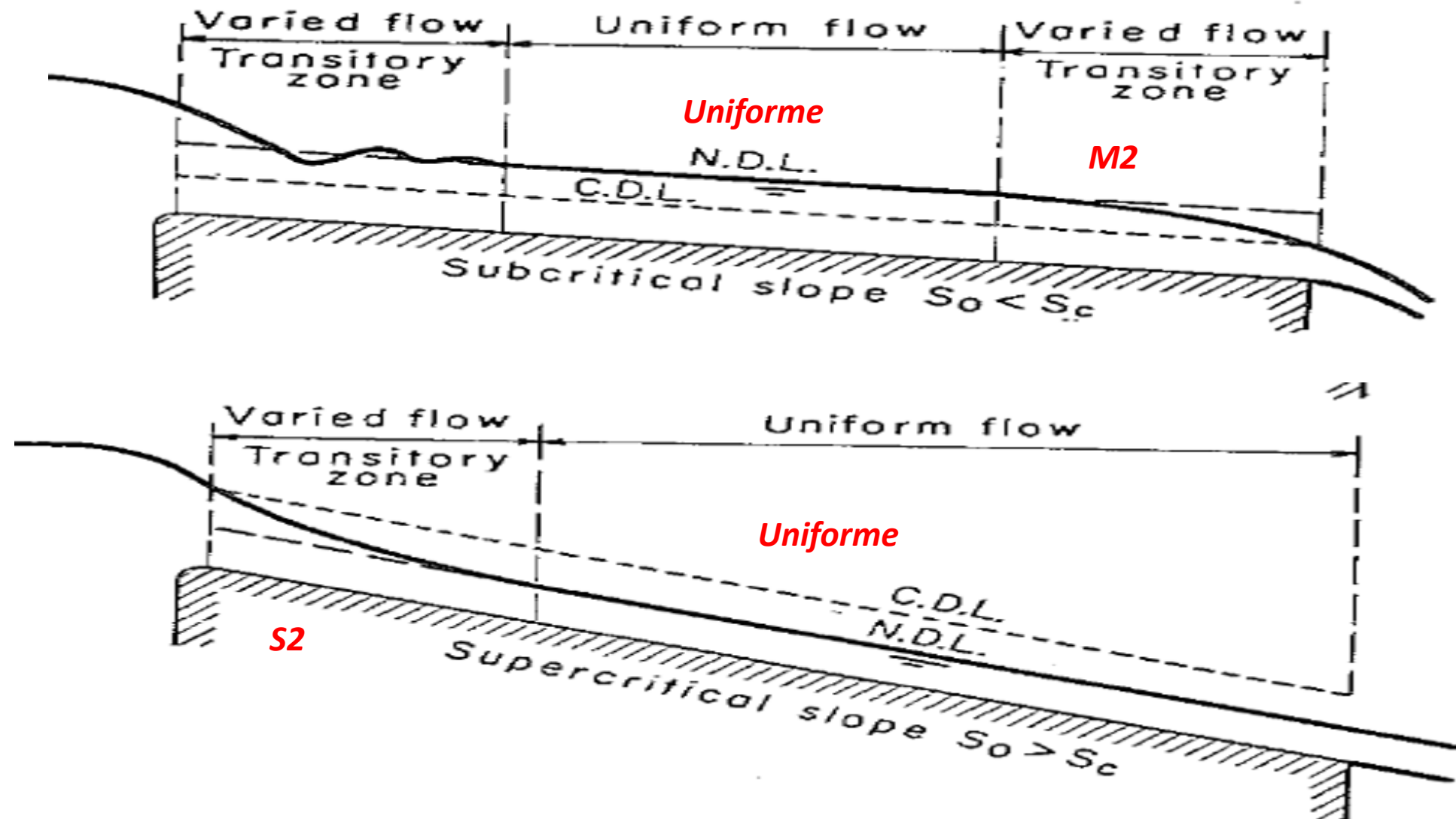
S → M : ressaut hydraulique

→ Sens du calcul

[Sommaire](#)

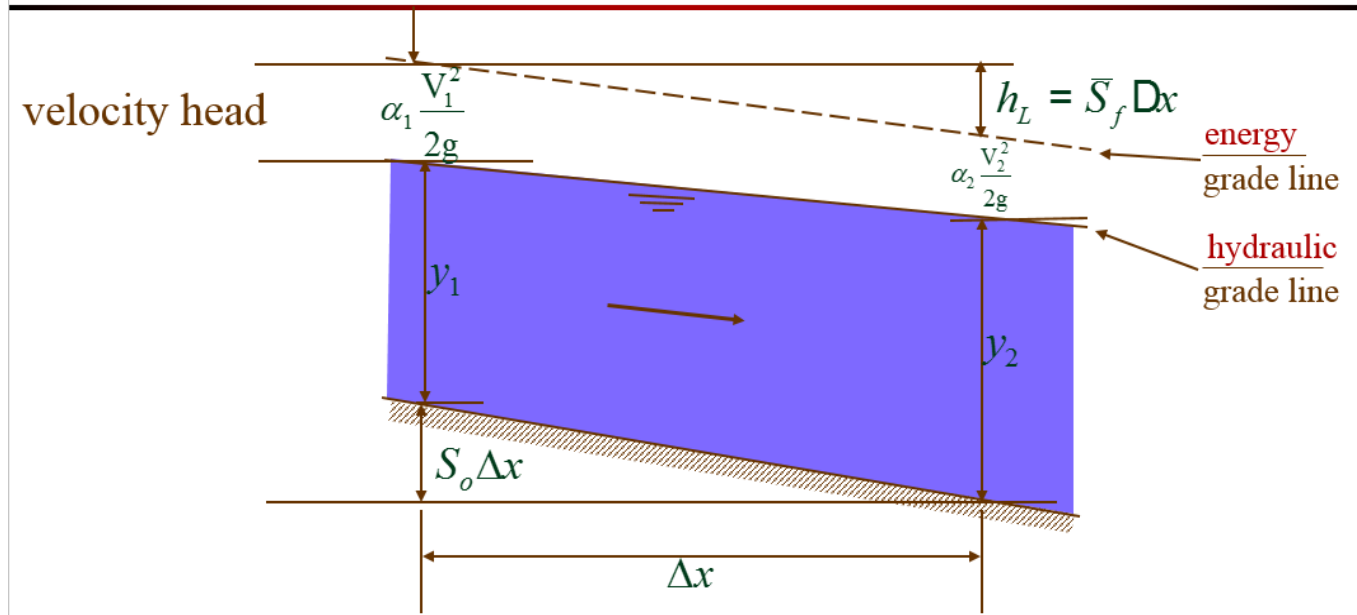


Exemple de profil (vidange d'un lac)



Energie totale

Open Channel Flow: Energy Relations



Bottom slope (S_o) not necessarily equal to EGL slope (S_f)

Energy Equation for Open Channel Flow

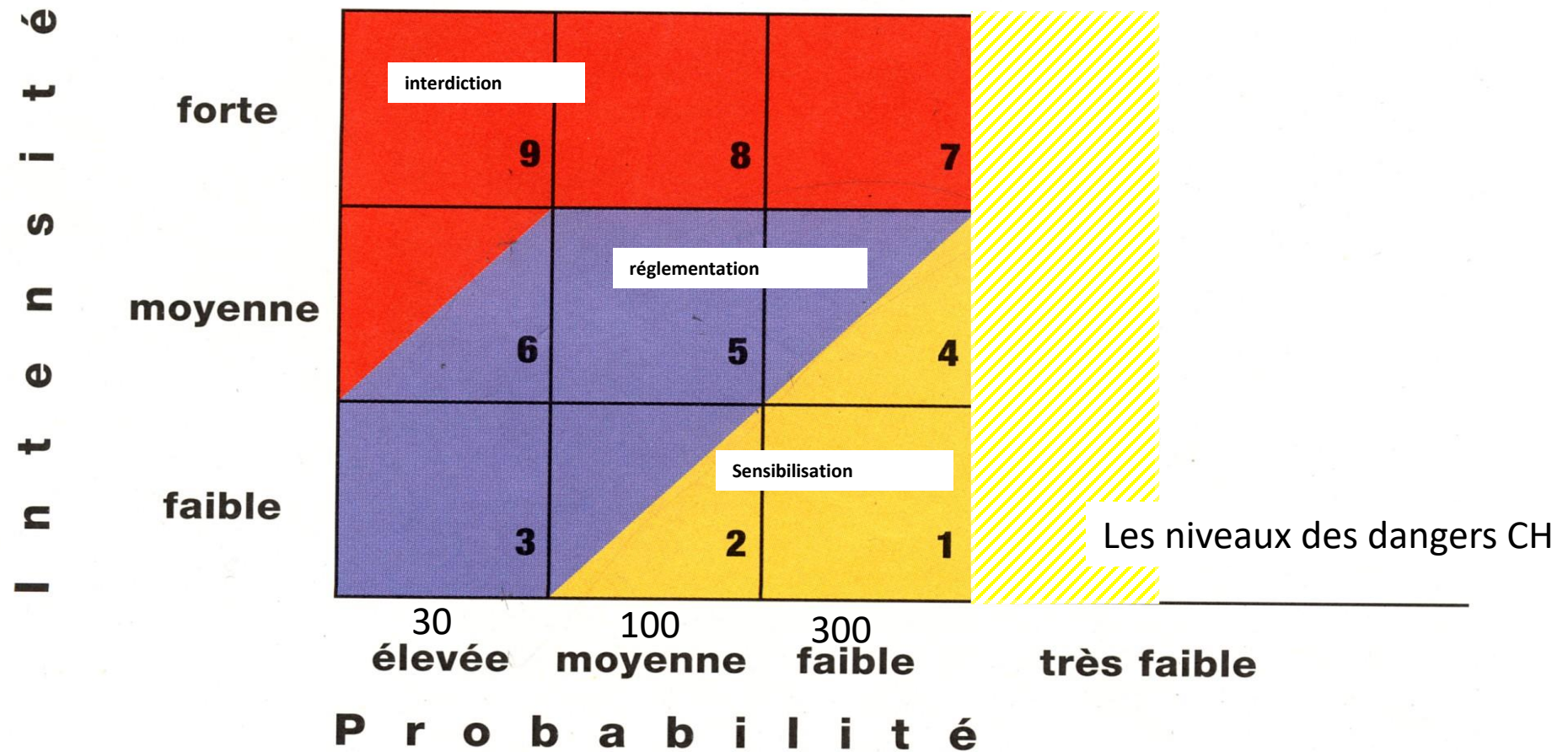
$$y_1 + \frac{V_1^2}{2g} + S_o \Delta x = y_2 + \frac{V_2^2}{2g} + S_f \Delta x$$

Equation de Manning

$$S_f = \frac{Q^2 n^2}{A^2 R^{4/3}}$$

$$\Delta x = \frac{\frac{\Delta E}{S_0 - S_f}}{2} = \frac{2 \cdot \Delta E}{S_0 - S_f}$$

Niveau de danger & Niveau d'intensité



Niveau de danger
&
Niveau d'intensité



Inondations

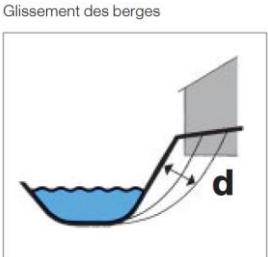


Erosion des berges



Laves torrentielles

Forte	$h > 2\text{ m}$ ou $v \times h > 2\text{ m}^2/\text{s}$	$d > 2\text{ m}$	$h > 1\text{ m}$ et $v > 1\text{ m/s}$
Moyenne	$2\text{ m} > h > 0.5\text{ m}$ ou $2\text{ m}^2/\text{s} > v \times h > 0.5\text{ m}^2/\text{s}$	$2\text{ m} > d > 0.5\text{ m}$	$h < 1\text{ m}$ ou $v < 1\text{ m/s}$
Faible	$h < 0.5\text{ m}$ ou $v \times h < 0.5\text{ m}^2/\text{s}$	$d < 0.5\text{ m}$	



Détermination du
degré de danger de
crues

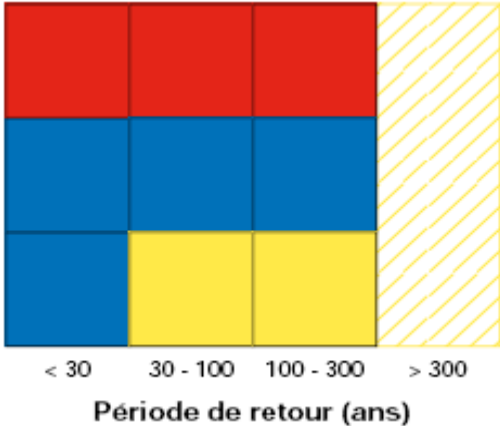
d = épaisseur de la couche
érodée
h = hauteur de l'eau
v = vitesse de l'eau

Intensité

$h > 2\text{ m}$ ou
 $v \times h > 2\text{ m}^2/\text{s}$
 $d > 2\text{ m}$

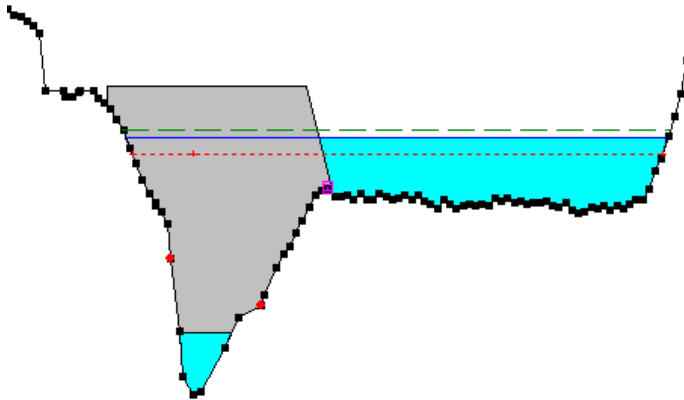
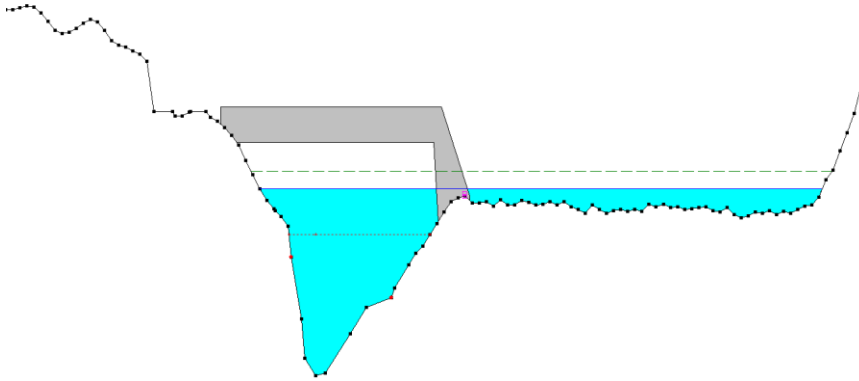
 $2\text{ m} > h > 0,5\text{ m}$ ou
 $2\text{ m}^2/\text{s} > v \times h > 0,5\text{ m}^2/\text{s}$
 $2\text{ m} > d > 0,5\text{ m}$

 $h < 0,5\text{ m}$ ou
 $v \times h < 0,5\text{ m}^2/\text{s}$
 $d < 0,5\text{ m}$



Si $Q < 1\text{ [m}^3/\text{s]}$, débit dit
statique, et donc calcul
d'intensité avec h.
Sinon : $v \times h$

Obstruction des ponts



Tirant d'air	Niveau effectif du tablier inférieur	Conséquence pour les flottants
1 m	normal	Passage libre sous le pont
½ m	- 1 m	Obstruction au pont
- ½ m	- 2 m	Obstruction au pont

Sur HEC-RAS, pour simuler une obstruction de ponts, on abaisse le bas du tablier.

Génie végétal

- [GV – Domaines associés](#)
- [GV – Domaines d'application](#)
- [GV – Techniques mixtes](#)
- [GV – Végétaux](#)
- [GV – Avantages](#)
- [GV – Limites](#)
- [GV – Matériaux secondaires : géotextiles biodégradables](#)
- [GV – Matériaux secondaires : bois](#)
- [GV – Protection de pieds de berges](#)
- [GV – Protection des talus](#)
- [GV – Ensemencement hydraulique](#)

Génie biologique ou Génie Végétal (GV)

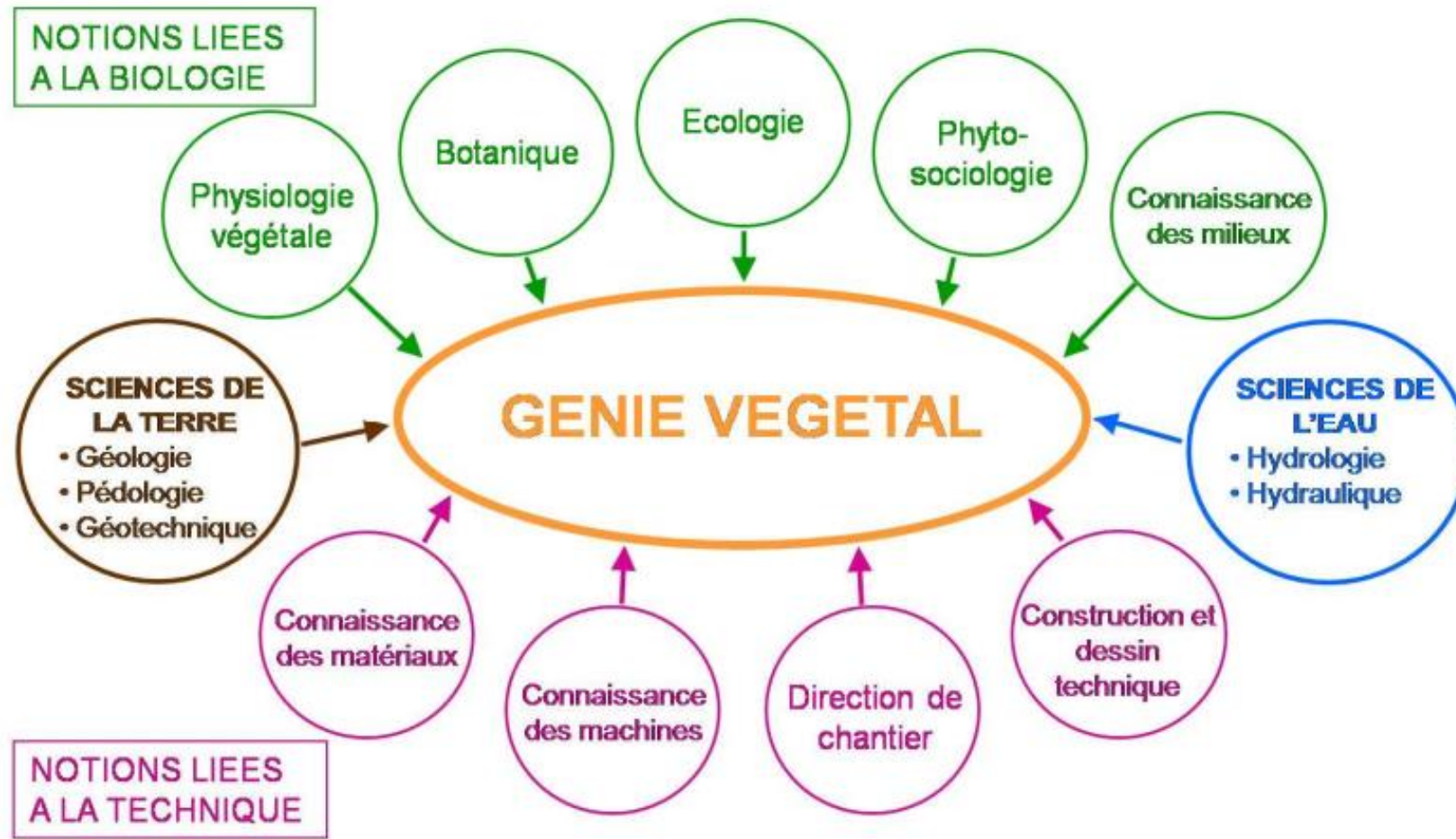
- **Définition**

Techniques végétales mises à disposition de l'ingénieur pour des ouvrages de **stabilisation de talus et l'aménagement de cours d'eau**. Ces méthodes utilisent des végétaux entiers ou partiels, souvent en combinaison avec des matériaux inertes (pieux, géotextiles, rondins de bois, ...)

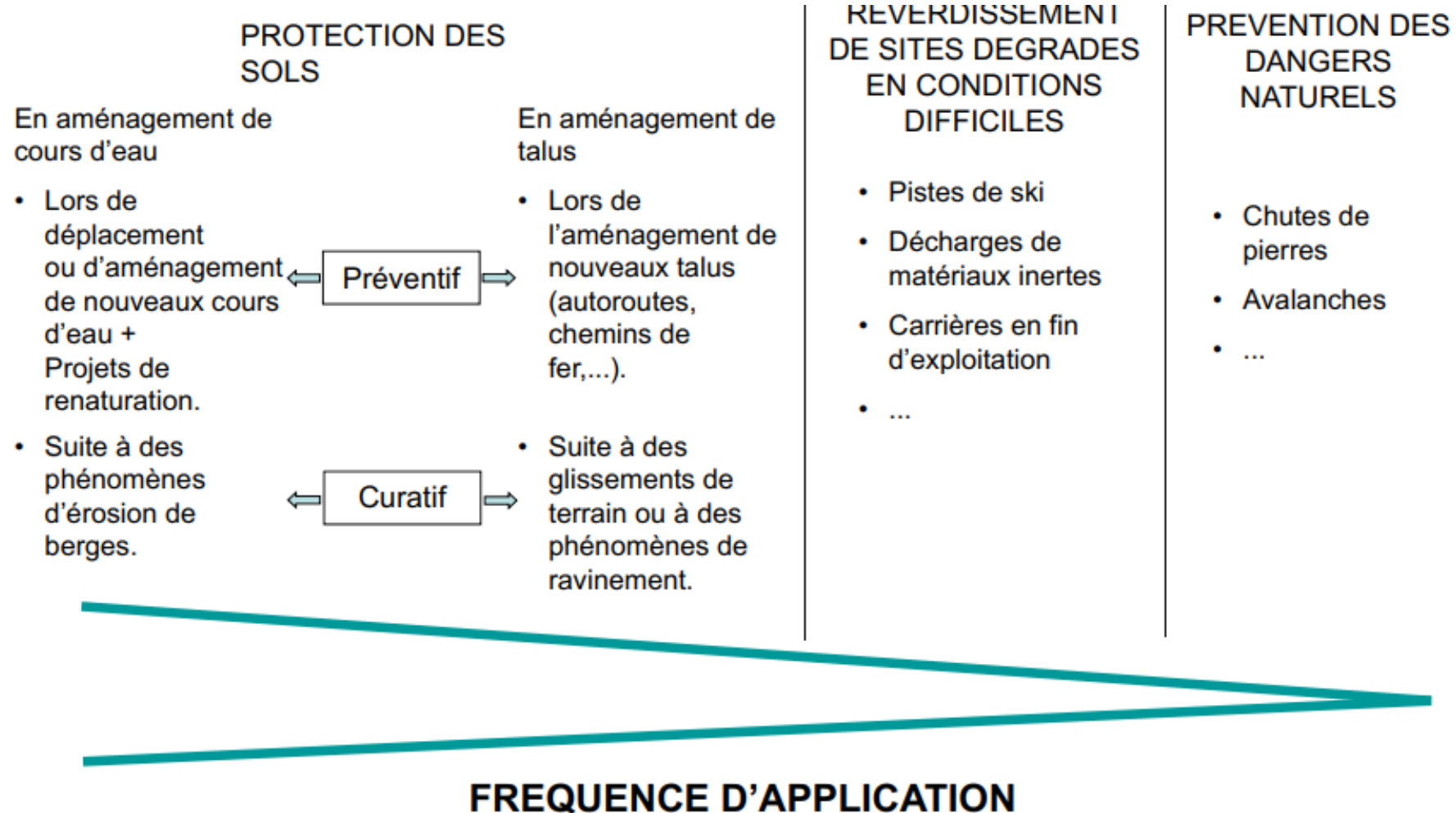
- **Objectifs**

- Offrir une solution efficace à un problème de **protection des sols** (érosion, glissement, ...)
- Engendrer un coût de réalisation raisonnable, dont le montant reste à la mesure du problème constaté et des avantages procurés
- **Atténuer considérablement les principaux impacts négatifs** sur les écosystèmes et le paysage, induits par les méthodes traditionnelles de protection contre l'érosion

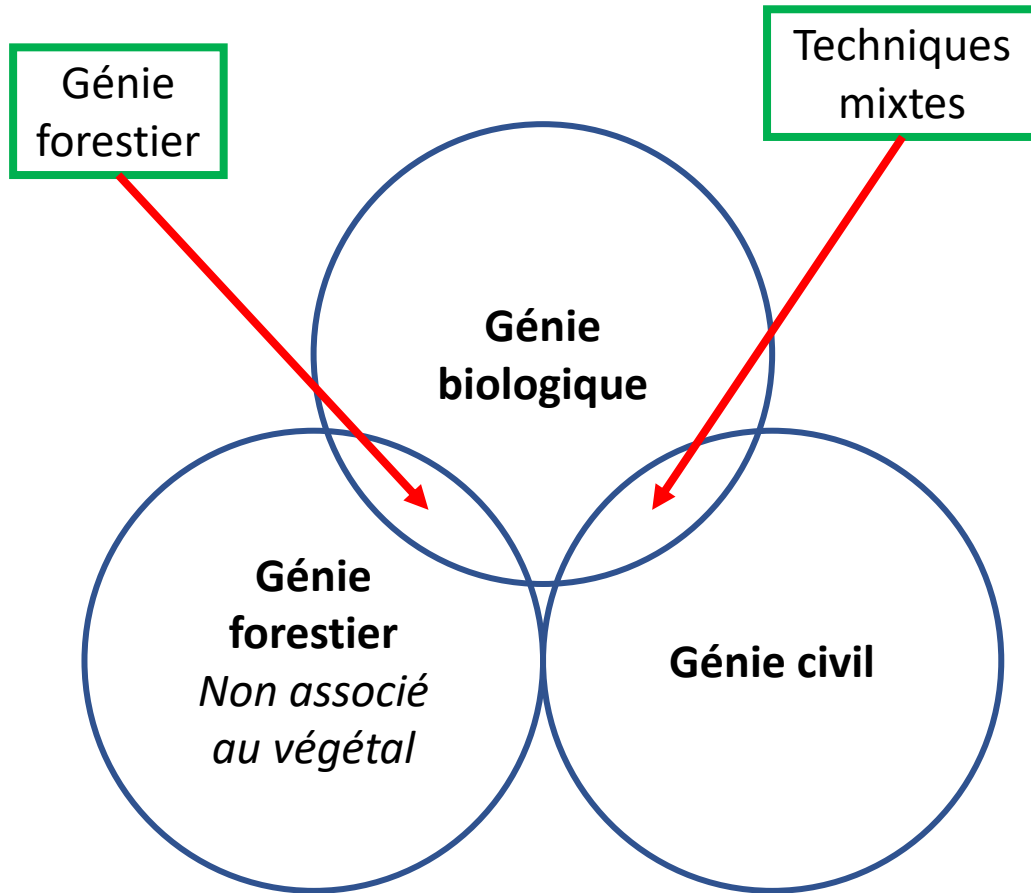
GV – Domaines associés



GV – Domaines d'applications



GV – Techniques mixtes



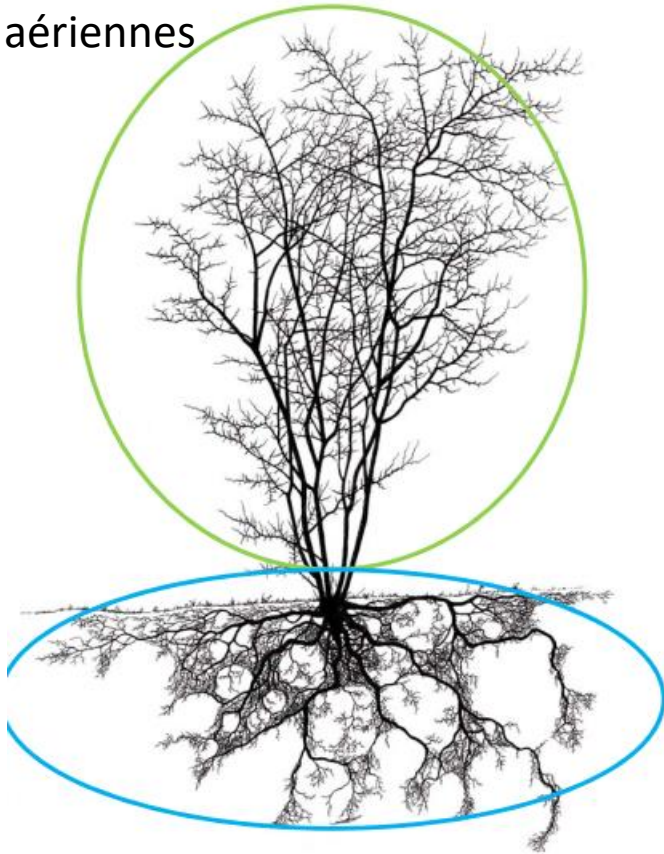
Enrochement de pied de berge



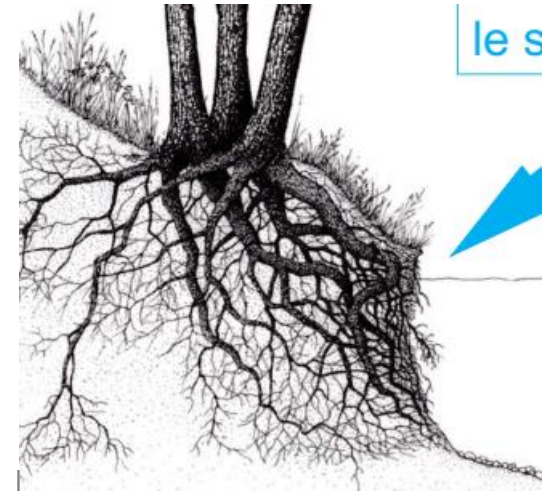
Caisson en rondins, végétalisé

GV – Végétaux

Volume de tiges
aériennes



RAPPORT RACINE / TIGE en volume		VALEURS INDICATIVES DE RESISTANCE A LA FORCE D'ARRACHEMENT en N/m²	
Plantes de steppes	5 - 15	Sable fin (<0.2mm)	1
Viorne orbier	2,3	Petit gravier (<2mm)	12
Saule drapé	1,8	Petits galets	40-60
Saule noircissant	1,8	Gazon	30
Saule à grandes feuilles	1,7	« Boudin » de roseaux	60
Aulne vert	1,6	Herbacées adaptées + géotextile	120
Saule pourpre	1,5	Boutures de saules	100
Frêne	1,5	Fascine d'hélophytes	120
Chèvrefeuille	1,3	Lits de plants et pançons	120-150
Troène	1,2	Tressages de saules	150
Tamarin	1,2	Fascinés de saules	200 - 250
Erable sycomore	1,1	Couches de branches à rejets	>300 (450)
Tremble	1,1	Caissons végétalisés	500 (600)
Argousier	1,0	Enrochements (libres)	250 – 350 et +
Saule blanc	0,5		
Peuplier blanc	0,5		
Peuplier noir cult.	<0,4		



Ancrage des berges dans
le système racinaires

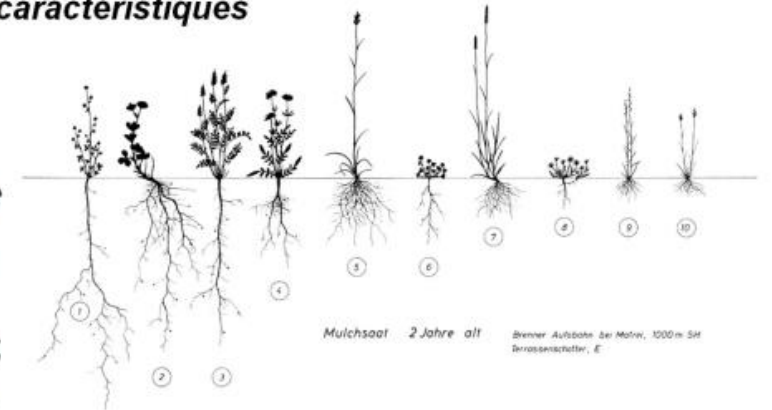
Volume de tiges
souterraines

GV – Végétaux

Prélèvement en milieu naturel (*un chantier d'entretien peut être l'occasion d'un prélèvement*)

- **Aptitudes biotechniques (liées aux caractéristiques physiologiques de la plante) :**

- ⇒ Caractère pionnier;
- ⇒ capacité de fixation du sol (profondeur d'enracinement, forme des racines, masse du chevelu racinaire, résistance à la traction);
- ⇒ Résistance aux sollicitations mécaniques (glissements, érosions);



- ⇒ Port de la plante (buissonnant, arbustif, arborescent, herbacées hautes, basses);
- ⇒ flexibilité, souplesse;
- ⇒ capacité de rejeter.

GV – Avantages

- Aspects biotechniques et hydrauliques
 - Effet de stabilisation dynamiquement croissant
 - Souplesse des ouvrages et résistance (ancrage dans la berge, tensions d'arrachement)
 - Actions hydromécaniques de la végétation dans le sol, interception, absorption et transpiration d'eau, ralentissement des vitesses d'écoulement
 - Relations avec les nappes non perturbées
- Aspects biologiques et paysagers
 - Amélioration de l'autoépuration du cours d'eau
 - Augmentation de la biodiversité et de la valeur du milieu par reconstruction du cordon boisée
 - Contribution au maintien et renforcement de biotopes
 - Réservoir génétique et patrimonial
 - Augmentation de la teneur en oxygène de l'eau et de la fraîcheur

GV – Limites

- Milieu trop artificiel, emprise de projet trop restreinte
- Limite altitudinale de la végétation
- Substrat rocheux
- Régime torrentiel
- Efficacité de stabilisation non optimale dès la mise en place
- Entretien parfois accru de la végétation, notamment sur certain cours d'eau de petite taille

GV – Matériaux secondaires : Géotextiles biodégradables

Fonctions suivantes :

- Eviter l'érosion superficielle des sols avant la reprise des végétaux
- Favoriser un démarrage rapide de la végétation par l'effet de serre
- Favoriser un développement optimal de la végétation par le maintien d'un microclimat
- Contribuer à l'enrichissement du sol par décomposition

Géotextiles tissés

Treillis de coco ou jute dont le poids et l'efficacité en terme de protection varient en fonction de la nature des fibres et de la densité des mailles (400g/m² à 1400g/m²)



Géotextiles non tissés

Constitués d'un amalgame plus ou moins épais de fibres de coco agglomérées, renforcé soit par un filet de jute, de coco ou de nylon, voire caoutchouc naturel



GV – Matériaux secondaires : bois



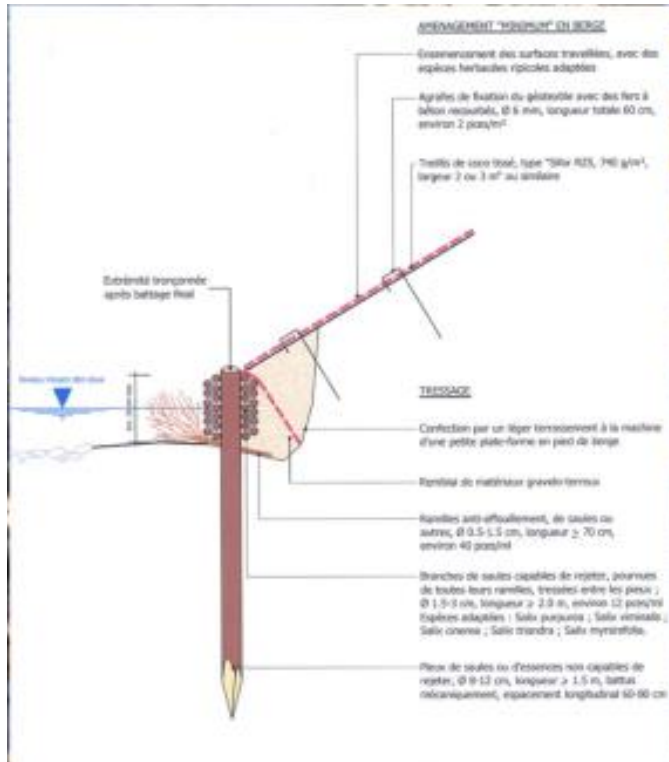
Rondins



Pieux

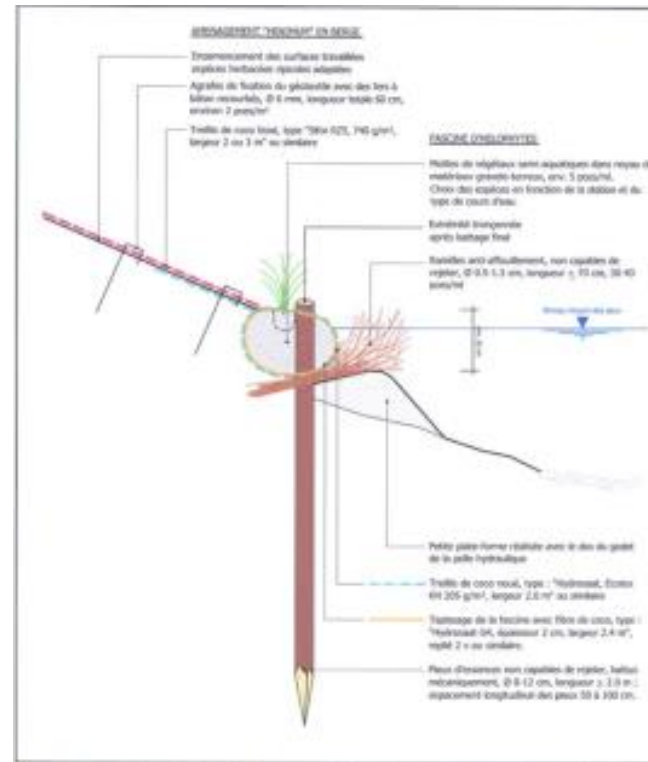
GV – Protection de pieds de berges

Tressage de saules



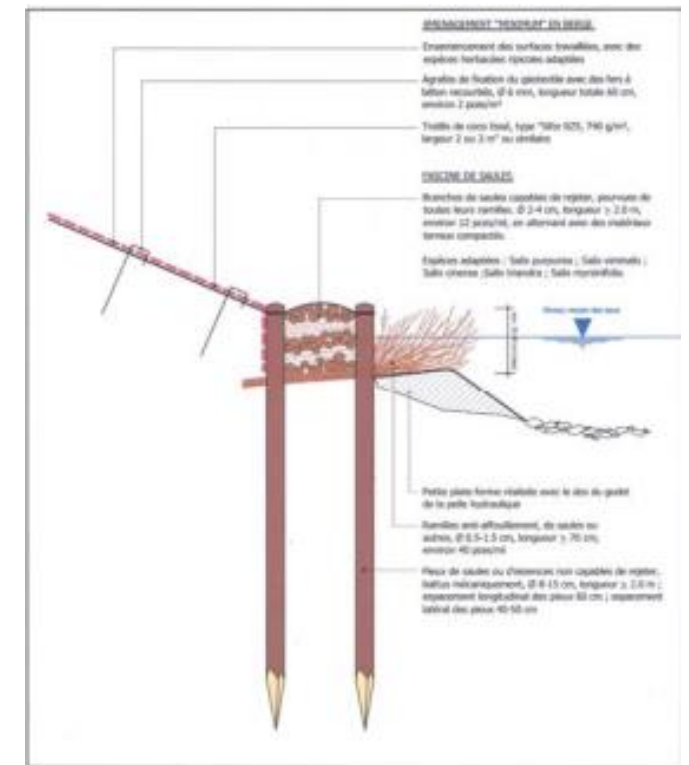
Pieux et branches,
Minimiser l'attente entre le
prélèvement et l'utilisation

Fascine d'hélophytes



Pieux, ramilles anti-
affoulement, motte de
végétaux semi-aquatiques

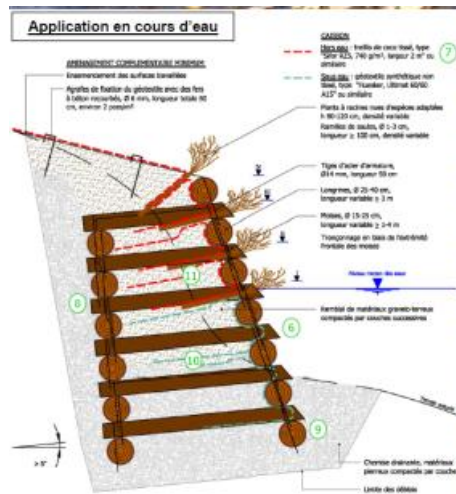
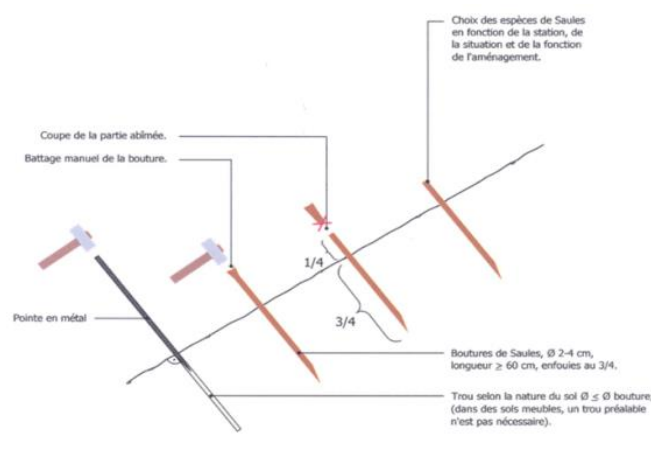
Fascine de saules à double rangée de pieux



Pieux, branches de saules,
treillis, ramilles anti-
affoulement, gravelo-terreux

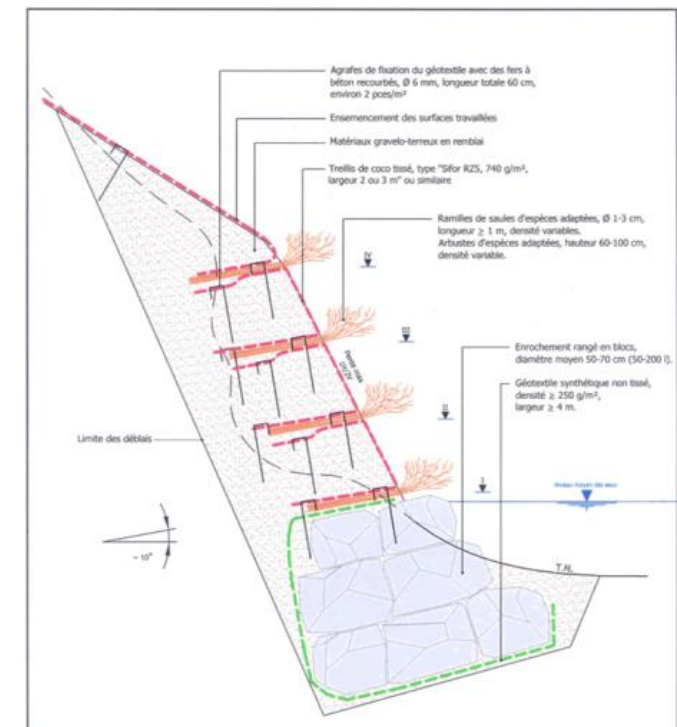
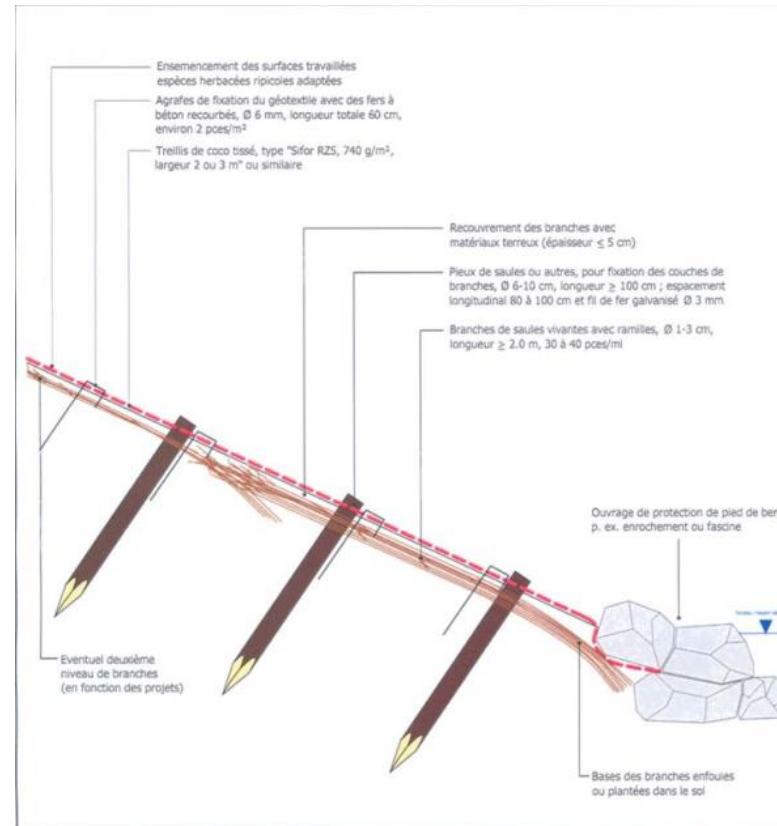
GV – Protection des talus

Bouturage



Caissons en rondins végétalisés

Couche de branche à rejets



Lits de plants et plançons

GV – Ensemencement hydraulique

- Composants :
 - eau (substance porteuse),
 - semences (adaptées à la station),
 - mulch (substance organique protectrice),
 - Engrais starter ou longue durée
 - Produit adhésif
- Matériel :
 - Citerne – Pompe – Malaxeur – Lance
 - Camion avec pont ou tracteur/jeep
 - Utilisation possible de l'hélicoptère

Aménager des surfaces
inaccessibles

Généralement, accompagne des
techniques plus performantes
mais parfois revêt une
importance fondamentale

Travaux Pratiques

/!\ Calcul du débit en $[m^3/s]$ /!\

Calcul de la profondeur normale

1. Poser une hauteur normale (hn)
2. Calculer : surface mouillée, périmètre mouillé, rayon hydraulique, débit
3. **Valeur cible** pour le débit et faire modifier la hauteur normale

H. normale	[m]	0.3165
S. mouillée	[m ²]	1.5825
P. mouillé	[m]	5.6330
R. hydraulique	[m]	0.2809
Débit	[m ³ /s]	8.0000

- K : rugosité de Strickler = $1/n$ (ex : 100)
- n : rugosité de Manning (ex : 0.0035)
- b : largeur miroir
- S : pente
- Surface mouillée : $A = hn * b$
- Périmètre mouillé : $P = 2hn + b$
- R. hydraulique : $Rh = A/P$
- Débit : $Q = K * A * Rh^{2/3} * S^{1/2}$ [m³/s]

Calcul de la profondeur critique

1. Poser une hauteur critique (h_c)
2. Calculer : surface mouillée, Froude
3. *Valeur cible* sur le Froude (=1) et faire modifier la h_c

- b : largeur miroir
- S : section mouillée

Le débit reste le même que demandé

Hauteur critique	[m]	0.6567
Section	[m ²]	1.9700
Débit	[m ³ /s]	5.0000
Nombre de Froude	[-]	1.0000

- Surface mouillée : $A = h_c * b$
- Froude : $Fr = \sqrt{\frac{Q^2 b}{g S^3}}$

TP Profil M1

Canal :

- Largeur $L = 0.086 \text{ [m]}$
- Rugosité $= 110 \text{ [m}^{1/3}\text{/s]}$

Calcul Prof. Normale et prof. Crit. :

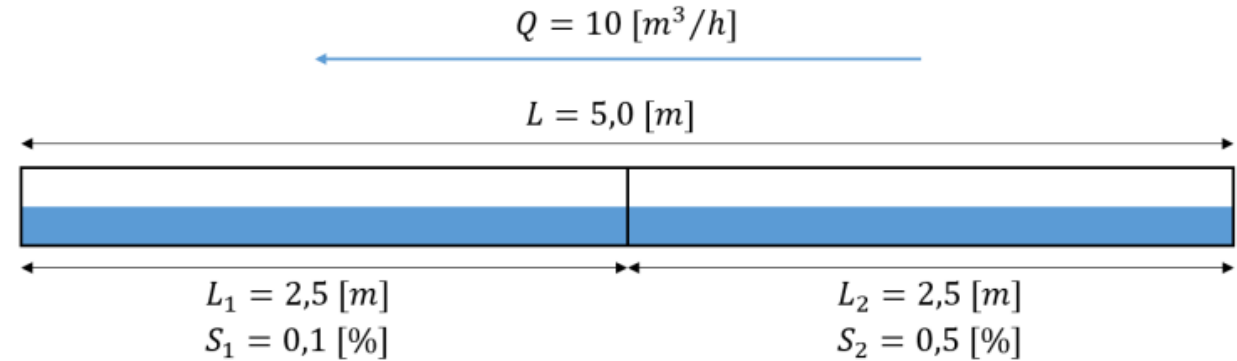
- Poser une hauteur normale
- Calculer : surface mouillée, périmètre mouillé, rayon hydraulique, débit
- **Valeur cible** pour le débit et faire modifier la hauteur normale
- Calculer Froude et profondeur critique

Obstacle :

- Vitesse critique $= Q/(\gamma_c * L)$
- $E_{cin} = V^2/g$
- $E_{min} = \gamma_c + E_{cin}$
- Hamont : Hauteur + hamont

Déversoir (seuil épais) :

- Hauteur totale des plaques $= w$
- H : poser et **valeur cible**
- Coefficient de débit – C_d
- Débit
- Hamont $= H + w$



Partie 2	Pente	[-]	0.005
	Profondeur normale	[m]	0.0521
	Surface mouillée	[m²]	0.004
	Périmètre mouillé	[m]	0.190
	Rayon hydraulique	[m]	0.024
	Débit	[m³/s]	0.003
	Débit	[m³/h]	10.000
	Débit imposé	[m³/h]	10.000
	Froude	[-]	0.867
	Profondeur critique	[m]	0.047
Obstacle	Hauteur	[m]	0.111
	Vitesse critique	[m/s]	0.682
	E_{cin}	[m]	0.024
	E_{min}	[m]	0.071
	hamont	[m]	0.182
Déversoir w		[m]	0.111
	H	[m]	0.061
	C_d	[-]	0.730
	Débit	[m³/s]	0.003
	Débit	[m³/h]	10.000
	hamont	[m]	0.172

TP Profil M1

- Tracer le fond du canal et représenter surfaces normales et critiques

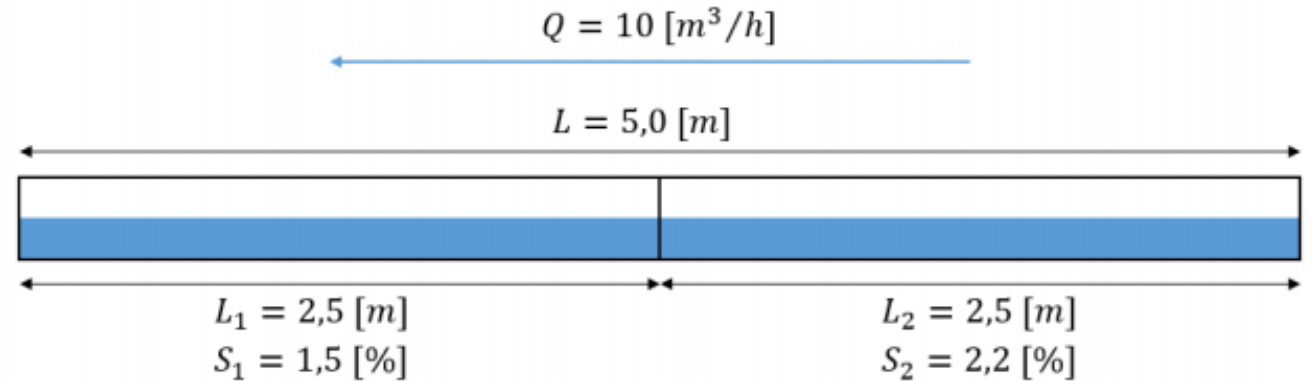
A savoir : pour deux pentes \neq , de 5.0 à 2.5, pente A puis de 2.4 à $-\infty$ pente B

Surface normale = position du fond du canal + prof. normale ($z+h_n$)

Surface critique = position du fond du canal + prof. critique ($z+h_c$)

Profondeur [m] h	Surface mouillée [m ²] A	Vitesse [m/s] V	Energie cinétique [m] Ec	Perimètre mouillé [m] P	Rayon hydraulique [m] Rh	Pente de la ligne d'énergie [-] Sf	Pente de la ligne d'énergie moyenne [-] Sfmoy	E spécifique [m] E	Différence d'énergie spécifique [m] ΔE	So-Sfmoy [-]	Distance [m] Δx	Coordonnées x [m] x	Position surface [m] z+h	Ligne d'énergie [m]
M1														
0.1718	0.0148	0.188	0.002	0.430	0.034	0.000		0.174				5.00	0.1718	0.1736
0.1717	0.0148	0.188	0.002	0.429	0.034	0.000	0.000	0.174	0.000	0.000	0.176	4.82	0.1718	0.1736
0.1716	0.0148	0.188	0.002	0.429	0.034	0.000	0.000	0.173	0.000	0.000	0.223	4.60	0.1719	0.1737
0.1715	0.0147	0.188	0.002	0.429	0.034	0.000	0.000	0.173	0.000	0.000	0.224	4.38	0.1719	0.1737
0.1714	0.0147	0.188	0.002	0.429	0.034	0.000	0.000	0.173	0.000	0.000	0.224	4.15	0.1720	0.1738

TP Profil S1,S2,S3



Canal :

- Largeur $L = 0.086 \text{ [m]}$
- Rugosité $= 110 \text{ [m}^{1/3}/\text{s]}$

Calcul Prof. Normale et prof. Crit. :

- Poser une hauteur normale
- Calculer : surface mouillée, périmètre mouillé, rayon hydraulique, débit
- Valeur cible** pour le débit et faire modifier la hauteur normale
- Calculer Froude et profondeur critique

Vanne :

- Hamont : fixer puis **valeur cible**
- Ouverture vanne : w
- Coefficient de contraction : C_c
- Coefficient : C_d
- Largeur miroir : b
- Débit : Q
- Position haut de la vanne
- Position bas de la vanne $= 0.5 * \text{pente} + w$

Partie 2	Pente	[-]	0.022
	Profondeur normale	[m]	0.0295
	Surface mouillée	[m ²]	0.003
	Périmètre mouillé	[m]	0.145
	Rayon hydraulique	[m]	0.018
	Débit	[m ³ /s]	0.003
	Débit	[m ³ /h]	10.000
	Débit imposé	[m ³ /h]	10.000
	Froude	[-]	2.032
	Profondeur critique	[m]	0.047

Vanne	hamont	[m]	0.131
	w	[m]	0.036
	C_c	[-]	0.605
	C_d	[-]	0.560
	b	[m]	0.086
	Q	[m ³ /s]	0.003
	Q	[m ³ /h]	10.000
	Position haut de la vanne	[m]	0.160
	Position bas de la vanne	[m]	0.043

Ligne d'énergie = $E_{cin} + z + h$

TP Profil S1,S2,S3 Quantité de mouvement $M = \frac{Q^2}{9.81 \cdot h \cdot b} + \frac{h^2 b}{2} \text{ [m}^3\text{] [x10}^6\text{ cm}^3\text{]}$
 Qté de mvt : aval = amont, permet de trouver coordonnées ressaut

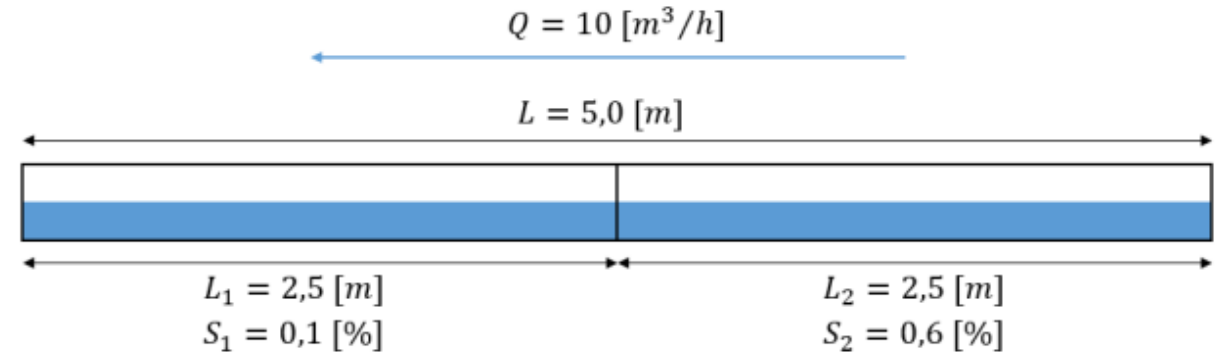
Profondeur [m] h	Surface mouillée [m2] A	Vitesse [m/s] V	Energie cinétique [m] Ecin	Perimètre mouillé [m] P	Rayon hydraulique [m] Rh	Pente de la ligne d'énergie [-] Sf	Pente de la ligne d'énergie moyenne [-] Sfmoy	E spécifique [m] E S1	Différence d'énergie spécifique [m] ΔE	So-Sfmoy [-]	Distance [m] Δx	Coordonnées x [m] x	Position surface [m] z+h	Ligne d'énergie [m]	Quantité de mouvement [cm3] M
0.1308	0.0112	0.247	0.003	0.348	0.032	0.000		0.134				4.500	0.138	0.141	805
0.1300	0.0112	0.248	0.003	0.346	0.032	0.000	0.000	0.133	0.001	0.014	0.051	4.449	0.138	0.141	797
0.1200	0.0103	0.269	0.004	0.326	0.032	0.001	0.001	0.124	0.009	0.014	0.666	3.783	0.138	0.142	695
0.1100	0.0095	0.294	0.004	0.306	0.031	0.001	0.001	0.114	0.009	0.014	0.660	3.123	0.138	0.142	603
0.1004	0.0086	0.322	0.005	0.287	0.030	0.001	0.001	0.106	0.009	0.014	0.623	2.500	0.137	0.143	525
0.1004	0.0086	0.322	0.005	0.287	0.030	0.001		0.106				2.500	0.137	0.143	525
0.1000	0.0086	0.323	0.005	0.286	0.030	0.001	0.001	0.105	0.000	0.021	0.019	2.481	0.137	0.143	521
0.0900	0.0077	0.359	0.007	0.266	0.029	0.001	0.001	0.097	0.009	0.021	0.423	2.058	0.136	0.143	450
0.0800	0.0069	0.404	0.008	0.246	0.028	0.002	0.001	0.088	0.008	0.020	0.405	1.653	0.135	0.144	390

Hauteur du lac d'alimentation : énergie pour coordonnée x = 0.0

TP Profil M1M2

Canal :

- Largeur $L = 0.086 \text{ [m]}$
- Rugosité $= 110 \text{ [m}^{1/3}/\text{s]}$



Calcul Prof. Normale et prof. Crit. :

- Poser une hauteur normale
- Calculer : surface mouillée, périmètre mouillé, rayon hydraulique, débit
- Valeur cible** pour le débit et faire modifier la hauteur normale
- Calculer Froude et profondeur critique

Profondeur [m] h	Surface mouillée [m ²] A	Vitesse [m/s] V	Energie cinétique [m] Ecin	Périmètre mouillé [m] P	Rayon hydraulique [m] Rh	Pente de la ligne d'énergie [-] Sf	Pente de la ligne d'énergie moyen [-] Sfmoy	E spécifique [m] E	Différence d'énergie spécifique [m] ΔE	So-Sfmoy [-]	Distance [m] Δx	Coordonnées x [m] x	Position surface [m] z+h	Ligne d'énergie [m] [m]
M2														
0.0474	0.0041	0.682	0.024	0.181	0.023	0.008		0.071				5.00	0.0474	0.0711
0.0480	0.0041	0.673	0.023	0.182	0.023	0.008	0.008	0.071	0.000	-0.007	0.002	5.00	0.0480	0.0711
0.0500	0.0043	0.646	0.021	0.186	0.023	0.007	0.007	0.071	0.000	-0.007	0.028	4.97	0.0500	0.0713
0.0520	0.0045	0.621	0.020	0.190	0.024	0.006	0.007	0.072	0.000	-0.006	0.066	4.90	0.0521	0.0717
0.0540	0.0046	0.598	0.018	0.194	0.024	0.006	0.006	0.072	-0.001	-0.005	0.106	4.80	0.0541	0.0724
0.0560	0.0048	0.577	0.017	0.198	0.024	0.005	0.005	0.073	-0.001	-0.005	0.149	4.65	0.0562	0.0732
0.0580	0.0050	0.557	0.016	0.202	0.025	0.005	0.005	0.074	-0.001	-0.004	0.195	4.45	0.0584	0.0742
0.0600	0.0052	0.538	0.015	0.206	0.025	0.004	0.005	0.075	-0.001	-0.004	0.245	4.21	0.0605	0.0753