

Ministère de la Région Wallonne

Direction Générale des Ressources Naturelles et de l'Environnement (DGRNE)

Division de l'Eau-Direction des Cours d'Eau Non Navigables (DCENN)



CONVENTION D'ETUDES AVEC L'UNIVERSITE DE LIEGE

(VISA N°05/43388)

Rapport final pour la période 2005-2007 sur le thème :

Définition de bases biologiques et éco-hydrauliques pour la libre circulation des poissons dans les cours d'eau non navigables de Wallonie.

VOLUME 1

Elaboration d'une méthodologie d'évaluation de la franchissabilité par les poissons de différents types d'obstacles d'après des critères topographiques et hydrauliques simples.

par

Michaël OVIDIO, Hervé CAPRA & Jean-Claude PHILIPPART

Avec la collaboration de

Yvan NEUS, Gilles RIMBAUD



Unité de Biologie du Comportement de l'Université de Liège
Laboratoire de Démographie des Poissons et d'Hydroécologie (LDPH)
10 chemin de la Justice, 4500 Tihange
Tél. : 085/27 41 57 – Fax : 085/ 23 05 92 - e-mail : M.Ovidio@ulg.ac.be

AVRIL 2007

TABLE DES MATIERES

1. INTRODUCTION – **P3**

2. SYNTHÈSE DES INFORMATIONS SUR LE FRANCHISSEMENT D'OBSTACLES MISE AU POINT D'UNE METHODE SIMPLE DE CARACTERISATION DES OBSTACLES FRANCHIS PAR LES POISSONS SALMONIDES (TRUITE ET OMBRE) – **P5**

3. MISE AU POINT D'UNE METHODE SIMPLE DE CARACTERISATION DES OBSTACLES FRANCHIS PAR LES POISSONS SALMONIDES (TRUITE ET OMBRE) - **P44**

4. TYPOLOGIE SIMPLIFIEE PROVISOIRE DES OBSTACLES EN TERME DE FRANCHISSABILITE PAR LES SALMONIDES – **P67**

5. CONCLUSIONS GENERALES ET PERSPECTIVES –**P79**

6. REMERCIEMENTS -**P85**

7. REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES -**P86**

8. ANNEXES SOUS LA FORME DE VOLUMES COMPLEMENTAIRES PRESENTANT LES ILLUSTRATIONS PHOTOGRAPHIQUES –**P89**

9. ANNEXES AU PRESENT VOLUME –**P102**

CITATION RECOMMANDEE DU RAPPORT

OVIDIO, M., CAPRA, H. & J.C. PHILIPPART (avec la collaboration de Y. NEUS, G. RIMBAUD), 2007 A. Elaboration d'une méthodologie d'évaluation de la franchissabilité par les poissons de différents types d'obstacles d'après des critères topographiques et hydrauliques simples. Rapport final au Ministère de la Région Wallonne, DGRNE-Division de l'Eau, Direction des Cours d'eau non navigables. Université de Liège, Laboratoire de Démographie des Poissons et d'Hydroécologie, 102 pages + annexes (avril 2007)

1. INTRODUCTION

Face à la multitude des obstacles de tous types présents sur les cours d'eau non navigables de Wallonie (fig. 1), il est essentiel pour le gestionnaire de connaître lesquels représentent effectivement un élément de perturbation ou d'empêchement de la libre circulation des poissons en remontée.

Pour répondre à cette question, le LDPH a utilisé la télémétrie aquatique (radio-pistage) ainsi que d'autres méthodes de marquage individuel (pit tag ou puce électronique) pour récolter des informations sur la mobilité des poissons et sur leurs capacités de franchissement d'obstacles *in situ*, donc en replaçant ces franchissements (et non - franchissements) dans le cadre du cycle de vie naturel des espèces pour l'accomplissement de leurs fonctions vitales et spécialement de la reproduction et de la colonisation continentale chez l'anguille.

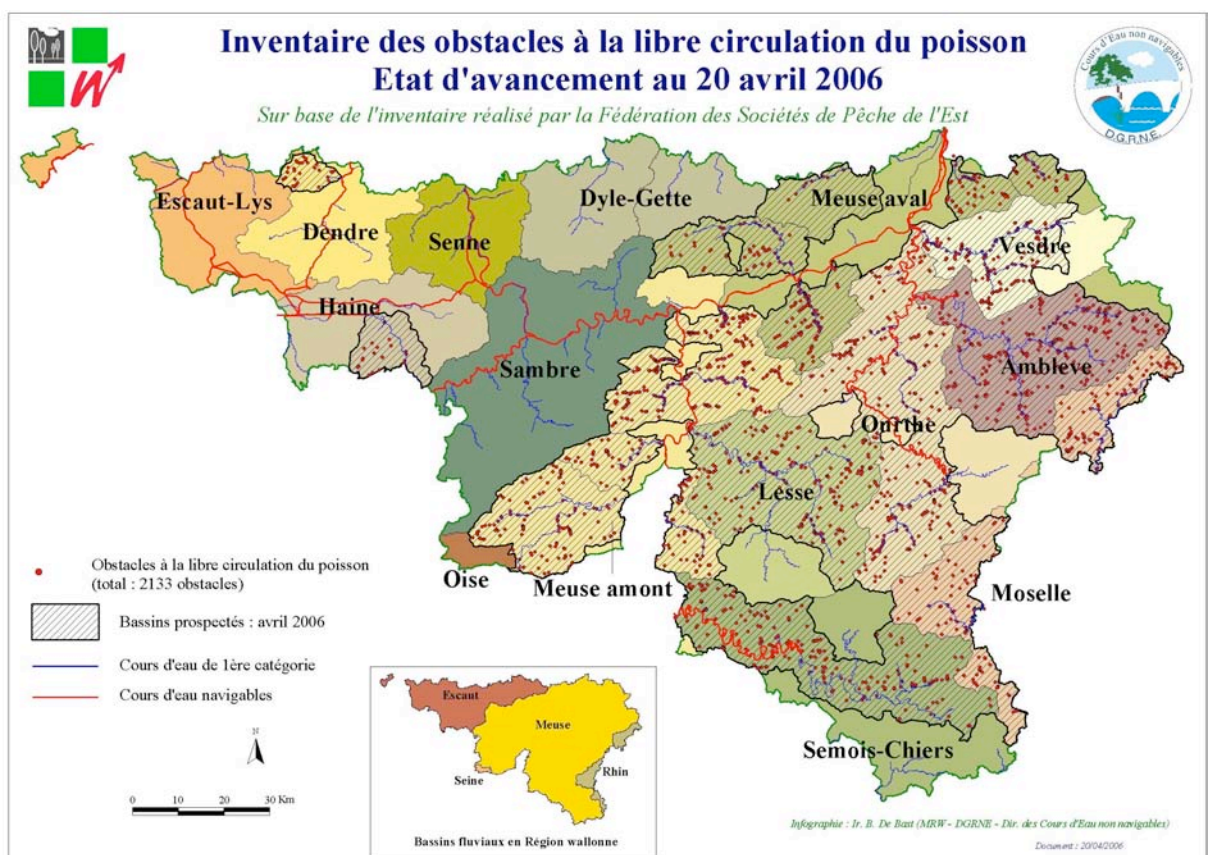


Figure 1: Degré de couverture en avril 2006 des bassins hydrographiques de la Région wallonne par les inventaires des obstacles à la libre circulation des poissons en rivière.

Dans le cadre de conventions d'études avec la DCENN mais aussi à l'occasion de plusieurs autres programmes de recherches (Saumon Meuse ; SSTC Fishguard ; FNRS-FRIA-ULG), le LDPH a effectué au cours des dix dernières années, de multiples observations sur le comportement de franchissement de différents types d'obstacles, dans différentes rivières et par différentes espèces de poisson. Cette partie du rapport correspond aux Actions 1 et 2 de la Partie 1 (*Libre circulation des poissons dans les cours d'eau non-navigables*) du programme de la convention 2005-2007. Elle propose une synthèse de cet ensemble de résultats, comme base à la détermination des caractéristiques typologiques et hydrauliques des ouvrages les rendant franchissables ou non par des poissons de plusieurs groupes écologiques : salmonidés représentés par la truite commune, l'ombre commun et le saumon atlantique, cyprinidés d'eau rapide représentés par le barbeau et le hotu, et espèces présentes dans pratiquement tous les types d'eau, comme le gardon (cyprinidé) et le brochet. La répartition géographique de cet ensemble d'espèces dans les eaux de Wallonie couvre pratiquement toutes les eaux courantes de la Région (Philippart et Vranken, 1983 ; voir Volume 3 du présent rapport).

Au plan pratique, l'approche développée dans cette étude doit déboucher sur des prises de décisions susceptibles de refléter au mieux les besoins réels des espèces et communautés présentes dans chaque cours d'eau et donc de mettre en œuvre des actions de restauration durables.

2. SYNTHÈSE DES INFORMATIONS SUR LE FRANCHISSEMENT D'OBSTACLES

2.1. Nombre et origines des poissons pris en considération

Les observations comportementales sur le franchissement d'obstacles par des poissons radio-marqués (et dans quelques cas pucés) ont porté sur un total de 197 individus, appartenant à 7 espèces et étudiés dans 11 cours d'eau (tabl. 1). Les principales caractéristiques de ces milieux sont résumées dans le tableau 2

Milieu/Espèce	SAU	TRU	OMB	BAR	HOT	GAR	BRO	TOT
Berwinne	3	2	-	1	-	-	-	6
Gueule	-	7	-	-	-	-	-	7
Ourthe	-	9	-	14	5	-	6	34
Vesdre	-	10	-	-	7	8	-	25
Haze-	-	2	-	-	-	-	2	4
Ambève	-	7	-	8	13	-	-	28
Néblon	-	4	11	-	-	-	-	15
Aisne	-	19	23	-	-	-	-	42
R. d'Oxhe	-	6	-	-	-	-	-	6
Méhaigne	-	9	-	5	-	-	-	14
Lhomme	-	5	13	-	-	-	-	18
Total	3	80	47	28	25	8	6	197

Tableau 1 : Répartition du nombre de poissons des différentes espèces radio-pistés dans les cours d'eau de Wallonie pour déterminer les capacités de franchissement des obstacles physiques.

CARACTERISTIQUES	OURTHE	AMBLEVE*	AISNE*	NEBLON*	MEHAIGNE	OXHE	BERWINNE	LHOMME	VESDRE
Altitude - source (m)	507	586	600	255	180	260	270	475	626
Altitude - confluence (m)	63	102	135	120	68	65	53	153	64
Longueur (km)	175	93	35	18,3	66	13,9	29	50,5	72
Bassin versant (km ²)	3672	1083	184	78,7	360	45,3	131	479	702
Pente moyenne (p/1000)	2,54	5,20	13,29	7,7	1,70	14,0	7,48	6,3	7,8
Largeur/cours inférieur (m)	30-50	30-50	5-10	5	5-10	5	5-10	5-10	30-50
Débit moyen annuel (m ³ /s)	67,4	21,7	2,6	0,9	3,0	< 0,5	2,4	1,78	11,4
Température de l'eau en juillet	19,9	19,4	15,3	15,0	17,6	16,7	18,6	14,9	17,1
Zone piscicole selon Huet	barbeau	ombre	truite/ombre	truite	gray/barb.	trout	truite/ombre	ombre	ombre
Espèce dominante en biomasse	barbeau	barbeau	truite	truite/ombre	gardon/chev.	truite	chevaine	truite	goujon
Qualité de l'eau	élevée	élevée	excellent	élevée	moyenne	élevée	moyenne	élevée	moyenne

Tableau 2 : Principales caractéristiques des milieux étudiés.

2.2. Localisation des sites étudiés

Les obstacles étudiés par radio-pistage sont localisés sur les cartes géographique de la figure 2. A chaque obstacle est associé un numéro de code attribué par la DCENN. Ces obstacles sont également positionnés sur les cartes détaillées des différents bassins (figures 3 à 13) et leurs photos sont présentées dans les pages suivantes. Un code particulier a été choisi pour les obstacles non caractérisés par la Fédération des Sociétés de Pêche de l'Est et du Sud de la Belgique.

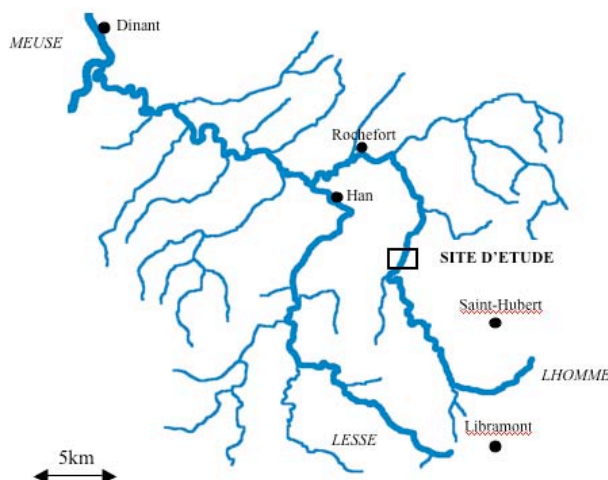


Figure 2: Localisation géographique des obstacles dont la franchissabilité a été étudiée par radio-pistage. Les rivières et les obstacles non étudiés ne sont pas représentés sur la carte. La carte du dessous concerne la Lhomme à Poix-Saint Hubert.



Figure 3: Entraves à la libre circulation des poissons dans le bassin de la Berwinne : obstacles B2 et B3. Inventaire et classification des obstacles avant les suivis par radio-pistage (source B. De Bast, MRW-DGRNE)

Obstacle B2 MRW = barrage de Berneau

Obstacle B3 MRW = barrage de Mortroux

Obstacle B4 MRW = barrage de Neufchâteau

Obstacle B5 MRW = barrage de Val Dieu

Obstacle 31 MRW = barrage de Mortroux sur Ruisseau d'Asse

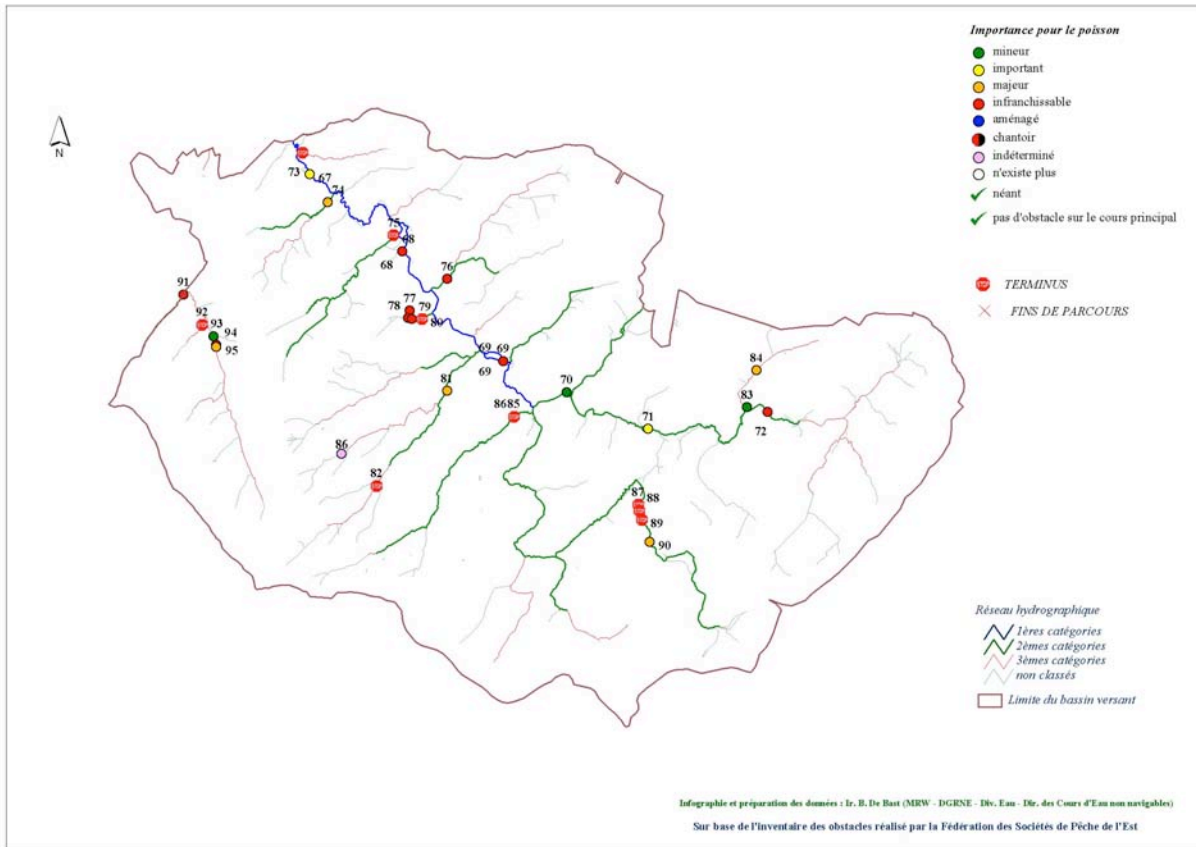


Figure 4: Entraves à la libre circulation des poissons dans le bassin de la Gueule : obstacles 67 et 68. Inventaire et classification des obstacles avant les suivis par radio-pistage (source B. De Bast, MRW-DGRNE)

Gueule 67 MRW = barrage Sippenaeken

Gueule 68 MRW = barrage Plombière tunnel

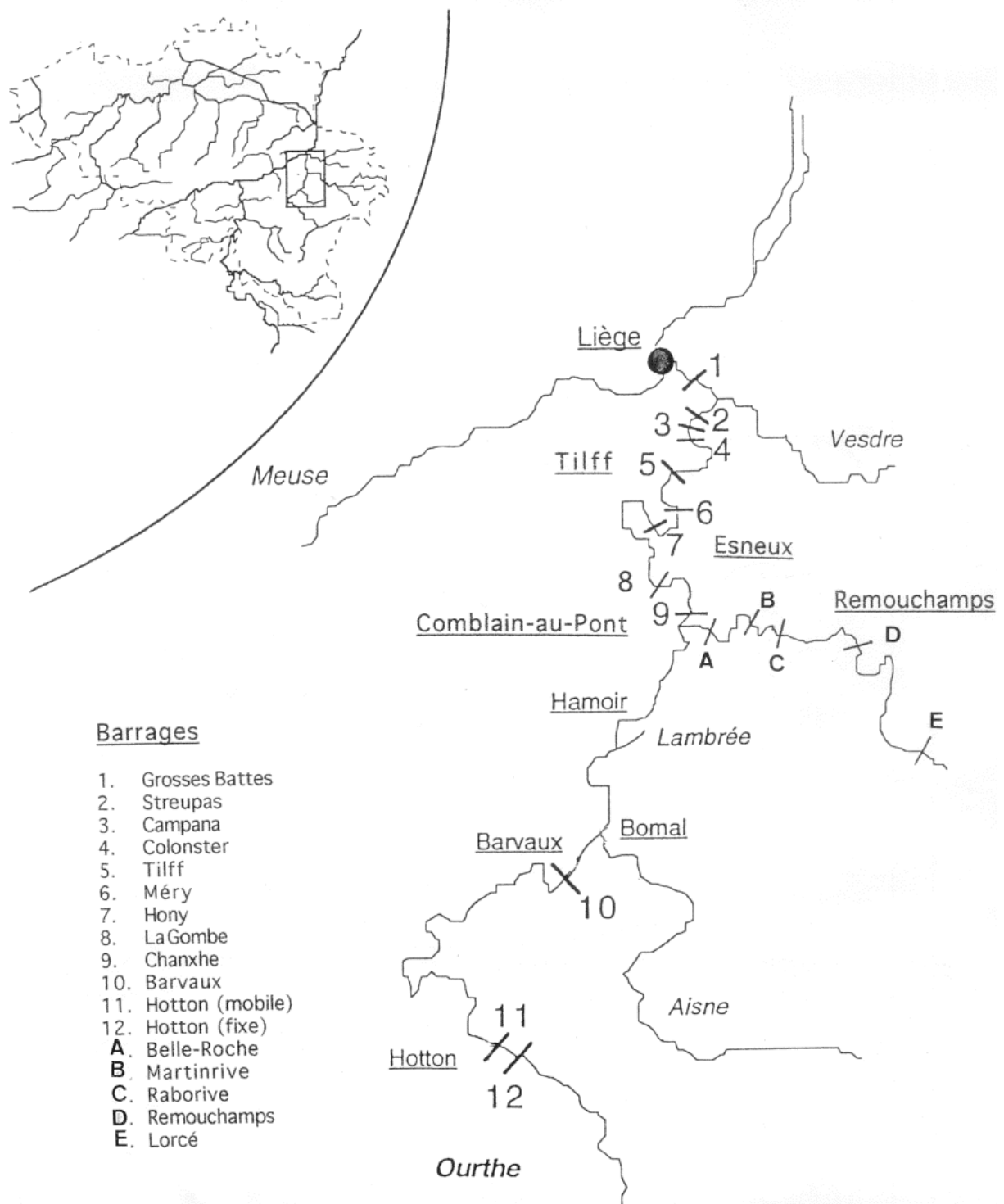


Figure 5 : Entraves à la libre circulation des poissons dans le cours de l'Ourthe qui reçoit les principaux cours d'eau non navigables: obstacles 01 à 12.

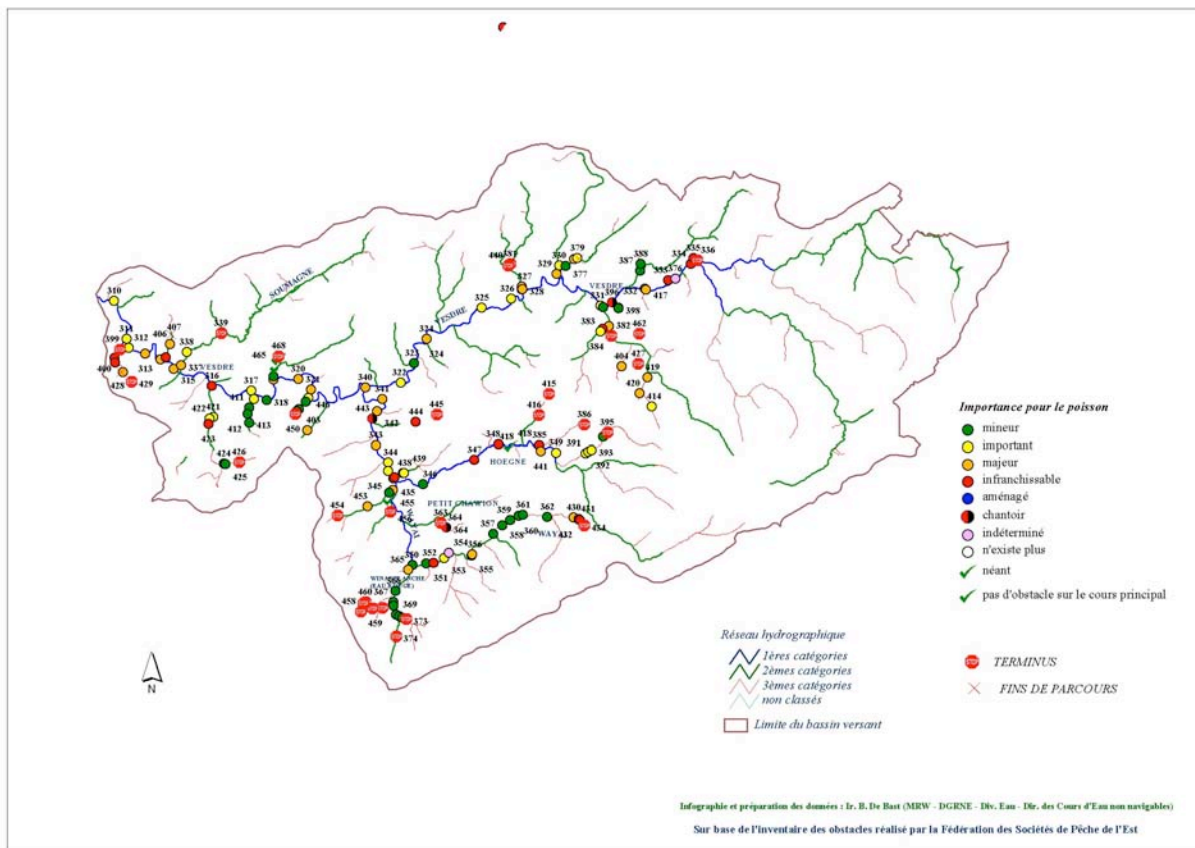


Figure 6 : Entraves à la libre circulation des poissons dans le bassin de la Vesdre : obstacles 340 à 346 jusqu'au Ry de Mosbeux. Inventaire et classification des obstacles avant les suivis par radiopistage (source B. De Bast, MRW-DGRNE)

Obstacle 340 ou Ve 1 MRW = barrage de Loneux à Chênée

Obstacle 341 ou Ve 2 MRW = barrage de Vaux -sous-Chèvremont

Obstacle 342 ou Ve 3 MRW = barrage de Chaudfontaine Hauster

Obstacle 343 à Ve 4 MRW = barrage de Chaudfontaine casino

Obstacle 344 ou Ve 5 MRW = barrage usine Prometa

Obstacle 345 ou Ve 6 MRW = barrage de Trooz La Brouck

Obstacle 346 ou Ve 7 MRW = barrage de Trooz La Fenderie (confl. Ry de Mosbeux)

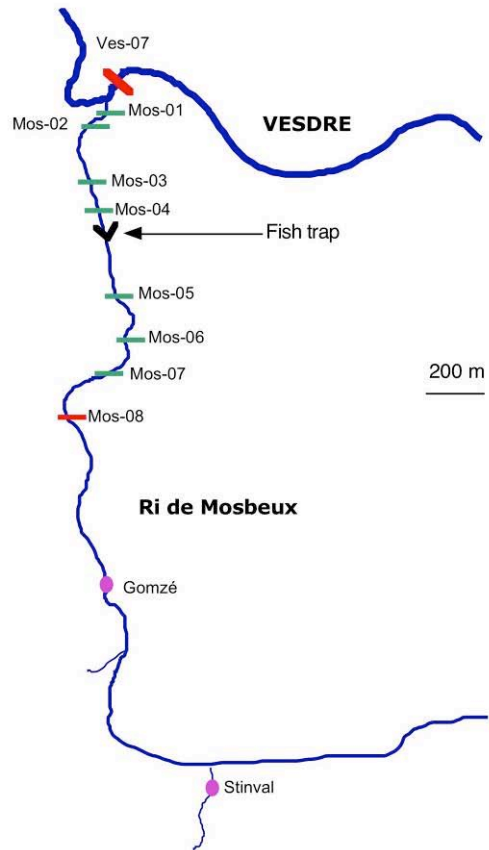


Figure 6 b : Entraves à la libre circulation des poissons dans le Ry de Mosbeux, affluent de la Vesdre à Trooz : obstacles Mos 01 à Mos 08. Inventaire et classification des obstacles avant les suivis par radio-pistage (source : Philippart, 2005)

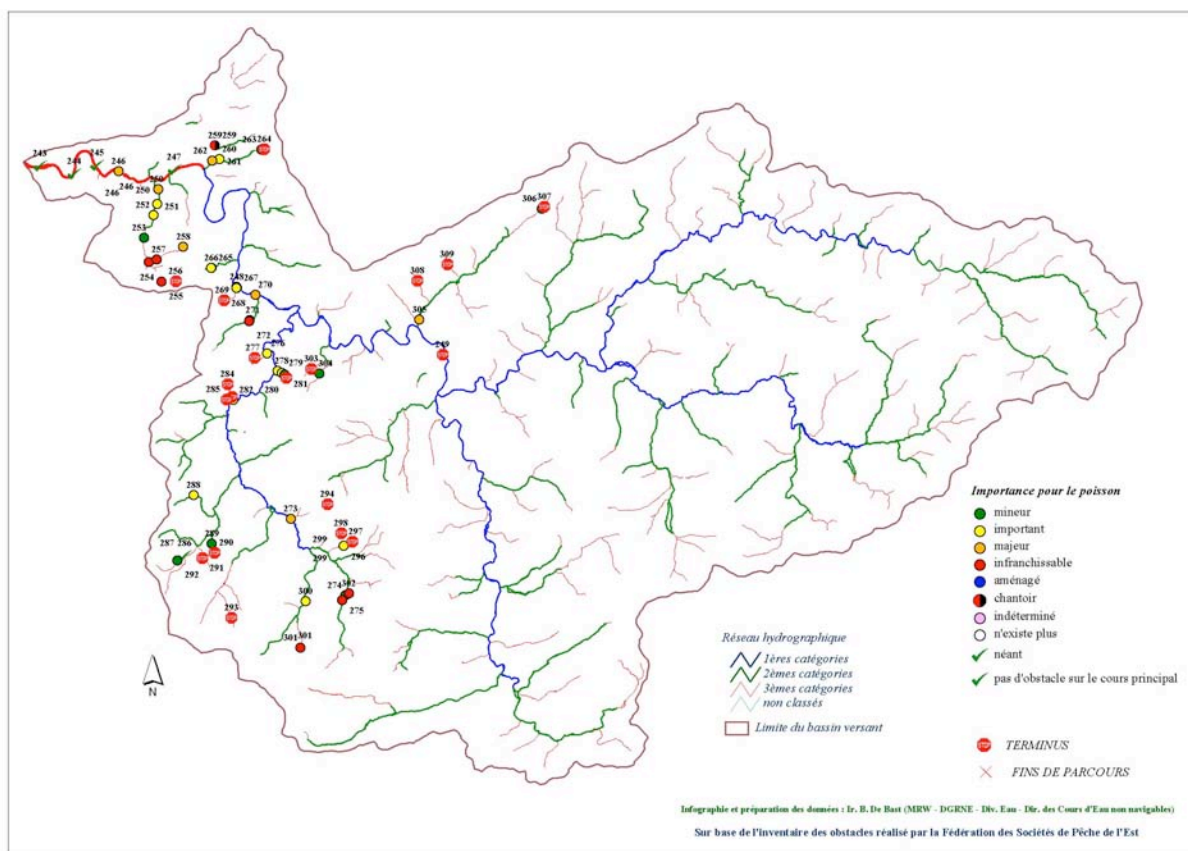


Figure 7: Entraves à la libre circulation des poissons dans le bassin l'Amblève en aval de la cascade de Coo : obstacles 243 à 270. Inventaire et classification des obstacles avant les suivis par radiopistage (source B. De Bast, MRW-DGRNE)

Obstacle 243 MRW = barrage de C. -au--Pont Belle Roche
 Obstacle 245 MRW = barrage de Martinrive
 Obstacle 246 MRW = barrage de Raborive Aywaille
 Obstacle 270 = barrage de Lorcé

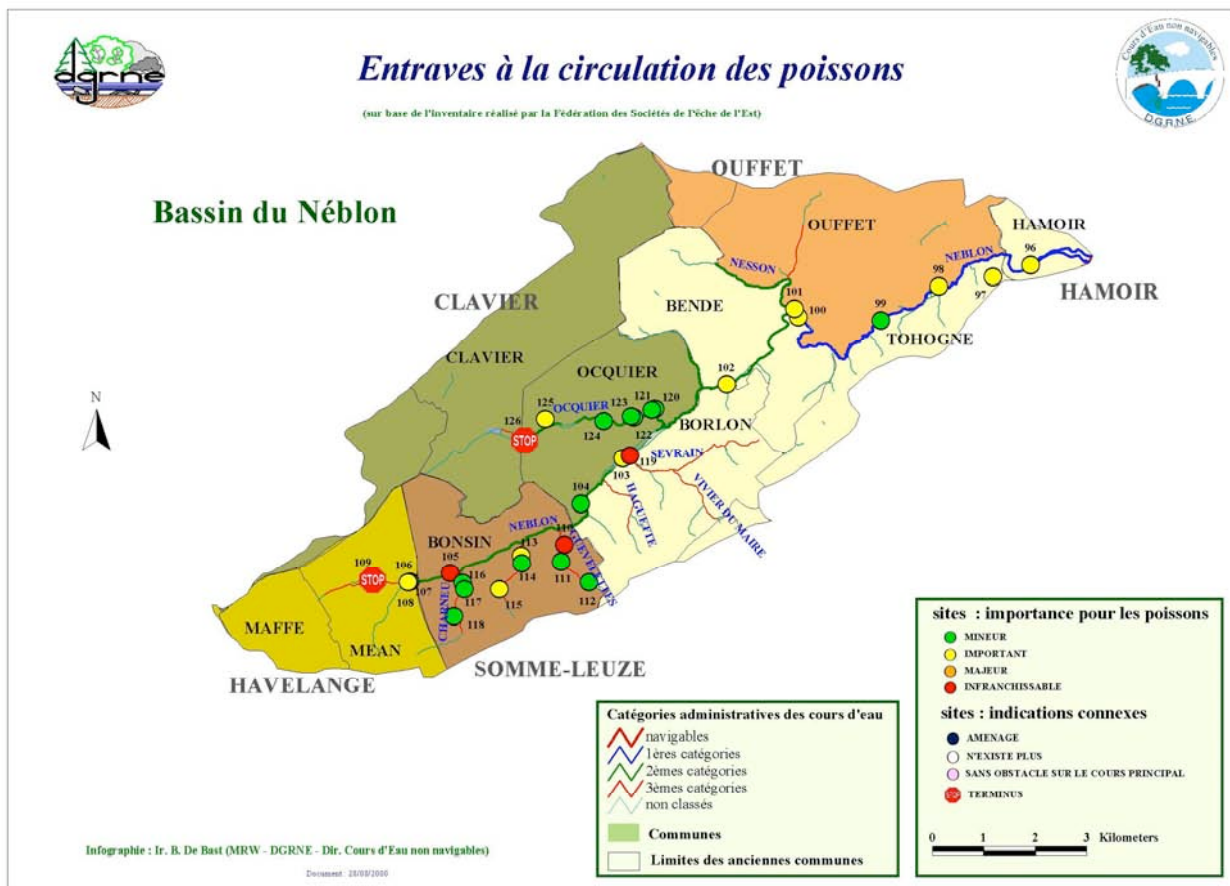


Figure 8 : Entraves à la libre circulation des poissons le Néblon : obstacles 96 à 101. Inventaire et classification des obstacles avant les suivis par radio-pistage (source B. Bast, MRW-DGRNE)

- Obstacle 96 MRW = barrage de Hamoir dérivation
- Obstacle 97 MRW = barrage de Hamoir limnimètre
- Obstacle 98 MRW = barrage de Tohogne 1
- Obstacle 99 MRW = barrage de Tohogne 2
- Obstacle 100 MRW = obstacle CILE aval
- Obstacle 101 MRW = obstacle CILE amont



Figure 9 : Entraves à la libre circulation des poissons l'Aisne : obstacles 44 à 49. Inventaire et classification des obstacles avant les suivis par radio-pistage (source B. Bast, MRW-DGRNE).

- Obstacle 44 MRW = barrage de Bomal
- Obstacle 45 MRW = barrage de Juzaine Saint-Denis
- Obstacle 46 MRW = barrage de Aisne
- Obstacle 47 MRW = barrage de Aux Roches
- Obstacle 48 MRW = barrage de Ninane
- Obstacle 49 MRW = barrage de Fanzel

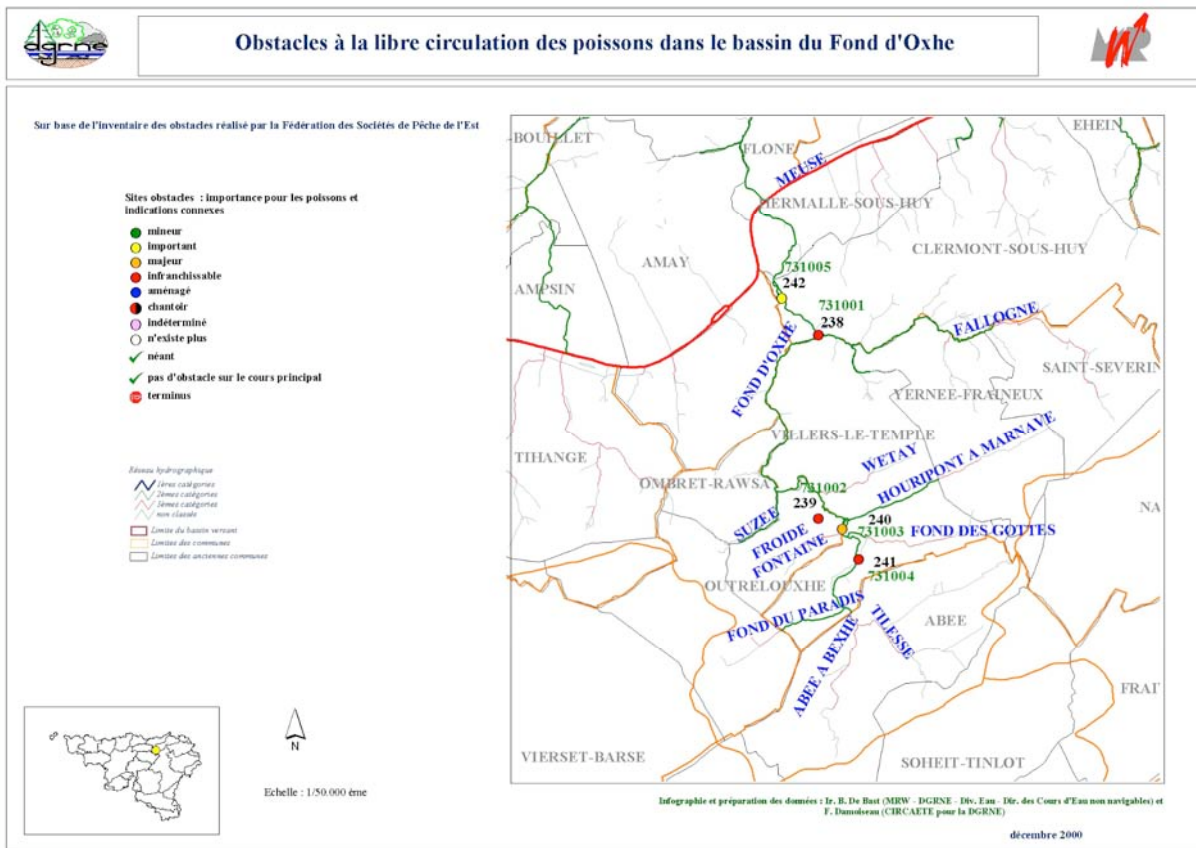


Figure 10 : Entraves à la libre circulation des poissons le Ruisseau d'Oxhe : obstacles 242 et 238. Inventaire et classification des obstacles avant les suivis par radio-pistage (source B. Bast, MRW-DGRNE)

Obstacle 242 MRTW = barrage d'Ombret
 Obstacle 238 MRW = barrage Tour Malherbe

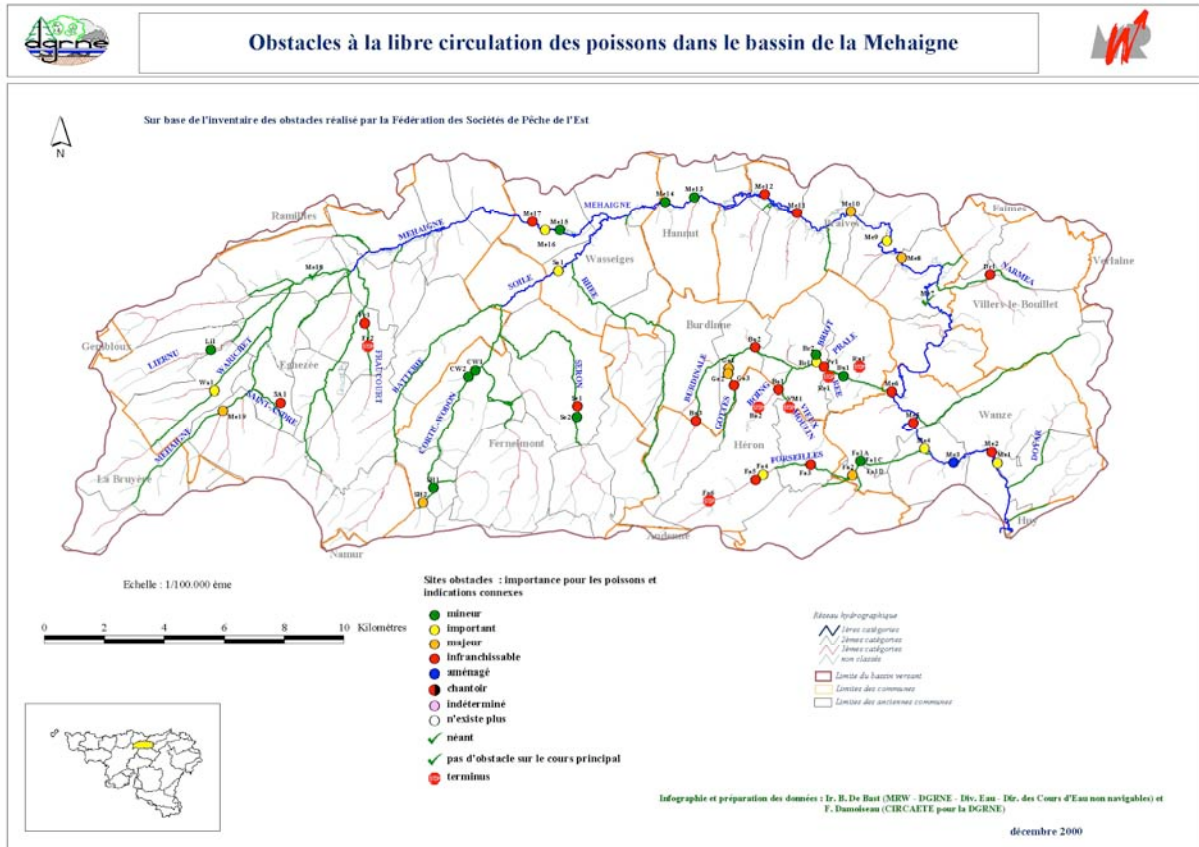


Figure 11: Entraves à la libre circulation des poissons dans la Méhaigne : obstacles Me 1 à Me 6. Inventaire et classification des obstacles avant les suivis par radio-pistage (source B. Bast, MRW-DGRNE).

- Obstacle Me 1 MRW = Val Notre -Dame cours principal
- Obstacle Me 2 MRW = Val Notre-Dame déversoir de crue
- Obstacle Me 3 MRW = Moha centrale hydro Willot
- Obstacle Me 4 MRW = Moha four à chaux
- Obstacle Me 5 MRW = Huccorgne centrale hydro Collinet

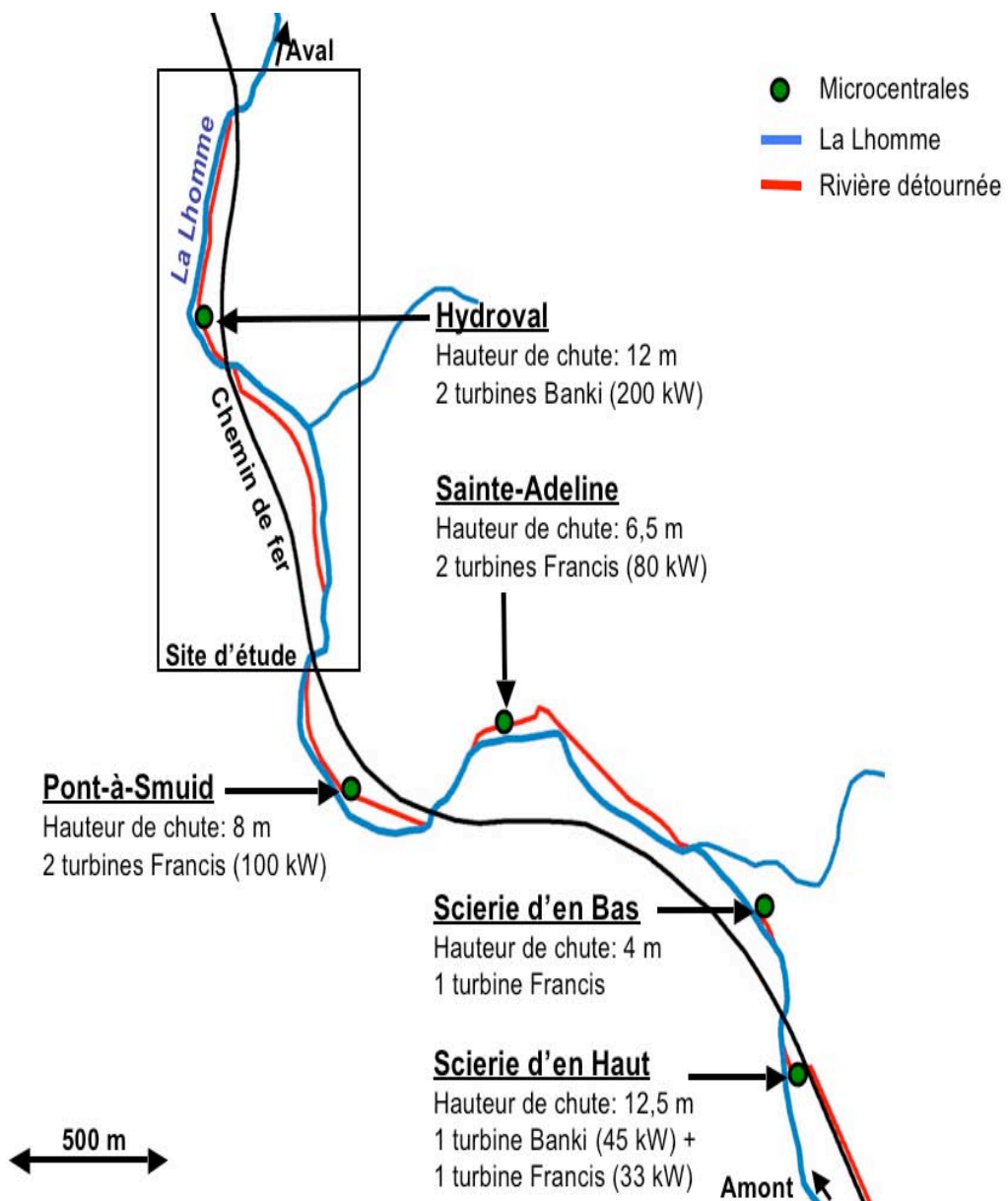


Figure 12 : Entraves à la libre circulation des poissons la Lhomme à Poix Saint-Hubert : obstacles centrales hydro Hydroval et pont à Smuid . Inventaire et classification des obstacles avant les suivis par radio-pistage (source B. Bast, MRW-DGRNE)

Barrage centrale hydro Hydroval

Barrage centrale hydro Pont à Smuid

2.3. Caractéristiques générales des obstacles considérés dans l'étude (voir Planche de photos de la fig. 13).

Obstacle MRW	Obstacle Sur Fig.13	Type	Pente (%)	ΔH (cm)	Prof. max aval (cm)	Matière	Cassure	T° Moy. juillet (°C)	Lame d'eau (cm)	Long. Lf (cm)	Zonation piscicole (Huet, 1949)	Passé à poisson
A44	A1	PEN	40	-	20-40	B- E	-	<16	4-8	352	ombre	O
A45	A2	DRO	-	98	>100	B	1	<16	8-12	200	ombre	N
A46	A3	DRO	-	85	20-40	B- E	3	<16	8-12	220	ombre	N
A47	A4	PEN	51	-	<20	B- E	1	<16	4-8	380	truite	N
A48	A5	DRO	-	87	40-60	B- E	1	<16	4-8	130	truite	N
A49	A6	DRO	-	77	60-80	B-BO	1	<16	4-8	10	truite	N
N96	N1	DRO	-	58	<20	B- E	-	<16	4-8	90	ombre	N
N97	N2	DRO	-	45	<20	B	-	<16	-	-	ombre	N
N98	N3	PEN	22	-	<20	B	-	<16	4-8	490	ombre	N
N100	N4	PEN	8	-	20-40	B	-	<16	4-8	640	ombre	N
N101	N5	DRO	-	65	40-60	B- E	-	<16	-	5	ombre	N
Me1	M1	PEN	8	>100	40-60	B- E	1	16-18	8-12	1500	barbeau	N
Me2	M2	PEN	8	-	20-40	B	-	16-18	4-8	2300	barbeau	O
Me3	M3	DRO	-	109	20-40	B- E	-	16-18	-	15	barbeau	N
Me4	M4	DRO	-	200	20-40	BO-M	-	16-18	-	-	barbeau	N
Ox242	Ox1	PEN	24	-	20-40	B	-	16-18	<4	560	truite	N
B2	B1	PEN	>50	-	20-40	B	-	>18	<4	450	barbeau	N
O1	O1	PEN	30-45	-	>60	B- E	2	>18	>12	>450	barbeau	N
O2	O2	PEN	30-45	-	>60	B- E	1	>18	>12	>450	barbeau	N
O3	O3	PEN	>45	-	40-60	B	1	>18	8-12	>450	barbeau	N
O4	O4	PEN	15-30	-	40-60	B	-	>18	8-12	>450	barbeau	N
O5	O5	PEN	30-45	-	40-60	B	-	>18	8-12	>450	barbeau	N
O6	O6	PEN	30-45	-	40-60	B	-	>18	8-12	>450	barbeau	N
O7	O7	DRO	-	200	40-60	B-M	-	>18	8-12	<150	barbeau	Y
O8	O8	PEN	30-45	-	40-60	B	1	>18	8-12	>450	barbeau	N
Am243	Am1	PEN	15-30	-	40-60	E	1	>18	8-12	>450	barbeau	N
Am246	Am2	PEN	15-30	-	40-60	B- E	1	>18	8-12	>450	barbeau	N
Am245	Am3	PEN	15-30	-	40-60	B- E	1	>18	8-12	>450	barbeau	N
G68	-	DRO	-	130	40-60	B	-	<16	>12	25	ombre	0
G69	-	DRO	-	216	40-60	B	-	<16	4-8	210	ombre	N
V340	-	PEN	30-45	140	120	B	-	>18	4-8	310	barbeau	N

Tableau 2 : Principales caractéristiques des obstacles dont la franchissabilité a été testée par radiopistage. Dans la colonne « Type », PEN signifie un obstacle en pente (= chute) et « DRO » un obstacle droit (= fall). Dans la colonne matière, « B » signifie béton, « E » signifie enrochements et « Bo » signifie bois.



Figure 13. Planche des photos des barrages étudiés jusqu' en 2004



Figure 13, suite

Espèces et rivières.	n	LF±SD (mm)	P±SD (g)	Période de suivi	Migrants vers l'amont N %	Distance parcourue durant la migration (km)	Homing post-reproducteur des migrants
Truite							
Aisne	19	332±72	428±44	oct. 1995 à dec. 1998	17-89%	8.8±2.0	oui
Méhaigne	9	404±71	884±524	sept. 2000 à fev. 2001	7-78%	2.0±3.7	oui
Néblon	4	311±11	342±60	oct. à dec. 1999	1-25%	0.8	oui
Oxhe	6	332±56	420±198	sept. 2000 à jan. 2001	1-17%	0.25	oui
Ourthe	9	480±78	1354±474	nov. 1995 à sept. 2000	7-78%	23.2 ±11.2	oui
Gueule	7	352±21	524±110	oct. 2001 à janvier 2002	3-43%	2.96 ±1.8	oui
Lhomme	5	285±8	257±16	oct. 2003 à mars 2005	2-40%	1.45±1.8	oui
Ambiève	7	320±41	377±143	sept. 2005 à fev. 2006	-	-	-
Saumon							
Berwinne	1	670	2707	nov. 1999 à mai 2000	1- 100%	6.9	-
Ombre							
Aisne	23	326±42	381±114	fev. à juin (1998 à 2000)	20-85%	1.48±1.41	oui
Néblon	11	308±22	354±71	fev. à mai 2000	4-36%	3.9±2.8	No
Hotu							
Ourthe	5	478±28	1672±237	fev. à juin 2001	1-20%	2.4	-
Vesdre	7	-	-	fev. à octobre 2002	-	-	-
Ambiève	6	465±22	1637±297	fev. à juin 2006	5-83%	2,9+0,9	oui
Brochet							
Ourthe-Ambi.	6	641±60	2381±910	dec. 2000 à juin 2001	6-100%	7.7±6.67	oui
Barbeau							
Méhaigne	5	396±62	935±434	avril à juin 2001	4-80%	1.3±0.5	oui
Ourthe (Bomal)	9	437±21	1026±167	avril 1998 à juin 2000	9-100%	6.1±7.7	oui
Ourthe (Esneux.)	5	442±14	1430±147	mars à juin 2001	5-100%	1.8±8.1	Oui/non
Ambiève (Goreu)	8	4811±29	1501±252	avril 2005 à avril 2006	4-50%	1±0.8	oui
Gardon							
Vesdre	8	232±12	238±39	mars 2004 à juillet 2004	50%	0,09±0,02	Oui

Tableau 3: Synthèse des phénomènes de mobilité chez les poissons radio-pistés dans différents cours d'eau du bassin de la Meuse

2.3. Description succincte de la mobilité générale des poissons pistés

Le tableau 3 synthétise différents aspects de la mobilité des poissons qui ont été suivis par radio-pistage.

Les distances parcourues par les poissons durant leurs migrations de reproduction varient substantiellement entre espèces, individus et cours d'eau.

2.3.1. La truite commune

(a) Migration de remontée dans un axe fluvial principal

Chez la truite, la proportion de migrants et les distances parcourues par les adultes sont les plus importantes dans l'Ourthe et dans l'Aisne où les obstacles ont rarement perturbé les mouvements des poissons (exemple de migration d'une truite dans l'Aisne en figure 13 A). Statistiquement, la proportion de géniteurs migrants est plus importante dans l'Aisne que dans le Néblon et le ruisseau d'Oxhe.

Dans l'Ourthe et la Méhaigne, la proportion de migrants est plus importante que dans le ruisseau d'Oxhe. Mais, dans la Méhaigne, la plupart des obstacles ont provoqué des retards de migrations, avec un blocage par un obstacle infranchissable (exemple de migration dans la Méhaigne en figure 13B)

Dans les cours d'eau plus perturbés (ruisseau d'Oxhe et Néblon), seul un individu a réalisé une migration de reproduction.

Dans la Lhomme, une des cinq truites marquées est parvenue à franchir le barrage de prise d'eau de la centrale « Hydroval » ainsi qu'un autre situé en amont pour se reproduire 2,5 km en amont de son site de capture. Deux autres truites ont réalisé des mouvements plus restreints (environ 400m), sans franchir un obstacle.

Dans l'Amblève à Remouchamps, les truites n'ont pas effectué de migration significative vers l'amont probablement en raison de leur mauvaise qualité génétique et comportementale résultant des repeuplements massifs.

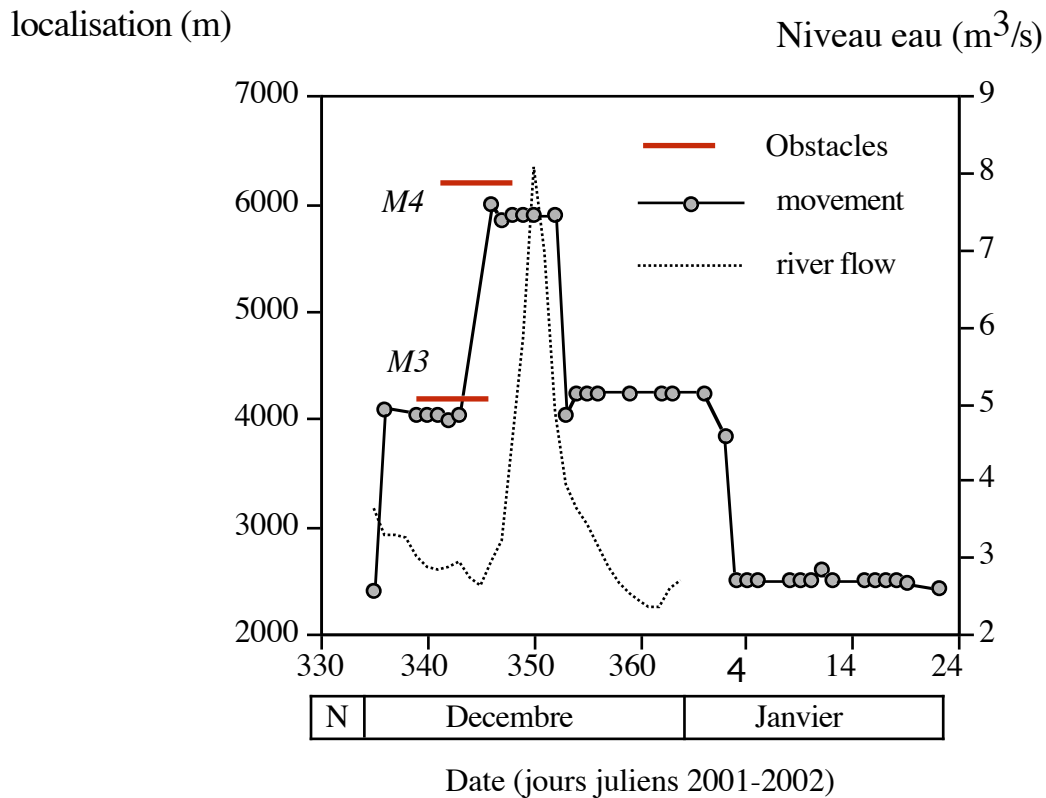
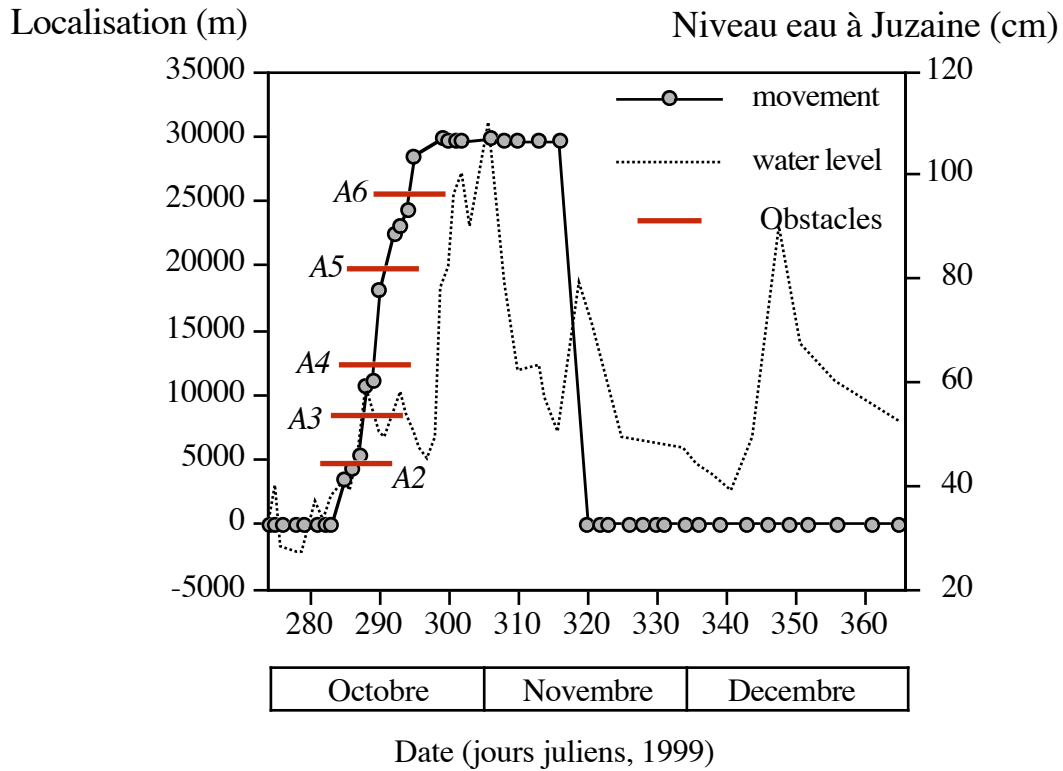


Figure 13 : exemple de migration d'une truite (A, au-dessus) qui n'a pas été perturbée par les obstacles dans l'Aisne et (B, en dessous) qui a été perturbée par les obstacles dans la Méhaigne.

(b) Remontée dans les petits affluent -frayères

Pour la truite, nous disposons aussi d'informations sur la remontée de géniteurs dans de petits affluents de plus grands cours d'eau comme le Ruisseau de la Haze, affluent de la basse Ourthe à Esneux et surtout le Ry de Mosbeux, affluent de la basse Vesdre à Trooz (fig. 14).

Le 12 septembre 2004, un échantillon de 53 truites communes adultes fut capturé par pêche électrique en aval du barrage mobile normalement impassable de La Fenderie sur la Vesdre à Trooz près de la confluence du Ry de Mosbeux. Quarante-neuf poissons (17-57 cm LF) furent marqués individuellement par puce électronique et cinq furent radio-marqués dans l'espoir d'enregistrer leur remontée pour la reproduction dans le Mosbeux, affluent frère de bonne qualité.

Un effectif de 64 truites migrantes furent interceptées dans le piège situé à environ 800 m de l'embouchure. Parmi ces truites, il y avait 9 poissons marqués individuellement, 2 radio-marqués et 7 seulement pit-tagés, provenant de la Vesdre et ayant réussi à franchir plusieurs petits obstacles de moins de 0,7 m de hauteur et deux passes à poissons rustiques.

Après leur capture dans le piège, les truites furent relâchées en amont après implantation d'une puce pour celles qui n'étaient pas déjà marquées. Plusieurs truites poursuivirent leur remontée en franchissant des obstacles dont un (Mos 07) d'une hauteur de 0,8 m (fig. 14). Quatre truites arrivèrent au pied de l'obstacle Mos 08 impassable de type chute de 1,8 m, située à 2,4 km de l'embouchure

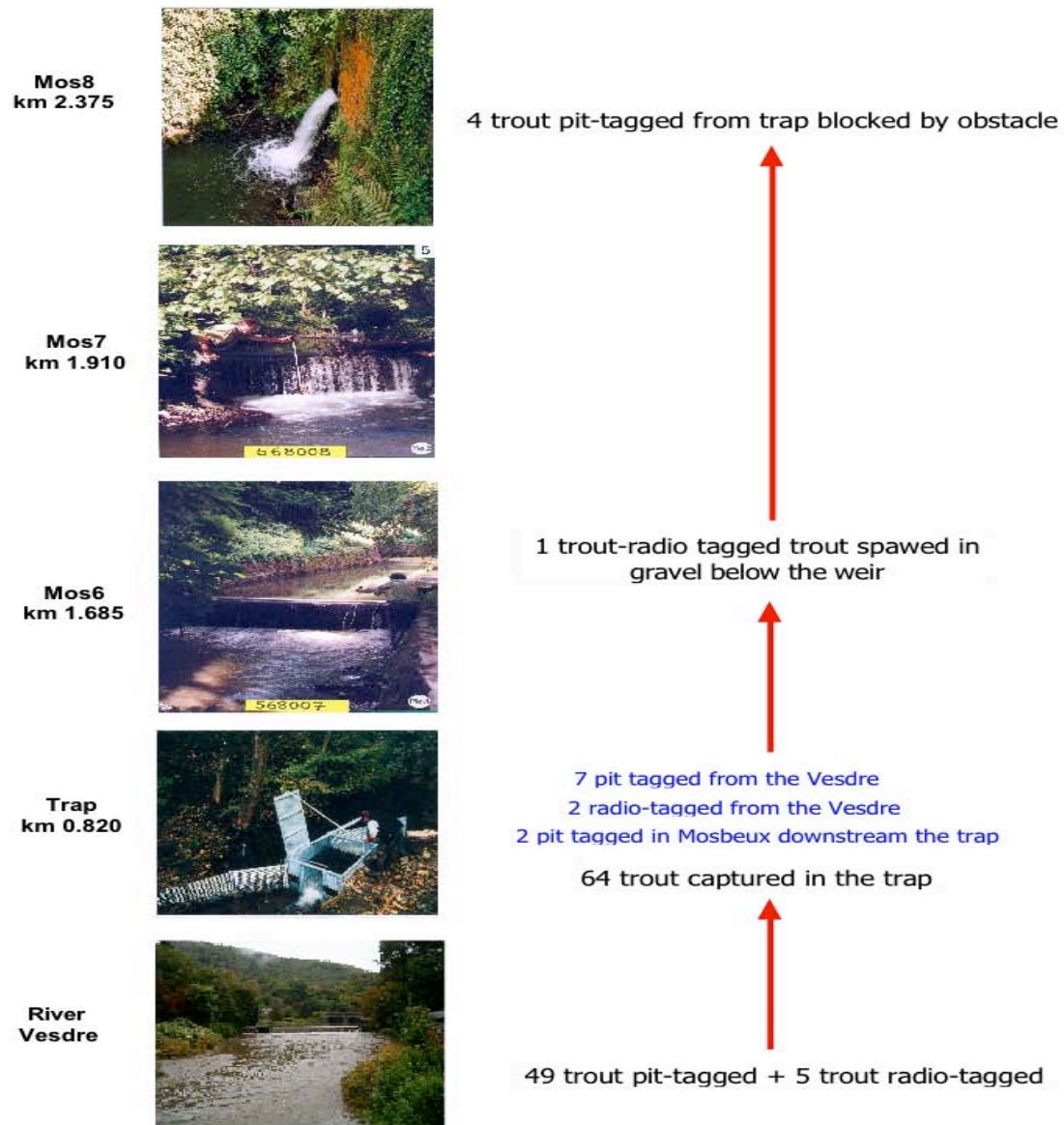


Figure 14: Représentation schématique de la migration de remontée de truites communes de la Vesdre vers le cours inférieur de Ry de Mosbeux barré par quelques obstacles physiques notés Mos 06 – Mos 08 d’importances variables.

2.3.2. Le saumon atlantique

Un saumon atlantique provenant de la Meuse a pénétré dans la Berwinne. Il a migré jusqu'au barrage de Berneau, mais n'est jamais parvenu à le franchir (fig. 15). Il a néanmoins réussi à franchir la succession des petits obstacles et passages sous routiers présents en basse Berwinne en Région flamande.

Aucun des deux saumons interceptés en fin janvier 2003 dans le piège de Berneau et remis en amont ne migrèrent plus vers l'amont et n'atteignirent donc par le barrage suivant à Mortroux.

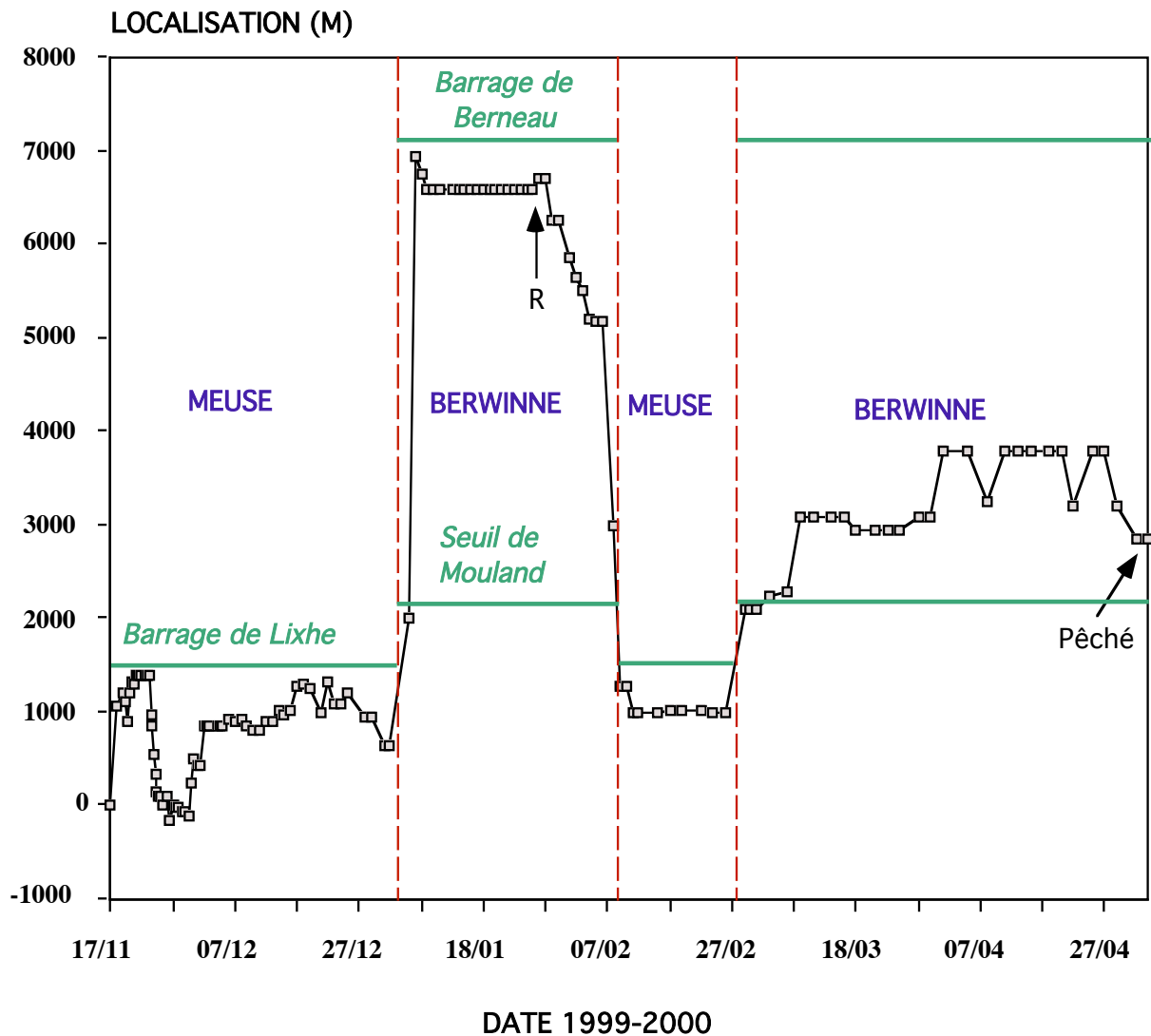


Figure 15 : Migration d'un saumon atlantique entre la Meuse et la Berwinne

2.3.3. L'ombre commun

La migration reproductrice typique de l'ombre comprend, comme chez la truite, une remontée, une stabilisation sur une frayère et ensuite une dévalaison vers le point de départ (fig. 16). Mais l'amplitude des mouvements est beaucoup plus faible, maximum 5 km dans la basse Aisne.

Comme chez la truite, la proportion de géniteurs migrants est plus importante dans l'Aisne que dans le Néblon où les obstacles 96-Hamoir dérivation et 101-CILE amont ont sérieusement perturbé (= bloqué) les mouvements des ombres.

Nous avons prévu d'étudier aussi la mobilité de l'ombre dans l'Amblève et l'Ourthe mais il n'a pas été possible de capturer le nombre de sujets requis pour entreprendre une expérience de radio-pistage.

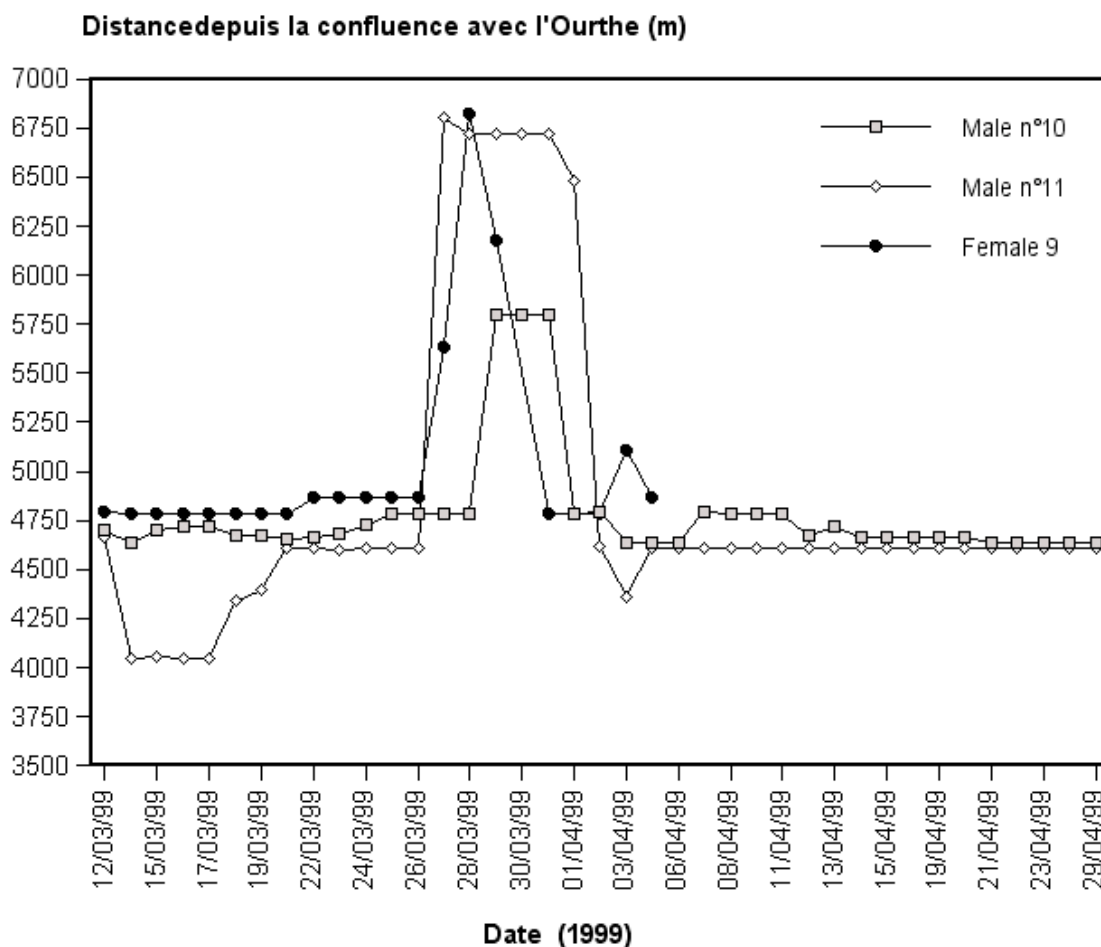


Figure 16 : Exemple de migration reproductrice de l'ombre dans l'Aisne.

2.3.4. Le barbeau

Les barbeaux ont réalisé des migrations reproductrices caractéristiques comprenant une remontée suivie d'une dévalaison (fig 17). Mais les mouvements sont d'assez faible amplitude : en moyenne, un maximum 6,1 Km dans l'Ourthe à Hamoir libre de tout obstacle sur une longue distance et des valeurs de 1,0 à 1,8 Km ailleurs : Ourthe à Esneux, Amblève à Remouchamps et basse Méhaigne. Dans la Méhaigne, un barbeau a été bloqué au pied de l'obstacle Me3-Moha four à chaux et un autre au pied de l'obstacle Me1- Val Notre Dame. Aucun franchissement d'obstacle n'a été mis en évidence ou dans l'Amblève à Remouchamps. et dans l'Ourthe à Esneux où les barbeaux se sont rapprochés du seuil de La Gombe (planche photo 1) mais sans jamais le franchir.

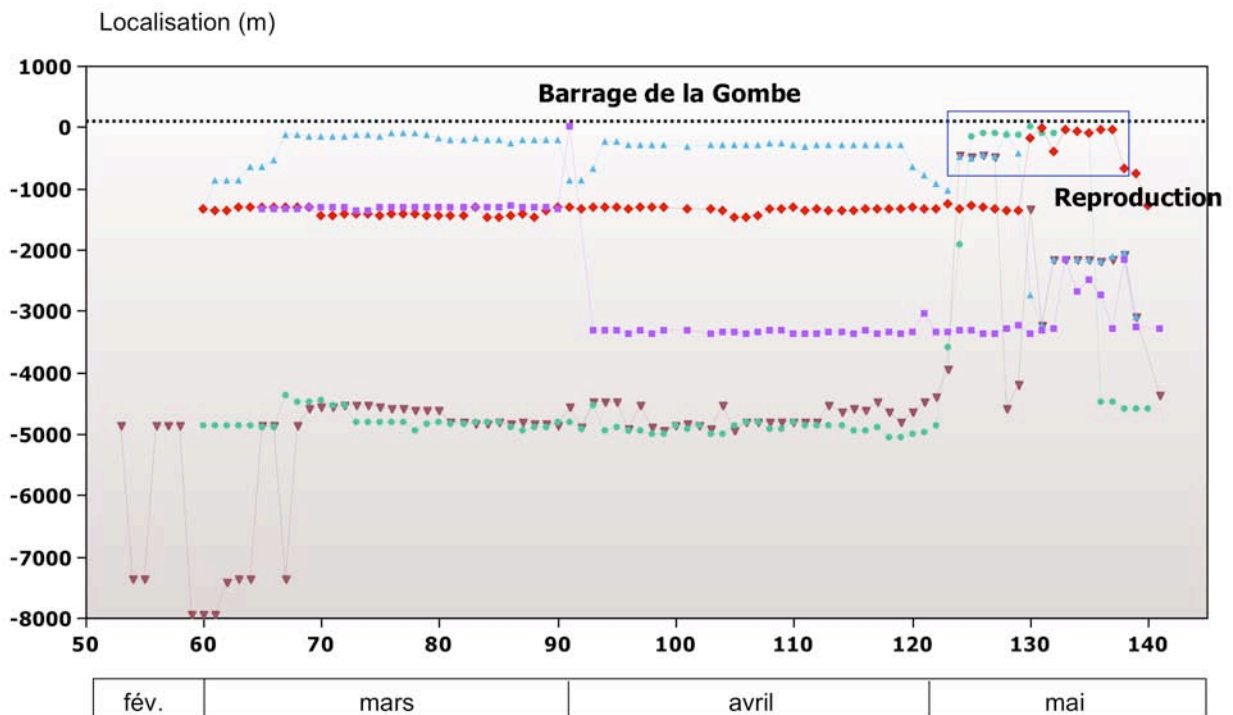


Figure 17 : Exemple de migration reproductrice du barbeau dans l'Ourthe à Esneux en 2002.



Planche photo 1 : Le seuil de la Gombe dans l'Ourthe jamais franchi par un barbeau ni par un hotu.

Il faut signaler que lors d'observations réalisées antérieurement (1998-2000) dans l'Ourthe pour étudier l'attachement des barbeaux à un lieu de ponte déterminé, on a enregistré (Ovidio et al., 2007) un blocage net de la migration de remontée en aval du barrage mobile de Barvaux (obstacle 07 sur la fig. 13). Un de ces barbeaux a été ultérieurement retrouvé à Deulin, largement en amont du barrage de Barvaux (déplacement maximal de 42 km), ce qui implique que celui-ci a été franchi probablement lors de l'ouverture de l'ouvrage.

2.3.5. Le Hotu

Le hotu a aussi manifesté un comportement de migration reproductrice vers l'amont suivi d'une dévalaison (fig. 18). Un déplacement maximum de 3,4 km a été enregistré au début 2007 dans l'Amblève à Remouchamps (Voir Ovidio & Philippart 2007, volume 4).

Le hotu n'a franchi aucun obstacle, ni dans l'Ourthe à Esneux, ni dans l'Amblève à Remouchamps-Nonceveux. Dans la basse Vesdre, plusieurs individus ont été localisés au pied du barrage de Chênée (Ve 1) mais sans jamais le franchir.

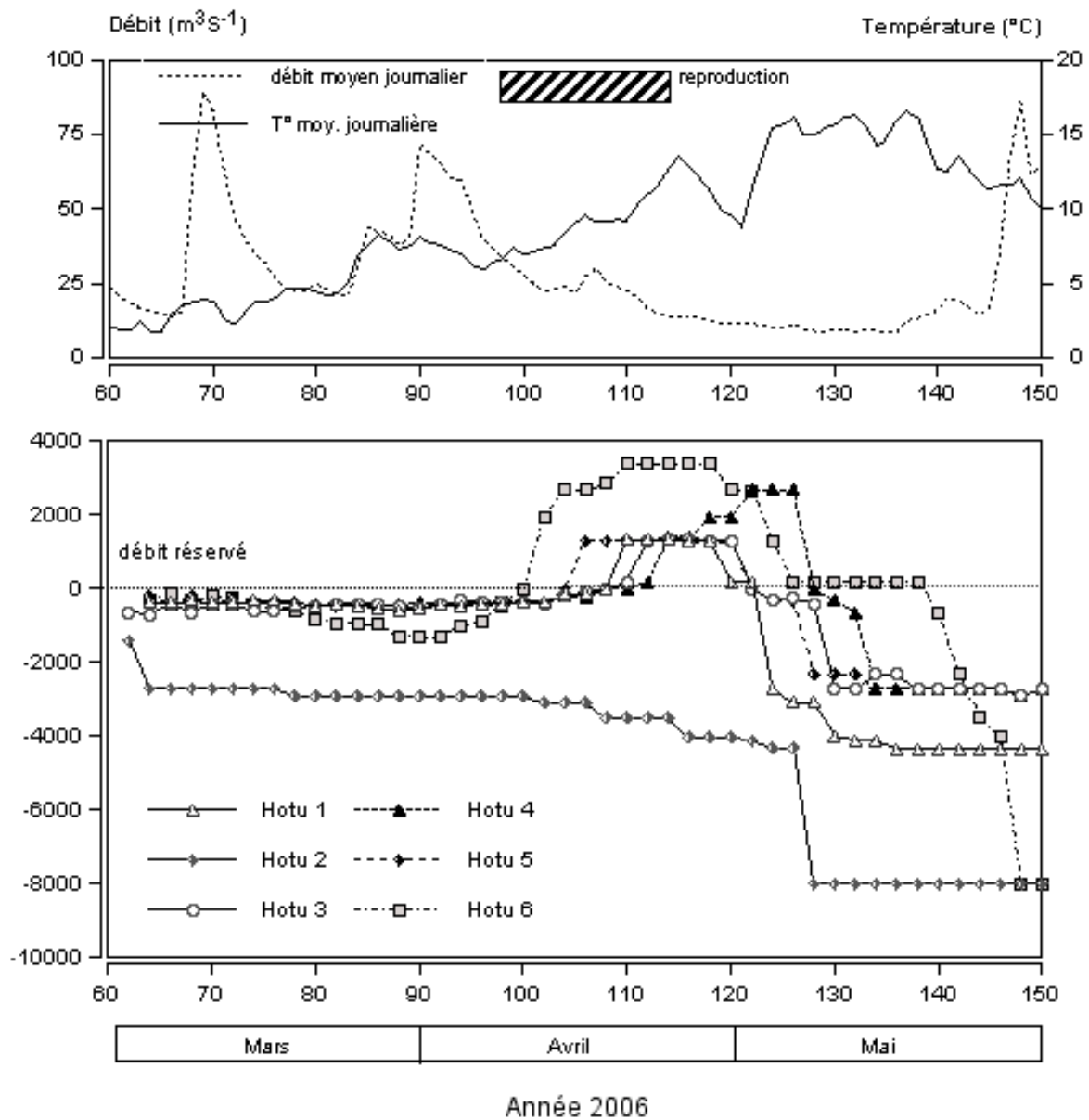


Figure 18: Exemple de migration reproductrice des hotus dans l'Amblève à Remouchamps Nonceveux en 2006.

2.3.6. Le chevaine

Aucun chevaine n'a été radio-pisté dans les cours d'eau couverts par cette étude. La seule information disponible concerne un chevaine radio-marqué après sa capture dans l'échelle à poissons de Lixhe sur la Meuse puis relâché à l'amont du barrage. Il a effectué une migration de remontée de 13 km en direction de l'aval du barrage de Monsin. On peut considérer que le comportement migratoire du chevaine est fort comparable à celui du barbeau.

2.3.7. Le gardon

Lors du radio-pistage de 8 gardons dans la Vesdre à Chaudfontaine en mai-juin 2002, on a enregistré chez plusieurs individus de courts (< 500 m) mouvements vers l'amont en direction d'un seuil incliné peu élevé qui n'a jamais été franchi. Ces mouvements s'inscrivaient dans des va-et-vient (fig. 19). dans les limites du bief d'environ 0,8 km entre les deux barrages successifs de Vaux-sous-Chèvremont –Ve 2 et de Chaudfontaine Hauster –Ve 3 (Planche photo 2).

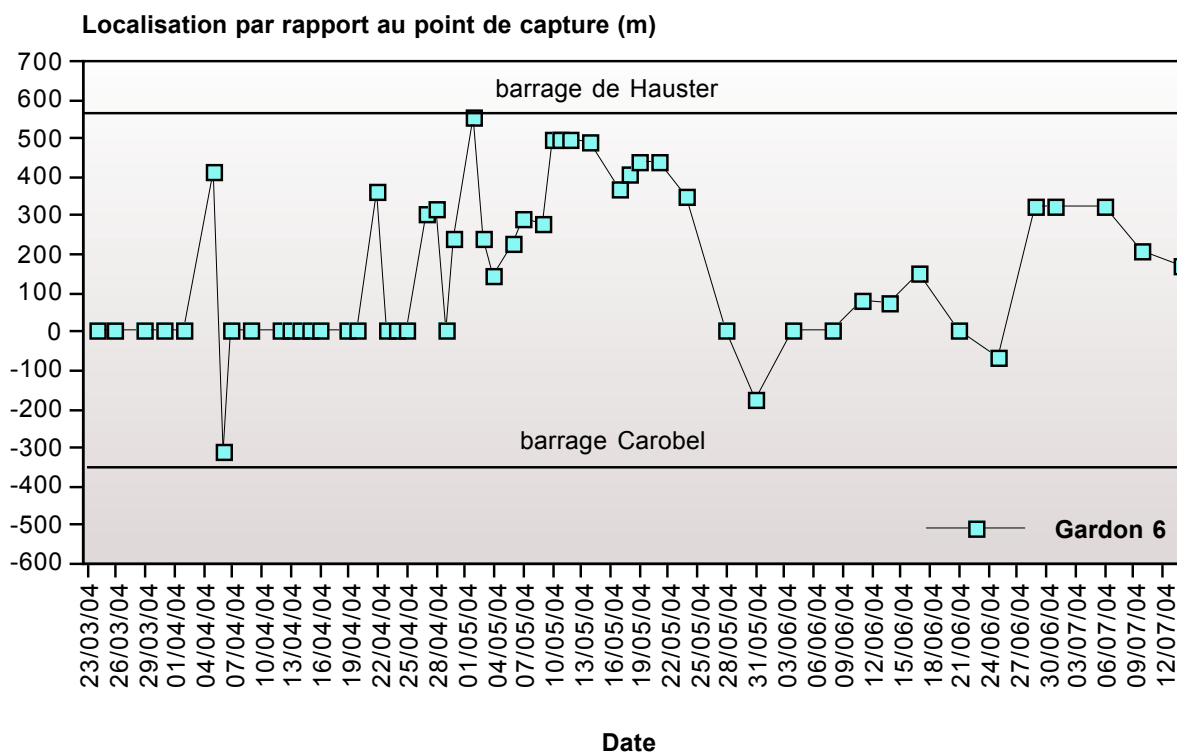


Figure 19: Exemple de mobilité du gardon dans la Vesdre à Chaudfontaine.



Planche photo 2: La barrage du Parc Hauster sur la Vesdre à Chaudfontaine, jamais franchis par un gardon radio-marqué en 2004.

Au sujet du gardon, il est intéressant de rapporter les observations faites au même moment dans les Grande et Petite Nethe dans le bassin de l'Escaut en Flandre (Geeraerts et al, 2007). Les poissons radio-pistés ont effectué des déplacements de va-et-vient dans les limites des secteurs d'étude délimités par des obstacles physiques longs de respectivement 3 et 7 km. Aucun obstacle n'a été franchi mais les déplacements ont été plus longs que dans la Vesdre car l'espace de mouvement disponible était plus grand.

2.3.7. Le brochet

Les six brochets marqués dans l'Ourthe à Poulseur ont tous réalisé une migration de reproduction vers l'amont sur des distances de 1 à 16 km (moyenne : 7,7 km). Un brochet a été confronté à trois obstacles de l'Amblève (Am1 = 243MRW, Am2 = 245 MRW et Am3= 245MRW ; voir photos sur fig. 13)) qu'il est parvenu à franchir avec succès (figure 20).

Paradoxalement, les brochets ont parcouru des distances bien plus importantes que la plupart des autres espèces.

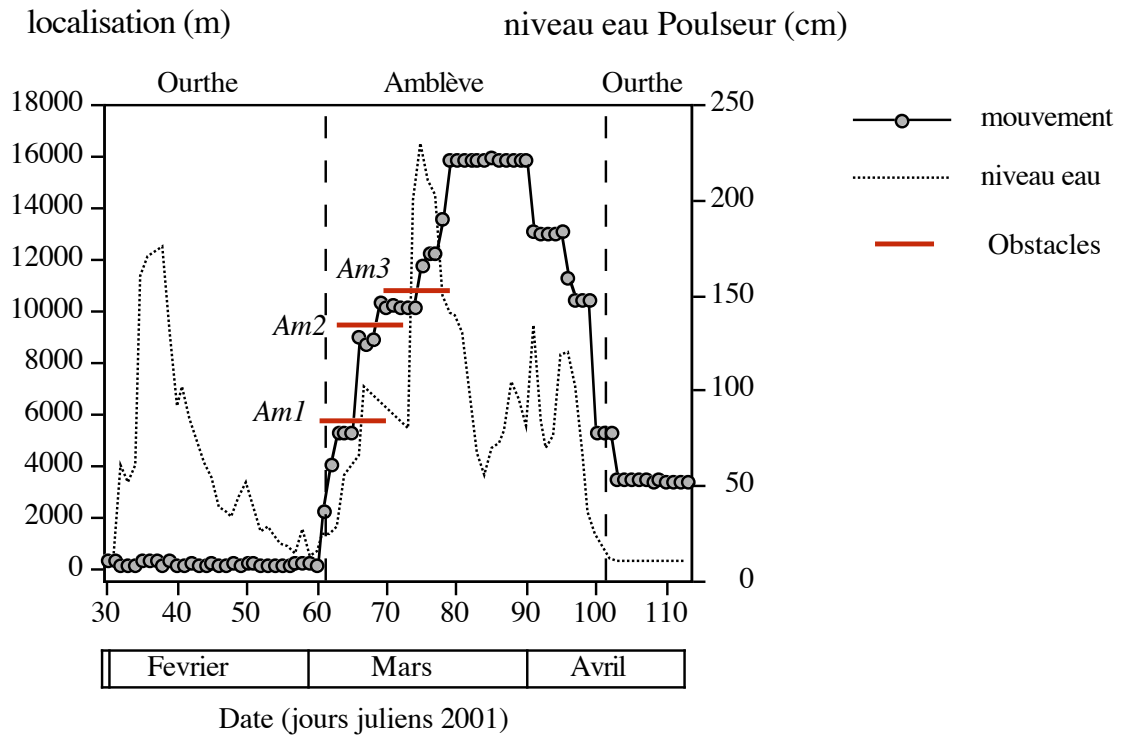


Figure 20: Exemple de migration de reproduction d'un brochet dans l'Amblève avec franchissement de 3 obstacles (Am 1 = seuil de Belle-Roche ; Am 2 = seuil de Martinrive ; Am 3 : barrage de Raborive).

2.3.8. Bilan des connaissances sur les déplacements les plus longs vers l'amont

Le tableau 4 présente l'état des connaissances sur les déplacements les plus longs vers l'amont observé chez des espèces de poissons de Wallonie étudiés par différentes techniques de marquage.

Espèce	Rivière	Distance parcourue (km) maximale	Année	Méthode
Saumon	Meuse	57 km de Lanaye à Ampsin bar.	2000-01	radio
Truite commune	Meuse	87 km de Lixhe à La Plante bar .	1997	radio
	Ourthe	36 km de Bomal à Hotton	1996	radio
	Ourthe	22 km d'Angleur à Esneux	2000	radio
	Ourthe	40 km d'Angleur à Hamoir	2004	radio
	Aisne	29 km de Bomal à La Fosse	1998	radio
	Amblève	0,6 km à Remouchamps	2004-05	radio
	Ht Lesse	7,5 km (1)	2001-02	radio
	Lhomme	2,5 km à Poix-Saint-Hubert	2003-04	radio
Ombre commun	Aisne	5 km de Bomal à Juzaine	1999	radio
	Néblon			radio
	Lhomme	0,6 km à Poix-Saint-Hubert	2004	radio
Barbeau	Meuse	31 km de Lixhe à Yvoz-Ramet bar .	2002	radio
	Ourthe	66 km, de Hamoir à Laroche	1973	bague
	Ourthe	4,9 à Esneux Boucle de l'Ourthe	2001	radio
	Amblève	4,6 km à Remouchamps	2005	radio
Hotu	Meuse	13,5 km de Lixhe à Monsin bar.	2002	radio
	Ourthe	0,7 km à Esneux	2001	radio
	Amblève	3,4 km à Remouchamps	2006	radio
Chevaine	Meuse	13,5 km de Lixhe à Monsin bar.	2002	radio
	Hte Meuse	30,0 km de Tailfer à Rivière (2)	?	bague
Gardon	Vesdre	0,6 km dans bief Hauster bar.	2004	radio
	(K. Nete)	14 km entre 2 obstacles (3)	2004	radio
Carpe commune	Meuse	13,5 km de Lixhe à Monsin bar.	2002	radio
Brochet	Ourthe- Amblève	15,7 km de Poulseur à Remouchamps	2001	radio
Sandre	Meuse	13 km de Tihange à Andenne	1981	radio
Anguille	R. Awirs	0,385 km dans R. des Awirs	1996	radio
Chabot	Oxhe	0,6 km dans R. de Falogne à Engis	2006	puce

Références pour auteurs ou équipes totalement ou partiellement autres que LDPH-ULg : (1) = Dupont , Rapport DGRNE, 2004; (2) = Gillet com; pers. ; (3) Geeraerts et al, 2007

Tableau 4: Observations faites par le LDPH-ULg et par d'autres équipes sur les distances maximales parcourues en remontée par des poissons marqués dans les cours d'eau de Wallonie. Bar. = barrage.

2.4. Répertoire des franchissements d'obstacles

2.4.1. Résultats globaux par obstacle pour différentes espèces (voir tabl. 5)

MRW Obstacle	Espèces localisées en aval	% de poissons en amont de l'obstacle	Temps de passage (jour)	Débit lors du passage en m ³ /s; moy.±SD et (débit min)
A44	truite (5)	100% (283±15)	< 1	1,71±0,75 (0.76)
	ombre (2)	100% (353±30)	< 1	1,8±0,93 (1.14)
A45	truite (6)	100% (351±73)	< 1	2,76±2,60 (0.40)
A46	truite (15)	100%(367±116)	< 1	1,73±1,24 (0.24)
	ombre (3)	100% (334±104)	< 1	3,35±1,96 (1.14)
A47	truite (11)	100% (300±30)	<1 à 3	1,44±1,3 (1,31)
A48	truite (n=6)	100% (300±34)	< 1 à 2	2,47±1,43 (1,04)
A49	truite (n=2)	100% (290±35)	< 1	2,32±1,81(1,04)
N96	Truite (2) – ombre (2)	-	-	-
N97	truite (1)	-	-	-
N98	ombre (2)	50% (300)	3	0,783
N100	ombre (3)	66% (329)	< 1	1,19±0,22 (1,04)
N101	truite (1)	100%	< 1	1,3
	ombre (1)	-	-	-
Lhomme	Truite (5)	20%	<1	
M1	truite (3) barbeau (1)	33% (299) -	< 1 -	1,17 -
M2	truite (2)	100% (354±78)	< 1	3,91±0,37 (3,64)
M3	truite (5)	40% (500±13)	4±4	3,1±0,25 (2,92)
	barbeau (2)	-	-	-
M4	truite (2)	-	-	-
Ox244	truite (3)	33% (376)	< 1	-
B2	Saumon (1)-barbeau (1)	-	-	-
O1	truite (1)	100% (506)	< 1	9,6
O2	truite (1)	100% (506)	5	10,2
O3	truite (1)	100% (506)	< 1	10,2
O4	truite (1)	100% (506)	51	28,5
O5	truite (4)	50% (478±39)	3,5±3,5	127,9±152 (20,3)
O6	truite (2)	100% (478±39)	1,5±0,7	85,2±96,9 (16,7)
O7	Truite (5) - barbeau (2)	-	-	-
O8	truite (1)	-	-	-
Am243	brochet (1)	100% (580)	3	26,2
Am244	brochet (1)	100% (580)	3	36,7
Am?	brochet (1)	100% (580)	6	70,6
G68	truite (4)	50% (346±12)	4	-
G69	truite	-	-	-
V340	hotu (4)	-	-	-
V340	Truite (2)	-	-	-
Fenderie	Truite (5)	-	-	-
Nessonv	Truite (5)	40%	<1	5,2 et 4,8

Tableau 5: Synthèse des franchissements d'obstacles par les poissons radio-pistés.

2.4.2. Résultats par cours d'eau majeurs

(a) Aisne

Obstacle	Date	Espèce Taille (mm)	Débit (m ³ s ⁻¹)	Température (°C)
A44	16/10/1997	Truite-260	1,875	9,2
A44	24/05/1998	Truite-291	0,853	14
A44	04/06/1998	Truite-291	0,76	14
A44	14/06/1998	Truite-291	2,452	11,3
A44	16/06/1998	Truite-291	2,452	12,5
A44	28/04/2000	Ombre-280	1,141	12,4
A44	16/03/2000	Ombre-316	2,452	7,7
A45	29/04/1996	Truite-489	0,407	13,5
A45	04/10/1996	Truite-295	3,202	10,1
A45	10/04/1997	Truite-299	0,58	13
A45	08/11/1997	Truite-347	1,043	6,7
A45	15/10/1998	Truite-362	4,3	11,1
A45	18/11/1998	Truite-314	7,006	6,5
A46	06/07 /1996	Truite-420	0,241	13,3
A46	15/10/ 1996	Truite-280	0,853	12,3
A46	22/10 /1996	Truite-266	1,987	10,1
A46	07/10 /1996	Truite-295	1,987	9,3
A46	14/03 /1997	Truite-347	2,216	8,5
A46	09/10 /1997	Truite-304	0,407	12,9
A46	17/10 /1997	Truite-299	1,987	9,5
A46	08/11 /1997	Truite-570	1,445	8,7
A46	14/11 /1997	Truite-570	0,58	6,7
A46	03/12 /1997	Truite-347	2,333	4,6
A46	09/10 /1997	Truite-287	0,323	12,9
A46	20/10 /1997	Truite-263	0,669	10,6
A46	23/10 /1998	Truite-279	3,202	11
A46	17/10 /1998	Truite-362	3,601	10,5
A46	14/10 /1998	Truite-315	4,157	10
A46	07/03/2000	Ombre-455	4,891	5,4
A46	10/03/2000	Ombre-275	4,015	5,2
A46	28/04/2000	Ombre-272	1,141	12,4
A47	22/10/1996	Truite-280	1,987	10,1
A47	23/10/1996	Truite-266	1,342	9,5
A47	23/10/1996	Truite-272	1,342	9,5
A47	08/10/1996	Truite-295	1,657	9,1
A47	09/10/1996	Truite-304	0,323	12,9
A47	19/10/1996	Truite-299	1,141	10,2
A47	11/12/1997	Truite-347	2,101	7,7
A47	09/10/1997	Truite-287	0,241	12,9
A47	24/10/1997	Truite-279	3,333	10,9
A47	17/10/1997	Truite-362	3,601	10,5
A47	14/10/1997	Truite-315	4,3	10
A48	23/10/1996	Truite-272	1,342	9,5
A48	26/10/1996	Truite-266	1,043	10,2
A48	12/11/1996	Truite-295	1,043	8,3
A48	08/03/1997	Truite-347	3,737	7,4
A48	11/12/1997	Truite-347	2,101	7,7
A48	26/10/1999	Truite-279	3,601	10,4
A48	15/10/1999	Truite-315	4,445	11,1
A49	29/10/1996	Truite-266	9,2	1,043
A49	17/10 1998	Truite-315	10,5	3,601

(b) Néblon

Obstacle	Date	Espèce Taille (mm)	Débit (m³s⁻¹)	Température (°C)
N98	25/04/2000	Ombre-329	0,783	8,9
N100	08/03/2001	Ombre-329	1,35	8,9
N100	14/03/2000	Ombre-295	1,036	9,4
N101	25/04/2000	Truite-270	1,3	9,6

(c) Méhaigne

Obstacle	Date	Espèce Taille (mm)	Débit (m³s⁻¹)	Température (°C)
M1	26/09/2000	Truite-388	1,17	14,8
M2	30/11/2000	Truite-299	3,64	9,8
M2	28/11/2000	Truite-409	4,17	8,1
M3	8/12/2000	Truite 510	2,92	10,0
M3	1/12/2000	Truite 491	3,28	9,4

(d) Gueule

Obstacle	Date	Espèce Taille (mm)	Débit (m³s⁻¹)	Température (°C)
G67	23/11/2001	Truite-370	2,420	6,5
G68	14/11/2001	Truite-393	0,790	7,3

(e) Ourthe

Obstacle	Date	Espèce Taille (mm)	Débit (m³s⁻¹)	Température (°C)
Streupas (O2)	27/06/2000	Truite-506	9,6	15,7
Campana (O3)	02/07/2000	Truite-506	10,2	15,7
Colonster (O4)	02/07/2000	Truite-506	10,2	15,7
Méry (O5)	26/08/2000	Truite-506	20,3	18,3
Méry (O5)	27/08/2000	Truite-506	16,7	18,7
Hony (O6)	14/12/1998	Truite-548	235,43	5,8
Hony (O6)	16/12/1998	Truite-548	153,7	6,7

(f) Amblève

Obstacle	Date	Espèce Taille (mm)	Débit (m³s⁻¹)	Température (°C)
Belle Roche	12/03/2001	Brochet	-	8,51
Martinrive	15/03/2001	Brochet	-	6,79
Raborive	22/03/2001	Brochet	-	6,69

(f) Vesdre

Obstacle	Date	Espèce Taille (mm)	Débit (m ³ s ⁻¹)	Température (°C)
Nessonvaux	28/10/2004	Truite-382	5,2	11,2
Nessonvaux	01/11/2004	Truite-290	4,8	10,9

(g) Lhomme

Obstacle	Date	Espèce Taille (mm)	Débit (m ³ s ⁻¹)	Température (°C)
Pont-à-Smuid	20/11/2003	Truite-294	-	8,5
	-	-	-	-

2.5. Température lors du franchissement des obstacles

La figure 21 est une représentation graphique des températures auxquelles les obstacles ont été franchis par les poissons.

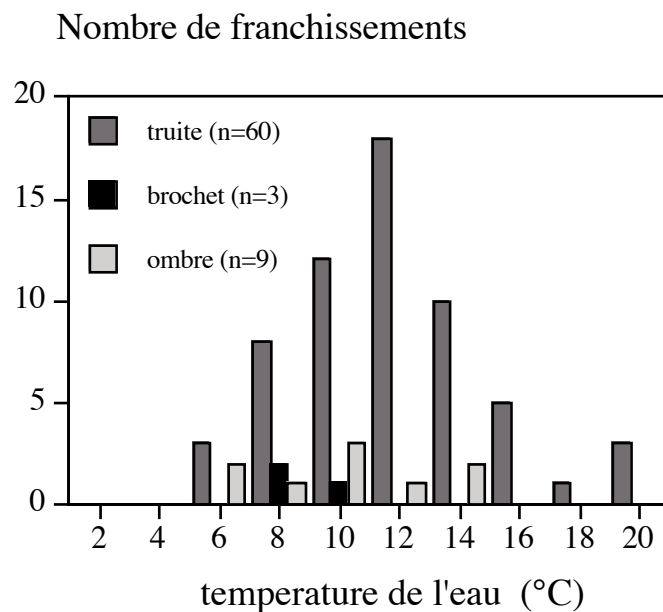


Figure 21: nombres de franchissements d'obstacles selon la température de l'eau dans les cours d'eau étudiés par Ovidio et Philippart (2002).

2.6. Discussion des résultats

2.6.1. Considérations méthodologiques

Cette étude a permis de déterminer l'effet réel de plusieurs types de petits obstacles physiques sur la libre circulation de sept espèces (197 individus radio-pistés) de poissons de rivière. Bien entendu, les résultats restent préliminaires car le nombre d'observations est encore trop limité pour établir avec précision les capacités de franchissement de chaque espèce étudiée. Toutefois, par la diversité des obstacles et des espèces étudiés, mais également par l'approche de l'individu dans la globalité de son cycle biologique, cette étude se veut novatrice et permet de mieux appréhender les problèmes soulevés par la restauration de la connectivité longitudinale des petits et moyens cours d'eau.

Dans ce type d'étude, il est très délicat de déterminer si le non franchissement d'un obstacle correspond effectivement à un réel blocage du poisson. En effet, les zones situées juste en aval de barrages sont des habitats propices à plusieurs espèces de poissons, principalement pour l'abondance de la nourriture (Ovidio et al., 1998) la bonne oxygénation de l'eau et la présence de bancs de gravier utilisables pour la reproduction des espèces lithophiles. C'est pourquoi certains individus y établissent leurs gîtes principaux et ne cherchent pas à franchir l'obstacle situé juste en amont (Ovidio et al., 1998). Afin de réduire la marge d'erreur, les poissons ont été considérés comme bloqués uniquement lorsque l'emplacement de l'obstacle correspondait à un arrêt d'un déplacement vers l'amont de plus de 200m. Souvent, ce phénomène est accompagné d'une forte activité du poisson au pied de l'obstacle (essais de franchissement, recherche de passages plus faciles).

Les résultats montrent qu'il est dangereux d'évaluer la franchissabilité réelle d'un obstacle physique sans la tester biologiquement. À plusieurs reprises, des obstacles qui semblaient mineurs se sont révélés difficilement franchissables, voire infranchissables par une ou plusieurs espèces étudiées. De telles erreurs d'appréciation peuvent facilement s'accumuler dans un réseau hydrographique et, à terme, perturber voire empêcher le rétablissement de la libre circulation des poissons. Inversement, des obstacles qui semblaient difficilement franchissables, voire insurmontables, ont été passés avec plus ou moins de facilité par certaines

espèces. Dans ce cas, le coût du test biologique est largement récupéré puisqu'il entraîne des économies substantielles en prévenant de lourdes dépenses pour des travaux de construction et/ou de rénovation de passes à poissons ou d'autres dispositifs de franchissement. Dans les deux cas, l'importance et la pertinence du test biologique est clairement mise en évidence.

2.6.2. Diversité des comportements migratoires selon les espèces

Nos observations montrent que, comme les salmonidés, les thymallidés, les cyprinidés d'eaux vives et les brochets effectuent en rivière des migrations de plusieurs kilomètres (le plus souvent vers l'amont) pour atteindre leurs sites de frai. Dans le passé, la plupart de ces espèces étaient considérées comme peu mobiles car les méthodologies employées pour étudier leurs déplacements étaient inadéquates (Gowan et al., 1994). Ces dernières années, les techniques biotéléométriques de suivi individuel et en continu révèlent que beaucoup d'espèces sont fortement concernées par la problématique des obstacles et le rétablissement de la libre circulation des poissons. Le cas du brochet est particulièrement surprenant puisque les six individus suivis dans l'Ourthe-Amblève ont parcouru plusieurs kilomètres et ont parfois été confrontés à plusieurs obstacles consécutifs avant d'atteindre leurs sites de reproduction. Par ailleurs, les suivis estivaux des truites communes montrent que des fortes mobilités des adultes ne sont pas exclusivement rencontrées au cours de la période de reproduction en octobre-janvier.

Nos suivis biotéléométriques indiquent que les capacités de franchissement des obstacles diffèrent plus ou moins fortement d'une espèce à l'autre. Nous avons mis en évidence que la truite commune est capable de franchir des seuils verticaux d'une hauteur de 1.1 m et de nager sur des obstacles obliques dont la pente avoisine les 40%. L'ombre est capable de franchir les mêmes pentes, mais sa capacité de saut semble légèrement plus faible (max. 0.85 m). Le brochet possède des capacités de franchissement non négligeables qui lui ont permis d'effacer des obstacles dont la pente avoisine les 30%. Un barbeau a franchi un barrage avec une pente de 15% mais les autres individus ont systématiquement été bloqués au pied d'obstacles à plus forte pente ou à chute verticale. Bien entendu, ces valeurs sont fortement dépendantes d'autres caractéristiques de l'obstacle. Dans le cas d'un obstacle vertical, il s'agit essentiellement de la profondeur de l'eau en aval de la chute (fosse) qui doit

être suffisamment profonde (de préférence 2X la taille du poisson) pour que le poisson puisse prendre son élan. Pour un obstacle en pente, l'épaisseur de la lame d'eau est primordiale et doit pour bien faire être égale à la hauteur du poisson.

2.6.3. Variabilité de la franchissabilité des obstacles selon les conditions environnementales

Il est évident que la franchissabilité d'un obstacle peut être temporaire et dépend fortement des variations du débit dans les cours d'eau. Ces dernières modifient les variables hydrauliques au niveau et aux alentours de l'obstacle (par exemple: épaisseur de la lame d'eau, vitesse d'écoulement, profondeur en aval, nature et direction des turbulences) et influencent fortement le comportement des poissons face à l'obstruction. Nous avons montré que certains obstacles sont facilement franchissables dans presque toutes les conditions de débit, alors que d'autres ne le sont que dans des conditions de hauteur d'eau moyenne ou importante. Malheureusement, il est utopique de vouloir tester biologiquement l'ensemble des obstacles dans toutes les conditions de débit. Il est donc primordial de développer un protocole de description des conditions hydrauliques (hauteur d'eau, vitesse du courant..) des différents types obstacles, et de modéliser leurs variabilité et franchissabilité en fonction du débit, grâce à la synthèse de données biologiques (Ovidio & Capra, 2001).

En modifiant l'efficacité du travail musculaire et donc les capacités de nage et de saut des poissons (Wardle, 1980; Beach, 1984), la température de l'eau conditionne également la franchissabilité des obstacles. Nos observations montrent que les différents obstacles ont été effacés dans une gamme thermique de 4.6 à 19.8 °C, avec une préférence pour les températures comprises entre 8 et 12°C. Ce résultat corrobore les observations de Pyefinch, (1955) et de Jenssen et al., (1989) sur le franchissement de barrages par le saumon atlantique *Salmo salar*. Similairement, au barrage hydro électrique de Pitlochry (Ecosse), Gowans et al. (1999) ont montré qu'en dessous de 8,5°C, l'échelle à poissons n'est presque pas utilisée par les saumons atlantiques et que son taux d'utilisation est fortement lié à la température de l'eau.

Les effets du débit et de la température de l'eau ont été observés à plusieurs reprises. Lorsqu'ils arrivent au pied d'un obstacle, les poissons tentent presque

toujours de le franchir immédiatement par de nombreuses tentatives de sauts. S'il n'y parviennent pas, ils dévalent généralement de quelques dizaines ou centaines de mètres et attendent, parfois plusieurs semaines, des modifications environnementales (augmentation du niveau d'eau ou de la température) qui leur permettront alors de l'effacer. Ce type de comportement est très coûteux en énergie et les nombreuses tentatives de sauts sont également susceptibles de blesser le poisson. Si ce phénomène s'accumule à d'autres obstacles, il est possible que le poisson s'épuise et que sa participation à la reproduction soit fortement compromise. Par ailleurs, les obstacles sont également la cause d'une accumulation de retard qui pourrait contraindre les géniteurs à se reproduire dans des conditions environnementales peu ou non optimales. Il est donc essentiel de tenir compte du retard qui peut être accumulé à chaque obstacle dans certaines conditions environnementales. En Ecosse, Webb (1990) observait que des saumons qui ne parvenaient pas à franchir l'échelle à poissons de Pitlochry du premier coup ne rentraient plus jamais dans la structure. Par contre, d'autres auteurs (*Liscom et al., 1985; Laine, 1995*) ont observé des pénétrations successives du saumon atlantique dans des ouvrages de franchissement.

Les migrations des différentes espèces de poissons sont saisonnières et intimement liées à des variations combinées des conditions environnementales (essentiellement débit et température de l'eau) qui déclenchent ou favorisent les déplacements des poissons et donc leurs confrontations aux différents obstacles (Jonsson, 1991; Ovidio et al., 1998). En conséquence, toute politique de restauration d'obstacle devrait préférentiellement passer par une étude approfondie de l'écologie comportementale des espèces présentes dans le cours d'eau.

2.6.4. Variabilité individuelle des capacités de franchissement des obstacles

Pour une même espèce, les capacités de franchissement peuvent varier d'un individu à l'autre. Ce phénomène s'observe souvent chez des individus de tailles différentes. En effet, en fonction de leur structure et caractéristiques (profondeur en aval, lame d'eau), certains obstacles sont plus facilement franchissables par des poissons de gammes de certaines tailles (exemple obstacle M3). Nous avons également observé que, pour des conditions environnementales identiques, des individus de mêmes tailles peuvent parfois rester bloqués des laps de temps

différents au pied d'un même obstacle. De telles différences interindividuelles ne facilitent pas l'établissement de normes précises pour les capacités de franchissement des poissons.

2.6.5. Importance des phénomènes de dévalaison

Un autre problème important révélé par notre étude concerne la dévalaison post-reproduction. Dans le plupart des cas, nous avons observé que les poissons retournent souvent à quelques mètres près aux gîtes qu'ils occupaient avant la reproduction. Ce phénomène a été biologiquement interprété et discuté par plusieurs auteurs (Baras, 1992, Ovidio et al., 1998, Ovidio, 1999a et b). Les obstacles sont évidemment plus facilement franchissables à la dévalaison qu'à la montaison, mais on ne peut certainement pas sous-estimer les blessures et les mortalités qu'occasionnent le passage de certains petits obstacles artificiels dans le sens du courant surtout lorsque l'obstacle est équipé de turbines électriques. À l'heure où la production d'électricité par voie hydraulique est régulièrement citée comme un exemple de respect de l'environnement, il convient de sensibiliser d'urgence les décideurs de leur impact négatif sur les poissons en migration de dévalaison.

2.6.6. Décisions en matière de gestion

Lorsqu'un obstacle se révèle effectivement infranchissable par les poissons en migration, il convient en premier lieu de s'interroger sur l'utilité de l'ouvrage. Si elle n'est pas justifiée, la meilleure solution est la destruction totale ou partielle de l'ouvrage pour qu'il ne fasse plus obstacle à la libre circulation des poissons. Cette solution est prioritaire puisqu'elle assure le passage de la totalité des espèces. Lorsque la suppression de l'obstacle n'est pas possible, il convient, dans la mesure du possible, de rendre l'obstacle franchissable par conception, ce qui permet d'éviter la construction d'une échelle à poissons artificielle (Croze & Larinier, 2000). Dans le cas où un tel ouvrage ne peut être réalisé, un dispositif de franchissement artificiel devra être aménagé. La construction d'un tel dispositif doit être soigneusement étudiée et adaptée aux espèces ciblées, aux variations de niveau d'eau à l'amont et à l'aval de l'obstacle, à la dénivellation à franchir, aux contraintes topographiques et au transport solide dans le cours d'eau (Croze & Larinier, 2000).

3. MISE AU POINT D'UNE METHODE SIMPLE DE CARACTERISATION DES OBSTACLES FRANCHIS PAR LES POISSONS SALMONIDES (TRUITE ET OMBRE)

3.1. Présentation du problème

L'action 5 de la Partie 1 de la convention prévoyait la mise au point et l'application d'une méthode de caractérisation topographique et hydraulique de petits obstacles à la libre circulation des poissons en utilisant des métriques simples (ex : hauteur de chute, pente, profondeur en aval, lame d'eau). La plupart des obstacles qui ont fait l'objet d'un suivi biologique sur le terrain et pour lesquels nous possédons des données de franchissements ont été caractérisés en utilisant cette nouvelle méthodologie

Après sa mise au point sur les cours d'eau wallons, cette méthodologie a été validée par la communauté scientifique internationale sous la forme d'un article publié dans la revue anglaise « *Fisheries Management and Ecology* » (Annexe 2).

Ce protocole de mesure sur le terrain pourrait donc être utilisé aussi bien en Wallonie qu'à l'étranger comme une aide à la détermination de la franchissabilité d'un obstacle chez les deux salmonidés que sont la truite commune et l'ombre. À terme, cette méthodologie pourrait s'étendre à d'autres familles de poissons comme les cyprinidés rhéophiles pour lesquelles nous ne possédons pas encore de suffisamment de données, ce qui rend nécessaire la poursuite de l'Action 1.

3.2. Développement d'une méthode de description des obstacles

Les travaux réalisés sur le franchissement d'obstacles par les poissons en rivière (Projets de développement de passes à poissons aux USA [ex : Powers & Orsborn, 1985¹]; travaux de M. Larinier (CSP-Cemagref) et F. Travade (EDF) en France [Bulletin Français de Pêche et Pisciculture (353-54 ; 1999) ; (364 -Suppl. S ; 2002) ; Larinier & Croze, 2000]) mettent en évidence les caractéristiques hydrauliques

principales permettant de décrire un obstacle de type « pelle », en « plan incliné ou rampe » et une combinaison des deux (fig. 22)

Les métriques principales qui permettent de donner une indication sur la franchissabilité d'un seuil sont essentiellement liées à la hauteur de chute, cad la différence de niveau d'eau (H), à la hauteur d'eau en amont (d_c) et en aval (d_{pp}) du seuil dans le cas d'un obstacle « droit ». Dans le cas d'un obstacle en pente, il s'agit de la pente du seuil (S_p) et de sa longueur (LS) (Figure 22 a,b).

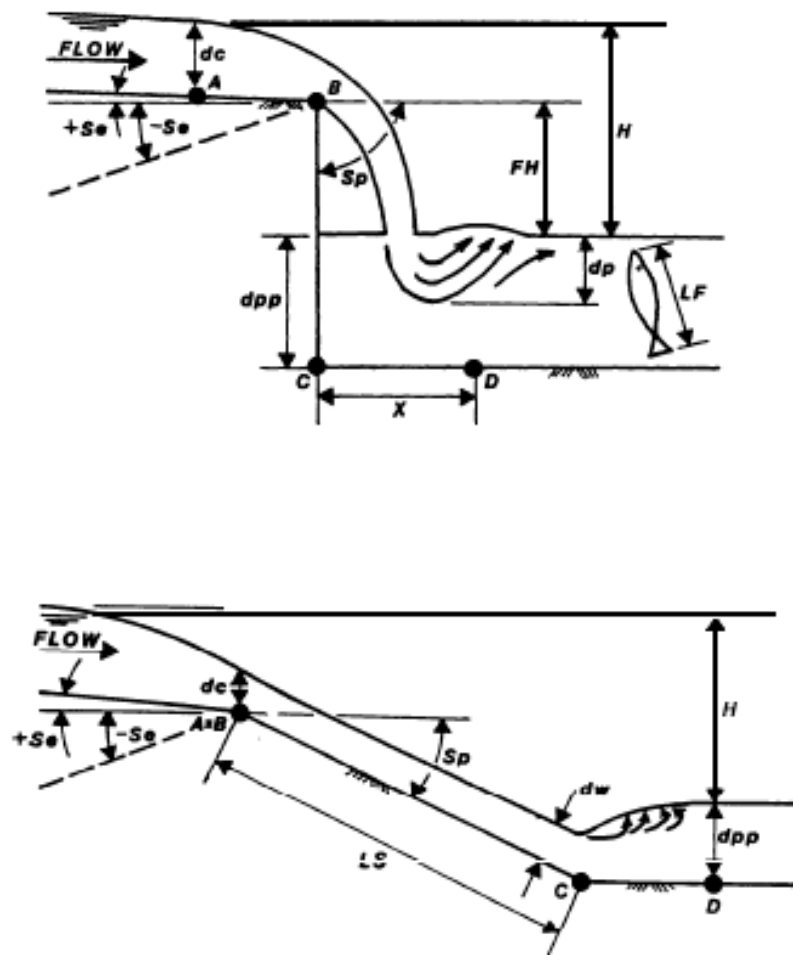


Figure 22 a et b: Exemple de description schématique d'une chute (gauche) et d'un plan incliné (droite). (Powers & Orsborn, 1985).

La caractérisation des obstacles est rendue très difficile par le fait que plusieurs critères (hauteur de chute, épaisseur de la lame d'eau sur un seuil incliné, profondeur en aval de l'ouvrage) sont dépendants du débit de la rivière au moment

des mesures. Nous avons montré dans le rapport annuel de 2002 qu'une modélisation 2D des écoulements infra critiques (i.e. non turbulents) sur et/ou aux alentours de l'obstacle est envisageable. Toutefois, cette technique est très lourde à mettre en œuvre et nécessite des connaissances en hydraulique dépassant celles généralement assimilées par les biologistes. Par contre, les turbulences (supra critiques) ne sont en aucun cas modélisables. Or, il s'avère que c'est essentiellement ce type d'écoulement qui est rencontré sur ou au pied de la plupart des obstacles. La modélisation 2D des écoulements doit donc être réservée à des sites et à des problématiques bien spécifiques et ne peut en aucun cas servir d'outil de description simplifiée d'un obstacle.

Dans le cadre d'un projet de coopération Wallonie-France partiellement financé par le Commissariat Général aux Relations Internationales (CGRI) un essai de caractérisation simplifiée des obstacles franchis par les poissons radio-pistés en Wallonie a été entrepris en collaboration avec le Laboratoire d'Hydrologie Quantitative du CEMAGREF de Lyon (Dr. H. Capra).

Sur la base de ces considérations, nous avons cherché à établir un protocole standardisé de description simplifiée d'un obstacle qui respecte trois principales conditions :

- i) le travail ne doit pas excéder 2 heures pour chaque obstacle ;
- ii) il doit être réalisable par des non-hydrauliciens et
- iii) le matériel d'étude doit être peu coûteux.

En pratique, notre objectif est de décrire à l'aide de cette méthodologie, l'ensemble des obstacles franchis par des poissons radio-pistés et de compiler les mesures effectuées pour développer un outil de détermination de la franchissabilité d'un obstacle sur la seule base de mesures topographiques et hydrauliques simples effectuées en condition de débit normal, voire même à l'étiage.

3.3. Obstacles considérés dans l'étude et méthode de prise des mesures sur le terrain

Compte tenu des objectifs de comparaison entre descriptions hydrauliques et observations biologiques, des différentes informations disponibles pour chaque site, des données complémentaires acquises (température, débit, suivi de populations de poissons), et des travaux déjà effectués (Daoût 2002), nous avons actuellement travaillé sur 11 obstacles situés sur l'Aisne (6), le Néblon (4 dont 1 non franchi) et la Lhomme (1) (fig. 23 ; tabl. 6).



Figure 23 : Carte de localisation des trois cours d'eau étudiés intensivement

Caractéristiques			
Altitude de la source (m)	600	255	475
Longueur (km)	35	18,3	50,6
Bassin versant (km ²)	184	78,7	479
Pente moyenne (m 1000 m ⁻¹)	13,3	7,7	63,7
Largeur dans cours inférieur (m)	5-10	5-10	10-15
Débit annuel moyen (m ³ s ⁻¹)	2,6	0,5	2,7
Température annuelle moyenne (°C)	9,4	10,4	10,0
Zone piscicole Huet dominante	Ombre	Truite	Ombre
Espèce de poisson dominante (kg)	Truite	Truite	Truite
Niveau global de qualité de l'eau	Excellent	Elevé	Elevé
Nombre de poissons radio-pistés			
- Truite commune	31	4	5
- Ombre commun	20	11	8
Nombre d'obstacles testés	6	4	1

Tableau 6 : Principales caractéristiques des trois cours d'eau retenus pour l'étude de la caractérisation des conditions de franchissabilité des obstacles par des poissons radio-pistés.

Comme illustration de la méthode de prise de mesures, nous avons sélectionné trois seuils qui correspondent à trois types principaux d'écoulement :

(a) – un type très hétérogène (enrochement, plan incliné, chutes, et différences de niveaux d'écoulement...) : le seuil de Ninane (n° 48 MRW) sur l'Aisne (Planche photos 3 et 4) ;

(b) – un type très homogène (chute et plan incliné bétonnés) : le seuil de Hamoir (n° 97 MRW) sur le Néblon (Planche photos 5 et 6).

(c) – un type moyennement hétérogène (enrochement, chutes) : le seuil de Aisne sur l'Aisne (n° 46 MRW) (Planche photos 7).

Les informations de franchissement obtenues par le LDPH pour chaque seuil sont (tabl. 7) : 7 franchissements observés à Ninane sur l'Aisne, 18 franchissements observés à Aisne sur l'Aisne et aucun franchissement observé à Hamoir sur le Néblon.

La description d'un seuil consiste en une prise de mesures hydrauliques et topographiques. Ces mesures sont prises sur des transects matérialisés par des décamètres placés perpendiculairement à l'écoulement (Planche photos 2 et 4). Selon le seuil étudié, le nombre de transects varie de 7 à 12. Le nombre de points de mesure sur chaque transect varie de 6 à 19 en fonction de l'hétérogénéité transversale et de la largeur du cours d'eau au niveau du transect. Une description du substrat est aussi opérée d'après la méthode illustrée par la fig. 24.

Obstacle	Poisson	LF (mm) et Poids (g)	Période	T° (°C)	Débit (m³/s)	Temps (j)
Aine	truite	420-995	Juillet 1996	13,3	0,24	
"	"	280-305	Octobre 1996	12,3	0,85	
"	"	266-233	Octobre 1996	10,1	1,99	
"	"	295-287	Octobre 1996	9,3	1,99	
"	"	347-380	Mars 1997	8,5	2,22	
"	"	304-288	Octobre 1997	12,9	0,41	
"	"	299-290	Octobre 1997	9,5	1,99	
"	"	570-1685	Novembre 1997	8,7	1,45	
"	"	570-1685	Novembre 1997	6,7	0,58	
"	"	347-460	Décembre 1997	4,6	2,33	
"	"	287-285	Octobre 1997	12,9	0,32	
"	"	263-206	Octobre 1997	10,6	0,67	
"	"	279-242	Octobre 1998	11	3,2	
"	"	362-495	Octobre 1998	10,5	3,6	
"	"	315-350	Octobre 1998	10	4,16	
<hr style="border-top: 1px dashed black;"/>						
"	ombre	455-349	Mars 2000	5,4	4,89	
"	"	275-218	Mars 2000	5,2	4,01	
"	"	272-216	Avril 2000	12,4	1,14	
Ninane	truite	272-233	Octobre 1996	9,5	1,342	
"	"	266-233	Octobre 1996	10,2	1,043	
"	"	295-287	Novembre 1996	8,3	1,043	
"	"	347-380	Mars 1997	7,4	3,737	
"	"	347-460	Décembre 1997	7,7	2,101	
"	"	279-242	Octobre 1999	10,4	3,601	
"	"	315-350	Octobre 1998	11,1	4,445	

Tableau 7: Synthèse des franchissements par des truites ou ombres radio-pistés aux obstacles de Aisne et de Ninane sur l'Aisne et de Hamoir sur le Néblon.

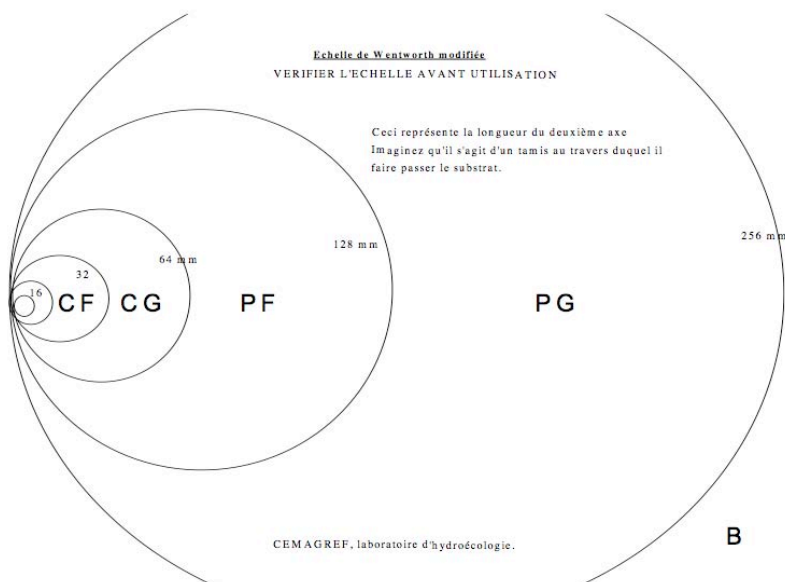


Figure 24 : Granulométrie du substrat selon l'échelle de Wenworth modifiée.

Les données hydrauliques relevées sont la hauteur d'eau et la vitesse du courant. Il est ainsi possible d'estimer en même temps le débit et la cote de la ligne d'eau à ce débit.

Les données topographiques permettent de calculer la pente du cours d'eau et la forme du seuil (ex : hauteur de chute).

Pour ce qui concerne la nature du substrat, l'estimation de la taille des particules du substrat (permet d'estimer le frein à l'écoulement du fond de la rivière).

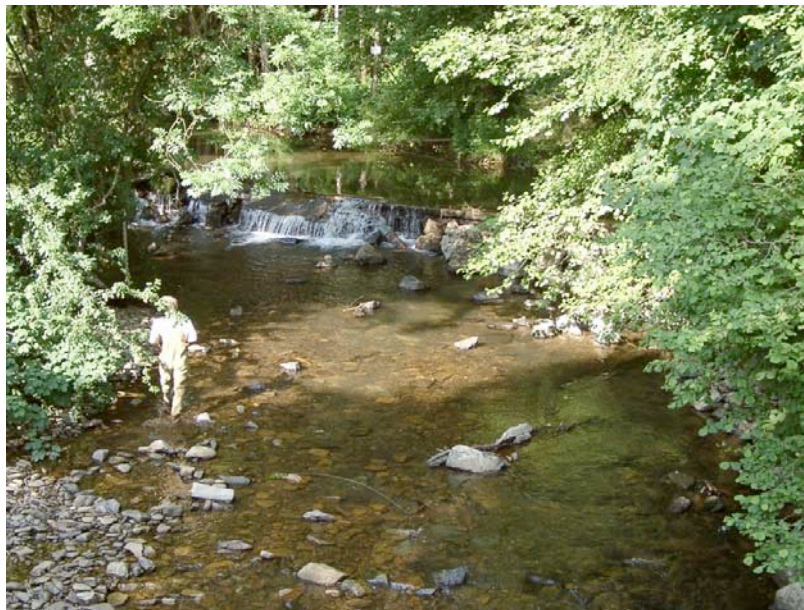


Planche photos 3 : seuil de Ninane 48 MRW sur l'Aisne (juin 2002). Vue d'ensemble



Planche photos 4: seuil de Ninane sur l'Aisne . Description hydraulique

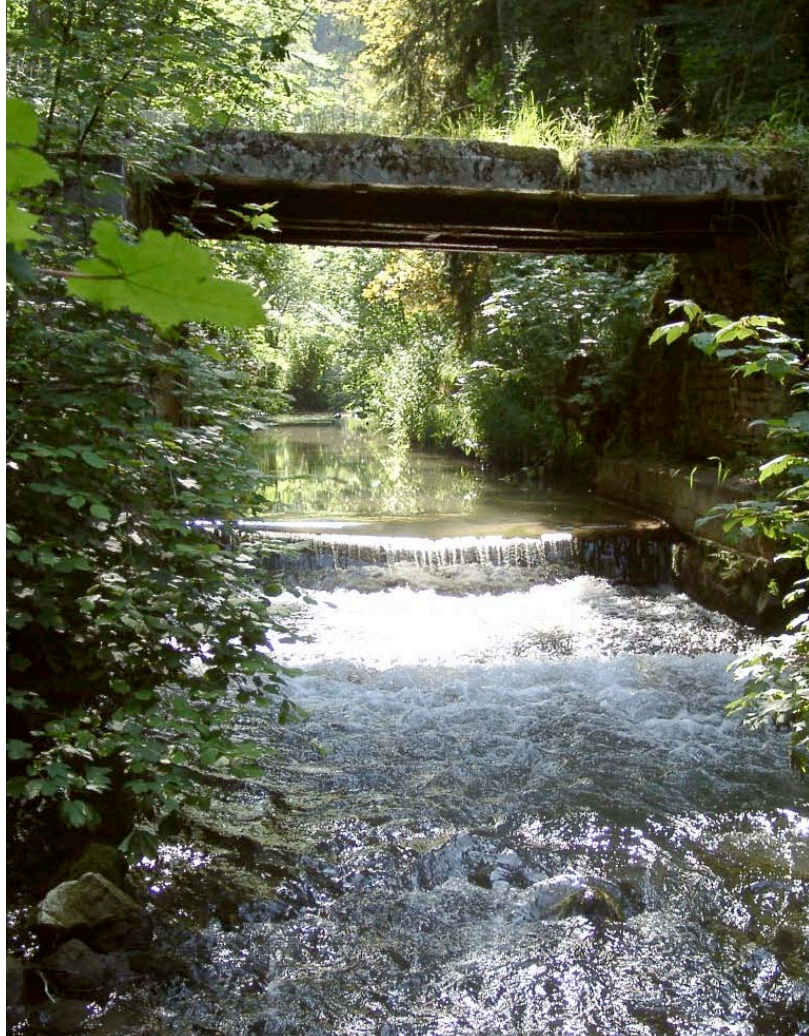


Planche photos 5 : seuil de Hamoir - limigraphe 97 MRW sur le Néblon. Vue d'ensemble



Planche photos 6 : seuil de Hamoir-limnigraphe sur le Néblon. Description hydraulique et topographique



Planche photos 7 : seuil de Aisne 46 MRW sur l'Aisne. Vue d'ensemble

3.4. Exemples de description de différents types d'obstacles

Pour les obstacles dont le profil en travers est hétérogène (Ninane et Aisne sur l'Aisne), nous avons subdivisé la largeur du seuil en parties homogènes (ex. : plan incliné, chute, enrochements...) dans le but de décrire le plus justement leur profil en long.

3.4.1. Seuil de Ninane sur l'Aisne

Nous avons subdivisé le seuil de Ninane sur l'Aisne en 3 parties (plan incliné constitué de blocs, chutes, plan incliné bétonné, cf. Planche photos 3 et 4) susceptibles de présenter des profils en long hétérogènes. Les trois profils sont présentés aux figures 25 a,b,c. La mesure de terrain a été réalisée le 25 juin 2002, le débit mesuré sur le site était de $0,600 \text{ m}^3\text{s}^{-1}$.

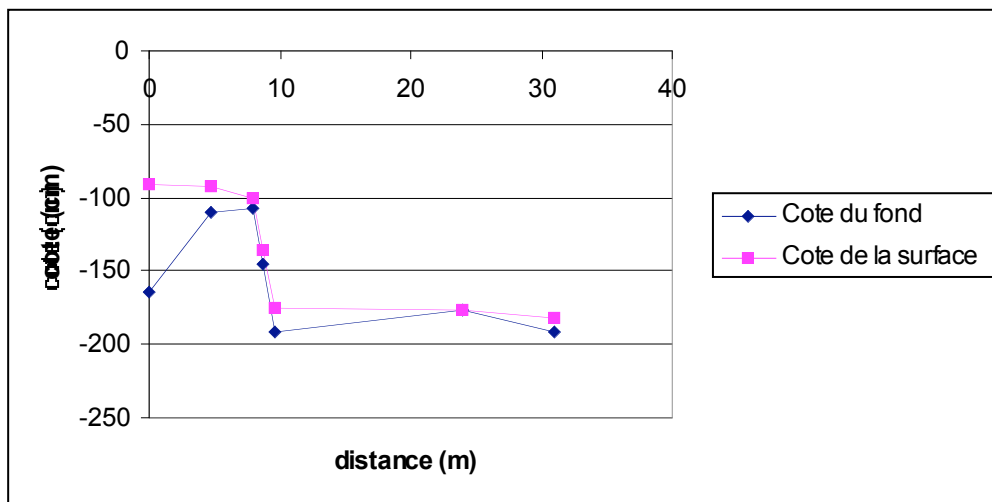


Figure 25 a: Vue du profil en long passant par le plan incliné constitué de blocs du seuil de Ninane (de l'amont vers l'aval).

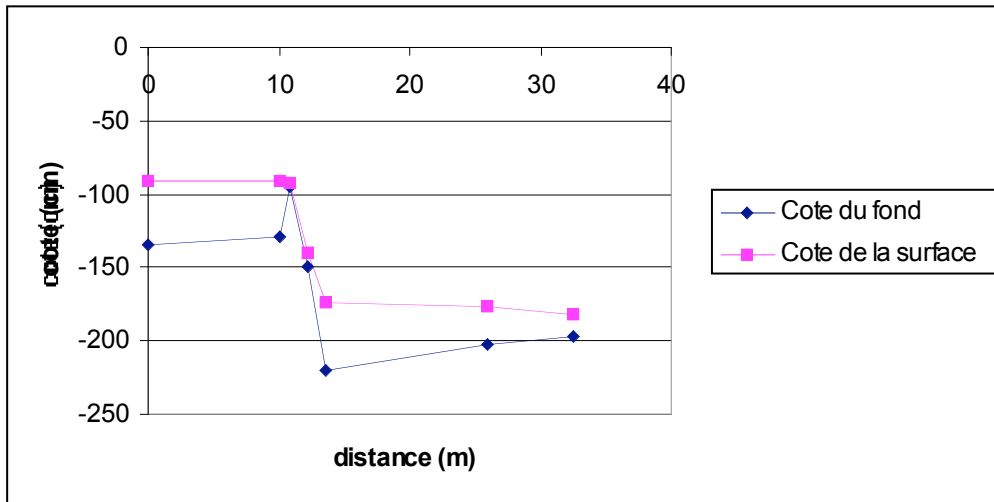


Figure 25 b: Vue du profil en long passant par le plan incliné bétonné du seuil de Ninane (de l'amont vers l'aval).

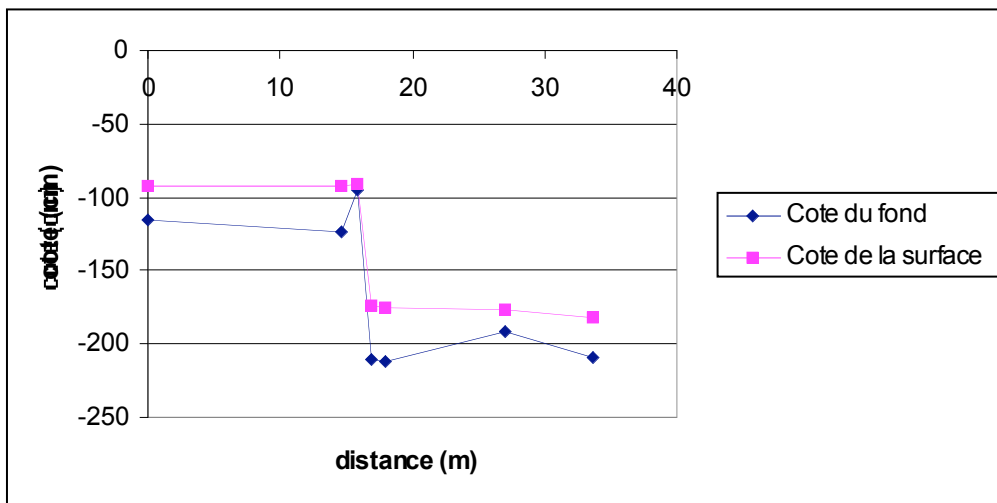


Figure 25 c: Vue du profil en long passant par la chute du seuil de Ninane (de l'amont vers l'aval).

La réalisation des trois profils en long montre clairement l'hétérogénéité du seuil de Ninane (tabl. 8). Il semble que ce soit à l'emplacement du plan incliné constitué de blocs que le passage serait le plus délicat.

Emplacement	Profondeur en aval de l'obstacle	Hauteur de chute
Plan incliné constitué de bloc	15 cm	85 cm
Plan incliné bétonné	50 cm	80 cm
Chute du seuil	35 cm	80 cm

Tableau 8: Illustration de l'hétérogénéité de profils en longs réalisés à différents emplacements du barrage de Ninane sur l'Aisne pour un débit de $0,600 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$.

3.4.2. Seuil de Aisne sur l'Aisne

Nous avons subdivisé le seuil de Aisne sur l'Aisne en 2 parties (plan incliné constitué de blocs, chutes, planche photos 7) susceptibles de présenter des profils en long hétérogènes. Les deux profils sont présentés aux figures 26 a,b. La mesure de terrain a été réalisée le 27 juin 2002, le débit mesuré sur le site était de $0,600 \text{ m}^3\text{s}^{-1}$.

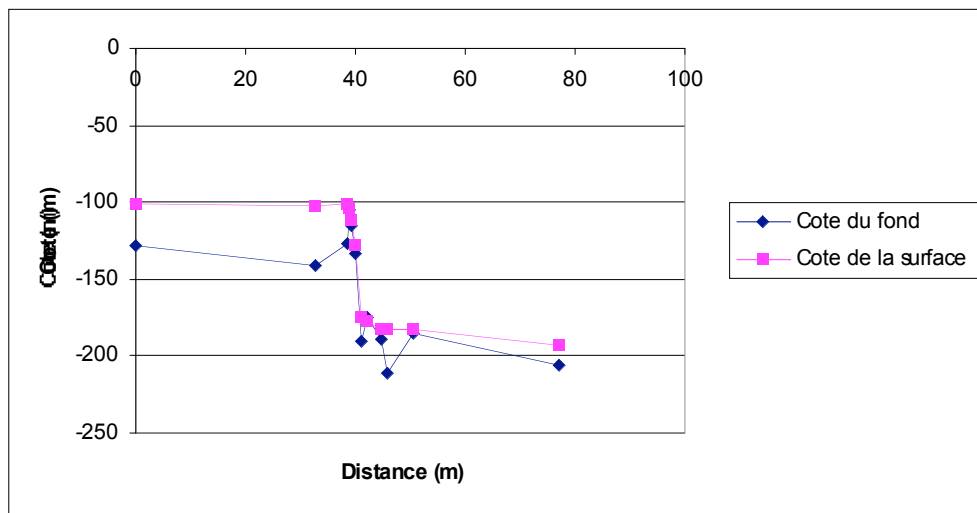


Figure 26 a: Vue du profil en long passant par le plan incliné constitué de blocs du seuil de Aisne (de l'amont vers l'aval).

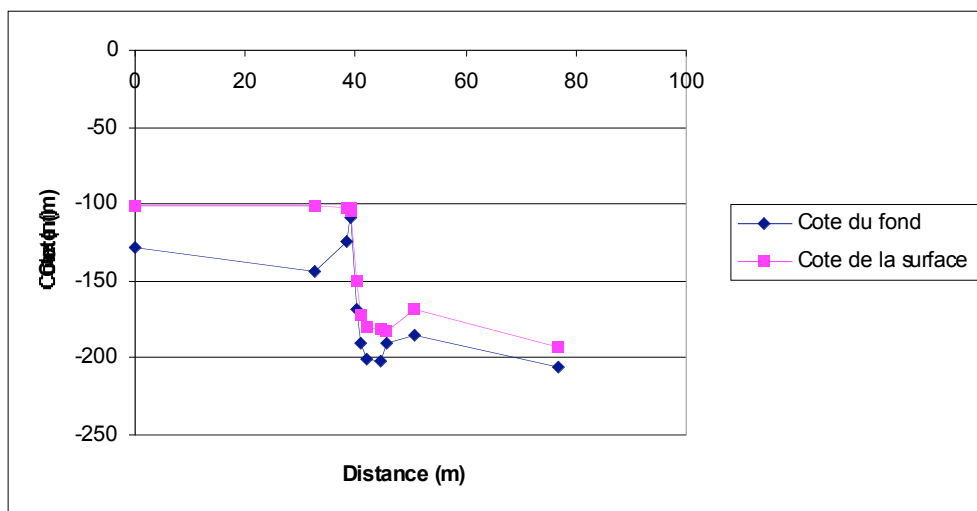


Figure 26 b: Vue du profil en long passant par la chute du seuil de Aisne (de l'amont vers l'aval).

Comme pour le seuil de Ninane, la réalisation de deux profils en long montre l'hétérogénéité structurelle du seuil de Aisne (tabl. 9).

Emplacement	Profondeur en aval de l'obstacle	Hauteur de chute
Plan incliné	30 puis 15 cm (double fosse)	75 cm
Chute	30 cm	70 cm

Tableau 9: Illustration de l'hétérogénéité de profils en longs réalisés à différents emplacements du barrage de Aine sur l'Aisne pour un débit de $0.600 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$.

3.3.2. Seuil de Hamoir sur le Néblon

Le seuil de Hamoir (Planche photos 5 et 6) étant particulièrement homogène, nous n'avons pas effectué de subdivision pour les profils longitudinaux. La mesure de terrain a été réalisée le 26 juin 2002.

La réalisation du profil en long montre (fig ; 28) que la profondeur juste en aval du seuil est presque nulle alors que la hauteur à franchir est de $\pm 40 \text{ cm}$.

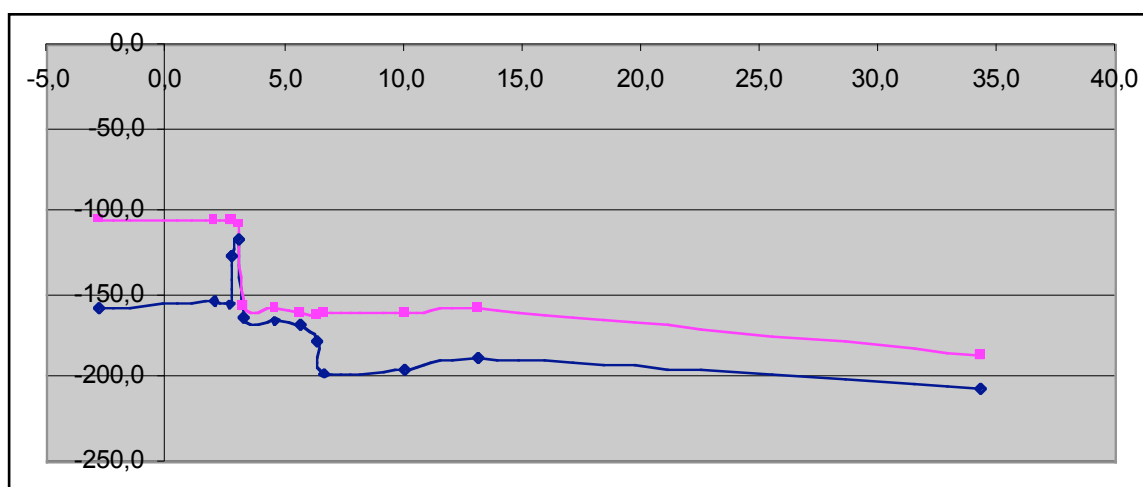


Figure 28: Vue du profil en long passant le seuil de Hamoir sur le Néblon (de l'amont vers l'aval).

3.5. Résultats de l'analyse des relations entre la franchissabilité des obstacles et leurs caractéristiques structurelles (article par Ovidio et al., 2007 ; voir Annexe 2)

3.5.1. Rappel des comportements de franchissement

Ce volet de l'étude a considéré 10 obstacles situés sur l'Aisne, le Néblon et la Lhomme (fig. 29) où furent enregistrés de 1996 à 2003, un nombre total de 56 franchissements par des truites, des ombres et des ombres et des truites (tabl. 10). On insistera sur le fait que les photos de la figure 29 montrent les obstacles dans des conditions de basses eaux, à un moment où ils ne semblent guère franchissables et ne le sont effectivement pas dans la plupart des cas. Pourtant, ils le deviennent dès que le débit augmente pendant la période normale de migration des espèces concernées qui s'étale d'octobre à avril.

Dans l'Aisne, 100 % des poissons (truites et ombres) furent capables de franchir les obstacles au cours de leur migration. Les poissons réussissent généralement à franchir deux obstacles successifs endéans 24 h, sauf dans deux cas lorsque les obstacles A4 et A5 furent passés à 2 et 3 jours d'intervalle. Plusieurs poissons ont franchi l'obstacle A1 sans utiliser la passe migratoire très performante qui l'équipe. La plupart des obstacles ont été franchis par des mâles et des femelles.

Dans le Néblon, l'obstacle N1 a été franchi par un poisson en 3 jours mais deux individus n'ont pas réussi à le passer. Un ombre a facilement franchi l'obstacle N2 à deux reprises. L'obstacle N3 a été passé par une truite mais un ombre en migration de remontée est resté en aval.

Dans la Lhomme, seule une truite s'est retrouvée confrontée à l'obstacle L1 et a réussi à le franchir après 2 jours.

3.5.2. Caractéristiques des obstacles franchis

Le mode de description des différents types d'obstacles est illustré par les schémas de la figure 30 qui montre trois formes élémentaires : le plan incliné ou rampe, la chute verticale ou presque verticale et la combinaison d'une rampe et d'une chute en aval.



Figure 29. Vue en conditions de bas débit des obstacles étudiés dans l'Aisne (A1-A6), le Néblon (N1-N3) et la Lhomme (L1). Sur chaque photo, les traits en rouge et les chiffres romains correspondants délimitent les différentes parties de l'obstacle sur un plan transversal de la rive gauche à la droite. Rampe : N1, L1. Chute : A2, A6, N3. Rampe + chute : A1, A3, A4, A5, N2.

Obstacle	Species	Number of clearing	Time spent (day)		Fork length (mm)		Weight (g)		Sexes	Discharge (m ³ s ⁻¹)		Temperature (°C)	
			Min.	Max.	Min.	Max.	Min.	Max.		Min.	Max.	Min.	Max.
A1	trout	5	1	1	260	291	206	312	M & F	0,76	2,45	9,2	14
A1	grayling	2	1	1	288	374	297	520	M	1,14	2,45	7,7	12,4
A2	trout	6	1	1	295	489	287	1357	M & F	0,41	7,01	6,5	13,5
A3	trout	15	1	1	263	570	206	1685	M & F	0,24	4,16	4,6	13,3
A3	grayling	3	1	1	272	455	216	349	M & F	1,14	4,89	5,2	12,4
A4	trout	11	1	3	266	347	233	460	M & F	0,32	4,30	7,7	12,9
A5	trout	7	1	2	266	347	233	460	M & F	1,04	4,44	7,4	11,1
A6	trout	2	1	1	266	315	233	350	F	1,04	3,60	9,2	10,5
N1	grayling	1	3	-	300	-	315	-	F	0,78	0,78	10,1	10,1
N2	grayling	2	1	1	329	329	393	393	M	1,03	1,35	9,4	9,4
N3	trout	1	1	-	290	-	285	-	*	1,30	1,30	9,6	9,6
L1	trout	1	2	-	294	-	258	-	F	0,23	-	8,5	-

* = unknown

Tableau 10 : Nombre de passages de chaque obstacle par la truite et l'ombre. Un même obstacle peut être franchi plusieurs fois par le même individu. Le tableau donne aussi les valeurs minimales et maximales de la longueur corporelle (Lf) et du poids ainsi que le sexe des poissons qui ont passé chaque obstacle. On indique aussi la gamme des températures de l'eau et des débits pendant les jours de franchissement ainsi que la durée de celui-ci. Cette durée est définie par le nombre de jours entre l'arrivée du poisson au pied de l'obstacle et le constat de son passage à l'amont.

Rampe : N1, L1.

Chute : A2, A6, N3.

Rampe + chute : A1, A3, A4, A5, N2.

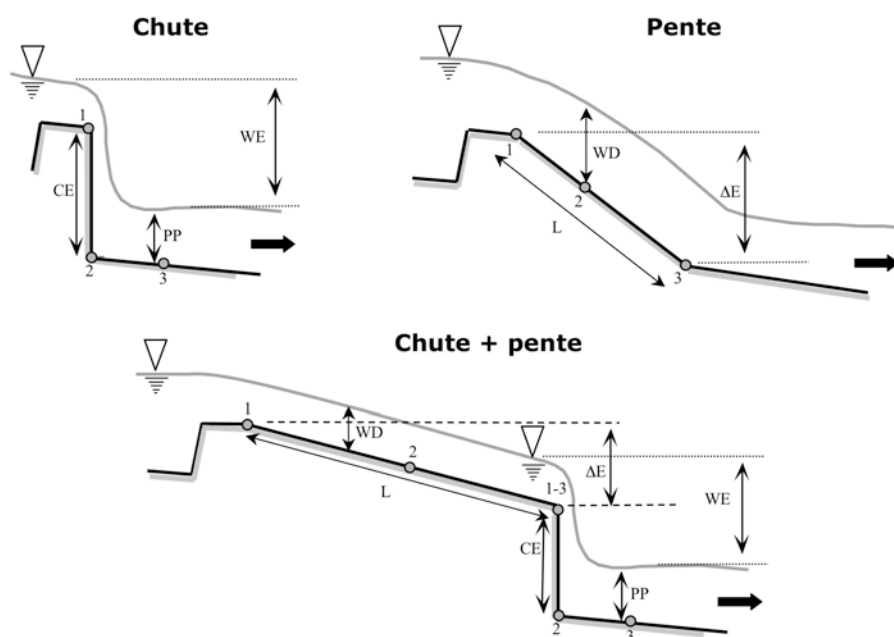


Figure 30 : Description des caractéristiques morphologiques des obstacles en vue longitudinale latérale. Les points de mesure doivent être situés sur trois sections transversales principales (points 1-3 sur la vue longitudinale) pour mesurer, pour une chute verticale, la dénivellation de l'eau (WE), la hauteur de la crête du barrage (CE) et la fosse en aval (PP) et, pour un plan incliné, la hauteur de la lame d'eau (WD), la longueur (L) et la dénivellation (ΔE pour calculer la pente). Un ou plusieurs points de mesure ont été choisis pour décrire l'hétérogénéité de chaque section transversale.

Les obstacles ou parties d'obstacles considérés comme des chutes présentent une hauteur en crête de 0,16 à 1,81 m, une fosse de dissipation profonde de 0,09 à 0,77 m et une hauteur de chute de 0,31 à 1,08 m. Les ouvrages en plan incliné ou rampe ont une longueur de 0,54 à 8,15 m et une pente variant entre 4 et 74 %.

La figure 31 montre graphiquement les principales caractéristiques des parties des seuils potentiellement utilisables par la truite et l'ombre pour passer à l'amont. Les mesures topographiques de chaque voie de passage possible sont détaillées dans le tableau 11.

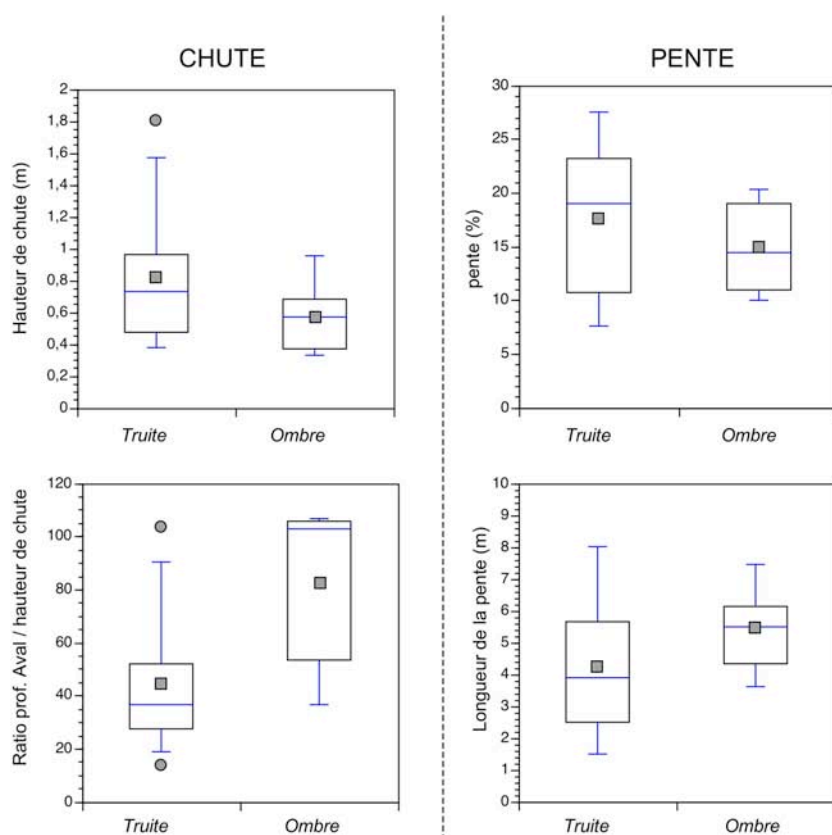


Figure 31 : Valeurs des principales variables physiques décrivant les obstacles de type chute et rampe franchis par la truite commune et l'ombre commun. Les valeurs présentées sont les médianes, les percentiles 5,25,75 et 95. Les cercles indiquent des valeurs hors tendance.

Transversal part	Type	Fall				Chute		
		Crest elevation (m)	Water surface elevation (m)	Plunge pool (m)	Pool/crest ratio (%)	slope (%)	length (m)	depth (m)
A1-I	C+F	0.59	0.539	0.63	107	10	8,00	
A1-II	C+F	0.39	No water	No water	No water	21	3.62	
A1-III	C+F	0.57	No water	No water	No water	10	5.03	
A2-I	F	1.2	1.04	0.31	26			
A2-II	F	1.57	1.08	0.49	31			
A2-III-1	F	0.63	0.39	0.54	86			
A2-III-2	F	0.87	0.59	0.3	34			
A2-IV	F	1.63	1,00	0.63	39			
A2-V	F	1.81	1.04	0.77	42			
A2-VI	F	1.15	0.56	0.62	54			
A3-I	F	0.96	0.66	0.35	37			
A3-II	C					19	3.7	0.04
A4-I	F					26	2.98	no water
A4-II	C+F	0.45	0.32	0.13	29	4	2.38	no water
A4-III	C+F	0.64	0.57	0.07	11	13	4.08	0.04
A5-I	C	0.96	0.84	0.36	37			
A5-II	C	0.16	0.82	0.11	71			
A5-III	C+F	0.4	0.31	0.2	50	74	0.54	0.09
A5-IV	C+F	0.48	0.56	0.46	95	30	1.9	0.1
A6-II	C	0.94	0.77	0.21	23			
A6-III	C	0.92	No water	No water				
A6-I	C	0.48	0.473	0.23	35			
N1-I	F					17	5.67	0.03
N1-II	F					19	5.31	0.04
N1-III	F					12	6.21	0.12
N2-I	C+F	0.33	0.25	0.34	103	12	6.06	0.05
N3-I	C	0.82	0.6	0.204	25			
N3-II	C	0.97	0.64	0.37	38			
N3-III	C	0.61	0.52	0.09	15			
L1-I	F					16.5	5.13	0.13
L1-II	F					19.6	8.15	0.03
L1-III	F					24	6.17	0.025

Tableau 11. Caractéristiques physiques des différentes parties transversales de chaque obstacle. Chaque partie transversale représente une voie de passage possible par les poissons. Chaque partie (I à VI par obstacle) a été décrite comme une chute (F), une rampe (C) ou une combinaison des deux et aux moyen de variables mesurées ou calculées en appliquant le protocole détaillé dans le texte et illustré par la figure. Les lignes en gras représentent la voie de passage apparemment la plus aisée. La valeur de chaque variable caractérisant une partie transversale correspond à une seule mesure ou à la moyenne de plusieurs mesures selon le degré d'hétérogénéité physique à l'intérieur d'une partie transversale donnée.

Certains obstacles et parties transversales d'obstacles sont constitués d'une succession de chutes et de rampes (ou l'inverse). Pour chaque obstacle, la voie potentielle de passage apparemment la plus aisée est représentée par un trait en gras

sur les photos de la figure 29. Au niveau de A1, A5 et N3, on a effectivement observé des individus utilisant une telle voie de passage préférentielle.

D'après ces considérations, il apparaît qu'une truite commune de 260 mm Lf a réussi à franchir une partie de barrage (Aisne 1 à Bomal) d'une hauteur en crête de 0,59 m (chute d'eau de 0,54 m) en profitant d'une fosse de 0,63 m en aval (rapport fosse/hauteur de chute : 107 %), à une température minimale de l'eau de 9,2°C. Une autre truite commune de 295 mm Lf a réussi à remonter un barrage-chute (Aisne 2 Saint-Denis) d'une hauteur en crête de 1,81 m (chute d'eau de 1,04 m) en profitant d'une fosse de 0,77 m en aval (rapport fosse/hauteur de chute : 42 %), à une température minimale de l'eau de 6,5°C. Un ombre de 272 mm Lf a franchi un barrage-chute (Aisne 5 Ninane) d'une hauteur en crête de 0,96 m (chute d'eau de 0,66 m) en bénéficiant d'une fosse de 0,35 m (rapport fosse/hauteur de chute : 37 %) à une température minimale de 5,2°C.

Une truite de 266 mm a franchi un barrage-rampe (Aisne 4 Aux Roches) présentant une pente de 26% pour une longueur de 2,98 m, à une température minimale de l'eau de 7,7 °C et un autre (Lhomme LHO1) présentant une pente de 16,5 % pour une longueur de 5,13 m, à 8,5°C. Un ombre de 300 mm Lf a remonté le seuil-rampe N1 (Néblon) avec une pente de 12% sur une longueur de 6,21 m, à une température de 10,1°C. Les deux espèces, truite et ombre, ont remonté la partie en rampe du barrage A1 (Aisne 1 Bomal) avec une pente de 10% sur une distance de 8 m après avoir effectué un saut de 0,545 m au niveau de la partie en chute de l'ouvrage.

3.5.3. Rôle de la température et du débit

Dans l'Aisne, les obstacles furent franchis à des températures de l'eau variant de 4,6 à 14,0 °C mais surtout entre 10 et 14°C (33 % du temps de 1996 à 2000, ce pourcentage ayant varié de 25 à 35 % selon les années et de 7 à 64 % selon les obstacles). Si l'on considère le débit au moment du franchissement, il apparaît que les obstacles sur l'Aisne auraient pu être franchissables par la truite entre 0,24 et 7,01 m³/s (87 % du temps pendant la période 1996-2000, avec ce pourcentage variant de 71 à 96 % selon les années et de 37 à 83 % selon les obstacles). Pour l'ombre en 2000, les obstacles A1 et A3 dans l'Aisne auraient été franchissables 30 et 52 % du temps

respectivement, sur la base des conditions de température et 25 % et 48 % respectivement sur la base des conditions de débit.

Dans le Néblon, les obstacles furent franchis par la truite et l'ombre à des températures de 9,4 à 10,1°C (6% du temps en 2000) et pendant des conditions de débits relativement élevés (0,78 à 1,35 m³/s, soit 16 % du temps en 2000) par rapport au débit moyen annuel (0,58 m³/s).

Ce type d'analyse n'a pas été possible dans la Lhomme en raison du fait qu'un seul obstacle a été franchi par un poisson, une truite en l'occurrence.

3.5.4. Conditions limites de franchissabilité des obstacles par les salmonidés

Cette étude conduit à définir objectivement les caractéristiques morphologiques clés des obstacles considérés comme franchissables par des truites et des ombres de 25-30 cm dans les conditions thermiques de la période de reproduction. Ces valeurs définissent des valeurs minimales à certainement ne pas dépasser, toutes valeurs inférieures étant préférables.

	<u>TRUITE</u>	<u>OMBRE</u>
Seuil de type 'chute verticale'		
Hauteur de l'ouvrage en crête	< 1,80 m	< 1,0 m
Différence de niveau d'eau (chute) à l'étiage	< 1,0 m	< 0,6 m
Profondeur de la fosse en aval à l'étiage	0,10-0,8 m	0,35 m
Rapport fosse/chute	env. 30 % (15-42 %)	37 % -
Seuil de type 'rampe'		
Pente de la rampe	< 26 %	< 12 %
(hauteur/longueur)	(< 1/4)	(< 1/8,5)
Longueur de la rampe	< 8,0 m	< 6,0 m

3.5.5. Conditions limites de franchissabilité des obstacles par les cyprinidés

Nous n'avons enregistré aucun cas de franchissement d'un obstacle par un cyprinidé d'eau rapide (barbeau, hotu) et par le gardon. Cela s'explique en partie parce que ces poissons n'ont pas été confrontés à un éventail de situations suffisamment larges pour exprimer leurs capacités de franchissement de certains obstacles peu élevés en forme de chute et de rampe. On rappellera que dans la Méhaigne, le barbeau a été incapable de franchir l'obstacle-rampe Me1 (barrage du Val Notre Dame : pente de 8 % pour une longueur de 15 m) et l'obstacle-chute Me 3 de Moha four à chaux (différence de niveau d'eau :)

Des études complémentaires sont nécessaires pour améliorer nos connaissances à ce sujet, mais l'approche est difficile car certaines espèces importantes (barbeau, hotu) ont une répartition géographique assez limitée dans les petits cours d'eau où l'on trouve de nombreux cas de seuils et barrages faiblement et moyennement élevés.

La seule information objective actuellement disponible est que les espèces concernées n'éprouvent aucune difficulté à remonter dans des échelles à poissons à ralentisseurs (type Denil) présentant une pente de 25 % sur une longueur d'une dizaine de mètres ainsi que dans les échelles à poissons à bassins de Moha -Willot sur la Méhaigne, de Bomal sur l'Aisne et de Berneau sur la Berwinne.

3.5.6. Conditions limites de franchissabilité par le brochet

Le brochet représente un cas particulier car il migre à la faveur des fortes eaux en janvier-avril quand les obstacles sont estompés. C'est cette situation que l'on retrouve aussi chez d'autres reproducteurs hivernaux comme le saumon et la truite et, dans une certaine mesure, l'ombre.

4. TYPOLOGIE SIMPLIFIEE PROVISOIRE DES OBSTACLES EN TERME DE FRANCHISSABILITE PAR LES SALMONIDES

A travers l'enquête 'Obstacles', on dispose d'une banque de photos de la multitude d'obstacles physiques à la migration des poissons répertoriés sur un grand nombre de cours d'eau non navigables de Wallonie et correspondant à de nombreux usages détaillés dans le dossier Annexes 1 A-B Volume 1.

A la lumière des résultats des études LDPH-ULg sur le terrain évoquées précédemment, nous avons examiné l'ensemble de ces photographies afin de tenter un classement typologique de ces ouvrages par rapport aux trois grands types identifiés : le seuil en plan incliné (= type rampe), la chute verticale ou subverticale (= type chute) et la combinaison d'une chute et d'une rampe (= type chute-rampe). Nous avons aussi identifié les principaux différents sous-types (par exemple la chute multiple et notamment double, le seuil en escalier) ainsi que les ouvrages à structure hétérogène le long du profil en travers (= type mixte hétérogène MH) et les ouvrages équipés d'échelles à poissons antérieures et postérieures à 1980.

La caractérisation et la classification de ces obstacles sont basées sur les mesures sommaires effectuées lors de l'Enquête obstacles, à savoir la différence de niveau entre la surface de l'eau en amont et en aval généralement mesurée en condition de débit faible (étiage) ou moyen, la largeur de l'ouvrage ainsi que la profondeur de l'eau à l'aval (fosse). Cette méthode de travail explique que pour certains ouvrages, les caractéristiques extraites de ces mesures ne concordent pas toujours exactement avec celles provenant des mesures détaillées et des diagnostics de franchissabilité effective basés sur les observations biotéléométriques. Mais les tendances et ordres de grandeur concordent, ce qui est essentiel dans le niveau d'approche typologique proposée dans ce rapport.

4.1. Seuils de type 'rampe'

Les photos R1 à R9 en Annexe 2.1-Vol 1 illustrent quelques exemples de seuils-rampes caractéristiques présentant un degré croissant de pente, facteur majeur déterminant leur degré de franchissabilité par les poissons.

4.1.1. Analyse générale

Les rampes R1-R3 de pente inférieure à environ 12 % peuvent être considérées comme franchissables par l'ombre et la truite ainsi que par la plupart des autres espèces de poissons présentes dans les rivières de nos régions.

Les rampes R4-R6 de pentes à l'étiage comprises entre 12 et 22 % peuvent être considérées comme franchissables sans problème par les truites communes et probablement aussi par les ombres, mais avec un peu plus de difficulté.

Pour des pentes supérieures à 25 % et jusqu'à 35-40 % (R7- R8), le franchissement est beaucoup plus problématique pour les truites et surtout pour les ombres mais ne peut pas être totalement exclu dans certaines conditions de débit qui entraînent une atténuation de la pente de la lame d'eau et un épaissement de celle-ci. L'hétérogénéité de l'ouvrage (présence de blocs à l'aval ou le long des berges, etc.) favorise aussi le passage des poissons qui profitent des paliers d'eau.

Les rampes de pente supérieure à 50 % (R9) ou de plus faible pente mais très longues doivent être considérées comme infranchissables par les poissons mêmes bons nageurs, sauf peut-être par l'anguille si le substrat est rugueux.

Les rampes en forme d'escalier (R14, R23) sont difficiles à caractériser en terme de franchissabilité par les poissons. Mais on peut supposer que dans certaines conditions de débit, les petites chutes constituant les marches de l'escalier sont estompées, ce qui facilite le passage des poissons bons nageurs dans la lame d'eau. C'est un peu le principe des passes à ralentisseurs plans.

4.1.2. Aménagements à éviter

Le bon fonctionnement de certains seuils en rampe peut être fortement compromis par la présence d'une rupture de pente à l'amont de l'ouvrage sous trois formes : une crête surélevée formant une petite chute verticale ou oblique (R10, R11, R15, R16), une surface d'écoulement à inclinaison concave (R12, R17) et une surhausse de la crête par des poutrelles métalliques ou en bois (R13). L'impact de telles ruptures de pente sur la remontée des poissons est certainement plus réduite

lorsqu'elle ne couvre pas toute la largeur de l'ouvrage et qu'il existe, idéalement en berge, une veine de concentration de l'écoulement de l'eau (R13) .

4.1.3. Recommandations

En pratique, on recommandera de ne pas créer de nouveaux obstacles de type rampe avec une pente supérieure à 25 % dans les cours d'eau peuplés uniquement de truites et de 12 % dans ceux peuplés de truites et d'ombres où l'on peut aussi trouver des cyprinidés d'eau rapide. La pente sera uniforme, sans accentuation de pente ou de chute à l'amont et sans chute trop importante à l'aval. Les déversoirs de type Ogee (R17 et Planche photos 8) seront exclus car ils obligent les poissons à nager selon une trajectoire en S.

Sur les pentes d'une certaine longueur, il peut être judicieux d'aménager une voie de passage préférentielle par atténuation locale de la pente (R18) et par placement de blocs ou de pièces en bois ou en fer qui jouent un rôle de ralentisseur de la vitesse de l'eau (principe de la passe à poissons en écharpe) ou forment un ou des paliers intermédiaires (R20). Un accroissement de la rugosité de la surface d'un déversoir au moyen pierres fixées dans la surface dure lisse ou d'enrochements en cascade (R19, R23, R22) peut être favorable à la remontée des poissons, notamment l'anguille et les espèces de petite taille (chabot, lamproie) ainsi que certains macro-invertébrés.



Planche de photo 8. Exemple de déversoir en S particulièrement difficile à franchir par les poissons.

4.2. Seuils de type 'chute'

4.2.1. Chute verticale simple

Les photos C 1 à C16 de l'Annexe 2.1-Vol 1 illustrent quelques exemples de tels obstacles de hauteur de chute décroissante.

(a) Analyse générale

Une chute verticale peut être fixe ou de hauteur variable au cours des saisons par le jeu d'abaissement-relevage de barrages à vannes mobiles automatiques ou de barrages constitués en tout ou en partie de pièces en métal ou en bois (madriers, rondins) amovibles au gré des besoins (pompages agricoles) et des circonstances hydrologiques (abaissement en hiver en saison des hautes eaux).

Comme indiqué précédemment, la franchissabilité d'un barrage-chute simple dépend de l'importance de la différence de niveau d'eau que le poisson doit franchir par saut et de la profondeur de la fosse située à la base de la chute d'eau où le poisson prend son élan. Lors de sa migration de reproduction dans le Ry de Mosbeux,, une truite de 25-40 cm est capable de franchir une chute droite comme celle illustrée par la photo C5 (différence de niveau d'eau de 88 cm à l'étiage mais beaucoup moindre quand le débit augmente) et a fortiori celles, beaucoup moins élevées, montrées par les photos de la Planche 9. Il est important de rappeler que les capacités maximales de franchissement décrites au point 3 pour la truite (saut de 1 m avec une fosse de 0,8 m) et l'ombre (saut de 0,6 m avec une fosse de 0,35 m) ne s'appliquent pas toutes strictement à des chutes verticales simples typiques mais concernent parfois des obstacles plus complexes s'apparentant à une chute double avec palier au niveau duquel le poisson (truite et probablement aussi l'ombre) peut prendre appui.

(b) Type d'aménagement à proscrire sur une petite chute verticale

Dans les cours d'eau à truite, on évitera évidemment de construire de nouveaux barrages fixes avec chute verticale de plus de 0,5 m sans prévoir une

fosse de profondeur suffisante (env. 30 % de la chute) et sans les équiper d'un dispositif de franchissement ad hoc adapté aux espèces de poissons en place.

Planche de photos 9. Exemple de petits seuils-chutes dans le Ry de Mosbeux très aisément franchis par des truites communes mais qui pourraient perturber les déplacements vers l'amont du chabot.

Le type de petite (< 1 m) chute verticale à proscrire absolument est celle avec une lame d'eau déversée qui se brise sur un radier plat ou en plan incliné où la profondeur est faible (fosse absente), ce qui empêche le poisson de prendre son élan. Ce type de disposition est illustré par le cas du seuil de limnimètre de Hamoir sur le Néblon (C17) décrit en détail au point 3.4.3. et jamais franchi par une truite ou un ombre bien que peu élevé. D'autres exemples sont donnés par les photos C 18 à C21.

(c) Type d'aménagement à favoriser sur une petite chute verticale

Le franchissement de certaines petites chutes verticales est favorisé par la présence, juste en leur aval ou latéralement, d'enrochements disposés de telle manière qu'ils forment une petite rampe (C22) ou une veine liquide transversale équivalente à une mini-rampe (C23)

On peut aussi considérer comme aisément franchissables par les poissons des obstacles peu élevés constitués de deux (ou plusieurs) chutes successives de faible hauteur et séparées par un (ou plusieurs) bassin(s) de profondeur suffisante pour dissiper l'énergie de la chute et fournir au poisson une fosse d'élan de saut. La forme la plus caractéristique de ce type d'obstacle est le barrage-cascade (C24) proche de la petite cascade naturelle.

4.2.2. Chute verticale double ou multiple

Les photos CM1 à CM12 en Annexe 2.3-Vol. 1 illustrent différents types d'obstacles constitués de deux ou plusieurs chutes simples successives.

La franchissabilité de tels ouvrages est en premier lieu déterminée par la franchissabilité de chaque chute simple constituante d'après les critères précédemment définis : la hauteur de la dénivellation de la surface de l'eau et la

profondeur de la fosse en aval. De plus, il faut prendre en compte la largeur du palier entre chaque chute, c'est-à-dire le volume du bassin au pied de chaque chute où se dissipe l'énergie de celle-ci.

Comme évoqué au point précédent, la création d'une chute double ou triple (CM13, CM14) est un moyen efficace de rendre franchissable un obstacle en chute simple formant une dénivellation trop importante pour permettre un franchissement aisé. C'est le principe de l'ouvrage de franchissement consistant en un ou plusieurs pré-barrages ou en une passe migratoire à bassins successifs rustique ou plus sophistiquée (voir Larinier et al.,).

Les chutes multiples qui se présentent comme un escalier en pente faible à moyenne (CM 8 ; Planche photo 10) méritent une évaluation in situ pour différentes espèces.



Planche de photos 9 : exemple de petits seuils-chutes dans le Ry de Mosbeux très aisément franchis par des truites communes mais qui pourraient perturber les déplacements vers l'amont du chabot



Planche photos 10: Exemple d'un obstacle formé de chutes multiples, le seuil en escalier, dont la franchissabilité doit être mieux caractérisée.

4.3. Seuils de type 'chute + rampe'

Les photos CR1 à CR12 en Annexe 2.4 –Vol. 1 illustrent une série de seuils composés d'une chute à l'aval et d'une rampe en plan incliné ou en marches d'escalier à l'amont.

4.3.1. Analyse générale

Beaucoup d'ouvrages de type 'chute + rampe' constituent une forme d'obstacle très difficile à négocier par les poissons car ceux-ci doivent successivement effectuer un saut pour franchir la chute et ensuite nager vigoureusement sur le plan incliné.

Les ouvrages dont la chute en aval est supérieure à environ 1 m en conditions hydrologiques normales (CR9 à CR12) doivent être considérés comme totalement infranchissables et ne peuvent être rendus franchissables que par une échelle à poissons. Mais dans beaucoup de cas, de tels ouvrages sont des barrages de grandes retenues où il n'est pas judicieux d'intervenir pour des raisons d'intérêt piscicole.

Pour un certain nombre de seuils chute + rampe dont la chute aval est d'une hauteur de 0,6 à 1 m, les conditions hydrauliques lors des crues et des coups d'eau peuvent envoyer la base de l'ouvrage et ainsi estomper la chute et créer à son niveau une profondeur d'eau importante arrivant à la base du plan incliné (CR11) et Planche photos 11. Dans de telles conditions, les poissons bons nageurs semblent capables d'exprimer une nage de pointe et de franchir la rampe dans l'épaisse lame d'eau la recouvrant. Mais de tels franchissements sont probablement exceptionnels chez les salmonidés, ce qui rend indispensable l'installation d'une passe à poissons sur de tels ouvrages, ce qui a été fait au barrage de Mortroux sur la Berwinne (Mortroux (CR11 et Planche photos 11 A-B) et au barrage de Mortroux sur le Ruisseau d'Asse.

Enfin, des seuils chute+rampe où la hauteur de chute est inférieure à 0,8 m en étiage semblent franchissables par les salmonidés comme cela a été démontré par télémétrie pour deux barrages sur l'Aisne, à Bomal (dénivellation de la chute de 0,54 m et rampe d'une pente de 10 % pour une longueur de 8 m) et à Ninane (dénivellation de la chute de 0,84 m et rampe d'une pente de 30 % pour une longueur de 1,9 m).



Planche photos 11. Vue du barrage chute + rampe de Mortroux en période d'eau normale avec son échelle à poissons (A, au-dessus) et pendant un coup d'eau qui estompe la chute en aval (B, en-dessous), ce qui crée des conditions hydrauliques de franchissement direct possible par un salmonidé, sans passage par l'échelle.

Toutefois, de tels seuils chute+rampe risquent d'être totalement imperméables aux espèces de poissons autres que les salmonidés, notamment les espèces de petite taille.

4.3.2. Recommandations

Les seuils de type chute + rampe seront bannis au profit des ouvrages en plan incliné de pente et de structure (hétérogénéité des matériaux formant le plan incliné) compatibles avec la libre mobilité des poissons, y compris celle des espèces de petite taille comme le chabot et la lamproie de Planer.

Sur les obstacles chute + rampe, on proscriera les aménagements tels que les doubles ou multiples chutes en aval (CR13) et tous ceux évoqués au point 4.1.2. qui diminuent l'efficacité d'une rampe, notamment un petit seuil à l'amont ou le passage de l'eau au niveau une vanne par surverse ou sousverse (CR14).

4.4. Barrages et seuils à structure transversale hétérogène (= type mixte hétérogène MH)

Un certain nombre des barrages inventoriés en Wallonie présentent une structure transversale hétérogène (obstacles mixtes hétérogènes MH 1 à MH5 en Annexe 2.5-Vol 1), c'est-à-dire qu'ils sont composés de types découlements différents, par exemple une chute verticale et une rampe (MH1), un escalier et une rampe (MH3, MH4), une alternance de chutes et de rampes (MH2, MH5). Beaucoup de ces obstacles mixtes hétérogènes correspondent à des sites désaffectés de production de force motrice (anciennes forges) et de prise d'eau. A ce type d'obstacle, on peut associer la combinaison d'un obstacle artificiel et d'une passe à poissons rustique ou plus sophistiquée (voir point 4.5).

Du fait de leur hétérogénéité, de leur degré souvent avancé de délabrement et de leur faible hauteur, beaucoup de ces ouvrages mixtes hétérogènes offrent de bonnes potentialités de franchissement par les salmonidés et l'anguille.

4.5. Seuils et barrages pourvus d'échelles à poissons

Ce volet de l'analyse sera présentés dans un dossier spécial ' Echelle à poissons ' qui portera sur la description des principales techniques disponibles dans ce domaine et sur une analyse critique structurelle et fonctionnelle des ouvrages installés en Wallonie avant 1980 et après cette date.

5. CONCLUSIONS GENERALES ET PERSPECTIVES

5.1. Confirmation de l'importance des migrations de reproduction vers l'amont chez les poissons de Wallonie

Ce rapport a proposé une synthèse des connaissances sur les migrations de reproduction de 7 espèces de poissons, 3 salmonidés (saumon, truite commune et ombre) et 4 non-salmonidés (barbeau, hotu, gardon et brochet) dans 11 cours d'eau de Wallonie, tous non navigables à l'exception de la basse Ourthe. Au total, furent radio-marqués et radio-pistés près de 197 poissons dans un large éventail de conditions environnementales.

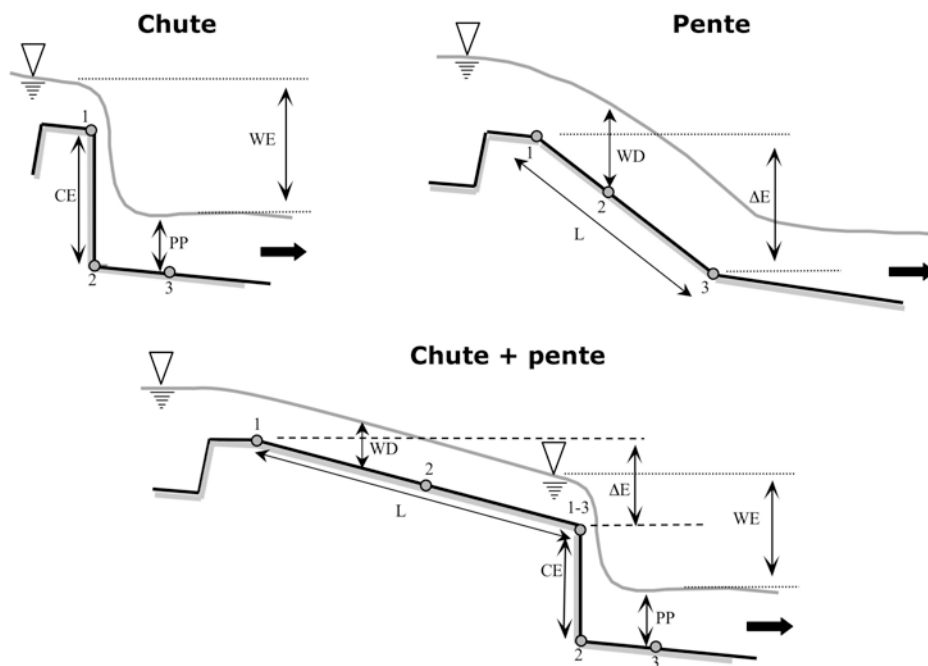
Il ressort de cette partie de l'étude que chez toutes les espèces, une certaine proportion (variable selon les espèces) des individus radio-pistés effectuent une migration de reproduction vers l'amont et se trouvent confrontés à un ou plusieurs obstacles physiques qu'ils franchissent ou non. Le problème de la libre circulation des poissons en rivière est donc une réalité biologique qui justifie des actions de gestion visant à la préservation-restauration d'un bon état écologique structurel et fonctionnel de l'écosystème rivière.

5.2. Méthode simplifiée de description des obstacles physiques

Dans le cadre d'une collaboration avec le Laboratoire d'Hydroécologie quantitative du Cemagef - Lyon, nous avons mis au point une méthode simple de description des obstacles physiques consistant en : i) leur classement dans 3 types élémentaires, la chute verticale, la pente ou rampe et la combinaison d'une chute à l'aval et d'une pente ou rampe à l'amont et ii) la caractérisation des éléments de chute et de pente par des mesures sur trois sections transversales principales :

- pour une chute verticale, la dénivellation de l'eau (WE), la hauteur de la crête du barrage (CE) et la profondeur de la fosse en aval (PP) ;
- pour un plan incliné, la hauteur de la lame d'eau (WD), la longueur (L) et la dénivellation (DE), mesures avec lesquelles on calcule la pente (P %).

Ces différentes mesures sont illustrées sur le schéma suivant correspondant à la figure 30 précédemment présentée.



5.3. Eléments des caractéristiques structurales des obstacles qui ont effectivement été franchis par des salmonidés

Les informations sur les caractéristiques morphologiques et hydrauliques d'un certain nombre d'obstacles décrits en niveau d'eau bas selon la méthode exposée au point 5.2 et celles sur leur franchissement effectif par des poissons salmonidés (truite commune et ombre) et non salmonidés (barbeau, hotu, gardon, brochet) ont été croisées. Il s'agissait d'identifier les types d'obstacles susceptibles d'être franchis par ces poissons dans les conditions environnementales existant au moment de leur migration de reproduction en automne-hiver (truite), en hiver-début du printemps (ombre, brochet, hotu) et en fin de printemps (barbeau, gardon). Cette analyse met en évidence les faits suivants applicables à des salmonidés de 20-40 cm.

- une truite est capable de franchir un plan incliné présentant une pente jusqu'à 26% et une longueur de maximum 8 m et une chute d'eau de 1 m avec une fosse de 0,8 m.

- un ombre est capable de franchir un plan incliné présentant une pente jusqu'à 12% et une longueur de maximum 6 m et une chute d'eau de 0,6 m avec une fosse de 0,35 m .

Les deux espèces sont probablement capables de performances de franchissement supérieures dans certaines conditions hydrauliques et thermiques et au niveau de certains obstacles hétérogènes offrant par exemple des paliers facilitant la progression. Mais à ce stade de l'étude, nous considérerons les chiffres proposés comme une bonne base de travail pour distinguer, d'après leurs caractéristiques physiques, les obstacles potentiellement franchissables et ceux difficilement franchissables ou infranchissables.

5.4. Franchissement d'obstacles par les non salmonidés

Nous n'avons enregistré aucun cas de franchissement d'un obstacle par un cyprinidé d'eau rapide (barbeau, hotu) et par le gardon. Ce résultat reflète certainement le fait que ces espèces ont des capacités de saut au niveau d'une chute ou de nage sur un plan incliné beaucoup plus faibles que les salmonidés. Il faut aussi tenir compte du fait que ces poissons n'ont pas été confrontés à un éventail de situations suffisamment larges pour révéler leurs capacités de franchissement de certains obstacles peu élevés. Des études complémentaires sur ces espèces seraient utiles.

Le brochet a montré une bonne capacité de franchissement de seuils dans la basse Amblève car il migre à la faveur des fortes eaux en janvier-avril quand les obstacles de faible et moyenne hauteur (< 1 -1,5 m) sont largement estompés. C'est cette situation que l'on retrouve aussi chez d'autres reproducteurs hivernaux comme le saumon et la truite et, dans une certaine mesure, l'ombre.

5.5. Essai de typologie des obstacles en terme de franchissabilité potentielle d'après leurs caractéristiques structurelles générales révélées sur photos

La sélection des photographies présentées dans les volumes d'Annexes 1 et 2 illustre la grande diversité des obstacles en terme de caractère naturel ou artificiel

pour différents usages et en terme de caractéristiques structurelles déterminant leur franchissabilité potentielle par les poissons et spécialement par les salmonidés.

A travers cette analyse, nous avons identifié les types d'obstacles qui perturbent le moins les mouvements de remontée des poissons. Il s'agit des seuils en forme de rampe à faible pente, de faible hauteur et avec substrat hétérogène ainsi que des barrages peu élevés en enrochements formant cascade, d'un ensemble de plusieurs éléments du même type ou d'une combinaison des deux types. Dans tous les cas, il s'agit de structures artificielles qui ressemblent à des structures naturelles comme les radiers à forte pente et les cascades.

Tous les ouvrages artificiels qui s'écartent plus ou moins fortement des structures naturelles évoquées perturbent la libre circulation des poissons mais à des degrés divers selon les capacités de nage et de saut des différentes espèces de poissons présentes au sein des communautés concernées.

5.6. Implications pour la gestion de la continuité piscicole et de la qualité hydromorphologique des eaux de surface

Sur la base des résultats présentés dans ce dossier, les principales options techniques de gestion qui se présentent sont les suivantes :

- (a) lorsque de nouveaux seuils et barrages doivent être construits en rivière (y compris au niveau des passages sous voirie), les efforts porteront en priorité sur la construction d'ouvrages franchissables par conception, spécialement les plans inclinés à faible pente et les barrages peu élevés en enrochements perméables à la faune ;

- (b) sur les obstacles anciens jugés nocifs pour les poissons, la meilleure technique d'intervention est la suppression pure et simple de l'obstacle et, à défaut, son remplacement par une structure de type naturel comme le plan incliné, la cascade en enrochements ou la succession de plusieurs petits seuils peu élevés (max 30-50 cm selon les espèces) ;

- (c) sur les obstacles anciens qui perturbent la remontée des poissons mais ne peuvent être détruits, il faut en premier lieu examiner les possibilités d'améliorer ou de rétablir la continuité piscicole grâce à des aménagements simples et rustiques mais durables comme la création d'une rampe sur une partie de la largeur de l'ouvrage ou d'un ou plusieurs prébarrages en enrochements ;
- (d) sur les obstacles anciens et sur certains ouvrages nouveaux d'une certaine hauteur, se justifie l'aménagement d'échelles à poissons plus sophistiquées, adaptées aux exigences des espèces de poissons présentes dans la communauté et mises en place en respectant un ordre de priorité défini sur la base des critères écologiques et piscicoles détaillés dans le Volume 3 de la présente étude.

5.7. Perspectives d'études et d'actions complémentaires

Grâce aux études télémétriques réalisées par le LDPH –ULg depuis près d'une vingtaine d'années, on dispose en Région wallonne d'une importante banque de données sur les franchissements d'obstacles par les poissons. Une telle masse d'information est unique en Europe et devrait être entretenue et complétée pour tenir compte d'espèces non encore étudiées à ce jour (vandoise, chabot, anguille) et pour couvrir une plus grande variété de milieux et de types d'obstacles. Un tel objectif pourrait être atteint en instaurant un réseau de surveillance de la migration des poissons en Wallonie.

L'inventaire MRW des obstacles qui entravent la libre circulation des poissons en Wallonie est un outil de gestion très précieux mais les mesures prises sur le terrain pour décrire ces obstacles sont insuffisantes pour caractériser ces derniers selon le protocole simple élaboré dans cette étude. Les inventaires qui restent à faire devraient tenir compte de cette nécessité de mieux décrire les obstacles. Par ailleurs, il serait judicieux de compléter les mesures sur un certain nombre d'obstacles considérés comme stratégiques et prioritaires.

L'analyse typologique des obstacles inventoriés en Wallonie a révélé l'existence d'un nombre substantiel d'ouvrages équipés d'un dispositif de

franchissement ancien ou plus récent dont l'efficacité est jugée nulle ou très faible ou, à tout le moins, inconnue. Au vu des nouvelles connaissances acquises à l'occasion de la présente étude, il nous paraît indispensable de procéder à une évaluation sérieuse de ces échelles à poissons et de proposer les mesures adéquates de réhabilitation ou de remplacement en cas de dysfonctionnement notoire. En cette matière, il est essentiel d'identifier les aménagements qui ne fonctionnent pas bien afin d'éviter qu'ils puissent être pris comme modèles techniques à installer ailleurs.

Dans le contexte de la lutte contre le réchauffement climatique, le développement des énergies renouvelables bénéficie d'une intense promotion et facilitation. Une conséquence de cette situation est que nombreux sites de barrage apparaissent comme des candidats à l'installation de centrales hydroélectriques au fil de l'eau. Or, il est bien connu que ces installations peuvent avoir des effets dévastateurs pour la faune des poissons et spécialement pour les espèces migratrices en remontée (blocage) et en descente-dévalaison (mortalité et blessures par entraînement sur les grilles de prise d'eau et passage dans les turbines). L'anguille et les salmonidés sont particulièrement menacés par de tels effets. Il est donc urgent d'étudier le problème afin de proposer les meilleures dispositions techniques permettant de concilier le développement de l'hydroélectricité et la préservation-restauration du bon état (ou potentiel) écologique des eaux de surface en terme de continuité fluviale et piscicole comme composante de la qualité hydromorphologique des systèmes aquatiques.

La Région wallonne a fait œuvre de pionnière dans l'approche du problème de la gestion de continuité piscicole dans les cours d'eau navigables et non navigables. Des approches similaires ont été développées en Flandre (Monden et al., 2000), en France (Area, Eau-Environnement, 2002, Malavoi, 2003) et ailleurs en Europe, dans le cadre ou la perspective de la mise en œuvre de la Directive Cadre sur l'Eau. A ce stade, il est important d'organiser un échange des informations et des expériences sous la forme de publications et de réunions techniques thématiques concernant spécialement les bassins de la Meuse, du Rhin et de l'Escaut.

6. REMERCIEMENTS

Cette étude de synthèse a été réalisée dans le cadre d'une convention entre l'Université de Liège et le Ministère de la Région wallonne, Direction des Cours d'eau non navigables (DCENN, Ir. Directeur F. Lambot et Ir. P. Orban) de la Division de l'Eau, au sein de la Direction Générale des Ressources Naturelles et de l'Environnement (DGRNE). Le financement à charge du budget de la DCEEN a été accordé par M. B. Lutgen, Ministre de l'Agriculture, de la Ruralité, de l'Environnement et du Tourisme de la Région wallonne.

Les études sur le terrain relatées dans ce dossier et dont certaines remontent à une dizaine d'années ont bénéficié de l'appui financier, logistique et scientifique d'autres projets du Laboratoire de Démographie des Poissons et d'Hydroécologie, soutenus principalement par le FNRS (J.C. Philippart), le SSTC Fédéral (Programme Fishguard 2002-2006), la Région wallonne – DNF –SP (Projet Saumon Meuse), la Commission provinciale piscicole de Liège et l'Université de Liège. La collaboration avec le Laboratoire d'Hydroécologie Quantitative du CEMAFREF - Lyon (Dr. H. Capra et P. Roger) a été organisée dans le cadre de plusieurs projets 'Tournesol' entre EGIDE et le Commissariat Général aux Relations Internationales (CGRI) de la Communauté française de Belgique (+FNRS) obtenus par M. Ovidio.

Pour la capture des poissons au moyen de la pêche à l'électricité, nous avons bénéficié de l'autorisation de pêche scientifique accordée à l'Université de Liège par la Direction de la Nature et de Forêt (DNF). Les accès aux tronçons de rivière en régime de pêche privé ont été accordés par les détenteurs du droit de pêche.

Pour le radio-pistage des poissons, nous avons reçu l'aide de nombreux chercheurs doctorants (D. Parkinson, D. Sonny) et étudiants réalisant un mémoire de fin d'études à l'Université de Liège en Biologie animale (C. Gilles, J. Piels, F. Paquer, C. Korszak, L. Jonlet, J. Courtois), Psychologie (A. de Wespin, D. Otte) et Géographie physique (N. Guillaume).

Que toutes ces personnes et institutions soient vivement remerciées pour leur participation à la préservation durable et à la restauration des habitats aquatiques et de leur biodiversité en Wallonie.

7. REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- Area, Eau-Environnement (2002) Barrages, entraves à la dynamique biologique des rivières. Recensement des problèmes majeurs en Seine-Normandie. Corrections et remèdes possibles. *Rapport Diren Ile de France*. AFF01032 – 29/06/02, 27 pp.
- Beach, M.H., 1984. Fish pass design-criteria for the design and approval fish passes and other structures to facilitate the passage of migratory fish in rivers. MAFF Fisheries Research Technical Report 78, 46pp.
- Baras, E., 1992. Etude des stratégies d'occupation du temps et de l'espace chez le barbeau fluviatile, *Barbus barbus* (L). *Cah. Ethol. Appl.* 12: 125-442
- Baras, E. & J.C. Philippart, 1989. Application du radiopistage à l'étude éco-éthologique du barbeau fluviatile (*Barbus barbus*): problèmes, stratégies et premier résultats. *Cah. Ethol. Appl.* 9: 467-794.
- Benelux, 1996. Décision du Comité des Ministres de l'Union Economique Benelux relative à la libre circulation des poissons dans les réseaux hydrographiques du Benelux M(96)5, 1996, 2p.
- Croze, O. & M. Larinier 2000. Libre circulation des poissons migrateurs et seuils en rivière dans le bassin RMC. Guide technique. Agence de l'Eau RMC. Conseil Supérieur de la Pêche, 53pp.
- Daout B. 2002. Modélisation des écoulements au niveau d'obstacles physiques en rivière qui ont été franchis ou non par des poissons radio-pistés. Mémoire de Licence, Ingénieur civil, Université de Liège.
- De Boeck, G., Ph. Baret, C. Belpaire, R. Blust, D. Buysse, J. Coeck, I. Cornille, C. Geeraerts, F. Mostaert, M. Ovidio, J.C. Philippart, J. Raeymakers, J. Tigel-Pourtois, C. Tudorache, J. Van Houdt, H. Verbiest, H. Vereecken, P. Viane & F. Volckaert, 2006. Impact assessment and remediation of anthropogenic interventions on fish populations (Fishguard). Rapport final au SSTC-Ministère fédéral de la Politique scientifique, 83 pages (septembre 2006).
- Dupont, E., 2004. Trout road crossing problem in Belgium. Proceedings of V Ecohydraulics International Conference, Madrid (septembre 2004), Extended abstract d'une communication, 7 pages.
- Geeraerts, C., M. Ovidio, H. Verbiest, D. Buysse, J. Coeck, C. Belpaire, J.C. Philippart, 2007. Mobility of individual roach *Rutilus rutilus* in three weir-fragmented Belgian rivers. *Hydrobiologia*, 582 :143-153.
- Gowan, C., M.K. Young, K.D. Fausch & S.C. Siley, 1994. Restricted movements in stream salmonids: a paradigm lost. *Can. J. Fish. Aquat. Sci.* 51 : 2626-2637.
- Huet, M., 1949. Aperçu de la relation entre la pente et les populations piscicoles des eaux courantes. *Schweiz. Z. Hydrol.* 11 : 332-351.
- Jonsson, N., 1991. Influence of water flow, water temperature and light on fish migration in rivers. *Nordic J. Freshw. Res.* 66 : 20-35.
- Laine, A., 1995. Fish swimming behaviour in Finnish Fishways. In Komura, S. (ed.), Proceedings of the International Symposium on Fishways '95 in Gifu Japan, October 24-26, 1995 ed.), Gifu. Organising Committee for International Symposium of Fishways '95 in GIFU: 323-328
- Larinier M. (1992) Facteurs biologiques à prendre en compte dans la conception des ouvrages de franchissement, notions d'obstacles à la migration. *Bulletin Français de la Pêche et de la Pisciculture* 326-327, 20-29.

- Liscom, K.L., G.E. Monan, L.C. Stuehrenberg & P.J. Wilder, 1985. Radio-tracking studies of adult chinook salmon and steelhead trout at lower Columbia River Hydroelectric dams, 1971-1977; NOAA Technical Memorandum NMFS F/NWC-81.
- Lucas, M.C. & P.A. Fear, 1997. Effects of a flow gauging weir on the migratory behaviour of adult barbel, a riverine cyprinid. *J. Fish Biol.* 50: 382-396.
- Malavoi J.R. (2003) Stratégie d'intervention de l'agence de l'eau sur les seuils en rivière. *Rapport Agence de l'Eau Loire-Bretagne*. AFF02011 – 10/06/03, 125 pp. (In French).
- Monden, S., D. De Charleroy & C. Van Liefferinge, 2000. Inventory of fish migrations barriers on ecological and strategic important in the Flemish region (Belgium). In Abstract book of the " *Freshwater Fishconsrvation International Symposium* ". Albufeira, Portugal, November 2000, p67.
- Ovidio, M., 1999 a. Cycle annuel d'activité de la truite commune (*Salmo trutta* L.): étude par radio-pistage dans un cours d'eau de l'Ardenne belge. *Bull. Fr. Piscicic.* 352 : 1-18
- Ovidio, M., 1999 b. Tactiques et stratégies individuelles d'utilisation spatio-temporelle de l'habitat et des ressources alimentaires chez la truite commune (*Salmo trutta* L.): Etude par radio-pistage dans l'Aisne et l'Ourthe. Phd Thesis, University of Liège, 196p.
- Ovidio, M. et J.C. Philippart, 2005. Long range seasonal movements of northern pike (*Esox lucius* L.) in the barbel zone of the River Ourthe (River Meuse basin, Belgium), pp. 191-202 In: Spedicato, M.T., G. Lembo & G. Marmulla (eds). Aquatic telemetry: advances and applications. Proceedings of the Fifth Conference on Fish Telemetry held in Europe, Ustica, Italy, 9-13 June 2003. Rome, FAO/COISPA, 295 pages.
- Ovidio M. & Philippart J.C. (2002) The impact of small physical obstacles on upstream movements of six species of fish. Synthesis of a 5-year telemetry study in the River Meuse Basin. *Hydrobiologia* **483**, 55-69.
- Ovidio M., H. Capra & J.C. Philippart, 2007. Field protocol for assessing small obstacles to migration of brown trout *Salmo trutta*, and European grayling *Thymallus thymallus*: a contribution to the management of free movement in rivers. *Fisheries Management and Ecology* 14: 41-50.
- Ovidio, M., D. Parkinson, D. Sonny , J.C. Philippart. 2004. Spawning movements of European grayling *Thymallus thymallus* in the River Aisne (Belgium). *Folia Zoologica*, 53 (1): 87-98.
- Ovidio, M., C. Birtles , E. Baras & J.C. Philippart, 1996. A preliminary telemetry investigation on the obstacles to anadromous Salmonids migration in spawning streams of the Belgian Ardennes (river Meuse bassin). In : Leclerc, M. *et al.* (eds), Proceedings of the Second IAHR Symposium on Habitat Hydraulics, Ecohydraulique 2000, Québec (Canada), Published by INRS-Eau, Vol A : 83-88.
- Ovidio, M., J.C. Philippart, Y. Neus, G. Rimbaud et F. Boreux, 2005. Définition de bases biologiques et éco-hydrauliques pour la libre circulation des poissons dans les cours d'eau non navigables de Wallonie. Rapport final de Convention 2003-2005 au Ministère de la Région wallonne, DGRNE, Division de l'Eau, Direction des Cours d'eau non navigables, 141 pages + annexes (avril 2005).
- Ovidio M., Baras E., Goffaux D., Birtles C. & Phillipart J.C. (1998) Environmental unpredictability rules the autumn migrations of trout (*Salmo trutta*) in the Belgian Ardennes. *Hydrobiologia* **371/372**, 262-273.
- Parkinson D., Philippart J.C. & Baras E. (1999) A preliminary investigation of spawning migrations of grayling in a small stream as determined by radio-tracking. *Journal of Fish Biology* **55**, 172-182.

- Philippart, J.C. , 2006. L'érosion de la biodiversité : les poissons. Dossier scientifique réalisé dans le cadre de l'élaboration du Rapport analytiques 2006 sur l'Etat de l'Environnement wallon, 306 pages (sur Internet).
- Philippart, J.C., 2005. Le voyage périlleux des poissons grands migrateurs dans la Meuse. APAMLg asbl, Liège, 56 pages.
- Philippart, J.C. et al., 2005. Eléments de suivi scientifique de la restauration écologique et piscicole de la Vesdre en 2004-2005. Rapport au Fonds piscicole de Wallonie, Commission provinciale de Liège. LDPH-Université de Liège, 68 pages + annexes (décembre 2005).
- Philippart, J.C. et M. Vranken, 1983 a. Protégeons nos Poissons. Collection Animaux menacés en Wallonie. Edition Région wallonne et Duculot Paris -Gembloux, 206 pages.
- Philippart J.-C. & Vranken M. (1983) Atlas des Poissons de Wallonie, distribution, écologie, éthologie, pêche, conservation. *Cahiers d'Ethologie Appliquée* **3**, 395 pp. (In French).
- Philippart, J.C., J.C. Micha, E. Baras, C. Prignon, A. Gillet & S. Joris, 1994. The Belgian project "Meuse Salmon 2000". First results, problems and future prospects. *Water Sci. Technol.* 29 : 315-317.
- Poncin, P., 1993. La reproduction des poissons de nos rivières. *Cahiers d'Ethologie* , 13 (3) : 317-342.
- Powers P.D. & Orsborn J.F. (1985) Analysis of barriers to upstream fish migration. An investigation of the physical and biological conditions affecting fish passage success at culverts and waterfalls. U.S. Department of Energy, Bonneville Power Administration, Division of Fish and Wildlife, Final Project Report Part 4 of 4 n° DOE/BP-36523-1, Project No. 198201400, 134 pp.
- Prignon, C., J.C. Micha, G. Rimbaud & J.C. Philippart, 1999. Rehabilitation efforts for Atlantic salmon in the Meuse basin area. : Synthesis 1983-1998, pp. 69-77. In : Garnier J. & J. M. Manchel (eds). Man and River Systems, *Hydrobiologia* , 410 : 69-77.
- Stuart, T.A., 1962. The leaping behaviour of salmon and trout at falls and obstructions. *Freshwat. Salm. Fish. Res.* 28.
- Wardle, C.S., 1980. Effects of temperature on the maximum swimming speed of fishes. In Ali, M.A. (ed.) Environment Physiology of Fishes. New York : Plenum press : 519-531
- Webb, J., 1990. The movements of adult Atlantic Salmon in the River tay Scottish Fisheries Report 44, 32pp.
- Stahlberg S. & Peckmann P. (1987) The critical swimming speed of small teleost fish species in a flume. *Archiv für Hydrobiologie* 110, 179-193.

**8. ANNEXES SOUS LA FORME DE VOLUMES
COMPLEMENTAIRES PRESENTANT LES ILLUSTRATIONS
PHOTOGRAPHIQUES**

ANNEXE 1-V1

(illustrations présentées dans le Volume 1-Annexe 1)

**TYPOLOGIE DES OBSTACLES PHYSIQUES NATURELS (A) ET ARTIFICIELS (B)
SUSCEPTIBLES DE PERTURBER LES MOUVEMENTS DE REMONTEE DES
POISSONS DANS LES COURS D'EAU DE WALLONIE
(sauf les passages sous voirie et les obstacles équipés
d'une passe migratoire)**

ANNEXE 1-V1

A. INVENTAIRE DES TYPES D'OBSTACLES NATURELS (NA)

NA1. Chute ou cascade naturelle sur un substratum rocheux dans les cours d'eau à forte pente

Dans certaines situations, il est difficile de distinguer si une chute ou cascade est vraiment naturelle ou le résultat d'un aménagement humain ancien faisant partie, par exemple, d'un site de production de force motrice, un moulin à eau ou une autre activité.

NA2. Cascade en travertin dans les rivières calcaires (ex. Hoyoux).

Il faut distinguer les barrages en travertins naturels de ceux, semi-naturels, caractérisés par une incrustation de travertin sur un barrage artificiel en pierre.

NA3. Barrage construit par les castors

NA4. Chute naturelle en travers d'un petit cours d'eau associée au barrage formé par des racines d'arbre horizontales en sol meuble.

NA5. Obstacle créé par des embacles végétaux (+ autres débris divers) ou par un éboulis naturel de rochers en travers du lit du cours d'eau.

Ce type d'effet est en partie lié à des activités humaines génératrices de débris végétaux et inertes (sylviculture, exploitation d'une carrière, stabilisation d'un talus à proximité d'un cours d'eau, remblaiement d'une zone inondable, dépôt d'immondices ou de plastiques agricoles) et accentué par la présence de vestiges d'anciens vannages et barrages qui collectent les débris flottants. En période de basse eau, de tels obstacles fonctionnent généralement comme des structures perméables du type barrage filtrant.

NA6. Tronçon de cours d'eau affecté par les phénomènes karstiques, c'est -à - dire présentant un cours souterrain en amont d'une résurgence et un lit asséché pendant les périodes de bas débit en aval d'un chanoir.

Cas des cours d'eau suivants: Lambrée, Lesse-Lhomme, Lisbelle, Molinee, bassin du Viroin, petits affluents de la basse Vesdre comme le Ry de Mosbeux dans son cours supérieur.

NA7. Autres situations

Franchissabilité

Les obstacles naturels NA1, NA2 et NA6 sont permanents tandis que les obstacles NA3, NA4 et NA 5 peuvent s'estomper avec le temps à la faveur du curage naturel des embâcles végétaux par les crues, de la chute des arbres dont les racines horizontales forment un barrage (blocage de l'érosion), de l'érosion latérale modifiant le tracé de l'écoulement de l'eau (contournement d'une chute) et des actions humaines d'entretien.

ANNEXE 1-V1

B. INVENTAIRE TYPOLOGIQUE DES OBSTACLES ARTIFICIELS (AR)

AR1. Barrage de navigation servant à maintenir un tirant d'eau suffisant et constant dans le cours d'eau ou dans un canal qui lui est relié, et, en même temps, à alimenter une ou des écluses et/ou à produire de l'hydro-électricité au fil de l'eau.

Cas des barrages sur la Meuse, la Sambre, l'Escaut et leurs affluents navigables (basse Ourthe et canal du Luxembourg, Dendre, etc.).

AR2. Vestige du seuil fixe d'un ancien barrage construit pour les besoins de la navigation sur de grandes rivières affluents de la Meuse (Ourthe, Lesse, Semois) et de nos jours souvent réaffecté à d'autres usages (activités de loisirs, hydroélectricité) et/ou combiné à un barrage mobile de régulation du niveau d'eau.

Cas des anciens barrages et seuils de navigation dans l'Ourthe, l'Ambève, la Lesse et la Semois.

AR3. Petite écluse ancienne associée à un barrage de navigation, soit toujours fonctionnelle, soit désaffectée mais restaurée avec remplacement des portes mobiles par un barrage en madriers formant une chute verticale

Canal du Luxembourg à Liège et Canal de l'Ourthe à Poulseur

AR4. Barrage élevé (>10 m) formant un grand lac-réservoir destiné à la production d'hydro-électricité et/ou d'eau potable, au maintien du débit d'étiage, au contrôle des crues et au tourisme

Cas des barrages :

d'Eupen sur la Vesdre

de la Gileppe sur la Gileppe

de Bütgenbach et Robertville sur la Warche

de Nisramont sur l'Ourthe

de la Vierre sur la Vierre

du Ry de Rome (affl. Eau Noire)

du complexe de l'Eau d'Heure (barrages de la Plate taille et de l'Eau d'Heure; prébarrages de Falemprise, Féronval et du Ry jaune)

AR5. Barrage fixe ou mobile ou seuil moyennement élevé (max. 5 m) construit directement en travers du cours d'eau et formant un plan d'eau de type étang de barrage à vocation industrielle, piscicole, touristique ou d'agrément

AR.5.1. Etang de barrage industriel: ancien étang de forge, production d'hydroélectricité selon différentes modalités, alimentation en eau de certaines usines, fonctionnement d'un moulin ou d'une scierie de pierre ou de bois, étang réception des eaux rejetées par une station d'épuration. Ex.: grands étangs sur la Rulles et la Mellier vestige d'une intense activité métallurgique passée, bassin inférieur de la centrale hydroélectrique à accumulation de Coo construit dans l'ancien méandre de l'Amblève qui permettait à ce niveau le contournement de la cascade artificielle de Coo (creusée pour recouper le méandre; barrage sur la Warche à Malmédy pour alimenter en eau une papeterie.

AR.5.2. Etang de barrage piscicole: étang de pisciculture ou de pêche (principaux en Wallonie)

AR.5.3. Etang de barrage touristique: barrage du Lac des Doyards sur la Salm à Vielsalm; barrage sur le Balleur, affluent de la Salm à Basse-Bodeux, barrage du Clos du Lac sur la Méhaigne à Wasseige

AR.5.4. Etang de barrage d'agrément: nombreux étangs de château

AR6. Barrage mobile à vannes peu élevé servant à la régulation des hauteurs d'eau et débits pour lutter contre les inondations mais aussi souvent pour créer un plan d'eau touristique pendant la bonne saison.

Exemples: nombreux barrages de ce type sur l' Ourthe (Laroche, Hotton, Barvaux, Tilff, Colonster et Streupas), la Lesse (Rochefort) , la Lhomme (Rochefort) , la Semois (Bouillon) et ses affluents, l'Eau Blanche et l'Eau Noire, la Trouille. etc..

AR7. Cascade artificielle résultant du recouplement d'un méandre

Cascade de Coo

AR8. Barrage ou seuil peu élevé en rivière formant une petite retenue ou alimentant un bief et ou un plan d'eau en dérivation à vocation hydro-énergétique, industrielle, piscicole, touristique et d'agrément

AR.8.1. Aménagement hydro-énergétique: moulin à farine toujours fonctionnel commercialement ou à vocation didactique, scierie de pierre ou de bois, microcentrale hydroélectrique;

AR.8.2. Aménagement industriel: site de captage d'eau potable, prélèvement d'eau de lavage

AR.8.3. Aménagement agricole: réserve d'eau pour le remplissage des citernes tractées en vue de l'abreuvement du bétail et de l'épandage des engrais et pesticides, point d'abreuvement des animaux domestiques, aménagement du cours pour l'élevage de canards et pour la culture du cresson;

AR.8.4. Aménagement piscicole: prise d'eau pour une pisciculture ou pour un étang de pêche; petit barrage en béton pour maintenir un plan d'eau attractif pour les poissons et pour la pêche dans un tronçon de rivière alimenté par un débit réservé très faible à cause d'un prélèvement industriel à l'amont (dérivation vers une conduite forcée pour le turbinage hydroélectrique, captage d'eau potable);

AR.8.5. Aménagement touristique: aménagement d'un petit barrage en bois (rondins, madriers) ou en pierre (enrochement) pour maintenir un ou des plans d'eau profonde dans une aire de camping-caravaning, une zone de pêche communale, etc.

AR 8.6. Aménagement d'agrément: ancien étang de château, étang de jardin

AR9. Seuil en escaliers, en rampe ou mixte constituant les vestiges des infrastructures d'un site hydro-énergétique (moulin, forge, etc.) désaffecté.

AR10. Barrage à vannes levantes utilisé pour réguler la répartition du débit dans différents bras d'un cours d'eau en zone urbaine afin de favoriser l'évacuation des déchets et eaux usées (fonction d'assainissement)

AR11. Seuil de stabilisation du lit d'un cours d'eau à hauteur d'un pont, d'un site d'installation d'un barrage temporaire en rondins ou madriers, d'une installation limnimétrique, d'une zone de captage d'eau potabilisable, d'un tronçon chenalisé en zone urbaine ou d'un secteur à forte pente soumise à érosion.

AR12. Seuil associé au bétonnage d'un gué dans une petite rivière

AR13. Barrage en enrochement vestige d'une ancienne pêcherie ou 'venne'

AR14. Obstacle associé au bétonnage uniforme d'un long tronçon du lit et des berges d'un cours d'eau dans une zone de captage d'eau potabilisable, dans la traversée d'un site industriel ou d'une agglomération

AR15. Seuil formé par le passage en travers du cours d'eau d'une canalisation collectrice d'eaux usées

AR16. Chute d'eau peu ou pas franchissable créée à une confluence par l'aménagement de berges hautes en gabions, en moellons ou en béton

AR17. Barrage résultant de l'éboulement (et parfois du dépôt volontaire) dans un cours d'eau de blocs rocheux provenant d'une carrière proche.

AR18. Passage d'un cours d'eau en souterrain sur une grande distance suite à un voûtement ou au passage dans une ancienne galerie de mine (extraction de l'ardoise)

AR19. Obstacle associé au passage d'un cours d'eau sous une voie de communication terrestre importante (route, autoroute, voie de chemin de fer) ou secondaire (sentier, chemin forestier)

AR20. Obstacle associé au passage d'un cours d'eau en siphon sous un canal ou un autre ouvrage d'art.

AR21. Assèchement périodique d'une partie du cours d'eau à cause de prélèvements excessifs (alimentation d'un étang en dérivation, captage d'eau potabilisable, exploitation hydro-énergétique au niveau d'un bief sans maintien d'un débit réservé dans le lit principal du cours d'eau)

AR22. Grille installée en travers d'un cours d'eau pour filter les déchets en amont d'un pertuis ou pour bloquer la montée et la dévalaison des poissons retenus dans un étang.

AR23. Autres types d'obstacles artificiels

ANNEXES 2-V1

(illustrations présentées dans le Volume 1-Annexe 2)

**ILLUSTRATION DES TYPES D'OBSTACLES PHYSIQUES PRESENTS SUR LES
COURS D'EAU DE WALLONIE ET CLASSES D'APRES DES CRITERES SIMPLES
DE FRANCHISSABILITE PAR LES POISSONS.**

**(sauf les passages sous voirie et les obstacles équipés
d'une passe migratoire)**

An. 2. 1. OBSTACLE EN FORME DE PLAN INCLINE OU DE RAMPE.

TYPE RAMPE (R)

A. Diversité des obstacles du type R (Rampe)

R1	WAMME	723 MRW	DH = 0,60 m	L = 9,7 m	P = 6,3 %	DH/L = 1/ 16
R2	MEHAIGNE	Me 3 MRW	DH = 1,90 m	L = 23,0 m	P = 8,3 %	DH/L = 1/12,1
R3	RULLES	974 MRW	DH = 1,26 m	L = 10,5 m	P = 12,6 %	DH/L = 1/ 8,3
R4	SURE	1172 MRW	DH = 0,94 m	L = 4,9 m	P = 19,2 %	DH/L = 1/ 5,2
R5	LESSE	651 MRW	DH = 0,93 m	L = 4,5 m	P = 20,7 %	DH/L = 1/ 4,8
R6	NEBLON	98 MRW	DH = 1,09 m	L = 4,9 m	P = 22,2 %	DH/L = 1/ 4,5
R7	BERWINNE	39 MRW	DH = 1,40 m	L = 4,5 m	P = 31,0 %	DH/L = 1/ 3,2
R8	BOCQ	1536 MRW	DH = 1,30 m	L = 3,3 m	P = 39,4 %	DH/L = 1/ 2,5
R9	BOCQ	1450 MRW	DH = 1,80 m	L = 2,4 m	P = 76,0 %	DH/L = 1/ 1,3

B. Eléments d'aménagement à proscrire sur un obstacle de type R

R10	HOYOUX	1669 MRW	DH = 1,12 m	L = 17,0 m	P = 6,6 %	DH/L = 1/15,2
R11	Affl. SURE	1191 MRW	DH = 0,95 m	L = 2,0 m	P = 47,5 %	DH/L = 1/ 2,1
R12	BOCQ	1462 MRW	DH = 0,86 m	L = 4,0 m	P = 21,5 %	DH/L = 1/ 4,7
R13	AMBLEVE	1768 MRW	DH = 0,76 m	L = 3,0 m	P = 25,3%	DH/L = 1/ 3,9
R14	RULLES	976 MRW	DH = 0,89 m	L = 2,3 m	P = 39,0 %	DH/L = 1/ 2,6
R15	SAMSON	555 MRW	DH = 1,30 m	L = 1,8 m	P = 72,0 %	DH/L = 1/ 4,7
R16	VESDRE	V20 MRW	DH = 1,30 m	L = 1,5 m	P = 87,0 %	DH/L = 1/ 1,15
R17	SURE	1182 MRW	DH = 0,70 m	L = 1,0 m	P = 70,0 %	DH/L = 1/ 1,4

C. Eléments d'aménagement à encourager sur un obstacle de type R

R18	VESDRE	V3 MRW	DH = 1,10 m	L = 5,4 m	P = 20,3 %	DH/L = 1/ 4,9
R19	OURTHE OC.	2019 MRW	DH = 0,91 m	L = 3,6 m	P = 25,3 %	DH/L = 1/16
R20	VESDRE	Ve 10 MRW	DH = 1,60 m	L = 5,0 m	P = 32,0 %	DH/L = 1/ 3,1
R21	F. DE LEFFE	1653 MRW	DH = 0,75 m	L = 1,5 m	P = 50,0 %	DH/L = 1/ 2,0
R22	SURE	1169 MRW	DH = 0,70 m	L = 1,1 m	P = 64,0 %	DH/L = 1/ 1,6
R23	CHINELLE	1435 MRW	DH = 0,80 m	L = 5,7 m	P = 14,0 %	DH/L = 1/ 7,1

D. Obstacle de type R à évaluer (= rampe en escalier)

R24	VESDRE	V6 MRW	DH = 1,10 m	L = 5,4 m	P = 20,3 %	DH/L = 1/ 4,9
-----	--------	--------	-------------	-----------	------------	---------------

**An. 2.2. OBSTACLES EN FORME DE CHUTE VERTICALE SIMPLE .
TYPE CHUTE (C)**

A. Diversité du type C (Chute verticale ou sub-verticale)

C1	SALM	1769 MRW	DH = 6,80 m	F < 1 m	mobile
C2	EAU NOIRE	1115 MRW	DH = 0,80 m	F >1 m	mobile
C3	HOLSWARCHE	1930 MRW	DH = 0,47 m	F = 0,05 m	amovible
C4	AISNE	50 MRW	DH = 0,62 m	F = 0,3 m	amovible (rondins)
C5	MOSBEUX	Mo 2 MRW	DH = 0,88 m	F = 1,0 m	amovible (rondins)
C6	TROUILLE	Givry MTW	DH = 3,75 m	F = 2,0 m	fixe + partie amovible
C7	MELLIER	988 MRW	DH = 3,25 m	F = 1,0 m	fixe
C8	MOSBEUX	Mo 3 MRW	DH = 1,90 m	F = 0,85 m	fixe (pertuis)
C9	BURNOT	1595 MRW	DH = 1,75 m	F = 1,0 m	fixe
C10	BOCQ	1452 MRW	DH = 1,69 m	F = 0,15 m	fixe
C11	HOYOUX	1692 MRW	DH = 1,15 m	F = 0,90 m	fixe
C12	BOCQ	1458 MRW	DH = 0,80 m	F = 0,95 m	fixe
C13	AISNE	49 MRW	DH = 0,77 m	F = 0,70 m	fixe + partie amovible
C14	NEBLON	101 MRW	DH = 0,65m	F = 0,5 m	fixe
C15	OURTHE OC.	2025 MRW	DH = 0,35 m	F = 0,58 m	fixe
C16	HERMETON	1414 MRW	DH = 0,93 m	F = 0,70 m	fixe

B. Eléments d'aménagement à proscrire sur un obstacle de type C moyennement élevé

C17	NEBLON	97 MRW	DH = 0,45 m	F = 0,1 m	fixe
C18	BOCQ	1459 MRW	DH = 1,13 m	F = 0,4 m	fixe
C19	HERMETON	1416 MRW	DH = 0,40 m	F = 0,04 m	fixe
C20	MOLIGNEE	1542 MRW	DH = 0,55 m	F = 0,04 m	amovible (madriers)
C21	GUEULE	72 MRW	DH = 1,00 m	F < 0,05 m	fixe

C. Eléments d'aménagement à encourager sur un obstacle de type C peu élevé

C22	SAMSON	561 MRW	DH = 0,60 m	F = 0,4 m	fixe + rampe latérale
C23	HOYOUX	1680 MRW	DH = 1,10 m	F = > 1,0 m	fixe + rampe transversale
C24	PAIHLE	1741 MRW	DH = 0,50 m	F = 0,3 m	seuil en enrochements

**An. 2.3. OBSTACLES EN FORME DE CHUTE VERTICALE DOUBLE OU
MULTIPLE . TYPE CHUTE MULTIPLE (CM)**

A. Diversité du type CM (Chute multiple)

CM1	EAU NOIRE	1117 MRW	DH = 3,80 m	F > 1,0 m	mobile + fixe
CM2	SEMOIS	941 MRW	DH = 3,67 m	F = 0,6 m	
CM3	TROUILLE	902006 MRW	DH= 2,90 m	F = 1,0 m	
CM4	ANCRE	An 3 MRW	DH = 2,90 m	F = 1,4 m	
CM5	BERWINNE, AFFL	27 MRW	DH = 2,81 m	F < 0,1 m	
CM6	SAMSON	563 MRW	DH = 1,55 m	F = 0,8 m	
CM7	OURTHE , AFFL.	621003 MRW	DH = 1,15 m	F = 0,2 m	
CM8	ROANNAI	514001 MRW	DH = 1,00 m	F = 0,27 m	
CM9	GUEULE	70 MRW	pas de mesures		
CM10	FLAVION	1555 MRW	DH = 0,67 m	F = 0,50 m	
CM11	FD DE LEFFE	1652 MRW	DH= 0,61 m	F = 0,35 m	
CM12	MOLIGNEE, AFFL.	1567 MRW	DH = 0,47 m	F = 0,55 m	

B. Aménagement en chute multiple favorable à la migration des poissons

CM13	SEMOIS	847-848 MRW	DH = 1,10 m	F = 0,5 m	qqs bassins
CM14	AMBLEVE	Belle Roche	-	-	cascade

**An 2.4. OBSTACLE EN FORME DE CHUTE EN AVAL + PLAN INCLINE.
TYPE CHUTE+ RAMPE (CR)**

A. Diversité du type CR (Chute + Rampe)

CR1	NEBLON	100 MRW	DH = 0,90 m	L = 6,4 m	
CR2	GLAIN	1825 MRW	DH = 0,75 m	L = 3,1 m	
CR3	MEHAIGNE	Me1 MRW	DH = 1,25 m	L = 15,0 m	
CR4	HOYOUX	1666 MRW	DH = 0,85 m	L = 9,2 m	
CR5	MEHAIGNE	Me10 MRW	DH = 1,50 m	L = 4,0 m	
CR6	VEDDRE	V27 MRW	DH = 3,34 m	L = 8,0 m	
CR7	WAMPE	900001 MRW	DH = 1,4 m	L = 3,6 m	
CR8	MEHAIGNE	Me8 MRW	DH = 1,28 m	L = 7,4 m	F = 0,8 m
CR9	HOYOUX	1698 MRW	DH = 2,12 m	L = 3,5 m	
CR10	MEHAIGNE	Me6 MRW	DH = 1,64 m	L = 3,45 m	
CR11	BERWINNE	40 MRW	DH = 1,81 m	L = 4,0 m	
CR12	MELIER	987 MRW	DH = 3,39 m	L = 6,7m	chute > rampe

B. Eléments d'aménagement à proscrire sur un obstacle de type CR

CR13	MEHAIGNE	Me 2 MRW	DH = 2,37 m	L = 9,2 m	double chute aval
CR14	HOYOUX	1668 MRW	DH = 1,01 m	L = 7,0 m	vanne amont

**An. 2.5. OBSTACLES MIXTES FORTEMENT HETEROGENES (MH) A
POTENTIALITES DE FRANCHISSEMENT AMELIOREES PAR RAPPORT A UN
TYPE SIMPLE HOMOGENE**

MH1	NEBLON	102 MRW	DH = 0,97 m	chute en RD + rampe en RD
MH2	LESSE	652 MRW	DH = 0,70 m	éléments de chute et rampe + enrochements
MH3	SOILE	So1 MRW	DH = 1,63 m	chute en RD + rampe en RG
MH4	FDS LEFFE	1654 MRW	DH = 2,19 m	escalier en RD + rampe en RG
MH5	AISNE	48 MRW	DH = 0,87 m	éléments de chute et rampe + enrochements

9. ANNEXES AU PRESENT VOLUME

Annexe 8.1. Article Ovidio et Philippart , 2002

Annexe 8.2. Article Ovidio, Capra et Philippart, 2007



The impact of small physical obstacles on upstream movements of six species of fish

Synthesis of a 5-year telemetry study in the River Meuse basin

Michaël Ovidio & Jean-Claude Philippart

University of Liège, Laboratory of Fish Demography and Aquaculture, 10 chemin de la Justice, B-4500 Tihange, Belgium

Tel: +32-85-27-41-57. Fax: +32-85-23-05-92. E-mail: M.Ovidio@ulg.ac.be

Key words: obstacle, migration, fish, leaping capacity, Meuse River basin, Belgium

Abstract

In the course of the 'Meuse Salmon 2000' programme, most weirs and dams (3–8 m in height) in the regulated River Meuse have been progressively equipped with new fishways in order to restore the free circulation of all amphibiotic fish species. Nevertheless, fish entering into major spawning tributaries are still confronted with various kinds of physical obstacles of which the overall impact on fish migration has never been investigated. In order to test their ability to negotiate physical obstacles, 128 individuals of fish (*Salmo trutta*, *Thymallus thymallus*, *Salmo salar*, *Chondrostoma nasus*, *Barbus barbus* and *Esox lucius*) were captured several weeks before their spawning migrations and tagged with radio-transmitters. They were tracked from 30 to 466 days in the River Ourthe and six spawning tributaries over the period October 1995 to June 2001. All obstacles recorded in this study have been classified according to their type and main characteristics (i.e. slope, length and height). Results indicated that most fish migrate during or outside the spawning period and that some small obstacles are not as insignificant as initially thought and can significantly disrupt and/or obstruct their upstream movements. There is a need to harmonize interests in the sustainable conservation of fish populations and the development of small-scale hydropower generation and tourism.

Introduction

In most large rivers, fragmentation of the longitudinal corridors by dams, navigation weirs and hydroelectric power plants has resulted in the drastic range reduction and the extinction of numerous migratory species of fish (Philippart, 1987; Jungwirth, 1998; reviewed in Northcote, 1998). In most cases, the negative effects of these obstructions on fish migration have largely been eclipsed by the influence of overfishing, water pollution or habitat destruction (Jungwirth, 1998; Larinier, 1998). Scientists have attempted to facilitate the passage of fish around or through obstructions using fish passes, bypass channels and fish elevators (Denil, 1938; Clay, 1961, 1995; Jungwirth, 1996; Larinier, 1998). The efficiency of the first such facilities has often been questioned, particularly in terms of the behaviour and swimming capacities of migratory species. However, experience has enabled advances to be

made in the choice and design of up- and downstream fish passage facilities, addressing the behavioural ecology of target species, the site-specific flow regime and the unique features of each obstruction (Larinier, 1998). In combination with restocking programmes, recent construction of fish passage facilities have frequently led to the return of anadromous migratory species (particularly salmonids, eels and lampreys) in several rivers basins including the Rhine-Meuse system (Philippart et al., 1994; Marmulla & Ingendahl, 1996; Breukelaar et al., 1998; Gerlier & Roche, 1998; Bij de Vaate & Breukelaar, 1999; Prignon et al., 1999; Philippart et al., 2000; Philippart et al., 2001).

Fish passage facilities have been built predominantly on the main stems of large rivers; however, fish generally use tributaries rather than main stems of large rivers to spawn. The impact of potential obstacles to fish migration into the spawning tributaries has rarely been investigated (Marmulla & In-

Table 1. Main characteristics of the tributaries and sub-tributaries of the R. Meuse. Data in the bottom part of the table relate to the lower course of each stream

Characteristics	Ourthe	Ambleve ^a	Aisne ^a	Neblon ^a	Mehaigne	Oxhe	Berwinne
Elevation–source (m)	507	586	600	255	180	260	270
Elevation–confluence (m)	63	102	135	120	68	65	53
Length (km)	175	93	35	18.3	66	13.9	29
Drainage area (km ²)	3672	1083	184	78.7	360	45.3	131
Average slope (p/1000)	2.54	5.20	13.29	7.7	1.70	14.0	7.48
Width in lower course (m)	30–50	30–50	5–10	5	5–10	5	5–10
Average annual discharge 1999 (m ³ /s)	67.4	21.7	2.6	0.9	3.0	<0.5	2.4
Water temperature in July 1999 (°C)	19.9	19.4	15.3	15.0	17.6	16.7	18.6
Alcalinity (mg/l CaCO ₃)	6–110	21–50	6–50	>130	>130	>130	>130
Dominant Huet's fish zone	barbel	grayling	trout/grayl	trout	gray/barb	trout	trout/gray
Dominant fish species (kg)	barbel	barbel	trout	trout/grayl	roach/chub	trout	chub
Level of global water quality	high	high	excellent	high	medium	high	medium

^aTributaries of the R. Ourthe.

^bLower and upper limit of typological classes. Natural increase from the upper to the lower course.

gendahl, 1996; Ovidio et al., 1996; Croze & Larinier, 2000; Ovidio et al., 2000b). Furthermore, recent telemetry studies have demonstrated that fish, such as thymallids, cyprinids, esocids and percids will migrate over long distances within a river basin to reach their spawning grounds or for ontogenetic and trophic reasons (Baras & Philippart, 1989; Baras, 1992; Beaumont et al., 1997; Lucas & Batley, 1997; Lucas & Frear, 1997; Donnely et al., 1998; Hubert & Kirchofer, 1998; Parkinson et al., 1999; Koed et al., 2000). These considerations reinforce the importance of restoring the free circulation of fish throughout a river basin.

Since a decree taken in 1996 to support the 'Meuse Salmon 2000 project' (Philippart et al., 1994), the Benelux countries (Belgium, the Netherlands and Luxembourg) are constrained to restore the free circulation of fish (Atlantic Salmon, sea trout and eel) in their river basins (Benelux, 1996). In order to legalise their situations, the Walloon and Flemish regional governments in Belgium have initiated a program to register and characterise the obstacles in rivers in the South and North of the country, respectively (Monden et al., 2000; Ovidio et al., 2000b). Currently, in the South, the program involves 30 tributaries and sub-tributaries of the river Meuse. So far, the main problem has been to determine the impact of these obstacles on the free circulation of salmonids, as well as cyprinids, thymallids, esocids, percids and eels. This information is essential to identify problematic sites that should be improved (destruction or modification of obstacles, construction of fish passes) in accord-

ance with the Benelux decree. Some data are available on salmonids (Stuart, 1962; Marmulla & Ingendahl, 1996; Chanseau et al., 1999a; Chanseau & Larinier, 1999), but research programmes on other species and on small rivers and streams are very limited (Lucas & Batley, 1997).

In order to test their clearing capacities (ability to clear the obstacles), we radio-tagged six species ($n = 128$ individuals) of fish (Atlantic salmon, brown trout, grayling, nase, pike, barbel) below obstacles and before their spawning period in seven rivers and streams in southern Belgium. The present paper synthesizes this study carried out from October 1995 to June 2001. Details on movements and behavioural ecology of some of the tracked fish species have been presented in other publications (Baras, 1992, 1995; Caffrey et al., 1995; Fredrich, 1995; Ovidio et al., 1998; Ovidio, 1999a,b; Parkinson et al., 1999).

Description of sites studied

Fish were tracked in seven watercourses of the river Meuse basin (Fig. 1). The main characteristics of these sites are presented in Table 1. Obstacles studied by radio-tracking are represented by spots and identified by an alphanumeric code in Figure 1 and individually presented on Table 2 (characteristics) and Figure 2 (photos). Other obstacles on the same watercourses are not represented.

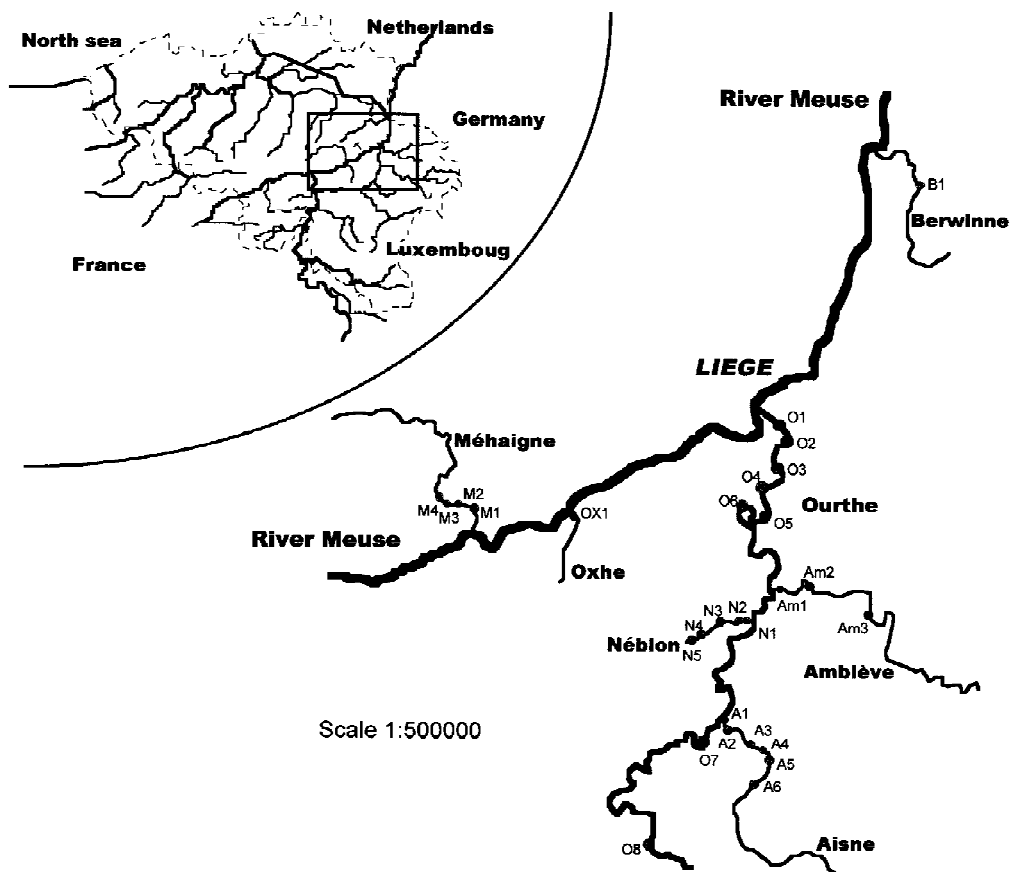


Figure 1. Location of the River Meuse catchment with the locations of the obstacles in the seven tributaries and sub-tributaries of the River Meuse where fish of six species were radio-tracked, October 1995–June 2001.

Material and methods

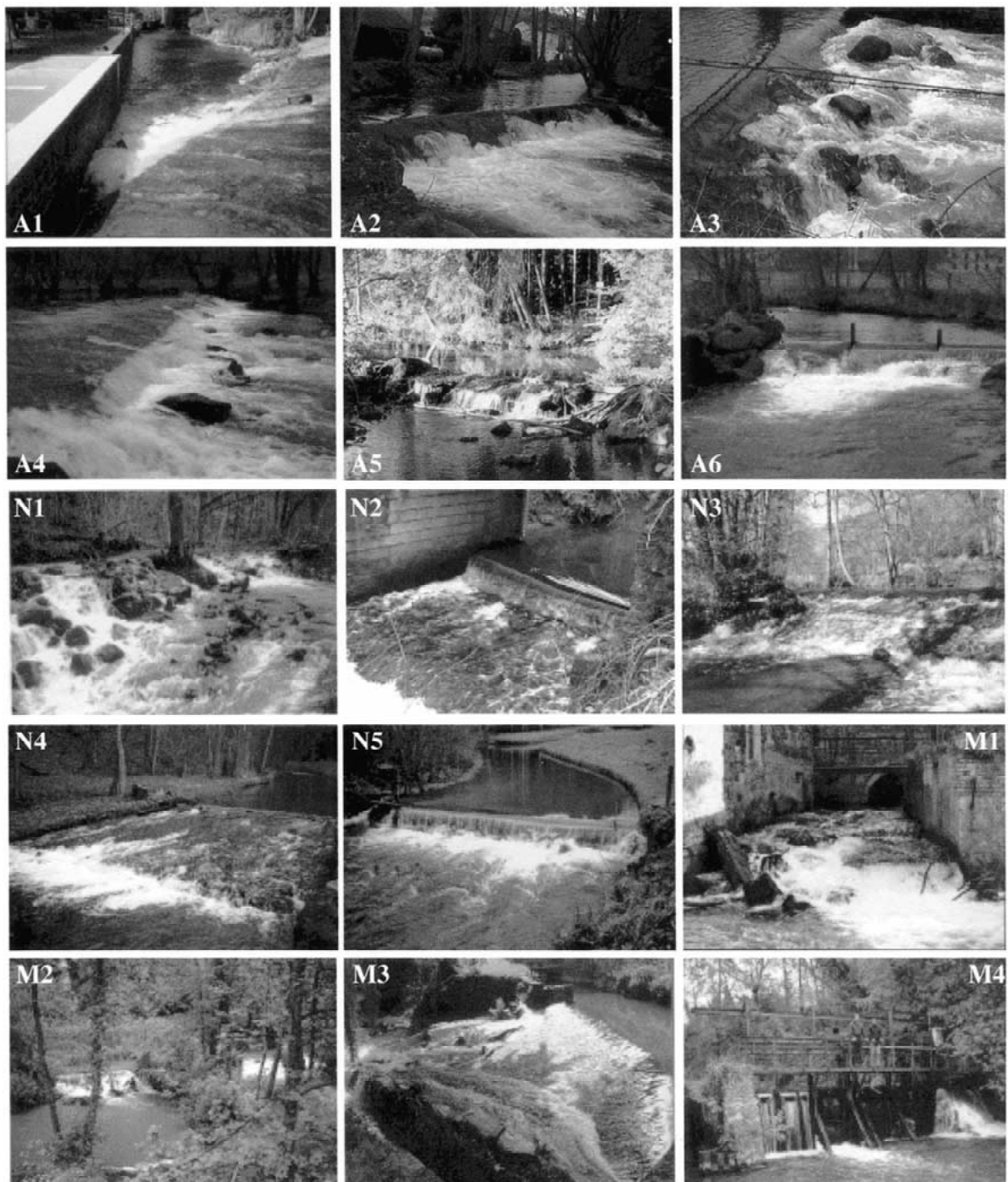
Characterisation of obstacles

Obstacles ($n = 28$) and their environments were characterised in the field in terms of slope, height, depth below the obstacle, matter, existence of ripeness, mean temperature of the water in July, water height on the obstacle, length of the obstacle and fish association in the concerned part of the river (Table 2). These characteristics were measured on a single day during specific flow conditions. Logically, most of these variables would change with water flow. In order to take this imprecision into account, some variables were grouped into several categories (see Table 2). In the Ourthe and Amblève, measurements were sometimes too dangerous to take and some variables (length, depth below the obstacle and slope) were estimated on the basis of photos and/or comparisons with other well-known obstacles.

Water temperature was recorded in each river and stream using data loggers (TidBit Onset Corp.[®]). In some rivers, two loggers were placed in the upper and lower part of the study site to increase the accuracy of the estimate ($<1^\circ\text{C}$ from one obstacle to another). Water flow was recorded continuously in each watercourse (data from SETHY-MET).

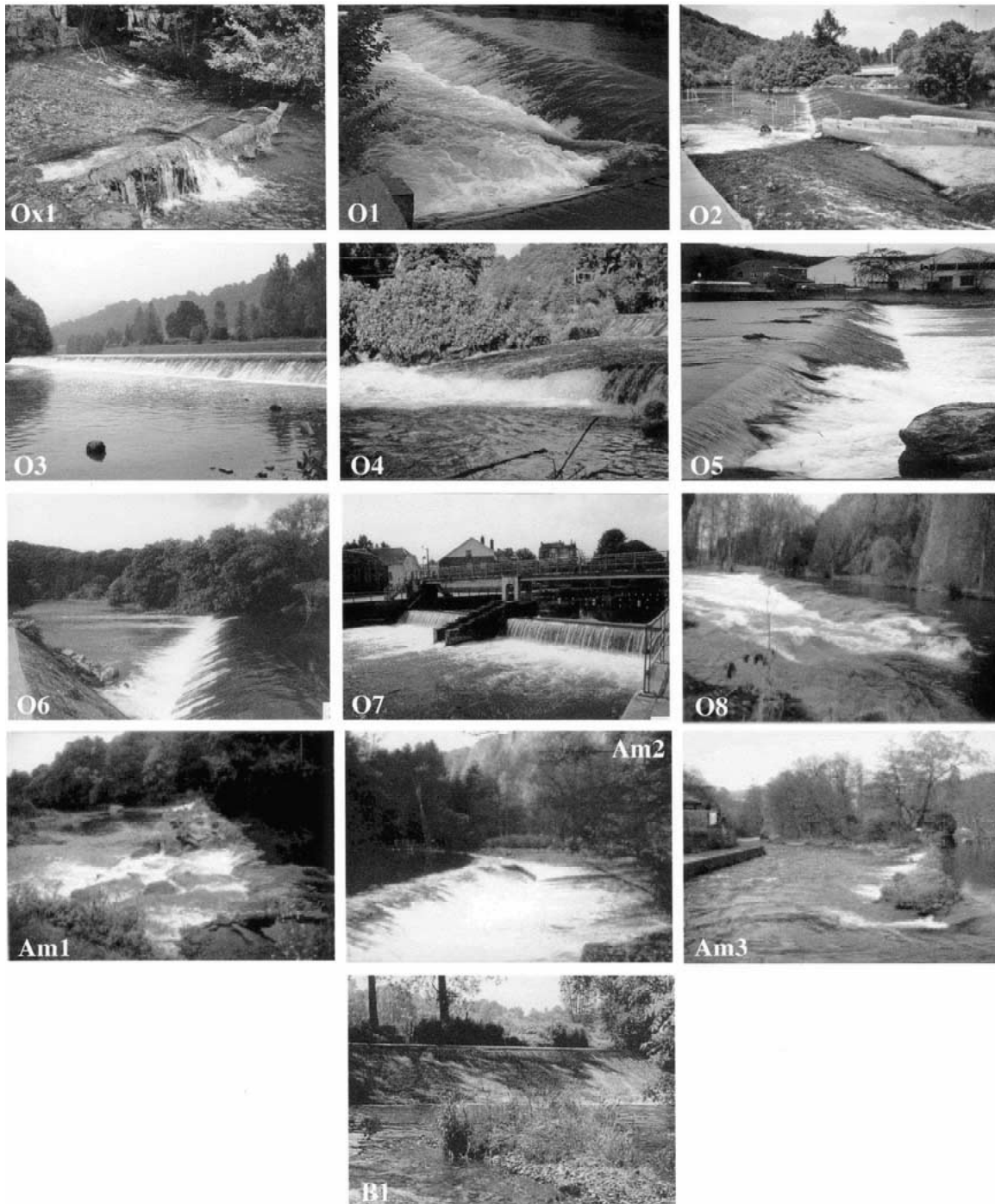
Capture and tagging

Fish were captured by electric fishing (DEKA, 2.5 kVA) downstream of obstacles or caught in fish traps during or just before their spawning period. Fish were anaesthetised in a $0.2\text{--}0.4\text{ ml l}^{-1}$ solution of 2-phenoxy ethanol (depending on species) then placed ventral side up into a V-shaped support adjusted to their morphology. A mid-ventral incision was made between the pelvic girdle and the anus and an alcohol sterilised transmitter (40 MHz, internal coiled antenna) was inserted into the body cavity. The weight



(a)

Figure 2. View of the different obstacles studied. The alphanumeric codes refer to the locations of the obstacles in Figure 1.



(b)

Figure 2. Continued

Table 2. Characteristics of the 28 obstacles studied. Obstacles are classified by watercourses. The code of the obstacles relates to their position on the river Meuse basin (Fig. 1) and their photos (Fig. 2). In the type column, -SLO- and -STR- respectively, represent a sloping or a straight obstacle. In the matter column -C-, -R-, -M- and -W- respectively, signify concrete, rocks, metal and wood

Obstacle	Type	Slope (%)	Height (cm)	Max. depth below (cm)	Matter	Ripeness	Mean T° in July (°C)	Water Height (cm)	Length (cm)	Fish association (Huet, 1949)	Fish pass
A1	SLO	40	–	20–40	C–R	–	<16	4–8	352	grayling	Y
A2	STR	–	98	>100	C	1	<16	8–12	200	grayling	N
A3	STR	–	85	20–40	C–R	3	<16	8–12	220	grayling	N
A4	SLO	51	–	<20	C–R	1	<16	4–8	380	trout	N
A5	STR	–	87	40–60	C–R	1	<16	4–8	130	trout	N
A6	STR	–	77	60–80	C–W	1	<16	4–8	10	trout	N
N1	STR	–	58	<20	C–R	–	<16	4–8	90	grayling	N
N2	STR	–	45	<20	C	–	<16	–	–	grayling	N
N3	SLO	22	–	<20	C	–	<16	4–8	490	grayling	N
N4	SLO	8	–	20–40	C	–	<16	4–8	640	grayling	N
N5	STR	–	65	40–60	C–R	–	<16	–	5	grayling	N
M1	SLO	8	>100	40–60	C–R	1	16–18	8–12	1500	barbel	N
M2	SLO	8	–	20–40	C	–	16–18	4–8	2300	barbel	Y
M3	STR	–	109	20–40	C–R	–	16–18	–	15	barbel	N
M4	STR	–	200	20–40	W–M	–	16–18	–	–	barbel	N
Ox1	SLO	24	–	20–40	C	–	16–18	<4	560	trout	N
B1	SLO	>50	–	20–40	C	–	>18	<4	450	barbel	N
O1	SLO	30–45	–	>60	C–R	2	>18	>12	>450	barbel	N
O2	SLO	30–45	–	>60	C–R	1	>18	>12	>450	barbel	N
O3	SLO	>45	–	40–60	C	1	>18	8–12	>450	barbel	N
O4	SLO	15–30	–	40–60	C	–	>18	8–12	>450	barbel	N
O5	SLO	30–45	–	40–60	C	–	>18	8–12	>450	barbel	N
O6	SLO	30–45	–	40–60	C	–	>18	8–12	>450	barbel	N
O7	STR	–	200	40–60	C–M	–	>18	8–12	>150	barbel	Y
O8	SLO	30–45	–	40–60	C	1	>18	8–12	>450	barbel	N
Am1	SLO	15–30	–	40–60	R	1	>18	8–12	>450	barbel	N
Am2	SLO	15–30	–	40–60	C–R	1	>18	8–12	>450	barbel	N
Am3	SLO	15–30	–	40–60	C–R	1	>18	8–12	>450	barbel	N

of the transmitter ranged from 4 to 20 g depending on fish body weight, making sure that the transmitter to fish body weight ratio in air would not exceed 2.0%. The incision was closed by two to five separate stitches, 9–10 mm apart, using sterile plain catgut or vicryl on cutting needles. Fish were released precisely at their capture site (or upstream of the fish pass where

they were caught) as soon as they had recovered posture and spontaneous swimming (about 5 min after surgery). This methodology minimises the possible biases originating from long term post-operative care.

One hundred and twenty-eight fish belonging to six species (*Salmo trutta*, *Salmo salar*, *Thymallus thymallus*, *Barbus barbus*, *Chondrostoma nasus* and

Table 3. Characteristics of the radio-tracked fish from October 1995 to June 2001 and summary of their movements

Species and rivers	<i>n</i>	FL±SD (mm)	W±SD (g)	Tracking period	% of upstream migrants	Distance travelled by upstream migrants in km (mean±SD)	Post spawning downstream migration
<i>S. trutta</i>							
Aisne	19	332±72	428±44	Oct. 1995 to Dec. 1998	88	8.8±2.0	yes
Méhaigne	9	404±71	884±524	Sept. 2000 to Feb. 2001	75	2.0±3.7	yes
Néblon	4	311±11	342±60	Oct. to Dec. 1999	25	0.8	yes
Oxhe	6	332±56	420±198	Sept. 2000 to Jan. 2001	17	0.25	yes
Ourthe	9	480±78	1354±474	Nov. 1995 to Sept. 2000	78	23.2±11.2	yes
<i>S. salar</i>							
Berwinne	1	670	2707	Nov. 1999 to May 2000	100	6.9	–
<i>T. thymallus</i>							
Aisne	23	326±42	381±114	Feb. to Jun. (1998 to 2000)	85	1.48±1.41	yes
Néblon	11	308±22	354±71	Feb. to May 2000	36	3.9±2.8	no
<i>C. nasus</i>							
Ourthe	5	478±28	1672±237	Feb. to June 2001	20	2.4	–
<i>E. lucius</i>							
Ourthe-Ambl.	6	641±60	2381±910	Dec. 2000 to June 2001	100	7.7±6.67	yes
<i>B. barbus</i>							
Méhaigne	5	396±62	935±434	April to June 2001	80	1.3±0.5	yes
Ourthe (upper)	9	437±21	1026±167	Apr. 1998 to June 2000	100	6.1±7.7	yes
Ourthe (med.)	5	442±14	1430±147	March to June 2001	100	1.8±8.1	no
Berwinne	1	555	2740	May to Feb. 2001	0	–	–

Esox lucius) were tracked for different periods of time (Table 3). Fish were located at least five times a week until the end of the transmitter battery life or loss of the signal. Locations were made by triangulation using a mobile FieldMaster radio receiver and a loop antenna (ATS). Locations were made with an accuracy of 1–10 m², depending on river size and distance between the fish and the observer.

Results

Analysis of movements by species

The distances travelled by fish during their spawning migrations substantially varied between species, rivers and individuals (Table 3). The proportion of upstream migrants and the distances travelled by brown trout (*S. trutta*) are particularly important in the Ourthe and

Aisne where obstacles rarely impeded movements of the fish (e.g. Fig. 3). The proportion of upstream migrants was greater in the Aisne than in the Néblon ($\chi^2 = 8.074$; $p = 0.0045$) and Oxhe ($\chi^2 = 13.576$; $p = 0.0002$). In the Ourthe, the proportion of upstream migrants was higher than in the Oxhe ($\chi^2 = 6.349$; $p = 0.0117$). The proportion of upstream migrants was also higher in the Méhaigne than in the Oxhe ($\chi^2 = 6.349$; $p = 0.0117$), but most fish were blocked below obstacles during their upstream migrations (e.g. Fig. 4). In disturbed salmonid streams (Oxhe and Néblon), none of the trout, excepted one, migrated and thus never confronted with obstacles.

The same phenomenon was observed in the grayling (*T. thymallus*). The proportion of upstream migrants was higher in the Aisne than in Néblon ($\chi^2 = 7.271$; $p = 0.0076$). In the Néblon, some obstacles probably impeded fish migrations (Table 4). The only Atlantic salmon (*S. salar*) studied was blocked below

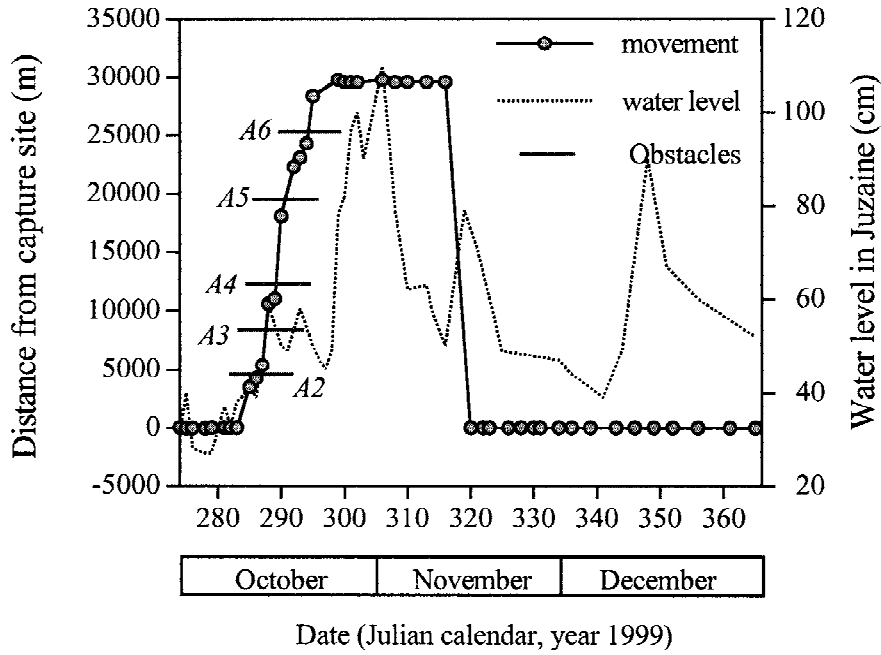


Figure 3. Spawning migration of a female brown trout (250 mm FL) and water flow in the Aisne Stream, Meuse River catchment 1 October 1999–31 December 1999. The alphanumeric codes refer to the five obstacles that this fish cleared. Juzaine is situated in between obstacle A1 and A2. See also Table 2 and Figure 2 for the description of the obstacles. This is a typical migratory behaviour of wild trout in an equilibrated stream (low level of anthropisation).

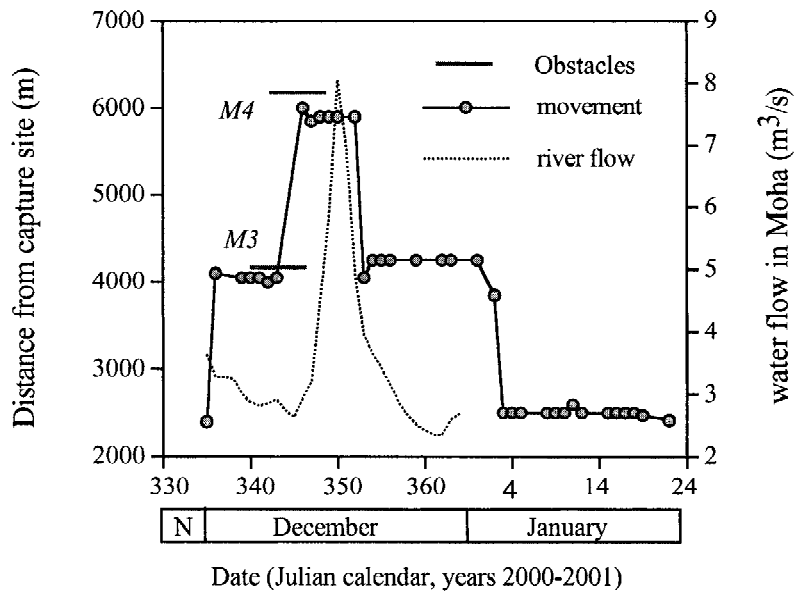


Figure 4. Spawning migration of a male brown trout (511 mm FL) and water flow in the Méhaigne Stream, Meuse River catchment 25 November 2000–24 January 2001. The alphanumeric code M3 refers to the obstacles that this fish cleared. The fish never pass through the obstacle M4. Moha is situated in between obstacles M1 and M2 (Fig. 1). See also Table 2 and Figure 2 for the description of the obstacles. This is a typical migratory behaviour of wild trout in a disturbed stream (high level of anthropisation).

Table 4. Synthesis of the impact of 28 physical obstacles on the migration of the six tracked species

Obstacle	Species located downstream of the obstacle (number)	% of fish moving upstream of the obstacle (FL±SD; cm)	Time for clearing (days)	Flow at clearing in m ³ /s; mean±SD and (min value)
A1	brown trout (5)	100% (283±15)	<1	1.71±0.75 (0.76)
	grayling (2)	100% (353±30)	<1	1.8±0.93 (1.14)
A2	brown trout (6)	100% (351±73)	<1	2.76±2.60 (0.40)
A3	brown trout (15)	100% (367±116)	<1	1.73±1.24 (0.24)
	grayling (3)	100% (334±104)	<1	3.35±1.96 (1.14)
A4	brown trout (11)	100% (300±30)	<1 to 3	1.44±1.3 (1.31)
A5	brown trout (n = 6)	100% (300±34)	<1 to 2	2.47±1.43 (1.04)
A6	brown trout (n = 2)	100% (290±35)	<1	2.32±1.81 (1.04)
N1	brown trout–grayling 2+2	0%	–	–
N2	brown trout (1)	–	–	–
N3	grayling (2)	50% (300)	3	0.783
N4	grayling (3)	66% (329)	<1	1.19±0.22 (1.04)
N5	brown trout (1)	100%	<1	1.3
	grayling (1)	0%	–	–
M1	brown trout (3)	33% (299)	<1	1.17
	Barbel (1)	0%	–	–
M2	brown trout (2)	100% (354±78)	<1	3.91±0.37 (3.64)
M3	brown trout (5)	40% (500±13)	4±4	3.1±0.25 (2.92)
	barbel (2)	0%	–	–
M4	brown trout (2)	0%	–	–
Ox1	brown trout (3)	33% (376)	<1 day	–
B1	a. salmon/barbel (1+1)	0%	–	–
O1	brown trout (1)	100% (506)	<1	9.6
O2	brown trout (1)	100% (506)	5	10.2
O3	brown trout (1)	100% (506)	<1	10.2
O4	brown trout (1)	100% (506)	51	28.5
O5	brown trout (4)	50% (478±39)	3.5±3.5	127.9±152 (20.3)
O6	brown trout (2)	100% (478±39)	1.5±0.7	85.2±96.9 (16.7)
O7	brown trout/barbel (5+2)	0%	–	–
O8	brown trout (1)	0%	–	–
Am1	pike (1)	100% (580)	3	26.2
Am2	pike (1)	100% (580)	3	36.7
Am3	pike (1)	100% (580)	6	70.594

obstacle B1 in the Berwinne after a 7-km upstream migration. Nases (*Chondrostoma nasus*) were never confronted with obstacles in the Ourthe. All, but one, moved downstream after a flood (250 m³ S⁻¹) in Spring, 2001 and never returned to their previous locations.

One-hundred percent of the radio-tagged pike (*E. lucius*) in the Ourthe moved upstream to reach their spawning places. One fish was confronted with three obstacles in the Amblève (Am1 to Am3, Fig. 1), which it succeeded in clearing (Fig. 5). Paradoxically, pike moved greater distances than several other species in

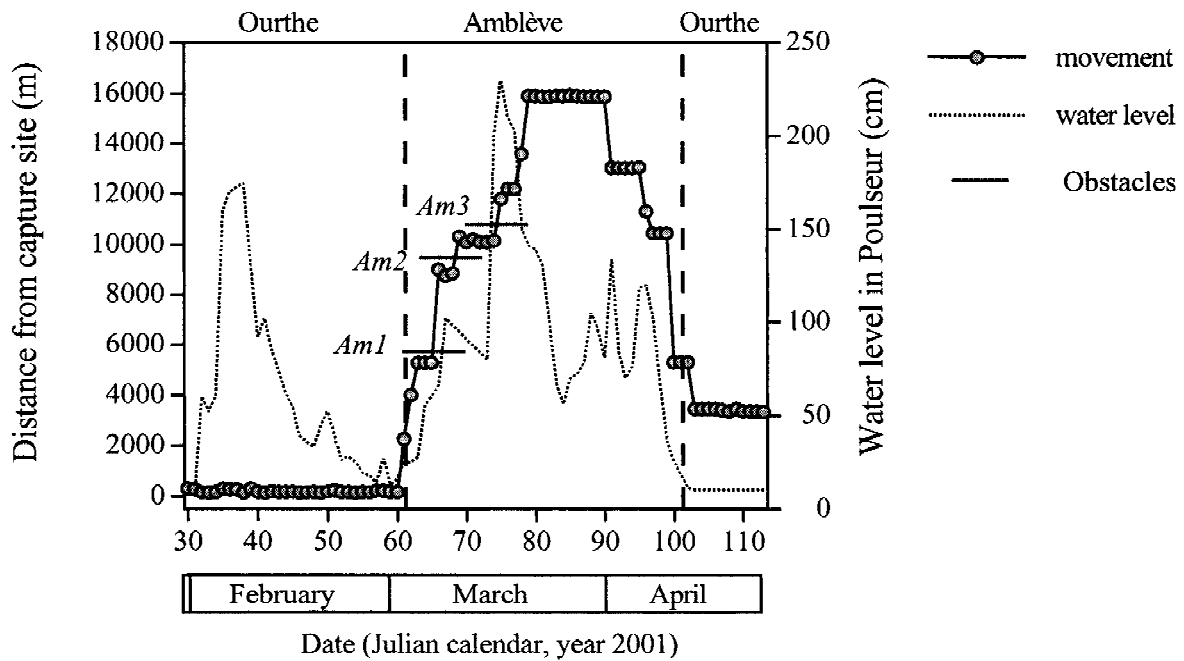


Figure 5. Spawning migration of a pike (580 mm LF) and water flow in the Rivers Ourthe and Amblève, Meuse River catchment 30 January 2001–21 April 2001. The alphanumeric codes refer to the three obstacles that this fish cleared. Poulseur is situated in between obstacle O5 and O6 (Fig. 1). See also Table 2 and Figure 2 for the description of the obstacles.

other watercourses. A hundred percent of the Barbel (*B. barbus*) in the Ourthe migrated and travelled over distances ranging from several hundred meters to several kilometers. In the Méhaigne, most barbels spawned near their place of capture (confirmed by direct observation from the stream bank), but, as observed in trout, some were impeded by obstacle M3 (see Table 3). In the Berwinne, the tagged barbel never migrated.

Effects of obstacles on fish migration

All the obstacles in the Aisne were cleared by 100% of the fish (trout and grayling) within a few days (max.: 3 days for obstacle A4), even under low flow conditions (Table 4; e.g. Fig. 3). Some individuals cleared obstacle A1 without passing through a high-performance basin fish pass. In the Néblon, trout and the grayling never cleared obstacles N1 and N2. Fifty percent and 66% of the grayling cleared obstacles N3 and N4, respectively. Obstacle N5 was cleared by one trout while one grayling failed to pass through, even after several attempts. In the Méhaigne, one trout (33%) cleared obstacle M1, but the barbel never did. Under high flow, the trout cleared obstacle M2 without utilising the fish pass. Obstacle M3 seemed to be only

passable by large trout (>49 cm) under relatively high water levels. Other trout and barbel were completely blocked. Obstacle M4 was evidently insurmountable.

In the Oxhe stream, only one trout cleared obstacle Ox 1 under very high flow (Table 4). In the Berwinne, obstacle B1 was insurmountable for both the adult salmon and the barbel during their spawning migration. In the Ourthe, obstacles O1 and O3 were easily cleared in less than 24 h by a trout. The same trout cleared obstacle O2 in 5 days, but was blocked for 51 days by obstacle O4 during low summer flows. Fifty percent and 100% of the trout cleared weirs O5 and O6 in a few days. Trout and barbel never cleared the mobile weir O7 when it was operating in closed position. The fish never found the entrance of the old fish pass. The only brown trout tagged finally cleared the obstacle when it was operating in open position and was later definitively blocked below weir O8. In the Amblève, the pike successively cleared weirs Am1, Am2 and Am3 within 3–6 days (Fig. 5).

Effect of water temperature

Obstacles were cleared when the water temperature ranged from 4.6 to 19.8°C. Most clearings were observed at temperatures ranging from 8 to 12°C. Fig-

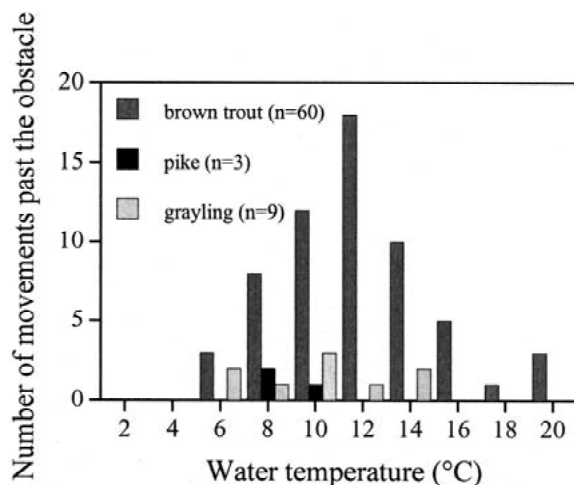


Figure 6. The relationship between water temperature and success in negotiating river obstacles.

ure 6 also indicates that salmonids cleared obstacles in summer when mean water temperature exceeded 16°C.

Discussion

This study has enabled us to determine the effect of several types of small physical obstacles (height <2 m) on the free circulation of six species (128 individuals) of fish. The results remain preliminary, because the number of observations is too limited to precisely establish the passing capacity of each species studied. However, both the diversity of obstacles and species studied, as well as our individual fish approach provides a better understanding of the problems in restoring longitudinal connectivity in rivers and streams.

It is difficult to determine whether the lack of passage of an obstacle is due to an inability of the fish to surmount the blockage. Zones immediately downstream of blockages are often propitious habitats for several fish species (Ovidio & Baras, 1997), because of the abundance of food, well oxygenated water and presence of gravel beds for the reproduction of lithophilic species (Ovidio, 1999b). This may be why certain fish established their principal resting places in these areas and raises the question whether the removal of such obstacles is always desirable? In order to reduce our margin of error, fish were considered to be impeded only when an obstacle prevented the fish moving upstream by 200 m. This phenomenon is

often accompanied by increased activity of the fish at the foot of the obstacle (e.g. clearing attempts, seeking easier passages) (Stuart, 1962).

Several obstacles that appeared to be minor impediments turned out to be too difficult to pass, and even unpassable by one or more of the species. For example, a 45-cm height vertical sill is insurmountable for salmonids if the depth below the dam is not sufficient. Such estimation errors could easily accumulate in a hydrographic network and in the long term, perturb or even prevent the re-establishment of migrating fish. Conversely, some obstacles that appeared difficult or even impossible to pass were cleared with varying degrees of ease by certain species. For example, an obstacle with a vertical slope >50% is passable if the water height on the obstacle is sufficient. In this case, the cost of the biological investigation is largely recuperated, because construction and/or the renovation of fish passes or other pass devices is avoided.

Our observations show that, like salmonids, thymalids, rheophilic cyprinids and pike migrate for several kilometres in rivers (usually upstream) to reach their spawning sites. In the past, most of these species were considered relatively non-migratory because the methodologies used to study their displacements were inadequate (Gowan et al., 1994; Faush & Young, 1995; Baras, 1998; Ovidio et al., 2000a). In recent years, biotelemetry studies of individual fish over time have revealed that many species are affected significantly by river obstacles (Baras, 1992; Lucas & Batley, 1997; Hubert & Kirchofer, 1998; Parkinson et al., 1999; Koed et al., 2000). In the present study, pike (*E. lucius*) were surprisingly mobile, travelling several kilometres (max.: 20 km), and overcoming several consecutive obstacles to reach their spawning grounds. Adult brown trout also showed high mobility, migrating not only during the spawning season (October–February), but also during the summer.

Our results indicate that the ability to successfully pass obstacles differs among species. Brown trout are sometimes capable of clearing vertical sills 1.1 m. in height and swimming over 3.8 m long oblique obstacles with slopes of ca. 50%. They are also capable of clearing long obstacles (up to 23 m) with a slope of ca. 30%. Clearance of vertical obstacles requires sufficient water depth immediately downstream of the obstacle (minimum twice the size of the fish) to enable the fish to gain momentum. For a sloped obstacle, water depth on the obstacle itself is crucial, and should be equal, at least, to the fish's height. This is probably why some brown trout never passed

obstacles ca. 40 cm height and the Atlantic salmon was unable to pass a 1.4-m height and 50% sloped obstacle. The water depth below the obstacle, as well as that on the obstruction was too low. On the Gave de Pau (France), Chanseau et al. (1999a) demonstrated that Atlantic salmon during upstream migration is capable of passing obstacles <1.5 m height in less than 24 h. However, we only tracked one salmon and we must be careful of any comparison. We also demonstrated that grayling are able to clear slopes ca. 40%. During our study, its jumping capacity appears slightly weaker (max.: 0.85 m) than that of brown trout. Pike showed an ability to clear obstacles with slopes of ca. 20% and drops of 20 cm. Barbel were systematically blocked at the foot of obstacles and noses never confronted obstacles.

Clearance of an obstacle can be temporary, depending strongly on water flow conditions. Water flow affects hydraulic conditions, including water depth on the obstacle, flow speed, depth downstream, and the nature and direction of turbulence, and water temperature, both of which affect the behaviour of fish facing the obstacle. We have observed that certain obstacles are cleared under almost all flow conditions, while others are only cleared under conditions of medium or high water flows. Because it is laborious to test all obstacles under all possible flow conditions, it becomes imperative to model the range of hydraulic conditions for different types of obstacles and compare this to the capabilities of different fish species to pass them.

Water temperature is also important in the success with which fish pass obstacles because of its effects on a fish's muscular efficiency and thus its swimming and jumping capacities (Wardle, 1980; Beach, 1984). Our observations show that the various obstacles are cleared in a thermal range from 4.6 to 19.8 °C, with a preference for temperatures between 8 and 12 °C.

The effects of flow and water temperature were observed several times. When fish arrive at the foot of an obstacle, they almost always attempt to clear it immediately. If they are unable to do so, they go downstream dozens to several hundreds of metres and wait, sometimes several weeks, for environmental conditions to improve (increase in water level or temperature), which will allow them to clear the obstacle. Chanseau & Larinier (1999) observed 1.5 km downstream migrations of Atlantic salmon in the Gave de Pau. In Scotland, Webb (1990) observed that the salmon that did not clear the fish pass at Pitlochry the first time never returned to the structure. However, other authors

(Liscom et al., 1985; Laine, 1995) observed successive penetrations by Atlantic salmon in fishways. This type of behaviour is very costly in terms of energy and the numerous jumping attempts could also result in injury. Moreover, obstacles cause delays that may constrain the fish to reproducing during non-optimal environmental conditions.

Migrations of various fish species are seasonal and closely linked to a combination of environmental conditions (essentially flow and water temperature) that trigger or favour fish displacement and thus their interactions with various obstacles (Jonsson, 1991; Ovidio et al., 1998). Consequently, any policy of obstacle restoration should preferentially comply with an in-depth study of the behavioural ecology of the species present in the river.

Within a given species, clearing capacities can vary from one individual to another. This phenomenon is often observed in individuals of different sizes. Indeed, in function of their structure and characteristics (depth downstream, water height on the obstacle), some obstacles are more easily cleared by fish whose size is within a certain range. For example, the 1.09 m high obstacle M3 was only cleared by trout >49 cm. We have also observed that, for identical environmental conditions, individuals of the same size sometimes remain blocked for different periods of time at the foot of the same obstacle. Such inter-individual differences do not facilitate establishing precise norms for clearing capacities of fish. However, within the context of the Benelux decree, some targets should be set. For example, 90% of migrating fish should be able to pass each obstacle. Inter-individual behavioural differences are not specific to the ability to pass obstacles, they have also been remarked in strategies of space utilisation by river fish, such as brown trout, barbel and grayling (Baras, 1992; Ovidio 1999a,b; Parkinson et al., 1999).

Another important problem revealed by our study concerns post-reproduction downstream migration. In most cases, we observed that fish often return within a few metres to the capture site. This phenomenon was already described by Baras (1992) with barbel (*B. barbus*), Fredrich (1995) with chub (*Leuciscus cephalus*), Ovidio (1999) with brown trout (*S. trutta*) and Parkinson et al. (2000) with grayling (*Thymallus thymallus*). The obstacles are obviously more easily cleared going downstream than upstream. However, one must not underestimate the injuries and mortality caused by the passage over certain artificial obstacles in the direction of the current, especially when these

obstacles have electric turbines (Long, 1968; Sorenson et al., 1998; Chanseau et al., 1999b; Larinier & Travade, 1999; Coutant & Whitney, 2000; Lajeune & Monzingo, 2000; Michaud, 2000). Facilities for upstream passage of adult salmonids are reasonably straightforward. However, this is not the case for facilities for safe downstream migration for the postspawners and their progeny.

When an obstacle is revealed to be effectively impassable by migrating fish, one should firstly understand what makes the obstacle impassable, what are the impacts on the fish living upstream and downstream (e.g. are the conditions downstream of the obstacles desirable for some species) and then to question the necessity of the structure. If the structure is not justifiable the best solution would be its complete or partial destruction, so that it no longer constitutes an obstacle to the free circulation of fish. This solution has priority, as it ensures the passage of all species. If removing the obstacle is not feasible, the obstacle should, when possible, be rendered clearable through design adaptation, thus avoiding the construction of a fish pass (Croze & Larinier, 2000). If such a structure cannot be realised, an artificial clearing device should be built. The construction of such a device must be carefully studied and adapted to the targeted species, variations in water levels up- and downstream of the obstacle, slope to be cleared, topographical constraints and solid transport in the river (Croze & Larinier, 2000).

Acknowledgement

This research is part of the 'Obstruction to Fish Migration' project, which is supported by the Ministry of Natural Resources and Environment (D.G.R.N.E.) of Wallonia, Belgium. J.C. Philippart is a Research Associate from the Belgian 'Fonds National de la Recherche Scientifique'. Authors wish to thank F. Lambot (Unnavigable Watercourses, Regional Administration) for efficient administrative work and G. Rimbaud, D. Sonny, D. Parkinson, J. Piels and C. Gilles for field support. Topographical data on most physical obstacles were communicated by B. De Bast (Unnavigable Watercourses, D.G.R.N.E.) and Ph. Denoel's team (Fédération des Sociétés de Pêche de l'Est et du Sud de la Belgique, F.S.P.E.S.B.). Data on river discharge were provided by SETHY-MET. We wish to acknowledge anonymous referees and Ian Flem-

ing for constructive comments on the first draft of the manuscript.

References

- Beach, M. H., 1984. Fish pass design-criteria for the design and approval fish passes and other structures to facilitate the passage of migratory fish in rivers. MAFF Fisheries Research Technical Report 78: 46 pp.
- Baras, E., 1992. Etude des stratégies d'occupation du temps et de l'espace chez le barbeau fluviatile, *Barbus barbus* (L.). Cah. Ethol. Appl. 12: 125–442.
- Baras, E., 1995. Seasonal activities of *Barbus barbus* (L.) – Effect of temperature on time-budgeting. J. Fish Biol. 46: 816–828.
- Baras, E., 1998. Selection of optimal positioning intervals in fish tracking: an experimental study on *Barbus barbus*. Hydrobiologia 371/372: 19–28.
- Baras, E. & J. C. Philippart, 1989. Application du radiopistage à l'étude éco-éthologique du barbeau fluviatile (*Barbus barbus*): problèmes, stratégies et premier résultats. Cah. Ethol. Appl. 9: 467–794.
- Beaumont, W. R. C., S. Clough, M. Ladle, B. Cresswell & J. S. Welton, 1997. The use of miniature radio tags to study coarse fish movements in the River Frome Dorset. Fish. Manag. Ecol. 3: 201–207.
- Benelux, 1996. Décision du Comité des Ministres de l'Union Economique Benelux relative à la libre circulation des poissons dans les réseaux hydrographiques du Benelux M(96)5, 1996: 2 pp.
- Bij de Vaate, A. & A. W. Breukelaar, 1999. Sea trout (*Salmo trutta*) migration in the Rhine delta, the Netherlands. Proc. Second Internat. Rhine Symposium 'Salmon 2000', Rastatt (Germany): 78–84.
- Breukelaar, A. W., A. Bij de Vaate & K. T. W. Fockens, 1998. Inland migration of sea trout (*Salmo trutta*) into the rivers Rhine and the Meuse (The Netherlands), based on inductive coupling radio telemetry. Hydrobiologia 371/372: 29–33.
- Chanseau, M., O. Croze & M. Larinier, 1999a. Impact des aménagements sur la migration anadrome du saumon atlantique (*Salmo salar*) sur le Gave de Pau (France), Bull. fr. Piscic. 353/354: 211–237.
- Chanseau, M. & M. Larinier, 1999. Etude du comportement du saumon atlantique (*Salmo salar* L.) au niveau de l'aménagement hydroélectrique de Baigts (Gave de Pau) lors de sa migration anadrome. Bull. fr. Piscic. 353/354: 239–162.
- Chanseau, M., M. Larinier & F. Travade, 1999b. Efficacité d'un exutoire de dévalaison pour smolts de saumon atlantique (*Salmo salar* L.) et comportements des poissons au niveau de l'aménagement hydroélectrique de Bedous sur le Gave d'Aspe étudiés par la technique de marquage recapture et par radiotélémetrie. Bull. fr. Piscic. 353/354: 99–120.
- Caffrey, J. M., J. J. Conneely & B. Connolly, 1995. Radio telemetry determination of bream (*Abramis brama*) movements in Irish canals. In Baras, E. & J. C. Philippart (eds.), Underwater Biotelemetry, Proceedings of the First Conference and Workshop on Fish Telemetry in Europe, University of Liège, Belgium: 59–65.
- Clay, C. H., 1961. Design of Fishways and other Fish facilities. Department of Fisheries of Canada, Ottawa: 341 pp.
- Clay, C. H., 1995. Design of Fishways and Other Fish Facilities, 2nd edn. Lewis Publishers, Boca Raton, Ann Arbor, London, Tokyo: 248 pp.

- Coutant, C. C. & R. R. Whitney, 2000. Fish behaviour in relation to passage through hydropower turbines: A Review. *Trans. Am. Fish. Soc.* 129: 351–380.
- Croze, O. & M. Larinier, 2000. Libre circulation des poissons migrateurs et seuils en rivière dans le bassin RMC. Guide technique. Agence de l'Eau RMC. Conseil Supérieur de la Pêche: 53 pp.
- Denil, G., 1938. La mécanique du poisson de rivière. *Annales des Travaux Publics de Belgique, Bruxelles, Belgique*: 395 pp.
- Donnelly, R. E., J. M. Caffrey & D. M. Tierney, 1998. Movements of a bream (*Abramis brama* (L.)), rudd X bream hybrid, tench (*Tinca tinca* (L.)) and pike (*Esox lucius* (L.)) in an Irish canal habitat. *Hydrobiologia* 371/372: 305–308.
- Fausch, K. D. & M. K. Young, 1995. Evolutionary significant units and movement of resident stream fishes: A cautionary tale. *Am. Fish. Soc. Symp.* 17: 360–370.
- Fredrich, F., 1995. Preliminary studies on daily migration of chub (*Leuciscus cephalus*) in the Spree River. In Baras, E. & J. C. Philippart (eds), *Underwater Biotelemetry, Proceedings of the First Conference and Workshop on Fish Telemetry in Europe*, University of Liège, Belgium: 66.
- Gerlier, M. & P. Roche, 1998. A radio telemetry study of the migration of Atlantic Salmon (*Salmo salar* L.) and sea trout (*Salmo trutta trutta* L.) in the upper Rhine. *Hydrobiologia* 371/372: 283–293.
- Gowan, C., M. K. Young, K. D. Fausch & S. C. Siley, 1994. Restricted movements in stream salmonids: a paradigm lost. *Can. J. Fish. Aquat. Sci.* 51: 2626–2637.
- Hubert, M. & A. Kirchofer, 1998. Radio telemetry as a tool to study habitat use of nase (*Chondrostoma nasus* L.) in medium sized rivers. *Hydrobiologia* 371/372: 309–319.
- Huet, M., 1949. Aperçu de la relation entre la pente et les populations piscicoles des eaux courantes. *Schweiz. Z. Hydrol.* 11: 332–351.
- Jonsson, N., 1991. Influence of water flow, water temperature and light on fish migration in rivers. *Nordic J. Freshwat. Res.* 66: 20–35.
- Jungwirth, M., 1996. Bypass channels at weirs as appropriate aids for fish migration in rhithral rivers. *Regulated rivers: Res. Manage.* 12: 483–492.
- Jungwirth, M., 1998. River continuum and fish migration-Going beyond the longitudinal river corridor in understanding ecological integrity. In Jungwirth, M. & S. Weiss (eds), *Fish Migration and Fish Bypasses*. Fishing News Books-Blackwell Science, Oxford: 127–145.
- Koed, A., P. Mejlhede, K. Balleby & K. Aarestrup, 2000. Annual movement and migration of adult pikeperch in a lowland reservoir. *J. Fish Biol.* 57: 1266–1279.
- Laine, A., 1995. Fish swimming behaviour in Finnish Fishways. In Komura, S. (ed), *Proceedings of the International Symposium on Fishways '95 in Gifu, Japan, October 24–26* Organising Committee for International Symposium on Fishways. GIFU: 323–328.
- Lajeone, L. J. & R. G. Monzingo, 2000. 316(b) and Quad Cities Station, Commonwealth Edison Company. *Envir. Sci. Policy*, S313–S322.
- Larinier, M., 1998. Upstream and downstream fish passage experience in France. In Jungwirth, M. & S. Weiss (eds), *Fish Migration and Fish Bypasses*. Fishing News Books-Blackwell Science, Oxford: 127–145.
- Larinier, M. & F. Travade, 1999. La dévalaison des migrateurs: problèmes et dispositifs. *Bull. fr. Piscic.* 353/354: 181–210.
- Liscom, K. L., G. E. Monan, L. C. Stuehnenberg & P. J. Wilder, 1985. Radio-tracking studies of adult chinook salmon and steelhead trout at lower Columbia River Hydroelectric dams, 1971–1977; NOAA Technical Memorandum NMFS F/NWC-81.
- Long, C. W., 1968. Diel movement and vertical distribution of juvenile anadromous fish in turbines intakes. *Fish. Bull.* 66: 599–609.
- Lucas, M. C. & E. Batley, 1997. Seasonal movements and behaviour of adult barbel *Barbus barbus*, a riverine cyprinid fish: implications for river management. *J. appl. Ecol.* 33: 1345–1358.
- Lucas, M. C. & P. A. Fear, 1997. Effects of a flow gauging weir on the migratory behaviour of adult barbel, a riverine cyprinid. *J. Fish Biol.* 50: 382–396.
- Marmulla, G. & D. Ingendahl, 1996. Preliminary results of a radio telemetry study of returning Atlantic salmon (*Salmo salar* L.) and sea trout (*Salmo trutta trutta* L.) in River Sieg, tributary of River Rhine in Germany. In Baras, E. & J. C. Philippart (eds), *Underwater Biotelemetry, Proceedings of the First Conference and Workshop on Fish Telemetry in Europe*, University of Liège, Belgium: 109–117.
- Michaud, D. T., 2000. Wisconsin Electric's experience with fish impingement and entrainment studies. *Envir. Sci. Policy*: S333–S340.
- Monden, S., D. De Charleroy & C. Van Liefferinge, 2000. Inventory of fish migrations barriers on ecological and strategic important in the Flemish region (Belgium). In Abstract book of the 'Freshwater Fish Conservation International Symposium'. Albufeira, Portugal, November 2000: 67.
- Northcote, T. G., 1998. Migratory behaviour of fish and its significance to movement through riverine fish passage facilities. In Jungwirth, M. & S. Weiss (ed.), *Fish Migration and Fish Bypasses*. Fishing News Books-Blackwell Science, Oxford: 3–18.
- Ovidio, M., 1999a. Cycle annuel d'activité de la truite commune (*Salmo trutta* L.): étude par radio-pistage dans un cours d'eau de l'Ardenne belge. *Bull. fr. Piscic.* 352: 1–18.
- Ovidio, M., 1999b. Tactiques et stratégies individuelles d'utilisation spatio-temporelle de l'habitat et des ressources alimentaires chez la truite commune (*Salmo trutta* L.): Etude par radio-pistage dans l'Aisne et l'Ourthe. Phd Thesis, University of Liège: 196 pp.
- Ovidio, M. & E. Baras, 1997. Behavioural strategy of trout (*Salmo trutta*) in man-modified river ecosystems: identification of the fast growing 'dam trout' ecotype. In Abstract Book of the Second Conference on Fish Telemetry in Europe. La Rochelle (France), 5–9 April 1997: 57.
- Ovidio, M., C. Birtles, E. Baras & J. C. Philippart, 1996. A preliminary telemetry investigation on the obstacles to anadromous Salmonids migration in spawning streams of the Belgian Ardennes (river Meuse basin). In Leclerc, M. et al. (eds), *Proceedings of the Second IAHR Symposium on Habitat Hydraulics, Ecohydraulique 2000, Québec (Canada)*, Published by INRS-Eau, Vol A: 83–88.
- Ovidio, M., E. Baras, D. Goffaux, C. Birtles & J. C. Phillipart, 1998. Environmental unpredictability rules the autumn migrations of trout (*Salmo trutta*) in the Belgian Ardennes. *Hydrobiologia* 371/372: 262–273.
- Ovidio, M., J. C. Philippart & E. Baras, 2000a. Methodological bias in home range and mobility estimates when locating radio-tagged trout, *Salmo trutta*, at different time intervals. *Aquat. Living Resour.* 13: 449–454.
- Ovidio, M., F. Lambot, B. De Bast & J. C. Philippart, 2000b. A radio-tracking study on the impact of small dams on the conservation of salmonid fish in Southern Belgium. In Abstract book of the 'Freshwater Fish Conservation International Symposium'. Albufeira, Portugal, November 2000: 59.

- Parkinson, D., J. C. Philippart & E. Baras, 1999. A preliminary investigation of spawning migrations of grayling in a small stream as determined by radio-tracking. *J. Fish Biol.* 55: 172–182.
- Philippart, J. C., 1987. Histoire de l'extinction et de la problématique de la restauration des salmonidés migrateurs. In Thibault, M. & R. Billard (eds), *La restauration des rivières à saumons*, INRA, Paris, France: 125–137.
- Philippart, J. C., J. C. Micha, E. Baras, C. Prignon, A. Gillet & S. Joris, 1994. The Belgian project 'Meuse Salmon 2000'. First results, problems and future prospects. *Water Sci. Technol.* 29: 315–317.
- Philippart, J. C., A. Gillet, C. Prignon & M. Ovidio, 2001. Le rétablissement de la libre circulation des poissons dans la Meuse canalisée navigable en Wallonie. Construction d'ouvrages modernes de franchissement des barrages et évaluation scientifique de leur efficacité. Communication au Colloque IENE OPEN DAY, 23–27 avril 2001. Bruxelles, Belgique.
- Philippart, J. C., M. Ovidio & G. Rimbaud. Seventy years after extinction, Atlantic Salmon (*Salmo salar*) comes back to the river Meuse in Belgium as a result of the Meuse Salmon 2000 restoration project. In Abstract book of the 'Freshwater Fish Conservation International Symposium'. Albufeira, Portugal, November 2000: 80–81.
- Prignon, C., J. C. Micha, G. Rimbaud & J. C. Philippart, 1999. Rehabilitation efforts for Atlantic salmon in the Meuse basin area: Synthesis 1983–1998. *Hydrobiologia* 410: 69–77.
- Sorenson, K. M., W. L. Fisher & A. V. Zale, 1998. Turbine passage of juvenile and adult fish at a warm water hydroelectric facility in Northeastern Oklahoma: Monitoring Associated with relicensing. *North Am. J. Fish. Manage.* 18: 124–136.
- Stuart, T. A., 1962. The leaping behaviour of salmon and trout at falls and obstructions. *Freshwat. Salm. Fish. Res.* 28.
- Wardle, C. S., 1980. Effects of temperature on the maximum swimming speed of fishes. In Ali, M. A. (ed.), *Environment Physiology of Fishes*. Plenum Press, New York: 519–531
- Webb, J., 1990. The movements of adult Atlantic salmon in the River Tay. *Scottish Fisheries Research Report* 44: 32 pp.

Field protocol for assessing small obstacles to migration of brown trout *Salmo trutta*, and European grayling *Thymallus thymallus*: a contribution to the management of free movement in rivers

M. OVIDIO

Laboratory of Fish Demography and Hydroecology, Biology of Behaviour Unit, University of Liège, Tihange, Belgium

H. CAPRA

Laboratory of Quantitative Hydroecology, Cemagref, Lyon, France

J.-C. PHILIPPART

Laboratory of Fish Demography and Hydroecology, Biology of Behaviour Unit, University of Liège, Tihange, Belgium

Abstract Between 1996 and 2004, adult brown trout, *Salmo trutta* L. ($n = 40$) and European grayling, *Thymallus thymallus* (L.) ($n = 39$) were radio-tracked in three southern Belgium rivers to assess their capabilities to bypass various obstacles. During their upstream migrations individuals encountered different types of physical obstacles and successfully passed some under variable environmental conditions. The obstacles cleared by the fish were characterised based on a simple topographical description protocol and compared with tracking data. The ability of trout and grayling to pass different typologies of physical obstacles in natural river systems is discussed in the context of enabling their free movement in rivers.

KEYWORDS: fragmentation, jumping, migration, obstacles, telemetry.

Introduction

Fragmentation of rivers by physical obstacles has resulted in the drastic range reduction or extinction of numerous diadromous and potadromous species of fish worldwide (Dynesius & Nilsson 1994; Jungwirth 1998; reviewed in Northcote 1998). To partially or completely re-establish the free migration of fish in their watercourses, various national and regional governments have initiated restoration projects. The recording of obstacles that can interfere with longitudinal connectivity is critical information to plan river restoration (Belgium: Benelux 1996; Ovidio &

Philippart 2002; France: Souchon & Trocherie 1990; Area, Eau-Environnement 2002; Malavoi 2003). To date the main problem has been to determine the potential effect of each obstacle and to select the problematic sites that should be improved to restore longitudinal connectivity (construction of fish passage facilities, removal or modification of the obstacles). This selection is too often biased because managers lack information on the fishes' capabilities to leap physical obstacles.

The concept of obstruction to fish migration is often associated with the height of the obstacle, but very small weirs may also be major obstructions (Ovidio &

Correspondence: Dr Michaël Ovidio, University of Liège, Department of Environmental Sciences and Management, Biology of Behaviour Unit, Laboratory of Fish Demography and Hydroecology, 10 Chemin de la Justice, 4500 Tihange, Belgium (e-mail: m.ovidio@ulg.ac.be)

Philippart 2002). Fish passage success about an obstacle depends on the hydraulic conditions over and at the foot of the obstacle in relation to swimming and leaping capabilities of the fish species concerned (Stuart 1962; Larinier 2001; Ovidio & Philippart 2002; Holthe, Lund, Finstad, Thorstad & McKinley 2005). The swimming and leaping capacities depend on the species, the size of individuals, their physiological condition and water-quality factors (Wardle 1975; Beamish 1978; Blake 1983; Beach 1984). Many studies have been conducted in artificial environments to determine the swimming performance of migratory species (e.g. Jones, Kiceniuk & Bamford 1974; Stahlberg & Peckmann 1987; Videler 1993; Peake, McKinley & Scruton 1997). Some have also tested the capacity of fish to leap over vertical sills in experimental rivers and channels (Powers & Orsborn 1985; Holthe *et al.* 2005). More recently Lauritzen, Hertel & Gordon (2005) performed behavioural and kinematic analysis of the jumping capacities of the sockeye salmon, *Oncorhynchus nerka* (Walbaum), in natural environments.

However, as hydraulic conditions over obstacles in rivers are often complex, heterogeneous and dependent on flow conditions, their potential effects on fish movements cannot be determined easily using theoretical curves of swimming and leaping performance. Ideally, the successful passage of each obstacle must be tested in the field, by studying the leaping and clearing capabilities of endemic species for different water flow conditions. Unfortunately, the abundance of obstacles in most river basins [e.g. one obstacle every 5.3 km of river stretch in the Seine-Normandie basin – Area, Eau-Environnement 2002; 45 weirs on a 26-km river stretch of the river Nea in central Norway – Arnekleiv & Rønning 2004] and the time and cost necessary for such studies preclude individual testing of each obstacle. Nevertheless, river managers require such concrete information for the appropriate conservation and management of a large variety of species.

The migrations of brown trout, *Salmo trutta* L. and European grayling, *Thymallus thymallus* (L.) have been intensively studied using radiotelemetry in streams in Southern Belgium (more than 4000 fish locations, Ovidio, Baras, Goffaux, Birtles & Philippart 1998; Ovidio 1999; Ovidio, Parkinson, Sonny & Philippart 2004). During their upstream migrations, individuals encounter numerous different small physical obstacles and successfully pass them. Passage data provide an opportunity to define a simple descriptive protocol for characterising the obstacles cleared by brown trout and European grayling. Furthermore, physical measure-

ments relating to the obstacle may allow classification into an obstacle typology that may facilitate improved obstacle passage by both species.

Materials and methods

The study was conducted in the rivers Aisne, Néblon, and Lhomme, three salmonid sub-tributaries of the river Meuse basin that run through southern Belgium (Fig. 1; Table 1).

Fish tracking and environmental records

Trout and grayling were captured by electric fishing or caught in fish traps for the tracking studies. Transmitters were implanted in the intra-peritoneal cavity following Ovidio *et al.* (1998, 2004), ensuring that the transmitter to fish body weight ratio in air did not exceed 2.5%. Fish were released precisely at their place



Figure 1. Location of the study areas in Belgium.

Table 1. Main characteristics of the three rivers where fish were radio-tracked

Characteristics	Aisne	Néblon	Lhomme
Elevation source (m)	600	255	475
Length (km)	35	18.3	50.6
Drainage area (km ²)	184	78.7	479
Average slope (m 1000 m ⁻¹)	13.3	7.7	63.7
Width in lower course (m)	5–10	5–10	10–15
Average annual discharge (m ³ s ⁻¹)	2.6	0.5	2.7
Average annual temperature (°C)	9.4	10.4	10.0
Dominant Huet (1949) fish zone	Grayling	Trout	Grayling
Dominant fish species (kg)	Trout	Trout	Trout
Level of global water quality	Excellent	High	High
Fish tracked			
Brown trout	31	4	5
European grayling	20	11	8

of capture (or upstream of the fish pass where they were caught) as soon as they recovered posture and spontaneous swimming (about 5 min after surgery). The methodology minimises possible biases originating from long-term postoperative care. A total of 40 brown trout and 39 European grayling were tracked in the Aisne from 1996 to 2000, in the Nèblon in 2000 and in the Lhomme from 2003 to 2004 (Table 1).

Water temperature (electronic data loggers, TidBit Onset Corp.®) and discharge (data from DGRNE-Water Division) were recorded hourly in the three rivers. Temperature and discharge recorders were located in the downstream part of the catchments of each river. Data were used to estimate temperature and discharge conditions during successful obstacle passage and to evaluate the frequency of occurrence of such conditions over the whole study period.

Physical description of the obstacles

Key topographical variables (e.g. drop height, plunge pool depth) have been used to describe simple obstacles and to evaluate their passage potential under controlled conditions (Powers & Orsborn 1985). However, no simple protocol exists that permits calculation of key topographical variables in a standardised fashion. Moreover, certain values are a direct function of river discharge (e.g. drop height; Fig. 2). To overcome this limitation, it was necessary to either model the response

of key variables as a function of discharge or take measurements at a given, easily identifiable discharge. Hydraulic turbulence cannot be modelled and the description of the obstacle at a precise passage discharge would require substantial logistical resources for monitoring the instantaneous discharge in the river. The minimum annual discharge was chosen as the reference discharge to establish the topographical description protocol for obstacles because it is easy to identify, generally stable over several days, and allows easier working conditions in the river.

The protocol developed for this study was intended: (1) to report on the topographical heterogeneity of a river barrier; and (2) to calculate values of key topographical variables for obstacles.

Each obstacle was described according to a simple spatially based protocol.

- Delimitation of different transversal barrier parts to account for transversal heterogeneity of the obstacle (red lines on Fig. 3). These representative components were identified as a fall, a chute, or a succession of both types to consider significant topographical diversity.

- Each transversal obstacle part was longitudinally described with measurement points (XY location, elevation and depth) selected on three main cross-sections (Fig. 2), to describe topography and water level upstream on and downstream of the obstacle. One or a few measurement points were selected to be representative (the mean value was calculated if more

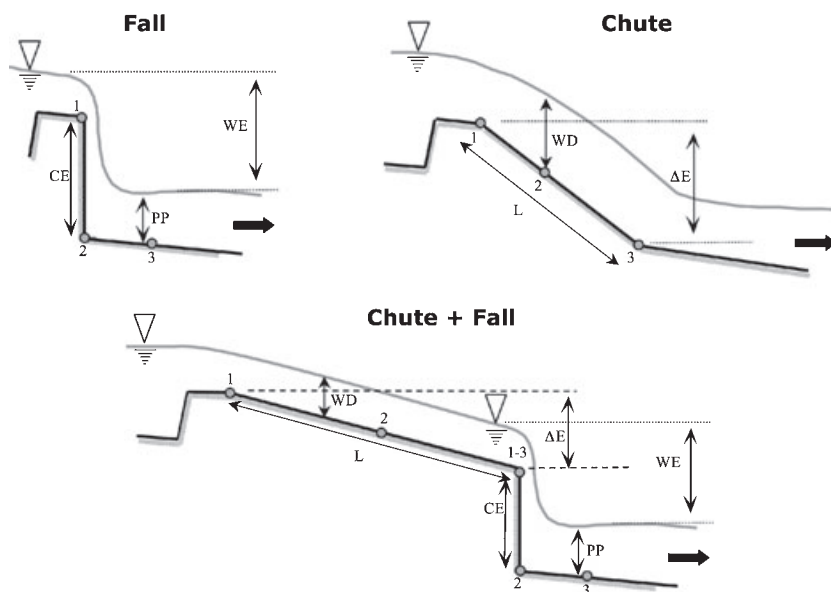


Figure 2. Description of morphological characteristics of obstacles (longitudinal view). Measurement points have to be located on three main transversal sections (points 1–3 on the longitudinal view) to measure water elevation (WE), crest elevation (CE) and plunge pool depth (PP) for falls and water depth (WD), length (L) and elevation (ΔE , used to calculate slope) for chutes. One or more measurement points were chosen to describe heterogeneity of each transversal part (see Fig. 2 and Table 3).



Figure 3. Pictures of each study obstacle in the river Aisne (A1–A6), in the river Néblon (N1–N3) and in the Lhomme (L1). Different transversal parts (I–VI per obstacle, from the left bank to the right bank) were delimited by lines and identified by their number (see Table 3 for physical characteristics) on each picture.

than one point was selected) of the heterogeneity of the obstacle.

- The main descriptive variables indicated as representative by Powers & Orsborn (1985) were calculated according to Figure 2.

- When the longitudinal succession of different obstacle types (e.g. fall + chute; Fig. 2) occur in a transversal part, each type was described successively and separately.

Analysis combined the radiotelemetric data (threshold passed, date, species and characteristics of the fish), discharge conditions and temperature when clearing the obstacle, and the topographical measurements for each transversal part.

Results

From 1996 to 2004, a total of 56 obstacle passages were recorded in the rivers Aisne, Néblon and Lhomme (Table 2). In the Aisne, 100% of fish (trout and grayling) were able to bypass the obstacles during upstream migration. Fish generally succeeded in passing the obstacles between two locations 24 h apart, except on two occasions when obstacles A4 and A5 were passed in 2 and 3 days. Although A1 was equipped with a high-performance fish pass, some individuals bypassed the obstacle without using the pass. Most of the obstacles were cleared by both male and female fish. In the Néblon, obstacle N1 was cleared by one individual in 3 days, two individuals failed to clear it. A grayling easily cleared obstacle N2 on two occasions. Obstacle N3 was bypassed by a trout, but a grayling located downstream during migration failed to negotiate it. In the Lhomme, one trout was confronted with obstacle L1 and negotiated it in 2 days.

Obstacles identified as falls had a crest elevations from 0.39 to 1.89 m and a plunge pool ranging from 0.07 to 0.77 m. Lengths of obstacles ranged from 0.54 to 8 m with slopes between 4% and 74%. The main characteristics of potential parts used by brown trout and European grayling to bypass the various obstacles

are graphically presented in Figure 4 and the detailed topographical measures of each accessible part in Table 3. Some obstacles or transversal parts of obstacles comprised a succession of falls and chutes (or inversely). For each obstacle, the hypothetical easiest passageway was identified. For A1, A5 and N3, some individuals were observed clearing the obstacle using this hypothetically easiest passageway. Based on these considerations, it appears that brown trout of 260 mm fork length (FL) jumped at least to a crest of approximately 0.59 m in height with a plunge pool of 0.63 m depth (pool crest ratio: 107%) at a minimum water temperature of 9.2 °C. Trout of 295 mm FL jumped to a crest of 1.81 m with a plunge pool of 0.77 m (pool crest ratio: 42%) at a minimum water temperature of 6.5 °C. Grayling of 272 mm FL passed at least a crest of 0.96 m using a plunge pool of 0.35 m (pool-crest ratio: 37%) at a minimum water temperature of 5.2 °C.

Trout of 266 mm FL crossed at least slopes of 26% and 2.98 m in length at a minimum water temperature of 7.7 °C and of 16.5% and 5.13 m in length at 8.5 °C. Grayling of 300 mm FL crossed at least slopes of 12% and 6.21 m in length at a temperature of 10.1 °C. Trout and grayling cleared slopes of 10% over 8 m after having jumped a 0.59-m crest.

In the Aisne, obstacles were cleared at a water temperature ranging from 4.6 to 14.0 °C, but particularly between 10 and 14 °C (33% of the time from 1996 to 2000; this percentage ranged from 25% to 35% across years, and from 7% to 64% among obstacles). When considering the discharge during passage, it appears that obstacles on the Aisne would have been

Table 2. Number of passages of each obstacle by trout and grayling (note that one obstacle could be passed more than once by the same individual). Minimum (Min.) and maximum (Max.) of fork length (FL in mm) and weight (in g) of fish (male, female or both) which passed obstacles are presented in comparison with the temperature and discharge ranges for the days of passage. The time taken for fish to pass one obstacle was estimated (days) between its arrival in front of the obstacle until the fish passed the obstacle

Obstacle	Species	Number clearing	Time spent (day)		Fork length (mm)		Weight (g)		Sexes	Discharge (m ³ s ⁻¹)		Temperature (°C)	
			Min.	Max.	Min.	Max.	Min.	Max.		Min.	Max.	Min.	Max.
A1	Trout	5	1	1	260	291	206	312	M & F	0.76	2.45	9.2	14.0
A1	Grayling	2	1	1	288	374	297	520	M	1.14	2.45	7.7	12.4
A2	Trout	6	1	1	295	489	287	1357	M & F	0.41	7.01	6.5	13.5
A3	Trout	15	1	1	263	570	206	1685	M & F	0.24	4.16	4.6	13.3
A3	Grayling	3	1	1	272	455	216	349	M & F	1.14	4.89	5.2	12.4
A4	Trout	11	1	3	266	347	233	460	M & F	0.32	4.3	7.7	12.9
A5	Trout	7	1	2	266	347	233	460	M & F	1.04	4.44	7.4	11.1
A6	Trout	2	1	1	266	315	233	350	F	1.04	3.6	9.2	10.5
N1	Grayling	1	3	–	300	–	315	–	F	0.783	0.783	10.1	10.1
N2	Grayling	2	1	1	329	329	393	393	M	1.03	1.35	9.4	9.4
N3	Trout	1	1	–	290	–	285	–	Unknown	1.3	1.3	9.6	9.6
L1	Trout	1	2	–	294	–	258	–	F	0.228	–	8.5	–

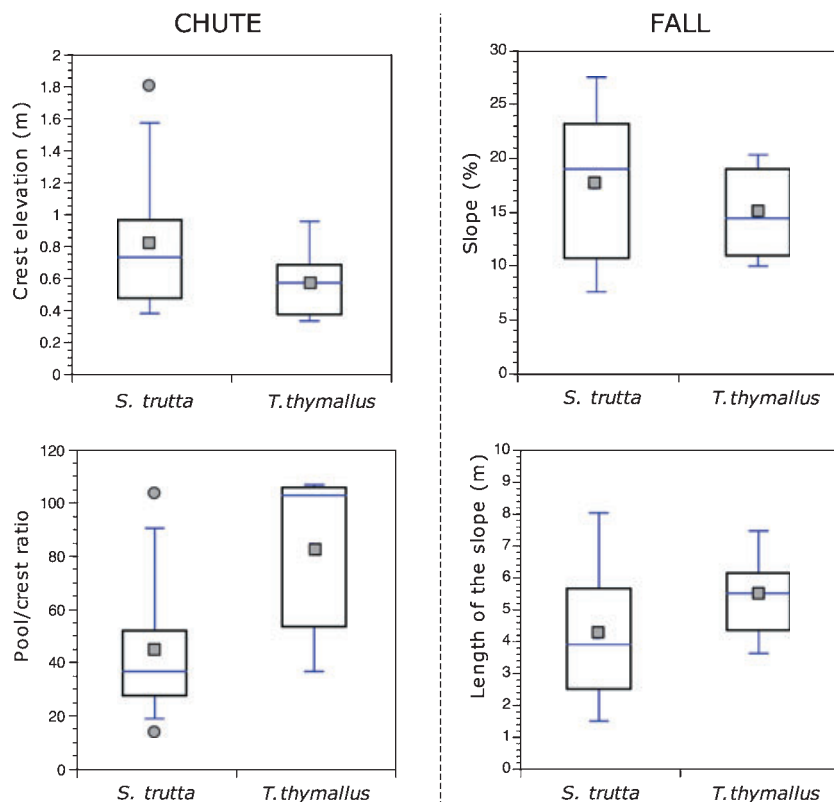


Figure 4. Physical characteristics of the main descriptive variables of the obstacles cleared by brown trout and European grayling. Values are median, percentiles 5, 25, 75 and 95. Circles indicate outlier values.

potentially passable by the trout between 0.24 and $7.01 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$ (87% of the time from 1996 to 2000; this percentage ranged from 71% to 96% across years, and from 37% to 83% among obstacles). For the grayling, obstacles A1 and A3 would have been passable 30% and 52% of the time, respectively, in 2000 considering temperature, and 25% and 48% of the time, respectively, considering discharge availability in 2000. In the Néblon, obstacles were cleared at temperatures ranging from 9.4 to 10.1 °C (6% of time in 2000) for trout and grayling and during conditions of relatively higher flows ($0.78\text{--}1.35 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$; i.e. 16% of the time in 2000) compared with mean annual flow of the Néblon ($0.58 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$). This analysis was not possible in the Lhomme as just one obstacle was cleared.

Discussion

This study characterised typologies of small obstacles cleared by brown trout and European grayling. The approach, in the context of life cycle, complements theoretical knowledge on trajectory calculations (Evans & Johnston 1980; Powers & Orsborn 1985) and research in controlled environments (Slatik 1970).

Radiotelemetry is effective in observing obstacle passage, but acquiring individual data over a wide range of environmental conditions is tedious, given it demands continual presence in the field and requires a large number of fish. Conversely, this methodology guarantees that clearing obstacles was a natural event (e.g. reproductive migration, habitat changes). Individuals followed by radio-tracking were generally larger than the adult population in place so the results should not be extended to the entire population. This limitation of having to follow individuals larger than average reflects the need to minimise the weight of the transmitter in relation to weight of the fish and reduce the potential biases of marking on the results.

Most fish were able to negotiate all the obstacles along their migration route under existing conditions of water temperature and discharge. As a consequence of this high success rate, it was not possible to determine between individuals that succeeded in negotiating the obstacles or not. Care must also be taken not to consider fish that did not attempt to negotiate the obstacles with failure, because the downstream side of a dam can be favourable for brown trout that, for example, can develop a dam residential strategy that

Table 3. Physical characteristics of each transversal part defined for each obstacle. Each transversal part represents a different possible way for fish to pass the obstacle. Each of these parts (I–VI per obstacle) was described as a chute (C), a fall (F) or a mixture of both types, and with different variables measured or calculated according to the protocol presented in the text and in Fig. 2. Bold line represents the apparent easiest passageway. The value of each variable characterising a transversal part represented either one measure or the mean of different measures depending on physical heterogeneity inside the transversal part

Transversal part	Type	Fall				Chute		
		Crest elevation (m)	Water surface elevation (m)	Plunge pool (m)	Pool/crest ratio (%)	Slope (%)	Length (m)	Depth (m)
A1-I	C + F	0.59	0.539	0.63	107	10	8.00	
A1-II	C + F	0.39	No water	No water	No water	21	3.62	
A1-III	C + F	0.57	No water	No water	No water	10	5.03	
A2-I	F	1.20	1.04	0.31	26			
A2-II	F	1.57	1.08	0.49	31			
A2-III-1	F	0.63	0.39	0.54	86			
A2-III-2	F	0.87	0.59	0.30	34			
A2-IV	F	1.63	1.00	0.63	39			
A2-V	F	1.81	1.04	0.77	42			
A2-VI	F	1.15	0.56	0.62	54			
A3-I	F	0.96	0.66	0.35	37			
A3-II	C					19	3.70	0.04
A4-I	F					26	2.98	No water
A4-II	C + F	0.45	0.32	0.13	29	4	2.38	No water
A4-III	C + F	0.64	0.57	0.07	11	13	4.08	0.04
A5-I	C	0.96	0.84	0.36	37			
A5-II	C	0.16	0.82	0.11	71			
A5-III	C + F	0.40	0.31	0.20	50	74	0.54	0.09
A5-IV	C + F	0.48	0.56	0.46	95	30	1.90	0.10
A6-II	C	0.94	0.77	0.21	23			
A6-III	C	0.92	No water	No water				
A6-I	C	0.48	0.47	0.23	35			
N1-I	F					17	5.67	0.03
N1-II	F					19	5.31	0.04
N1-III	F					12	6.21	0.12
N2-I	C + F	0.33	0.25	0.34	103	12	6.06	0.05
N3-I	C	0.82	0.60	0.20	25			
N3-II	C	0.97	0.64	0.37	38			
N3-III	C	0.61	0.52	0.09	15			
L1-I	F					16.5	5.13	0.13
L1-II	F					19.6	8.15	0.03
L1-III	F					24	6.17	0.02

allowed very high growth rates while avoiding the risks inherent to long range migrations. Brown trout and European grayling also frequently spawned in gravel bed environments downstream of obstacles (Ovidio *et al.* 2004). Visual observation on fish that attempt to leap obstacles is a better methodology to distinguish successful and unsuccessful attempts (Lauritzen *et al.* 2005).

Biotelemetric methods make it possible to determine the obstacle clearing date precisely and therefore concurrent environmental conditions (temperature and river discharge). Most of the time obstacles are complex heterogeneous structures and the fish use several potential pathways, but the precise route is

rarely identified. In this investigation, the different possible passageways were isolated to identify the easiest route. For some obstacles, visual observations provided information on the pathway taken by tagged or untagged fish in the river. The description of the different routes shows that the pathways used correspond, *a priori*, to the subjectively most favourable passage conditions from a physical perspective. This corroborates Powers & Orsborn (1985), who suggested that fish will be generally attracted to the area of highest momentum (flow \times velocity) when migrating upstream; therefore if multiple paths are present the fish may try to ascend the one with the highest attraction, which will be created by the greatest

combination of drop, velocity and discharge (Powers & Orsborn 1985). However, it does not exclude some obstacles being negotiated using different passageways and therefore the observations may underestimate the true range of fish capabilities.

Some brown trout leaps observed were superior to theoretical leaping capacity of the species (Beach 1984). These results confirm that the theoretical trajectories do not take into account the actual hydraulic heterogeneity used by fish, such as the velocity at the foot of a drop as well as the additional propulsive force caused by the beating caudal fins at the moment it leaves the surface of the water (Larinier 1992). Furthermore, the theoretical curves do not consider microhabitat conditions that fish probably exploit. In this study, current velocities and turbulence were not taken into consideration in the description of the obstacles because of their variability and complexity at the local scale. This suggests that it is vital to combine theoretical approaches with studies of obstacles actually cleared *in situ* to improve knowledge on fish obstacle clearance capabilities.

Information on the ability of grayling to negotiate obstacles is lacking despite the species being in decline in Western Europe (Philippart & Vranken 1983; Persat 1996). European grayling often live sympatrically with brown trout, but its behavioural plasticity is lower. For example, the grayling's migration period lasts a shorter time and is less flexible, and is therefore more susceptible to being disturbed by physical obstacles that are only passable under certain discharge conditions (Ovidio 1999; Parkinson, Philippart & Baras 1999; Ovidio *et al.* 2004). The results indicate that the grayling succeeded in swimming on a 12% slope for more than 6 m. Adult grayling are also capable of clearing obstacles with a drop height of 0.66 m, suggesting that the species can leap in some instances.

The pool/crest ratio is widely considered as an important characteristic of obstacle jumping by salmonids (Lauritzen *et al.* 2005). The 1.25 ratio has long been suggested as the optimal in fish ladder design, but Lauritzen *et al.* (2005) observed sockeye salmon jumping obstacles with a pool-crest ratio ranging from 0.68 to 1.53. In this study, the physical description of obstacles demonstrated that brown trout and European grayling leapt small falls with a pool/crest always < 1.25. River managers should therefore set the pool/crest ratio to its highest level when modifying obstacles.

Water temperature plays an important role in muscle effort efficiency and thereby on leaping and swimming capacities of fish (Wardle 1975; Evans & Johnston 1980; Beach 1984). Experimental studies

have provided a number of empirical expressions giving relations between temperature, swimming velocity, endurance, and fish size and morphology (Wardle 1975; Zhou 1982; Beach 1984). The present study, in an uncontrolled milieu, cannot provide this type of analysis, but it suggests a range of swimming and leaping capabilities of adult trout and grayling that is relatively wide. Trout and grayling managed to clear the different obstacles presented when the water temperature was between 4.6 and 19.5 °C, but within a preferential range of 10–14 °C for brown trout and 6–10 °C for European grayling. This mainly corresponds to thermal conditions that trigger the beginning of their spawning migrations, in association with flow fluctuations, in southern Belgium (Ovidio *et al.* 1998, 2004).

Based on intensive telemetry investigations and simple physical description protocol, this study brings information on obstacle typologies that may be potentially cleared by adult brown trout and grayling during their upstream migrations. The typologies presented are not exhaustive, but considering the lack of information about migration obstacles, the results contribute to a better understanding of clearing capacities of salmonids in small rivers. The study should be followed up to include more species and greater size ranges, including on other types of obstructions.

Acknowledgments

This study was financially supported by the Ministry of Agriculture of Wallonia (DGRNE-Water Division-DCENN) and by a bilateral collaboration project between Wallonia (ULg) and France (Cemagref), financed by the 'Coopération scientifique entre la communauté française de Belgique et la France; CGRI-Tournesol (Bel) and Egide (Fr)'. It is also partly a contribution of the University of Liège to the Belgian Federal Research Project Fishguard (contract SSTC EV/12/31E-2003-2006). J.C. Philippart is a research associate from the FNRS. Authors wish to thank Pascal Roger (Cemagref), Didier Coupet (Cemagref), Gilles Rimbaud (ULg) and Yvan Neus (ULg) for field support, Linda Northrup for English corrections and two anonymous referees for constructive comments on the first draft of the manuscript.

References

Area, Eau-Environnement (2002) Barrages, entraves à la dynamique biologique des rivières. Recensement des problèmes majeurs en Seine-Normandie. Corrections et

- remèdes possibles. *Rapport Diren Ile de France*. AFF01032 – 29/06/02, 27 pp (in French).
- Arnekleiv J.V. & Rønning L. (2004) Migratory patterns and return to the catch site of adult brown trout (*Salmo trutta* L.) in a regulated river. *River Research and Applications* **20**, 929–942.
- Beach M.H. (1984) *Fish Pass Design. Criteria for the Design and Approval of Fish Passes and Other Structures to Facilitate the Passage of Migratory Fishes in Rivers* Ministry of Agriculture, Fisheries and Food, Lowestoft, Fisheries Research Technical Report No. 78. 45 pp.
- Beamish F.W.H. (1978) Swimming capacity. In: W.S. Hoar & D.J. Randall (eds) *Fish Physiology, Vol. VII: Locomotion*. New York, London: Academic Press, pp. 101–189.
- Benelux X. (1996) Décision du Comité des Ministres de l'Union Economique Benelux relative à la libre circulation des poissons dans les réseaux hydrographiques du Benelux M (96)5, 2 pp (in French).
- Blake R.W. (1983) *Fish Locomotion*. Cambridge: Cambridge University Press, 208 pp.
- Dynesius M. & Nilsson C. (1994) Fragmentation and flow regulation of rivers systems in the northern third of the world. *Science* **266**, 753–762.
- Evans W.A. & Johnston F.B. (1980) Fish migration and fish passage: a practical guide to solving fish passage problems. *USDA Forest Service, Region 5*, 43.
- Holthe E., Lund E., Finstad B., Thorstad E.B. & McKinley R.S. (2005) A fish selective obstacle to prevent dispersion of an unwanted fish species, based on leaping capabilities. *Fisheries Management and Ecology* **12**, 143–147.
- Huet M. (1949) Aperçu des relations entre la pente et les populations piscicoles des eaux courantes. *Schweizerische Zeitschrift für Hydrologie* **11**, 332–351 (in French).
- Jones D.R., Kiceniuk J.W. & Bamford O.S. (1974) Evaluation of the swimming performance of several fish species from the Mackenzie River. *Journal of the Fisheries Research Board of Canada* **31**, 1641–1647.
- Jungwirth M. (1998) River continuum and fish migration—Going beyond the longitudinal river corridor in understanding ecological integrity. In: M. Jungwirth, S. Schmutz & S. Weiss (eds) *Fish Migration and Fish Bypasses*. Oxford: Blackwell Science, pp. 127–145.
- Larinier M. (1992) Facteurs biologiques à prendre en compte dans la conception des ouvrages de franchissement, notions d'obstacles à la migration. *Bulletin Français de la Pêche et de la Pisciculture* **326–327**, 20–29.
- Larinier M. (2001) Environmental issues, dams and fish migration. In: G. Marmulla (ed.) *Dams, Fish and Fisheries. Opportunities, Challenges and Conflict Resolution*. Rome: FAO Fisheries Technical Paper No. 419, pp. 45–90.
- Lauritzen D.V., Hertel F. & Gordon M.S. (2005) A kinematic examiner of wild sockeye salmon jumping up natural waterfalls. *Journal of Fish Biology* **67**, 1010–1020.
- Malavoi J.R. (2003) Stratégie d'intervention de l'agence de l'eau sur les seuils en rivière. *Rapport Agence de l'Eau Loire-Bretagne*. AFF02011 – 10/06/03, 125 pp (in French).
- Northcote T.G. (1998) Migratory behaviour of fish and its significance to movement through riverine fish passage facilities. In: M. Jungwirth, S. Schmutz & S. Weiss (eds) *Fish Migration and Fish Bypasses*. Oxford: Blackwell Science, pp. 3–18.
- Ovidio M. (1999) Cycle annuel d'activité de la truite commune (*Salmo trutta* L.) adulte: étude par radio-pistage dans un cours d'eau de l'Ardenne belge. *Bulletin Français de la Pêche et de la Pisciculture* **352**, 1–18 (in French).
- Ovidio M. & Philippart J.C. (2002) The impact of small physical obstacles on upstream movements of six species of fish. Synthesis of a 5-year telemetry study in the River Meuse Basin. *Hydrobiologia* **483**, 55–69.
- Ovidio M., Baras E., Goffaux D., Birtles C. & Philippart J.C. (1998) Environmental unpredictability rules the autumn migrations of trout (*Salmo trutta*) in the Belgian Ardennes. *Hydrobiologia* **371/372**, 262–273.
- Ovidio M., Parkinson D., Sonny D. & Philippart J.C. (2004) Spawning movements of European grayling *Thymallus thymallus* (L.) in the Aisne (Belgium). *Folia Zoologica* **53**, 87–98.
- Parkinson D., Philippart J.C. & Baras E. (1999) A preliminary investigation of spawning migrations of grayling in a small stream as determined by radio-tracking. *Journal of Fish Biology* **55**, 172–182.
- Peake S., McKinley R.S. & Scruton D.A. (1997) Swimming performance of various freshwater Newfoundland salmonids relative to habitat selection and fishway design. *Journal of Fish Biology* **51**, 710–723.
- Persat H. (1996) Threatened populations and conservation of the European grayling *Thymallus thymallus* (L., 1758). In: A. Kirchofer & D. Hefti (eds) *Conservation of Endangered Freshwater Fish in Europe*. Basel, Switzerland: Verlag, pp. 233–247.
- Philippart J.-C. & Vranken M. (1983) Atlas des Poissons de Wallonie, distribution, écologie, éthologie, pêche, conservation. *Cahiers d'Ethologie Appliquée* **3**, 395 pp (in French).
- Powers P.D. & Orsborn J.F. (1985) *Analysis of Barriers to Upstream Fish Migration. An Investigation of the Physical and Biological Conditions Affecting Fish Passage Success at Culverts and Waterfalls*. US Department of Energy, Bonneville Power Administration, Division of Fish and Wildlife, Final Project Report Part 4 of 4 n DOE/BP-36523–1, Project No. 198201400, 134 pp.
- Slatik E. (1970) *Passage of Adult Salmon and Trout Through Pipes*. US Fish and Wildlife Service, Special Scientific Report-Fisheries No. 92, 18 pp.
- Souchon Y. & Trocherie F. (1990) Technical aspects of French legislation dealing with freshwater fisheries (June

- 1984): 'Fisheries orientation schemes' and 'fishery resources management plans'. In: W.L.T. Van Densen, B. Steinmetz & R.H. Hughes (eds) *Management of Freshwater Fisheries*. Wageningen: Pudoc, pp. 190–241.
- Stahlberg S. & Peckmann P. (1987) The critical swimming speed of small teleost fish species in a flume. *Archiv für Hydrobiologie* **110**, 179–193.
- Stuart T.A. (1962) The leaping behaviour of salmon and trout at falls and obstructions. *Freshwater and Salmon Fisheries Research* **28**, 1–46.
- Videler J.J. (1993) *Fish Swimming*. London: Chapman & Hall, 260 pp.
- Wardle C.S. (1975) Limit of fish swimming speed. *Nature* **255**, 725–727.
- Zhou Y. (1982) *The Swimming Speed of Fish in Towed Gears, a Re-examination of the Principles*. Department of Agriculture and Fisheries for Scotland, Working Paper No. 4, 55 pp.