



5^{ème} rencontre de l'Hydroélectricité
Nuits-Saint-Georges, 20 octobre 2017



Les dispositifs de franchissements piscicoles : présentation, retour d'expériences et évolution

P. Sagnes, D. Courret & S. Richard

Pôle R&D "écohydraulique" AFB-IMFT

pierre.sagnes@afbiodiversite.fr



**AGENCE FRANÇAISE
POUR LA BIODIVERSITÉ**

ÉTABLISSEMENT PUBLIC DE L'ÉTAT

Plan de l'exposé

Introduction

Les besoins de déplacement des poissons
Impacts potentiels des ouvrages transversaux
Choix et dimensionnement des dispositifs : nécessité de diagnostic

Les dispositifs de franchissement à la montaison

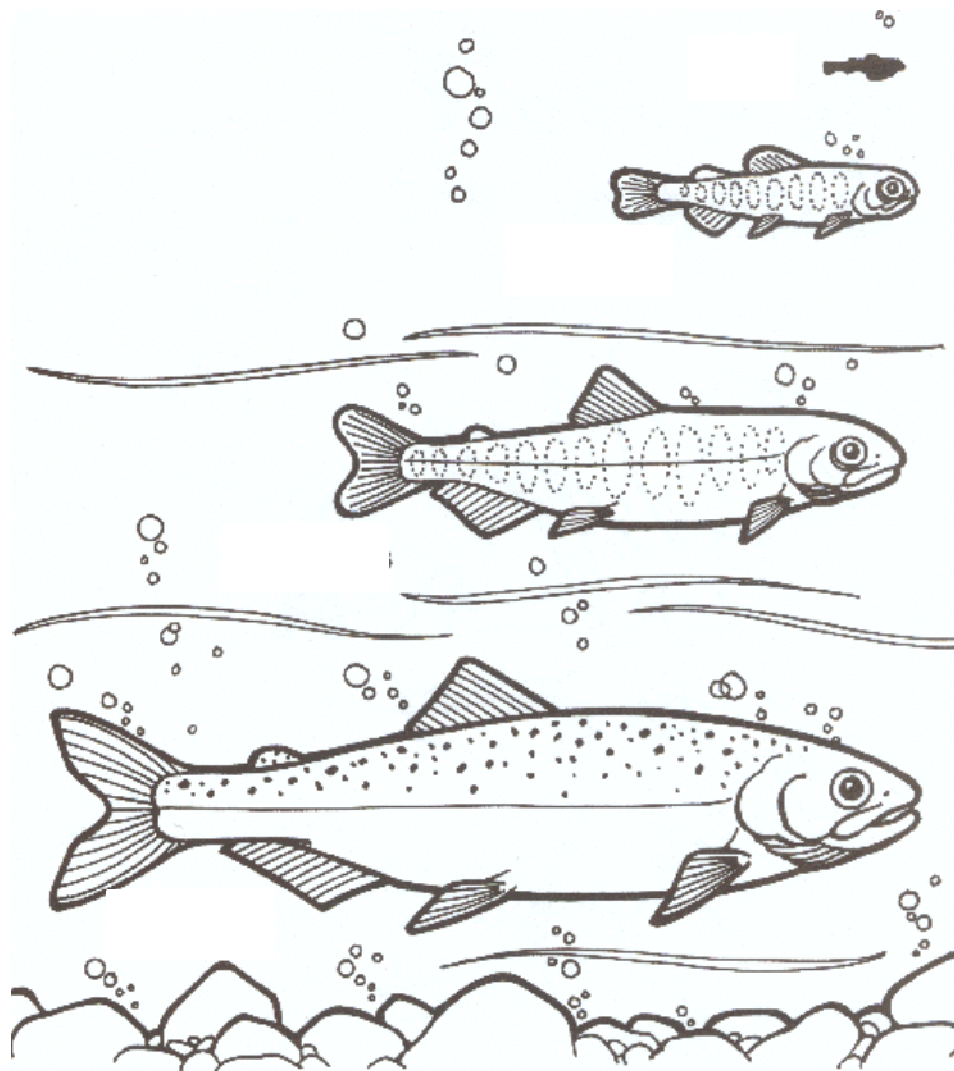
Les différents dispositifs : avantages/inconvénients/coût/REx
Recherche et développements actuels

Les dispositifs de franchissement à la dévalaison

Les différents dispositifs : avantages/inconvénients/coût/REx
Recherche et développements actuels

Echanges avec l'AFB et outils disponibles

Introduction : les besoins de déplacement des poissons



Habitats

(prédateurs,
hydraulique,
thermique...)

REFUGE

REPOS

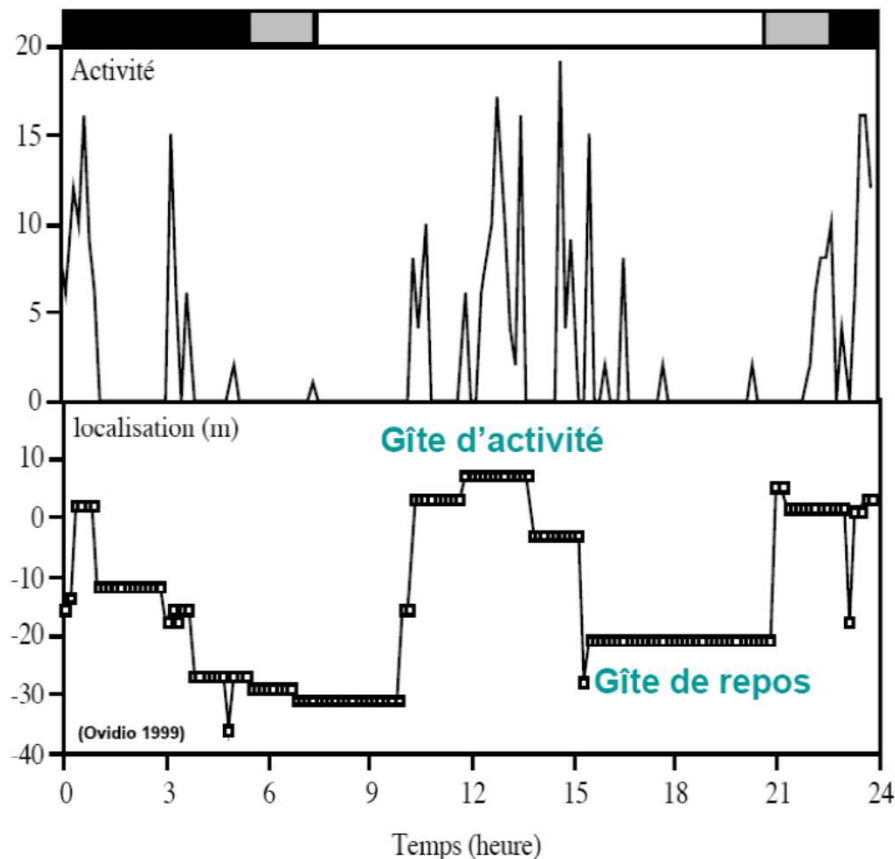
ALIMENTATION

REPRODUCTION

Introduction : les besoins de déplacement des poissons

Mobilité journalière :

Ex : suivi d'une truite dans l'Aisne - migration holobiotique (Ovidio et al. 2007)



Truite de 280mm - 305g suivie dans l'Aisne en juillet

Mobilité active et périodique à l'échelle du cycle journalier



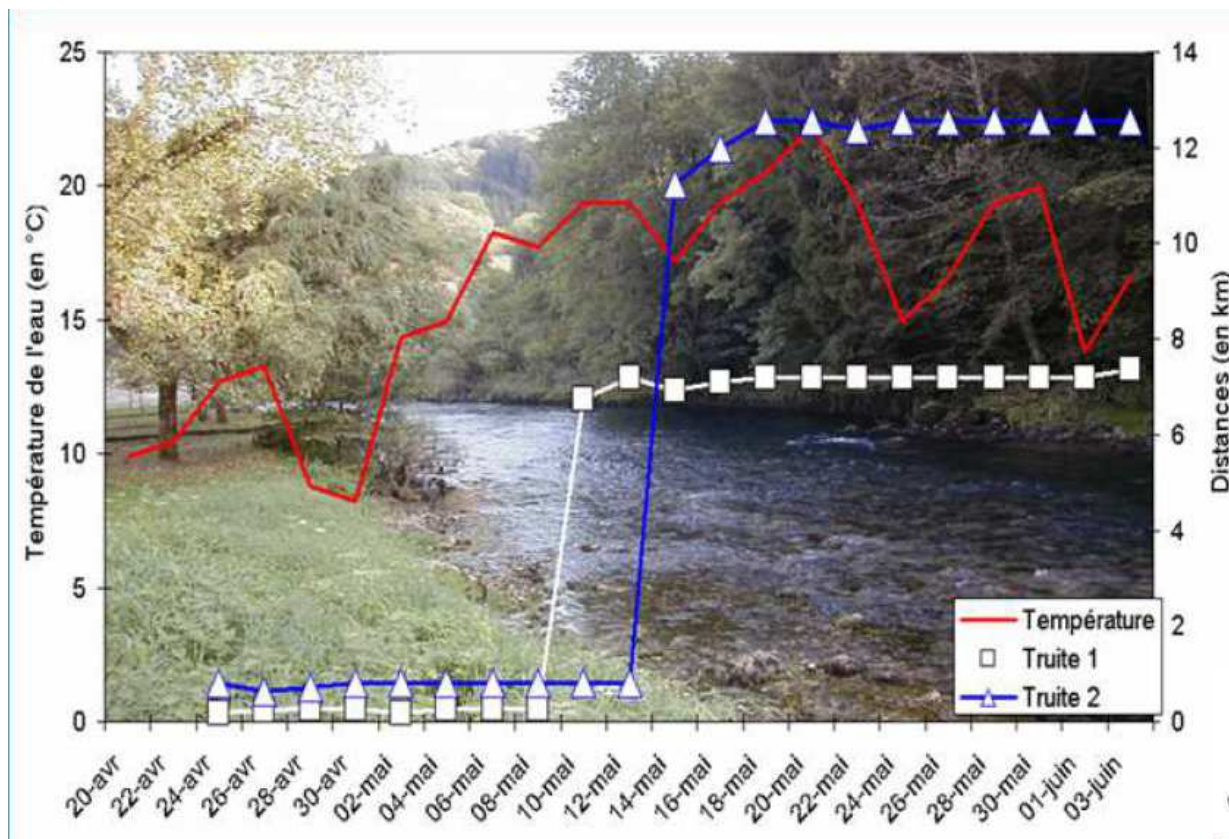
(Ovidio et al., 2007)



Introduction : les besoins de déplacement des poissons

Mobilité saisonnière :

Ex : suivi de 22 truites - migration holobiotique (*Meyers et al. 1992*)



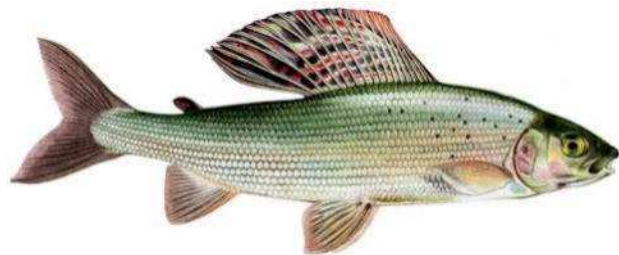
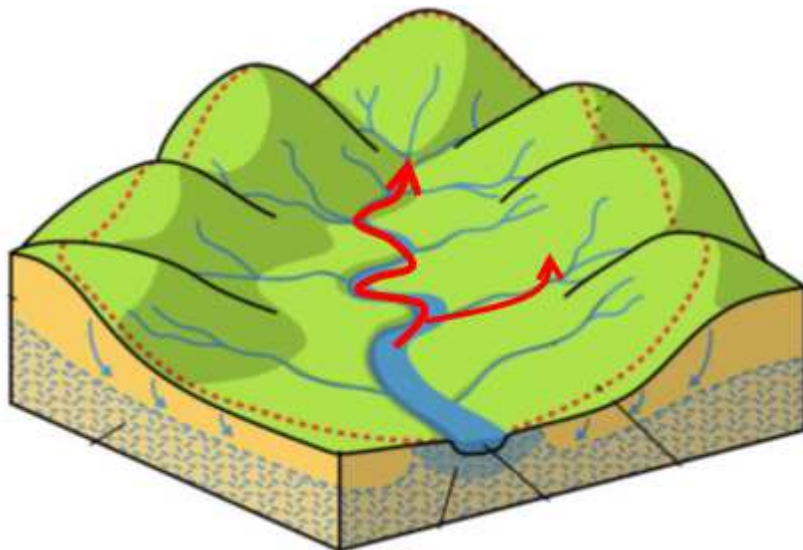
- Mouvements de montaison à la recherche d'un habitat favorable lors d'épisodes défavorables (réchauffement des eaux)
- Truites quittant la rivière principale pour remonter dans les tributaires (distances parcourues > 10 km)



Introduction : les besoins de déplacement des poissons

Mobilité annuelle, à plus large échelle :

Ex : reproduction de certains salmonidés - migration holobiotique



Introduction : les besoins de déplacement des poissons

Mobilité annuelle, à plus large échelle :

Ex : reproduction des Cyprinidés rhéophiles - migration holobiotique



Hotu (*Chondrostoma nasus*)



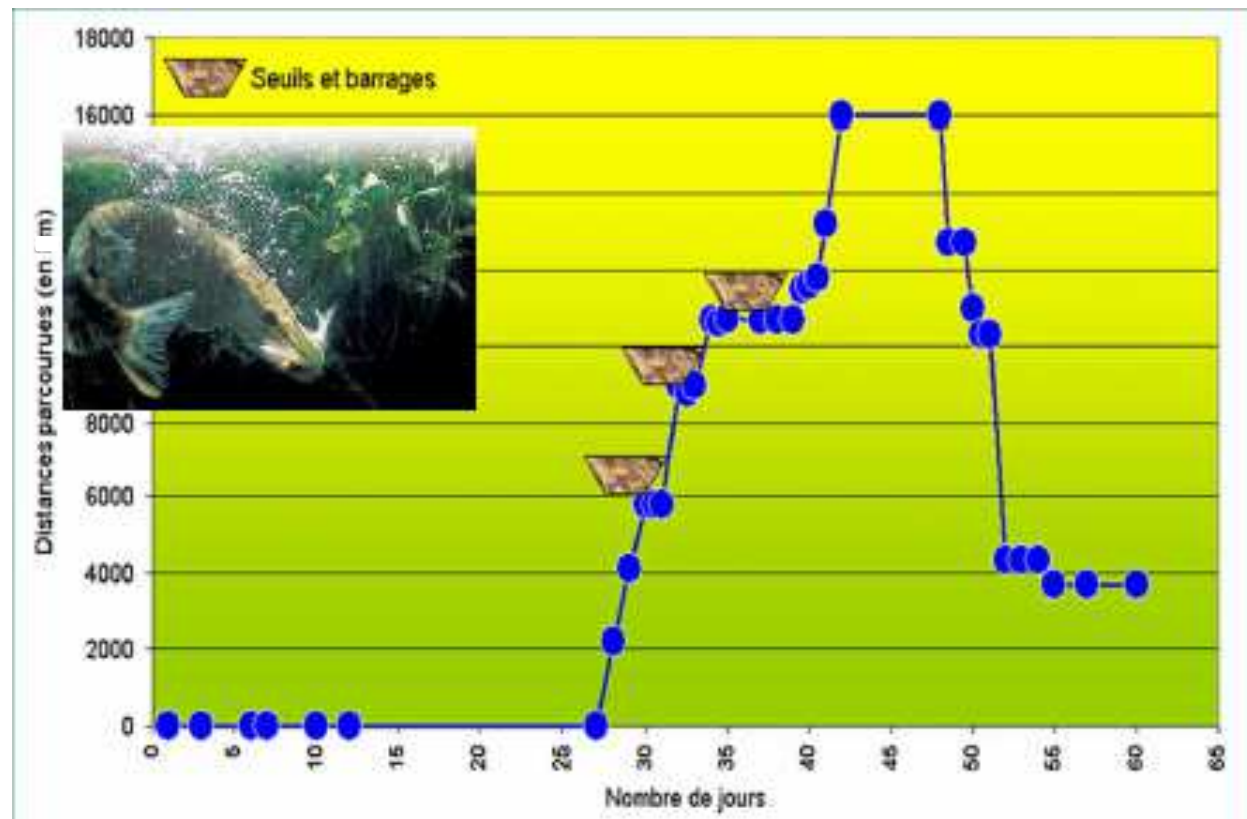
Barbeau fluviatile (*Barbus barbus*)



Introduction : les besoins de déplacement des poissons

Ex¹ : Suivi par radiopistage d'espèces holobiotiques dans les Ardennes belges – Distances moyennes parcourues :

- Truite : 9 km
- Ombre : 2.3 km
- Barbeau : 3.5 km
- Brochet : 8 km



¹ Ovidio et Philippart, 2002. *The impact of small physical obstacles on upstream movements of six species of fish.* *Hydrobiologia*, 483: 55-69.

Introduction : les besoins de déplacement des poissons

Mobilité latérale :

Ex : reproduction du brochet - migration holobiotique



Introduction : les besoins de déplacement des poissons

A la dévalaison :

Ex : Suivi de l'exutoire de Lorcé sur l'Amblève (Belgique) :

– Module de 19.3 m³/s ; zone à ombre

– Prise d'eau de 29 m³/s, équipée d'un plan de grille à 41 mm avec un exutoire de 0.2 m³/s

– 188 contrôles d'un piège de dévalaison (hors coups d'eau > 30 m³/s)

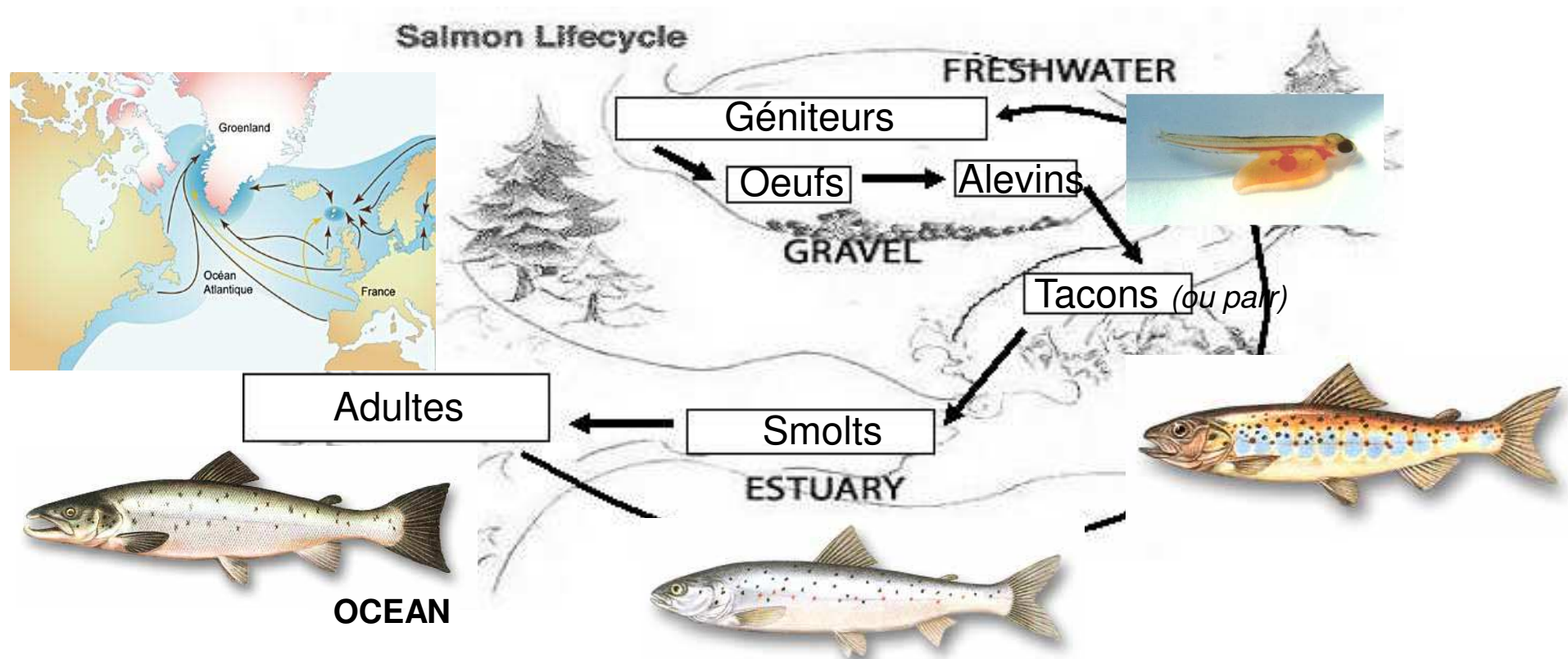
→ 1931 individus appartenant à 24 espèces différentes (biomasse totale de 211.9 kg)

Espèces		Nb	Biomass (g)
Nom latin	Nom vernaculaire		
<u>Salmonidés</u>			
<i>Salmo trutta</i>	Truite commune	295	48458
<i>Salmo trutta</i>	Smolt truite de mer	169	9455
<i>Thymallus thymallus</i>	Ombre commun	9	2596
<i>Salmo salar</i>	Smolt de saumon atlantique*	1176	42220
<i>Salmo salar</i>	Tacon de saumon atlantique*	46	1500
<i>Oncorhynchus mykiss</i>	Truite AEC**	37	21394
<i>Oncorhynchus mykiss</i>	Smolt truite AEC**	1	297
<i>Salvelinus fontinalis</i>	Omble de fontaine**	5	2487
<u>Cyprinidés</u>			
<i>Barbus barbus</i>	Barbeau fluviatile	15	1377
<i>Leuciscus cephalus</i>	Chevaine	13	9515
<i>Leuciscus leuciscus</i>	Vandoise	33	3965
<i>Leuciscus idus</i>	Idé mélanote	2	212
<i>Rutilus rutilus</i>	Gardon	14	533
<i>Abramis brama</i>	Brème commune	2	403
<i>Tinca tinca</i>	Tanche	1	2509
<i>Cyprinus carpio</i>	Carpe	2	10100
<i>Ctenopharyngodon idella</i>	Carpe herbivore**	8	11646
<i>Gobio gobio</i>	Goujon	3	59
<i>Alburnoides bipunctatus</i>	Ablette spirin	15	72
<i>Phoxinus phoxinus</i>	Vairon	2	9
<u>Autres espèces</u>			
<i>Anguilla anguilla</i>	Anguille	32	41458
<i>Lamprologus planeri</i>	Lamproie de planer	17	93
<i>Perca fluviatilis</i>	Perche	4	412
<i>Gymnocephalus cernuus</i>	Gremille	1	32
<i>Ameiurus melas</i>	Poisson chat**	1	249
<i>Barbatula barbatula</i>	Loche franche	10	46
<i>Gasterosteus aculeatus</i>	Épinoche	18	34
Total		1931	211931

Introduction : les besoins de déplacement des poissons

Mobilité au cours du cycle de vie, à très large échelle :

Ex : reproduction du saumon Atlantique (*Salmo salar*) - migration amphibiotique



Introduction : les besoins de déplacement des poissons

Les espèces amphibiotiques métropolitaines (échelles non respectées)

Espèces potamotoques

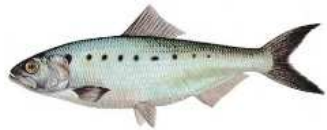
Ponte en eau douce (migration anadrome)
croissance en mer



Saumon atlantique
(*Salmo salar*)



Truite commune
(*Salmo trutta trutta*, forme marine)



Alose feinte
(*Alosa fallax*)



Grande alose
(*Alosa alosa*)



Alose feinte du Rhône
(*Alosa fallax rhodansensis*)



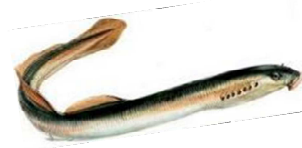
Esturgeon européen
(*Acipenser sturio*)



Eperlan
(*Osmerus eperlanus*, forme marine)



Lamproie marine
(*Petromyzon marinus*)



Lamproie de rivière
(*Lampetra fluviatilis*)

Espèces thalassotoques

Ponte en mer (migration catadrome)
croissance en eau douce



Anguille
(*Anguilla anguilla*)

Source : L'anguille européenne, Tour du Valat 2013



Flet
(*Platichthys flesus*)

Introduction : les besoins de déplacement des poissons

Pourquoi les poissons effectuent des migrations ?

- Rejoindre des habitats de reproduction adéquats
- Trouver des habitats de croissance : mécanismes de dérive-dispersion des alevins par ajustement à la capacité d'accueil
- Mouvements périodiques entre les habitats de nutrition et de repos (cycle journalier)
- Fuir de mauvaises conditions d'habitat (hausse de la température, dégradation physico-chimique)

Facteurs influençant les migrations de poissons :

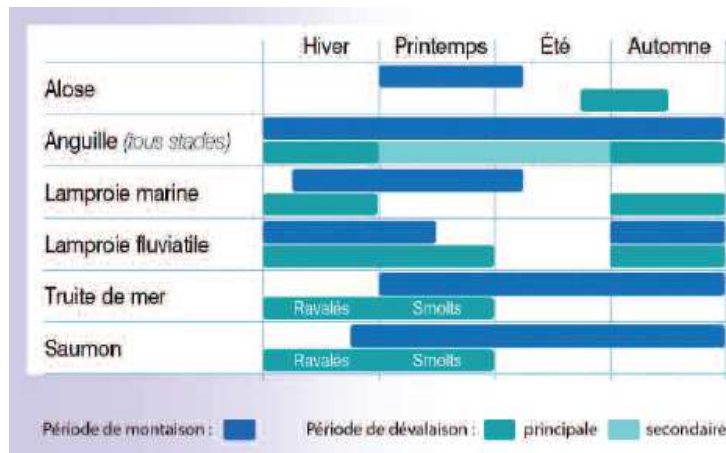
- Rythme annuel (saison, photopériode)
- Température
- Débit
- Rythme nycthémeral (jour/nuit)

Connaitre au mieux ces facteurs pour bien estimer les fenêtres de migration
→ adaptation des modes de gestion et/ou des dispositifs de franchissement

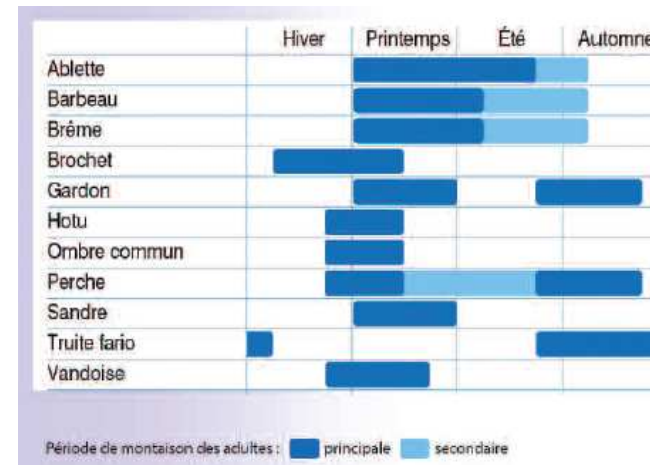
Introduction : les besoins de déplacement des poissons

Périodes de migration

Espèces amphibiotes



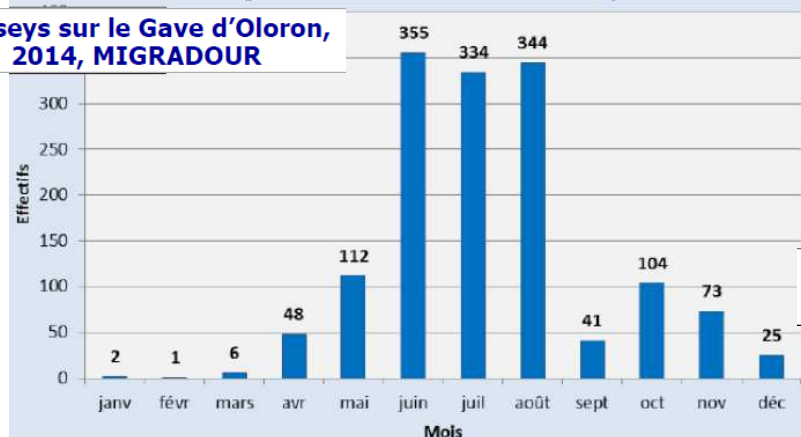
Espèces holobiotiques



Plus précisément, à l'échelle d'un site...

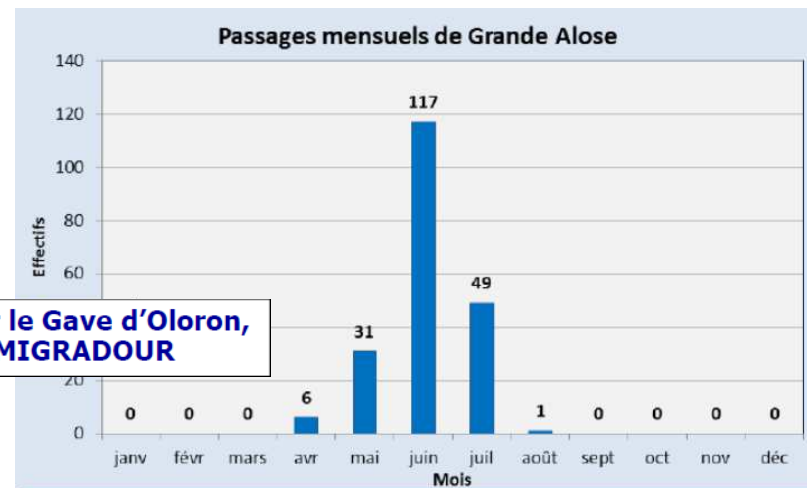
Passages mensuels du Saumon atlantique

Masseys sur le Gave d'Oloron, 2014, MIGRADOUR



Passages mensuels de Grande Alose

Masseys sur le Gave d'Oloron, 2014, MIGRADOUR



Introduction : impacts potentiels des ouvrages transversaux

Impacts pendant :

- la construction
- l'exploitation
- la maintenance
- la rénovation
- le démantèlement

Modifications **physiques aval**

Modification du régime :
hydrologique / thermique
Réduction du transport de sédiments
Changement de qualité d'eau
Changements morphologiques

Changement des **communautés**

effets directs : blocage des migrations, mortalité dans les turbines
effets indirects : modification de la végétation riparienne, de la production primaire, développement d'espèces indésirables...

Modifications **physiques amont**

Modification du régime thermique
Accumulation de sédiments
Augmentation de l'évaporation
Rejet de gaz à effet de serre
Changement de qualité d'eau
Changements morphologiques
(ennoiment d'habitats favorables)

Karcham Wangtoo, la plus grande centrale privée en Inde (source : Jaiprakash Hydropower Limited)

cette présentation

Introduction : choix et dimensionnement des dispositifs, nécessité de diagnostic

Les dispositifs de franchissement sont des mesures de réduction d'impact, car ils **ne rétablissent que partiellement la continuité** :

- Sélectifs (espèce, taille...)
- Presque jamais 100% d'efficacité, toujours un effet retard
- Ne concernent pas le transit sédimentaire

➔ Besoin d'un diagnostic précis pour proposer la meilleure solution de franchissement

➔ *Pour quel problème ?*

Pour qui ?

Quand ?

Où ?

Comment ?

Introduction : choix et dimensionnement des dispositifs, nécessité de diagnostic

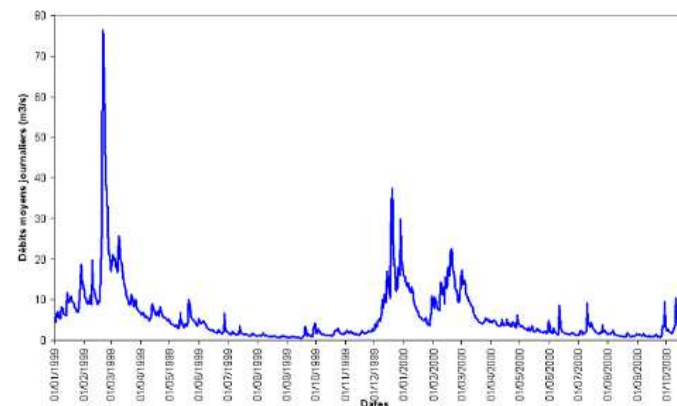
Pour quel problème ?
(montaison, dévalaison,
hauteur de chute,
impacts cumulés ?)



Pour qui ?
(espèces,
habitats
favorables ?)



Quand ?
(quels débits aux
périodes de migration ?)



Introduction : choix et dimensionnement des dispositifs, nécessité de diagnostic

Où ?
(meilleur
positionnement
pour optimiser
l'attractivité ?)



Comment ?
(quel type de dispositif ?)



Introduction : choix et dimensionnement des dispositifs, nécessité de diagnostic

Choix et dimensionnement en fonction :

- du problème posé
- des espèces considérées et leur capacités de nage
- des caractéristiques du cours d'eau (débits, niveaux d'eau) aux périodes considérées
- du foncier dont on dispose
- du budget

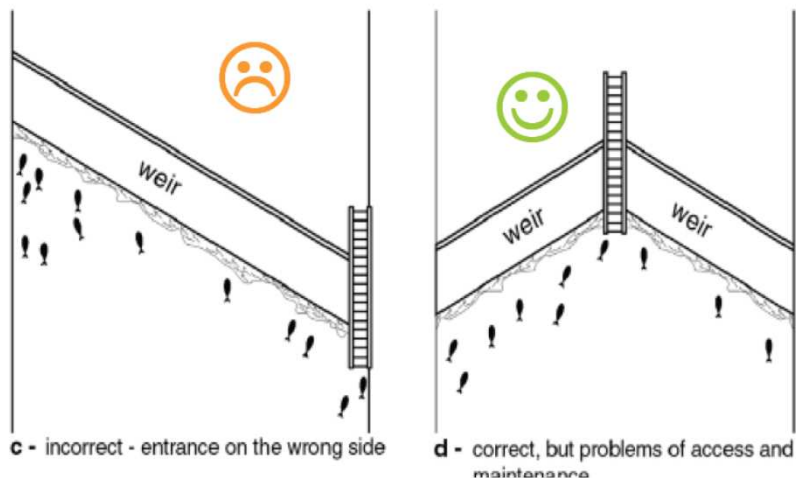
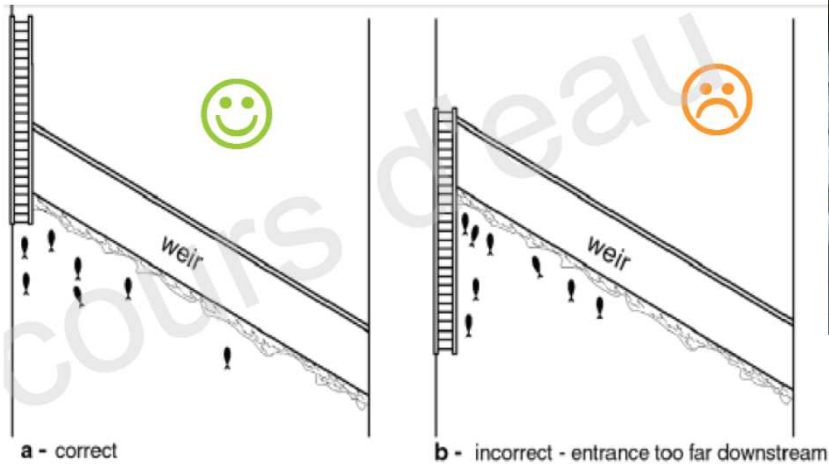
De manière plus précise, attention à...

- l'attractivité
- le calage des niveaux d'eau amont-aval
- les conditions hydrauliques (vitesses, puissance dissipée) adaptées aux espèces concernées
- la présence éventuelle de zones de repos
- la nécessité d'entretien

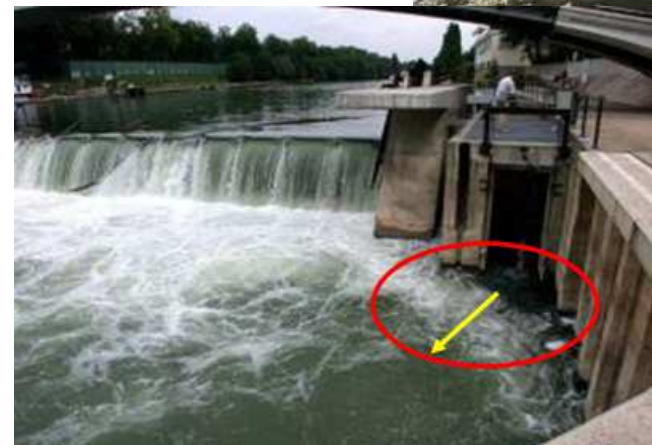
Les dispositifs de franchissement à la montaison

Optimiser l'attractivité

Positionnement



Lisibilité de l'écoulement



Les dispositifs de franchissement à la montaison

Optimiser l'attractivité

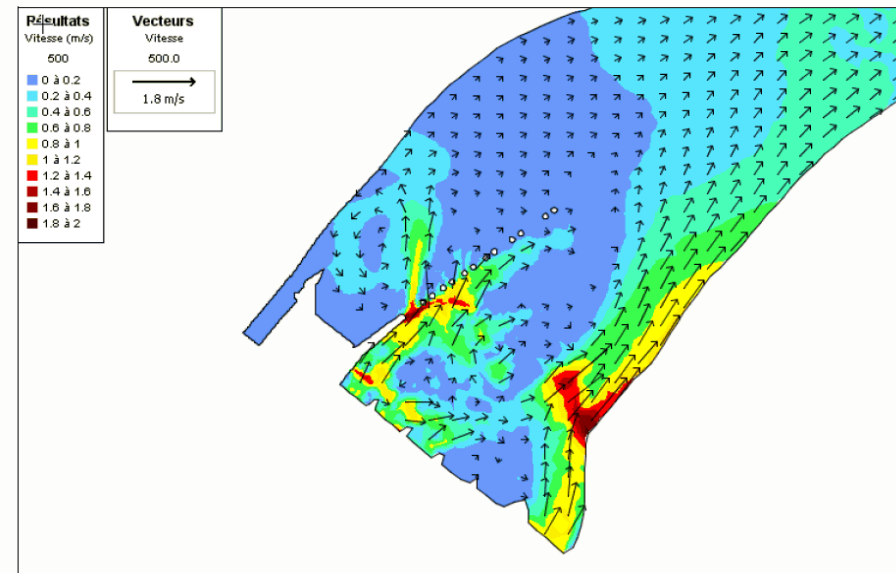
Parfois, choix de la zone d'implantation grâce à :

Observations :

accumulation de poissons dans les zones attractives

Modélisation :

estimation des zones attractives en fonction du débit



Les dispositifs de franchissement à la montaison

Les passes à ralentisseurs

- Premiers développements par DENIL (1908, barrage d'Angleur sur l'Ourthe, Belgique)
- Nombreuses études sur modèles réduits et *in situ* (USA, France, Canada) pour simplifier les formes des déflecteurs et optimiser l'efficacité hydraulique



Angleur (Ourthe - B)



Halsou (Nive)



Tullières (Dordogne)



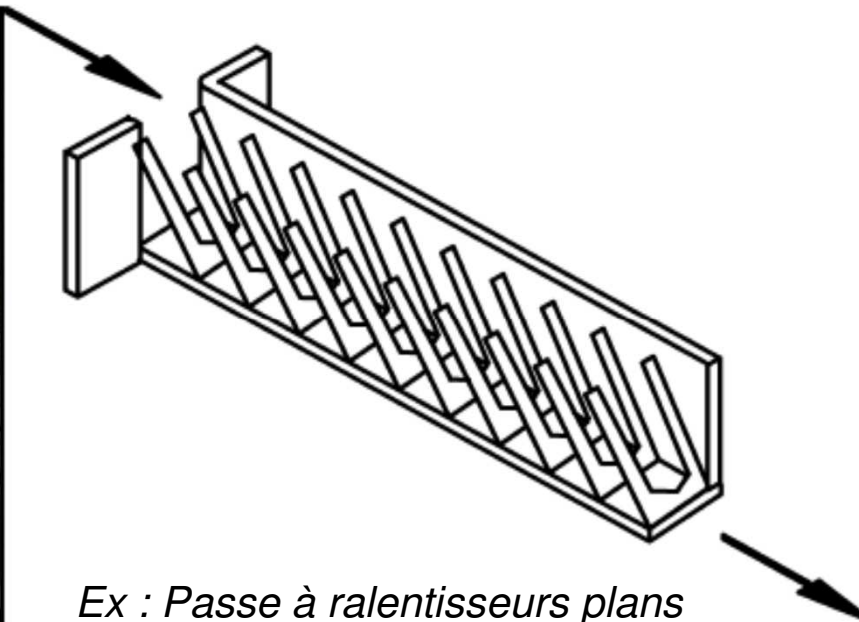
Augst (Rhin)

Les dispositifs de franchissement à la montaison

Les passes à ralentisseurs

Principe

- canal rectiligne à pente relativement forte
- des déflecteurs réduisent les vitesses moyennes et dissipent l'énergie
- le poisson franchit la rampe en une fois



Ex : Passe à ralentisseurs plans

Les dispositifs de franchissement à la montaison

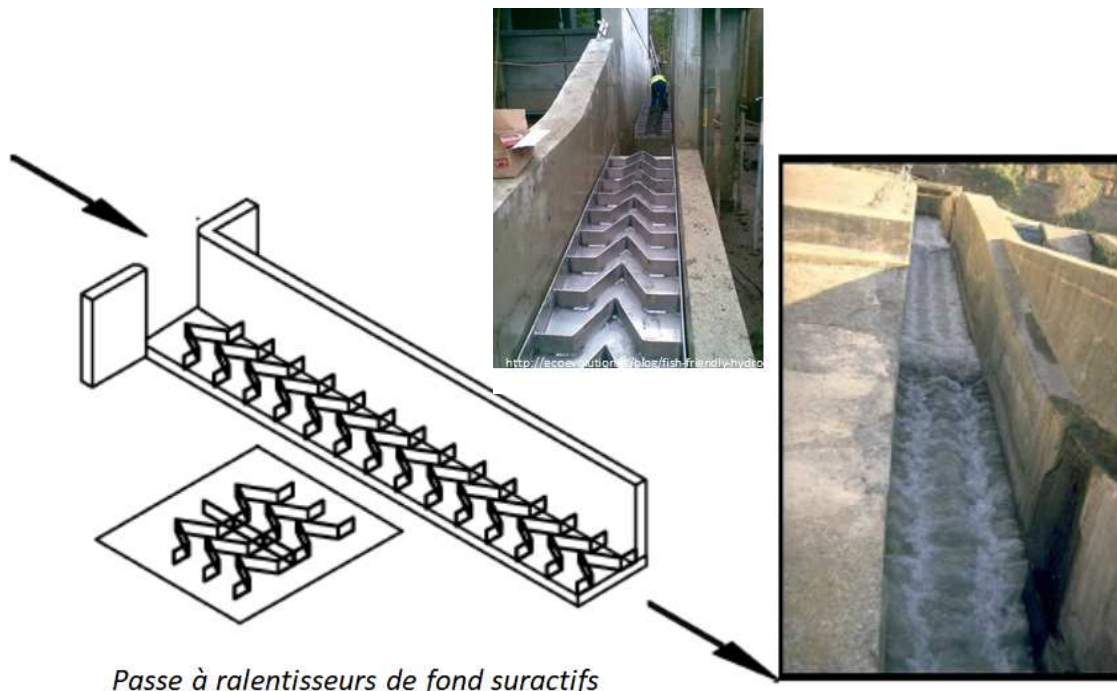
Les passes à ralentisseurs

Pente entre 10 et 20%

Equipé de déflecteurs (ralentisseurs) sur le fond
et/ou sur les côtés

Courants hélicoïdaux

Espèces à fortes capacités de nage (ex : grands salmonidés)



Les dispositifs de franchissement à la montaison

Les passes à bassins successifs

Principe :

- Scinder la chute totale en une succession de petites chutes
- Dissiper l'énergie des chutes dans des bassins

En offrant :

- Un passage ± aisé pour les poissons (temps de séjour réduit, pas de piégeage)
- Des zones de repos



Les dispositifs de franchissement à la montaison

Les passes à bassins successifs



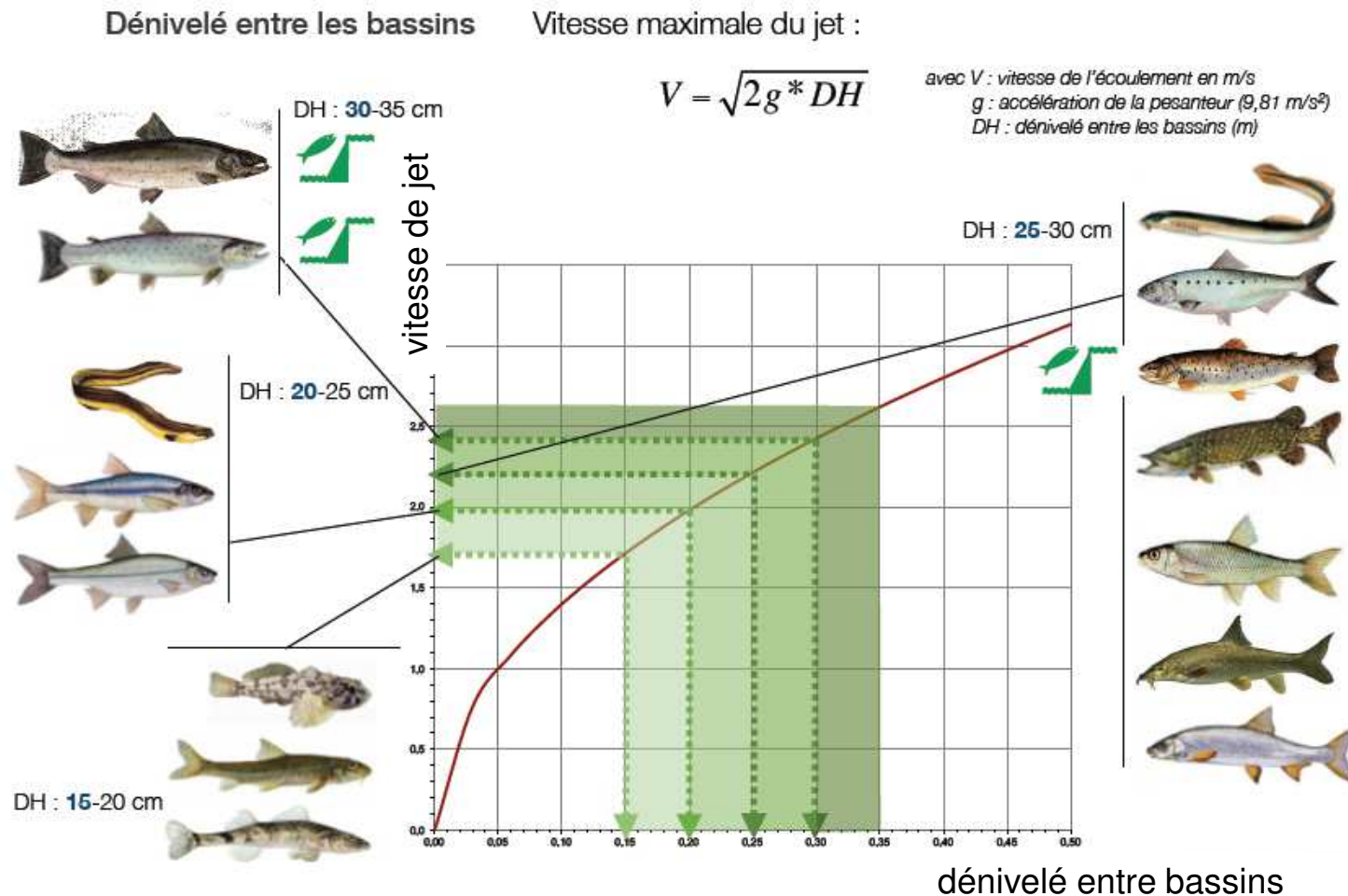
Très grande diversité de types,
en fonction du contexte, des espèces, des contraintes



Les dispositifs de franchissement à la montaison

Les passes à bassins successifs

Un des critères de dimensionnement : le dénivelé entre les bassins



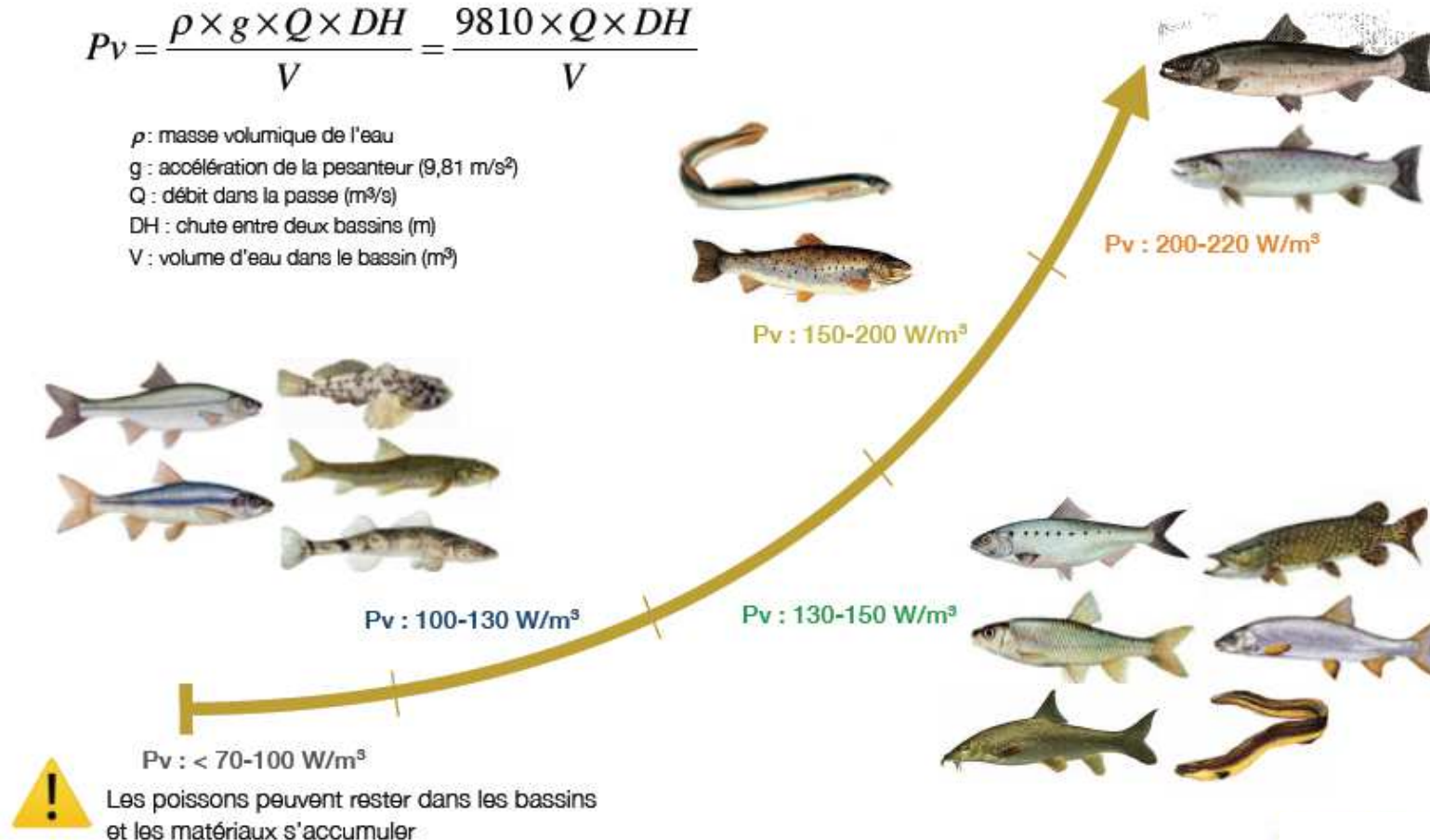
Les dispositifs de franchissement à la montaison

Les passes à bassins successifs

Autre critère de dimensionnement : la puissance dissipée volumique P_v

$$P_v = \frac{\rho \times g \times Q \times DH}{V} = \frac{9810 \times Q \times DH}{V}$$

ρ : masse volumique de l'eau
 g : accélération de la pesanteur (9,81 m/s²)
 Q : débit dans la passe (m³/s)
 DH : chute entre deux bassins (m)
 V : volume d'eau dans le bassin (m³)



Les dispositifs de franchissement à la montaison

Les passes à bassins successifs

Facilitation du passage des petites espèces et des anguilles



Entretien



Les dispositifs de franchissement à la montaison

Les passes à bassins successifs

Retour d'expérience



Ex : passe de Bergerac (Dordogne)

- une trentaine d'espèces
- 40 000 à 150 000 aloses
- 400 à 1100 saumons
- 1 000 à 10 000 barbeaux et brèmes
- > 100 000 anguillettes

Les dispositifs de franchissement à la montaison

Les passes à bassins successifs

Retour d'expérience *Comptage passe à bassins – Barrage de Masseys – Gave d'Oloron*

	Saumon	Truite de mer	Fario Truite	Arc en ciel Truite	Lamproie	Alose	Anguille	Anguille dévalante	Chevesne	Barbeau	Ombre commun
Total de 2011	1721	1447	1578	110	10756	368	168	122	1504	541	2
Total 2012	1264	2493	2162	25	11220	60	417	70	8605	923	2
Total 2013	1088	3168	1068	48	1621	513	577	9	493	671	1
Total 2014	1445	2295	1264	29	1396	204	691	15	288	323	3
Total 2015	2329	2532	1688	73	2197	65	2459	11	903	386	2

Les dispositifs de franchissement à la montaison

Les passes à bassins successifs

Notion de coût

Pour mieux
affirmer
nos missions,
le Demogref
devient Irstea



Pôle Ecohydraulique



352, avenue Roger Tissandlé

31 600 MURET

Tél.: 05.62.20.98.24

*Mise au point d'outils d'estimation
du coût des passes à poissons*

(54 seuils équipés de PAB étudiés)

	2013		2001	
	CHUTE (m)	MODULE (m ³ /s)	CHUTE (m)	MODULE (m ³ /s)
Moyenne	2,6	64	3,0	40
Mediane	2,0	34	2,7	20
Min	1,2	0	0,1	0
Max	8,4	480	15,2	320
1er quartile	1,8	6	2,1	7
3ème quartile	2,8	91	3,4	47
1er décile	1,5	1	1,6	3
Dernier décile	4,0	126	4,8	97

Tableau 10 : Caractéristiques générales (chute et module) des 54 seuils équipés de passes à bassins étudiés en 2013.

Avril 2015

Les dispositifs de franchissement à la montaison

Les passes à bassins successifs

Notion de coût

	2014			
	Coût au 01/01/2014 (€)	Coût/m de chute (€)	Coût/m ³ GC (€)	Coût/m de chute/QPAP (€)
Moyenne	354529	158644	1371	234994
Mediane	224420	101378	1272	176536
Min	35937	16274	269	52663
Max	1645084	560574	2912	1368581
1er quartile	117400	46970	914	132655
3ème quartile	556516	203190	1823	262124
1er décile	51567	27646	650	117485
Demier décile	679917	413267	2222	394714

- **Modèle 1 : Hauteur de chute et module**

$$\text{Coût Total (K€)} = 54.1 (\pm 28.5) \times \text{Hauteur Chute (m)} + 3.45 (\pm 0.87) \times \text{Module (m}^3 \cdot \text{s}^{-1})$$

- **Modèle 2 : Hauteur de chute et débit dans la passe**

$$\text{Coût/m de chute (K€)} = 161.58 (\pm 19.9) \times \text{QPAB (m}^3 \cdot \text{s}^{-1})$$

- **Modèle 3 : Volume du génie civil**

$$\text{Coût Total (K€)} = 0.974 (\pm 0.185) \times \text{VGC (m}^3)$$

Les dispositifs de franchissement à la montaison

Les pré-barrages



Principe similaire à celui des passes à bassins (succession de chutes).

Seuils déversants, munis d'échancrures rectangulaires ou triangulaires.

Adapté aux seuils de faible hauteur et configuration particulière de rivière (bras...).

Les dispositifs de franchissement à la montaison

Les pré-barrages

Notion de coût (34 ouvrages étudiés)

Nombre ouvrages	5		29	
	2014		2001	
	CHUTE (m)	MODULE (m ³ /s)	CHUTE (m)	MODULE (m ³ /s)
Moyenne	3.4	9	1.7	31
Mediane	2.0	3	1.6	20
Min	1.0	0.1	0.9	1
Max	9.8	26	4.2	125
1er quartile	1.1	0.2	1.3	14
3ème quartile	3.1	19	2.0	47
1er décile	1.0	0.1	1.1	2
Dernier décile	7.1	23	2.3	52

	2013				2001	
	Coût total date de construction	Coût au 01/01/2014	Coût/m Chute/QPAP au 01/01/2014	Coût/m ³ GCau 01/01/2014	Coût au 01/01/2014	Coût/m Chute/QPAP
	(€)	(€)	(€)	(€)	(€)	(€)
Moyenne	96567	108678	136	525	600448	107
Mediane	74080	77154	59	701	443814	69
Min	23683	28024	56	206	90958	
Max	191000	203127	381	776	5307911	
1er quartile	35391	41877	58	214	192432	30
3ème quartile	158682	193209	129	730	711635	110
1er décile	28365	33655	57	209	116357	14
Dernier décile	178073	199160	280	757	1118894	823

Les dispositifs de franchissement à la montaison

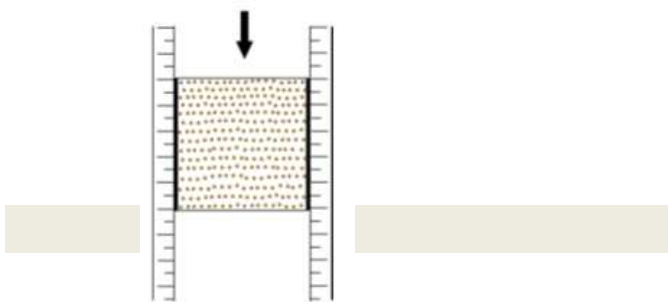
Les passes "naturelles" ou "rustiques" ou "seuils franchissables par conception"

Dispositifs **multi-spécifiques**

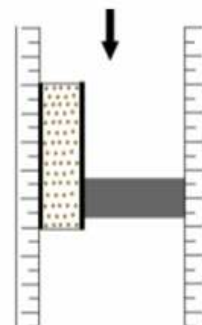
Limités à des **hauteurs de chute modérées**

3 types :

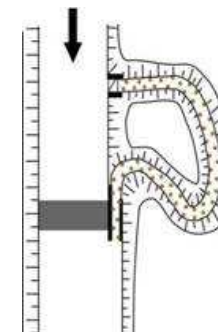
- Rampe sur toute la largeur du cours d'eau



- Rampe sur une partie de la largeur



- Rivière de contournement



Les dispositifs de franchissement à la montaison

Les passes "naturelles" ou "rustiques"



Enrochements en rangées périodiques

Les dispositifs de franchissement à la montaison

Les passes "naturelles" ou "rustiques"



Rivière de contournement de Chatillon sur Lison (Loue)

Les dispositifs de franchissement à la montaison

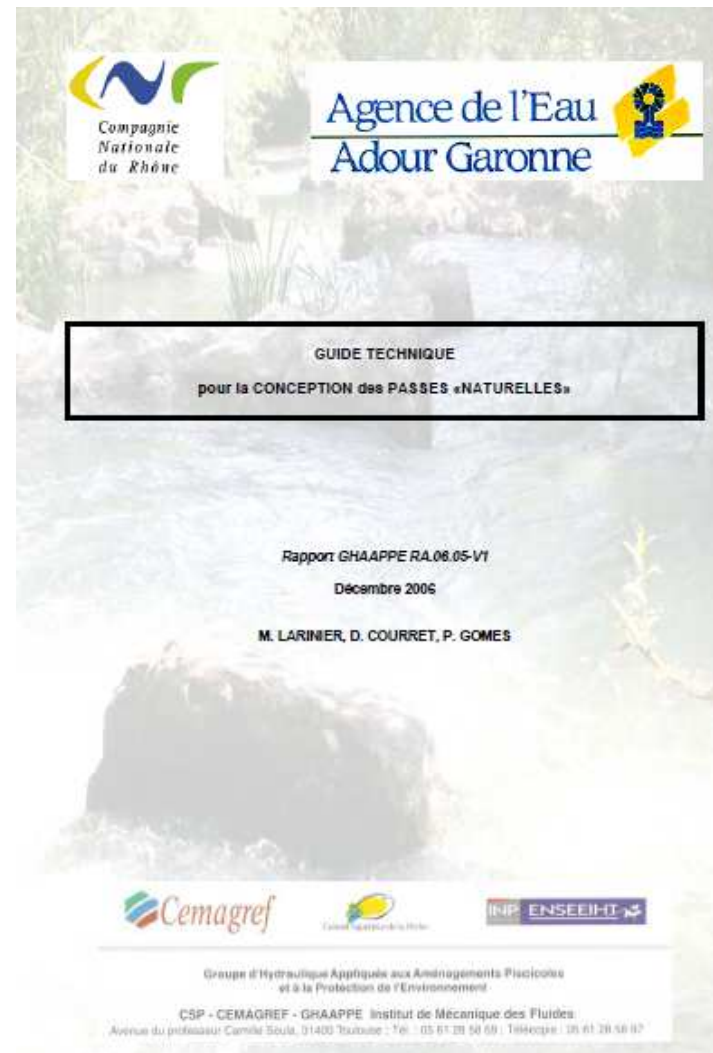
Les passes "naturelles" ou "rustiques"



Les dispositifs de franchissement à la montaison

Les passes "naturelles" ou "rustiques"

Principes de dimensionnement



Guide 2006

Larinier M., Courret D. & Gomes P.

Les dispositifs de franchissement à la montaison

Les passes "naturelles" ou "rustiques"

Principes de dimensionnement

Gamme de pentes 3 à 8%

Rugosité = gros blocs + petits blocs

Puissance dissipée : 200-500W/m³

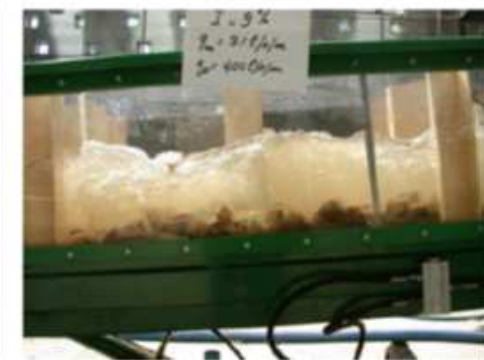
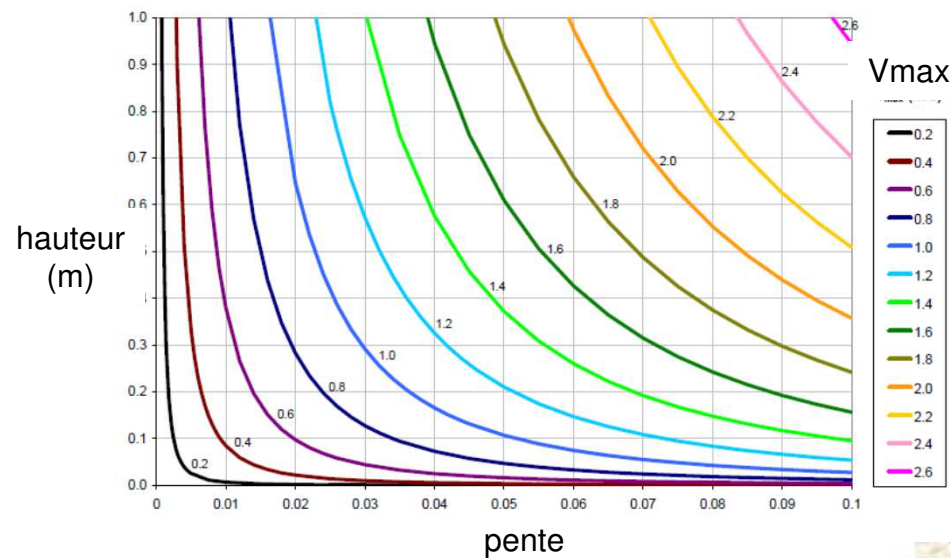


Figure 4 : Ecoulements fluvial à 3% et « en cascade » à 9%

Les dispositifs de franchissement à la montaison

Les passes "naturelles" ou "rustiques"

Entretien



Les dispositifs de franchissement à la montaison

Les passes "naturelles" ou "rustiques"

Notion de coût (ex : statistiques sur 18 passes en enrochements)

	CHUTE (m)	MODULE (m ³ /s)
Moyenne	1,5	22
Mediane	1,3	8
Min	0,7	1
Max	3,1	110
1er quartile	1,0	2
3ème quartile	1,8	22
1er décile	0,9	1
Dernier décile	2,2	71

- **Modèle 1** : Hauteur de chute et débit dans la passe

$$\text{Coût total (K€)} = 93.02 (\pm 28.6) \times \text{Hauteur Chute (m)} \times Q_{\text{passe}} (\text{m}^3 \cdot \text{s}^{-1})$$

- **Modèles 2** : Volume du génie civil et Volume de Blocs

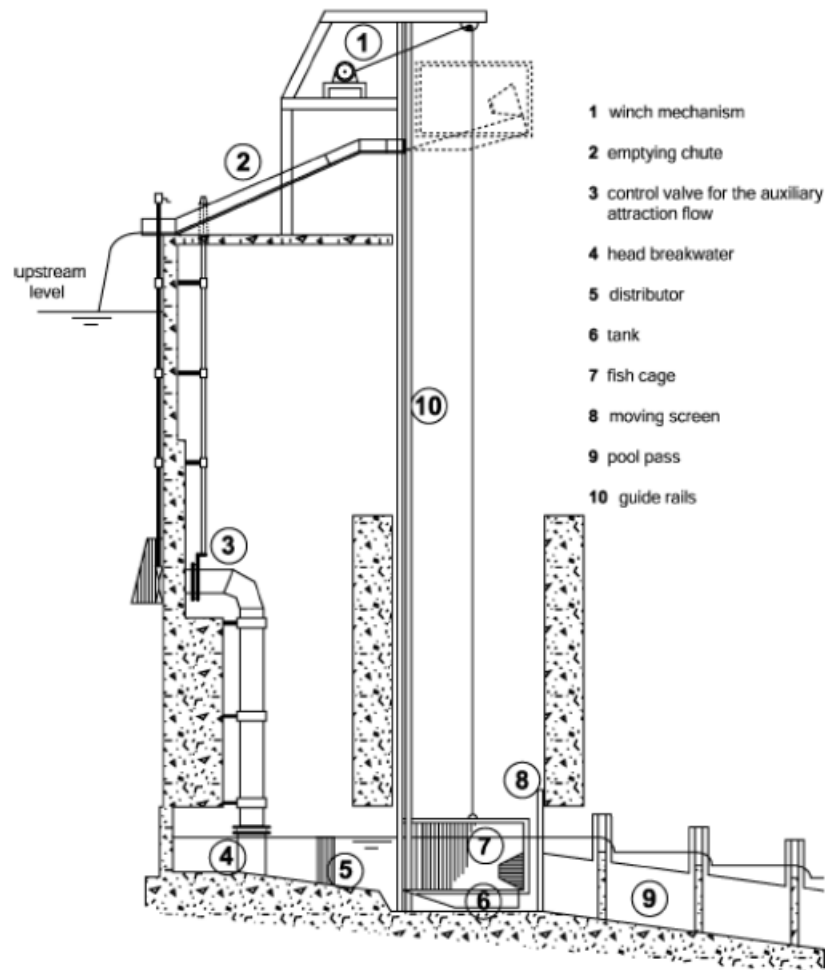
$$\text{Coût Total (K€)} = 0.56 (\pm 0.09) \times VGC (\text{m}^3)$$

$$\text{Coût Total (K€)} = 0.96 (\pm 0.24) \times \text{VolBloc} (\text{m}^3)$$

	Coût au 01/01/2014 (€)	Coût/m de chute au 01/01/2014 (€)	Coût/m ³ GC au 01/01/2014 (€)	Cout/m de chute/QPAP (€)	Coût/m ³ Blocs au 01/01/2014 (€)
Moyenne	140345	102305	603	208	1312
Mediane	108774	63476	527	149	1046
Min	12272	13945	177	30	425
Max	327852	457370	1145	909	3571
1er quartile	41357	40804	389	88	701
3ème quartile	242457	108492	735	203	1719
1er décile	27272	23333	311	60	607
Dernier décile	306362	207105	1076	396	2402

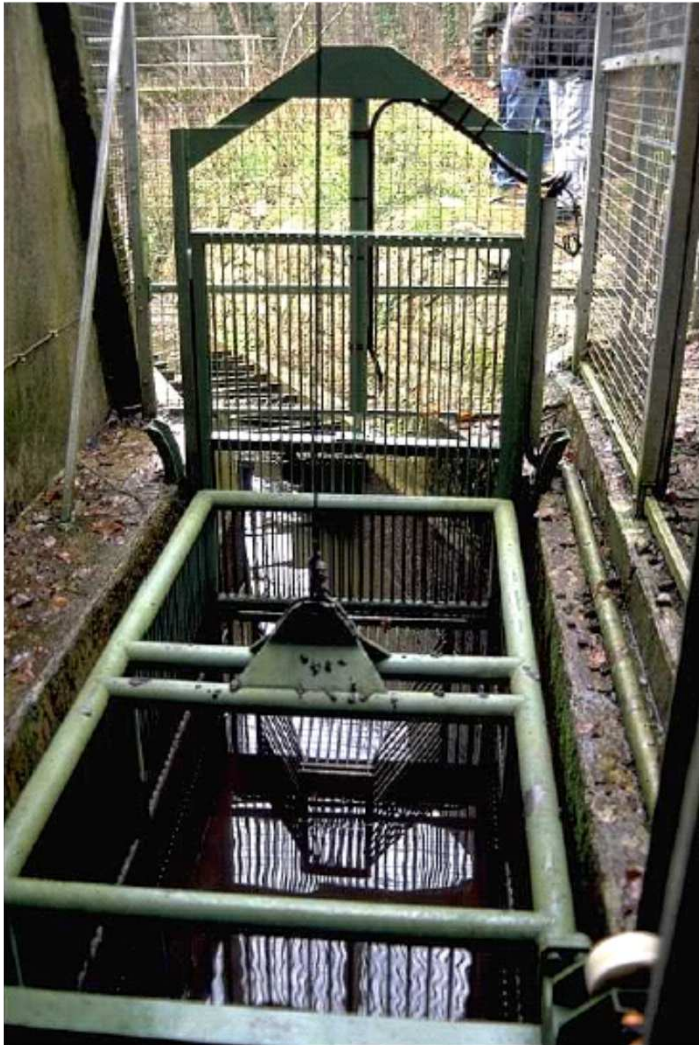
Les dispositifs de franchissement à la montaison

Les ascenseurs à poissons



Les dispositifs de franchissement à la montaison

Les ascenseurs à poissons



Détails d'une passe "ascenseur"



Les dispositifs de franchissement à la montaison

Les ascenseurs à poissons

Nécessitent des organes mobiles

→ Efficaces pour de nombreuses espèces

→ Besoin de réglages fins et entretien important

→ Souvent arrêtés pendant les crues

Les dispositifs de franchissement à la montaison

Les ascenseurs à poissons

Retours d'expérience (1)

Ex : comptage au niveau de la station de contrôle de Golfech sur la Garonne
(données MIGADO) : espèces holobiotiques

Année	2015	2014	2013	2012	2011	2010	2009	2008	2007	2006
Espèce de rivière										
Ablette	130051	31361	15515	14639	21585	11963	124508	53656	49759	25772
Amour blanc	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Barbeau	1078	511	125	491	181	670	618	731	365	217
Black-Bass	0	0	0	0	0	0	25	2	0	10
Brème commune	41838	6394	3255	27179	7592	18679	9914	24385	13864	5588
Brochet	0	0	1	0	1	3	0	2	0	6
Carpe	18	2	12	62	4	24	29	76	61	11
Carrassin	1	0	62	39	2	0	8	189	2	55
Chevesne	1422	679	1610	1169	584	917	402	1802	1318	1007
Esturgeon	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Gardon	0	19	420	1967	901	71	213	104	892	3431

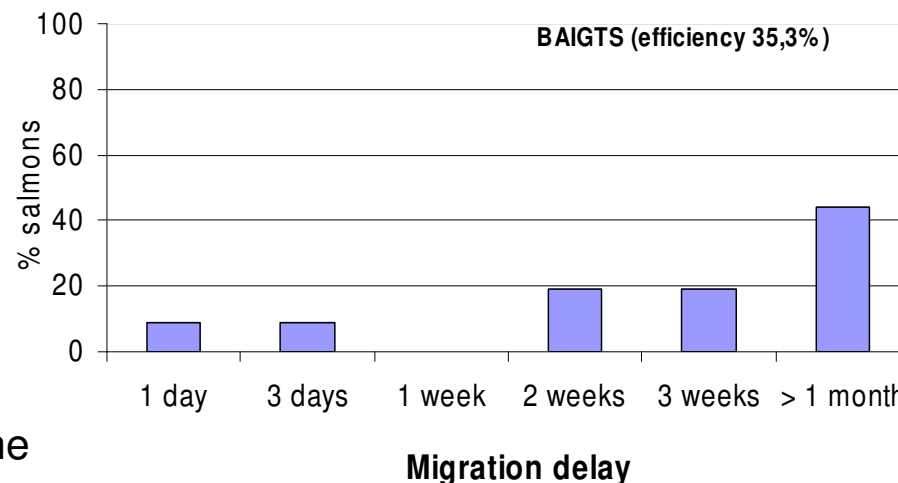
Les dispositifs de franchissement à la montaison

Les ascenseurs à poissons

Retours d'expérience (2)

Ex : Radiopistage de saumons sur le Gave de Pau, usine de Baigts (1995-1997)¹

Suivis 1995-1997 : **35%** d'efficacité, mauvaise attractivité, **passé à ralentisseurs**



Tests et mise en place de l'ascenseur :

En 2000² : tests sur la répartition/intensité du débit d'appel

→ **50-80%** de passages (médiane : 53 jours)

En 2001³ : ouverture de la vanne la plus proche système anti-retour à l'entrée

→ **87%** de passages (médiane : 9 jours)

¹Chanseau M., Croze O. & Larinier M. (1999). Impact des aménagements sur la migration anadrome du saumon atlantique (*Salmo salar* L.) sur le Gave de Pau (France). Bull. Fr. Pêche Piscic. 353-354, 211-237.

²Chanseau M. & Larinier M. (2001). Etude de l'efficacité du futur ascenseur à poissons de l'aménagement hydroélectrique EDF de Baigts de Béarn sur le Gave de Pau. Rapport Ghaappe RA01.03, 17 p.

³Bau F., Chanseau M. & Larinier M. (2002). Etude de l'efficacité du futur ascenseur à poissons de l'aménagement hydroélectrique EDF de Baigts de Béarn sur le Gave de Pau. Rapport Ghaappe RA02.03, 59 p.

Les dispositifs de franchissement à la montaison

Les dispositifs spécifiques pour les anguilles

Les anguilles ont des capacités de nage à contre-courant limitées (notamment les jeunes stades), mais **peuvent ramper**.

On peut alors leur proposer des rampes pentues, alimentées par un débit faible (gravitaire ou pompage), équipées de substrat particulier.



Pente : 15 à 40°

Tirant d'eau : qq mm à 1-2 cm

Passes à brosses et plots Evergreen

Les dispositifs de franchissement à la montaison

Les dispositifs spécifiques pour les anguilles



Pendage latéral en cas de marnage amont (alimentation gravitaire)



Anguilette utilisant une passe à plots



Espacements variables (ex : 2 densités de brosses différentes) pour permettre à des individus de tailles différentes de franchir

Les dispositifs de franchissement à la montaison

Les dispositifs spécifiques pour les anguilles



Nécessité d'un bassin de "repos" (éventuellement anti-retour) si ΔH dépasse 5m.

Ex : Barrage d'Arzal

Les dispositifs de franchissement à la montaison

Les dispositifs spécifiques pour les anguilles

Application possible
sur les grandes
hauteurs de chute

Longueur totale
de rampe = 40 m



Les dispositifs de franchissement à la montaison

Les dispositifs spécifiques pour les anguilles

Notion de coût Statistiques sur 17 dispositifs

	2014	
	CHUTE (m)	MODULE (m ³ /s)
Moyenne	5.0	34
Mediane	2.7	2.3
Min	0.8	0.2
Max	19.7	460
1er quartile	1.8	1.3
3ème quartile	7.0	9
1er décile	1.5	0.6
Dernier décile	11.3	40

- **Modèle 1 : Longueur développée de la rampe**

Coût total (K€) = 2.69 (±0.53) x Longueur dev. (m)

Modèle 2 : Surface de la rampe

Coût total (K€) = 2.53 (±1.06) x Surface rampe (m²)

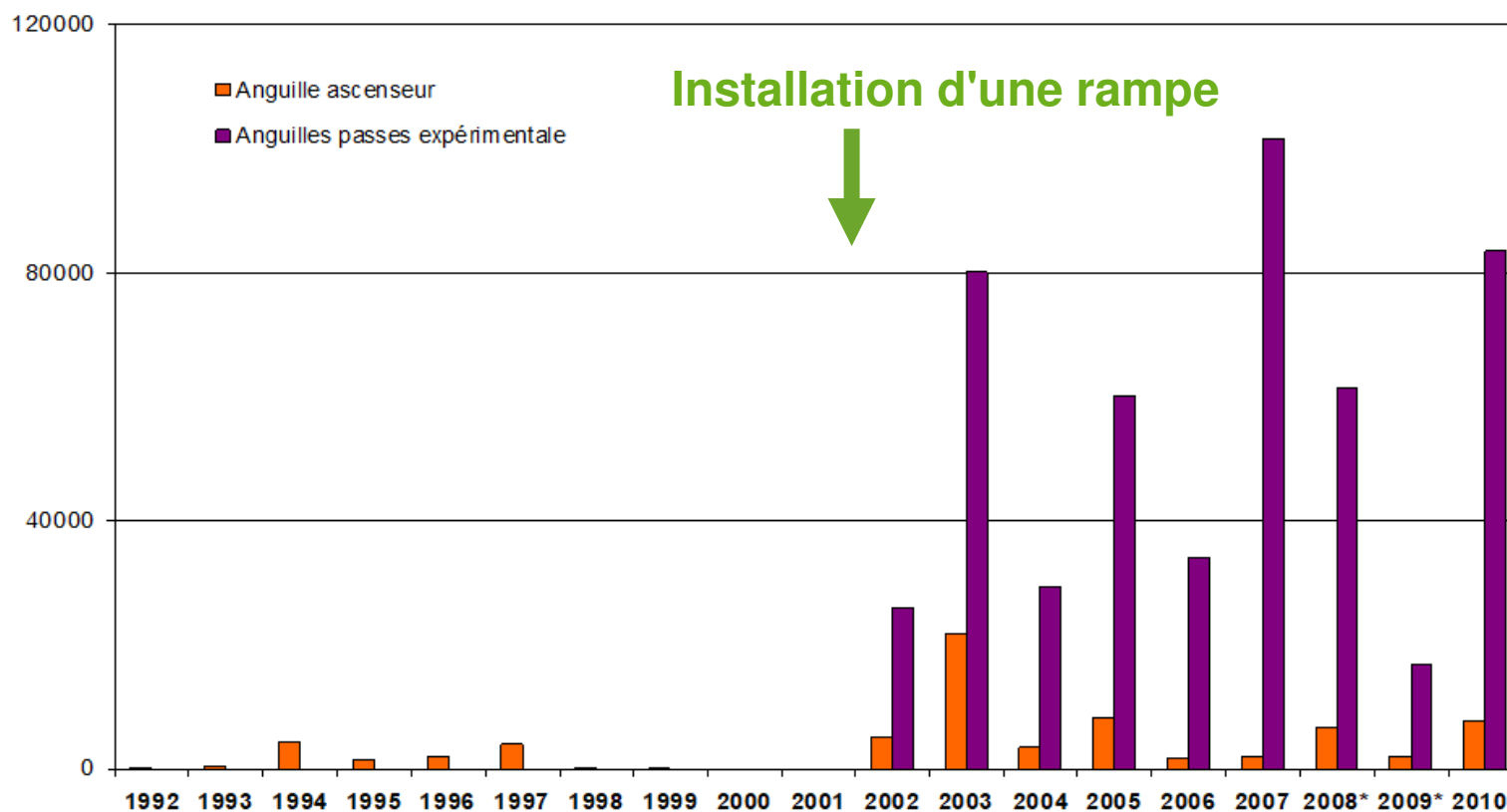
	2014		
	Coût total date de construction (€)	Coût au 01/01/2014 (€)	Coût/m de rampe (€)
Moyenne	37062	46841	3536
Mediane	32550	42101	3320
Min	10505	12833	1524
Max	85552	115507	6829
1er quartile	29291	30512	2742
3ème quartile	44277	51056	4120
1er décile	11873	14504	2456
Dernier décile	70014	87598	4911

Les dispositifs de franchissement à la montaison

Les dispositifs spécifiques pour les anguilles

Retours d'expérience

Ex : comptage des anguilles transitant par l'ascenseur et la rampe à Golfech (Garonne)
(données MIGADO)



Les dispositifs de franchissement à la montaison

Les dispositifs spécifiques pour les anguilles

Retours d'expérience

Application possible
sur les grandes
hauteurs de chute

Longueur totale
de rampe = 40 m

Temps de passage :

- Moyenne : 2h30
- 50 % < 1h
- Pas d'anguilles sur
la passe plus de 24h

Ex : Golfech (Garonne) :
270 km de la mer ; H=20m



Concepteur : EDF



Constructeur : Fish Pass



Gestion et suivi : MIGADO

Les dispositifs de franchissement à la montaison

Recherche et développement

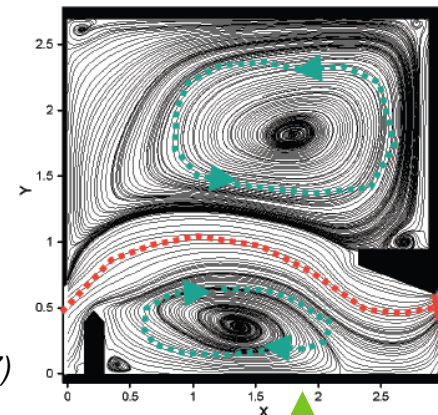
Tests sur les rapports de forme des bassins pour une meilleure efficacité biologique.

Passé expérimentale à l'échelle 1/4

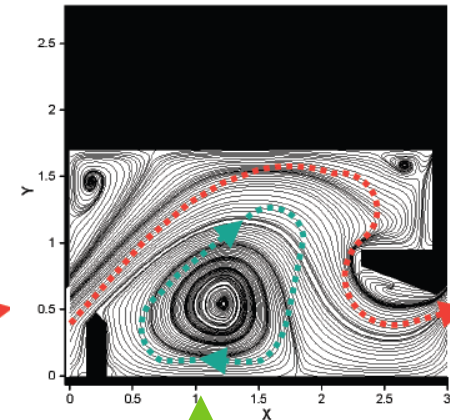


(Tarrade, 2007)

bassin large (type 1) :
2 zones de recirculations



bassin étroit (type 2) :
1 zone de recirculation



Experiments	Species	B = 2.7 m	B = 2 m	Number of fishes
L. Tarrade (2007)	Trout Cyprinide	AB = 49-75% AB = 34%	AB=20-25% AB= 30%	175 140
PM. Chambon (2008)	Trout	AB = 68%	AB = 35%	240
V. Cornu (2010-2011)	Chub Trout	AB = 47% AB = 51%	AB = 30% AB = 34%	100 100

Efficacité

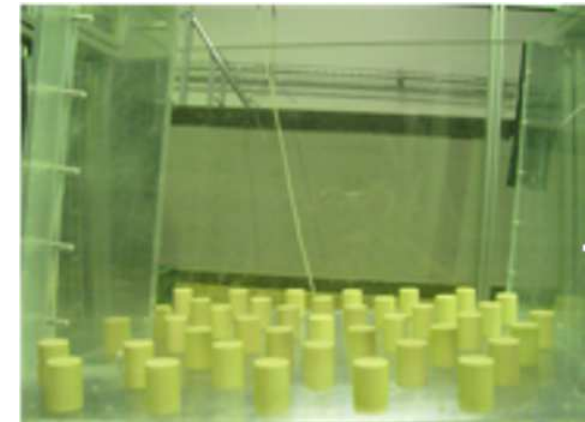
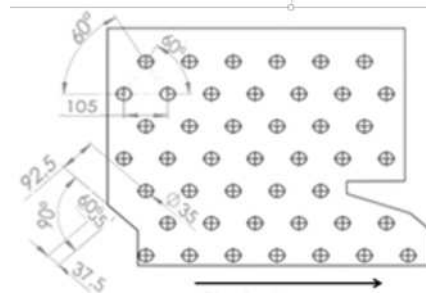
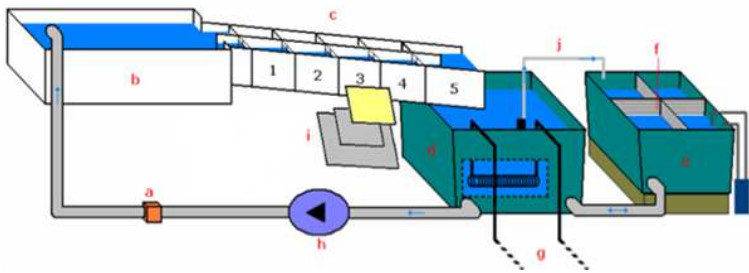
50-75%

20-35%

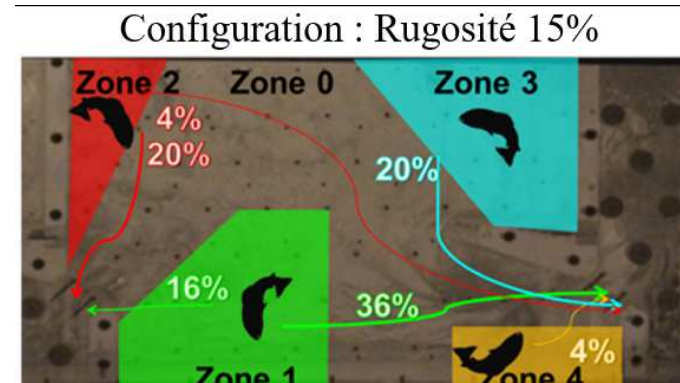
Les dispositifs de franchissement à la montaison

Recherche et développement 

Ajout de rugosité de fond (différentes densités)



→ Etude du comportement et du franchissement des poissons
(truites, chevaines, goujons, barbeaux, loche franches)

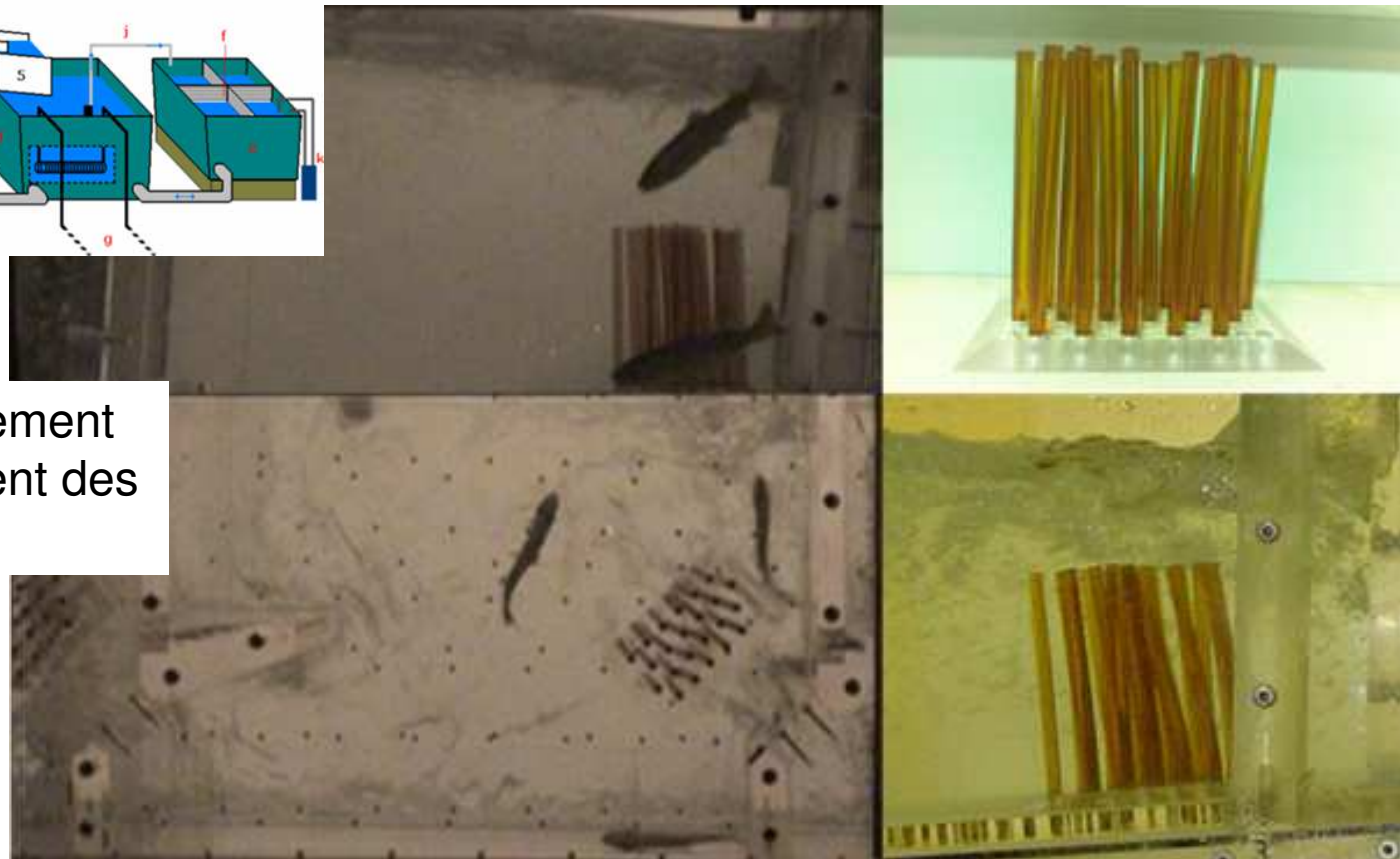
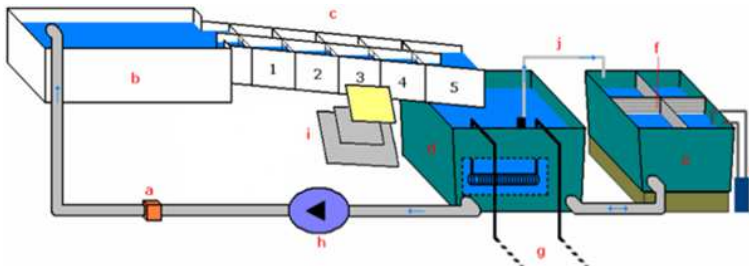


Nombre de passages : 25

Les dispositifs de franchissement à la montaison

Recherche et développement 

Ajout de structures flexibles devant les fentes

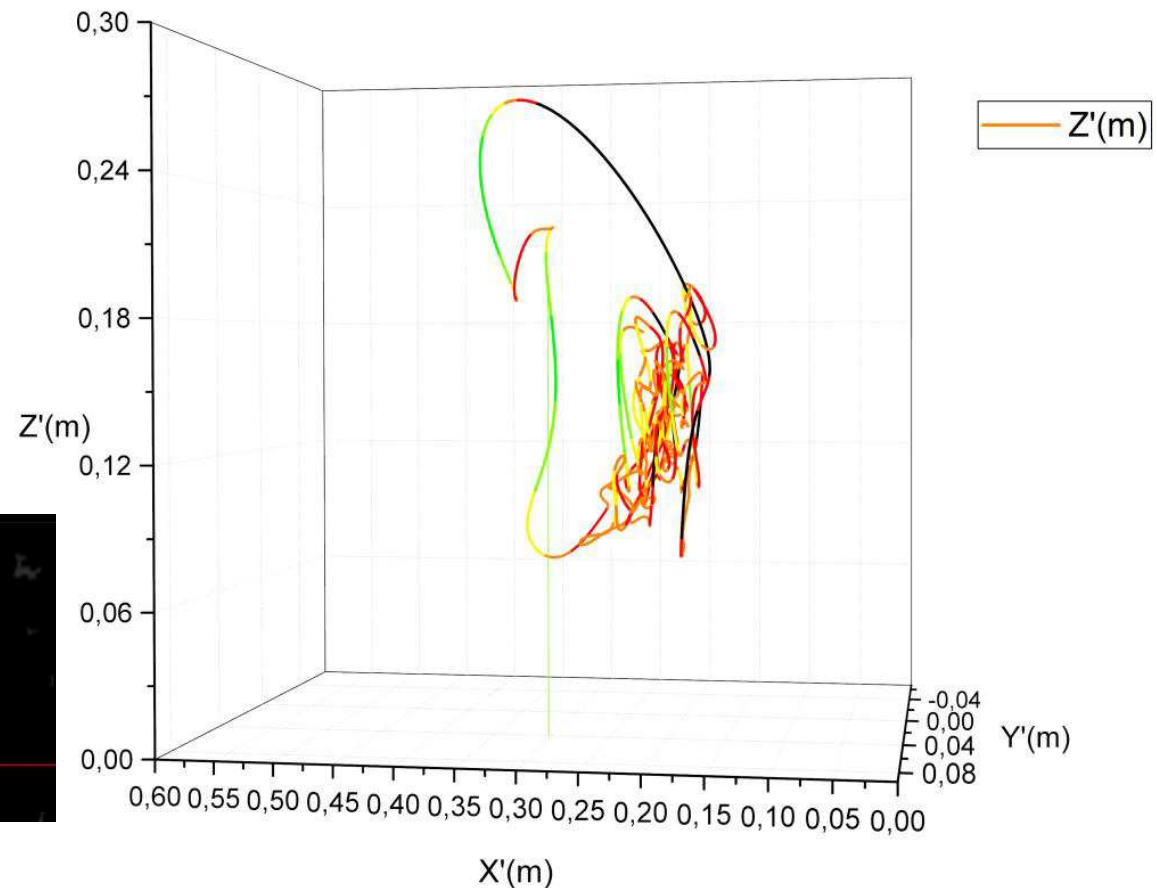
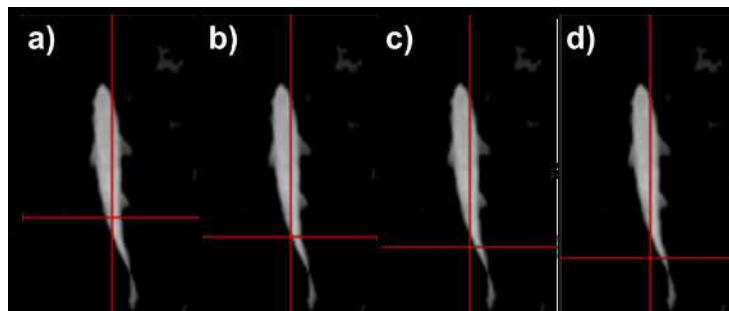
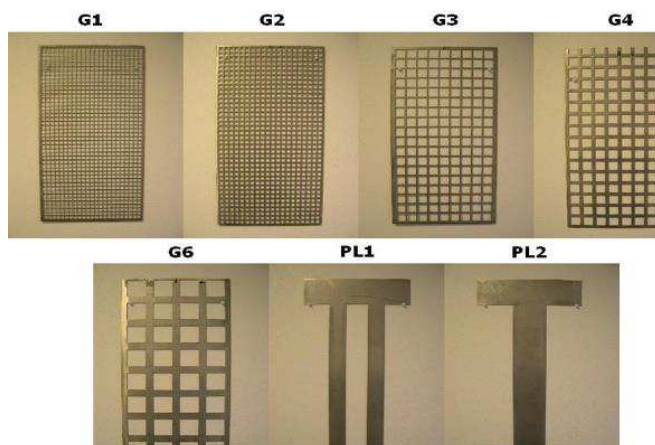


→ Etude du comportement
et du franchissement des
poissons (truites)

Les dispositifs de franchissement à la montaison

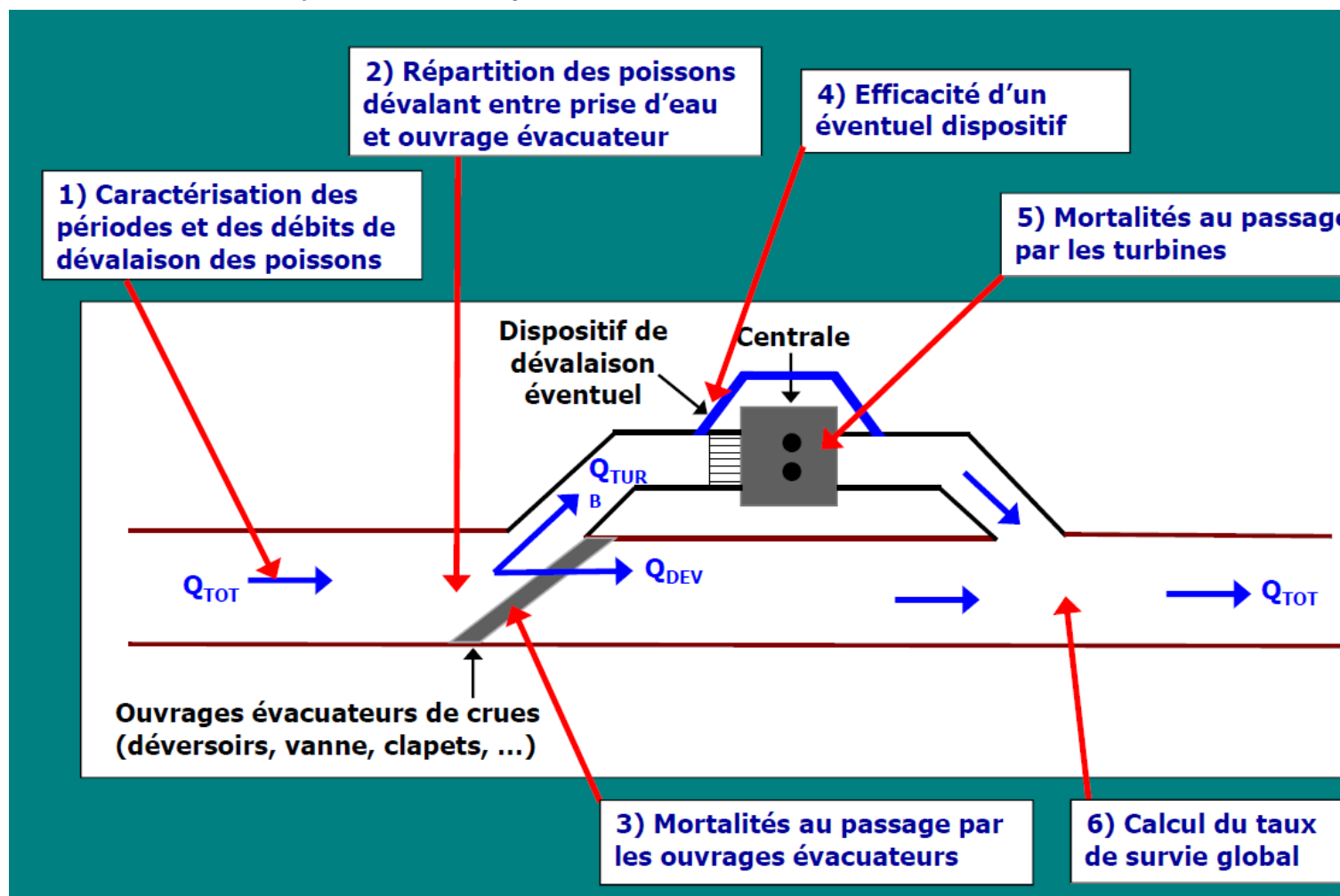
Recherche et développement 

Fatigue des poissons soumis à différents types de turbulences



Les dispositifs de franchissement à la dévalaison

Les différentes étapes d'un diagnostic mortalité à la dévalaison, au droit d'une centrale hydroélectrique



Les dispositifs de franchissement à la dévalaison

En fonction de la taille des poissons et du type de turbine : mortalité entre 5 et 100%

Exemple pour les smolts :



R&D en cours (collab. EDF) :

Mise à jour des formules actuelles¹
grâce à la bancarisation des
données récentes issues de retours d'expérience.

4 types de solutions potentielles :

- Arrêts ciblés de turbinages
- Turbines ichtyocompatibles
- Barrières comportementales
- Barrières matérielles

¹ Notamment : Gomes P., Larinier. M. 2008. Dommages subis par les anguilles lors de leur passage au travers des turbines Kaplan. Etablissement de formules prédictives. Rapport GHAAPPE RA 08.05, 75 p.- Programme R&D "anguilles et ouvrages".

Les dispositifs de franchissement à la dévalaison

Arrêts ciblés de turbinage

Possible pour certaines espèces...

Ex : smolts

- globalement mi-mars
à mi-mai, période
assez "fixe"

- dévalaison continue,
pas de comportement
de repli ni d'arrêt des
smolts

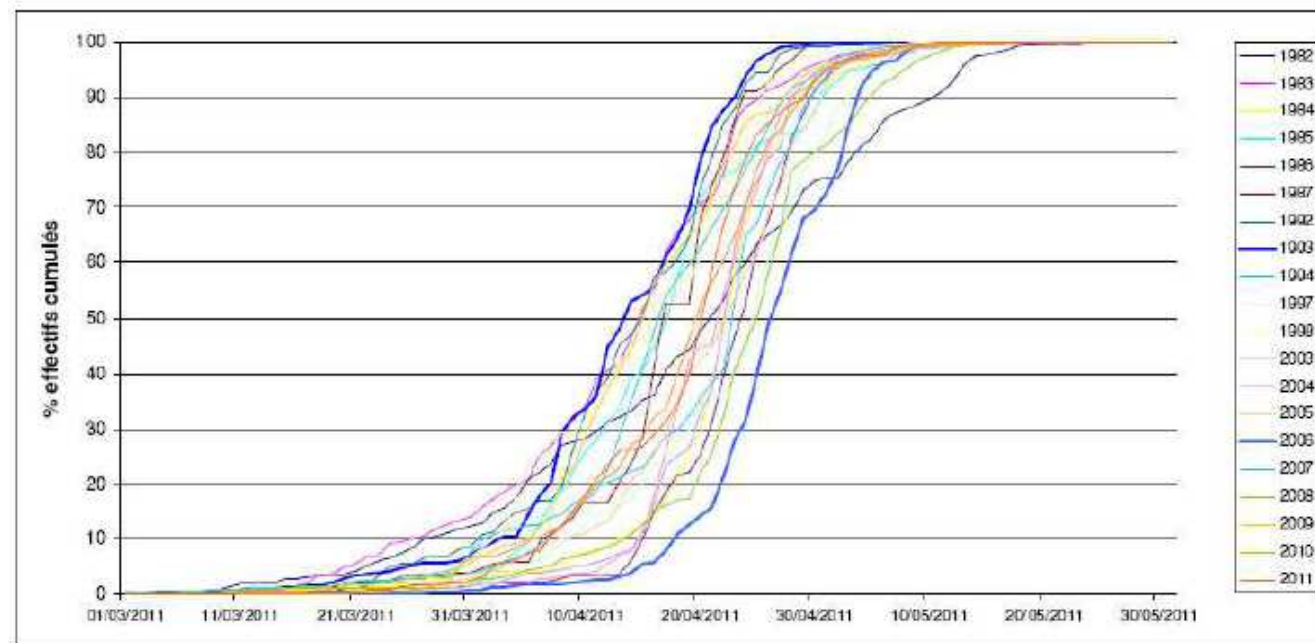


Figure 2 : Dévalaison des smolts de saumon atlantique au niveau de la station de piégeage de Eu sur la Bresle sur la période 1982 - 2011 (Fournel, Euzenat et Fagard, com. pers.)

Les dispositifs de franchissement à la dévalaison

Arrêts ciblés de turbinage

(beaucoup) plus compliqué pour d'autres...

Ex : anguilles argentées

Principalement octobre – janvier, mais dévalaison possible dès la fin de l'été et jusqu'au printemps

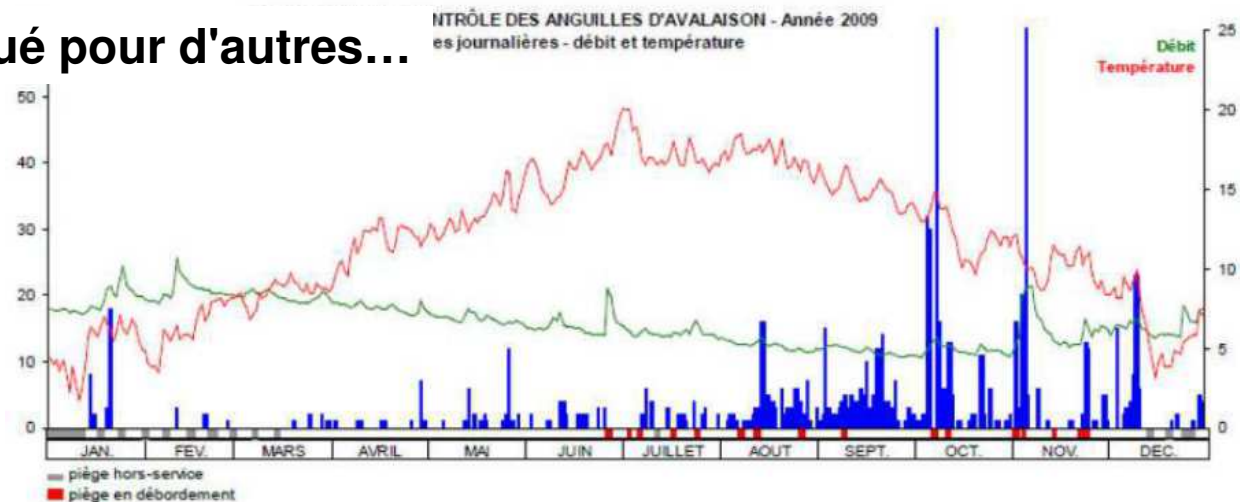


Figure 3 : Suivi de la Migration de dévalaison de l'anguille au niveau de la station de contrôle de Eu sur la Bresle – Année 2009

→ **Difficulté = ciblage et anticipation des événements de dévalaison**

→ Eventuellement à l'aide de modèles prenant en compte les paramètres du milieu (débit, turbidité, température, météorologie, ...).

Recherche en cours (ex : Tuilières sur la Dordogne, arrêt durant 40% à 60% des nuits). Longue mise au point du modèle (pêcheries + radiopistage). Transférabilité à d'autres cours d'eau ?

→ **Susceptible de générer d'importantes pertes de production**

Les dispositifs de franchissement à la dévalaison

Turbines ichtyocompatibles

Turbine ichtyophile® VLH (Very Low Head) :

- Chute entre 1,4 et 2,8 m.
- Débit de 10 à 30 m³/s.
- Puissance de 100 à 500 kW



Injection de poissons dans une turbine VLH pour tester son ichtyocompatibilité

- 0% de mortalité sur les anguilles et sur les smolts
- 1-4% de mortalité résiduelle sur les grands salmonidés (ravalés) ?

Les dispositifs de franchissement à la dévalaison

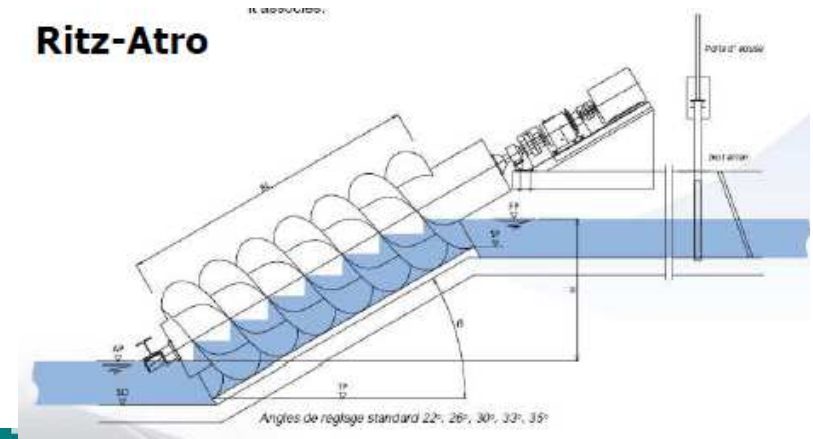
Turbines ichtyocompatibles

Vis hydrodynamiques, vis d'Archimède :

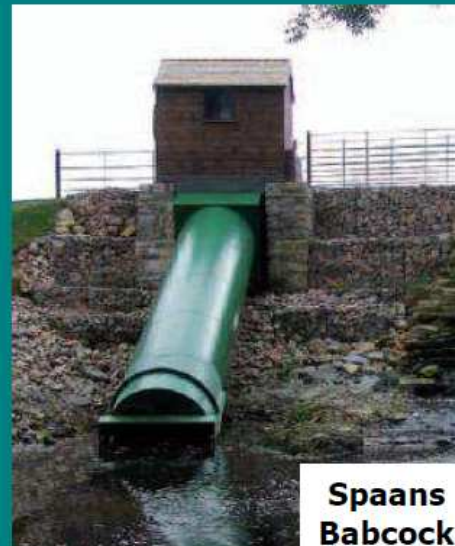
- Chute entre 1,0 et 10 m.
- Débit de 0,5 à 5,5 m³/s.
- Puissance jusqu'à 300 kW.

Multiples fabricants (liste non exhaustive)

Ritz-Atro



Landustrie



Spaans
Babcock



Rehart
GMBH

Les dispositifs de franchissement à la dévalaison

Turbines ichtyocompatibles

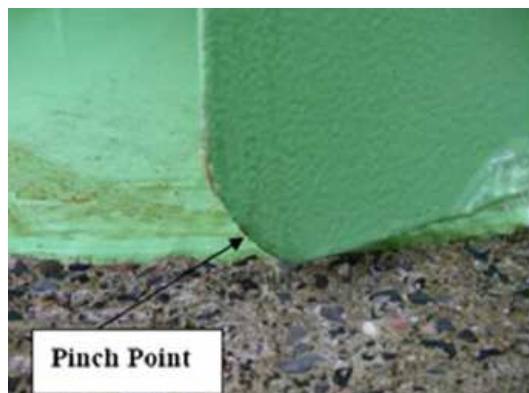
Vis hydrodynamiques, vis d'Archimède :

→ Tests menés en Angleterre, encadrés par l'Environment Agency :

Très peu, voire aucuns dommages à la dévalaison des smolts, ravalés et anguilles.

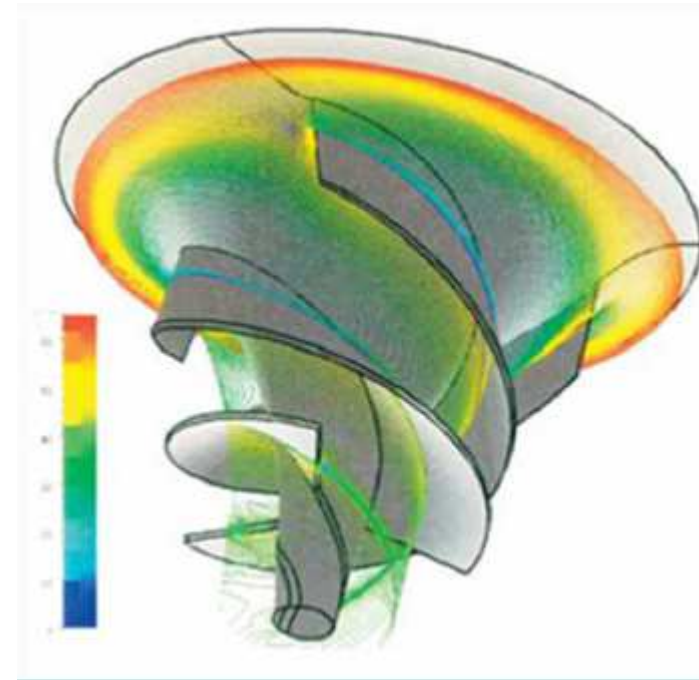
Précautions :

- interstice entre la vis et son manteau faible,
- surface du manteau lisse
- arrête amont non saillante et non tranchante (couverte d'un caoutchouc)



Les dispositifs de franchissement à la dévalaison

Turbines ichtyocompatibles



Aqualiennes, turbines "fish-friendly"

→ tests biologiques à mener avant d'en accepter l'ichtyocompatibilité en France

Les dispositifs de franchissement à la dévalaison

Barrières comportementales

= **Dispositifs dirigeant les poissons** grâce à divers stimuli (attraction, répulsion, guidage)

Lumière : attire pour les smolts et les alosons
répulsion des anguilles

Ecran répulsif à bulles et/ou à chaînes, ...

Ecran électrique répulsif

Ecran répulsifs à infrasons (anguilles)

→ Résultats parfois prometteurs en laboratoire

→ **Evaluations *in situ* beaucoup moins encourageantes**

(efficacité très sensibles aux conditions de milieu : turbidité, bruit ambiant, ...et surtout conditions hydrauliques)

→ Efficacité spécifique (barrière efficace pour une espèce pouvant être inefficace, voire contre-indiquée pour d'autres)



Test des barrières à infrasons pour l'anguille sur le Gave de Pau en 2008 et 2009 au niveau de Baigts et de Biron

Les dispositifs de franchissement à la dévalaison

Barrières matérielles

Ex : Murs guideaux (masque de surface) pour les salmonidés

Masque sur une profondeur importante et orienté pour être efficace

Ex : Bellows Falls (Connecticut, USA) : 4,5 m de profond sur 9 m, orienté à 40°

→ Efficacité de 84%

- En cours de test à Tuilières sur la Dordogne pour les smolts
- Solution inefficace sur l'anguille



Bellows Falls, USA



Tuilières, Dordogne

Les dispositifs de franchissement à la dévalaison

Barrières matérielles

Exutoires associés aux plans de grille existants

Efficacité pour les smolts : 10-20% à > 80% selon les conditions d'arrêt (espacement libre entre barreaux) et de guidage des poissons (courantologie)¹ :

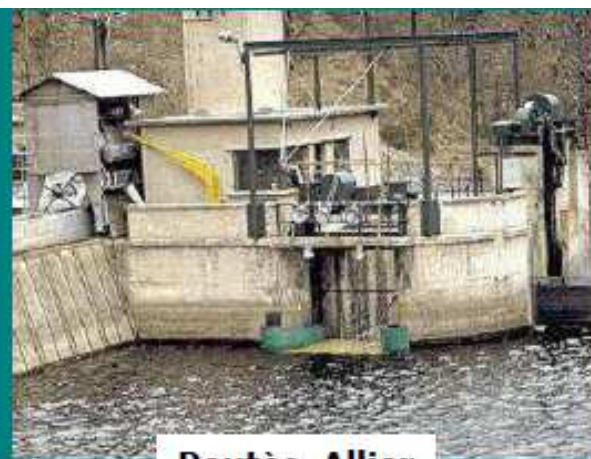
- Très limitée avec des espacements > 50 mm (10-20%)
- 60-70% avec des espacements de 30-40 mm et de bonnes conditions hydrauliques
- 80-90% avec un espacement de 25 mm et de bonnes conditions hydrauliques

¹ Années 80-2000 :
26 tests d'efficacité sur les smolts sur 12 sites en France (collaboration GHAAPPE – EDF R&D) + tests menés à l'étranger (USA notamment)

Halsou (87, 88, 95, 96, 97),
Poutès (89, 99, 00, 04), Soeix (92, 93, 94), Bedous (95, 98),
Camon (96, 97, 98), Saint-Cricq (96),
Baigts (97, 01), Castetarbe (01),
Las Mijeannes (00), Guilhot (00, 01),
Crampagna (01), Las Rives (01)



Halsou, Nive



Poutès, Allier



Lailhacar, Gave d'Ossau

Les dispositifs de franchissement à la dévalaison

Barrières matérielles

Exutoires associés aux plans de grille existants

→ **Peuvent constituer une solution satisfaisante pour les smolts sur certaines prises d'eau :**

Si les conditions d'arrêt et la courantologie sont favorables
Selon les niveaux de mortalité au niveau de l'usine

→ **Efficacités pour l'anguille plus réduites car effet répulsif des plans de grille moindre**

- Halsou : 56 – 64 %
- Baigts : ≈ 20-25% (exutoire surface), très faible (exutoire fond)
- Artix : 10%
- Sapso : quasi nul

Les dispositifs de franchissement à la dévalaison

Barrières matérielles : prises d'eau ichtyocompatibles

Système de grille "fine" associée à un ou plusieurs exutoires, prenant en compte :

- Les contraintes liées à la dévalaison des poissons
- Les contraintes liées à l'exploitation hydroélectrique (perte de charge, dégrillage)

→ 3 fonctions fondamentales à assurer par le dispositif de dévalaison :

- **arrêter** les poissons et les empêcher de passer par les turbines
- les **guider** vers un système de transfert vers l'aval
- les récupérer, puis les **transférer** vers l'aval sans dommage



GUIDE POUR LA CONCEPTION DE PRISES D'EAU
« ICHTYOCOMPATIBLES » POUR LES PETITES CENTRALES
HYDROELECTRIQUES

NOVEMBRE 2008

D. COURRET ET M. LARINIER

RAPPORT GHAAPPE RA.08.04



Groupe d'Hydraulique Appliquée aux Aménagements Piscicoles
et à la Protection de l'Environnement

Courret et Larinier, 2008
Raynal et al. 2012 et 2013

Les dispositifs de franchissement à la dévalaison

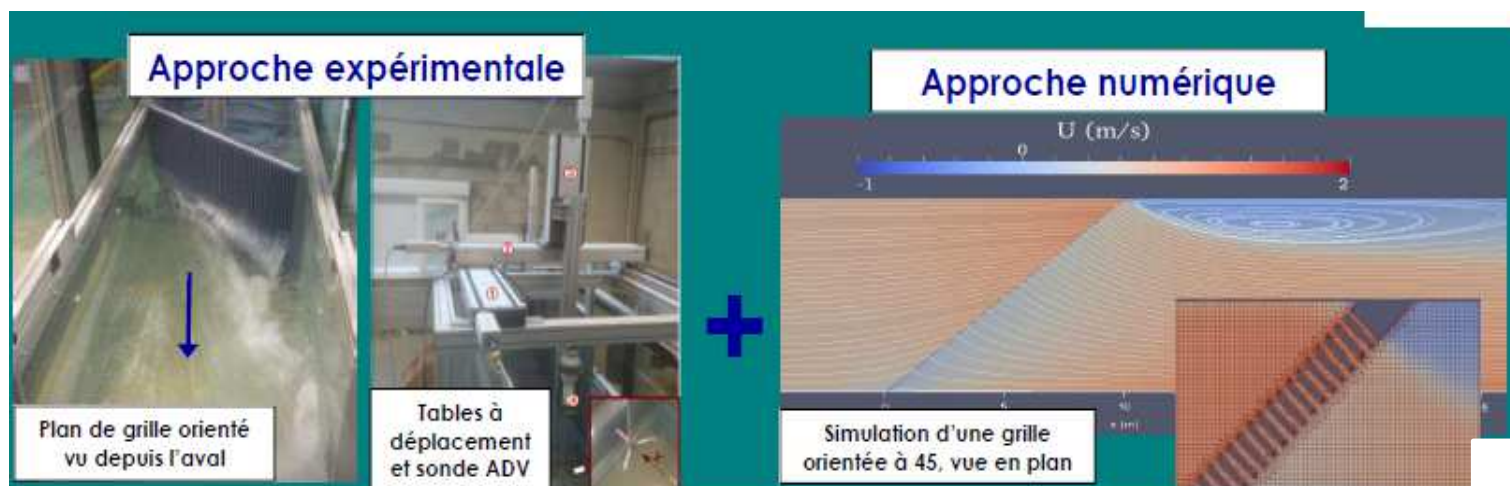
Barrières matérielles : prises d'eau ichtyocompatibles

→ **Action du programme R&D Anguille + études complémentaires**

pour répondre aux besoins identifiés :

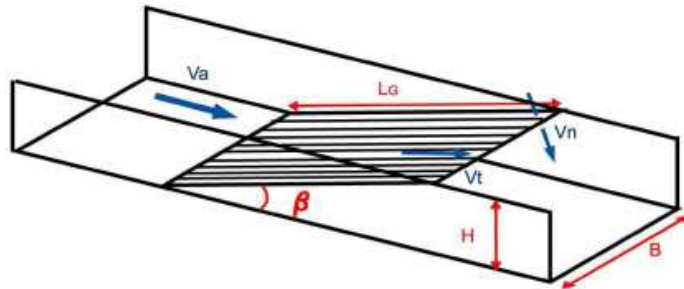
- Caractériser les **pertes de charge** au passage des plans de grille
- Caractériser les **vitesses d'écoulement** à l'approche des plans de grille
- Caractériser le **débit** garantissant l'efficacité du dispositif et limitant les pertes d'exploitation (précision sur les critères de positionnement et d'alimentation en débit des exutoires)

+ tests de solutions technologiques (profil hydrodynamique, grilles orientés avec les barreaux dans le sens de l'écoulement)

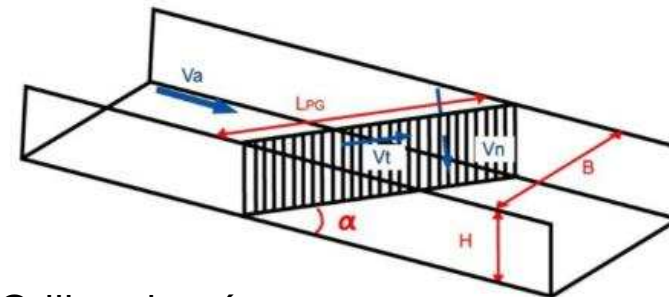


Les dispositifs de franchissement à la dévalaison

Barrières matérielles : prises d'eau ichtyocompatibles



Grille inclinée



Grille orientée



Les dispositifs de franchissement à la dévalaison

Barrières matérielles : prises d'eau ichtyocompatibles

→ **Arrêt des poissons** et les empêcher ainsi de passer par les turbines :

Espacement libre entre barreaux :

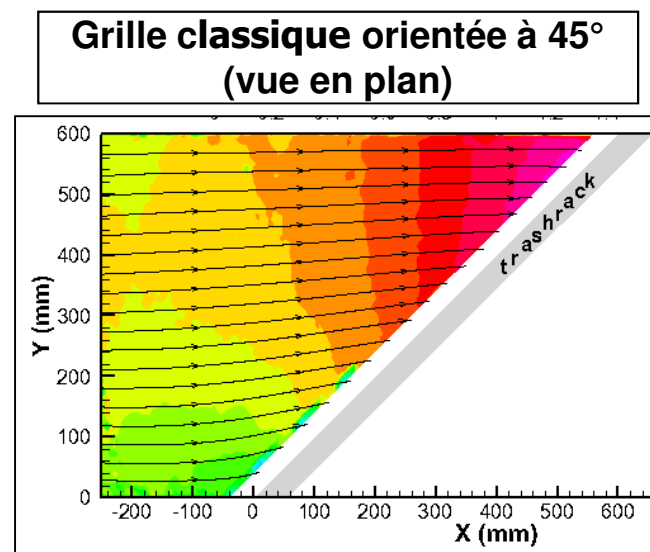
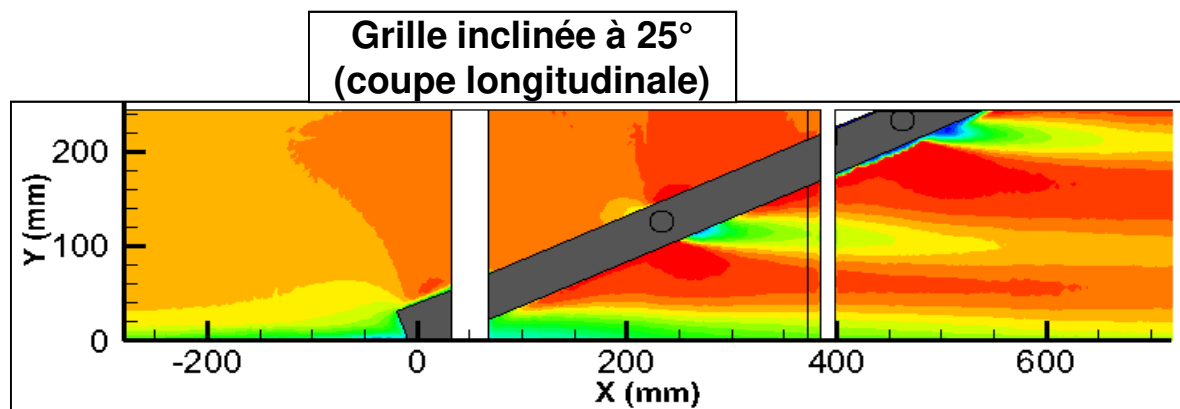
- 25 mm pour les smolts (barrière comportementale)
- 15-20 mm pour l'anguille (barrière physique)

Vitesse normale $V_N \leq 0.5$ m/s

(≥ 2 m² de grille par m³/s de débit turbiné)

→ **Guidage des poissons**

Grille inclinée $\beta \leq 26^\circ$ Grille orientée $\alpha \leq 45^\circ$



Les dispositifs de franchissement à la dévalaison

Barrières matérielles : prises d'eau ichtyocompatibles



Les dispositifs de franchissement à la dévalaison

Barrières matérielles : prises d'eau ichtyocompatibles

+ **Critères de conception des exutoires** au sommet des grilles inclinées :

- Vitesses en entrée des exutoires : $V_{EXU} = 1.1 V_A$
- Dimensions préconisées : 1 m de large et 0.5 m de profondeur + adaptations pour les petites prises
- Obturation du sommet de grille entre les exutoires sur la même profondeur → pour générer des courants transversaux
- Nombre d'exutoire en fonction de la largeur de la prise d'eau → espacement de 4 à 6 m entre exutoires selon s'ils sont attenants ou non à une berge

+ **Débit alloué à la dévalaison** : 5.5% sur les petites prises d'eau, à 2-3% pour les prises d'eau $\geq 30 \text{ m}^3/\text{s}$

(Critères de conception des exutoires pour les grilles orientées à étudier au cas par cas)



Les dispositifs de franchissement à la dévalaison

Barrières matérielles : prises d'eau ichtyocompatibles



Les dispositifs de franchissement à la dévalaison

Barrières matérielles : prises d'eau ichtyocompatibles

Retours d'expérience

→ Retours d'expérience sur l'efficacité de prises d'eau conformes ou proches des recommandations actuelles, déjà existants avant la rédaction du guide de 2008

- 3 tests réalisés sur les **smolts** sur la côte Est des Etats Unis au niveau de 3 plans de grilles à 25 mm orientés à 45° ou plus :
 - Wadhams, rivière Boquet (85) : $Q_{\text{Turb}} 4.25 \text{ m}^3/\text{s}$; $Q_{\text{exu}} 0.45 \text{ m}^3/\text{s}$ → **100%**
 - Pine Valley, rivière Souhegan (96) : $Q_{\text{Turb}} 6.8 \text{ m}^3/\text{s}$; $Q_{\text{exu}} 0.68 \text{ m}^3/\text{s}$ → **97%**
 - Lower Saranac, rivière Saranac (93) : $Q_{\text{Turb}} 48 \text{ m}^3/\text{s}$; $Q_{\text{exu}} 1.36 \text{ m}^3/\text{s}$ → **100%**



Les dispositifs de franchissement à la dévalaison

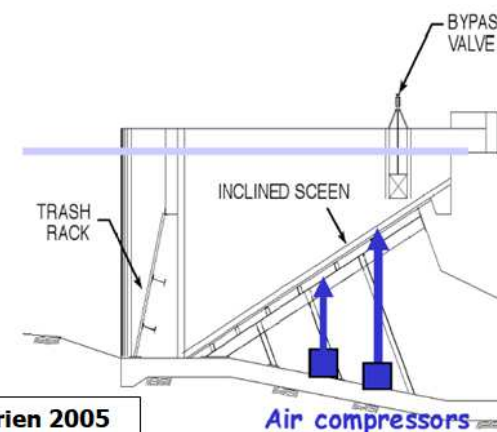
Barrières matérielles : prises d'eau ichtyocompatibles

Retours d'expérience

- 1 test réalisé sur **l'anguille** en 1998 à la centrale sur la rivière Rimouski au Canada :
 - $Q_{\text{turb}} = 26 \text{ m}^3/\text{s}$
 - Grille inclinée à environ 30°
 - Espacement libre entre barreaux de 10 mm
 - 1 exutoire de surface alimenté avec $0.5 \text{ m}^3/\text{s}$ (1.9%)
- ➔ Efficacité de **100%**



Verreault et Therrien 2005

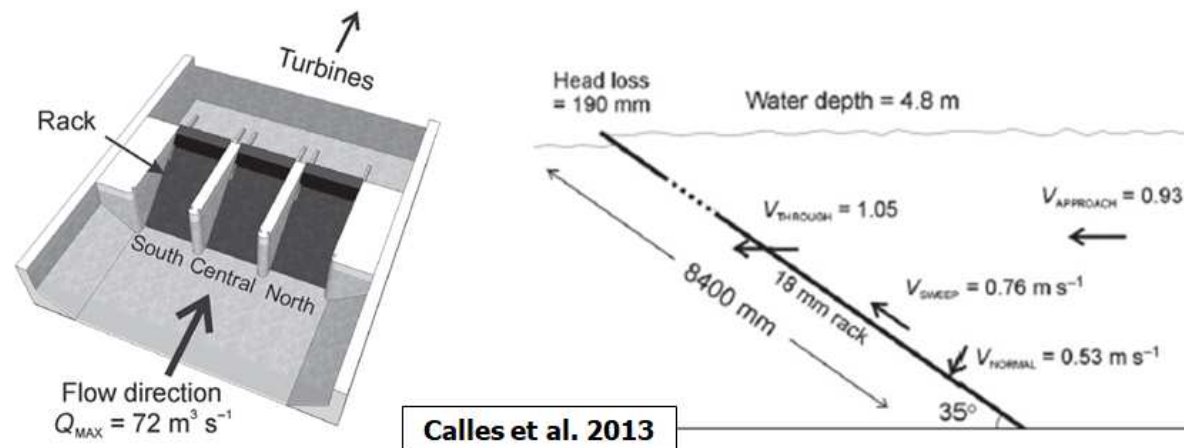


Les dispositifs de franchissement à la dévalaison

Barrières matérielles : prises d'eau ichtyocompatibles

Retours d'expérience

- 1 test réalisé sur **l'anguille** en 2008 à la centrale d'Atrafors sur la rivière Atran en Suède :
 - $Q_{\text{turb}} = 72 \text{ m}^3/\text{s}$
 - Grille inclinée à environ 35°
 - Espacement libre entre barreaux de 18 mm
 - 6 exutoire-pièges (débit non indiqué) de 0.25 m de large et 0.57 m de hauteur
- **Efficacité de 82%**, mais de nombreuses présentations de poissons sans passage



Les dispositifs de franchissement à la dévalaison

Barrières matérielles : prises d'eau ichtyocompatibles

Retours d'expérience

→ Relance de tests en France pour évaluer les performances de prises d'eau conformes ou proches des recommandations en collaboration avec EDF et avec l'appui d'ECOGEA



- En 2015 et 2016, 4 tests réalisés sur les **smolts** par marquage PIT Tag (valeurs minimales), au niveau de 4 sites équipés de grille à 20 mm :
 - 3 plans de grille inclinés à 26° :
 - Auterrive, Gave d'Oloron : $Q_{\text{Turb}} 7.8 \text{ m}^3/\text{s}$; $Q_{\text{exu}} 0.5 \text{ m}^3/\text{s}$ (6.4%) → **84.7%**
 - Trois Villes, Saison : $Q_{\text{Turb}} 3.9 \text{ m}^3/\text{s}$; $Q_{\text{exu}} 0.2 \text{ m}^3/\text{s}$ (5.1%) → **87.5%**
 - Gotein, Saison : $Q_{\text{Turb}} 6.7 \text{ m}^3/\text{s}$; $Q_{\text{exu}} 0.38 \text{ m}^3/\text{s}$ (5.7%) → **82.8%**
 - 1 plan de grille orienté, dans la prolongement de la berge :
 - Halsou, Nive : $Q_{\text{Turb}} 22 \text{ m}^3/\text{s}$; Q_{exu} régulé à 5% (1.0-1.5 m^3/s) → **87%**

Les dispositifs de franchissement à la dévalaison

Barrières matérielles : prises d'eau ichtyocompatibles

Retours d'expérience

- En 2017 et 2018, réalisation de suivis par radiopistage de **smolts** et **d'anguilles argentées**, au niveau 4 sites sur l'Ariège, de dimensions plus importantes :
→ 3 plans de grilles inclinés :

Site	Prise d'eau				Plan de grille							Exutoire					
	Qmax (m ³ /s)	B (m)	H(m)	Va (m/s)	β (°)	α (°)	Esp (mm)	Surf grille (m ²)	Vn (m/s)	Obtu sommel grille	Nb	Bexu (m)	Hexu (m)	V entrée		Qexu	
														m/s	Va	m ³ /s	%
Las Rives	45	14	4	0.80	26	90	20	111	0.41	Oui	3	0.5	1	0.90	1.1	1.35	3.0%
Las Mijeannes	45	21.6	2.6	0.80	26	90	20	128	0.35	Non	3	0.72	0.7	0.89	1.1	1.35	3.0%
Guilhot	32	15	2.7	0.79	26	90	20	92	0.35	Non	3	0.57	0.65	0.89	1.1	0.99	3.1%

→ 1 plan de grille orienté, dans le prolongement de la berge :

Site	Prise d'eau				Plan de grille								Exutoire						
	Qmax (m ³ /s)	B (m)	H(m)	Va (m/s)	B (m)	H (m)	β (°)	α (°)	Esp (mm)	Surf grille (m ²)	Vn (m/s)	Obtu sommel grille	Nb	Bexu (m)	Hexu (m)	V entrée		Qexu	
																m/s	Va	m ³ /s	%
Pébernat	50	28	2	0.89	60	1.75	85	"0"	20	105	0.48	Non	1	2	0.7	1.43	1.6	2	4.0%

Les dispositifs de franchissement à la dévalaison

Recherche et développement

→ Aspect biologique

- *Rex efficacité "anguille" sur 5 PE de l'Ariège (Qmax 30-50 m³/s) : automne-hiver 2017-2018 et 2018-2019 + smolts printemps 2018.*
- *Suivi cinétique de dévalaison chez la truite : Pyrénées, Massif central...*



→ Aspect "dimensionnement"

Mise à jour de l'outil "Cassiopée" :

nouvelle interface, intégration des passes rustiques, de la dévalaison, sorties optimisées...

→ Aspect exploitation

Poursuite recherche optimisation des plans de grilles :

- plans de grille orientés avec barreaux horizontaux
- différents profils de barreaux hydrodynamiques
- influence des supports transversaux (IPN, barre de section carrée, support en forme de goutte d'eau ?)
- pertes de charges et de la courantologie en amont et en aval de plans de tôle perforée
- conception des goulottes collectant les exutoires (homogénéiser l'alimentation des différents exutoires)



Echanges avec l'AFB

ETAPES	OBJECTIFS	VALIDATION
Etude préalable <i>(peut être réalisée dans le cadre d'une étude globale à l'échelle d'un axe/bassin versant)</i>	Etat des lieux (ouvrage, administratif, hydrologie) Usages associés et activités Diagnostic des impacts de l'ouvrage Enjeux et gains écologiques associés Esquisses de 2-3 solutions	Diagnostic et enjeux à partager par le COPIL Validation des esquisses par COPIL (AFB)
Dimensionnement APS à PRO	Concevoir un dispositif technique adapté	<i>Echanges BE avec AFB sur le projet si possible</i>
Instruction dossier		Avis AFB sur le dossier loi sur l'eau
Chantier	Modalités de réalisation des travaux	Suivi du chantier Validation phases clefs
Conformité	Vérifier la conformité par rapport au projet	Avis AFB sur la conformité géométrique et hydraulique
Contrôle	Vérifier le bon fonctionnement / entretien des dispositifs	Rapport de constatation Procédure
Suivis	Evaluer la fonctionnalité / efficacité REX	Appuis techniques protocoles

Outils disponibles

- Guides cités précédemment, Cassiopée
- 2 formations annuelles de 4 jours "conception des dispositifs de franchissement piscicole" (Pau)
- Outil "RefMADI" : *aider les porteurs de projets à construire les dossiers et les services de police à les instruire sur une base commune*



→ 170 fiches ou notes téléchargeables mises à disposition pour orienter le projet, prioriser les enjeux, faciliter le dialogue, prévoir les incidences etc..

→ Certaines fiches méthodologiques traitent spécifiquement de la continuité piscicole à la dévalaison ou à la montaison

→ téléchargeable à :

<http://www.onema.fr/refmadi-hydroelec>

→ accéder directement aux fiches continuité à :

<http://www.onema.fr/node/1932>



5^{ème} rencontre de l'Hydroélectricité
Nuits-Saint-Georges, 20 octobre 2017

**RÉGION
BOURGOGNE
FRANCHE
COMTÉ**

Les dispositifs de franchissements piscicoles : présentation, retour d'expériences et évolution

P. Sagnes, D. Courret & S. Richard

Pôle R&D "écohydraulique" AFB-IMFT

pierre.sagnes@afbiodiversite.fr



**AGENCE FRANÇAISE
POUR LA BIODIVERSITÉ**

ÉTABLISSEMENT PUBLIC DE L'ÉTAT