

ANNEXE 7

Critères de conception des seuils en rivière (Guerrero et Beaulieu, 1998)

MINISTÈRE DE L'ENVIRONNEMENT ET DE LA FAUNE

CRITÈRES DE CONCEPTION DES SEUILS EN RIVIÈRE

N/D : 6988

PRÉPARÉE PAR :

**Alejandro Guerrero, ing. et
Claude Beaulieu, ing.**

**CEGERTEC INC.
930, rue Jacques-Cartier Est
Case postale 1000
Chicoutimi (Québec)
G7H 5G4**

JUIN 1998

Cegertec
INC.
EXPERTS-CONSEILS

TABLE DES MATIÈRES

1.0	INTRODUCTION	1
2.0	REVUE DU COMPORTEMENT DE CERTAINS SEUILS EXISTANTS	1
2.1	Seuils sur la rivière Nicolet	1
2.2	Seuils sur la rivière Cascapédia	2
2.3	Seuil sur la rivière À-Mars	3
2.4	Seuil sur la rivière Sainte-Marguerite	3
3.0	CRITÈRES DE CONCEPTION ET DIMENSIONNEMENT DU SEUIL TYPIQUE	4
3.1	Croquis du seuil typique	4
3.2	Critères environnementaux et hauteur de la chute	4
3.3	Critères hydrauliques et hydrologiques	6
.1	Débit de conception	6
.2	Élévation de la crête du seuil	7
.3	Calcul de la vitesse de l'eau	9
.4	Détermination des niveaux de l'eau	9
.5	Dimensionnement des enrochements	11
.6	Bassin de dissipation d'énergie	12
3.4	Critères structuraux	13
.1	Calcul des forces verticales agissant sur le seuil	13
.2	Calcul des efforts horizontaux appliqués sur le seuil	16
.3	Capacité portante et stabilité	16

TABLE DES MATIÈRES (suite)

4.0	CONCLUSIONS ET RECOMMANDATIONS	18
	BIBLIOGRAPHIE	20
ANNEXE 1	Seuils sur la rivière Nicolet	
ANNEXE 2	Seuils sur la rivière Cascapédia	
ANNEXE 3	Seuil localisé sur la rivière Sainte-Marguerite à 1 km en amont de Bardville	

LISTE DES FIGURES ET TABLEAU

FIGURE 1	Vue en plan, coupe et élévation	5
FIGURE 2	Coefficient de débit pour un déversoir triangulaire à paroi épaisse	8
FIGURE 3	Abaques pour le calcul de la profondeur du bassin de dissipation d'énergie	14
FIGURE 4	Coupes de la fosse de dissipation d'énergie	15
FIGURE 5	Efforts agissant sur le seuil	17
TABLEAU 1	Coefficients de débit des seuils trapézoïdaux	10

1.0 INTRODUCTION

Le ministère de l'Environnement et de la Faune du Québec (MEF) désire intégrer et améliorer les critères de conception des seuils destinés à protéger et stabiliser le lit des cours d'eau contre le recul régressif. Afin d'atteindre cet objectif, le Ministère a confié à Cegertec inc. le mandat de réaliser une étude qui permettra de concevoir un seuil typique en enrochement.

Ces ouvrages doivent empêcher l'érosion régressive du lit des rivières, tout en permettant la libre circulation du poisson. Le seuil typique devra être conçu de manière à être facilement adapté aux conditions particulières de divers sites.

Les méthodes de calcul, ainsi que toute formule et/ou charte seront présentées en détail, afin que les dimensions des divers éléments du seuil puissent être modifiées au besoin, selon les conditions propres à un site en particulier.

2.0 REVUE DU COMPORTEMENT DE CERTAINS SEUILS EXISTANTS

Les spécialistes de Cegertec inc. ont collaboré dans le passé à la conception et à la construction de plusieurs seuils en rivière, similaires au seuil typique préconisé dans ce document. Une revue du comportement de ces seuils est présentée ci-après.

2.1 **Seuils sur la rivière Nicolet**

Plusieurs seuils en arche ont été construits sur la rivière Nicolet (sous bassin de 260 km²) et sont localisés à environ 70 km de l'embouchure. Ces seuils sont construits en enrochement et conçus pour résister à un débit de 160 m³/s correspondant à une crue dont la période de retour est de 100 ans.

Depuis leur construction en février 1993, ces seuils ont subi divers événements hydrologiques, dont le plus important est la crue survenue le 17 avril 1994 (station du MEF 030101). Cette crue, dont le débit de pointe a été de 85 m³/s correspond à une période de retour d'environ quatre ans. La crue printanière de 1998 semble avoir atteint un débit plus élevé. Toutefois, ces données ne sont pas compilées à ce jour.

Les seuils sur la rivière Nicolet fonctionnent de manière très satisfaisante et ont résisté aux éléments jusqu'à présent. (Références : communication personnelle avec M. Léo Ouellet de la CGRBF et visite sur le terrain). Les photographies présentées à l'annexe 1 illustrent cette situation. Les observations recueillies de M. Ouellet soulignent que la stabilité et l'absence de problèmes d'érosion des berges environnantes étaient de plus en plus satisfaisants avec l'ampleur de la courbe donnée par l'arche. Plus celle-ci était prononcée, plus l'ouvrage était stable et avait un comportement hydraulique conforme aux attentes. Par ailleurs, les gestionnaires de la CGRBF ont réalisé en 1997 des essais en construisant des épis inversés qui prennent la forme de seuils dont le centre n'est pas fermé par de l'enrochement. Après un an d'existence on observe un démembrement graduel de la structure malgré la présence d'enrochements de 2 mètres de diamètre.

2.2 Seuils sur la rivière Cascapédia

Plusieurs seuils sur la rivière Cascapédia ont été construits en août 1995 afin de créer des fosses pour le saumon, tout en permettant la migration du poisson. Ces ouvrages ont été construits en enrochement et ils utilisent aussi le principe de l'arche, ce qui leur donne une plus grande résistance structurale.

Ils ont été conçus pour résister à un débit de _____ m³/s, ce qui correspond à une crue dont la période de retour est de 100 ans.

Nous avons vérifié le fonctionnement des seuils et nous avons constaté que, depuis leur construction en 1995, ils demeurent en parfait état. (Référence : communication personnelle de M. Claude Beaulieu avec M. Marc Gauthier de la Société Cascapédia). La fiche technique présentée à l'annexe 2 illustre l'ampleur et l'aspect de ce type d'ouvrage sur un affluent de la rivière Cascapédia.

Ces seuils ont été construits en 1995 et ils se sont comportés adéquatement face aux divers événements hydrologiques jusqu'à maintenant, incluant la crue du 17 mai 1997, dont le débit de pointe a atteint 261 m³/s, ce qui correspond à une période de retour d'environ _____ ans.

2.3 Seuil sur la rivière À-Mars

En février 1997, un nouveau seuil en forme d'arche, conçu par Cegertec inc., a été construit sur la rivière À-Mars, à une centaine de mètres en aval du barrage Roméo-Tremblay. Le but de ce seuil visait le contrôle de l'érosion régressive du lit de la rivière, tout en permettant la migration du poisson.

Ce seuil a été conçu pour résister à un débit de $280 \text{ m}^3/\text{s}$, ce qui correspond au débit de pointe d'une crue de récurrence centennale. Après plus d'un an de fonctionnement, le seuil a eu à faire face à un débit maximal de $84 \text{ m}^3/\text{s}$ survenu le 17 mai 1998 et nous avons constaté qu'il demeure en bonne condition. Soulignons toutefois que sa mise en œuvre pourrait être optimisée en regard de la forme de l'arche et la sélection des enrochements qui auraient intérêt à être plus grossiers sur la carapace, même si la structure de base est constituée d'enrochements de tous diamètres (2 mètres et plus). Nous reviendrons sur ce concept à la fin du rapport.

2.4 Seuil sur la rivière Sainte-Marguerite

Le ministère des Transports du Québec a construit une route régionale (route 170) reliant Tadoussac à Chicoutimi à la fin des années soixante. À cette occasion, le ministère a redressé le cours de la rivière Sainte-Marguerite en coupant près de quatre kilomètres de méandres et occasionnant de la sorte une érosion régressive et un déséquilibre sédimentologique. En 1974, le ministère des Ressources naturelles a réalisé quatre seuils dont deux en tôle d'acier (photographies à l'annexe 3) pour dissiper le surplus d'énergie développé par le redressement du cours d'eau.

Ces ouvrages, d'une hauteur nette de 1,22 m, ont été endommagés, emportés ou contournés lors de la crue printanière de 1976 alors que le débit généré par ce bassin versant était d'environ $255 \text{ m}^3/\text{s}$. L'ouvrage localisé à un kilomètre en amont de Bardville a été remplacé en 1991 par un seuil en enrochement rectiligne et de faible hauteur (environ 1 mètre). Cet ouvrage a résisté aux crues exceptionnelles de juillet 1996. Soulignons toutefois que la présence d'un canal de crue (bras secondaire) localisé à la gauche dudit seuil a permis de protéger l'intégrité dudit ouvrage.

3.0 CRITÈRES DE CONCEPTION ET DIMENSIONNEMENT DU SEUIL TYPIQUE

3.1 Croquis du seuil typique

La figure n° 1 montre une vue en plan et une coupe du seuil typique en forme d'arche construit en enrochement. La section transversale du seuil typique proposé est de forme trapézoïdale. En suivant la nomenclature de cette figure, les divers éléments du seuil sont définis comme suit :

- L : largeur totale de la rivière;
- L' : longueur du seuil en forme d'arche;
- S : largeur de la crête du seuil de section trapézoïdale;
- m₁ : pente du parement amont du seuil (verticale / horizontale);
- m₂ : pente du parement aval du seuil (verticale / horizontale);
- h : charge hydraulique au-dessus du seuil;
- H : hauteur totale de la chute;
- P : dénivelée entre la crête du seuil et le lit de la rivière à l'aval;
- d_t : profondeur de l'eau à l'aval;
- d_s : profondeur de la fosse de dissipation d'énergie;
- d_m : diamètre moyen des roches du seuil;
- y : charge hydraulique lorsque le débit est concentré sur la partie plus basse du seuil;
- θ : angle d'ouverture de la partie plus basse du seuil.

3.2 Critères environnementaux et hauteur de la chute

Afin que le poisson puisse franchir le seuil lors de la montaison, la hauteur maximale de la chute créée par le seuil doit forcément tenir compte de la capacité de saut et de nage des espèces présentes dans la rivière.

En ce qui concerne les rivières à saumons du Québec, la hauteur maximale de la chute devra se limiter à 1,5 m (référence : Larinier, 1992). De plus, les seuils devront comporter une partie légèrement plus basse, afin d'y concentrer le débit en période d'étiage; ceci constitue une invitation à sauter pour les poissons.

Il demeure essentiel d'utiliser une toile géotextile entre la deuxième et la troisième rangée de blocs de façon à donner du corps à la structure, mais principalement pour s'assurer d'un certain contrôle sur la percolation à travers des enrochements. À ce sujet, les débits d'étiages sur plusieurs rivières deviennent très bas pendant l'été et une trop grande percolation de l'eau serait défavorable à la migration du poisson.

3.3 Critères hydrauliques et hydrologiques

Les critères hydrauliques et hydrologiques concernés dans la conception de tels ouvrages impliquent le choix de la plage de débits de conception, la détermination de l'élévation de la crête du seuil, le calcul de la vitesse de l'eau, la détermination des niveaux d'eau en amont et en aval de la structure, le calcul de la dimension des enrochements et la détermination des caractéristiques du bassin de dissipation de l'énergie.

.1 Débit de conception

- Débit maximal

Le choix du débit de conception doit tenir compte à la fois des coûts de construction et de l'importance de l'ouvrage même, afin d'obtenir un juste équilibre entre l'investissement initial et les risques associés aux inondations potentielles et/ou à l'éventuelle rupture de l'ouvrage.

Pour le cas de seuils en rivière dont le but est d'empêcher l'érosion régressive du lit, un débit de conception égal au débit de pointe d'une crue centennale nous paraît un choix judicieux. En effet, le volume d'eau retenue dans le bassin amont de ce type d'ouvrage est habituellement petit et les conséquences d'un éventuel bris de l'ouvrage ne sont généralement pas draconiennes.

L'ajustement d'une loi statistique devra être réalisé sur les débits journaliers maximaux des années considérées dans l'analyse. Lorsqu'il n'y a pas de données disponibles au site de l'ouvrage, les méthodes habituelles de transfert de bassin constituent une solution valable pour la détermination des débits journaliers maximaux. Le débit de conception est alors calculé à partir de la loi statistique retenue, en fonction de la période de retour désirée.

- Débit minimal

Une analyse statistique devra aussi être réalisée sur les débits d'étiage, afin de dimensionner correctement la partie plus basse du seuil, où le débit doit être concentré lorsque le débit de la rivière devient très faible.

Chaque rivière doit être analysée individuellement afin de déterminer le débit à passer sur la partie plus basse du seuil. En règle générale, lorsqu'on travaille sur une petite rivière avec un débit d'étiage très faible, il est recommandé d'utiliser le débit moyen estival pour dimensionner la partie plus basse du seuil.

.2 Élévation de la crête du seuil

Le niveau de la crête du seuil doit être déterminé de manière à respecter les deux critères suivants :

- la hauteur maximale de la chute ne doit pas excéder 1,5 m pour demeurer franchissable par le poisson;
- le niveau du plan d'eau en amont du seuil ne doit pas causer des inondations pour le débit de conception (voir la section « détermination des niveaux de l'eau »).

Pour dimensionner la partie plus basse du seuil, on doit d'abord déterminer la différence de niveau « y » que l'on désire avoir entre la crête du seuil et la partie la plus basse du seuil. L'angle d'ouverture « θ » est ensuite calculé à l'aide de la formule suivante (référence : Smith, page 293) :

$$\theta = 2 (\text{Tan}^{-1}(Q / c y^{5/2}))$$

- où : Q : débit d'étiage à concentrer sur la partie basse du seuil;
c : coefficient de débit à obtenir à partir de la figure 2 en fonction de y / S;
y : charge hydraulique sur la partie plus basse du seuil.

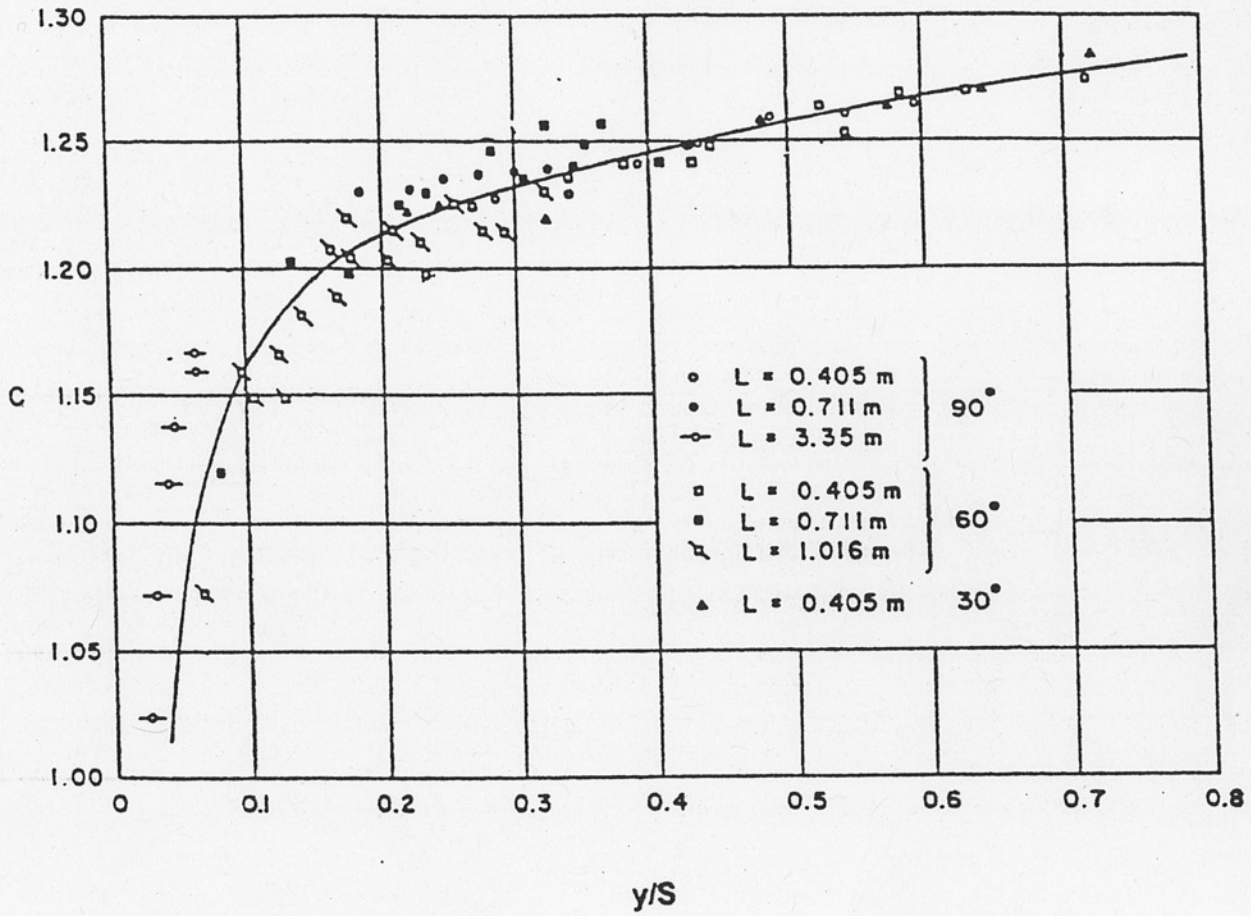


Figure 2. Coefficient de débit pour un déversoir triangulaire à paroi épaisse (référence : Smith, page 296).

.3 Calcul de la vitesse de l'eau

La vitesse maximale de l'eau au pied du seuil peut être calculée à l'aide de la formule suivante (références : Smith, page 55; French, page 49) :

$$V = (2gH)^{1/2}$$

où : V : vitesse maximale de l'eau (m/s);
g : constante gravitationnelle (= 9,81 m/s²);
H : hauteur totale de la chute.

.4 Détermination des niveaux de l'eau

- Niveau aval

Le niveau de l'eau à l'aval du seuil dépend des caractéristiques hydrauliques du tronçon aval de la rivière et doit être déterminé par le calcul de la courbe de remous pour le débit de conception.

Le calcul de la courbe de remous est habituellement réalisé à l'aide d'un logiciel tel HEC-2 de l'U.S. Corps of Engineers, en considérant un régime d'écoulement permanent.

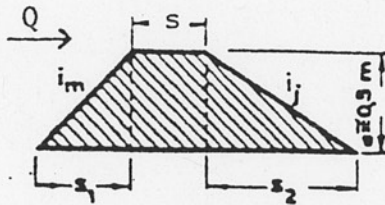
- Niveau amont

Le niveau de l'eau à l'amont du seuil est calculé à l'aide de la formule suivante (référence : manuel d'hydraulique générale, page 165) :

$$h = \left[\frac{Q}{\mu \sqrt{2g l}} \right]^{2/3}$$

où : h : charge hydraulique au-dessus de la crête du seuil (m);
Q : débit (excluant le débit qui passe dans la partie plus basse du seuil) (m³/s);
 μ : coefficient de débit (voir tableau 1 où on peut utiliser une valeur approximative égale à 0,385);
g : constante gravitationnelle (9,81 m/s²);
l : longueur du seuil (m).

Tableau 1. Coefficients de débit des seuils trapézoïdaux



$$Q = \mu l \sqrt{2g} h^{3/2}$$

i_m - Pente du parement amont (vertical sur horizontal)

i_j - Pente du parement aval (vertical sur horizontal)

s - Largeur de la crête

a) Les deux parements inclinés (charges faibles) ⁽¹⁾

i_m	i_j	s m	Charge h m										
			0,05	0,09	0,12	0,15	0,18	0,21	0,24	0,27	0,30	0,36	0,45
2/1	1/1	0,20	0,337	0,352	0,360	0,376	0,390	0,404	0,416	0,429	0,439	0,456	0,476
2/1	1/2	0,20	0,339	0,348	0,353	0,364	0,378	0,391	0,408	0,414	0,421	0,436	0,450
2/1	1/3	0,20	0,337	0,344	0,349	0,363	0,374	0,383	0,391	0,400	0,408	0,420	0,430
2/1	1/4	0,20	0,339	0,342	0,354	0,359	0,371	0,381	0,389	0,395	0,400	0,409	0,418
2/1	1/5	0,20	0,339	0,349	0,356	0,359	0,365	0,376	0,384	0,389	0,395	0,403	0,406
2/1	1/2	0,40	-	0,338	0,345	0,349	0,349	0,354	0,359	0,365	0,371	0,384	0,401
2/1	1/4	0,40	-	0,344	0,349	0,352	0,352	0,355	0,359	0,363	0,366	0,375	0,386
2/1	1/6	0,40	-	-	0,348	0,349	0,352	0,355	0,358	0,361	0,365	0,371	0,384
1/2	1/2	0,20	0,352	0,366	0,379	0,390	0,399	0,406	0,414	0,421	0,428	0,438	0,450
1/1	1/2	0,20	0,340	0,356	0,364	0,376	0,389	0,400	0,410	0,419	0,426	0,440	0,455
3/1	1/2	0,20	0,312	0,327	0,343	0,358	0,373	0,385	0,396	0,408	0,416	0,431	0,443
Vertical	1/2	0,20	0,318	0,322	0,332	0,345	0,361	0,373	0,385	0,396	0,406	0,423	0,438

b) Les deux parements inclinés (fortes charges) ⁽²⁾

i_m	i_j	s m	Charge h m									
			0,48	0,54	0,60	0,75	0,90	1,05	1,20	1,35	1,50	1,65
1/2	1/2	0,20	0,445	0,444	0,444	0,445	0,446	0,449	0,451	0,455	0,459	0,461
1/2	1/5	0,10	0,446	0,444	0,440	0,434	0,429	0,428	0,434	0,441	0,445	0,446

c) Parement amont incliné et parement aval vertical : $i_j = 0$

i_m	s m	Charge h m								
		0,30	0,45	0,60	0,75	0,90	1,05	1,20	1,35	1,50
1/2	0,10	0,480	0,476	0,472	0,470	0,467	0,465	0,461	0,457	0,454
1/2	0,20	0,425	0,445	0,455	0,461	0,464	0,464	0,465	0,465	0,465
1/3	0,20	-	-	0,445	0,445	0,445	0,445	0,445	0,445	0,445
1/4	0,20	-	-	0,434	0,434	0,434	0,434	0,434	0,434	0,434
1/5	0,20	-	-	0,423	0,423	0,423	0,423	0,423	0,423	0,423

(1) Expériences de Bazin, citées par [22].

(2) Expériences de l'U. S. Deep Waterway Board, citées par [22].

5 Dimensionnement des enrochements

La grandeur des pierres requises dépend de la vitesse maximale du courant et de l'angle d'inclinaison du parement aval du seuil. Dans la pratique, les pierres ne seront pas pesées individuellement, il est habituel de spécifier le diamètre des pierres au lieu de leur poids.

Le diamètre moyen des roches peut être calculé à l'aide de la formule suivante (référence : Smith, page 217) :

$$d_m = 20,17 V^2 / \sin (70 - \alpha)$$

- où : d_m : diamètre moyen des roches (mm);
 V : vitesse maximale de l'eau (m/s);
 α : angle du parement aval du seuil mesuré par rapport à l'horizontale (α max. recommandé = 60°)

Il est à noter que cette formule considère la masse volumétrique du roc « M_v » comme étant 2 650 kg/m³. Lorsque la masse volumétrique du roc est considérablement différente, le diamètre requis peut être calculé en multipliant la valeur obtenue par 1,65 / ($M_v - 1$).

On prendra note que c'est dans le choix du diamètre des enrochements que le concepteur ira chercher son facteur de sécurité. À cet égard, il serait judicieux de songer à surdimensionner la première rangée d'enrochements (la plus en aval) et de s'assurer que les blocs les plus exposés à l'affouillement soient de dimension adéquate et disposés les uns sur les autres pour profiter de l'effet de support constitué par la forme en arche.

Toutes les pierres sont placées méthodiquement une à la fois à l'aide d'une excavatrice puissante qui les encaisse dans leur place et les met en contact les unes avec les autres. L'ensemble devient arimé et compacté. Quelques moëllons peuvent être déposés dans les interstices, mais sans espacer les pierres principales évoquées plus haut. Le talus du seuil respectera les pentes maximales suivantes (à défaut d'être moindres pour d'autres raisons) 1,2H/1,0V.

En aval du seuil, la rivière sera tapissée de pierres (au besoin) jusqu'à ce que la vitesse de l'eau soit ralentie. Les pierres doivent être inaltérables au gel et à l'eau. Employer des pierres angulaires à l'aval et au fond de l'assise et sur les rives, et des pierres plates arrondies ailleurs.

6 Bassin de dissipation d'énergie

- Dimensionnement

En créant une chute par la construction d'un seuil, une fosse sera initiée par l'érosion du lit de la rivière directement en aval de la chute. Plus le volume d'eau qui amortit la chute sera grand, plus la vitesse du jet d'eau au fond de la fosse diminue, jusqu'à ce que la force d'érosion de l'eau soit balancée par la résistance au déplacement des particules du lit de la rivière.

Lorsque la chute est grande et que le lit de la rivière est facile à éroder, la profondeur requise pour atteindre l'équilibre recherché peut devenir trop grande. Dans un tel cas, le seuil risquerait d'être emporté par l'affouillement à sa base. Il est donc essentiel de contrôler la profondeur de la fosse, en protégeant le lit en aval du seuil avec de l'enrochement lorsque le substrat n'est pas adéquat.

En suivant la nomenclature des croquis de la figure 1, la profondeur de la fosse de dissipation d'énergie « d_s » peut être déterminée à l'aide des abaques de la figure 3 (référence : Smith, page 229) :

Où :

d_t : profondeur de l'eau dans la fosse;

P : dénivellée entre la crête du seuil et le lit de la rivière à l'aval;

d_p : diamètre moyen de l'enrochement de protection de la fosse;

h : charge hydraulique au-dessus du seuil.

Il est à noter que ces chartes considèrent la masse volumétrique de la pierre comme étant $2\,650\text{ kg/m}^3$. Lorsque la masse volumétrique de la pierre utilisée est trop différente de cette valeur, les chartes peuvent être utilisées, mais la valeur de P/d_p doit être multipliée par $(Mv - 1) / 1,65$.

Le concepteur prendra note qu'un seuil limité à environ 1,5 m de hauteur connaîtra vraiment des problèmes d'affouillement à sa base en milieu alluvial donc, composé de sable et de gravier de petite dimension ou dans une couche d'argile sensible, non consolidés (figure 4). L'expérience semble démontrer sur les rivières Nicolet, Cascapédia et Sainte-Marguerite qu'un substrat de granulométrie relativement étalée répond aux conditions de stabilité recherchées dans la mesure où tous les critères énoncés précédemment sont respectés.

3.4 Critères structuraux

Le calcul des efforts horizontaux et verticaux constitue la représentation des principaux critères structuraux à étudier pour la conception de ce type d'ouvrage. Par ailleurs, les facteurs relatifs à la capacité portante et à la stabilité contre le cisaillement doivent également être vérifiés par un spécialiste en géotechnique.

.1 Calcul des forces verticales agissant sur le seuil

La définition des forces verticales agissant sur le seuil est illustrée à la figure 5. On notera que les pressions générées par l'eau dans les interstices ne sont pas considérées, car le seuil est considéré comme une arche qui travaille d'une seule pièce.

En suivant la nomenclature de la figure 5, la force exercée sur la face amont du seuil « P_1 » est calculée par :

$$P_1 = (\rho g h_1 + \rho g h) (h_1 - h) / 2$$

où : P_1 : force par mètre de long du seuil (N / m);
 ρ : masse volumétrique de l'eau = 1000 kg/m³;
 h_1 : profondeur de l'eau à l'amont du seuil (m);
 h : charge hydraulique au-dessus du seuil (m);
 g : constante gravitationnelle = 9,81 m/s².

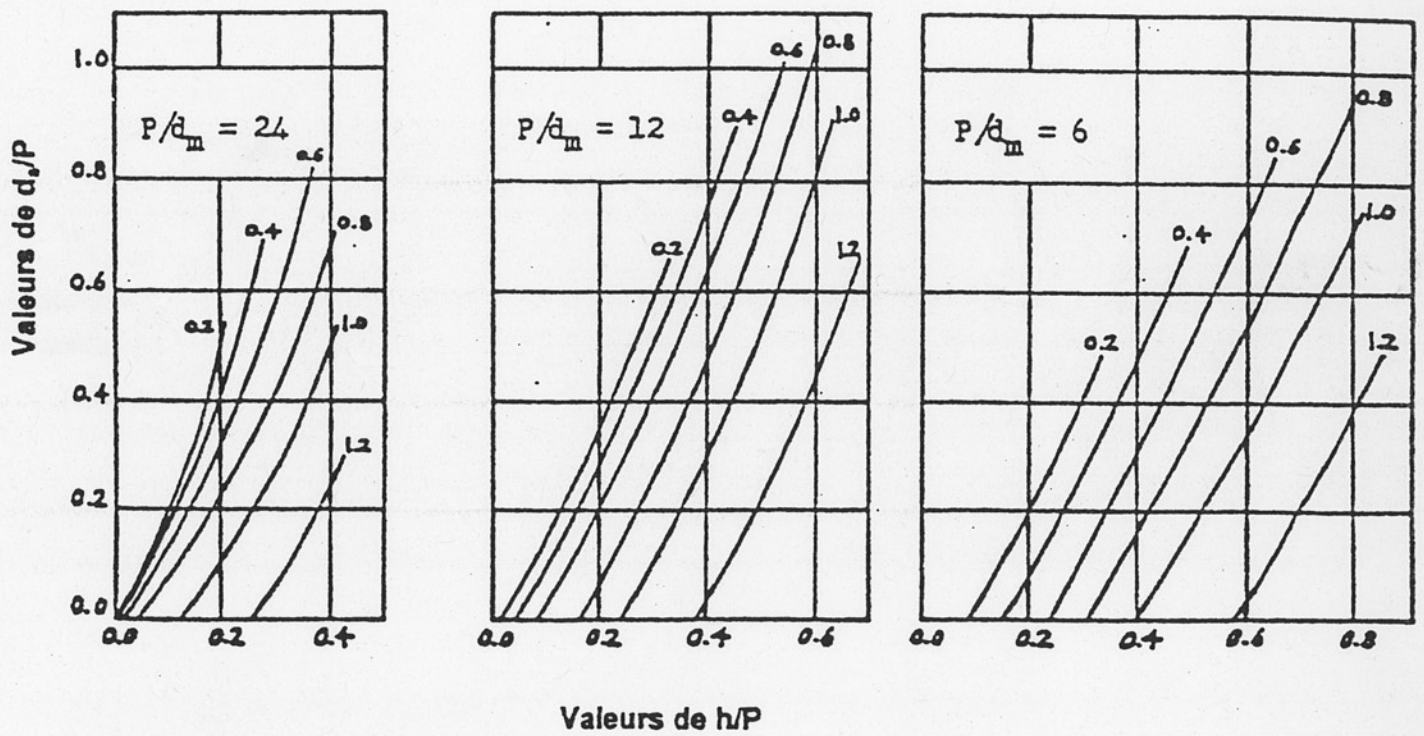


Figure 3. Abaques pour le calcul de la profondeur du bassin de dissipation d'énergie.

* Les numéros dans les courbes sont les valeurs de d_s/P

La force exercée sur la face aval du seuil « P_2 » est calculée par :

$$P_2 = (\rho g h_2) (h_2) / 2$$

où : P_2 : force par mètre de long du seuil (N / m);
 ρ : masse volumétrique de l'eau = 1000 kg/m³;
 h_2 : profondeur de l'eau à l'aval du seuil (m);
 g : constante gravitationnelle = 9,81 m/s².

La force totale sur le seuil, en N/m, est donc :

$$F = P_1 - P_2$$

.2 Calcul des efforts horizontaux appliqués sur le seuil

La vue en plan de l'arrangement du seuil montre une concavité vers l'amont. Cette concavité joue deux rôles : elle exerce une pression entre les pierres due à l'effet du courant; elle assure un resserrement entre les pierres lorsqu'il y a mouvement de celle-ci du au gel ou au déplacement par l'érosion. La pression exercée est (en négligeant la friction sur le fond de la rivière) selon les équations présentées à la figure 5.

La concavité varie selon la capacité portante des appuis d'un rapport f/L de 0,25 à 0,4 environ. Un petit rapport exerce plus de pression interne et est plus stable, par contre les surfaces d'appui inter-pierre et sur les rives devraient être plus larges et s'appliqueraient à des pierres plus angulaires.

.3 Capacité portante et stabilité

Les données de portance doivent être vérifiées par des essais géotechniques et la stabilité contre le cisaillement de l'assise doit être vérifiée à l'aide de cercle de glissement ou de méthodes acceptées dans cette discipline (lorsque requis).

Abreviations

- L : Largeur totale de la riviere
- L' : Longueur du seuil en forme d'arche
- S : Largeur de la crete du seuil de section trapezoidale
- m₁ : Pente du parement amont du seuil
- m₂ : Pente du parement aval du seuil
- h : Charge hydraulique sur le seuil
- H : Hauteur totale de la chute
- P : Denivelee entre la crete du seuil et le lit de la riviere en aval
- d₁ : Profondeur d'eau aval
- d_s : Profondeur de la fosse de dissipation d'energie
- d_m : Diametre moy. des roches du seuil
- y : Charge hydraulique lorsque le debit est concentre sur la partie plus basse du seuil
- d_p : Diametre moy. de l'enrochement de protection de la fosse

Client



Projet

SEUILS EN RIVIERE

Specialite: HYDRAULIQUE

Titre

FIGURE NO. 4
COUPES DE LA FOSSE DE
DISSIPATION D'ENERGIE

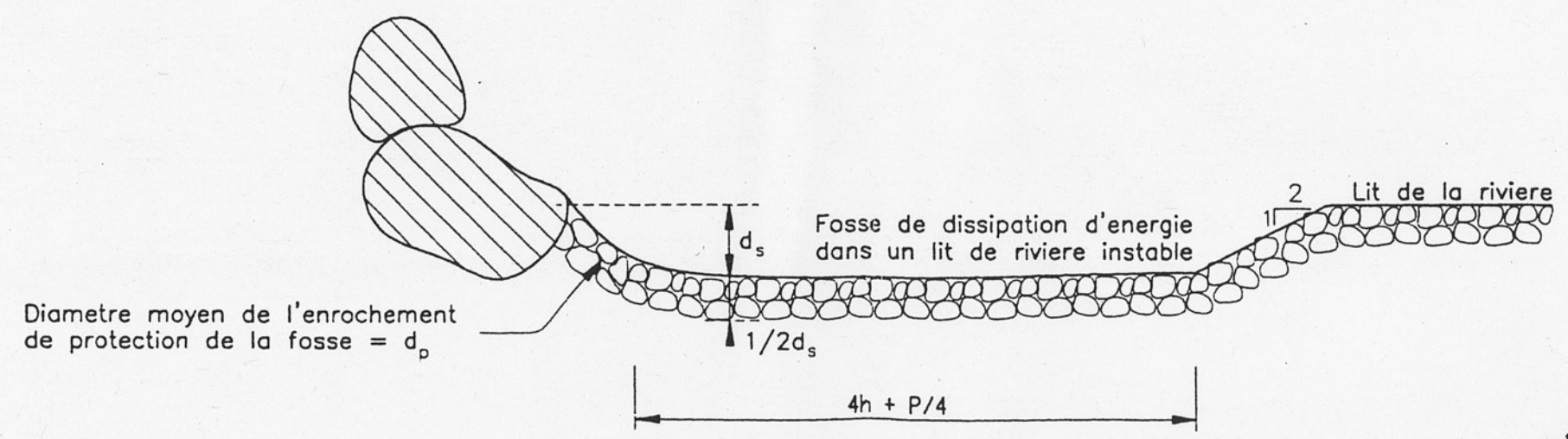
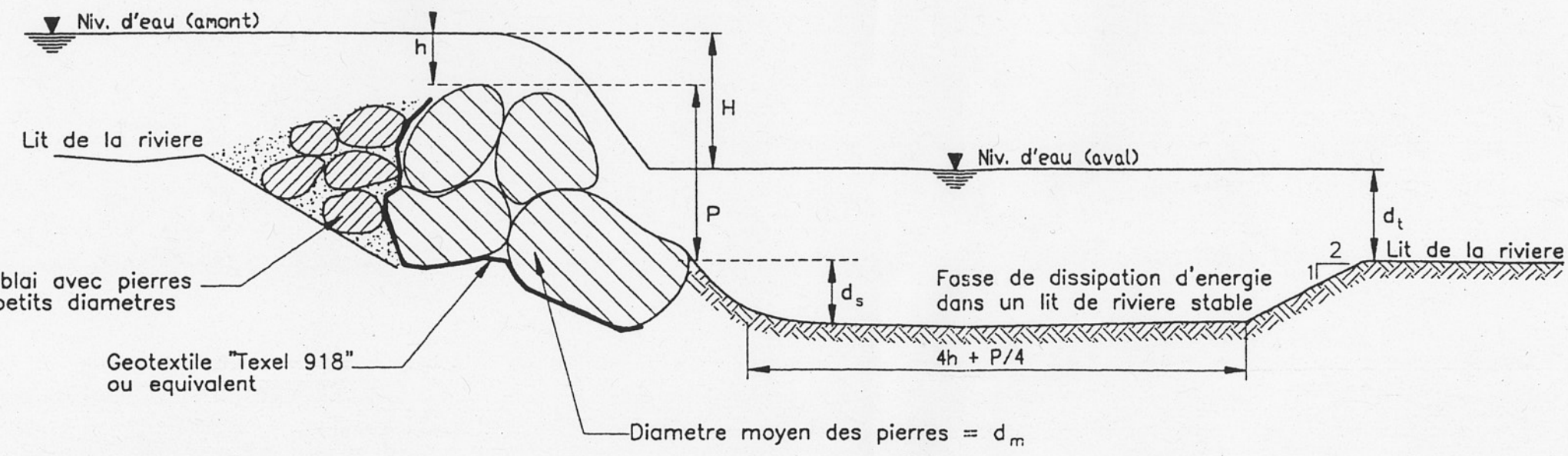


1019, boulevard Rene-Levesque Ouest
Sillery (Quebec) G1S 1V2
Tel.: (418) 683-0965 Telex: (418) 683-6835



Approuve

Date



PRELIMINAIRE

4.0 CONCLUSIONS ET RECOMMANDATIONS

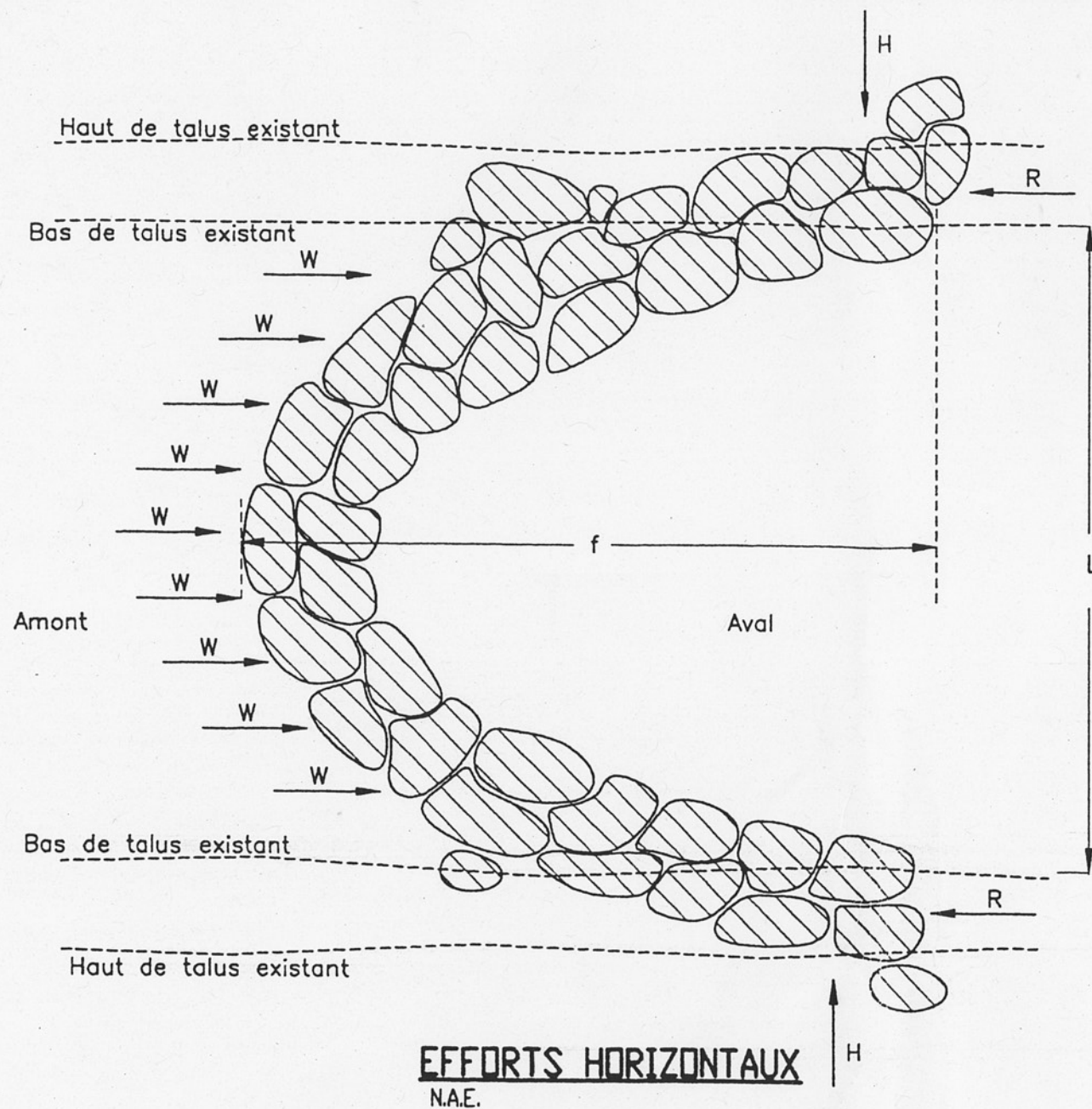
L'aménagement de seuils en rivière constitue une technique peu employée au Québec. À ce sujet, elle a surtout été utilisée dans le cadre de projets de mise en valeur pour la faune aquatique dans le but recherché de créer des fosses et des habitats favorables au développement de l'ichtyofaune. Utilisée à quelques reprises comme outil de contrôle et de stabilisation du lit, les essais réalisés à ce jour s'étaient avérés peu concluants.

Les événements survenus lors des crues exceptionnelles de juillet de 1996 au Saguenay justifient l'emploi de cette technique pour limiter le recul régressif du lit du cours d'eau qui, dans une situation non contrôlée, déstabilise en même temps les berges de la rivière et favorise un apport continu en sédiments. Au début des années 90, des essais ont été tentés sur quelques rivières du Québec en cherchant à imiter la formation de seuils naturels. Un bref retour sur l'expérience vécue dans ces dossiers, combinée à une analyse plus formelle des critères de conception desdits ouvrages a permis de réunir dans ce rapport les principaux facteurs à considérer dans la conception de seuils en rivière. Parmi ces critères, les lecteurs devront se rappeler que les paramètres favorisant la migration du poisson doivent respecter les capacités natatoires des espèces en cause.

De plus, ces structures économiques réalisées pour moins de 25 000,00 \$ présenteront quand même une faiblesse, lorsqu'installées dans un milieu fortement remanié. Ainsi, malgré une structure arquée souple et résistante à la poussée de l'eau, à l'impact des arbres et des glaces, elle demeurera une inclusion rigide dans un sol remanié et pourra être contournée par une crue subite s'attaquant à la berge plus meuble.

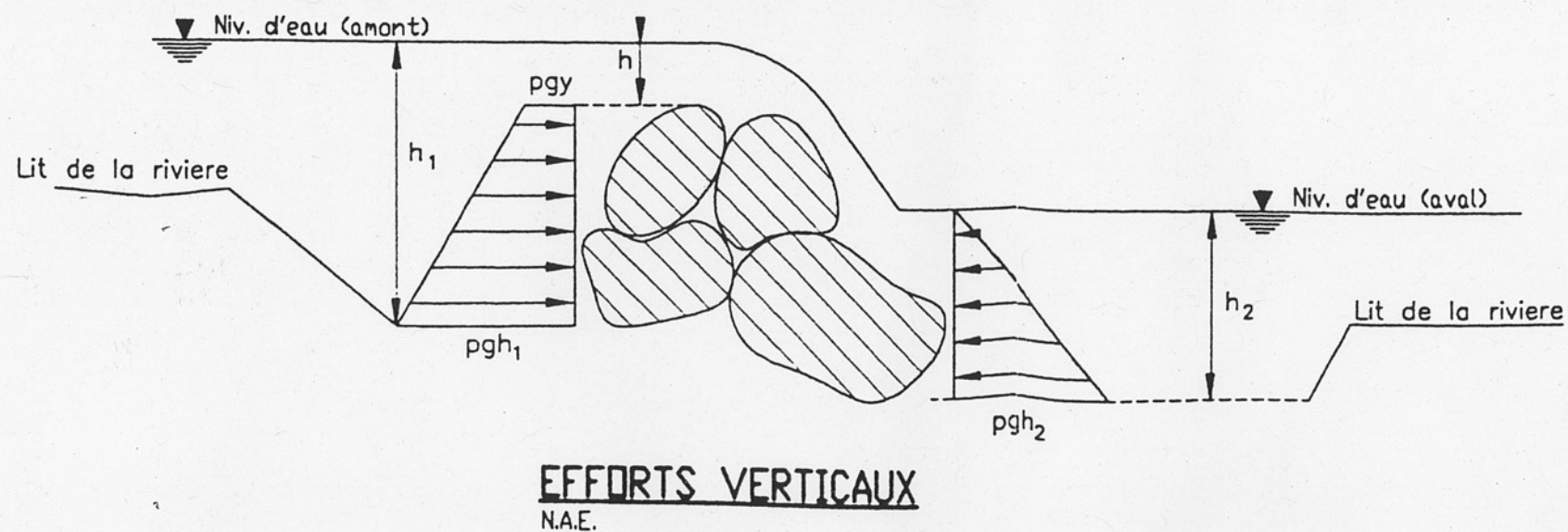
Finalement, il est recommandé que chaque projet de cette nature soit étudié par un ingénieur expérimenté qui saura intégrer tous les paramètres pertinents à la mise en œuvre de tels concepts. Ainsi, les concepteurs devront, après avoir calculé et évalué les critères techniques, songer à :

- Surdimensionner la première rangée d'enrochements, ce, principalement vis-à-vis le point de chute du jet d'eau et vis-à-vis la fosse de dissipation de l'énergie.
- Limiter la hauteur des ouvrages aux alentours de 1,5 mètres.
- Assurer les conditions d'écoulement favorables à la libre circulation du poisson.



$$H = \frac{Wl^2}{8f}$$

$$R = \frac{WL}{2}$$



PRELIMINAIRE

Abreviations

- L : Largeur totale de la riviere
- f : distance de la courbure en metre
- W : force horizontale amont en KN/metre lineaire
- H : force perpendiculaire a la rive en KN
- R : force parallele a la rive en KN
- h : Charge hydraulique sur le seuil
- h₁ : Charge hydraulique amont
- h₂ : Charge hydraulique aval
- p : Masse volumetrique de l'eau 1000kg/metre³
- g : constante gravitonnelle 9,81m/s²
- d_m : Diametre moy. des roches du seuil
- y : Charge hydraulique repartie sur l'amont du seuil en fonction de la profondeur

Client



GOUVERNEMENT DU QUEBEC
MINISTERE DE L'ENVIRONNEMENT
ET DE LA FAUNE

Projet

SEUILS EN RIVIERE

Specialite: HYDRAULIQUE

Titre

FIGURE NO. 5
EFFORTS AGISSANT SUR
LE SEUIL

Cegertec
EXPERTS-CONSEILS INC.



1019, boulevard Rene-Levesque Ouest
Sillery (Quebec) G1S 1V2
Tel.: (418) 683-0965 Telec.: (418) 683-6835

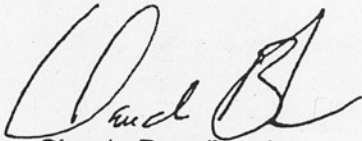


Approuve

Date

- Donner une forme de V à la structure de façon à permettre une concentration de l'écoulement à plus faibles débits.
- Vérifier que la forme arquée dessinée sur les plans soit rigoureusement réalisée sur le terrain. La stabilité et la pérennité de l'ouvrage en dépend.
- Vérifier que l'ancrage à la berge soit capable de résister aux efforts transmis à la structure arquée.
- Et procéder à un bref retour sur l'expérience pour apporter les améliorations nécessaires à la réalisation de meilleurs concepts.

CEGERTEC INC.



Claude Beaulieu, ing.
AG/CB/sr

Le 30 juin 1998

BIBLIOGRAPHIE

FRENCH, Richard. *Open-Channel Hydraulics*, McGraw-Hill Book Company, 1985.

LARINIER, M. *Bulletin français de la pêche et de la pisciculture*, 3^e et 4^e trimestre 1992

LAURSEN, Harold I. *Structural Analysis*, Oregon State University, McGraw-Hill, 1969.

LENCASTRE, A. DIRECTION DES ÉTUDES ET RECHERCHES D'ÉLECTRICITÉ DE FRANCE. *Manuel d'hydraulique générale*, Les Éditions Eyrolles, 1979.

SIMONS, Li and Associates. *Engineering analysis of fluvial systems*, Fort Collins, Colorado, USA, 1982.

SMITH, C.D. *Hydraulic Structures*, University of Saskatchewan, 1985.

STATE OF CALIFORNIA, DEPARTMENT OF PUBLIC WORKS. *Bank and Shore Protection in California Highway Practice*, Division of Highways, 1960.

U.S. DEPARTMENT OF INTERIOR. *Design of Small Dams*, Bureau of Reclamation, 1987.

VISSMAN, W., J.W. Knapp, G.L. Lewis and T.E. Harbaugh. *Introduction to Hydrology*, Harper and Row Publishers, 1977.