



Agence de l'eau
Rhin-Meuse

Expérimentation de seuils rustiques

Etude réalisée pour le compte de l'agence de l'eau Rhin-Meuse

Chargé d'étude : Office National des Forêts

Direction régionale de Lorraine

5, rue Girardet

54052 NANCY Cedex

Editeur : Agence de l'eau Rhin-Meuse

Mars 1996

70 exemplaires

100 francs

© 1996 - Agence de l'eau Rhin-Meuse

Tous droits réservés

SOMMAIRE



	Page
INTRODUCTION	1
1 - RAPPELS DES MODALITES DE L'EXPERIENCE	
1.1. - Localisation géographique	2
1.2. - Nature des ouvrages construits	2
1.3. - Organisation des chantiers	3
1.4. - Contrôle trimestriel de l'état des seuils	4
II - CODIFICATION DES OUVRAGES	
2.1. - Numérotation des seuils	5
2.2. - Codification des ouvrages	6
2.3. - Diagnostic	6
2.4. - Tableau brut de synthèse	6
III - RESULTATS DE L'EXPERIENCE	
3.1. - Résultats quantitatifs globaux	
3.1.1. - Comparaison par rivière	7
3.1.2. - Les types d'ouvrage les plus résistants	8
3.1.3. - Le comportement des différents matériaux employés	9
3.1.4. - Causes de dégradations des seuils	10
3.1.5. - Date d'apparition des désordres	10
3.2. - Résultats croisés les plus significatifs	
1) Seuils frontaux	11
2) Seuils en V	12
3) Rampes	12
3.3. - Quelques résultats complémentaires	
3.3.1. - L'entretien des ouvrages	12
3.3.2. - Un résultat concluant	12
IV - QUELQUES RECOMMANDATIONS TECHNIQUES	13
CONCLUSION	14
ANNEXE	15

INTRODUCTION

Le présent rapport constitue la synthèse d'une expérimentation réalisée par l'Office National des Forêts à la demande de l'Agence de l'Eau Rhin Meuse et qui comprenait deux étapes préalables :

1 - La mise en place de seuils rustiques sur quatre cours d'eau du massif vosgien selon le cahier des charges de la convention d'étude.

2 - Un suivi trimestriel de la tenue des seuils pendant un an pour identifier les causes de leur dégradation.

Celles-ci ont fait l'objet de rapports intermédiaires transmis par ailleurs.

1 - RAPPELS DES MODALITES DE L'EXPERIENCE

1.1. - Localisation géographique

Les ouvrages ont été implantés sur 4 cours d'eau du massif vosgien représentatifs d'un régime d'écoulement torrentiel et de gabarits relativement modestes.

Ont été retenus conjointement avec l'Agence de l'Eau :

- La Sarre Rouge en Forêt Domaniale de SAINT QUIRIN et d'ABRESCHVILLER (57) sur un tronçon situé à l'amont du point kilométrique 972,54 (lieudit du pont des deux rivières).
- La Zorn Jaune en Forêt Domaniale de WALSCHEID (57) à l'amont du point kilométrique 900.
- La Petite Meurthe en Forêt Domaniale de HAUTE MEURTHE à l'aval de la confluence avec le ruisseau du Noir Ruxal.
- Le ruisseau de Noiregoutte affluent du Bouchot en Forêt Domaniale de NOIREGOUTTE à ROCHESSON (88) dans la partie amont de son cours.

Les trois premiers cours d'eau ont une largeur moyenne de 2 à 4 m. Le ruisseau de Noiregoutte est plus étroit : 1 à 2 m. Les travaux ont été réalisés en automne 1994 après un entretien de la végétation sur les rives et un dégagement des lits encombrés d'embâcles par endroit. Sur la Petite Meurthe, véritable torrent, plusieurs seuils avaient déjà été construits en 1993 par l'O.N.F. dans le cadre d'une action de valorisation des cours d'eau situés en forêt. Tous sauf un avaient été emportés par le courant dans l'année.

1.2. - Nature des ouvrages construits

Les ouvrages **transversaux** ont été construits avec des matériaux présents sur place :

- blocs de grès ou de granite ;
- rondins ou grumes.

Les seuls matériaux d'apport ont été les pieux en fer ou en bois façonné ainsi que les planches pour certains seuils.

Plusieurs techniques ont été testées :

- Les seuils frontaux : en bois ou en pierre, ils barrent le cours d'eau rectilignement.
- Les seuils en V : ils constituent un dispositif par lequel l'eau converge en aval vers le centre du lit et nécessitent un appui central.
- Les rampes : elles se distinguent des seuils par l'absence théorique de chute d'eau grâce à la mise en place d'un appareillage de pierre à l'aval de la crête.

Ces techniques ont été combinées avec l'utilisation de plusieurs matériaux :

- rondins de bois prélevés en forêt (diamètre : 20-30 cm en général) ;
- planches ;
- blocs de pierre trouvés dans le lit ou à proximité de la rivière.

Des combinaisons ont également été testées associant :

- deux rondins superposés ou à plat pour réaliser une rampe ;
- bois et pierres pour la réalisation d'ouvrages mixtes.

1.3. - Organisation des chantiers

Trois équipes ont participé à la construction des seuils :

- une équipe de quatre ouvriers forestiers qui n'avaient jamais réalisé de tels travaux (Sarre et Zom) ;
- deux équipes de C.E.S. encadrés par un agent ou technicien de l'O.N.F. ayant déjà participé à des travaux du même type antérieurement (Petite Meurthe et Noiregoutte).

Tous les travaux ont été réalisés à la force de l'homme sauf ceux sur la Petite Meurthe pour lesquels une pelle mécanique a été mobilisée pendant une journée.

Pour chaque ouvrage en bois, en forme de V ou d'un seul tenant, la démarche générale suivie lors de la réalisation, était chronologiquement la suivante :

- définition du tracé du seuil, détermination des points d'ancrage et prise de mesures ;
- mise à niveau du lit de la rivière à l'endroit choisi et préparation des points d'ancrage dans les berges ;
- disposition dans le lit de la rivière des systèmes de fixation, le plus souvent piquets en fer ou en chêne enfoncés de plus de 60 cm, après préparation du terrain à la barre à mine ;
- préparation des rondins ou planches, avec éventuellement goulots ou échancrures ;
- vérification, avant installation de la bonne jonction, des éléments constitutifs du seuil ;
- mise en place et fixation des parties en bois ;
- comblement des espaces situés sous le seuil à l'aide de pierres et protection des berges par des blocs de pierre ;
- protection des parties amont et aval de l'ouvrage par des pierres et blocs.

Pour les ouvrages en pierre, qu'il s'agisse de seuil ou de rampe, après définition du tracé, les plus gros blocs étaient positionnés les premiers, éventuellement fixés par des piquets ; des pierres de taille plus petites étaient alors agencées autour des blocs principaux.

1.4. - Contrôle trimestriel de l'état des seuils

Un contrôle trimestriel de l'état de chaque seuil a été réalisé pendant un an. Il a fait l'objet de l'établissement d'une fiche de suivi et des rapports intermédiaires prévus.

II - CODIFICATION DES OUVRAGES

Pour réaliser les tris à plat et croisés nécessaires à l'interprétation globale des résultats de cette expérience, nous avons retenu de numéroter chaque seuil et de codifier chaque type d'ouvrage selon le principe suivant.

2.1. - Numérotation des seuils : voir rapport de fin de chantier

- Sarre Rouge :

Seuils n° 1 à 4
n° 5 (amont) et 5 (aval)
n° 6 et 6 bis
n° 7 à 14
soit 16 ouvrages.

- Zom Jaune :

Seuils n° 1 à 13
n° 14 (amont), 14 (milieu) et 14 (aval)
n° 15 à 21
soit 23 ouvrages.

- Petite Meurthe :

Seuils n° 1 à 6
n° 6A (seul seuil restant du chantier 1993)
soit 7 ouvrages.

- Noiregoutte :

Seuils n° 1 à 5
n° 6 (amont) et 6 (aval)
n° 7 à 9
soit 10 ouvrages.

Au total : 56 ouvrages ont été suivis au cours de l'année 1995 pour étudier leur stabilité au terme d'une année de fonctionnement.

Pour réaliser l'analyse des causes de dégradation, il nous a semblé nécessaire de décomposer chaque ouvrage multiple (succession rapprochée de deux ou trois seuils) en ses éléments constitutifs. En effet, ceux-ci n'étaient pas construits avec les mêmes matériaux et présentaient, en général, un diagnostic particulier.

2.2. - Codification des ouvrages

Chaque ouvrage a été affecté d'un code de deux chiffres caractérisant :

- le premier chiffre : le type de seuil
 - . Frontal : code 1
 - . En V ou équivalent* : code 2
 - . Rampe : code 3
- le deuxième chiffre : les matériaux utilisés
 - . Un rondin : code 1
 - . Deux rondins superposés : code 2
 - . Planches : code 3
 - . Pierres : code 4
 - . Mixte : code 5.

2.3. - Diagnostic

Chaque seuil a fait l'objet d'un diagnostic après **un an de fonctionnement, traduit selon la** codification suivante :

- Seuil intact : code 4.
- Seuil nécessitant un entretien : code 3.
- Seuil dont la structure a été détruite mais qui reste fonctionnel : code 2.
(cas des seuils mixtes dont seul l'élément bois a disparu)
- Seuil non fonctionnel restant en place : code 1.
- Seuil détruit (plus aucune trace) : code 0.

Compte tenu de la faible taille des échantillons, nous avons souvent regroupé dans l'analyse globale des résultats, les classes 0, 1 et 2 sous la dénomination "seuil détruit".

Enfin, nous avons relevé les causes de dysfonctionnement **qui sont regroupées en sept** classes et codifiées selon un mode binaire (1 : oui ; 0 : non) :

- affouillement,
- ancrage en berges,
- fixation centrale,
- déplacement des blocs,
- infiltrations (étanchéité),
- basculement vers l'aval,
- autres.

2.4. - Tableau brut de synthèse

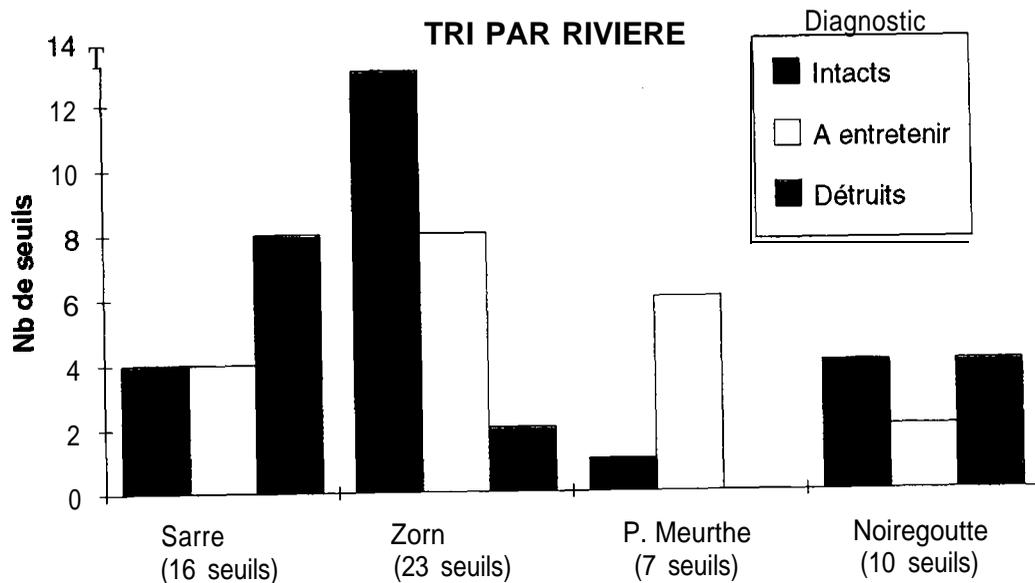
Cette codification a permis de synthétiser le suivi et le diagnostic de fonctionnement de chaque seuil dans le tableau joint en annexe.

* Pour les seuils en pierre, les ouvrages disposés en arc de cercle pour faire converger le courant en aval, bénéficient du code 2.

III - RESULTATS DE L'EXPERIENCE

3. 1. - Résultats auantitatifs globaux

3.1.1. - Comparaison Dar rivière



Il apparaît une très grande disparité des résultats sur les quatre cours d'eau.

Nous relevons à ce stade deux éléments explicatifs :

- L'expérience des équipes :

Sur la Sarre Rouge, l'équipe d'ouvriers a réalisé ses premiers seuils. Bien que travaillant avec application, la qualité des 12 premiers seuils apparaît à l'expérience moindre que les 27 suivants (en incluant La Zom).

. Nombre de seuils détruits (code 0, 1 et 2) sur les 12 premiers seuils construits : 8, soit 66 %.

. Nombre de seuils détruits (code 0, 1 et 2) sur les 27 seuils suivants : 2, soit 7 %.

N.B. : La Sarre Rouge et la Zorn sont deux cours d'eau dont les caractéristiques physiques et hydrauliques sont identiques et n'expliquent en rien le phénomène observé.

- **La dynamique fluviale** :

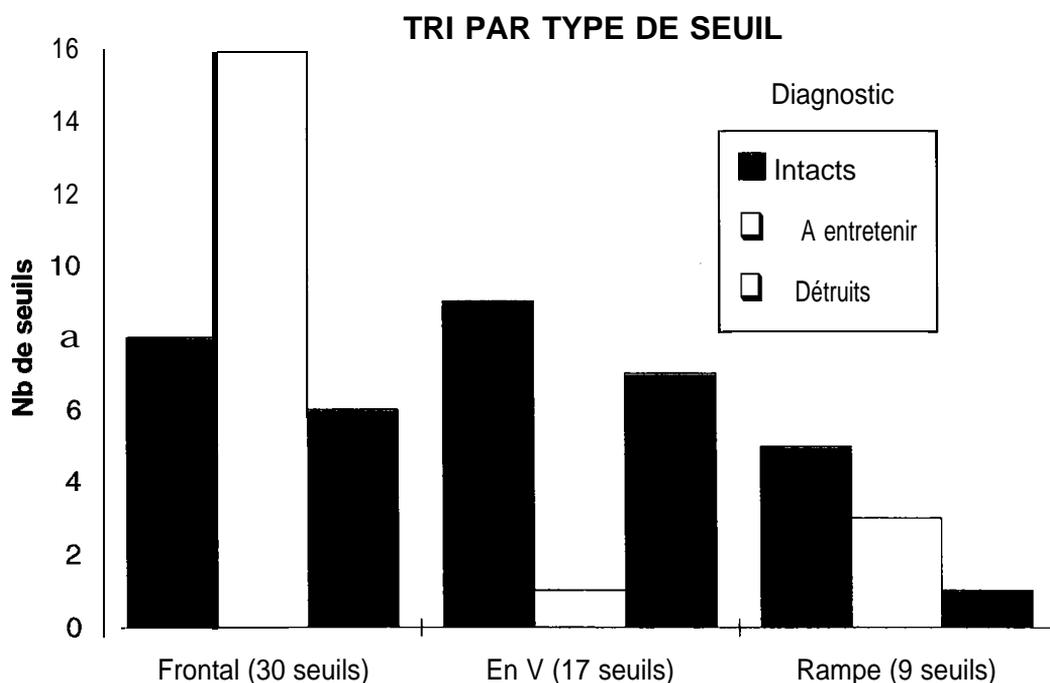
Des trois cours d'eau, la Petite Meurthe est celui dont la dynamique torrentielle est la plus marquée. Cela explique la proportion de seuils plus importante nécessitant un entretien, en particulier pour consolider les protections des berges et des fosses en aval des ouvrages.

3.1.2. - Les types d'ouvrage les plus résistants

Sans distinguer les matériaux utilisés, il apparaît que le taux de résistance des ouvrages après un an de fonctionnement est le plus important pour les rampes et les seuils frontaux.

Apparemment, les rampes nécessitent moins d'entretien que les seuils frontaux. Cette conclusion ne serait toutefois être définitive car il est vraisemblable que le besoin d'entretien se manifeste plus tardivement pour les rampes.

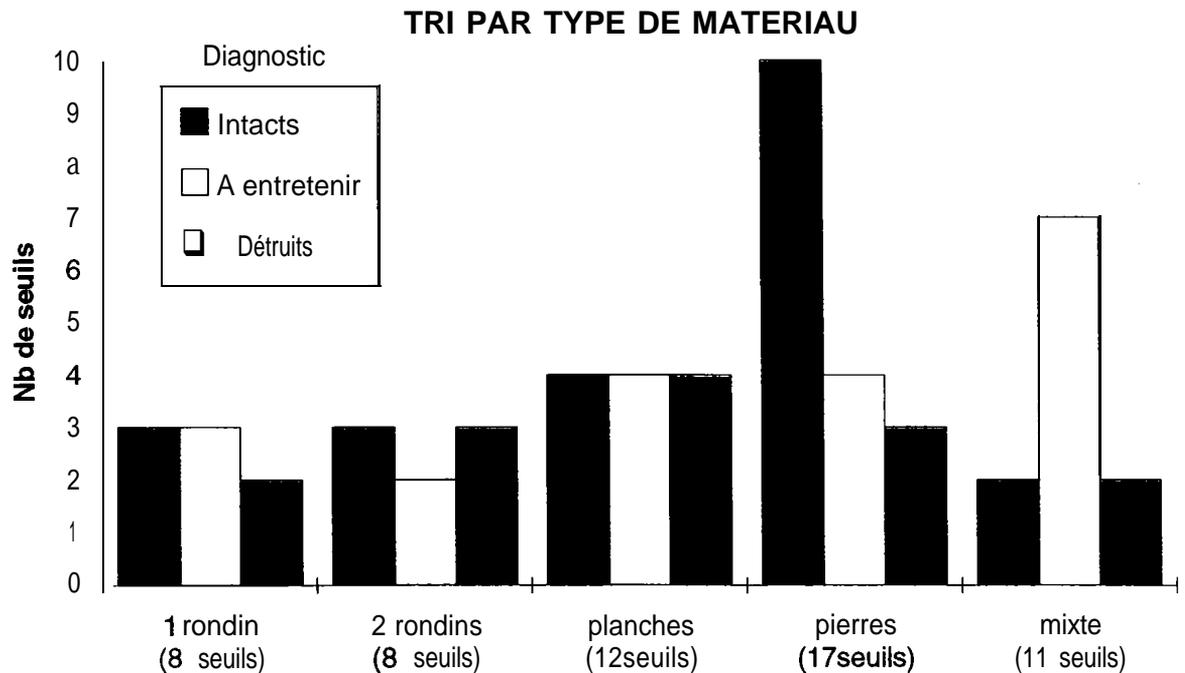
Les seuils en V sont manifestement les plus fragiles, le point d'appui central constituant pour ces ouvrages le "Talon d'Achille".



3.1.3. - Le comportement des différents matériaux employés

Les seuils en bois présentent sur l'échantillon disponible un comportement homogène. Qu'ils soient constitués d'une ou deux grumes ou de planches clouées, les trois classes de diagnostic représentent chacune un tiers des effectifs.

Les seuils en pierre donnent le meilleur taux de satisfaction devant les seuils mixtes. La souplesse de la structure de ces ouvrages ne doit pas être étrangère à ce résultat : les blocs peuvent être déplacés légèrement sans remettre en cause l'efficacité du seuil. Le maintien des blocs par des pieux limite efficacement les incidents.



3.1.4. - Causes de dégradation des seuils

Toutes les causes de dégradations potentielles des seuils ont été constatées dans l'échantillon.

Causes de dégradation	Nombre de cas rencontrés		Effectif de l'échantillon*	Taux de seuils dégradés ou détruits
	Destruction	Désordre		
Affouillement	7	7	39	36 %
Fixation centrale	3		17	18 %
Erosion des berges	2	6	56	14 %
Déplacement des blocs	3	6	28	32 %
Basculement		3	12	25 %

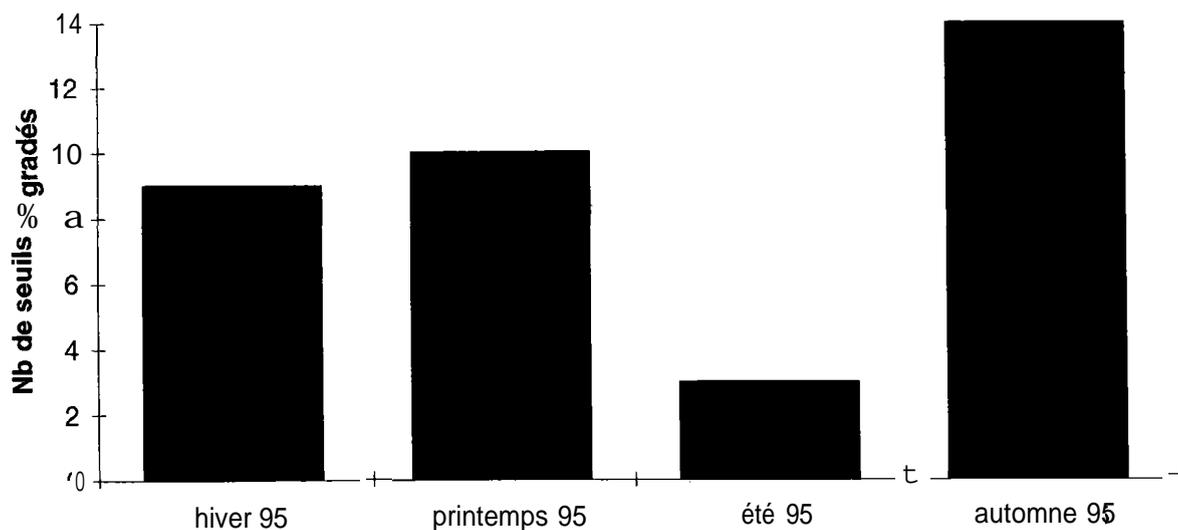
* L'effectif de l'échantillon s'entend ici comme le nombre de seuils dont la structure était susceptible d'être dégradée par cette voie (contre exemple : un seuil en bois ne peut être concerné par le déplacement de blocs).

Il ressort de ce tableau que les deux principales causes de dégradation des seuils sont l'affouillement et le déplacement de blocs. Ce résultat sera précisé par des tris croisés permettant d'analyser les causes de dégradation, type d'ouvrage par type d'ouvrage (cf. § 3.2.).

3.15. - Date d'apparition des désordres

L'historique ci-après rappelle la chronologie des désordres apparus au cours du suivi.

CHRONOLOGIE DES DEGRADATIONS



Les désordres apparaissant en été ne sont pas insignifiants (infiltration d'étiage . ..). Au terme d'une année, on n'a pas l'impression d'observer une stabilisation de l'évolution des ouvrages.

Cela s'explique sans doute par un double phénomène :

- le travail continu de l'eau sur les ouvrages ;
- l'absence d'entretien en cours d'expérience conformément au cahier des charges pour permettre de suivre l'évolution des seuils à partir de leur conformation initiale.

3.2. - Résultats croisés les plus significatifs

Pour entrer plus en détail dans les interprétations quantitatives, nous sommes amenés à croiser certains résultats. Cette opération conduit toutefois à établir des classes dont les effectifs sont parfois limités à quelques individus.

Les résultats ne sauraient dès lors revêtir un caractère statistique mais simplement présenter le résultat de l'expérience.

Les résultats sont synthétisés dans le tableau ci-après.

Il en ressort les principales conclusions suivantes :

1) Seuils frontaux :

Les seuils frontaux utilisant le matériau bois sont principalement sujet à l'affouillement et à l'érosion latérale des berges au niveau des ancrages.

Manifestement les protections de la fosse d'appel et des berges avec des enrochements ont été souvent insuffisantes.

Les seuils construits avec des planches, quand ils ne sont pas protégés à l'amont par un ensablement suffisant ou la mise en place de pierres, subissent naturellement une très grande poussée dynamique de l'eau. Leur consolidation avec des pieux est indispensable. Dans la moitié des cas, elle n'a **pas** été suffisante puisqu'un basculement vers l'aval est perceptible. Il n'y a pas de différences significatives entre les seuils composés d'un ou deux rondins, l'étanchéité pouvant être réalisée dans de bonnes conditions entre deux éléments en bois.

Ce n'est pas le cas des ouvrages mixtes où l'on retrouve les problèmes d'affouillement et d'étanchéité à la base.

L'ouvrage qui donne le plus de satisfaction est manifestement le seuil en pierre dont les blocs sont maintenus par des pieux. Mais il est parfois **difficile** de trouver suffisamment de matériaux sur place pour envisager systématiquement ce type d'ouvrage.

DIAGNOSTIC ET CAUSES DE DEGRADATION PAR TYPE D'OUVRAGE

Type	Matériaux	Effectif	Diagnostic			Causes des dégradations				
			Très bonne tenue	A entretenir	Détruit	Affouillement	Fixation centrale	Erosion berge	Déplacement blocs	Basculement
IFrontal	1 rondin	7	2	3	1	4		1		
	2 rondins	5	2	2	1	2		1	-	
	3 planches	6	1	4	1	1		1		3
	4 pierres	5	3	2	-	-	-	-	2	
	5 mixte	7	-	5	2	5	-	4	1	-
En V	1 rondin	1	1			-	-	-	-	-
	2 rondins	3	1		2 (*)	1	-	-	-	-
	3 planches	6	3		3	-	3	-	-	-
	4 pierres	7	4	1	2	-	-	-	3	-
	5 mixte	-				-	-	-	-	-
Rampe	1 pierres	5	3	1	1	-	-	-	2	-
	2 mixte	4	2	2	-	1	-	1		-
					Cumul	14	3	8	8	3

(*) dont un détruit par une cause extérieure.

2) Seuils en V :

Les seuils en V se caractérisent par un risque de destruction très élevé. Tout désordre se traduit par la destruction de l'ouvrage. Ce type de seuil ne présente aucune souplesse.

Pour les seuils en bois, c'est le point d'ancrage central qui constitue le "Talon d'Achille". Pour les seuils en pierre, le déplacement préjudiciable des blocs s'explique par l'absence ou l'insuffisance des pieux de fixation. Le substrat gréseux ou granitique dur ne permettait pas toujours de les renforcer **suffisamment** dans le fond du lit.

3) -Rampes :

Qu'elles soient mixtes ou constituées de pierres uniquement, elles présentent un comportement analogue aux seuils frontaux.

Sur cette expérience, on proposerait toutefois de privilégier les seuils qui nécessitent moins de matériaux de construction et sont plus rapides à construire pour un taux de réussite équivalent.

3.3. - Quelques résultats complémentaires

Le suivi trimestriel a également permis de relever quelques observations qui viennent conforter les résultats précédents.

3.3.1. - L'entretien des ouvrages

Un suivi et un entretien régulier des ouvrages semble réellement de nature à pouvoir prolonger efficacement l'espérance de vie des seuils.

Sur les 14 ouvrages détruits pendant la période, il s'est écoulé entre le premier constat d'un désordre et la destruction du seuil, un délai compris entre :

- 0 et 3 mois dans 10 cas ;
- 3 et 6 mois dans 4 cas.

Contrairement à une idée répandue, le processus de destruction d'un seuil n'est pas toujours très rapide, laissant au gestionnaire le temps d'intervenir.

3.3.2. - Un résultat concluant

La construction de six seuils sur la Petite Meurthe a permis d'éviter cette année l'assèchement du cours d'eau sur la partie aménagée.

Si ce résultat se confirmait, il nous conduirait à proposer d'autres ouvrages en aval pour espérer **rétablir** une rivière en eau à l'étiage, ce qui ne s'était plus produit depuis les travaux de curage évoqués dans le rapport initial de la présente expérience.

IV - QUELQUES RECOMMANDATIONS TECHNIQUES

Au-delà des résultats énoncés, il apparaît intéressant de développer les recommandations qu'elles induisent.

Pour limiter les risques d'affouillement des seuils en bois, il est indispensable de :

- préparer le fond du lit du cours d'eau sur lequel va être posé la grume pour obtenir la meilleure étanchéité ;
- ne pas hésiter à former la fosse aval est la protéger avec un maximum de blocs de pierres ;
- protéger les berges et le lit en aval sur une distance au moins égale à la longueur du seuil.

On disposera à l'amont du seuil, des pierres ou des rondins pour faciliter le dépôt de matériaux dans le double but de :

- faciliter le colmatage à la base du seuil (étanchéité) ;

et

- limiter la pression dynamique de l'eau sur le seuil, surtout s'il est constitué de planches (risque de basculement).

Pour limiter les risques d'érosion des berges au niveau des ancrages, on disposera à l'amont et à l'aval de la crête de pierres de diamètre suffisant. On évitera à la pose de détruire la végétation aux points d'ancrage et on s'appuiera, chaque fois que cela sera possible, sur un élément stable des berges (bloc, arbre).

On limitera la création de seuils en bois en V au seul cas où il est nécessaire de faire converger l'eau au centre de la rivière et où un appui central suffisant sera disponible. On envisagera d'enfoncer un pieu pour créer cet appui si ce dernier peut être suffisamment stable (attention au substrat rocheux).

Si les blocs de pierre sont présents en quantités suffisantes, on préférera les seuils en pierre mais en prenant soin de les maintenir par des pieux régulièrement disposés en travers du lit, au pied et dans la structure du seuil. Veiller à arroser les pieux au niveau de l'ouvrage pour éviter toute formation d'embâcle.

Par ailleurs, on réservera les rampes en pierre aux cas de dénivelées importants à rattraper quand les matériaux sont abondants sur place.

On retiendra, enfin, en résumé, qu'un seuil a d'autant plus de risque d'être dégradé qu'il possède de points faibles et qu'au rang de ceux-ci il convient de citer principalement :

- la fosse d'appel en aval ;
- les ancrages en berge ;
- la hauteur de pelle ;
- les contacts entre éléments constitutifs (étanchéité).

CONCLUSION

L'expérience menée en 1994 et 1995 a permis de confirmer un certain nombre de recommandations techniques proposées depuis plusieurs années par des centres de recherches appliquées (CEMAGREF) ou structures techniques d'appui aux maîtres d'ouvrages (Agence de l'Eau, DIREN, DDAF, . ..).

Elle a également permis, et à notre connaissance il s'agit d'une des premières références en la matière (en Lorraine pour le moins), de comparer l'efficacité ou plutôt la résistance des différents types de seuil aux efforts hydrauliques et dynamiques des rivières dans lesquelles ils sont implantés.

Il ressort de ce test que les ouvrages rustiques les plus simples sont les plus résistants. Cela vaut pour la forme des ouvrages et pour le choix de matériaux, chaque hétérogénéité induisant un risque d'étanchéité insuffisante. Les seuils en pierres, si celles-ci sont disponibles en quantité suffisante, seront privilégiés.

Mais dans tous les cas, seuil en pierre ou seuil en bois, le plus grand soin doit être apporté aux fixations et ancrages des ouvrages qui sont déterminants pour leur pérennité.

•

O.N.F. - Janvier 1996

ANNEXE

Fichier brut des résultats

	N°	TYPE	MAT	DIAG	DATE1	DATE2	AFF	FIX-CEI	BERGES	ETANC	BLOCS	BASC	autre
SARRE	1	2	3	0	2	2		1					
ROUGE	2	2	3	4									
	3	2	4	0	1	3					1		
	4	1	2	3	4				1				
	5A	1	5	2	2		1		1				
	5B	1	5	2	1		1		1				
	6A	3	5	3	4		1						
	6B	1	4	3	1								
	7	3	4	0	2	4					1		
	8	2	2	1	2	4	1						
	9	2	4	0	1	3					1		
	10	2	2	1	4	4							1
	11	1	3	3	4							1	
	12	2	3	4									
	13	1	1	4									
	14	3	4	4									
ZORN	1	3	4	4									
	2	2	4	4									
	3	1	2	4									
	4	1	2	3	3		1						
	5	2	3	4									
	6	1	3	3	4				1				
	7	2	3	0									
	8				2	2		1					
	9	3	5	3	A				II				
	10	2	4	4									
	11	1	1	3	4		1						
	12	3	5	4	1								
	13	2	4	4	A								
	14A	1	1	3	4		1						
	14B	1	3	3	4							1	
	14c	1	1	3	4				1				
	15	2	4	4									
	16	2	3	0	1	2		1					
	17	3	4	4									
	18	1	3	3	4							1	
	19	2	1	4									
	20	2	2	4									
	21	1	3	4									
PTE	1	2	4	3	2						1		
MTHE	2	1	5	3	1		1				1		
	3	1	5	3	1						1		
	4	1	4	4	1						1		
	5	1	5	3	1				1		1		
	6	1	5	3	2		1						
	6A	1	5	3	4		1		1				
NOIRE	1	1	4	3	2						1		
GOUTT	2	1	2	1	4	4	1						
	3	1	2	4									
	4	1	3	1	3	3	1						
	5	1	4	4									
	6A	1	1	4									
	6B	1	4	4									
	7	1	1	1	3	3	1						
	8	1	1	1	2	2	1						
	9	3	4	3	2	2					1		