

Symposium « La migration piscicole dans les cours d'eau utilisés par l'homme – Problèmes et solutions techniques »

30-31/10/2014, Bienne, Suisse



Pôle Ecohydraulique ONEMA – IRSTEA – IMFT (Toulouse)

## SOLUTIONS POUR LA DEVALAISON DES POISSONS AU NIVEAU DES CENTRALES HYDROELECTRIQUES EN FRANCE

**Courret D** (Pôle Ecohydraulique ONEMA – IRSTEA – IMFT),  
**Larinier M** (expert indépendant, ex ONEMA)  
et **Travade F** (expert indépendant, ex EDF)



# Les solutions pour la dévalaison des poissons au niveau des centrales hydroélectriques en France

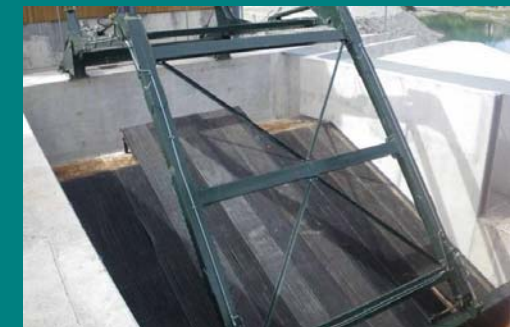
## 1) Contexte réglementaire

## 2) Espèces prises en compte



## 3) Les différentes solutions examinées

- Les arrêts ciblés de turbinage
- Les turbines ichtyocompatibles
- Les barrières comportementales sensorielles (son, lumière, électricité, ...)
- Les barrières matérielles comportementales ou physiques
  - » Louver
  - » Masque de surface
  - » Exutoires associés aux plans de grille existants
  - ➔ Critères des prises d'eau « ichtyocompatibles »



## 4) Conclusions

## 5) Exemples de réalisation

## 1) Contexte réglementaire

- **Loi sur l'Eau et les Milieux Aquatiques en 2006 amenant à établir :**  
"une liste de cours d'eau, parties de cours d'eau ou canaux dans lesquels il est nécessaire d'assurer le transport suffisant des sédiments et la circulation des poissons migrateurs.

Tout ouvrage doit y être géré, entretenu et équipé selon des règles définies par l'autorité administrative, en concertation avec le propriétaire ou, à défaut, l'exploitant "

- **Délai de 5 ans à partir de la parution des listes (2012-2013) pour se mettre en conformité avec la loi → 2017-2018**
- **≈ 15 000 ouvrages recensés sur les cours d'eau listés**
  - Dont ≈ 8 000 nécessitant d'être équipés pour la montaison
    - Et dont ≈ 1 000 centrales nécessitant d'être également équipées pour la dévalaison

## 2) Espèces prises en compte

- **Problématique de dévalaison importante et prise en compte à ce jour pour :**
  - Saumon : juvéniles (smolts), plus éventuellement les adultes.
  - Truite de mer : juvéniles (smolts) et adultes.  
→ Dévalaison depuis les parties hautes des BV, souvent amené à franchir de nombreux aménagements.
  - Anguille : adultes (anguilles argentées).  
→ Mortalités importantes au passage par les turbines du fait de leur grande taille.

Smolts : (12) 15 - 20 (22) cm



Anguille argentée :

- Mâles 30-45 cm
- Femelles 50-90 (110) cm



## 2) Espèces prises en compte

- **Problématique se posant avec moins d'acuité pour :**
  - Aloses : juvéniles (alosos) (grande alose et alose feinte) et adultes (alose feinte) → Nombre d'aménagements à franchir généralement faible.
  - Lamproies marine et fluviatile : juvéniles et adultes (fluv.) → Mortalités au passage par les turbines a priori faible.
  - Mais cours d'eau également colonisés par l'anguille, bénéficie éventuellement des solutions mise en place
  - Espèces holobiotiques (truite fario, ombre, brochet, cyprinidés, ...) : intérêt très variable suivant les sites, peut concerner plusieurs stades, connaissances insuffisantes.
  - Prise en compte pouvant se justifier pour la truite au niveau des prises d'eau de montagne (haute chute avec des mortalités importantes).



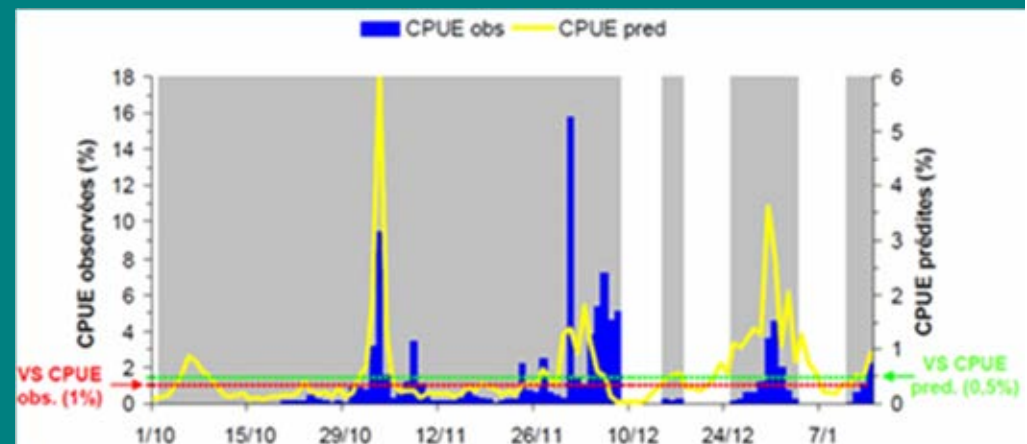
### 3) Les différentes solutions examinées

#### → Arrêts ciblés de turbinage

- Solution envisagée pour l'anguille, pouvant en principe se révéler efficace, mais susceptible de générer d'importantes pertes de production
- Toute la difficulté réside dans le ciblage et l'anticipation des événements de dévalaison
- À l'aide biomoniteurs, tels que le Migromat® → Efficacité limitée, environ 30%, car détection tardive
- Via des modèles prenant en compte les paramètres du milieu (débit, turbidité, température, météorologie, ...) → Recherche en cours, notamment niveau de Tuilières sur la Dordogne (≈ 40 nuits d'arrêt). Longue mise au point du modèle (pêcheries + radiopistage). Transposabilité à d'autres cours d'eau ?



Migromat at Killaloe



### 3) Les différentes solutions examinées

#### → Les turbines ichtyocompatibles

- 2 types de turbine validés comme ichtyocompatibles :

#### → Turbine VLH (Very Low Head) :

- $\Delta H$  entre 1,4 et 2,8 m et Q de 10 à 30 m<sup>3</sup>/s
- Sauf pour les adultes de saumons et truite de mer

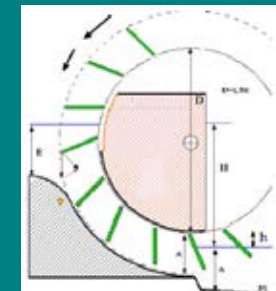


#### → Vis hydrodynamiques, vis d'Archimède :

- $\Delta H$  entre 1 et 10 m et Q de 0,1 à 10 m<sup>3</sup>/s
- Sous certaines conditions :
  - » Interstice entre la vis et son manteau faible,
  - » Arrêtes amont des spires non saillantes et recouvertes par une protection (« bumper »)



- D'autres types de turbines pour de petites chutes souhaitant devenir ichtyocompatibles, mais pas validés à ce jour (roue Aqualienne, ...)



Aqualienne

### 3) Les différentes solutions examinées

#### → Les barrières comportementales sensorielles

- Dispositifs induisant le déplacement du poisson dans une direction donnée grâce à divers stimuli (lumière, électricité, son, bulles)
- Résultats parfois prometteurs en laboratoire
- Résultats toujours décevants lors des évaluations **in situ** → Efficacités très sensibles aux conditions de milieu et spécifiques

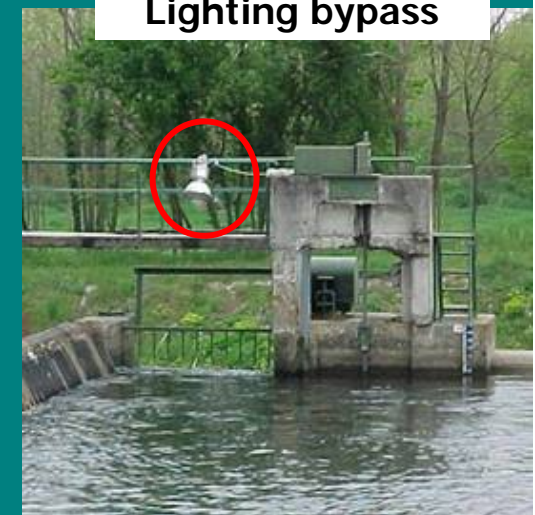
#### → Solutions non acceptées en France à ce jour

- **Attrait lumineux des salmonidés possible par un éclairage continu faible (lampe à mercure de 50W) pour renforcer l'attractivité d'un exutoire**
  - Ne peut pas se substituer aux facteurs hydrodynamiques primordiaux !

Electric screen, Halsou



Lighting bypass



### 3) Les différentes solutions examinées

#### → Les barrières comportementales sensorielles

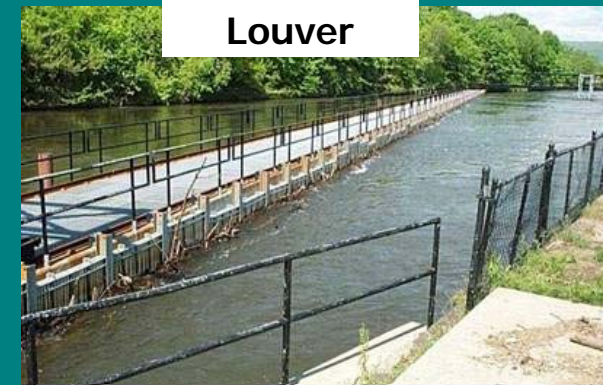
- Test des barrières à infrasons pour l'anguille sur le Gave de Pau en 2008 et 2009 au niveau de Baigts et de Biron
- Effet répulsif quasi nul sur l'anguille (pas de modification de la répartition des poissons entre usine et ouvrage évacuateur).



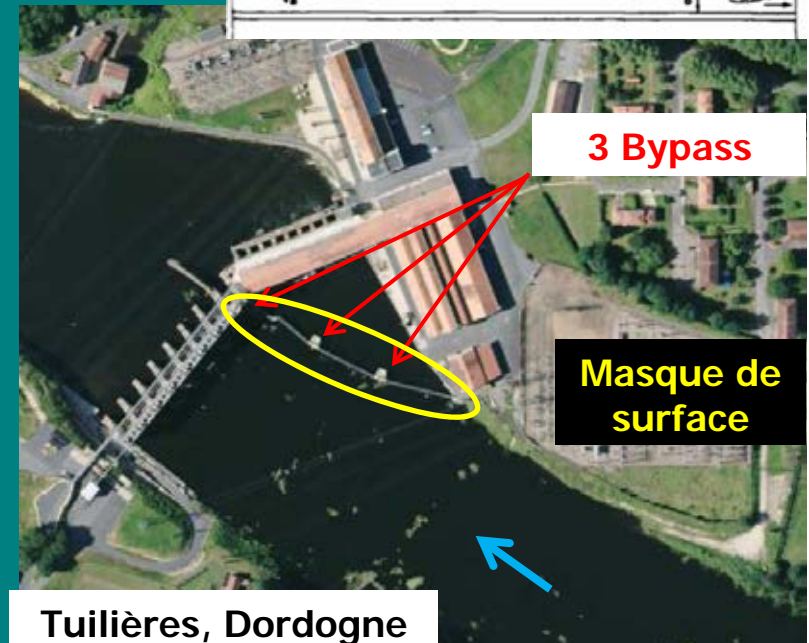
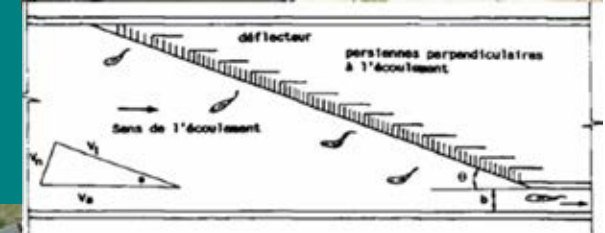
### 3) Les différentes solutions examinées

#### → Les barrières matérielles comportementales ou physiques

- Ecran hydrodynamique (louver) pouvant être efficace sur les salmonidés
  - Pas d'installation en France du fait de la sensibilité au colmatage (besoin d'une grille grossière à l'amont, perte de charge, entretien) et de l'encombrement (orientation à 10-30° par rapport à la berge)
- Mur guideau (masque de surface) pouvant être efficace sur les salmonidés
  - Masque sur une profondeur importante et orienté pour être efficace (ex : Bellows Falls, USA)
  - En cours de test à Tuilières sur la Dordogne pour les smolts (optimisation successives nécessaires)



Louver



3 Bypass

Masque de surface

Tuilières, Dordogne

→ Solutions inefficaces sur l'anguille !

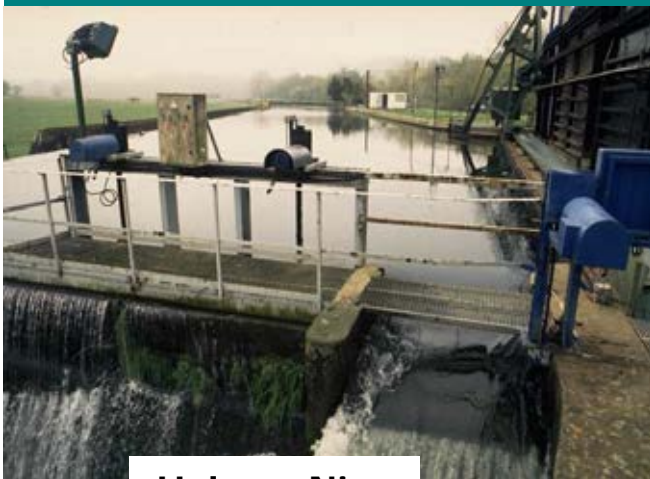
### 3) Les différentes solutions examinées

#### → Les barrières matérielles comportementales ou physiques

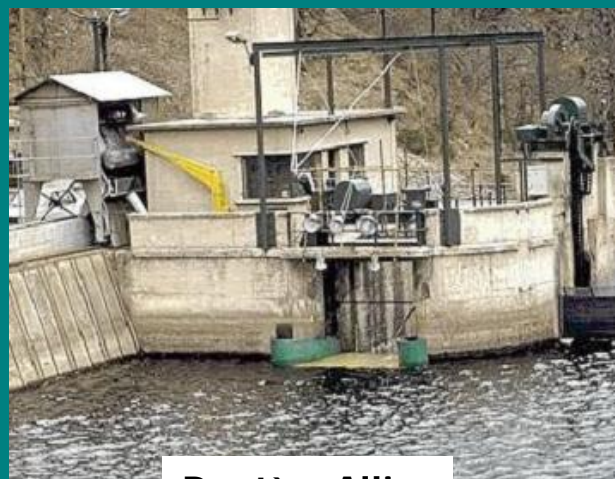
- Exutoires associés aux plans de grille existants

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

- Généralement 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



Halsou, Nive



Poutès, Allier



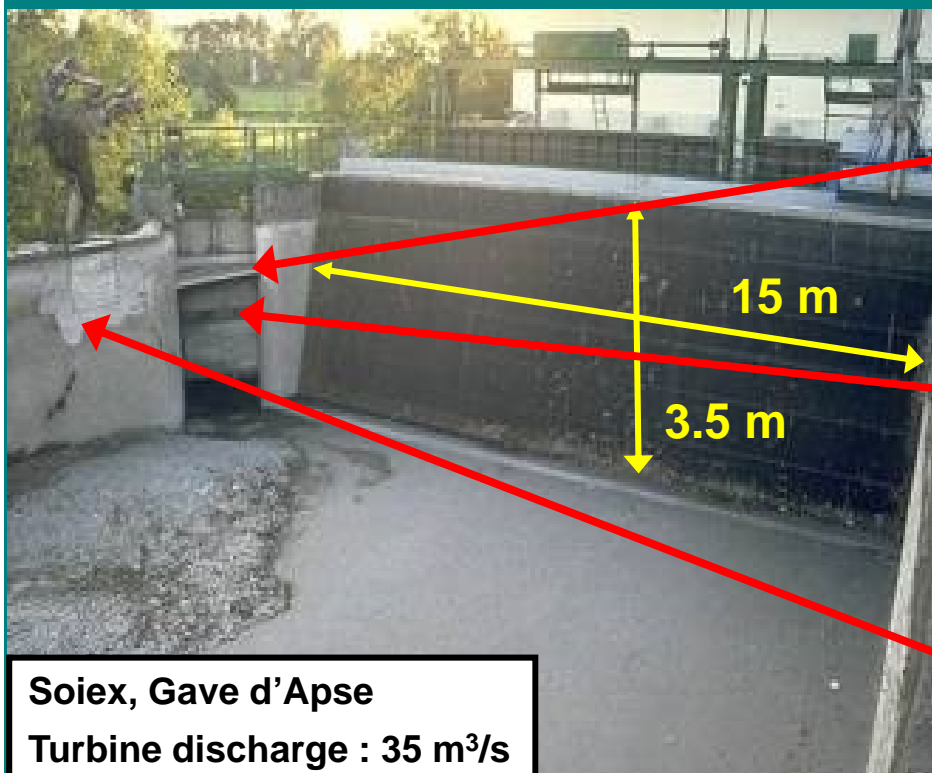
Lailhacar, Gave d'Ossau

### 3) Les différentes solutions examinées

#### → Les barrières matérielles comportementales ou physiques

- Exutoires associés aux plans de grille existants

→ Nécessité fréquente d'améliorer la courantologie pour augmenter l'efficacité des exutoires : exemple de Soieux sur le gave d'Aspe

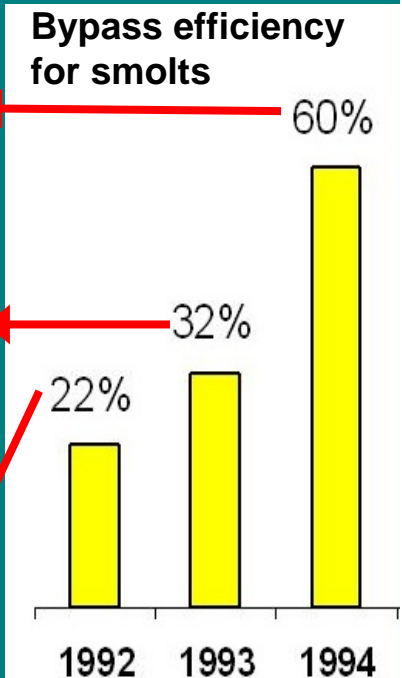


**Soieux, Gave d'Aspe**  
Turbine discharge : 35 m<sup>3</sup>/s

**Bypass : 1.8 m<sup>3</sup>/s**  
1.5 m upstream trashrack  
Upwelling removal by deflector

**Bypass : 0.8 m<sup>3</sup>/s**  
1.5 m upstream trashrack

**Bypass : 0.6 m<sup>3</sup>/s**  
6m upstream trashrack



### 3) Les différentes solutions examinées

#### → Les barrières matérielles comportementales ou physiques

- Caractéristiques et efficacité d'exutoires de surface pour les smolts :

| Dam         | River        | Max turbine discharge (m <sup>3</sup> /s) | trashrack bar spacing (mm) | Bypass inflow (m <sup>3</sup> /s) | Bypass inflow / turbine discharge (%) | Number of entrances | Entrance width (m) | Evaluation method * | Efficiency (%)   | Evaluation date |
|-------------|--------------|---|----------------------------|-----------------------------------|---------------------------------------|---------------------|--------------------|---------------------|------------------|-----------------|
| Soeix       | Gave d'Aspe  | 35  | 35                         | 1.2 (last tests) 2 (now)          | 8                                     | 1                   | 1.8                | MR + Rad            | 55-68            | 1992-1995       |
| Bedous      | Gave d'Aspe  | 28  | 30                         | 0,7                               | 2.8-4                                 | 1                   | 0.7                | MR +MD+Rad          | 38-74 (mean 55)  | 1995-1998       |
| Camon       | Garonne      | 85  | 40                         | 3                                 | 4-8                                   | 1                   | 3                  | MR + Rad            | 58-85 (mean 73)  | 1996-1998       |
| St Cricq    | Gave d'Ossau | 19  | 25                         | mean 0.65                         | mean 3.4                              | 2                   | 0.8                | MR + Rad            | 63-100 (mean 79) | 1996            |
| Baigts      | Gave de Pau  | 90  | 30                         | 2,2                               | 2-6                                   | 1                   | 2                  | Rad                 | 92,5             | 2001            |
| Castetarbe  | Gave de Pau  | 36  | 25                         | 1.2-2.4                           | 3-6                                   | 3                   | 1                  | Rad                 | 100              | 2001            |
| Guilhot     | Ariège       | 27  | 32                         | 1.33-1.75, mean 1.55              | 6-8                                   | 1                   | 1.1                | MD                  | 75               | 1997            |
| Las Rives   | Ariège       | 39  | 40                         | 1.24-1.80, mean 1.55              | 3-4.8                                 | 1                   | 1.9                | MD                  | 49               | 1997            |
| Crampagna   | Ariège       | 24  | 30                         | 1.05-1.55, mean 1.31              | ?                                     | 1                   | 1.4                | MD                  | 66               | 1998            |
| Las Mijanes | Ariège       | 40  | 30                         | mean 0.8                          | 1.9-3.3                               | 1                   | 2.25               | MD                  | 32               | 1999            |
| Halsou      | Nive         | 30  | 30                         | 0.4-0.8                           | 1.3-2.6                               | 1                   | 0.9                | MR + Rad            | mean 56          | 1995-1999       |
| Poutès      | Allier       | 28  | 30                         | 2                                 | 7.1                                   | 1                   | 2.5                | Rad                 | 90               | 2004            |

### 3) Les différentes solutions examinées

#### → Les barrières matérielles comportementales ou physiques

- Exutoires associés aux plans de grille existants

#### → Peut 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

- Difficultés pour certaines prises d'eau à atteindre de bonnes efficacités

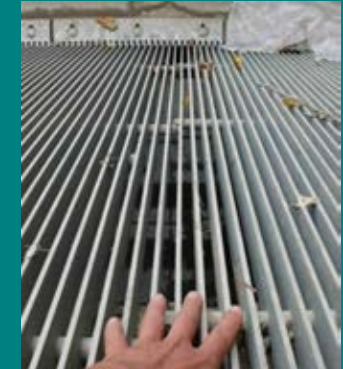
- Efficacités pour l'anguille plus réduites → Effet répulsif des plans de grille moindre

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

### 3) Les différentes solutions examinées

#### → Les barrières matérielles comportementales ou physiques

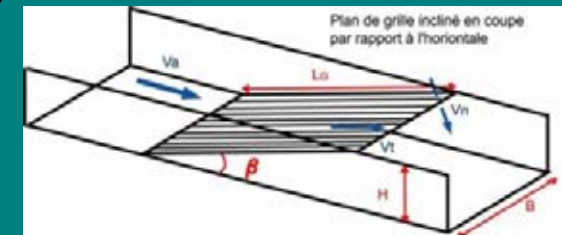
- Concept de prise d'eau ichtyocompatible → critères pour obtenir des efficacités élevées pour les smolts et l'anguille



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

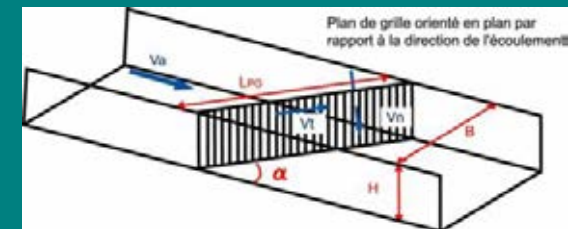
- Espacement libre entre barreaux :
  - » 25 mm pour les smolts (barrière comportementale)
  - » 15-20 mm pour l'anguille (barrière physique)

- Vitesse normale  $V_N \leq 0.5 \text{ m/s}$   
( $\geq 2 \text{ m}^2$  de grille par  $\text{m}^3/\text{s}$  de débit turbiné)



#### → Guidage des poissons, 2 configurations possibles :

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



#### → Récupération et transfert vers l'aval sans dommage

- Critères sur le nombre, la taille, et les vitesses d'entrée des exutoires → détermination du débit nécessaire



### 3) Les différentes solutions examinées

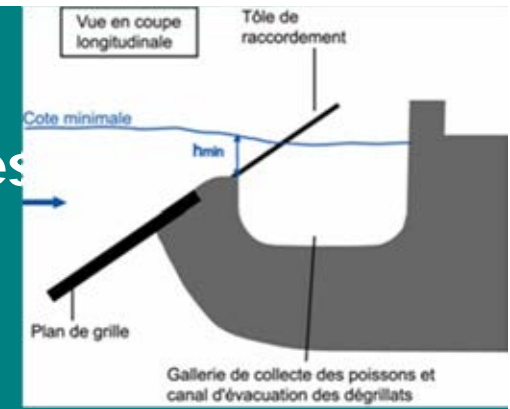
#### → Les barrières matérielles comportementales

- Prise d'eau ichtyocompatible → critères de conception des exutoires au sommet des grilles inclinées :

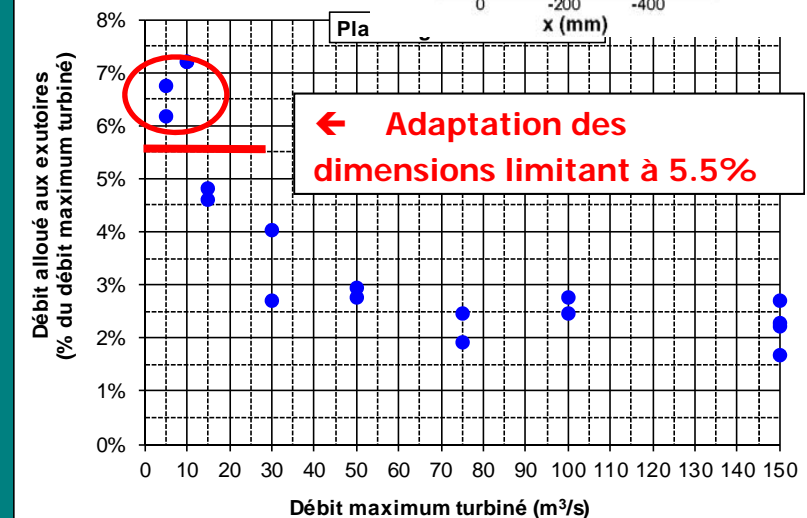
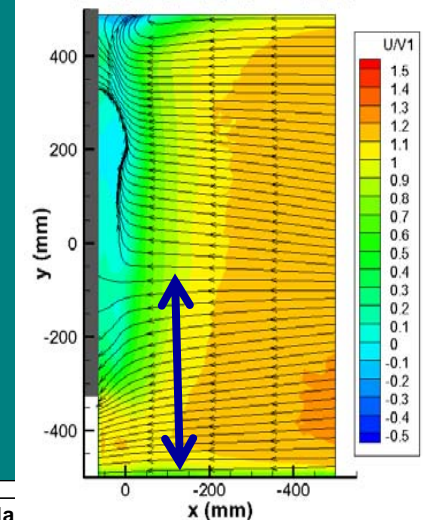
- Vitesses en entrée des exutoires  $V_{EXU} = 1.1 V_A$
- Dimensions préconisées : 1 m de large ( $B_b$ ) et 0.5 m de profondeur ( $H_b$ ) + adaptations pour les petites prises
- Obturation du sommet de grille entre les exutoires sur la même profondeur → pour générer des courants transversaux
- Nombre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

→ De 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 à préciser pour les grilles orientées



1exu\_berge\_Qb\_1.7%\_Vb\_1.05xV1\_Bb\_173mm



## 4) Conclusions

- Espèces prises en comptes : smolts (SAT et TRM) + anguilles + TRF
- $\approx 1000$  centrales à équiper en 5 ans !

**Pour les centrales jusqu'à  $\approx 100 \text{ m}^3/\text{s}$ , 2 solutions acceptées à ce jour :**

- Turbines ichtyocompatibles : VLH et vis hydrodynamiques
- Exutoire associés aux plans de grille → prises d'eau ichtyocompatibles
  - Nouvelles prises d'eau conformément aux critères d'ichtyocompatibilité
  - Prises d'eau existantes, compromis parfois à trouver :
    - 1) Exutoire(s) associé(s) au plan de grille existant :
      - » Réduction de l'espacement entre barreaux si  $V_N \leq 0.5 \text{ m/s}$
      - adaptation du dégrilleur
      - » Nombre ou alimentation des exutoires éventuellement renforcés pour compenser s'il y a un déficit de guidage des poissons
      - » Attrait lumineux pour les smolts éventuellement (faible courantologie)
    - 2) Réfection du plan de grille, voire redimensionnement de la prise d'eau pour mettre en place une prise d'eau ichtyocompatible

## 4) Conclusions

### Pour les centrales jusqu'à $\approx 100 \text{ m}^3/\text{s}$ (suite)

- Exutoire associés aux plans de grille  $\rightarrow$  prises d'eau ichtyocompatibles :
  - Plans de grille inclinés à privilégier (moins de contrainte de perte de charge, d'entretien et de courantologie)
  - Plans de grille orientés restant intéressants, implantés en prolongement d'une berge, ou au niveau des prises d'eau profondes ou à fortes variations de niveau d'eau
  - Solution de barreaux hydrodynamique avantageuse
  - Nécessité d'un système de dégrillage adapté !
- $\rightarrow$  Nombreux cas ( $> 100$ ) d'exutoires associés à des plans de grille existants depuis les années 1990 pour les smolts
- $\rightarrow$  Au moins  $\approx 50$  prises d'eau mises en conformité à ce jour vis-à-vis des nouvelles obligations réglementaires + très nombreux projets en cours

Inclined trashrack



Headloss at angled trashrack



Hydrodynamic bars

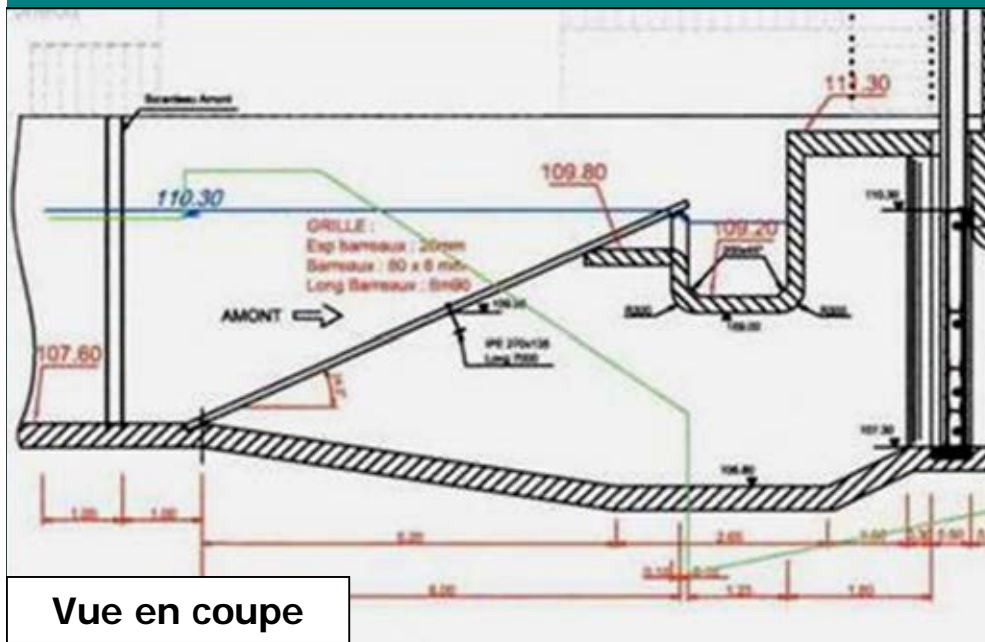


## 4) Conclusions

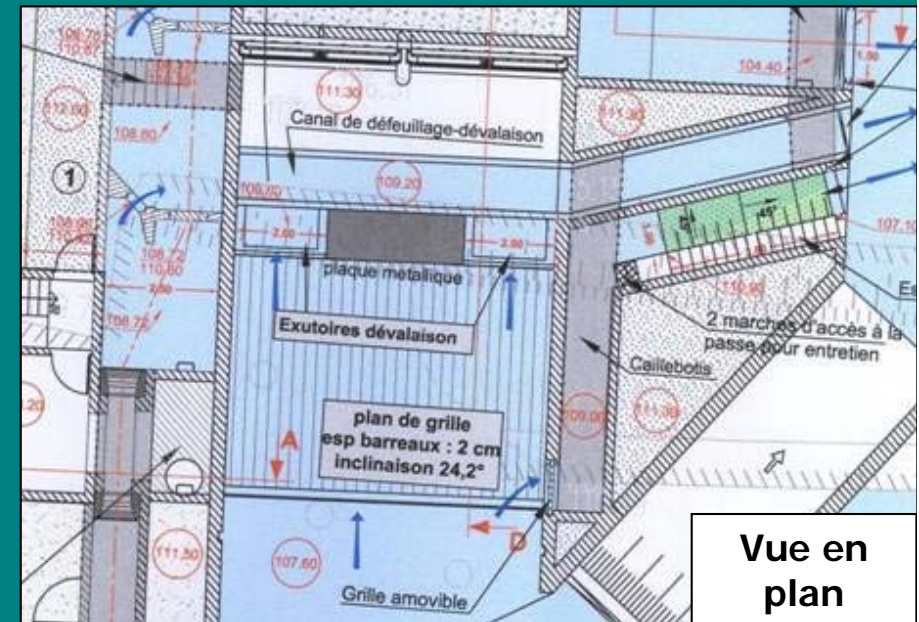
- **Pour les centrales  $> 100 \text{ m}^3/\text{s}$ , réflexions récentes et toujours en cours :**
  - Evaluation des taux de mortalités dans les turbines de grande taille
  - Faisabilité de prises d'eau ichtyocompatibles → dégrillage ?
  - Arrêt de turbinage pour l'anguille, masque de surface pour les smolts, ... ?
  - Rapport coût / efficacité ?
- **Cas de la truite, 2 solutions :**
  - Exutoire associés aux plans de grille → prises d'eau ichtyocompatibles, avec adaptation de l'espacement libre entre barreau et de  $V_N$  au stade à protéger
  - Prises d'eau par en-dessous sous certaines conditions (barrière physique + inclinaison vers l'aval de la grille + conditions de réception)
- **Perspectives :**
  - Test de l'efficacité de prises d'eau conformes aux critères à venir (Smolts, Ang)
  - Retour d'expérience sur l'exploitation des prises d'eau ichtyocompatibles
  - Pour les plans de grille inclinés : dimensionnement des goulottes transversales
  - Pour les plans de grille orientés : assemblages des barreaux moins pénalisant + critères de dimensionnement des exutoires à préciser
  - Poursuite des réflexions sur les solutions pour les centrales  $> 100 \text{ m}^3/\text{s}$

## 5) Exemples de réalisation

- Navarrenx sur le Gave d'Oloron (SIEE-ECOGEA, 2006)
  - $Q_{\text{TURB}} = 15 \text{ m}^3/\text{s}$  (nouvelle centrale)
  - Prise d'eau : 7 m de large et hauteur d'eau 2.7 m  $\rightarrow 18.9 \text{ m}^2 \rightarrow V_a = 0.79 \text{ m/s}$
  - Plan de grille :
    - incliné à  $24^\circ \rightarrow V_T = 0.72 \text{ m/s}$
    - 15 m de large x 5.8 m de long  $\rightarrow 46.2 \text{ m}^2 \rightarrow V_N = 0.32 \text{ m/s}$
    - Espacement libre : 20 mm
  - 2 exutoires de 2 m de large, hauteur d'eau de 0.5 m, alimentés par  $1.5 \text{ m}^3/\text{s}$  (10% du  $Q_{\text{TURB}}$ ),  $V_{\text{EXU}} = 0.75 \text{ m/s}$



Vue en coupe



Vue en plan

## 5) Exemples de réalisation

- Navarrenx sur le Gave d'Oloron (SIEE-ECOGEA, 2006)



## 5) Exemples de réalisation

- **Moulin Brieux sur l'Orne (2013)**

- $Q_{\text{TURB}} = 16 \text{ m}^3/\text{s}$  (centrale existante)
- Prise d'eau : 15 m de large et hauteur d'eau 2.3 m  $\rightarrow 34.5 \text{ m}^2 \rightarrow V_a = 0.46 \text{ m/s}$
- Plan de grille :
  - incliné à  $26^\circ \rightarrow V_T = 0.41 \text{ m/s}$
  - 15 m de large x 5.8 m de long  $\rightarrow 87 \text{ m}^2 \rightarrow V_N = 0.36 \text{ m/s}$
  - Espacement libre : 20 mm
- 4 exutoires de 0.75 m de large, hauteur d'eau de 0.5 m, alimentés par  $0.75 \text{ m}^3/\text{s}$  ( $\approx 5\%$  du  $Q_{\text{TURB}}$ ),  $V_{\text{EXU}} = 0.5 \text{ m/s}$
- Goulotte collectrice de taille croissante



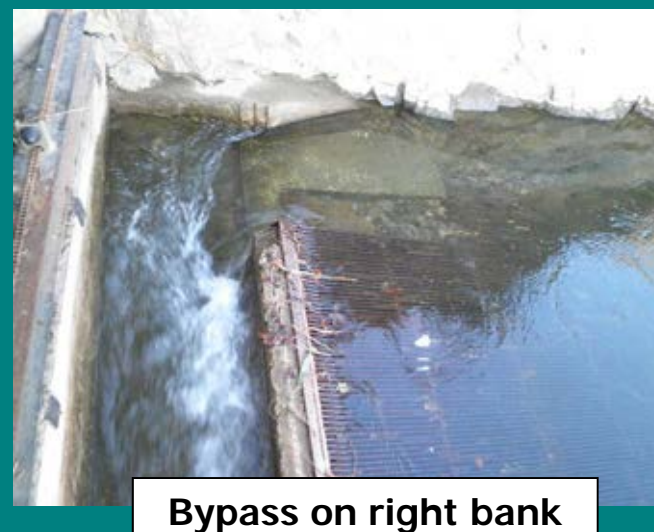
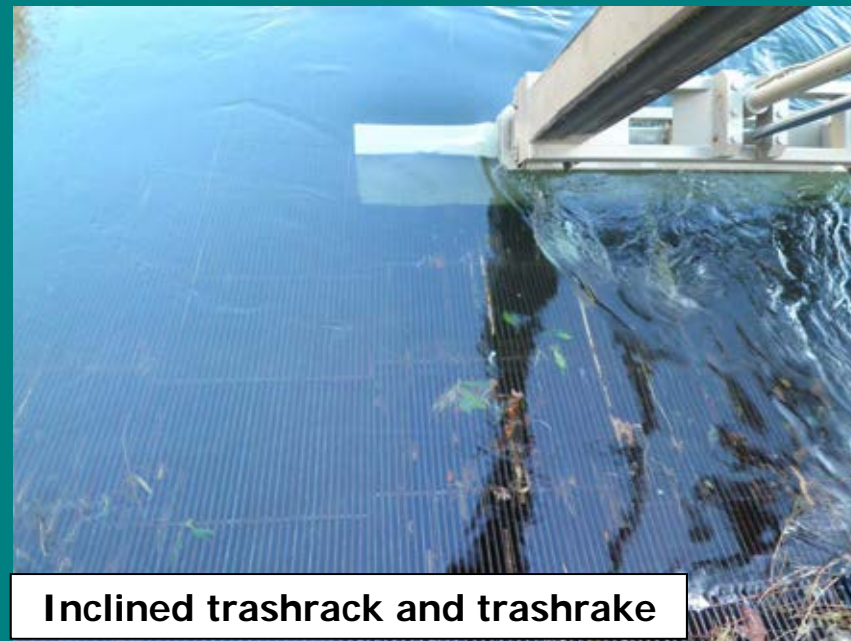
## 5) Exemples de réalisation

- **Moulin Sampzon sur l'Ardèche (Ginger 2010)**
  - $Q_{\text{TURB}} = 54 \text{ m}^3/\text{s}$  (centrale existante)
  - Prise d'eau : 18.9 m de large et hauteur d'eau  $\approx 3.5 \text{ m} \rightarrow 66 \text{ m}^2 \rightarrow V_a = 0.81 \text{ m/s}$
  - Plan de grille :
    - incliné à  $26^\circ \rightarrow V_T = 0.73 \text{ m/s}$
    - 18.9 m de large x 8 m de long  $\rightarrow 150 \text{ m}^2 \rightarrow V_N = 0.36 \text{ m/s}$
    - Espacement libre : 20 mm
    - Barreaux profilés
  - 3 exutoires de 1 m de large chacun, hauteur d'eau de 0.36 m, alimentés par  $1 \text{ m}^3/\text{s}$  ( $\approx 1.85\%$  du  $Q_{\text{TURB}}$ ), débit limité par la taille de la goulotte existante,  $V_{\text{EXU}} = 0.92 \text{ m/s}$



## 5) Exemples de réalisation

- Moulin Sampzon sur l'Ardèche (Ginger 2010)



## 5) Exemples de réalisation

- Baigts sur le Gave de Pau (EDF)

- $Q_{\text{TURB}} = 90 \text{ m}^3/\text{s}$  (centrale existante)

- Plan de grille :

- Dans le prolongement de la berge rive droite

- 40 m de long x 5.5 m de haut  $\rightarrow 220 \text{ m}^2 \rightarrow V_N = 0.41 \text{ m/s}$

- Espacement libre : réduction de 30 à 20 mm en 2014

- 1 exutoire de surface (L=2 m et H = 1.1m), transitant  $2.2 \text{ m}^3/\text{s}$  ( $\approx 2.45\%$  du  $Q_{\text{TURB}}$ ),  
 $V_{\text{EXU}} = 1 \text{ m/s}$

