



HAL
open science

Continuité biologique et ouvrages soumis à marée : le cas de l'anguille européenne les éléments importants pour évaluer et agir

Christian Rigaud

► To cite this version:

Christian Rigaud. Continuité biologique et ouvrages soumis à marée : le cas de l'anguille européenne les éléments importants pour évaluer et agir. irstea. 2015, pp.66. hal-02601273

HAL Id: hal-02601273

<https://hal.inrae.fr/hal-02601273>

Submitted on 16 May 2020

HAL is a multi-disciplinary open access archive for the deposit and dissemination of scientific research documents, whether they are published or not. The documents may come from teaching and research institutions in France or abroad, or from public or private research centers.

L'archive ouverte pluridisciplinaire **HAL**, est destinée au dépôt et à la diffusion de documents scientifiques de niveau recherche, publiés ou non, émanant des établissements d'enseignement et de recherche français ou étrangers, des laboratoires publics ou privés.

Continuité biologique et Ouvrages soumis à marée

Le cas de l'anguille européenne

Les éléments importants pour évaluer et agir



Synthèse de l'atelier thématique du GRISAM

(Groupement d'intérêt scientifique national sur les Poissons migrateurs)



Mars 2015

Dans le cadre du Groupement national d'intérêt scientifique sur les poissons migrateurs amphihalins (GRISAM), un atelier s'est tenu au Forum des Marais atlantiques à Rochefort (Charente-maritime) en 2013.

La thématique ciblée concernait les modalités d'évaluation et d'amélioration de la transparence des ouvrages soumis à marée vis-à-vis de l'anguille

L'animation de cet atelier (voir liste à la page suivante) a été assurée par :

- **Philippe BARAN** (Onema - Pôle Eco-hydraulique de Toulouse)*
- et*
- **Timothée BESSE** (Logrami (Association Migrateurs en Loire)).*

Il a permis une synthèse des connaissances acquises et des échanges entre des acteurs scientifiques et techniques impliqués sur cette thématique dans leur zone géographique de travail et/ou dans leur champ disciplinaire.

***Les quatre parties de ce document** reprennent les divers aspects abordés*

- (1. Diversité des ouvrages, 2. Biologie et comportement des jeunes anguilles,*
- 3. Modalités techniques pour améliorer la transparence des ouvrages,*
- 4. Recommandations pour établir un diagnostic et choisir la modalité la plus adaptée).*

Sa rédaction s'est appuyée sur les présentations orales et les publications ou rapports correspondants et a été enrichie par une analyse bibliographique.

Cette rédaction a été réalisée par :

***Christian RIGAUD** (Irstea-Pôle Eco-hydraulique, animateur Grisam).*

Liste des participants à l'atelier du GRISAM sur la transparence des ouvrages soumis à marée.

Associations ou Cellules migrateurs
Timothée BESSE - Association LOGRAMI (Loire Grands Migrateurs)
Vanessa LAURONCE Association MIGADO (Migrateurs Garonne Dordogne)
Marine ROUL Association LOGRAMI (Loire Grands Migrateurs)
Eric BUARD Cellule Migrateurs Charente-Seudre /CREA (Centre régional aquacole Poitou-Charentes)
François ALBERT Cellule Migrateurs Charente-Seudre - Union régionale des Fédérations de Pêche
Audrey POSTIC-PUIVIF Cellule Migrateurs Charente-Seudre - EPTB Charente
Administrations
Delphine MELIN DDTM Charente-Maritime
Marie-Noëlle BEVE DDTM Vendée
Bruno Des ROBERT DDTM Loire-Atlantique
Aurélien TISSERAND DREAL Pays de Loire
Roland MATRAT DREAL Pays de Loire
Gilles ADAM DREAL Aquitaine
ONEMA
Pierre STEINBACH DIR Orléans
Pierre Jean ALEM SD Charente-Maritime
Bertrand GAETANO SD Loire-Atlantique
Collectivités territoriales
Sylvie FONTENY Conseil général Charente-Maritime
Pôle Ecohydraulique
Alain ALRIC Onema
Christian RIGAUD Irstea
Hilaire DROUINEAU Irstea
Nicolas DELIGNE Irstea
Philippe BARAN Onema
Forum des Marais
Loïc ANRAS Chargé de mission Biologie
Gilbert MIOSSEC Directeur, analyse des usages
Gestionnaires d'ouvrages
François-Xavier ROBIN Union des Marais de Charente-maritime (UNIMA)
Sébastien SIMON Syndicat Centre Medoc
Bureaux d'études ou animateurs d'opérations groupées :
Antoine LEGAULT Bureau d'études Fish Pass
Virgil MAZEL Bureau d'études Fish Pass
Jérôme TARTARE Bureau d'études Asconit
Correspondants locaux spécialisés
Sophie DER MIKAELIAN Parc naturel Régional du Marais Poitevin
Dimitri BOURON Fédération de Pêche de la Vendée
Cathy TAVERNY Fédération de Pêche de la Gironde
Nathalie SAUR Parc naturel régional de Brière

Principaux suivis ayant servi de base aux présentations, synthèses et échanges au cours de l'atelier du GRISAM

Sites concernés	Responsables des suivis	Type de modalités testées
Estuaire de l'Yser (Belgique) (12 marées suivies en mars-avril) Mouton et al, 2012	Suivis par l'INBO (Institut de recherche pour la Nature et la Forêt)	Envois par le fond (vanne décollée)
Estuaires du Couesnon (58 marées suivies, janvier à avril) Laffaille et al, 2007	Suivis par Fish-Pass et Université de Rennes avec leurs partenaires locaux	Vantelles de fond
Estuaire de la Vilaine (suivis de la passe depuis 1996, 16 marées sur l'écluse en mars-avril) Briand et al, 2003 et 2008	Suivis par l'IAV (Institution pour l'aménagement de la Vilaine)	Passe à anguille depuis 1996 et éclusées
Estuaire de la Loire, Brière, Marais breton, marais vendéens Legault, 1990 ; Mazel et al, 2013	Suivis de Fish-Pass et de Logrami (Loire Grands migrants) avec leurs partenaires locaux	Envois massifs, cales, vantelles ou échancrures, éclusages à large échelle (bief inséminateur)
Estuaire de la Sèvre niortaise (suivis de la passe depuis 1984) Hyacinthe, 2009	Parc Inter-régional du Marais poitevin	Passe à anguille depuis le début des années 80
Estuaire de la Charente (47 marées suivies de février à avril) Rigaud et al, 2014	Suivis par le Pôle Eco-hydraulique (Onema-Irstea-Imft) avec partenaires locaux	Ouverture totale et/ou vantelle en fond ou surface et/ou cale sur porte à flot
Estuaire de la Seudre (suivi de la passe depuis 2009) Rapports annuels de la FD 17	Suivi par la Fédération de pêche et de protection des milieux aquatiques de Charente-Maritime	Passe à anguille depuis
Estuaire de la Gironde (20 marées suivies de 2010 à 2013, février à avril) Lauronce et al, 2013	Suivis de MIGADO (Migrateurs Garonne-Dordogne) avec ses partenaires locaux	Suivis depuis 2009 de 3 sites avec raidisseurs sur clapets de fond, cale sur porte à flot ou vantelle de fond. Premiers essais sur vantelle haute

Résumé

À la demande du Groupe Anguille du GRISAM, un atelier s'est tenu sur la thématique des ouvrages soumis à marée qui peuvent représenter des obstacles significatifs à la libre circulation des jeunes anguilles (*A. anguilla*).

Le compte-rendu de cet atelier est organisé autour de quatre chapitres.

Les deux premiers présentent les **principales caractéristiques de ces ouvrages soumis à marée** et les **connaissances biologiques** actuelles sur la migration de colonisation de l'anguille.

Le troisième chapitre recense et décrit les **modalités techniques actuellement disponibles pour améliorer la transparence d'un ouvrage soumis à marée** avec leurs limites et leurs avantages respectifs ainsi que les contextes auxquels elles correspondent le mieux. Il s'appuie notamment sur les observations et essais mis en œuvre sur divers sites du littoral en France et en Belgique et présentés au cours de l'atelier.

En quatrième partie, des recommandations sont formulées pour **l'organisation concrète d'un diagnostic sur un ouvrage et de l'évaluation des diverses solutions d'aménagement et/ou de gestion**. Les données essentielles à collecter sont présentées avec notamment la nécessaire prise en compte des contraintes et des usages particuliers à chaque territoire concerné.

Summary

At the request of the Working Group on Eel of the GRISAM, a workshop took place to make a point on the problems that may represent tidal works for the European eel (*A. anguilla*).

The report is organized in four chapters. The two first ones present **the main characteristics of the tidal works** all along the French coasts and **the main biological knowledge about the upstream migration of the European eel**.

Then, the conclusions of the workshop are presented. The third chapter lists and describes **the available technical solutions** to improve the transparency of a given tidal work, with their respective advantages and limits and the contexts to which they correspond best. It leans on the results obtained on several sites in France and Belgium and presented during the workshop.

Finally, in the fourth part, recommendations are formulated for **concrete organization of a diagnosis on a given hydraulic work and for evaluation of the different solutions** (*physical arrangement and/or management*). The essential data to be collected are listed with in particular, the necessary consideration of local constraints and human uses which characterize each territory.

Quelques mots d'introduction

Se préoccuper de continuité écologique au niveau d'un ouvrage hydraulique, c'est chercher à minimiser ses impacts négatifs sur le fonctionnement du système aquatique concerné et notamment sur la circulation de sa faune.

Cet objectif apparaît dans divers textes réglementaires et documents de planification (*Grenelle de l'Environnement et trame bleue, classement des cours d'eau au titre du Code de l'Environnement, Schémas directeurs d'aménagement de de gestion des eaux et leurs déclinaisons dans les SAGE, zones d'actions prioritaires du Plan national Anguille faisant écho au Règlement européen n°1100/2007,....*). On pourra utilement consulter le document de l'Onema dédié à cette question (http://www.onema.fr/IMG/pdf/continuite_cours-deau.pdf).

La présence de **très nombreux ouvrages soumis à marée** dans toutes les zones prioritaires d'action pour l'anguille européenne a mis en lumière cette problématique **sur tous nos littoraux métropolitains**.

Tous ces ouvrages y ont été édifiés pour maîtriser et le plus souvent bloquer l'intrusion du flot salé ou doux dans les territoires plus ou moins vastes situés en amont. Très souvent gérés ou aménagés sans tenir compte des migrations et des déplacements de la faune aquatique, leur étanchéité imparfaite et leur gestion manuelle régulière débouchaient jadis sur une relative perméabilité, notamment vis-à-vis des anguilles, alors très abondantes.

Aujourd'hui, ces ouvrages ont souvent été modernisés, sont généralement beaucoup plus étanches et sont parfois télé-gérés en s'inscrivant dans une volonté de maîtrise hydraulique de plus en plus affirmée. Ils apparaissent ainsi comme de véritables obstacles potentiels pour les allées et venues de la faune piscicole (*Feunteun et al, 1989*) et notamment des anguilles. Des diagnostics vont donc être entrepris et en cas de problème, des propositions d'aménagement et/ou de gestion seront élaborées pour améliorer la situation.

L'enjeu est significatif puisque ces très nombreux ouvrages commandent l'accès à des bassins versants plus ou moins vastes et/ou à des marais doux endigués pouvant offrir des habitats de qualité. Selon les sites et notamment l'importance de l'axe concerné, cette problématique de libre circulation peut concerner, outre l'anguille, **tout ou partie des autres espèces migratrices amphihalines présentes en métropole**.

Quand ces ouvrages desservent des marais salés ou saumâtres, ils peuvent fortement influencer sur les déplacements de l'anguille, mais aussi sur ceux **de nombreuses post-larves ou alevins d'espèces estuariennes ou côtières** (*sprat, anchois, lieu, sardine, tacaud,....*) fréquentant ces zones pendant leurs premières semaines de vie.

Le parc d'ouvrages soumis à marée est **très diversifié tant en termes de types de vannages que de contextes amont/aval dans lesquels ils s'insèrent**. Devant une telle diversité appelant un éventail de réponses techniques adaptées, il est apparu important et utile de s'appuyer sur le réseau d'acteurs ayant entrepris des essais et suivis dans différentes sites du littoral métropolitain.

Sur cette thématique particulière avec une approche nécessairement différente de celles mises en œuvre sur les ouvrages hydrauliques amont, un atelier du GRISAM s'est tenu à Rochefort avec la participation d'une trentaine d'acteurs scientifiques, techniques et administratifs.

Il en est ressorti une vision partagée des enjeux, des éléments de diagnostic à acquérir et de la palette de solutions techniques envisageables actuellement. **Tous ces éléments s'affineront bien sûr dans les années à venir, mais constituent déjà une base solide à même de contribuer utilement à la démarche opérationnelle qui s'engage.**

Le présent compte-rendu présente ces éléments et le lecteur pourra, en fonction de ses centres d'intérêt, s'orienter vers tout ou partie des différents chapitres.

Les deux premiers chapitres présentent les **principales caractéristiques des ouvrages soumis à marée** et une **synthèse des connaissances biologiques** actuelles sur la migration de colonisation de l'anguille.

Ces éléments permettent de mieux comprendre les angles d'analyse recommandés dans la phase de diagnostic d'un ouvrage soumis à marée pour collecter les éléments nécessaires à une prise de décision adaptée.

Les deux derniers chapitres présentent les **conclusions de l'atelier Grisam** proprement dit, atelier qui a permis de confronter les résultats des différents suivis mis en œuvre sur plusieurs sites en France et en Belgique.

La troisième partie recense et décrit les **modalités techniques actuellement disponibles pour améliorer la transparence d'un ouvrage soumis à marée** avec leurs limites et leurs avantages respectifs ainsi que les contextes auxquels elles correspondent le mieux.

En quatrième partie, des recommandations sont formulées en termes **d'organisation concrète du diagnostic sur un ouvrage et de l'évaluation des diverses solutions d'aménagement et/ou de gestion**. Les données essentielles à collecter sont présentées avec notamment la nécessaire prise en compte des contraintes et des usages particuliers à chaque territoire concerné.

Enfin, une **liste de références bibliographiques** complète le document pour ceux qui voudraient en savoir encore un peu plus.

Bonne lecture à tous et bonne utilisation de ces informations pour une meilleure prise en compte des besoins de la faune piscicole circulante, notamment ceux de l'anguille européenne, au niveau de nos très nombreux ouvrages soumis à marée.



Concentration de poissons et crustacés devant une vanne d'un marais littoral du Bassin d'Arcachon (© Irstea 2013)

SOMMAIRE

Chapitre 1 La diversité des contextes et ouvrages soumis à marée

- ✓ Les aspects généraux *p. 8*
- ✓ Des zones littorales et estuariennes souvent aménagées *p.11*
- ✓ La diversité des ouvrages soumis à marée *p.12*
- ✓ Impact hydrologique de la présence d'un ouvrage littoral *p.14*

A retenir

Chapitre 2 La colonisation des eaux continentales par l'anguille européenne

- ✓ Les différents niveaux de recrutement en anguilles d'un bassin versant *p. 17*
- ✓ La répartition des jeunes anguilles dans un bassin versant *p. 18*
- ✓ Les comportements des jeunes anguilles en zones soumises à marée *p. 19*
- ✓ Le franchissement de la limite de marée par certains individus *p. 21*
- ✓ Impacts des ouvrages soumis à marée sur la migration de colonisation *p. 23*
- ✓ Comportements observés en aval immédiat des ouvrages et franchissement *p. 26*
- ✓ Cinétique de franchissement *p. 31*
- ✓ Efficacité de l'offre de passage *p. 34*
- ✓ Des retours vers l'aval sur le jusant *p. 35*

A retenir

Chapitre 3 Les modalités techniques disponibles pour améliorer la transparence d'un ouvrage soumis à marée

- ✓ Introduction *p. 38*
- ✓ Arasement *p. 42*
- ✓ Ouvertures très fréquentes, mais partielles *p. 43*
- ✓ Ouvertures massives, mais ponctuelles *p. 46*
- ✓ Eclusées à vocation piscicole *p. 47*
- ✓ Passes à poissons *p. 48*
- ✓ Pêches et transferts *p. 50*

Chapitre 4 Recommandations pour l'organisation d'une démarche concertée sur un ouvrage

- ✓ Remarques et questions préalables *p. 51*
- ✓ Quelques pistes pour l'organisation pratique de la démarche *p. 51*
- ✓ Les différentes phases techniques de la démarche *p. 52*

Conclusion générale *p. 60*

Pour en savoir plus, les références citées *p. 63*

Chapitre 1. La diversité des ouvrages soumis à marée

✓ Les aspects généraux

- Zones côtières et estuaires sont soumis à deux marées quotidiennes dont l'amplitude (*marnage*) varie sur des cycles de 28 jours. En métropole, le maximum est enregistré en Manche avec environ 13 mètres d'amplitude en Baie du Mont Saint Michel par forts coefficients, la moyenne étant plutôt de 4-5 mètres sur la façade atlantique et de 0,40 m en Méditerranée. Pour fixer des ordres de grandeur, 40 % des marées correspondent à des coefficients de marée supérieurs à 80, souvent synonymes de possibilité d'admissions gravitaires dans les zones rétro-littorales.



*L'estey du port de Lamena (Gironde, rive gauche) à basse mer et en cours de flot.
En arrière-plan, l'estuaire de la Gironde (© Pôle Eco-hydraulique)*

Dans un estuaire ouvert (*absence d'ouvrage*), la zone soumise à marée se compose :

- **d'une partie aval** caractérisée par l'intrusion deux fois par jour d'une masse d'eau salée dont le volume augmente jusqu'à l'étale de pleine mer avec l'influence majeure du coefficient de marée, mais aussi du secteur et de l'intensité du vent ainsi que de la pression atmosphérique provoquant des phénomènes de surcote. En remontant la majorité de ces parties tidales salées, le marnage et l'intensité des courants de flot augmentent sous l'influence conjuguée du rétrécissement de l'estuaire (*exemple de l'estuaire aval de la Charente en figure 2*) et de la remontée du fond.



Partie aval de l'estuaire de la Charente (Image SPOT)

Cette partie « salée » de l'estuaire a une limite amont fluctuante liée au rapport de force variable entre l'onde de marée et le débit fluvial, cette limite étant parfois difficile à repérer du fait d'une stratification haline plus ou moins marquée (*rencontre sans réel mélange des masses salées et douces*) (Guillaud et Romaña, 1984).

Cette stratification est d'autant plus marquée que le débit fluvial est élevé. Dans les petits tributaires d'un estuaire salé, tributaires souvent de dimensions modestes voyant transiter des volumes d'eau douce assez limités, on observe rarement une stratification marquée et surtout durable (*mélange rapide des eaux en zone aval des ouvrages*).



Début d'écoulement de l'eau douce au niveau des portes à flot du Port de Lamena (estuaire de la Gironde) © Pôle Ecohydraulique 2011

- **d'une partie amont**, au-delà de la transition fluctuante précédemment évoquée. Comme en aval, les variations régulières des niveaux d'eau y sont liées aux cycles de marée, mais cette fois sans intrusion d'eau salée. C'est la présence à chaque flot, de la masse d'eau salée dans la partie aval qui contrarie l'écoulement de l'eau douce et qui provoque ainsi une accumulation temporaire de l'eau fluviale dans cette zone amont. Les courants y sont majoritairement dirigés vers l'aval, avec des vitesses variant selon le moment de la marée. Ils peuvent ainsi être très faibles à pleine mer, voire quasiment nuls en zone limite amont.

En absence d'ouvrage dans un estuaire, l'ensemble de ces deux zones successives s'étend jusqu'à la limite de marée dynamique (LMD) sur un linéaire plus ou moins important selon la situation géographique et la configuration de l'estuaire concerné, la période de l'année et la taille du bassin versant amont.

Elles s'étendent ainsi jusqu'à 160 km sur l'estuaire de la Seine (*axe de 776 km*) ou sur le large estuaire du bassin Gironde-Garonne-Dordogne (*axe principal de 680 km*). En revanche, elles n'occupent qu'environ 70 km sur l'estuaire étroit de la Loire (*pour 1010 km*). Sur de plus petits bassins versants, la LMD est bien sûr encore plus proche de la mer (*10 à 20 kms par exemple sur le Scorff ou la Seudre pour des linéaires jusqu'aux sources de 70 à 80 km*).

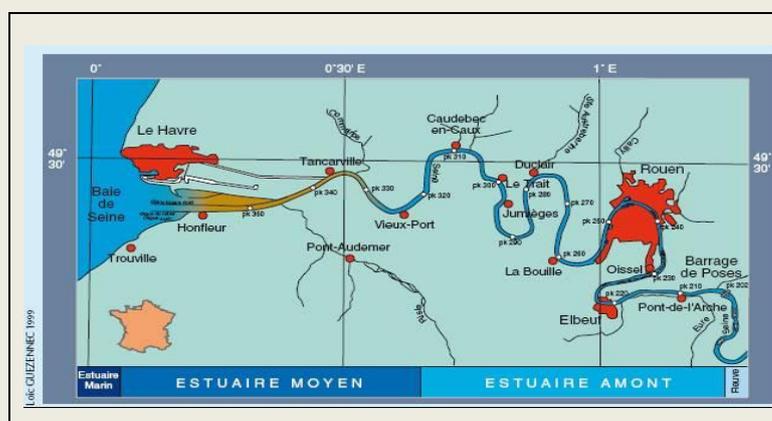
Au-delà de la LMD dont la position fluctue au gré des débits fluviaux et de l'intensité de l'onde de marée, on entre dans un domaine (*fleuve, rivière*) où les courants sont toujours dirigés vers l'aval et cette fois en totale indépendance avec les cycles tidaux.

Zone soumise à marée			LMD	Partie fluviale
Partie aval	Zone de transition	Partie amont		
- inversion biquotidienne des courants	- confrontation des courants (<i>coin salé, mascaret, brassage et tourbillons</i>)	- courants dominants vers l'aval, intensité en fonction du cycle de marée	- courants toujours vers l'aval, sans lien avec le cycle de marée	
- intrusion eau salée	- présence eau salée	- eau douce	- eau douce	
- variation biquotidienne des niveaux d'eau	- variation biquotidienne des niveaux d'eau	- variation biquotidienne des niveaux d'eau	- niveaux d'eau sans lien avec la marée	

Mer ←

→ ZONES amont

A mesure de la remontée dans l'estuaire, l'heure de la pleine mer se décale et la courbe de marée se modifie, le flot devenant de plus en plus court. Enfin, les zones tidales amont sont les plus concernées par les phénomènes de bouchon vaseux.



Les différentes zones de l'estuaire de la Seine

Source : Groupement d'intérêt public Seine-Aval

Un autre phénomène intéressant à noter concerne la **différence claire en termes d'évolution des courants sur un cycle de marée entre l'axe principal (l'estuaire) et les tributaires latéraux**.

La phase de mi-flot se caractérise en effet en estuaire par le courant le plus important du flot alors qu'elle correspond le plus souvent à une phase de courant quasiment nul (*équilibre/inversion*) sur un tributaire latéral. Si l'ouvrage placé sur ce tributaire est fermé, cette phase à très faible courantologie perdue, mais si l'ouvrage est ouvert, la pleine mer va correspondre à la phase de courant maximal alors qu'en estuaire, c'est l'étalement.

Ce phénomène a bien sûr des répercussions à la fois sur la cinétique d'apparition des MES sur les tributaires (*arrivée en fin de flot, après l'inversion*), mais aussi sur celle des civelles (Rigaud et al, 2014).

- En plus de l'évolution des phénomènes de l'aval vers l'amont au sein d'un même estuaire ou bien entre l'estuaire et ses tributaires, on constate également **la grande diversité de situations hydrodynamiques à l'échelle de l'ensemble des zones littorales et estuariennes métropolitaines**.

Chaque situation, à un moment donné sur un site donné, dépend en effet de la localisation géographique de la zone concernée avec notamment son niveau de marnage, la configuration plus ou moins naturelle du site et enfin le rapport de force du moment entre l'onde de marée et le débit fluvial, ce dernier étant lié aux conditions climatiques et aux décisions humaines quant à la gestion des écoulements.

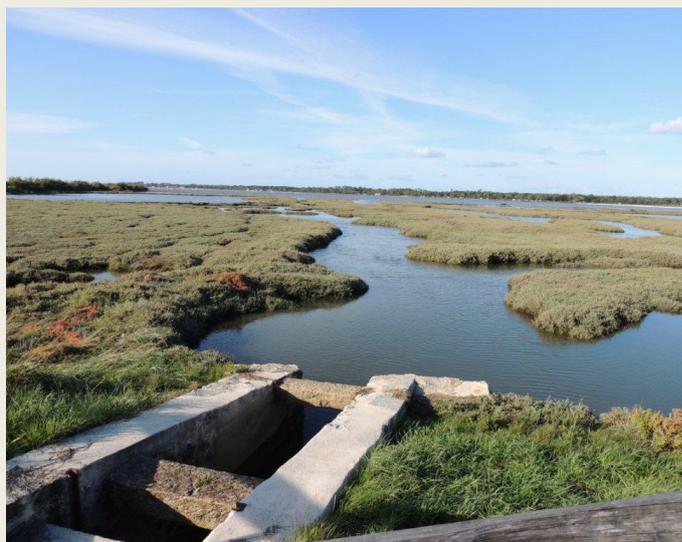
Cette complexité et cette variabilité de fonctionnement avec une étroite imbrication entre terres et eaux ainsi qu'entre eau salée et eau douce, débouchent de manière générale sur une très forte productivité biologique dans ces zones côtières et estuariennes (Mann, 1982 ; Odum, 2000 ; Lefevre et al, 2003). Cette productivité est surtout liée à l'existence de surfaces intertidales (*vasières, prés salés*) exploitées notamment par la faune piscicole qui y trouve des zones privilégiées d'alimentation (Marchand et Elie, 1983 ; Laffaille et al, 1998).

Avec des linéaires de canaux et fossés variant entre 40 et 250 mètres par hectare auxquels viennent s'ajouter des petits plans d'eau dans les zones d'origine salicole, les surfaces en eau représentent dans les marais en amont de ces ouvrages soumis à marée, entre 2 % et 70 % du territoire selon les sites. Ces marais sont gérés à l'aide de nombreux ouvrages, souvent de petit gabarit ([Anras et Chastaing, 2005](#)).

En marais salés, ce sont ainsi des centaines d'ouvrages individuels qui ont été implantés pour gérer les mouvements d'eau au sein des diverses structures (*fossés à poissons, réservoirs, claires, bassins aquacoles, salines, plans d'eau de chasse, réserves naturelles,...* voir notamment [GOUTX-Van de Maele, 1986](#)) avec un ratio moyen d'un ouvrage de prise d'eau pour 0,5 ha d'eau dans beaucoup de zones sauf pour les grands réservoirs arcachonnais (*une grosse prise d'eau pour 5-6 ha*).



Vue aérienne de marais en Seudre (chenal et fossés)
© Cemagref 1987



Chenaux et prés salés à marée haute dans le Bassin d'Arcachon.
Prise d'eau d'un marais endigué © Irstea 2012

✓ Un parc très diversifié d'ouvrages soumis à marée

Chaque ouvrage soumis à marée est une combinaison particulière d'un plus ou moins grand nombre d'éléments de base parmi lesquels on peut citer (*voir quelques exemples dans les photos jointes*) :

- les portes battantes, portes à flot ou d'èbe,
- les vannes crémaillère ou guillotines composées d'un ou de deux blocs, vannes motorisées ou non,
- les vannes secteurs,
- les clapets mobiles sur verrins hydrauliques,
- les seuils submersibles (*dérase*), fixes ou amovibles,
- les passages busés, plus ou moins longs (*parfois plus d'une centaine de mètres*), avec ou sans coude,
- les vantelles (*ouvertures obturables ou non, situées au fond ou à mi-hauteur, insérées dans une porte à flot ou une vanne*),
- les clapets sur axe horizontal masquant des orifices permanents de lâcher d'eau,
- les moines et écluses piscicoles (*avec un nombre variable de glissières*),
- les écluses de navigation avec portes battantes ou levantes motorisées.

Quelques exemples d'ouvrages ou d'éléments d'ouvrages soumis à marée



Barrage-usine marémotrice de la Rance (*admission d'eau à marée montante*) © EDF-Bruno Conty



Prise de marais salé (*buse + glissière extérieure*)
Moulin des Loges, Marennes (17) © Irstea



Ecluse du Domaine salé de Certes (Gironde). *Vidange et entretien du chenal aval* © Irstea



Ouvrage collectif à la mer - Ecluse du Grand-Pont
Beauvoir sur Mer - Vendée © Le Pape C. Logrami



Ouvrage de Charras (*portes à flot doublées en amont de vannes à double vantelles*) - Charente © Unima



Barrage Saint Félix à Nantes (*l'une des portes levantes est la vanne aval de l'écluse de navigation*).
Confluence Erdre-Loire © Val d'Erdre



Clapet mobile + seuil fixe
Saint-Savinien sur la Charente © Irstea



Vanne levante - deux blocs
Ecluse de Biard-Charente © Cellule Charente Migrateurs



Ouvrage composite (*deux clapets en RD + 2 vannes mono-bloc amont + 2 portes à flot aval en RG*)
Isle Saint Georges- Saucats (Gironde) © Irstea



Ouvrage composite (*2 vannes levantes + 3 clapets*)
Chenal du Milieu-Saint Julien de Beychevelle (Gironde)
© Migado



Buse pont-cadre à l'exutoire de la Virgule (Bretagne Sud-Cornouaille) © Guichard S. /Ouesco 2012



Ecluse de navigation de Saint-Savinien (Charente) © Irstea Bordeaux



Portes à flot équipées de vanelles, hautes ou basses © Migado



Série de portes à flot plus clapets de fond doublée d'une ligne de vannes murales © Migado

✓ **Impact hydrologique de la présence d'un ouvrage littoral**

L'implantation d'un ouvrage en zone soumise à marée fait apparaître un élément physique pouvant influencer sur la confrontation des masses d'eau. Ainsi, les clapets classiques sur axe horizontal se ferment très rapidement sous l'effet à la fois de leur poids et de la pression de l'eau qui s'y rajoute au cours du flot. Pour les portes à flot (*axe vertical*), c'est l'établissement d'un courant vers l'amont qui provoque cette fermeture. Cette dernière peut donc être significativement retardée dans certaines configurations (*vanne amont fermée ou très peu ouverte notamment*).

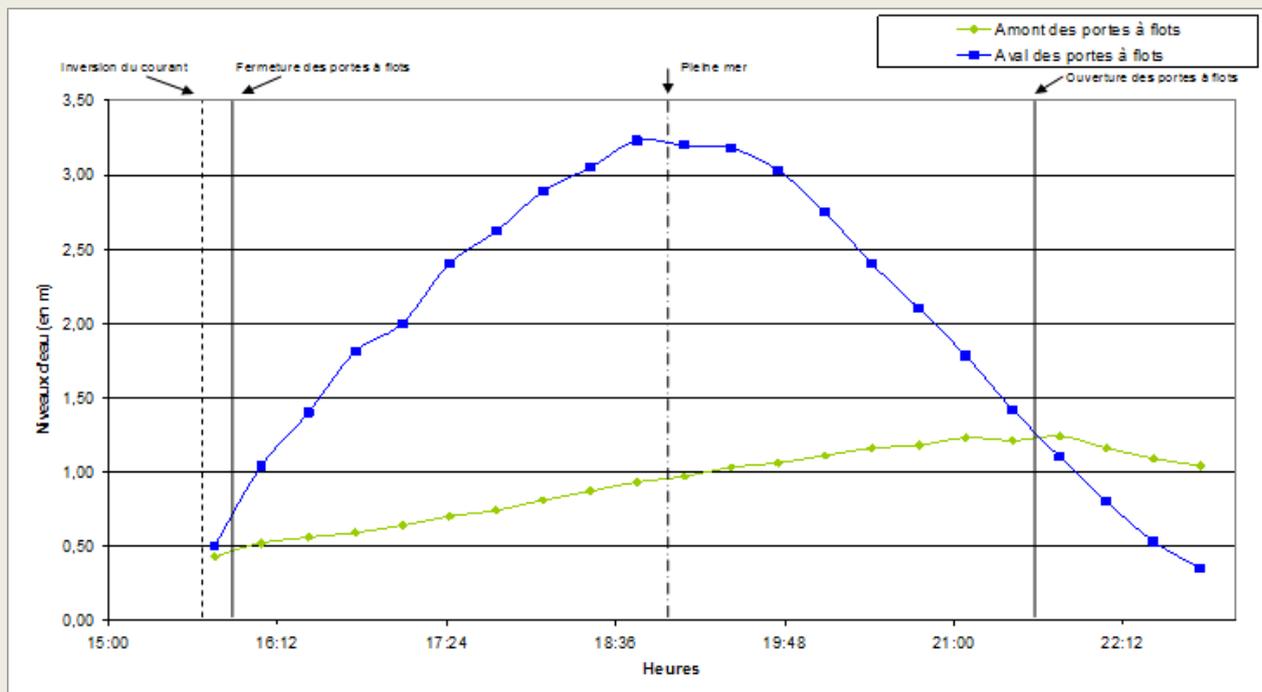
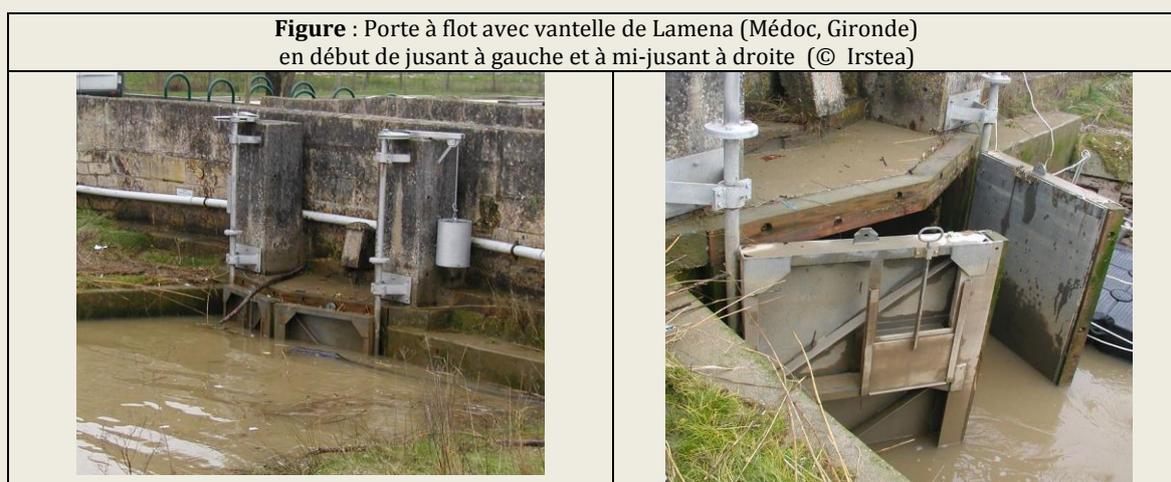


Figure: Exemple d'enregistrement des niveaux d'eau en aval (courbe bleue) et en amont (courbe verte) d'un ouvrage avec portes à flot. Fermeture des portes se produisant 5 à 10 minutes après l'inversion du courant. Hausse régulière du niveau amont due à l'accumulation du débit fluvial pendant toute la phase de fermeture. Extrait des travaux de MIGADO sur la Gironde (Albert et al, 2008)

Au-delà de leurs particularités physiques, c'est surtout leur gestion qui définit le niveau effectif d'influence de ces ouvrages, notamment avec la gestion de l'écoulement des eaux provenant de l'amont. On peut ainsi observer soit des phases de lâchers très intenses, pouvant être précédées par des phases de stockage (*actions de baccage ciblant le dévasement des biefs amont et du chenal aval*), soit des phases volontaires de rétention, soit des gestions particulières des premiers biefs (*recherche d'un niveau stable ou bien baisse significative en début de jusant pour créer une pente hydraulique sur l'axe amont*).

La mise en place de ces ouvrages répond toujours à un (*ou plusieurs*) objectif(s) majeur(s) qui a (*ont*) pesé sur le choix du type de vannage et sur la gestion mise en œuvre. Ceci étant, ces objectifs initiaux peuvent évoluer de manière significative au fil du temps sur le territoire concerné, ce qui peut déboucher soit sur une évolution notable de la gestion de l'ouvrage, soit même dans certains cas, sur sa possible remise en cause. **Il sera donc important de bien identifier les objectifs de gestion sur le territoire amont et sur les contraintes qui leur sont associées.**



Pour des zones amont fonctionnant en eau salée, les ouvrages de prise d'eau ne devraient pas poser de problèmes majeurs ni sur le plan hydrologique, ni sur le plan de la continuité. Cependant, la gestion effectivement mise en œuvre sur l'ouvrage (*fréquence plus ou moins élevée et régulière des entrées et des sorties d'eau, type de gestion des niveaux d'eau, existence ou pas de phases d'évacuation pour l'entretien du chenal aval,.....*) influe fortement sur la qualité générale à la fois de l'eau et des milieux aquatiques au sein du plan d'eau amont et du chenal aval ainsi que sur le niveau de transparence de l'ouvrage (Massé et Rigaud, 1998 ; Anras et al, 2004).

Lorsque l'ouvrage soumis à marée situé en zone tidale salée commande l'accès à un territoire géré en eau douce, il ne crée qu'assez rarement en phase hivernale et printanière, une frontière brutale entre l'eau salée et l'eau douce et ceci pour plusieurs raisons. L'écoulement le plus souvent observé au jusant à cette saison, crée en effet dans la zone aval plus ou moins proche, un passage progressif de l'eau salée à l'eau douce (*effet piston avec brassage des masses d'eau ou maintien d'un volume doux entre l'onde salée et l'ouvrage*).

Ces ouvrages situés aux exutoires de territoires gérés en eau douce ne créent pas non plus de frontière brutale et permanente entre une zone aval soumise à marée et un bief d'amont nullement influencé par le rythme tidal. En effet, avec des courants très majoritairement dirigés vers l'aval et des variations de niveaux totalement liés au cycle de la marée (*phases d'accumulation du débit fluvial sur tout ou partie du flot*), le bief d'amont présente des caractéristiques fort comparables à celles observées dans la partie amont d'un estuaire en l'absence d'ouvrage (*cf description précédente*).

En revanche, ce type d'obstacle implanté dans la zone aval d'un estuaire ou d'un littoral côtier, **limite physiquement la propagation de l'onde salée vers l'amont et donc l'extension des parties aval, salées et de transition**, décrites précédemment dans le cas d'un estuaire ouvert.



A retenir

Pour chaque ouvrage diagnostiqué, il sera important de bien repérer son **positionnement par rapport aux différentes zones** de l'estuaire ou du littoral qui lui correspond, en prenant bien sûr en compte leurs variations saisonnières de fonctionnement.

Les éléments caractérisant **ce contexte aval** (*niveaux de salinité, marnages, fréquence des surcotes, niveaux de turbidité, durées du flot,...*) **influenceront en effet sur le choix ultérieur de la modalité technique d'aménagement ou de gestion pour améliorer sa transparence.**

Aux différents types d'ouvrages implantés dans des situations variées sur les littoraux côtiers ou estuariens va également correspondre une grande **diversité de contraintes** liées aux environnements et usages des **territoires amont** concernés.

Tous ces éléments (*zone aval, zone amont, ouvrage*) devront donc être pris en compte lors de l'évaluation et du diagnostic portés sur ces ouvrages soumis à marée.

Chapitre 2. Colonisation des eaux continentales par l'anguille européenne. Comportements observés dans les zones soumises à marée

Différentes synthèses des connaissances sur toute ou partie de la phase de colonisation sont déjà disponibles (Elie et Rochard, 1994 ; Ibbotson, 2002 ; Feunteun et al, 2003 ; Adam et al, 2008 ; Harrisson et al, 2014). Dans le cadre de ce travail ciblant le franchissement des ouvrages littoraux, les points qui y apparaissaient importants à prendre en compte ont été identifiés.

Nous y avons ajouté quelques nouveaux éléments, notamment **ceux ayant trait aux comportements des civelles en aval des ouvrages au cours d'une marée**. Ils ont été présentés et débattus au cours de l'atelier GRISAM par les équipes ayant mis en œuvre des suivis biologiques au niveau de différents sites littoraux.

✓ Les différents niveaux de recrutement en anguilles d'un bassin versant

Actuellement, la très grande majorité des éléments scientifiques disponibles plaide pour l'existence d'une seule population d'anguilles européennes avec une seule zone de reproduction en Atlantique nord-ouest (*Mer des Sargasses*) et une vaste zone continentale de répartition et de croissance (*zone en rouge sur la carte jointe*).

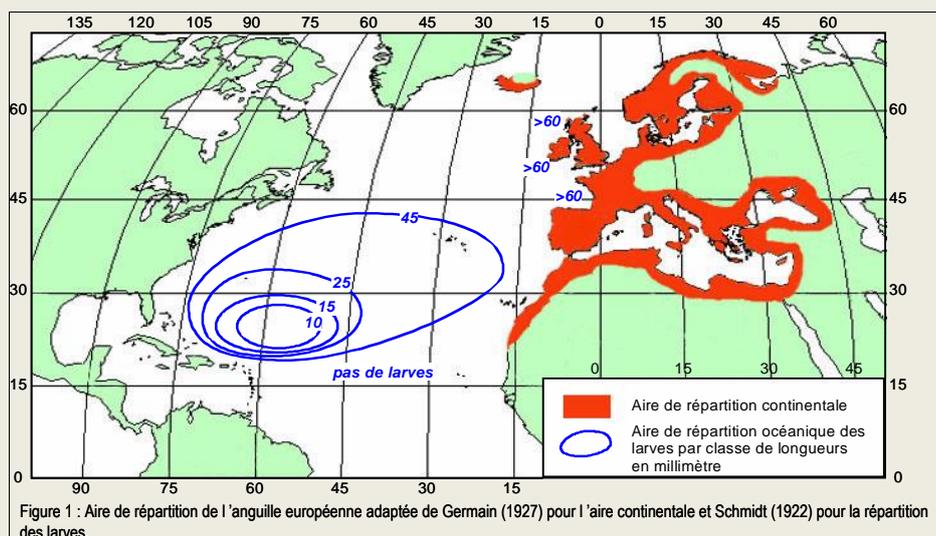


Figure 1 : Aire de répartition de l'anguille européenne adaptée de Germain (1927) pour l'aire continentale et Schmidt (1922) pour la répartition des larves.

Chaque année, l'ordre de grandeur de la quantité de larves, puis de civelles issues de la phase de reproduction résulte de l'état général du stock d'anguilles européennes (Dekker, 2000a) et des conditions océaniques de reproduction puis de migration des larves (Knights, 2003; Bonhommeau et al, 2008).

Au sein de la zone de répartition de l'espèce, la localisation de chaque bassin versant ainsi que ses grandes caractéristiques (*notamment débit et qualité d'eau au moment de l'arrivée des jeunes recrues*) influent sur la quantité de jeunes individus qui y pénètre pour constituer le **recrutement total du bassin concerné**.

Mortalité naturelle, sédentarisation de certains individus en estuaire et en zones humides rétro-littorales, prélèvements par pêche et autres mortalités d'origine anthropique (Briand et al, 2003 et 2005) déterminent ensuite la fraction de ce potentiel initial qui sort de la zone d'influence de la marée pour constituer le **recrutement fluvial du bassin versant**.

Le niveau de transparence des ouvrages soumis à marée va influencer fortement sur l'intensité de ce recrutement fluvial sur les axes sur lesquels ils sont implantés par rapport au potentiel se présentant en aval.

✓ La répartition des anguilles dans un bassin versant

Le groupe d'individus franchissant la limite de marée dynamique (LMD) voit s'offrir à lui une grande diversité d'habitats potentiels situés à différentes altitudes et distances de l'estuaire, habitats plus ou moins accessibles selon le nombre et la transparence des ouvrages hydrauliques fragmentant les fleuves et rivières du bassin.

Jusqu'au début des années 80, la très grande majorité des publications (Deelder, 1958 ; Tesch, 1977) présentait la colonisation du domaine fluvial comme le comportement ultra-dominant. La présence significative d'anguilles observées en eau salée ou saumâtre était alors assimilée soit à du passage (*estuaire, lagunes*), soit à du piégeage dans certaines zones (*fossés à poissons des marais salés endigués notamment*).

Depuis, de nouveaux outils, notamment l'analyse microchimique des pièces osseuses, ont permis de révéler l'existence de parcours uniquement marins ou d'entrées en eau douce suivies rapidement de retours en eaux salées (Daverat et al, 2006). Ces éléments, complétés par l'analyse des structures de taille observées dans les bassins versants, ont fait émerger l'hypothèse d'une progression des individus par diffusion à partir de l'estuaire. Des repositionnements réguliers non exclusivement orientés vers l'amont, notamment en réponse à des niveaux de densité trop élevés par rapport aux abris et ressources disponibles (Ibbotson et al, 2002) débouchent alors sur des maxima de densité toujours observés en zone aval des bassins et un niveau de pénétration dans ces bassins très lié à l'effectif franchissant la limite de marée (*faible effectif initial = faible progression*).

Le maintien d'un niveau significatif d'anguilles en migration observé assez haut dans les bassins versants en dépit de l'effondrement du recrutement (*a minima chute d'un facteur 100 depuis le début des années 80*) et donc en dépit de la non saturation flagrante des sites aval, plaide cependant pour une hypothèse intermédiaire.

On pourrait ainsi admettre la coexistence d'un positionnement des anguilles dans le bassin versant lié à la compétition pour les abris et les ressources trophiques, mais aussi à un comportement d'advection (*nage active vers l'amont*) d'un groupe clairement migrant surtout pendant les premières années de vie continentale et ce, quelles que soient les conditions en aval.

Il ressort donc l'existence d'une diversité de parcours, observée dès l'entrée dans l'estuaire et peut-être liée à la diversité des profils physiologiques et des capacités physiques des individus. Il apparaît aussi que les plus fortes probabilités de migrer concernent surtout les petites tailles avec des effectifs importants, en zone littorale notamment (Edeline et al, 2004, 2006 et 2007 ; Feunteun et al, 2003 ; Bureau du Colombier et al, 2009 ; Imbert et al, 2010).

La transparence plus ou moins grande des ouvrages présents dans ces zones aval pèse fortement sur la dynamique ultérieure de colonisation du bassin amont. Il s'agit donc d'améliorer de manière significative cette transparence au moyen d'actions adaptées d'aménagement et/ou de gestion pour que s'expriment les comportements des individus attirés par la zone amont et pour que les retards de progression pris en zone aval avec toutes les surmortalités qu'ils induisent, soient minimisés.

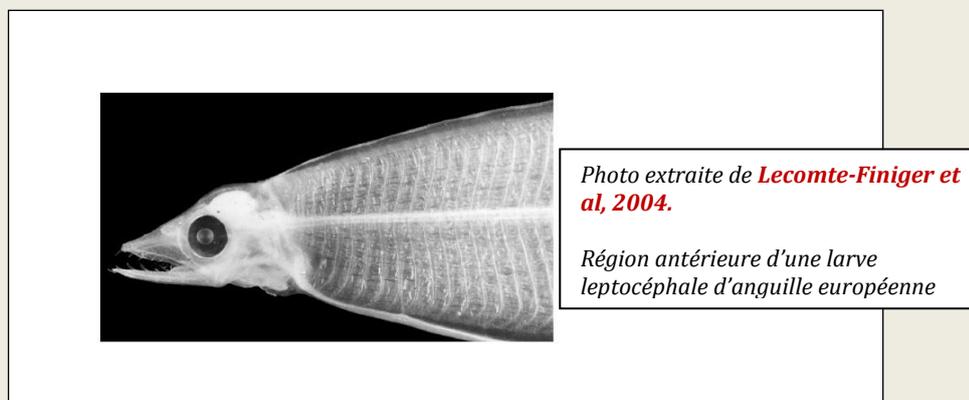
✓ Comportements des jeunes individus en zones soumises à marée

❖ Remarques préalables

La connaissance du comportement des anguilles de moins de 10 cm en zone estuarienne ou littorale et en zone proche de la limite de marée dynamique repose pour le moment sur un petit nombre d'outils d'observation (*tamis travaillant en pleine eau, engins passifs offrant des abris potentiels en phase de repos, dispositifs de franchissement d'ouvrages avec piégeage et comptage*). Ces outils ne permettent d'accéder qu'à une partie des comportements dans les milieux profonds estuariens et littoraux et il est clair par exemple que **les déplacements proches du fond leur échappent majoritairement.**

○ **Comportements des premiers stades de pigmentation**

Le stade civelle fait la transition entre le dernier stade larvaire (*photo*) et l'anguille jaune (*pigmentation complète et viscères non visibles*). Cette transition commence par la métamorphose de la larve en une civelle totalement transparente (V_A) avec modification de forme, perte significative de poids et de taille et arrêt de la prise alimentaire.



Une classification a été établie pour décrire **toute la phase de pigmentation progressive qui suit** (Elie et al, 1982).



Stades très peu pigmentés (V_A - V_B). © Ouest-France

Les premiers stades pigmentaires (V_A et surtout V_B) sont observés toute l'année en estuaire, mais leur présence massive est associée à une période limitée, différente selon les sites (Elie et Rochard, 1994). Leur arrivée se fait par « vagues » en lien avec les fortes marées sur les littoraux océaniques, les périodes avec coefficients croissants correspondant à une pénétration de plus en plus profonde et importante dans les estuaires. De manière générale, la taille et l'embonpoint des civelles diminuent sur chaque site entre le début et la fin de la saison majeure d'arrivée (Desaunay et Guerrault, 1997).

Tableau : Périodes des maxima d'abondance de civelles (d'après Elie et Rochard, 1994)

Zones	Périodes de maximum d'abondance	Auteurs
Gibraltar	Octobre	Schmidt, 1922
Palma de Mallorca	Septembre-Avril	Gandolfi-Hornyold, 1934
Ligurie	Octobre-Mai	Gandolfi-Hornyold, 1934
Languedoc	Octobre-Février	Lecomte-Finiger, 1978
Arno	Février-Mai	Gandolfi et al., 1984
Lac de Tunis	Janvier-Juillet	Heldt et Heldt, 1929
Egypte	Octobre-Juillet	Ezzat et El Serafy, 1977
Adour	Janvier-Février	Desaunay et al., 1993 (b)
Gironde	Décembre-Février	(Résultats du présent travail)
Loire	Janvier-Mars	Elie, 1979
Vilaine	Janvier-Avril	Elie et Rigaud, 1984, 1985 Desaunay et al., 1993 (a et b)
Somme	Mars-Avril	Desaunay et al., 1993 (b)
Mer du nord	Avril-Mai	Bowman, 1913
Manche	Novembre-Décembre	Tesch, 1979
Danemark	Janvier-mars	Lindquist, 1979
	Avril-Mai	Boetius and Boetius, 1989

La vitesse de pigmentation de ces civelles dépend surtout de la température de l'eau et de la salinité (Briand et al, 2005). Ainsi, en phase hivernale, dans une eau à 8-12 °C et 20 ‰ de salinité, le stade V_B ne dure que 8 jours. Il est encore plus éphémère dans une eau très dessalée voire douce. **Le stade V_B signe donc toujours une entrée très récente dans la zone où il est observé.**

Ces civelles nouvellement arrivées sont confrontées à une grande diversité de situations en zone côtière et estuarienne (conditions thermiques, conditions de courant) avec l'obligation de s'y adapter. Leur intrusion puis leur progression en zone continentale soumise à marée sont synonymes de **contact rapide avec l'eau douce** notamment à la faveur des panaches sortant de l'estuaire, puis des tributaires latéraux rencontrés. De plus, même sur les grands estuaires français, la limite de salure (1 g de sel par litre) apparaît très tôt (à 35 km de la mer sur la Loire et à 75 km sur la Gironde), presque toujours à la moitié de la zone soumise à marée.

Ces premiers stades très peu pigmentés (*glass-eels des anglo-saxons*) correspondent à des animaux à jeun avec des capacités physiques limitées par rapport aux conditions de courant qu'ils rencontrent. Leurs allées et venues sont donc très dépendantes du déplacement des masses d'eau, avec une migration vers la surface (*la civelle lève*) au cours du flot (Elie et Rochard, 1994).

Dans toute la zone soumise à marée, leur progression vers l'amont est surtout liée au **transport tidal sélectif** (Mc Cleave et Klechner, 1982 ; Gascuel, 1986 ; Mc Cleave et Wippelhauser, 1987) qui voit certains individus profiter efficacement des courants de flot au moins sur les phases de coefficients croissants (*progression moyenne vers l'amont évaluée à 3,5 - 4 km par jour dans l'estuaire de la Gironde* (Beaulaton et Castelnaud, 2005)). **Cette utilisation efficace du flot par certains individus** avec une résultante favorable entre les distances parcourues au flot et au jusant et une bonne synchronisation avec les courants de marée (Bolliet et al, 2007 et 2008), **les amène rapidement en limite amont de la zone soumise à marée**, ce comportement pouvant être lié à certains profils physiologiques et énergétiques (Bureau du Colombier et al, 2009).

Mais cela n'exclue pas une certaine autonomie dans leur positionnement puisque de nombreuses observations révèlent par exemple l'attrait que constituent des appels d'eau douce ou dessalée (Lecomte-Finiger et Razouls, 1981 ; Crivelli et al, 2008). De même, un petit pourcentage d'individus est capable de progresser un peu plus vite que la masse d'eau et se présente donc en aval des ouvrages soumis à marée légèrement avant l'arrivée effective de l'onde de flot (Gascuel, 1986).

Des retours significatifs vers l'aval, au moins au début du jusant, sont également observés et sont d'ailleurs souvent exploités par les pêcheries. Ils traduisent le maintien en pleine eau d'individus jusqu'à un certain niveau de courant dirigé vers l'aval (Beaulaton et Castelnaud, 2005 ; Prouzet et al, 2009). Selon différentes données expérimentales et observations *in situ*, ce seuil se situerait aux alentours de 0,25-0,30 m/s en pleine eau. Au-delà, les individus doivent se mettre à l'abri dans un substrat favorable (Lecomte-Finiger et Prodon, 1979) ou en zone rivulaire pour ne pas se retrouver rejetés en aval, comme observé en Gironde (Cantrelle, 1984) et en Sèvre niortaise (Gascuel, 1986) lors d'opérations de marquage de masse.

Nous noterons enfin l'observation assez fréquente de comportements d'escalade de ces civelles peu pigmentées sur des passes à brosses en zone tidale (Bertignac, 1984 ; Rigaud et al, 1988 ; White et Knights, 1997 ; Briand et al, 2003 ; Crivelli et al, 2008 ; Hyacinthe, 2009 ; suivis en cours sur la Seudre et le Canal du Porge en Gironde par les Fédérations de pêche de Gironde et de Charente-Maritime).

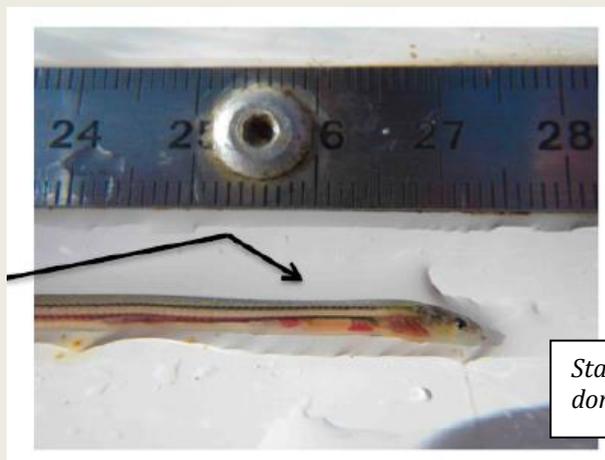
De tels phénomènes d'escalade peuvent même apparaître très tôt dans la saison (*dès novembre*) **mais seulement à la faveur de périodes thermiques favorables** (températures d'air supérieures à 11°C). Bertignac (1984) note cependant une proportion plus faible de ces premiers stades pigmentaires dans les passages sur les rampes par rapport à leur niveau de présence juste en aval de l'obstacle.

Au final, en période hivernale, lorsque la température de l'eau est inférieure à 10-11 °C, les individus qui se présentent en aval des ouvrages soumis à marée, sont majoritairement des civelles peu pigmentées dont les déplacements sont surtout liés aux mouvements des masses d'eau.

En l'absence d'ouvrage, les individus les plus performants et synchrones avec le rythme des marées se retrouvent vite en eau douce et dans la partie amont de la zone soumise à marée. Les ouvrages implantés dans les zones soumises à marée viennent en général fortement perturber ces comportements et cette progression.

○ Reprise de l'alimentation et changement de comportement

Pour chaque individu, la reprise de l'alimentation intervient en cours de pigmentation, le plus fréquemment au stade VI_{A2} , parfois plus tôt (Bardonnet et Riera, 2005). A partir des travaux de Briand et al. (2005), on peut évaluer le temps nécessaire en estuaire et en période hivernale, pour passer du stade V_B (arrivée dans l'estuaire, stade très peu pigmenté, pas d'alimentation) à ce stade VI_{A2} (pigmentation significative, reprise de l'alimentation).



Stades VIA_0 à VIA_2 - mise en place de la pigmentation dorsale © Aubert S. Fédération de Pêche Gironde

Avec 20 points de salinité, cette phase est évaluée à 25 jours à 12°C et à 50 jours à 8°C. En eau douce, pour la même gamme de température, cette durée est plus courte et comprise entre 15 et 30 jours. **La reprise alimentaire intervient donc le plus souvent entre 3 et 7 semaines après l'entrée de l'individu en estuaire en période hivernale.** Les stades suivants, notamment le stade VI_{A4} , peuvent en revanche durer plusieurs mois jusqu'à la pigmentation complète de l'individu (White et Knights, 1997).

Ces stades pigmentaires plus évolués, toujours englobés sous le terme français « civelle » sont dénommés d'une manière différente par les anglo-saxons (le terme « elver » prend le relais de « glass-eel »). Au-delà de la pigmentation plus marquée des individus, cette distinction anglo-saxonne est aussi liée à **l'observation d'un changement de comportement**. En effet, la reprise d'alimentation alliée à une reprise de croissance correspond à un comportement plus benthique et de plus en plus autonome de la jeune anguille **la mettant plus ou moins hors de portée des engins de capture en pleine eau.**

Cet abandon du comportement pélagique est bien sûr un moment important dans le parcours des jeunes anguilles qui peut intervenir dans toutes les zones de l'estuaire et qui concerne au final tous les types d'individus (ceux à progression rapide vers l'amont de l'estuaire comme ceux qui restent plus en aval).

Pour les individus arrivés en septembre sur le littoral atlantique, cette bascule peut intervenir dès début novembre. Après un arrêt de croissance hivernal, ce sont ces individus qui parviennent à des tailles de 8 à 12 cm en juin en estuaire de Vilaine et qui, au moins pour partie (mortalités diverses), participent à la migration printanière vers le bassin versant via les passes-pièges locales (Briand et al, 2003) en absence d'admissions plus précoces en amont de l'ouvrage.

✓ Le franchissement de la limite de marée par certains individus

○ Comportements

Au-delà de la limite de marée dynamique (LMD), la nage à contre-courant devient impérative pour continuer à progresser vers l'amont. La capacité physique à progresser sur une longue distance à contre-courant apparaît dès la zone soumise à marée sur les phases de jusant et donc très tôt dans la vie continentale de certaines jeunes anguilles, mais elle augmente bien sûr avec leur croissance. Pour les civelles, cette nage à contre-courant sur de longues distances concerne surtout des individus présentant une forte activité thyroïdienne et de forts coefficients de condition (embonpoint) (Edeline et al, 2006).

Différents auteurs ont évalué les performances face au courant des civelles et des très jeunes anguilles jaunes de différentes espèces en conditions expérimentales soit sur une durée longue (*nage soutenable sur plus d'une heure*), soit en condition de sprint sur quelques secondes (Barbin et Krueger, 1993 ; McCleave, 1980 ; Mitchell, 1995 ; Sorensen, 1951 ; Tsukamoto et al, 1975 ; Videler et Wardle, 1991).

Leur capacité de nage soutenable se situe dans la moyenne des espèces piscicoles avec des vitesses maximales de courant contraire correspondant à 3 - 4 longueurs de corps par seconde. En revanche, de piètres performances sont enregistrées en sprint sur 10-15 secondes (*maxi de 7,5 à 8,5 longueurs de corps par seconde*). Rapportées à la longueur moyenne des individus testés, ces résultats correspondent à des vitesses maximales de courant de **0,25-0,30 m/s pour une nage soutenable et de 0,50-0,60 m/s pour un sprint court**.

Face à ce type de contraintes, les individus peuvent s'adapter en utilisant notamment **la couche limite** dont Chow (1959) a évalué l'épaisseur en chenal expérimental (*2 cm pour un courant de 0,10 m/s, 1 cm pour 0,40 m/s*). Il a montré également une relation stable entre la vitesse au fond et celle en surface (*rapport 1/2*) ou celle enregistrée à mi-profondeur (*rapport 2/3*).

Une autre stratégie de progression pour ces jeunes anguilles consiste à utiliser les zones rivulaires (*végétation, branchages, blocs, ...*) moins exposées au courant contraire et pouvant offrir des zones d'abris temporaires. La formation de cordons (Cairn, 1941, in Cantrelle, 1984), observés en rivière mais aussi dès l'estuaire fluvial le long des berges sur certaines phases de jusant, constitue également une stratégie collective synonyme d'économie d'énergie face au courant. Mais, si des cordons massifs (*plusieurs mètres de large sur plusieurs centaines de mètres*) étaient régulièrement observés il y a encore 40 ans, leur quasi disparition liée à la forte baisse du recrutement, ne doit pas être sans conséquence sur la dynamique de la colonisation (*plus de difficultés de progression, plus grande sensibilité à la prédation,...*).

○ **Facteurs environnementaux impliqués**

Le déclenchement des mouvements migratoires massifs en amont de la LMD apparaît très lié à la température, au débit fluvial (appel d'eau) et aux coefficients de marée (Tongiorgi et al, 1986 ; Martin, 1995 ; White et Knights, 1997a ; Crivelli et al, 2008 ; Arribas et al, 2012 ; Welsh et Liller, 2013, Harrison et al, 2014).

Pour la température, des suivis sur divers sites européens ne révèlent aucun passage significatif tant que la température de l'eau d'appel n'atteint pas une valeur seuil (*6 à 9°C*). Les auteurs observant ce déclenchement sur des barrages équipés de rampes annoncent même des seuils plus élevés (*11 à 15°C*), ce décalage étant sans doute lié au fait que l'animal sort de l'eau pour progresser sur la rampe, l'écart de température entre l'eau et l'air entrant alors en ligne de compte (Linton et al, 2007).



Fig. : Civelles pigmentées et très petites anguilles jaunes en reptation verticale sur une paroi bétonnée, en utilisant la frange humide liée à la lame déversante © Cemagref

○ **Intensité du phénomène**

Tous les relevés sur les **passes estuariennes ou proches des limites de marée** (Moriarty, 1986, Legault, 1994, Briand et al, 2003) révèlent **la très grande rareté des anguilles de plus de 10 cm** (*en moyenne 2 à 3 % des passages observés*). La grande majorité des franchissements par escalade sur ces ouvrages littoraux ou estuariens est observée entre avril et juin, mais des montées plus précoces ont aussi été observées lors de phases thermiques favorables. Pour les anguilles de plus grande taille, les passages s'échelonnent plus régulièrement d'avril à octobre.

Les franchissements par admissions d'eau en saison hivernale (Laffaille et al, 2007 ; Mouton et al, 2011) sur les ouvrages littoraux ne changent en rien à ce constat et renforcent même la prédominance des civelles, seules actives dans les périodes de basses températures (*moins de 12°C*).

En rapportant le nombre de migrants observés sur des passes-pièges à la surface du bassin en amont du point de comptage, **Legault (1992)** a proposé le calcul d'indices de passage ou de recrutement. Les indices estuariens sont les plus élevés, mais révèlent également une forte variabilité interannuelle et inter-sites (*tableau*). L'évolution de l'état général de l'espèce, la position de chaque estuaire au sein de l'aire de répartition, l'impact plus ou moins significatif de la pêche aval ainsi qu'une probabilité significative de passage direct en cas d'ouverture de l'ouvrage lors des années à forte hydrologie hivernale, sont pour beaucoup dans cette variabilité.

Tab. : Nombre de migrants comptabilisés sur des passes littorales rapporté au nombre de km² de BV amont

Années	Auteurs	Bassin versant	Indice (Nb migrants/km ² amont)
1975-1984	Vollestad et Jonsson	Imsa (Suède)	30 à 380
1992	Legault (Fish Pass)	Arguenon (Bretagne nord)	530
1996-2008	Briand (IAV)	Vilaine (Bretagne sud)	3 à 250
2000-2002	Der Mikaelian (Parc Marais poitevin)	Sèvre niortaise	60 à 120
2009-2013	Laharanne (FDAAPPMA 33)	BV des lacs médocains	75 à 1 000
2010-2013	Rouet (FDAAPPMA 17)	Seudre	140 à 500

○ Impacts des ouvrages soumis à marée sur la migration de colonisation

La gestion des ouvrages soumis à marée est souvent à l'origine de blocages plus ou moins longs des jeunes anguilles, blocages synonymes de **prédation** (*oiseaux, poissons carnassiers*), **de cannibalisme ou de pathologies** (*ichthyophytiose par exemple*) associées aux fortes densités d'individus et enfin de **prélèvements importants par pêche** sur les premiers mois de l'année.

Ces blocages compromettent également toute la dynamique de colonisation de l'amont en retardant plus ou moins longuement la progression des migrants attirés par l'amont qui ne disposent au final que d'un créneau de quelques semaines favorables pour progresser chaque année.

○ Evolution de la turbidité et de la salinité observées au niveau de ces ouvrages

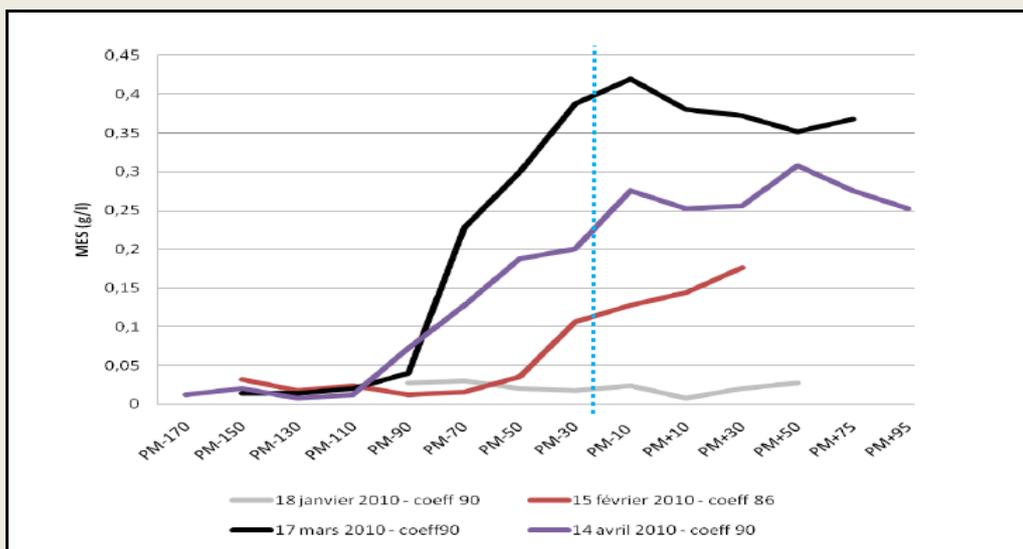
Un certain nombre de campagnes d'observation ont intégré l'observation de la turbidité et de la salinité (*dans le cas de sites très en aval*). Lorsque les valeurs de ces éléments sont élevées, ils doivent en effet être pris en compte pour concevoir des modalités de gestion ou d'aménagement compatibles avec les usages amont.

On rappellera ici la diversité des phénomènes observés dans la confrontation des deux masses d'eau, celle venant de l'estuaire lors du flot et celle provenant du territoire amont. Notamment le rapport de force entre ces masses d'eau va beaucoup influencer. Dans un petit chenal peu profond au débouché d'un petit territoire amont, l'onde de marée provenant d'un estuaire important va rapidement progresser jusqu'à l'ouvrage avec une quasi-absence de stratification. Ce n'est plus le cas dans un chenal profond et large, au débouché d'un territoire amont plus vaste. Certains niveaux de débit fluvial peuvent en effet se solder par un retard important dans la progression de l'onde de marée et l'apparition d'une nette stratification (*sel et/ou MES*) plus ou moins durable sur le flot.

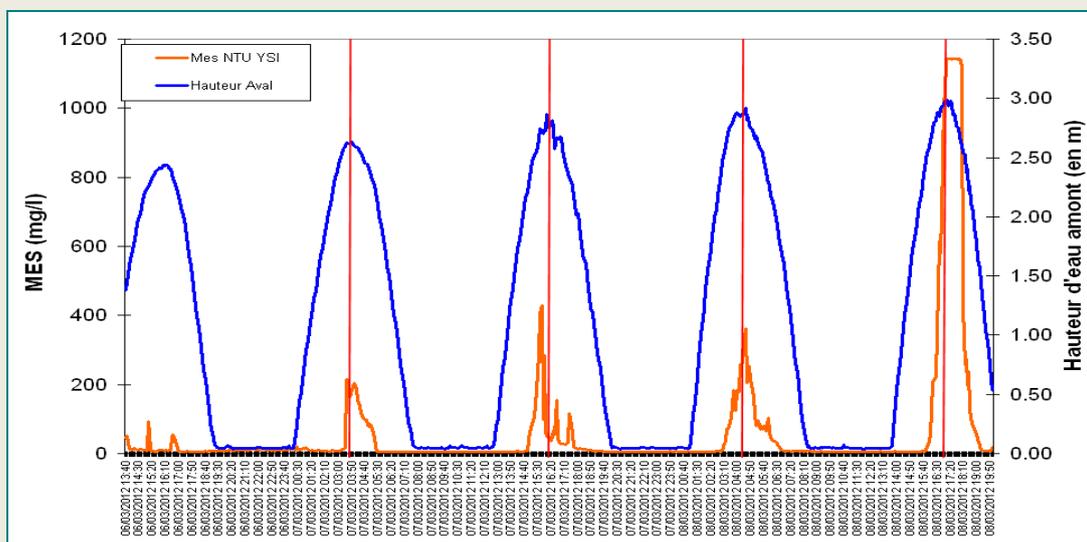
○ En lien avec l'évolution des courants observés le plus souvent dans les petits tributaires au cours d'un cycle de marée, **l'arrivée significative des MES (matières en suspension)** liées à l'onde de marée en aval des premiers ouvrages **intervient, après l'inversion, dans la dernière partie du flot (1 h 00 à 1 h 30 avant la pleine mer)**.

C'est le cas par exemple pour les suivis 2010 en Gironde (voir graphe, [Lauronce et al, 2013](#)) qui illustrent bien aussi la variabilité saisonnière du phénomène. Ainsi, cette année-là, des niveaux significatifs de MES sont observés à pleine mer en mars et avril alors qu'ils étaient beaucoup plus modérés en phase hivernale pour des coefficients de marée similaires.

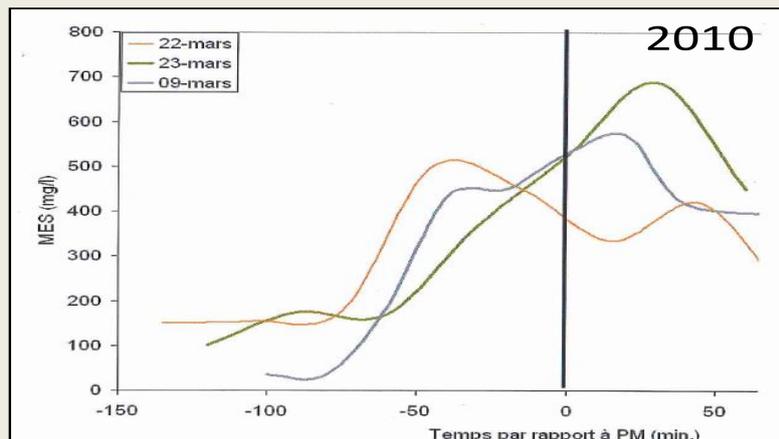
Extrait des travaux de Migado ([Lauronce et al, 2013](#)) sur le premier ouvrage d'un tributaire en rive gauche de l'estuaire de la Gironde



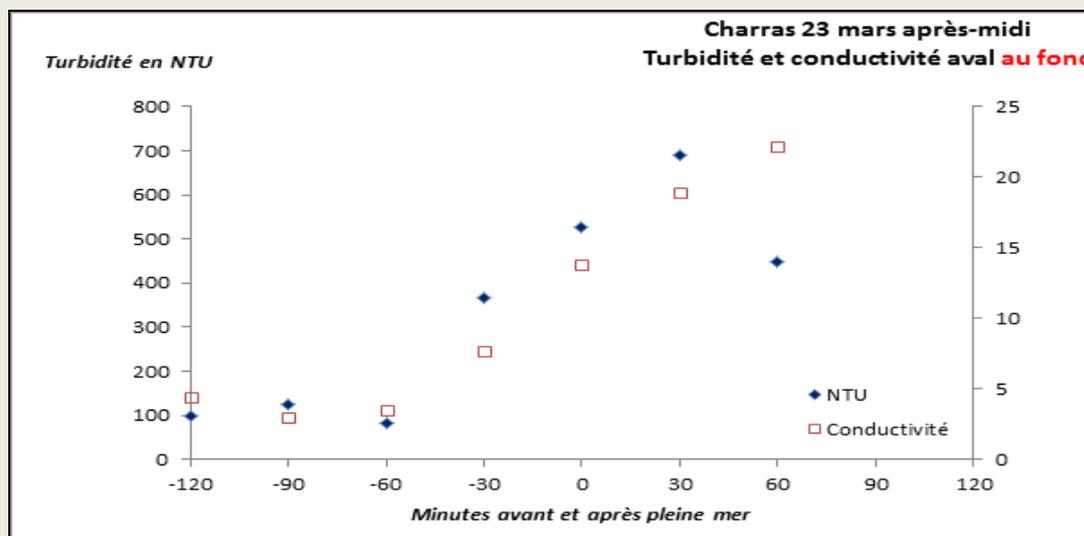
C'est aussi le constat réalisé sur l'ouvrage charentais de Charras (*chenal de 20 mètres de large, ouvrage à 500 m de l'estuaire de la Charente*) avec l'enregistrement en continu de la hauteur d'eau aval (*courbe bleue*) et de la turbidité sur plusieurs flots successifs (*exemple du 6 au 8 mars 2012, Rigaud et al, 2014*). Dans cet exemple, le niveau de turbidité (*courbe orange*) augmente au fil des 5 marées suivies, la hausse des MES étant centrée sur la pleine mer (*traits verticaux*) avec une arrivée tardive.



Idem lors de trois marées de 2010 suivies sur ce site par mesures manuelles toutes les 20 minutes.



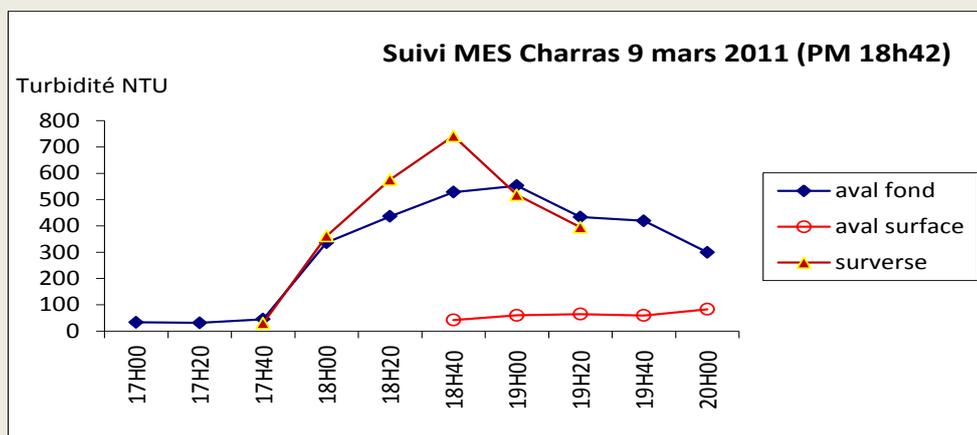
Toujours sur Charras, l'exemple de l'une des trois marées précédentes (*celle du 23 mars*) suivie par sondes permet aussi de constater la **grande similitude d'évolution de la turbidité et la conductivité, au fond du chenal devant l'ouvrage.**



Les suivis en rive droite de l'estuaire de Gironde par Migado ([Lauronce et al, 2013](#)) sur le même ouvrage tantôt avec des admissions en vantelle basse, tantôt en vantelle haute, ne révèlent **pas de lien significatif entre le niveau de turbidité observé dans l'eau admise et la modalité d'admission.** Avec un niveau maximal de turbidité de 400-500 NTU observée dans l'eau admise, ces teneurs peuvent en effet être enregistrées soit lors d'envois en surface sur certaines marées, soit lors d'envois par le fond sur d'autres flots.

Les suivis charentais ([Rigaud et al, 2014](#)) vont dans le même sens. Ainsi, à titre d'exemple, le suivi du 9 mars 2011 sur Charras révèle une nette stratification en aval de l'ouvrage, mais le suivi de la turbidité de l'eau admise **par surverse** révèle une turbidité du même ordre de grandeur que celle observée au fond du chenal.

Sur ce site et cette marée, la couche d'eau en surface est donc peu importante par rapport à celle de la masse d'eau salée et dans ce chenal de gabarit modeste (*environ 15 m*), la surverse provoque, au moins au voisinage de la vanne, une remontée d'eau de fond avec brassage.



D'autre part, au vu des données actuellement disponibles sur **des estuys et des ouvrages de petites et moyennes dimensions** (*moins de 15 mètre de large*), les plus fréquemment rencontrés dans les littoraux côtiers ou estuariens, il n'apparaît pas d'impact net de la modalité d'admission (*fond ou surface*) sur l'augmentation significative de **l'envasement du bief d'amont** (Lauronce et al, 2013 ; Rigaud et al, 2014).

Des entrées significatives de MES étant inévitables lors d'éventuelles admissions au vu de leur arrivée tardive sur le flot et donc dans la phase intéressante pour la civelle, cet envasement réduit est très vraisemblablement lié aux évacuations très régulières d'eau réalisées sur de nombreux ouvrages, par le fond en phase hivernale ou printanière à hydrologie moyenne à forte.

C'est encore plus vrai bien sûr sur des axes dédiés à l'évacuation de l'eau des territoires amont comme sur le Canal de Charras. Le bilan des entrées et sorties de MES à l'échelle d'une série de 5-6 jours et nuits d'admission y apparaît ainsi nettement exportateur (*plus de MES rejetées vers l'aval qu'admises en amont*) en période hivernale d'écoulement.

○ Comportements des civelles en aval immédiat des ouvrages

Quelques constats majeurs ressortent des écrits diffusés sur le sujet et des suivis présentés au cours de l'atelier.



Caractère peu prévisible du niveau de présence des civelles en aval d'un ouvrage

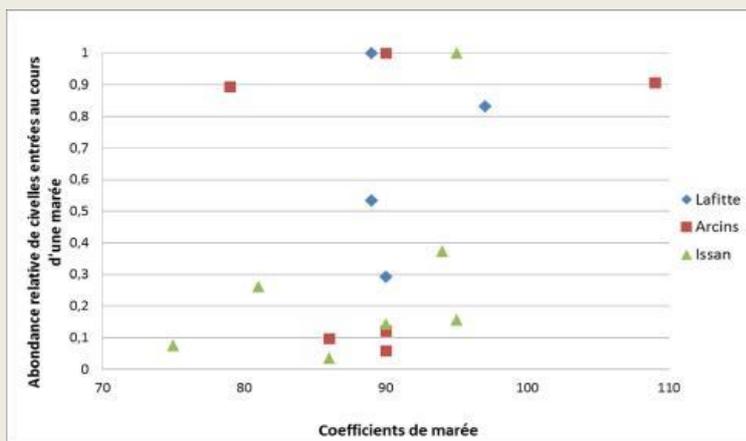
Température de l'eau, pression barométrique, secteur de vent, coefficient de marée, rang de la marée, intensité du débit fluvial, rythme jour/nuit ou encore phase lunaire modulés tous les deux par la turbidité de l'eau influent de manière combinée sur l'évolution du niveau d'abondance observé en aval d'un ouvrage (Elie et Rochard, 1994 ; Laffaille et al, 2007 ; Harrison et al, 2014).

Ainsi, les indices nocturnes d'abondance sont en moyenne deux à trois fois plus importants que ceux collectés de jour en eau turbide, mais quelques indices diurnes importants sont régulièrement constatés.

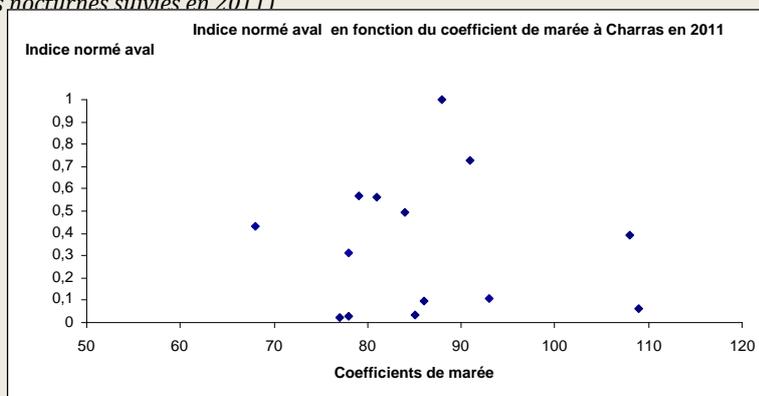
Les deux graphes suivants, extraits des suivis sur la Gironde (Lauronce et al, 2013) et sur la Charente (Rigaud et al, 2014), permettent de constater que le niveau nocturne d'abondance de la civelle observée en aval immédiat d'ouvrages soumis à marée n'est pas fortement corrélé avec le seul coefficient de la marée.

Extrait des travaux de MIGADO (Migrateurs Garonne-Dordogne) (Lauronce et al, 2013).

Coefficients de marée et niveaux normés d'abondance des civelles observés en aval de 3 ouvrages en rives de l'estuaire de Gironde, ouvrages situés entre 50 et 70 km de l'embouchure



Extrait de la présentation des travaux du Pôle Eco-hydraulique en Charente-Maritime sur l'ouvrage de Charras (Rigaud et al, 2014). Densités normées (densité moyenne lors de chaque marée rapportée au maximum observé sur l'ensemble des suivis) observées en fonction du coefficient des 14 marées nocturnes suivies en 2011



L'offre la plus permanente possible pour le franchissement d'un ouvrage soumis à marée est donc à privilégier pour s'adapter au mieux à cette variabilité biologique et pour assurer une réelle continuité écologique pour l'anguille. Cette recommandation est encore plus forte si l'on prend en compte l'aspect multi-spécifique de la question avec des espèces et des stades présentant une grande diversité de comportements (jour/nuit, périodes,...).

Extrait de Lauronce et al, 2013. Exemples d'espèces observées lors des suivis d'admissions par le fond sur des ouvrages de Gironde (lamproies fluviatiles, bars, mulets, crevettes, flets,...)





Un

appel significatif d'eau douce ou dessalée sur la montée du flot renforce l'attractivité de l'axe et du premier ouvrage qui s'y trouve, ceci bien sûr dans une gamme d'intensités et de vitesses de courant compatibles avec l'arrivée des civelles et jeunes anguilles jusqu'à l'ouvrage

Ce constat ressort de l'observation générale des civelles dans les estuaires (Adam et al, 2008 ; Sullivan et al, 2006 ; Harrison et al, 2014) et dans les graus méditerranéens (Lecomte-Finiger et Razouls, 1981 ; Crivelli et al, 2008). Idem pour les suivis en aval d'ouvrages soumis à marée en Belgique (Mouton et al, 2011) ou en Grande-Bretagne (Piper et al, 2012) ou en Charente (Rigaud et al, 2014).

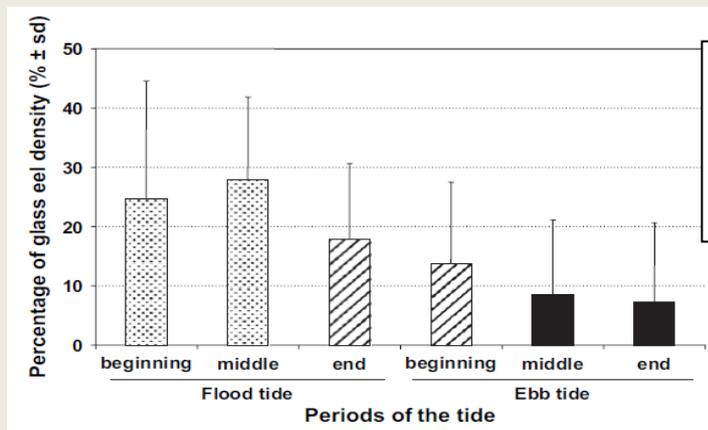
En ce qui concerne le franchissement par passe, une chute très nette du niveau de passage intervient dès que le débit d'appel de la rivière ou du canal concerné n'est plus significatif (cas de la Sèvre niortaise (Hyacinthe, 2009) et du Canal du Porge en Gironde (Drouineau et al, 2014)).

La gestion hydraulique hivernale et printanière (étalement ou non des lâchers d'eau dans le temps) et la taille du territoire amont (niveau des réserves en eau) vont donc influencer sur le maintien du caractère attractif de l'ouvrage plus ou moins longtemps pendant la saison potentielle de migration.

Sur les nombreux sites (marais sans BV notamment) caractérisés par de faibles débits très tôt dans la saison, la mise en place d'une passe à anguilles n'apparaît donc pas comme la réponse la plus adaptée.

un pic d'abondance en aval est le plus souvent observé entre 1h 30 et 3h 00 avant la pleine mer.

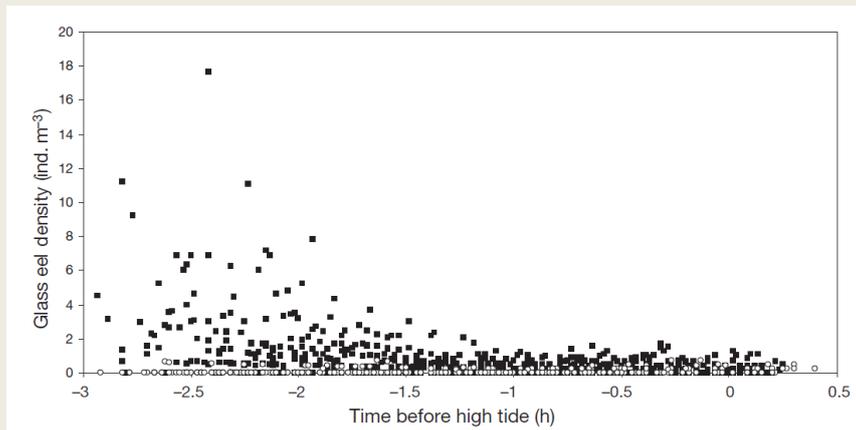
Pratiquement tous les suivis constatent qu'un **maximum d'abondance de civelles en aval des ouvrages intervient bien avant l'étalement de pleine mer**. C'est le cas des suivis sur le Couesnon et des suivis sur l'Yser.



Evolution relative du niveau de présence des civelles observé en aval du Barrage du Couesnon (moyenne sur l'ensemble des suivis)

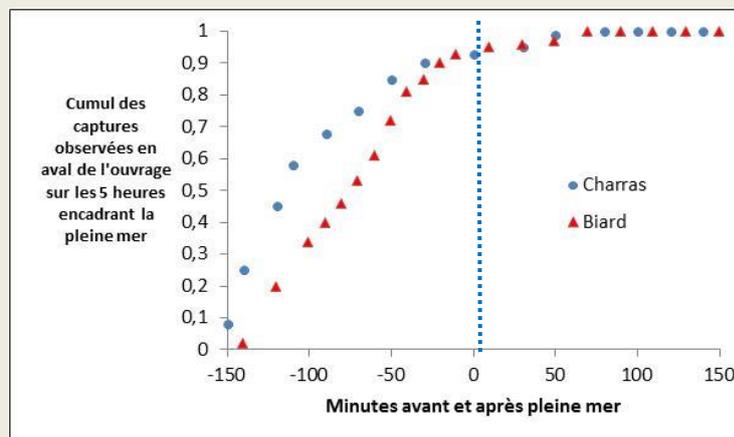
(extrait de Laffaille et al, 2007)

Graphique extrait de Mouton et al (2011). Evolution de la densité des civelles en aval des ouvrages par rapport à l'heure de la pleine mer.

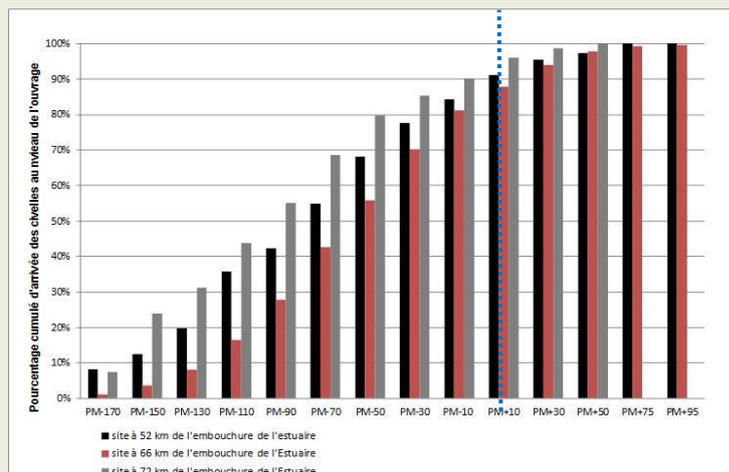


Idem pour les suivis sur la Gironde ou la Charente (*graphes suivants*) qui constatent de plus **qu'au minimum 80 % des captures en pleine eau en aval immédiat des ouvrages sont réalisées avant l'étale de pleine mer.**

Extrait des travaux du Pôle Eco-hydraulique en Charente-Maritime (*Rigaud et al, 2014*) sur l'ouvrage de Charras et de Biard.
Evolution moyenne du signal moyen normé d'abondance des civelles en aval immédiat des deux ouvrages



Extrait des travaux de MIGADO sur l'estuaire de la Gironde. Contribution de chaque tranche de 20 minutes aux captures de civelles en pleine eau en aval de trois ouvrages (*Lauronce et al, 2013*)



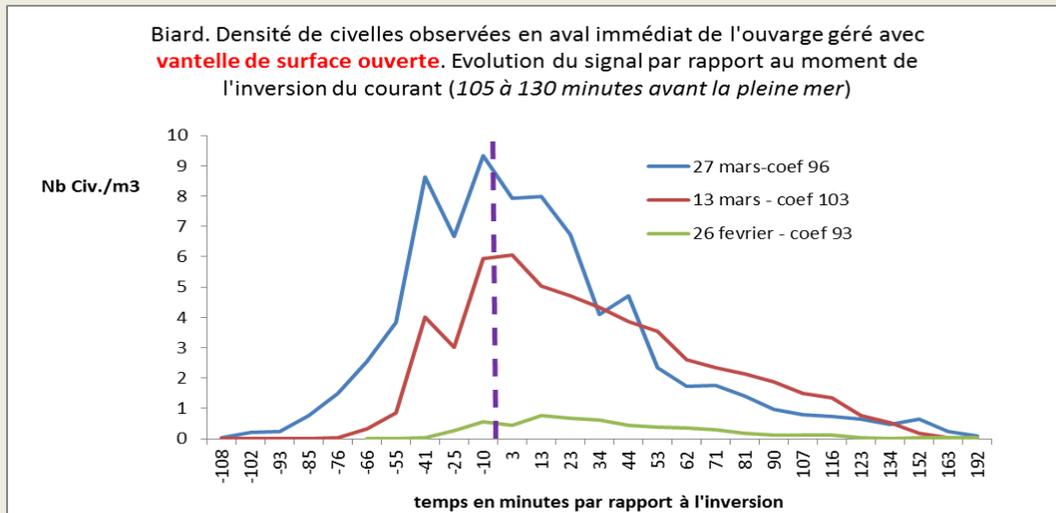
Toutes ces observations convergent donc pour identifier **une fenêtre potentielle de passage, généralement de la mi-flot jusqu'à l'étale de pleine mer, caractérisée par une cote aval supérieure à celle du bief d'amont et par la présence significative de civelles en aval de l'ouvrage.**

Les dispositifs (*raidisseurs réglables notamment*) retardant voire annulant (*sur certaines périodes*) la fermeture totale des clapets ou des portes à flots, travaillent donc sur la période potentiellement la plus intéressante en termes de civelles, mais en limitant le volume d'eau admis en amont sur les sites où les contraintes sont fortes.

 **l'intensité du courant contraire en aval de l'ouvrage, intensité liée à la gestion du débit fluvial, module la cinétique d'apparition des civelles lors du flot**

Le suivi de l'abondance des civelles en aval d'un ouvrage associé à la mesure des vitesses de courant dans la zone d'observation sur un tributaire de l'estuaire de Charente (site de Biard, [Rigaud et al, 2014](#)) met en évidence que le **maximum de captures** correspond **au moment de l'équilibre des courants et de l'inversion**. Sur ce site, ce moment particulier est apparu **en moyenne deux heures avant la pleine mer lors des neuf suivis nocturnes réalisés en 2013** (voir graphes suivants pour trois suivis avec *vantelle ouverte*).

Travaux du Pôle Eco-hydraulique sur l'ouvrage de Biard (Charente-Maritime)



Lors de chaque marée, le caractère plus ou moins précoce de l'inversion du courant dans le chenal aval par rapport à l'heure de pleine mer va dépendre du rapport de force entre l'onde de marée et le débit fluvial.

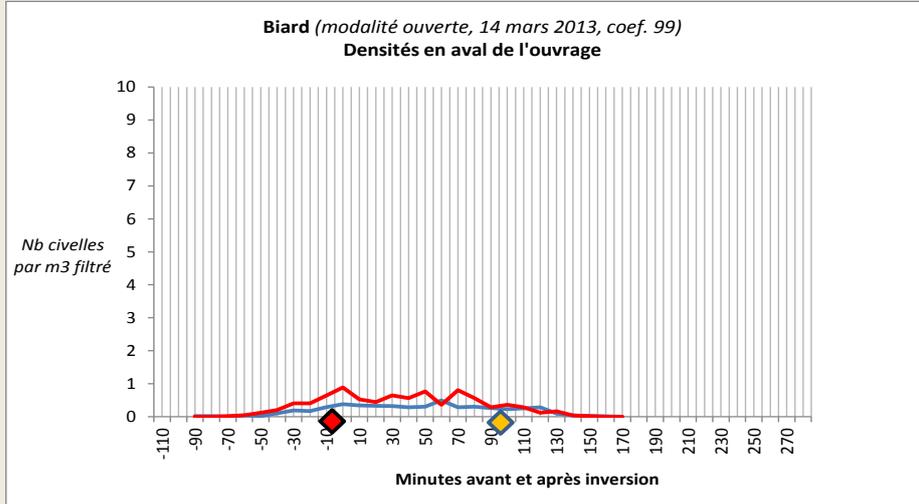
Il sera de l'ordre de 3 heures sur les petits affluents de grands estuaires (*onde de marée importante, petits débits fluviaux*). Il sera plus limité lorsque le débit fluvial freine beaucoup la progression de la marée. Certaines conditions peuvent donc entraîner une arrivée très tardive, voire une absence de civelles en aval immédiat d'un ouvrage, tout au moins en pleine eau.

La confrontation des indices d'abondance des civelles collectées en pleine eau et des vitesses de courant montre que **les premières civelles apparaissent dans les engins d'échantillonnage lorsque le courant moyen contraire devient inférieur à 0,20-0,25 m/s, donc un peu avant l'inversion.**

Ces premières civelles arrivent clairement en nage à contre-courant, mais la majorité des individus se déplace avec le front correspondant à l'équilibre des courants « marée/débit fluvial » (*maximum observé à l'inversion*).

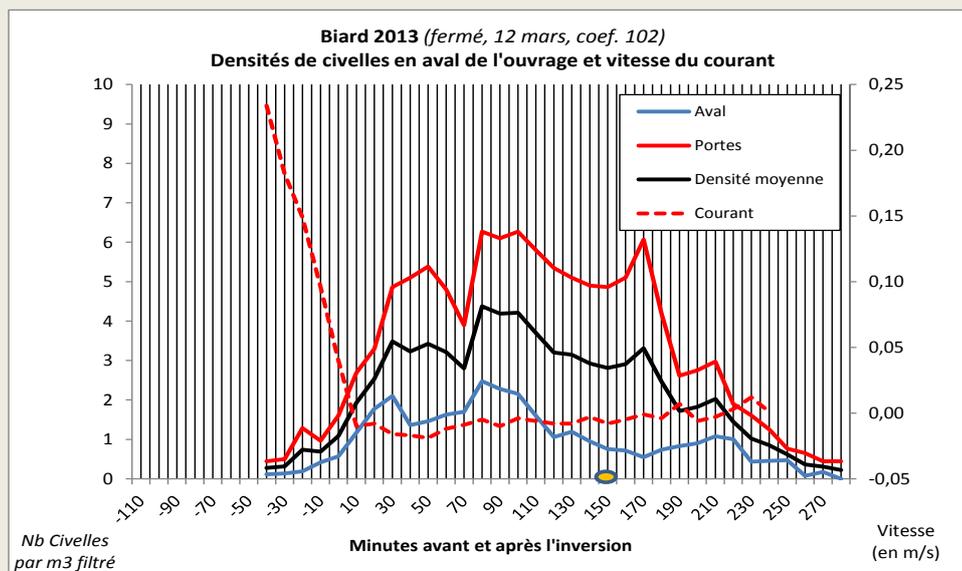
Le degré d'ouverture de l'ouvrage influe nettement sur le niveau de présence des civelles en aval

Toujours sur le site de Biard (*largeur du chenal 20 m*), le graphe suivant présente l'exemple de la marée de fin de nuit du 14 mars 2013 pendant laquelle **les portes à flot ont été maintenues ouvertes sur tout le flot** avec des échantillonnages réguliers réalisés 100 m en aval des portes (*courbe bleue*) et au droit des portes (*courbe verte*).



On constate une évolution similaire des densités observées 100 m en aval et au droit des portes, ce constat signant une absence de blocage du flux au niveau de l'ouvrage. La très grande majorité des captures intervient entre une heure avant l'inversion (*balise rouge*) et la pleine mer (*balise jaune*), soit sur un laps de temps d'environ deux heures. Le maximum est bien observé au moment de l'inversion et le signal reste ensuite relativement stable et faible avant de disparaître environ une demi-heure après la pleine mer.

L'essai du 12 mars sur le même site, mais cette fois avec **fermeture complète** des portes voit un tout autre phénomène apparaître à l'aval de l'ouvrage. Le niveau de présence de la civelle y est en effet cinq à dix fois supérieur et il y a un très net décalage entre l'aval immédiat des portes et l'autre site d'échantillonnage, 100 m en aval.



Après une arrivée tardive des civelles en pleine eau (*premier trait fructueux 20 minutes avant l'inversion pour un courant contraire tombé à 0,2 m/s*), le signal augmente pendant environ 2 heures. Le maximum sur les deux sites d'échantillonnage apparaît au même moment (*environ 1 h 30 après l'inversion et une heure avant l'étale*) avec des valeurs de 2,5 civelles par m³ filtré sur le site le plus aval (*bien supérieur au 0,38 observé sur ce site aval en configuration ouverte*) et 6,3 en aval immédiat des portes.

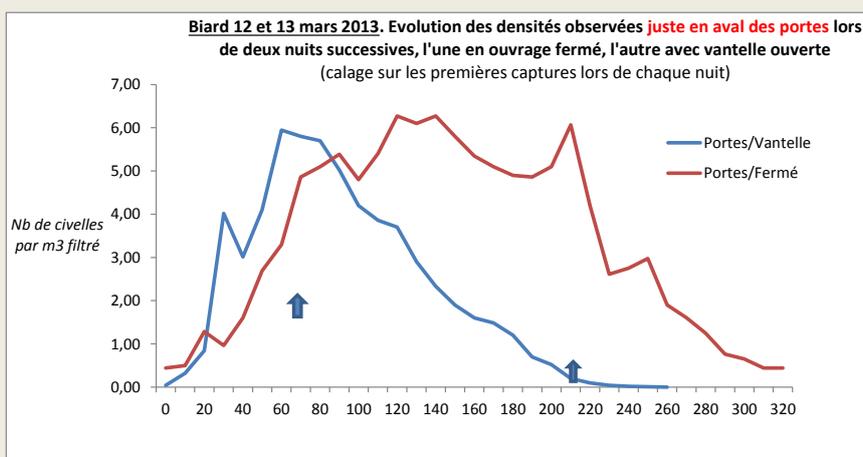
Enfin, le 13 mars 2013, la fermeture des portes à flots a lieu [mais cette fois avec le maintien d'une vantelle de surface ouverte](#) (photo), vantelle permettant une admission par surverse (vantelle de 0,5 m² à confronter à la section mouillée de 75 m² du chenal aval à pleine mer par coefficient 100).



Ouvrage de Biard. Portes à flot fermées, admission diurne par surverse par la petite vantelle haute ouverte en rive droite.

Dans ce cas de cette fermeture partielle, on observe la même cinétique d'apparition que pour la modalité fermée (premières captures de la civelle en pleine eau dans l'heure précédant l'inversion, signaux très différents entre l'aval immédiat des portes et le signal collecté 100 m en aval). Ceci traduit bien l'effet de concentration des individus en aval immédiat de l'ouvrage lors de la fermeture des portes.

En revanche, contrairement à la modalité totalement fermée, le signal en aval immédiat des portes chute ensuite dès le début de l'admission par la vantelle (première flèche), cette admission durant près de deux heures pour 17 000 m³ admis pour un coefficient de 103. Ce volume d'eau admis par cette petite vantelle de 0,5 m² correspond à la totalité des 250 mètres de chenal aval à pleine mer.

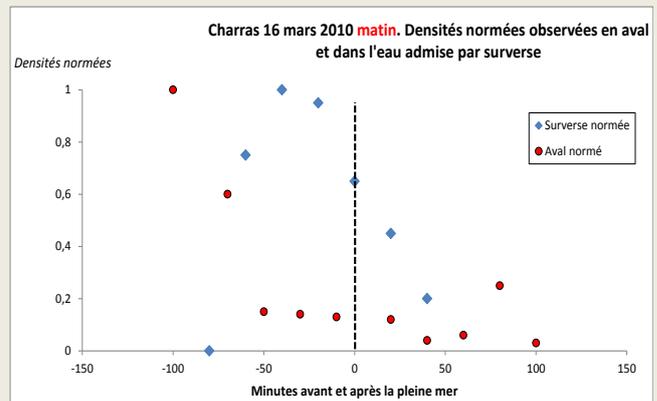
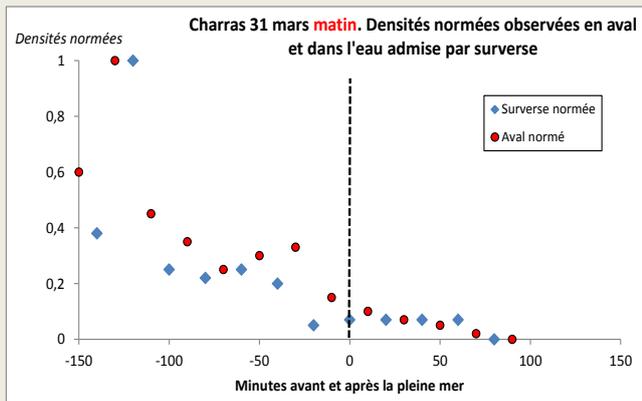


○ Cinétique de franchissement des ouvrages

En conditions d'ouvrage totalement ou partiellement ouvert **par vantelle haute** avec des gammes de courants compatibles avec l'accès des civelles jusqu'à l'ouvrage, **la très grande majorité des franchissements ont lieu avant l'étalement de pleine mer.**

Ainsi dans les deux exemples suivants extraits des suivis réalisés à Charras, la marée du 31 mars de coefficient supérieur (110) voit la surverse débiter très tôt, quasiment au moment du pic de densité aval. Dans le second cas (coefficient plus faible de 88), on observe près d'une heure de décalage entre le pic de densité en pleine eau en aval et le début du passage. Dans ce dernier cas, la phase d'attente diminue certainement la probabilité de franchissement en ne collant pas au mieux au comportement naturel des individus dans la masse d'eau.

Lors de ces deux suivis, on observe également que le passage significatif de civelles se restreint à la première heure du déversement.

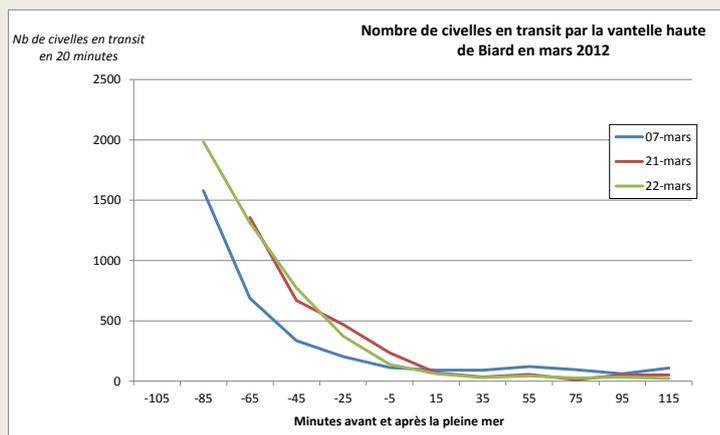


Deux exemples de franchissement par surverse sur Charras (Charente-maritime) (Rigaud et al, 2014):

- à gauche (31 mars, coef 110) passage très précoce (points bleus) synchronisé avec le signal d'abondance en aval de l'ouvrage
- à droite (16 mars, coef 88), décalage d'une heure entre le franchissement par surverse et le signal aval

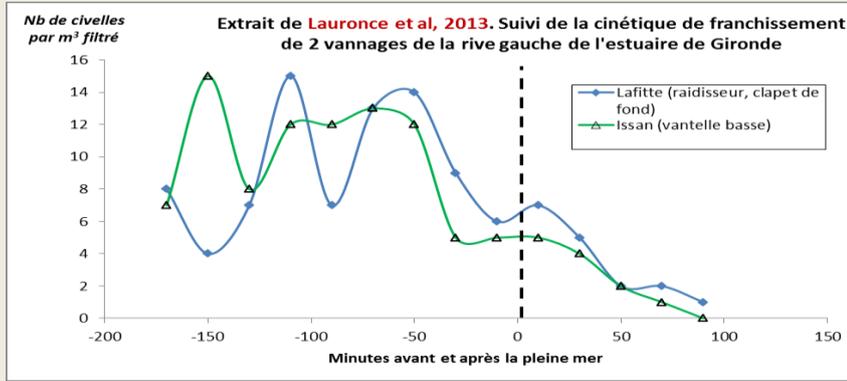
On retrouve le même phénomène sur la vantelle haute de Biard en mars 2012 (Rigaud et al, 2014). Lors de trois suivis en 2012, la densité de civelles observée dans l'eau admise par surverse chute en effet rapidement au cours de la première heure d'entrée d'eau.

Extrait des suivis en Charente (Rigaud et al, 2014). Cinétique de franchissement par la vantelle haute lors de trois marées de mars 2012.

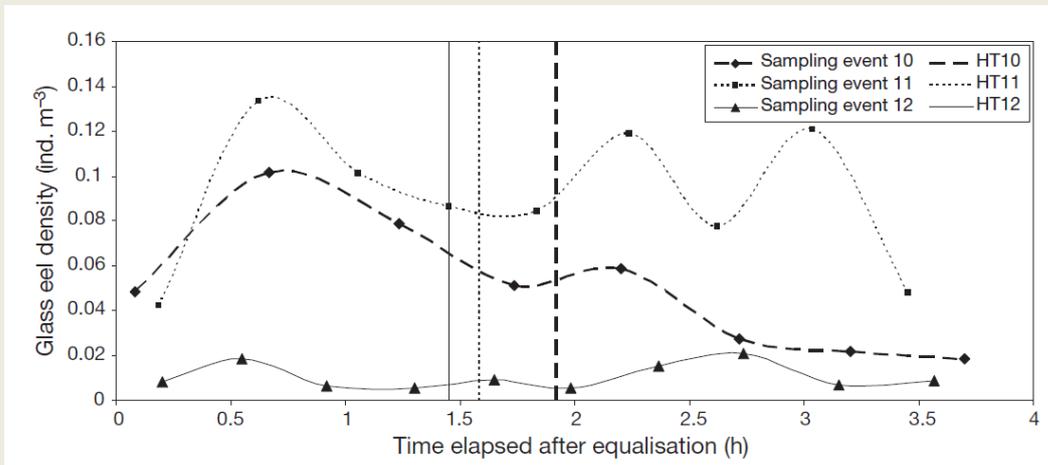


Dans le cas **des admissions par le fond** (vanne décollée ou vantelle de fond), la phase d'attente est de fait quasiment inexistante puisque l'inversion du courant dans le chenal correspond à la fois au pic de densité et à l'équilibre des niveaux de part et d'autre de l'ouvrage. On notera d'ailleurs qu'une gestion basse de la cote du bief d'amont (en lâchant de l'eau notamment sur le début du flot pour disposer d'un courant d'attrait significatif) débouche sur une admission précoce.

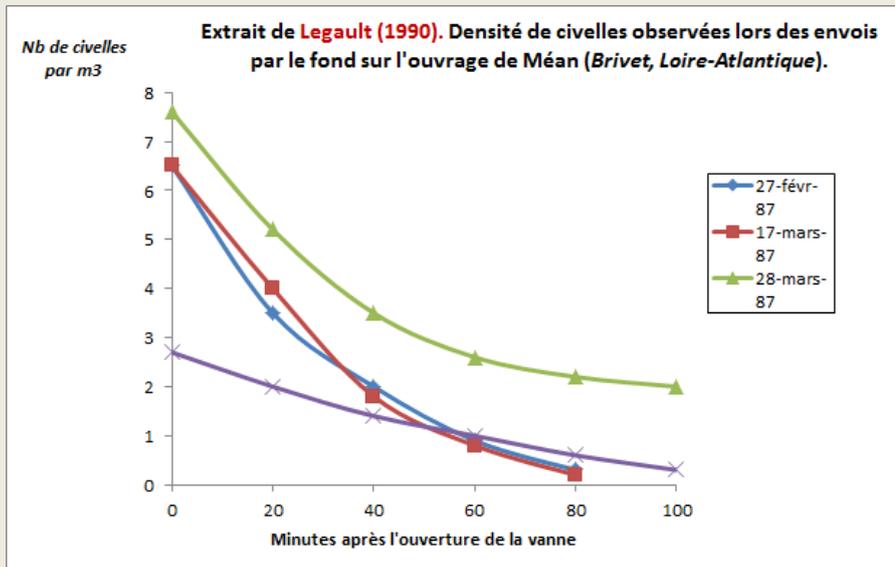
Sur l'exemple suivant tiré des suivis sur deux ouvrages en rive gauche de la Gironde (Lauronce et al, 2013), les passages par le fond, avec ou sans clapet, apparaissent très précoces (dès l'inversion, presque 3 heures avant la pleine mer) et restent à un niveau significatif pendant près de 2 heures. Dans les deux cas, les passages chutent de manière très significative après la pleine mer.



Idem sur l'Yser, lors d'envois par le fond (*vanne décollée de 10 cm*). Avec des niveaux d'abondance environ 100 fois plus faible qu'en Gironde, les passages commencent dès l'équilibre des niveaux/inversion et se prolongent sur environ 2 heures en allant parfois (suivi HT 11) bien au-delà de la pleine mer.



Le seul contre-exemple pour les envois sous la vanne correspond à la levée brusque de la porte au moment de l'étalement de pleine mer et pendant 2 heures sur l'ouvrage de Méan sur le Brivet (*rive droite, estuaire de la Loire*). Legault (1990) constate alors une cinétique de passage par le fond qui ressemble assez à celle constatée lors des admissions par surverse (*rapide et régulière baisse de la densité sur la première heure*).



Au final, il ressort que **les envois par les vantelles de fond ou par une vanne décollée du fond** s'enclenchent dès l'inversion, sans phase d'attente. Les densités de civelles observées en franchissement restent significatives pendant au moins deux heures, parfois au-delà de la pleine mer.

En revanche, les admissions par surverse et les ouvertures brusques par le fond au moment de l'étalement se soldent à chaque fois par un passage qui chute tout au long de la première heure. Pour les admissions par surverse, la cote de la vanne détermine la durée de la phase d'attente entre l'inversion du courant et l'admission effective dans le bief d'amont.

Cette différence de cinétique de franchissement est très vraisemblablement liée à une différence de comportement des civelles face à l'offre de passage qui intervient après une phase d'attente plus ou moins longue en surverse comme lors des envois de fond juste à l'étalement.

○ Efficacité de l'offre de passage

L'ensemble des suivis montre que **plus on admet d'eau en amont de l'ouvrage avant l'étalement de pleine mer, plus on admet de civelles**, l'efficacité instantanée maximale étant bien sûr obtenue avec l'ouvrage totalement ouvert.

Ainsi lors des suivis sur Biard (Rigaud et al, 2013) avec trois modalités de gestion de l'ouvrage (*fermé, fermé avec vanne de surface, ouvert*), le franchissement est apparu quasiment inexistant avec les portes et les vantelles fermées (*seulement quelques fuites*) et bien sûr maximal en configuration totalement ouverte.

Dans le cas de la vanne haute (*1,2 % de la surface des portes*), la quantité de civelles évaluée en franchissement atteint **a minima 30 % de la performance liée à l'ouverture totale pour des marées de 95 à 105**. Cette efficacité instantanée (*à l'échelle de la marée*) semble donc moindre qu'une ouverture totale, mais le fait que cette ouverture partielle soit permanente, jour et nuit, s'adapte à la variabilité des phénomènes biologiques et augmente certainement la probabilité de déboucher sur un taux de transparence très satisfaisant à l'échelle de la saison hivernale de migration. Ce résultat n'est pas non plus totalement surprenant si l'on considère que pour ces coefficients importants, le volume admis par la vanne haute sur ce site correspond en 3 heures au volume d'eau correspondant aux 250 mètres de chenal en aval de l'ouvrage.

Le seul bémol sur ce site concerne les « petites marées » (75-90), la seule vanne haute se soldant par des volumes admis beaucoup plus faibles (*4 000-5 000 m³*) et des quantités de civelles admises également plus faibles. Dans ce cas, l'augmentation de la surface ouverte de vantelles devrait se solder par un gain significatif en termes de franchissement.

Malgré cette efficacité significative, **la vanne haute se caractérise cependant par un certain nombre d'inconvénients** à savoir :

- **un repérage visuel immédiat par les riverains** (*chute d'eau*) avec une crainte associée,
- une grande vulnérabilité face **aux actes de braconnage**
- et enfin un **caractère moins multi-spécifique** que les vantelles de fond.

Les autres suivis réalisés notamment sur les envois sous la vanne n'ont pas abordé cette question de l'efficacité de l'offre de passage (*confrontation du nombre de franchissements au stock se présentant en aval de l'ouvrage*). En revanche, certains suivis ont opté pour une évaluation indirecte de l'efficacité des options de gestion sur les ouvrages girondins. Elle consiste à collecter de manière standardisée chaque année, des indices d'abondance sur les petites anguilles de moins de 15 cm dans des sites fixes du territoire amont. Les suivis référence sont été avant la mise en œuvre des actions de gestion sur l'ouvrage aval.

Ainsi, sur la Jalle du Breuil (*ouvrage de Lafitte avec clapet et raidisseurs*), les indices amont ont augmenté d'un facteur 10 à 15 (Lauronce et al, 2013).

- **Des retours vers l'aval existent sur le jusant.**

Comme nous l'avons vu dans la présentation de l'écologie des civelles (*chapitre 2*), des retours vers l'aval sont classiquement observés en estuaire au moins sur le début des phases de jusant.

Legault (1990) le constate également lors du suivi des évacuations d'eau sur l'ouvrage de Méan sur le Brivet suivant une admission d'eau hivernale ou printanière. Ces sorties apparaissent cependant très limitées en termes de quantités de civelles et surtout très resserrées dans le temps (*les 30 premières minutes au maximum, c'est-à-dire au moment de l'enclenchement et de la phase de montée progressive du débit évacué*). Ces sorties vraisemblablement contraintes semblent correspondre aux civelles présentes au voisinage immédiat du vannage au moment du début des lâchers (*dernières civelles admises en amont ?*).

Une gestion maîtrisée de ces évacuations (*pas de courants de fond supérieurs à 0,25-0,30 m/s hormis dans le voisinage très proche de la vanne, pas de vidange totale du premier bief*) associée à une bonne offre d'abris temporaires dans la zone en amont de l'ouvrage (*sédiments, herbiers, ...*) constituent deux garanties importantes pour minimiser le risque de retours forcés de civelles vers l'aval.

Dans un tel cadre, on rappellera que les ouvertures limitées mais permanentes dans les ouvrages sont des éléments importants **permettant de respecter les allées et venues de la faune aquatique** au gré des comportements individuels et ce pour une grande diversité d'espèces.



A retenir

- **En l'absence d'ouvrage en zone soumise à marée** et lorsque les conditions de courant le permettent, une partie des civelles se retrouve rapidement dans la zone amont des estuaires. Certaines sont même observées, à la faveur d'épisodes thermiques favorables, bien en amont de cette zone, deux mois après l'apparition significative des premières civelles en estuaire.

Améliorer la transparence d'un ouvrage soumis à marée notamment en période hivernale et printanière, c'est **contribuer à l'expression de ces comportements naturels avec une moindre mortalité en aval de l'ouvrage et un moindre retard dans le phénomène de colonisation du territoire amont, à l'échelle de la rivière, du fleuve ou de la zone de marais littoral.**

Pour la civelle, l'offre d'une possibilité de franchissement très précoce dans l'année est donc à rechercher pour minimiser ces différents impacts dans la zone soumise à marée. Au vu de la variabilité des niveaux d'abondance en aval des ouvrages et de leur caractère difficilement prévisible, **cette offre de passage doit être la plus permanente possible.** **Les envois d'eau** apparaissent comme les mieux adaptés pour y parvenir, ces envois pouvant de plus avoir un **intérêt multi-spécifique, surtout à partir de mars-avril.**

- **Les civelles** représentent la très grande majorité des candidats au franchissement sur les ouvrages soumis à marée **en période hivernale** sauf lors des épisodes très froids (*température inférieure à 5-6°C*). Des admissions destinées à leur franchissement de l'ouvrage aval peuvent donc débuter très tôt dans la saison en fonction des timings d'arrivée dans chaque estuaire ou zone concernée.

Leur présence notable en aval d'un ouvrage dépend fortement de l'existence d'un **débit d'attrait significatif**. Leur apparition effective dans la masse d'eau en aval proche des ouvrages correspond à une **chute du courant contraire sous les 0,20-0,25 m/s.**

Les premières apparitions précèdent généralement d'une heure le moment de l'inversion du courant, inversion qui est liée au rapport de force entre l'onde de marée et le débit fluvial et qui est plus ou moins décalée par rapport à la pleine mer (*de 1h à 3 h le plus souvent*). **Le maximum d'abondance est le plus souvent atteint au moment de cette inversion ou peu de temps après.**

Quels que soient les sites étudiés, la très grande majorité des captures de civelles en pleine eau en aval est obtenue **entre l'inversion du courant dans la zone aval et la pleine mer**. Cette observation permet d'identifier **la période la plus favorable pour réaliser des admissions d'eau efficaces pour la civelle.**

Cette dernière partie du flot correspond également à **la phase d'augmentation du niveau de turbidité et éventuellement de salinité** (*pour les sites les plus aval*) **en aval immédiat de l'ouvrage.**

- **Une transparence faible ou nulle de l'ouvrage se traduit par un phénomène d'accumulation en aval immédiat**, accumulation synonyme de retard dans la progression et de surmortalité (*pêche, prédation, ...*). A l'inverse, plus le volume d'eau admis en amont est important sur la phase précédant la pleine mer, plus le pourcentage de civelles présentes en aval et admises en amont, est important (*forte efficacité instantanée*).

Ceci étant, les possibilités d'ouverture totale, qu'elle soit permanente (*arasement*) ou ponctuelle (*ouvertures sous contrôle*) seront par nature très limitées en termes de nombre de sites concernés et/ou de mises en œuvre.

- Il apparaît **hors de propos d'annoncer pour chaque ouvrage, une quantité de civelles à faire pénétrer dans le territoire d'amont** d'une part parce qu'un tel calcul est complexe (*évaluation de la capacité d'accueil en amont, évolution de l'abondance générale de l'espèce*) et d'autre part parce qu'aucun suivi ne peut permettre de vérifier l'atteinte d'un tel objectif, notamment sur des ouvertures permanentes et partielles.

C'est donc plutôt vers **une obligation de moyens à mettre en œuvre** que la collectivité devrait s'orienter pour améliorer significativement le niveau de transparence des ouvrages soumis à marée. En revanche, il sera important de concevoir des méthodes d'évaluation indirecte dans les réseaux amont, des retombées de ces actions d'aménagement ou de gestion sur les ouvrages aval.

- Sur les ouvrages à marée, ce sont le plus souvent des **solutions intermédiaires qui seront retenues**. Ainsi des **ouvertures partielles permanentes**, avec certes une moindre efficacité instantanée (*à l'échelle de la marée*) peuvent sur la saison de migration (*notamment avec un fonctionnement permanent de jour comme de nuit*) déboucher sur une efficacité globale très satisfaisante. Cette formule respecte de plus les **comportements d'allées et venues des civelles et d'autres espèces dans les zones soumises à marée**.

- Le début d'une **admission par surverse** intervient plus ou moins longtemps après l'inversion du courant selon la position de la vantelle. La cinétique de passage apparaît assez semblable sur tous les suivis avec un maximum de densité observé lors des tous premiers moments de la surverse suivi d'une chute régulière de cette densité sur la première heure. On retrouve un peu le même phénomène dans les quelques suivis d'ouvertures brusques par le fond au moment de l'étalement.

En revanche, **les envois par le fond** par vantelle ouverte débutent au moment de l'inversion du courant (*équilibre des niveaux amont/aval*) et minimisent ainsi le temps d'attente avant franchissement. On notera d'ailleurs dans ce cas, **l'influence de la gestion de la cote du premier bief**, gestion qui peut permettre une entrée d'eau précoce au cours la marée.

Ces envois de fond se traduisent par un niveau de passage significatif sur une durée assez longue (*deux heures voire plus*), la durée étant sans doute en rapport avec la taille du chenal et du stock en attente en aval.

Pour le moment, ce sont surtout les **envois par le fond** qui ont permis d'observer des passages significatifs d'autres espèces que l'anguille, essentiellement au cours des marées de mars-avril.

- **Le volume d'eau maximal admissible dans le premier bief d'amont sur une marée** doit être défini en tenant compte des caractéristiques physiques du bief (*pas de débordement, maîtrise de l'envasement*) et des usages présents (*humains et environnementaux*).

La modalité retenue d'admission (*ouverture permanente mais partielle, idem mais avec dispositif n'autorisant le passage que sur la première partie du flot*) entrera ensuite en ligne de compte pour dimensionner l'ouverture permettant l'admission du volume retenu.

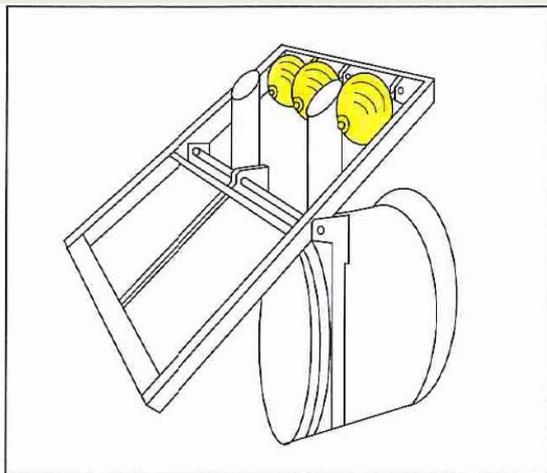
Il apparaîtrait cohérent de **fixer une surface d'ouverture partielle minimale à respecter à l'échelle d'un ouvrage**. Au vu des données actuellement disponibles permettant rarement d'évaluer l'efficacité instantanée d'une ouverture partielle, des passages significatifs ont été observés avec des ouvertures représentant 1 à 2 % de la section mouillée évaluée à pleine mer par gros coefficient (100) et à 100 m en aval de l'ouvrage. Ce seuil minimal semblerait donc actuellement pouvoir servir de base de travail.

Chapitre 3. Les différentes modalités techniques pour améliorer la transparence d'un ouvrage soumis à marée

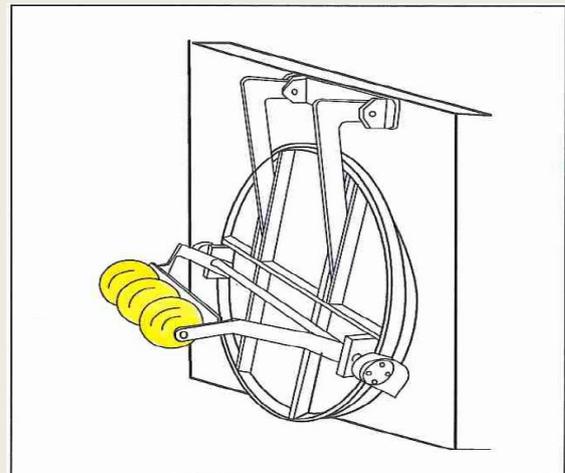
Les ouvrages soumis à marée présentent la caractéristique de voir très régulièrement (*environ 10 jours et 20 marées par mois*) le niveau d'eau aval dépasser le niveau d'eau amont, ce qui donne l'opportunité de réaliser des admissions gravitaires d'eau dans le bief d'amont.

Pour l'anguille, ces envois d'eau vers l'amont constituent une solution intéressante car, réalisés dès la phase hivernale, ils sont synonymes de franchissement précoce de l'ouvrage, cette précocité minimisant le retard pris dans la progression sur l'axe et la mortalité par prédation et correspondant à une sortie d'individus hors des zones exploitées par les pêcheries dans les premiers mois de l'année. Pour ces envois, tous les suivis montrent que le nombre de civelles introduites augmente avec le volume d'eau admis, notamment sur l'heure précédant la pleine mer.

Aux Etats-Unis, cette problématique fait l'objet d'études et d'aménagements depuis plus de 15 ans avec notamment une synthèse présentée par **Giannico et Souder (2005)**. Parmi les différentes formules d'aménagement des vannes et buses, ces auteurs insistent notamment sur différents clapets légers en aluminium et équipé de boules de flottaison (*voir dessins*), ces clapets étant conçus pour rester très ouverts sur une certaine durée après l'insertion et pour permettre ainsi l'entrée d'une partie du flot.



Porte à marée auto-régulée (*cadre léger flottant lors de l'arrivée du flot et permettant l'entrée de l'eau vers l'amont*), les bouées (en jaune) à position réglable provoquant la fermeture du dispositif à partir d'une certaine cote.



Clapet avec bouées à position réglable retardant la fermeture du dispositif (*flottaison en début de flot*)

Figures extraites de **Giannico et Souder, 2005**

De tels aménagements concernent essentiellement des ouvrages de grandes dimensions et correspondent à des investissements significatifs. Si de tels dispositifs sont intéressants à tester notamment dans le cadre d'une reprise conséquente d'aménagement sur quelques sites, il semble que dans le contexte métropolitain actuel (*nombreux ouvrages de petites dimensions et anciens*), d'autres modalités sont sans doute plus adaptées à grande échelle.

Les connaissances actuelles identifient ainsi six grandes modalités techniques pour améliorer la transparence d'un ouvrage soumis à marée vis-à-vis de la libre circulation des poissons et notamment de l'anguille.

- l'**arasement** de l'ouvrage,
- l'**ouverture partielle mais permanente** de l'ouvrage, au moins sur la période hivernale et printanière,
- l'**ouverture totale, mais ponctuelle** de l'ouvrage,
- les **éclusages**, admissions de volumes d'eau très limités après une phase d'attrait et de concentration des individus,
- l'installation de **passes à poissons** à vocation pluri ou mono-spécifique
- la **capture d'individus et leur transfert** en amont.

L'absence d'ouvrage rend bien sûr à la marée toute son importance dans le fonctionnement de ces territoires dont l'altitude moyenne se situe sous le niveau des plus hautes mers. Une telle situation liée par exemple à l'arasement de l'ouvrage ou à la mise en place d'un seuil submersible garantissant le maintien d'un plan d'eau à basse mer ne peut bien sûr s'envisager que dans le cadre d'un projet collectif de territoire acceptant ces très fortes contraintes ou dans le cadre de très gros dégâts au niveau des digues. Ce type de contexte est encore rarissime sur les façades maritimes et estuariennes métropolitaines.

Toutes les autres modalités d'admissions d'eau (*envois plus ou moins limités mais permanents, envois massifs mais ponctuels*), correspondent donc à des **compromis** prenant acte de l'existence de contraintes liées aux usages humains et/ou environnementaux dans les territoires amont.

Avant d'examiner ces différentes modalités avec leurs limites et avantages respectifs, quelques remarques préliminaires majeures doivent être rappelées :

✚ la nécessité de ne pas confondre **l'efficacité instantanée** (*sur une marée donnée*) d'une modalité technique et **son efficacité sur l'ensemble d'une saison de migration**, ce dernier regard ayant certainement plus de sens par rapport à un phénomène qui s'étale dans le temps (*présence significative des civelles sur 3-4 mois*) et à des comportements d'allers et retours normaux dans ces zones soumises à marée.

✚ l'impossibilité de définir pour chaque site, le nombre de petites anguilles à introduire dans le territoire amont sur une saison de migration (*évolution peu prévisible de l'abondance générale de l'espèce ces prochaines années et décennies avec des répercussions sur les niveaux d'abondance qui seront constatés au niveau des ouvrages littoraux, connaissances insuffisantes en dynamique des populations pour obtenir un tel chiffre*). De toutes manières, même si cet objectif était défini, la vérification de son atteinte serait hors de portée techniquement sur la multitude d'ouvrages concernés. C'est donc plutôt vers une obligation de moyens à mettre en œuvre qu'il s'agit de s'orienter,

✚ pour tout ce qui relève des admissions d'eau vers l'amont, il apparaît une **relation significative entre le volume introduit lors d'une marée sur le flot au moins jusqu'à l'étale et l'efficacité instantanée de l'opération** vis-à-vis des jeunes anguilles présentes en aval à ce moment-là.

Ainsi, il apparaît cohérent, **à partir de l'évaluation du volume d'eau admissible** (*avec l'intégration d'un coefficient de sécurité*) sans perturbation majeure des sites et des usages amont, de s'orienter vers la formule s'approchant le plus de ce volume. Hormis les cas, finalement très rares, d'impossibilité totale d'admettre de l'eau en amont, **toute demande de réduction du volume admis serait alors à justifier, mais avec un seuil minimal d'ouverture à respecter**. Un seuil minimal correspondant à 1 à 2 % de la surface mouillée des vannes à pleine mer de coefficient moyen apparaît comme un bon compromis (*hydraulique et biologique*) actuellement.

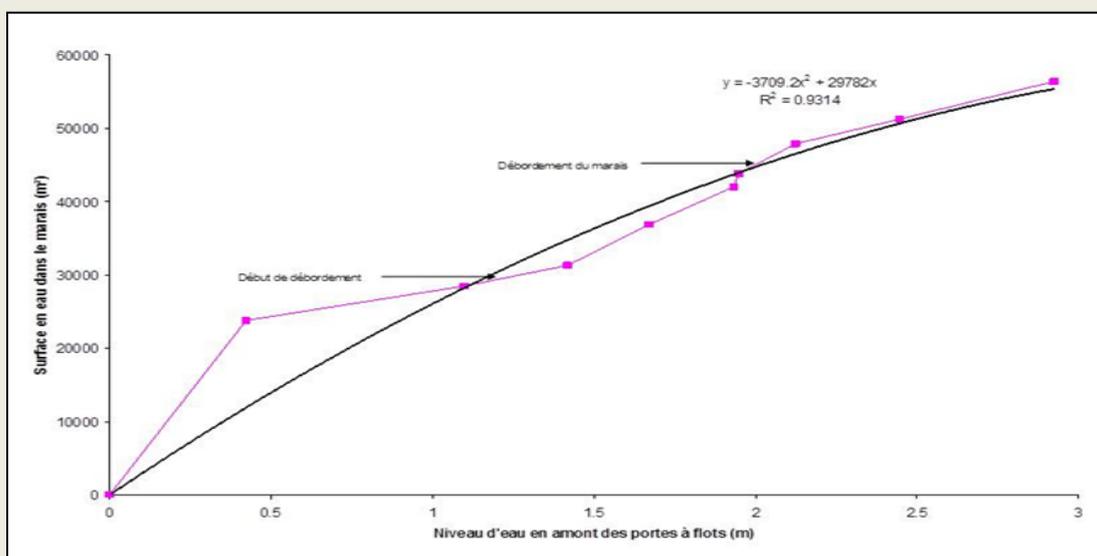
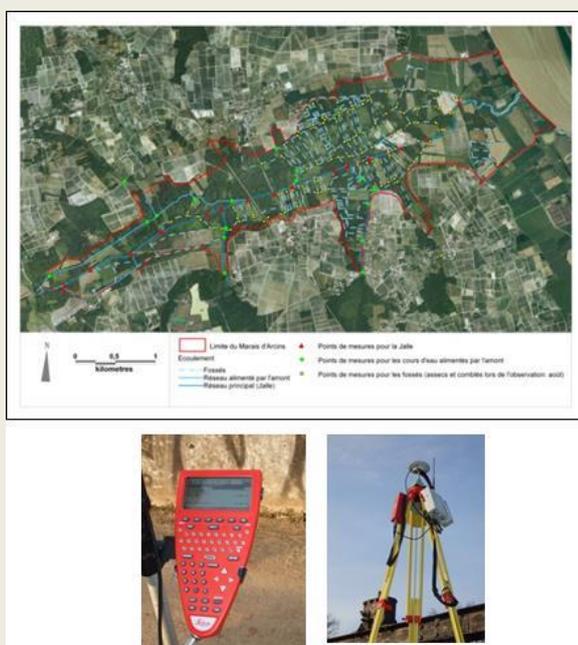
✚ La détermination de ce **volume maximal admissible** dans le premier bief préconisée par l'atelier du GRISAM sur les ouvrages à marée pour orienter vers la modalité technique la plus adaptée à chaque cas, relève de ce constat.

Elle suppose une bonne connaissance des **caractéristiques topographiques et biologiques du premier bief et de ses zones rivulaires ainsi que des usages développés sur ce territoire** afin de connaître son niveau de sensibilité vis-à-vis du sel, des matières en suspension et des risques de débordement. Ce type de démarche a été initié par MIGADO et ECOGEA sur des marais de bordure de l'estuaire de la Gironde dès les premières approches sur leurs ouvrages soumis à marée (Lauronce et al, 2009 à 2012)

La connaissance du **contexte aval** (*marnages et surcotes, niveaux de salinité, niveaux de MES*) constitue le second pool d'informations incontournables pour évaluer ce volume maximal admissible. Tous ces éléments doivent permettre par simulation de tester l'impact de différents niveaux d'admission dans le bief d'amont.

Ce diagnostic initial doit également permettre de repérer **les ouvrages suivants sur l'axe** qui peuvent être concernés par un marnage maîtrisé dans le premier bief, une gestion raisonnée de ces ouvrages pouvant permettre d'améliorer notablement leur transparence vis-à-vis de la faune piscicole.

Relevés topographiques par Migado et Ecogea sur un marais en rive gauche de l'estuaire de Gironde pour estimer les limites de débordement du premier bief (Lauronce et al, 2013)



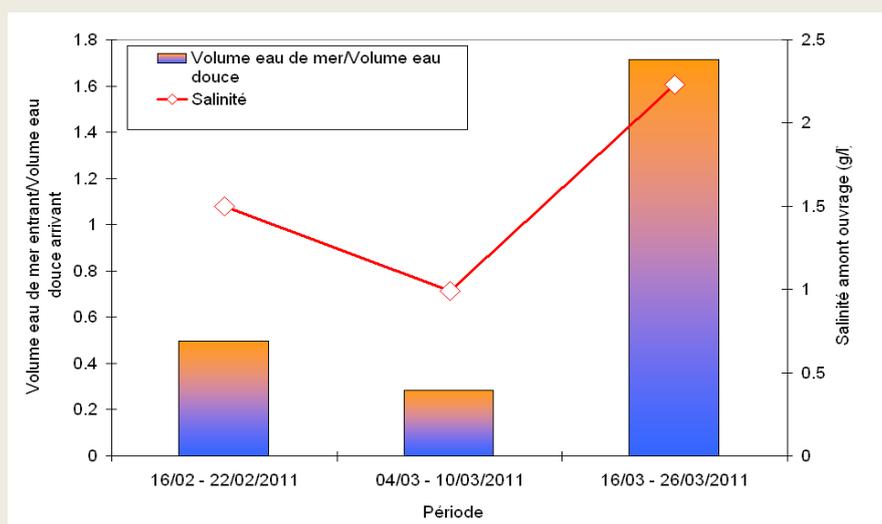
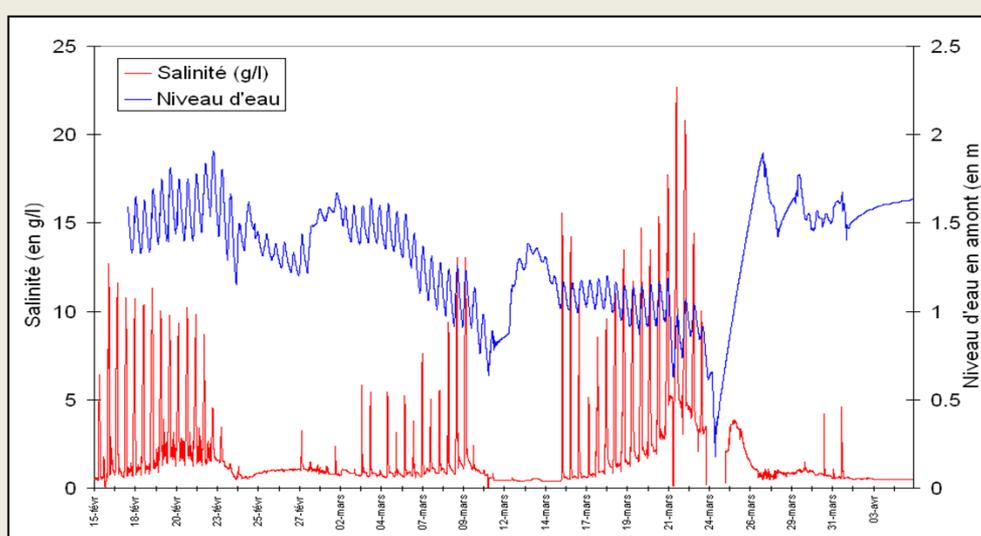
✚ Cette démarche nécessite également une bonne connaissance de la **variabilité du débit fluvial** se traduisant par un volume d'eau plus ou moins conséquent qui s'accumule dans le premier bief lors des phases d'admission venant de l'aval.

Ainsi la capacité d'admettre de l'eau en amont sans perturbation majeure du bief d'amont et de ses usages peut varier dans la saison, notamment en fonction de ce débit fluvial.

On le comprend aisément en termes de maîtrise du risque de submersion des zones riveraines. On doit également être attentif à la maîtrise d'une hausse de la salinité sur les sites qui peuvent être concernés dans les zones aval des estuaires.

Ainsi, sur le canal de Charras rejoignant l'estuaire de la Charente dans sa zone salée avec un premier bief d'environ 7 km pour un volume d'eau moyen de 200.000 m³, il a été constaté en 2010 une montée significative en salinité dans ce premier bief lorsque, sur le temps d'un flot, le volume d'eau fluviale arrivant de l'amont devient inférieur au volume introduit par l'aval (voir figure).

Figure tirée de Rigaud et al (2014) : Site de Charras sur la Charente. Evolution sur un mois et demi de la salinité enregistrée dans le premier bief suite aux admissions régulières au niveau de premier ouvrage. Lien avec l'intensité du débit fluvial.



Des mesures de réduction des prises d'eau, voire des arrêts doivent pouvoir être prévus si les usages et/ou la fonctionnalité du premier bief peuvent être compromis par une telle hausse significative de la salinité, voire de la turbidité. La mise en place de sondes de surveillance de ces paramètres ainsi que du niveau d'eau devrait ainsi se généraliser afin de maîtriser ces phénomènes et servir de preuve des conditions de gestion de l'ouvrage.

Modalité 1 : Arasement de l'ouvrage

Comme pour les ouvrages situés plus en amont sur les axes majeurs et leurs chevelus, **l'arasement constitue la formule la plus satisfaisante et pérenne** sur le plan du rétablissement de la libre circulation de la faune piscicole.

Mais cette solution doit venir s'intégrer dans un projet plus vaste de territoire compatible avec les contraintes fortes liées à ce type de situation. Il ne faut pas non plus oublier que l'arasement est synonyme de modification importante des habitats aquatiques, en amont immédiat de l'ex-ouvrage, notamment pour les ouvrages soumis à la marée salée.



Dé-poldérisation d'une partie d'un marais salé endigué (Graveyron, commune d'Audenge (33), Bassin d'Arcachon)

Photo extraite de *Goeldner-Gianella et Bertrand, 2013*

	Période de fonctionnement	Permanente
	Sites adaptés	Démarche à intégrer dans un véritable projet de territoire
	Fonctionnement	Autonome-gravitaire
	Calage hydraulique	Etude précise indispensable (<i>risques importants de submersion des terrains</i>)
	Éléments de sécurité	Sans objet
	Possibilité de réglage	Aucun réglage possible
	Coût	Démantèlement ouvrage + renforcement éventuel d'une levée intérieure + frais « annexes » liés à la modification des usages
	Observations techniques	Démarches de dé-poldérisation surtout en Europe du Nord pour le moment.
	Commentaires biologiques	Retour à un fonctionnement naturel des milieux aquatiques (<i>cycle tidal, allées et venues libres</i>)
	Variante	Implantation d'un seuil submersible garantissant le maintien d'un niveau d'eau minimum dans les milieux amont à marée basse. http://www.onema.fr/Vers-une-gestion-ecosystemique-des-marais-littoraux
	Lectures complémentaires	Voir pour infos complémentaires : www.abpmer.net/omreg Goeldner-Gianella et Bertrand, 2013 - Verger, 2005 - Badewin, 2004

Modalité 2 : Prises d'eau très fréquentes, mais limitées

L'ouverture partielle mais permanente de la vanne, **ouverture à définir en fonction du volume maximal admissible (VMA) dans le bief d'amont**, constitue une seconde modalité d'envoi à l'efficacité instantanée moindre qu'une ouverture totale.

En effet, l'ouvrage étant majoritairement fermé, le courant de marée diminue plus rapidement (*moins d'activité en pleine eau*) et le plus faible volume d'eau admis correspond à un moindre nombre de civelles admises en amont. Les données actuelles amènent à recommander l'ouverture la plus importante et permanente possible, toute demande de réduction par rapport au VMA devant être argumentée avec, au pire, le respect d'une ouverture minimale de 1 à 2 % de la surface des vannes immergées à coefficient moyen 75-80.

Si l'efficacité instantanée de ces ouvertures permanentes mais limitées est moindre, en revanche, elles peuvent fonctionner de manière autonome, **jour et nuit et sur toute la saison de migration, voire toute l'année sur certains sites**. Elles peuvent donc s'adapter aux niveaux de présence très variables et peu prévisibles des civelles et des autres espèces en aval de l'ouvrage. De plus, elles permettent des retours vers l'aval et sont synonymes d'un fonctionnement hydraulique et biologique très régulier de part et d'autre de l'ouvrage.

Trois variantes existent pour assurer cette ouverture partielle et régulière : la pose de cales, la mise en œuvre de vanelles ou de fentes, obturables ou pas, et enfin la mise en place de raidisseurs de clapets ou de portes à flot pour les sites caractérisés par les plus fortes contraintes en termes de volumes d'eau admissibles.



Pose de cales (à 3 niveaux) sur le cadre d'une porte à flot - Position ouverte au jusant et fermée à marée haute © Migado



Admission d'eau par vanelle de surface obturable (ouvrage de Biard, Charente-Maritime) © CG 17 et Pôle Ecohydraulique



Admission d'eau par ouverture partielle par le fond (ouvrage de Charras, Charente-Maritime) © Unima-Pôle Ecohydraulique



Clapets avec raidisseurs. Vue d'aval au jusant © Syndicat Centre Médoc et Migado



Raidisseur de clapet mis en place sur un ouvrage médocain depuis 4 ans © S. Simon (concepteur)

		Ouverture fixe non obturable (cales)	Ouverture obturable et/ou réglable (vantelle)	Raidisseurs réglables
	Période de fonctionnement	A priori permanente car démontage régulier non prévu	Réglages saisonniers si le dispositif le permet	Permanente avec réglages saisonniers possibles
	Sites adaptés	A éviter sur les sites à forte sensibilité estivale au sel ou aux MES	Tous sites	Surtout pour sites avec très faible volume admissible (sel, débordement,...)
	Fonctionnement	Autonome, gravitaire	Autonome, gravitaire	Autonome, gravitaire
	Calage hydraulique	Etude hydraulique du bief d'amont pour évaluer le volume maximal admissible et donc la taille maximale de l'ouverture par cale	Etude hydraulique du bief d'amont pour évaluer le volume maximal admissible et donc la taille maximale de l'ouverture dans la porte	Etude hydraulique du bief d'amont pour évaluer le volume maximal admissible et donc le réglage du raidisseur
	Éléments de sécurité	*Prévoir 3 cales par porte (<i>pression homogène sur toute la hauteur</i>) *Intérêt du double vannage en amont pour fermer en cas de problème majeur (<i>sauf si vannes amont très basses</i>)	* Taille limitée de la vantelle ou de la fente. *Obturation possible si prévu dans l'équipement initial *Intérêt du double vannage en amont pour fermer en cas de problème majeur (<i>sauf si vannes amont très basses</i>)	*Taille de l'ouverture *Position et réglage du raidisseur *Intérêt du double vannage en amont en cas de problème (<i>sauf si vannes amont très basses</i>)
	Possibilité de réglage	Réglages fréquents non prévus et difficiles à réaliser	Réglage possible de la taille de l'ouverture si prévu dans l'équipement initial	Réglage aisé du raidisseur à marée basse si double vannage
	Type d'envoi d'eau	Tout le flot dès l'équilibre des niveaux et sur toute la colonne d'eau	Tout le flot dès l'équilibre des niveaux ou plus tard si position haute de la vantelle	Dès l'équilibre des niveaux et sur une durée réglable
	Coût	Environ 500 € de matériel pour 2 portes (6 cales) + pose	3 500 - 4 000 € par vantelle sans crémaillère	Matériel inox, 5 000 € par clapet
	Observations techniques	- Nécessité d'une surveillance régulière	* Braconnage et manipulation possibles surtout si ouverture en position haute * Nécessité d'une surveillance très régulière	* Surveillance régulière, mais grande sécurité *Essais prévus en Gironde sur raidisseurs pour portes à flot
	Lectures complémentaires	• Lauronce et al, 2009-13	• Laffaille et al, 2007 • Rigaud et al, 2014 • Lauronce et al, 2009-13 • Baisez et Laffaille, 2009	• Lauronce et al, 2009 à 2013

Bult et Dekker (2007) ont testé aux Pays-Bas, une quatrième variante avec la mise en place d'un tuyau (diamètre 110 mm) en U renversé, à cheval sur une petite vanne et travaillant en siphon en entrée comme en sortie. Les poissons empruntent bien ce dispositif correspondant à un faible volume oscillant (moins de 300 m³ sur une marée) avec des effectifs associés eux aussi faibles, ceci étant certainement lié à la position très près du fond des deux entrées pour éviter le désamorçage du siphon.

Modalité 3 : Prises d'eau massives, mais ponctuelles

L'ouverture importante de la vanne, en surverse ou par le fond, sur toute ou partie du flot, est non seulement synonyme de maintien d'un courant significatif sur une longue durée, gage du maintien des civelles en pleine eau, mais est aussi synonyme d'admission vers l'amont d'un important volume d'eau provenant de l'aval.

En termes d'efficacité instantanée, elle est bien sûr la modalité d'envoi la plus efficace. En revanche ces opérations sont lourdes à mettre en œuvre, doivent être programmées de nuit (*ciblage de l'anguille*) et sécurisées (*plusieurs intervenants*). Elles correspondent à des envois massifs dont l'impact biologique peut être significatif sur le bief d'amont qui les reçoit. Enfin, elles ne peuvent être mises en œuvre que peu de fois sur la saison et sur un nombre de sites limités, la nécessaire programmation de ces opérations pouvant ne pas correspondre à une présence significative de civelles en aval de l'ouvrage lors des nuits fixées.



Envoi massif nocturne au Barrage de Méan sur le Brivet (Loire-Atlantique). Vue de l'amont

© Logrami

	Période de fonctionnement	Quelques marées par an, en période hivernale, de nuit
	Sites adaptés	Sites compatibles avec envoi d'eau massif tout en ayant une marge de sécurité au niveau du bief d'amont
	Fonctionnement	Présence humaine indispensable avec contraintes de programmation Environ deux heures d'envoi encadrant l'étalement de pleine mer
	Calage hydraulique	Etude hydraulique du bief d'amont pour évaluer le volume maximal admissible et la sensibilité au sel et aux MES pour savoir si ce type d'envoi est réalisable
	Éléments de sécurité	Présence humaine
	Possibilité de réglage	Degré d'ouverture de la vanne
	Coût	Présence humaine de nuit Peu généralisable en routine sur de nombreux sites
	Commentaires biologiques	Forte efficacité à l'échelle de la marée concernée. Pari sur niveau de présence des civelles. Impact biologique sur le bief d'amont ? Démarche très ciblée en termes spécifiques
	Type d'envoi d'eau	Manœuvre « manuelle » en encadrant l'étalement de pleine mer
	Lectures complémentaires	Legault, 1990 ; Baisez et Laffaille, 2009 ; Mazel et al, 2013

Modalité 4 : Eclusées à vocation piscicole

Sur les sites soumis à marée disposant d'une écluse de navigation, elle peut être utilisée pour permettre le franchissement de l'ouvrage par les jeunes anguilles et autres espèces sans admission d'un gros volume d'eau en amont. Le principe consiste en effet à attirer et à concentrer le poisson (*porte aval ouverte, porte amont fermée*) en créant un courant d'appel significatif par rapport à l'axe majeur tout proche, mais compatible avec son entrée dans le sas.

De manière régulière et possiblement programmée, la fermeture de la porte aval et l'ouverture totale de la porte amont offrent une bonne opportunité de passage dans le bief d'amont. De telles éclusées à vocation piscicole sont très régulièrement réalisées par exemple sur le barrage estuarien de Lith en Hollande (Rigaud et al, 1988). Ils ont également fait l'objet de quelques essais sur le barrage d'Arzal (Briand et al, 2008) et sur le barrage Saint-Félix sur l'Erdre à Nantes (*information orale de la DIR Onema de Poitiers*).



Ecluse Saint-Félix de Nantes (*limite de marée dynamique*).
Confluence de l'Erdre avec la Loire soumise à marée
© Syndicat du Val de l'Erdre

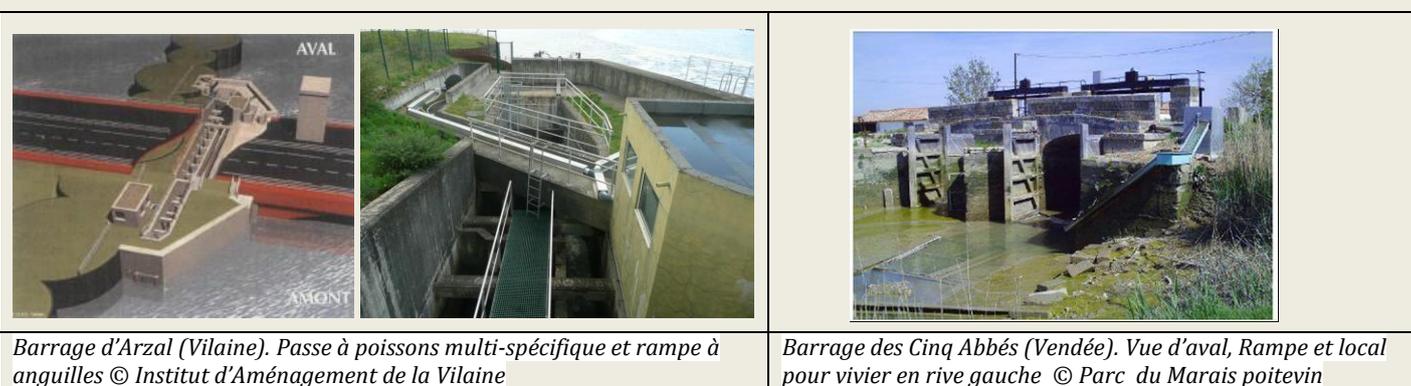
	Période de fonctionnement	Pour l'anguille, importance des manœuvres nocturnes, en période hivernale et printanière
	Sites adaptés	Sites disposant d'une écluse de navigation
	Fonctionnement	Possibilité de programmer des éclusages automatiques très réguliers <i>a minima</i> sur l'heure précédant la pleine mer
	Calage hydraulique	Sur les sites sensibles, évaluation du volume d'eau admis et de son devenir dans le bief d'amont pour définir les rythmes des éclusages et la stratégie d'évacuation régulière de l'eau de fond par le barrage
	Éléments de sécurité	Présence humaine au moins sur les premiers essais. Penser aux possibilités de braconnage dans le sas
	Possibilité de réglage	Fréquence des éclusées
	Coût	Programmation et alimentation électrique
	Commentaires biologiques	Intérêt multi-spécifique. Importance d'un appel d'eau significatif par rapport au barrage attenant. Levée complète des portes en entrée comme en sortie, les faibles courants n'incitant pas la civelle à plonger pour franchir.
	Type d'envoi d'eau	Au maximum, le volume du sas à chaque opération
	Lectures complémentaires	Bertignac, 1984 ; Rigaud et al, 1988 ; Briand et al, 2008 ; infos Dir Onema Poitiers

Modalité 5 : Implantation d'une passe à poissons

Solution technique systématiquement utilisée pour améliorer la transparence des ouvrages amont, la passe à poissons doit faire l'objet d'une analyse préalable pour juger de son intérêt sur un ouvrage soumis à marée.

Pour justifier une passe plurispécifique, le bassin concerné doit être de taille significative avec une capacité d'accueil avérée pour différentes espèces migratrices amphihalines. L'implantation d'une rampe à anguilles, avec substrat brosse en raison de la très forte dominance des petits individus (*moins de 12 cm*) sur les ouvrages littoraux, doit être considérée comme une option technique complémentaire aux envois d'eau en phase hivernale. Elle offre une solution de franchissement par escalade active lorsque la température de l'air dépasse les 10-11°C (*début du printemps généralement*). A cette période, les envois d'eau peuvent devenir difficiles sur certains sites (*problèmes de sel ou de MES en raison de débits trop faibles*) et la passe peut alors être un relais intéressant.

A noter cependant que ces passes à anguilles ne seront utiles que si le débit d'appel de la rivière reste significatif au printemps et en début d'été. Si le débit moyen devient très faible dès le mois de mai ou le début juin, il sera vraiment préférable d'examiner en priorité les solutions de franchissement précoces par envois d'eau.



Barrage d'Arzal (Vilaine). Passe à poissons multi-spécifique et rampe à anguilles © Institut d'Aménagement de la Vilaine

Barrage des Cinq Abbés (Vendée). Vue d'aval, Rampe et local pour vivier en rive gauche © Parc du Marais poitevin

	Période de fonctionnement	Remontées significatives à partir de début avril (<i>sauf épisodes « chauds » plus tôt</i>)
	Sites adaptés	Place disponible pour implanter le dispositif. Site électrifié si pompage
	Fonctionnement	Escalade sur rampes à brosses parcourues par un faible débit
	Calage hydraulique	Importance de l'implantation du pied de la rampe (<i>en rive, en lisière de zones de courant fort</i>). Penser à une longueur de rampe synonyme d'immersion la plus permanente possible du pied du dispositif
	Éléments de sécurité	Attention à la capacité de stockage du au moment des très fortes remontées
	Coût	Très variable selon le type (<i>pluri ou mono spécifique</i>), le gabarit et le nombre. Pour une rampe à anguilles, prévoir un minimum de 15000 € (<i>rampe, pompe, vivier, local, alimentation électrique</i>) + frais de fonctionnement (<i>entretien, suivi, électricité</i>)
	Observations techniques	Entretien et suivi très réguliers nécessaires. Besoin d'un débit d'appel significatif à l'échelle de l'axe au moins jusqu'à la fin juin.
	Commentaires biologiques	- Comportement actif d'escalade « hors d'eau » très lié à la température (<i>observations si air > 11 °C</i>). Très forte dominance des moins de 12 cm - Niveaux de passage pouvant être très importants (<i>maxima observés ces dernières années de 1000 ind./km² de BV amont</i>)
	Lectures complémentaires	<i>Legault, 1988 ; Voetgle et Larinier, 2000 ; Briand et al, 2002 ; Crivelli et al, 2008 ; Hyacinthe, 2009.</i>

Modalité 6 : Pêche et transfert en amont

La pêche et le transfert en amont immédiat de l'ouvrage ou plus en amont dans le bassin versant constituent la dernière modalité pour assurer un recrutement de jeunes anguilles. Par nature, cette démarche a une vocation mono-spécifique. D'autre part, on remarquera que les civelles déversées en amont peuvent provenir d'estuaires voisins (*pas de réelle amélioration de la continuité locale*).

Actuellement, très peu de suivis permettent de disposer d'éléments fiables et complets pour juger des retombées effectives de ces pratiques de transfert en termes de gain de survie, de qualité des individus et au final de production d'argentées après quelques années de croissance par rapport au scénario naturel sans transfert.

Dans l'attente de tels éléments de jugement, cette modalité ne devrait être réservée qu'en attente provisoire de mise en œuvre de l'une des autres modalités ou qu'à des alevinages très ponctuels de zones de qualité dans le territoire amont, très difficiles d'accès actuellement (*équipement d'une succession d'ouvrages par exemple*).



Opération de transfert de civelles en Charente

© Cellule Migrateurs Charente-Seudre

	Période de fonctionnement	Pendant l'ouverture de la pêche professionnelle de la civelle et dans la limite du quota local pour alevinage/transfert
	Sites adaptés	Formule transitoire en attente de mise en place de l'une des autres modalités techniques pour améliorer la transparence de l'ouvrage.
	Coût	Coût de la civelle + frais de stockage et d'analyse (prix de 400 à 450 € par kg transféré dans le cadre du plan national Anguille phase 2010-2014)
	Commentaires biologiques	Stratégie de pêche à adapter pour minimiser l'impact sur la qualité des individus Contraintes en termes d'analyses sanitaires à effectuer avant d'obtenir l'autorisation de lâcher Grande incertitude quant au devenir des civelles relâchées tant en termes de survie qu'en termes de comportement (<i>reprise de migration ou sédentarisation à proximité du lieu de lâcher ?</i>)
	Lectures complémentaires	Synthèse du groupe Anguille du Ciem et de la Cecipai (www.ices.dk/sites/pub/.../acom/2013/WGEEL/wgeel_2013.pdf ; <i>Pedersen 2009 ; Simon et Dörner, 2014 ; Huertas et Cerda, 2006</i>

Chapitre 4. Recommandations pour l'organisation d'une démarche concertée

La démarche de diagnostic et de choix d'une modalité de gestion ou d'aménagement d'un ouvrage soumis à marée pour optimiser sa transparence vis-à-vis de la faune piscicole doit être effectuée en lien **avec tous les acteurs locaux concernés**.



Exemple de démarche de concertation initiée par **Logrami** sur le bassin de la Loire

Elle impose **la connaissance des règles et des objectifs fixés** à grande échelle (*européenne, nationale, bassin*), puis le recueil de **données locales non seulement sur l'ouvrage lui-même**, mais aussi sur le **premier bief d'amont, le territoire amont** que l'ouvrage dessert ainsi que sur **l'environnement aval** dans lequel il s'insère.



Le contenu de cette quatrième partie résulte à la fois des travaux et écrits de LOGRAMI (**Clermont et al, 2011**) sur la Loire et de MIGADO (**Albert et al, 2008 ; Lauronce et al, 2009 à 2013**) sur la Gironde ainsi que des échanges et débats au cours de l'atelier.



Remarques préalables : obligation de moyens ou de résultats ?

Dans le cadre des actions visant la restauration de la continuité écologique sur tout ou partie du parc d'ouvrages soumis à marée avec la facette liée aux migrations ou déplacements de la faune piscicole et notamment des anguilles, les échanges au cours de l'atelier GRISAM ont permis d'identifier un certain nombre de questions :

- Le Règlement européen Anguille et le plan national de gestion s'inscrivent dans un objectif de restauration de cette espèce avec un objectif de maîtrise des mortalités cumulées d'origine anthropique entre le stade civelle et le stade argenté de retour en mer. Dans le cadre de cette démarche de nature quantitative (*évaluation et cumul des mortalités d'origine humaine*), **aucun élément étayé et partagé n'est disponible actuellement sur le niveau minimal de transparence qu'un ouvrage à marée devrait respecter vis-à-vis des civelles,**

- Si un certain nombre d'ouvrages ne sont pris en compte qu'au titre de la Zone d'actions prioritaires Anguille, beaucoup d'autres le sont au titre des classements « Migrateurs » des cours d'eau avec des obligations de **transparence multi-spécifique**, la fixation d'objectifs quantifiés étant alors encore plus ardue (*liste des espèces, saisons concernées, rythmes jour-nuit, comportements de surface ou de fond,...*),
- Sur un ouvrage donné, la situation de référence concerne le fonctionnement qu'aurait l'axe concerné en son absence, chaque zone aval voyant se présenter un potentiel de migrants (*nombre, diversité,...*) variable selon les années, mais surtout selon la position et l'attractivité du site concerné. C'est donc bien au **potentiel migrant local à l'échelle d'une saison de migration** qu'il faudrait se référer, or cette donnée apparaît techniquement hors de portée, surtout à l'échelle d'un parc d'ouvrages aussi dense et diversifié que celui des ouvrages soumis à marée,
- L'expérience acquise sur les dispositifs de franchissement jusqu'à présent (*surtout salmonidés, aloses,...*) montre qu'entre l'accès au dispositif, son franchissement effectif et les surmortalités induites pendant la phase d'attente et de recherche de la voie de passage, **une efficacité supérieure à 50 % par rapport à la situation sans ouvrage est rarement observée**,
- L'abondance de l'anguille devrait notablement évoluer dans les années à venir si le règlement européen de 2007 s'avère efficace (*les abondances observées actuellement oscillent entre 1 et 5 % de celles observées au début des années 80*).
La fixation d'une quantité à faire franchir sur un ouvrage donné a donc peu de chances de rester pertinente à l'échelle de quelques années. On notera d'ailleurs que les indicateurs de résultat qu'il serait important de collecter dans les territoires amont des ouvrages (*évolution de l'abondance des jeunes individus suite à un aménagement ou à une modification de gestion*) sont également dépendants de ce phénomène. Une nette embellie du niveau d'abondance générale des civelles en zone littorale pourrait en effet se traduire par une évolution positive dans les territoires surveillés sans que les actions menées sur l'ouvrage aval n'y soient réellement pour quelque chose.
Tous ces constats militent pour **le calcul et la diffusion d'un indice annuel de recrutement, par exemple par grande façade maritime**, ce qui permettrait de prendre en compte ce paramètre dans l'analyse des indicateurs recueillis dans les territoires,
- Enfin sur ces ouvrages soumis à marée, l'équipement par passe n'est pas la seule réponse technique comme sur les ouvrages amont, ce type d'équipement offrant des possibilités de piégeage et de comptage. Il y a en effet sur ces ouvrages aval une possibilité d'admettre de manière gravitaire en amont, des volumes d'eau et des poissons, ces admissions pouvant être biquotidiennes lorsque les coefficients de marée s'y prêtent. Avec plus d'une vingtaine d'admissions diurnes et nocturnes par mois, on comprend bien toute **la difficulté de comptage et donc de contrôle d'objectifs quantifiés s'ils étaient fixés**.

Au final et de manière pragmatique, il semble bien que ce sont des **objectifs de moyens à mettre en œuvre** qu'il faudrait fixer avec des modalités techniques et des seuils minimaux à respecter s'appuyant sur les connaissances scientifiques et techniques disponibles (*sites tests avec des protocoles associant à une modalité technique donnée, un niveau de transparence de l'ouvrage moyennant le respect d'un certain nombre de contraintes (degré d'ouverture de l'ouverture, fréquence d'ouverture,.....)*).

C'est bien dans cet esprit que ce premier atelier du GRISAM s'est déroulé en cherchant à mutualiser les connaissances actuelles encore très fragmentaires tirées des publications ou des rapports techniques disponibles.

Quelques pistes pour l'organisation pratique de la démarche

○ Mise en place d'un Comité de pilotage

Afin de faciliter la concertation et la coordination entre les différents acteurs concernés par le projet sur le territoire lié à l'ouvrage étudié, il est recommandé de mettre en place un comité de pilotage dès le lancement de la démarche.

Il doit permettre de bien identifier toutes les sources de données et d'informations disponibles pour la phase de diagnostic, de valider le déroulement de l'étude avec les étapes importantes de cette dernière (*examen des contraintes, choix des modalités techniques à approfondir au vu des contraintes, choix final*).

Les principaux groupes d'acteurs qu'il apparaît important d'intégrer dans le Comité de pilotage sont :

- le maître d'ouvrage de l'opération, le maître d'œuvre et le propriétaire de l'ouvrage et son gestionnaire,
- les services de l'Etat concernés à savoir la DDTM (*police de l'eau*), la DREAL, l'ONEMA
- les partenaires financiers (*Agence de l'eau, Conseil général, Conseil régional (soutiens régionaux et fonds européens)*),
- les associations locales : loisirs (*pêche, kayak, randonnée,...*), riverains, défense de l'environnement
- les représentants du SAGE s'il existe sur le territoire concerné ainsi que les structures porteuses de contrats pluri-annuels de bassin versant et/ou d'entretien-restauration des cours d'eau.

○ Intérêt d'un Comité technique

Plus restreint que le Comité de pilotage, le rôle du Comité technique doit permettre de surveiller le déroulement de l'étude de manière très régulière, d'accompagner et de conseiller le prestataire dans sa collecte d'informations sur l'ouvrage et son contexte, puis dans l'analyse de ces données. Il doit également contribuer à résoudre les éventuels problèmes ou choix techniques et à la préparation des rendus périodiques au Comité de pilotage.

Ce comité technique devrait réunir le maître d'œuvre, les services de l'état, l'ONEMA ainsi que les structures techniques spécialisées (*FDPPMA, Association Migrateurs*) et l'animateur du SAGE ou le technicien rivière s'il existe sur le territoire concerné.

○ Le plan de financement

Pour l'étude préalable à la mise en conformité d'un ouvrage vis-à-vis de la continuité écologique ou du Plan Anguille, plusieurs sources de financement sont possibles :

- Agence de l'eau.
- Collectivité locales : Département / Région.
- Union européenne (FEDER).

Les aménagements qui en découlent ainsi que le suivi de leur efficacité peuvent également être financés notamment par l'Agence de l'Eau (jusqu'à hauteur de 50% de l'étude et des travaux), mais d'autres sources de financement peuvent être sollicitées notamment les contrats territoriaux « milieux aquatiques » (CTMA), les contrats de restauration-entretien de zones humides (CREZH) ou encore les contrats Région - Bassin versant (CRBV).



Les différentes phases techniques de la démarche

Globalement, la démarche devrait se dérouler en **quatre phases successives**, le passage à l'étape suivante étant assujettie à la validation de la phase précédente par le Comité de pilotage.

1^{ère} phase : Diagnostic et premier balayage des solutions envisageables

Comme nous l'avons vu dans les chapitres précédents, le diagnostic initial devrait s'appuyer sur la collecte d'informations dans quatre domaines complémentaires

- **Le territoire amont et ses grandes caractéristiques**

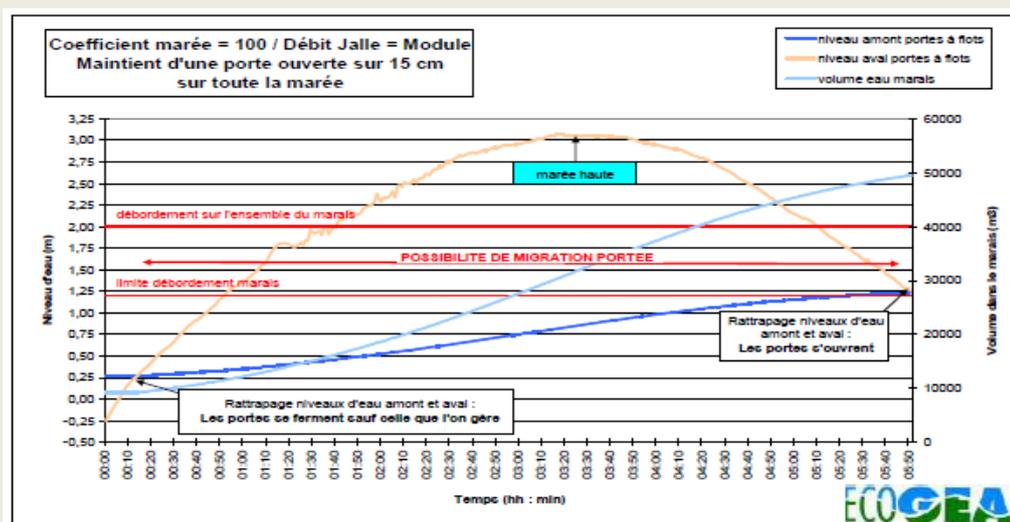
Informations à collecter	Utilisation de ces informations
<ul style="list-style-type: none"> - Surface amont concernée par l'ouvrage / Surfaces en eau et type(s) (<i>salé, saumâtre, doux</i>) et usages - Point sur la problématique Migrateurs dans le bassin - Statut particulier de l'axe majeur ou du territoire desservi ? - Ouvrages hydrauliques en amont (<i>répartition</i>). Existence d'une succession d'ouvrages potentiellement concernés par un envoi au niveau du premier ouvrage à la mer ? - Repérage des territoires ou des habitats particuliers (<i>frayères, réserves, ...</i>) - Repérage d'éventuels problèmes récurrents (<i>pollutions aigües, assecs</i>) - Projet de ré-estuarisation ou de dé-poldérisation ? - Pressions majeures sur l'anguille jaune ou argentée ? - Présence d'un technicien rivière et niveau de disponibilité ? 	<ul style="list-style-type: none"> • Arasement envisageable ou pas ? • Rampe à brosses à prévoir si BV significatif • Passe multi-spécifique justifiée ? → • Ouvrage en priorité 2 si problème majeur de qualité décelé en amont • Réflexion technique à intégrer à l'échelle de l'axe ou au moins à l'échelle des premiers ouvrages

- **La nature du contexte aval**

Informations à collecter	Utilisation de ces informations
<ul style="list-style-type: none"> - Positionnement de l'ouvrage (<i>situation côtière ou estuarienne ? dans quelle zone de l'estuaire ?</i>) - Chroniques des niveaux d'eau aval (<i>avec connaissance des <u>surcotes</u> lors d'épisodes exceptionnels, repérage de la cote NGF demi-flot pour différents coefficients (75, 90, 115)</i>) - Chroniques éventuelles de salinité - Problème de bouchon vaseux ? (<i>si oui, période concernée</i>) - Présence d'une pêcherie ? Sensibilité au braconnage ? 	<ul style="list-style-type: none"> → - Prise en compte des cotes aval dans le calcul des volumes admis pour les différentes modalités d'ouverture (<i>simulations</i>) - Repérage de risques (<i>saisonniers ?</i>) en termes d'admission de sel et/ou MES

- Les caractéristiques du premier bief

	Informations à collecter		Utilisation de ces informations
Premier bief	<ul style="list-style-type: none"> - Relevés topographiques des berges - Chroniques des débits et des niveaux d'eau, gestion du premier bief (module ?) - Usages de l'eau et niveau de sensibilité du premier bief aux MES et à la salinité - Peuplement animal et végétal et niveau de sensibilité aux MES, à la salinité, au marnage 	➔	<ul style="list-style-type: none"> • Calcul du Volume maximal d'eau admissible (débordement, sel, MES) en appliquant un coefficient de sécurité • Niveaux de contraintes en termes de sels et de MES déclinés par saison • Connaissance des cotes amont pour simulations hydrauliques



Exemple de simulation hydraulique sur un marais de Gironde avec le repérage de la limite de débordement du premier bief basé sur des relevés topographiques (GPS différentiel) en lien avec le syndicat concerné. Travaux de Migado (Albert et al, 2008).

- La caractérisation du site et de l'ouvrage étudiés

Informations à collecter		Utilisation de ces informations
<ul style="list-style-type: none"> - Propriété et statut (classement, axe migrateurs,....) - Gestionnaire ? Existence d'un règlement d'eau ? - Type de gestion (<i>absence, manuelle, télégestion, asservissement</i>) et calendrier - <u>Caractères physiques</u> : nombre et types d'ouvrages, une ou deux ligne(s) d'ouvrages - <u>Solidité de l'ouvrage</u> (état sanitaire) et identification d'éléments de risques particuliers - Aménagements particuliers existants (<i>rampe ? vantelle ?</i>) - Site électrifié ? Site très équipé en éclairage public ? - Contraintes au niveau des possibilités d'aménagement complémentaire (<i>route, peu de place en rives,.....</i>) ? 	➔	<ul style="list-style-type: none"> - Prise en compte de la gestion actuelle de l'ouvrage avec ses contraintes particulières - Analyse des aménagements existants et des potentialités d'évolution

2^{ème} phase : Choix d'une (ou deux) solution(s) d'aménagement ou de gestion à approfondir

C'est le croisement de cet ensemble d'informations qui doit permettre d'effectuer un diagnostic complet et une bonne identification du cas particulier que représente chaque ouvrage soumis à marée. Tous ces éléments doivent en effet contribuer à orienter la suite de la démarche vers les modalités techniques les plus adaptées.

Le tableau suivant reprend **les différentes modalités** qui ont été présentées et détaillées dans le troisième chapitre **en identifiant les contextes auxquels elles paraissent les mieux adaptées.**

Modalité générale	Les variantes	Les contextes adaptés
Arasement	<ul style="list-style-type: none"> Réouverture totale de l'axe avec possibilité de mise en assec du premier bief si débit amont insuffisant Seuil submersible assurant le maintien d'un plan d'eau à marée basse 	<ul style="list-style-type: none"> Formule la plus pérenne et la plus efficace pour la libre circulation Formule devant être intégrée dans un projet de territoire avec des usages compatibles avec une submersion bi-quotidienne
Envois d'eau permanents mais limités <ul style="list-style-type: none"> Degré d'ouverture à maximiser en fonction des caractéristiques du premier bief d'amont ouverture minimale à respecter (a minima 1 à 2 % de la surface totale des portes) Sauf si contraintes très particulières à démontrer (zones aval salées notamment) 	Vanne décollée du fond	<ul style="list-style-type: none"> Admission et passage possibles dès l'équilibre des niveaux de part et d'autre de la vanne La mieux adaptée aux comportements de la majorité des espèces (<i>anguilles, flets, lamproies, ...</i>) Passages étalés dans le temps de part et d'autre de la pleine mer Souvent associée à une gestion « drainage » du premier bief, le niveau d'eau étant alors très faible à chaque jusant (<i>limitation de la capacité d'accueil</i>) Option liée à une manœuvre de l'ouvrage, donc possibilité de modification permanente Degré d'ouverture à caler en fonction des contraintes du premier bief (<i>volume maxi admissible</i>)
	Cales sur portes à flot (le plus souvent associées à une vanne amont)	<ul style="list-style-type: none"> Peu onéreux, autonome et efficace. Simplicité de mise en œuvre, mais difficulté pour des modifications fréquentes Prise d'eau sur toute la marée à partir de l'équilibre des niveaux (<i>lien avec la gestion de la vanne amont</i>). Bien adaptée aux sites sans problème particulier d'admission au moins sur toute la phase hivernale et de début printemps Degré d'ouverture à caler en fonction des contraintes du premier bief (<i>volume maxi admissible</i>)

<p>Envois d'eau permanents mais limités (suite)</p> <ul style="list-style-type: none"> • à maximiser en fonction des caractéristiques du premier bief d'amont • ouverture minimale à respecter (a minima 1 à 2 % de la surface totale des portes) • Sauf si contraintes très particulières à démontrer (zones aval salées notamment) 	<p>Vantelle de surface (obturation totale ou partielle)</p>	<ul style="list-style-type: none"> - Autonome, efficace (<i>passages de civelles concentrés avant la pleine mer, nettement moins favorable aux autres espèces (lamproies, flets,...)</i>) - Degré d'ouverture réglable si dispositif d'obturation partielle (<i>pour fermeture estivale notamment</i>). - Moyennement onéreux. - Sur porte à flot ou sur vanne, penser à minimiser les possibilités de manipulation ou d'utilisation (<i>braconnage</i>) par personne étrangère au service (<i>cas des positions hautes</i>)
	<p>Vantelle de fond</p>	<ul style="list-style-type: none"> - Admission et passage possibles dès l'équilibre des niveaux de part et d'autre de la vanne - La mieux adaptée aux comportements de la majorité des espèces (<i>anguilles, flets, lamproies, ...</i>) - Passages étalés dans le temps de part et d'autre de la pleine mer - Evacuation souvent plus limitée sur le jusant que pour l'option Vanne décollée - Degré d'ouverture à caler en fonction des contraintes du premier bief (<i>intérêt des dispositifs de réglage d'obturation</i>)
	<p>Raidisseur (clapet ou porte à flot)</p>	<ul style="list-style-type: none"> - Autonome, efficace - Sûr (<i>volume limité par clapet entrebaïllé</i>), réglable (<i>difficulté d'intervention par des extérieurs</i>), - Moyennement onéreux - Tous sites avec clapets, surtout ceux avec volumes admissibles limités (<i>admission sur une heure maxi</i>)
<p>Envois d'eau massifs et très ponctuels (1 à 2 heures autour de l'étalement de pleine mer)</p>	<p>Nombre variable d'envois sur la saison (<i>optimum de 2 par mois sur 4 mois</i>)</p>	<ul style="list-style-type: none"> - Modalité la plus efficace à l'échelle d'une marée. - Contraignant (<i>présence humaine, de nuit</i>). - Programmation incontournable, mais sans garantie de présence de civelles. - Possible sur un nombre limité de sites adaptés (<i>important volume admis</i>) - Impact hydraulique et biologique sur le premier bief - Restauration très intermittente de la continuité
<p>Eclusées à vocation piscicole</p>		<ul style="list-style-type: none"> - Sites avec écluse de navigation. - Intérêt surtout en phase hivernale et printanière - Pour l'anguille, importance des opérations nocturnes (<i>attention à l'éclairage éventuellement trop important de ces écluses</i>) - Importance du débit d'appel qui doit être significatif par rapport au débit de l'axe majeur

Rampes à anguilles	Nombre à adapter au gabarit et à la configuration de l'ouvrage	<ul style="list-style-type: none"> - Complément des envois hivernaux si BV amont de taille notable (<i>débit d'appel jusqu'en début d'été</i>) ou ne pouvant admettre de l'eau très tôt dans l'année (<i>sel, MES,....</i>). - Coûteux (<i>investissement et fonctionnement</i>) - Brosses à privilégier au vu des gabarits ultra dominants (<i>moins de 15 cm</i>) sur ces ouvrages aval. - Sites électrifiés (<i>si pompage</i>) - Pieds de rampes à planter en rive et en lisière des courants d'appel dominants, mais en zone calme - A associer à un dispositif multi-spécifique lorsque l'ouvrage est sur un axe migrateur majeur
Pêche et transfert		<ul style="list-style-type: none"> - Modalité la plus coûteuse sur la durée. - Importance d'une capture la moins agressive possible (<i>lésions limitées, probabilité de survie ultérieure plus importante</i>) - Modalité transitoire ou réservée à l'alevinage de quelques secteurs amont éloignés, de taille restreinte et de qualité

3^{ème} phase : **Approfondissement de la (ou des) solution(s) retenue(s)**

Lorsqu'une ou deux solution(s) de gestion ou d'aménagement sont retenues à l'issue des premiers niveaux d'analyse, il reste à confirmer leur faisabilité effective et à définir en détail l'ensemble des conditions de mise en œuvre.

Selon la solution technique retenue, un certain nombre d'éléments seront à préciser :

Arasement de l'ouvrage

Pour la solution de dérasement (*suppression*) ou d'arasement (*abaissement partiel*), il faut porter un intérêt particulier sur :

- **L'impact de l'abaissement potentiel de la ligne d'eau :**
 - Risque d'érosion des rives (*aval et amont*) ainsi que les conséquences sur les bâtiments, ouvrages d'art (*stabilité après travaux*) ou la végétation rivulaire (*déracinement, présence d'espèces remarquables, ...*).
 - Les mesures d'accompagnement pour la stabilisation et la végétation des rives : aménagement du lit (*réduction de la largeur, re-méandrage,..*), végétalisation des surfaces exondées, abattage/recépage de la végétation ligneuse, stabilisation des berges par végétalisation...
- **L'impact de l'effacement sur les usages :**
 - Analyse du risque d'inondation en aval et en amont de l'ouvrage.
 - Les conséquences pour les usages aval (*ostréiculture, marais salant, ...*) et amont (*agriculture, alimentation en eau potable...*)
 - L'impact sur la remobilisation des matériaux, le désenvasement notamment des zones amont et à l'inverse l'envasement de la zone aval

Les dispositifs de franchissement

Il faut distinguer ici les dispositifs passifs (*orifice dans l'ouvrage*) et les passes à poissons.

- ***Pour les dispositifs passifs :***

- Le dimensionnement minimal et maximal des orifices (*par rapport à la section mouillée, volume d'eau, largeur de l'ouverture...*).
- La nature des dispositifs de fermeture si besoin pour les vannes (ou tout au moins de réduction du débit).
- Les modalités d'ouverture et de fermeture dans l'année, par rapport aux conditions naturelles (*marée, inondation...*).

- ***Pour les passes à poissons :***

- Le calcul hydraulique des écoulements dans le dispositif permettant de juger de son efficacité pour les espèces-cibles nécessite :
 - Les niveaux d'eau amont et aval rencontrés en période de migration et sur la plage de fonctionnement retenue :
 - Les débits dans la passe, énergie dissipée, chutes,
 - Les vitesses maximales,
- Les dimensions du dispositif : inclinaison de la rampe, hauteur, chutes...
- La période de fonctionnement avec la mise en place d'une surveillance très régulière (*responsable, fréquence de passage, coût,....*)
- L'étude de la mise en place éventuelle d'un dispositif de comptage ou d'échantillonnage ainsi qu'un calendrier des périodes de fonctionnement de ce dispositif.

Les manœuvres d'ouvrage

Les manœuvres ne nécessitent que peu d'aménagements mais peuvent être contraignantes en termes de temps et de personnel. Il faudra donc porter un intérêt particulier sur les modalités de mise en œuvre:

- Gestion de la manœuvre : automatique/ manuel, motorisé...
- Temps et degré d'ouverture de l'ouvrage
- Fréquence des manœuvres
- Volume d'eau entrant maximal et minimal

4^{ème} phase : Mise en œuvre, règlement d'eau et suivi ultérieur

(à partir des éléments fournis par **LOGRAMI** en lien avec la démarche « Portes ouvertes aux anguilles »)

- **Règlement d'eau de l'ouvrage**

L'élaboration **d'un règlement d'eau de l'ouvrage** est nécessaire avec l'identité des structures chargées de la gestion (*maintenance, surveillance régulière, manœuvres*). Des arrêtés préfectoraux ont été pris dans certains sites pour officialiser les mesures retenues pour améliorer la transparence des ouvrages et les modalités de leur mise en œuvre (**Lauronce et al, 2013**).

Les données climatiques varient fortement selon les années, il n'est pas possible d'afficher un calendrier de gestion gravé dans le marbre. En revanche, le document devrait préciser les conditions hydrauliques qui correspondent à chaque grande modalité de gestion de l'ouvrage (*phase d'écoulement majeur, phase d'écoulement régulier, phase de rétention*) avec pour chacune d'elles, les principales caractéristiques hydrauliques associées (*niveau du bief d'amont, vitesses de courant*).

Il devrait également préciser l'existence éventuelle d'un débit réservé dont le niveau sera fixé. Il devrait faire obligation du maintien de l'ouvrage en bon état de fonctionnement par les soins et aux frais du permissionnaire. Il devrait également rappeler que les droits des tiers sont et demeurent expressément réservés.

Il devrait enfin préciser qu'en cas de non-respect du règlement, le préfet prendra toute mesure nécessaire (*mise en demeure, mise en chômage, suspension ou retrait de l'autorisation d'usage*).

- **Suivi ultérieur**

Le suivi est tout aussi important que la mise en place de la solution technique car c'est lui qui va permettre d'évaluer sur le moyen et long terme la viabilité et l'efficacité de la solution retenue.

Il doit prendre en compte les trois facettes principales sur lesquelles l'intervention sur l'ouvrage est censée pouvoir avoir une influence :

- **Niveaux d'envasement** en aval et en amont (*premier bief*). La réalisation régulière de relevés précis sur des sites géo-localisés en aval et en mont de l'ouvrage doit permettre de collecter ce type d'informations.
- **Niveaux de salinité et niveaux d'eau** : le projet devra préciser la manière dont ces deux éléments seront suivis dans le temps en s'adaptant à chaque situation et aux capacités de chaque structure de gestion (sondes enregistreuses ? relevés réguliers ?).
- **Amélioration significative de la transparence de l'ouvrage**. Là encore, le projet devra préciser en fonction du type d'ouvrage, de son gabarit et des solutions techniques retenues, la manière d'évaluer l'amélioration de la transparence de l'ouvrage sachant que, pour aucune espèce, on ne peut fixer d'objectifs de franchissement à atteindre (*difficulté biologique à évaluer un tel objectif, difficulté technique pour vérifier son atteinte*).

En ce qui concerne le troisième point, sur les grands dispositifs de franchissement on a le plus souvent des possibilités de surveillance et de comptage mais très rarement associés à une évaluation du stock migrant se présentant en aval de l'ouvrage. On peut également mettre en œuvre une évaluation indirecte des retombées de l'action (gestion ou aménagement) effectuée sur l'ouvrage aval.

Pour des espèces anadromes (*lamproies, salmonidés, aloses*), cette évaluation indirecte pourra concerner l'évolution de la fréquentation des sites de reproduction préalablement repérés dans le bassin versant. Pour des espèces comme le flet ou les mulets, on s'intéressera à leur niveau de présence dans l'axe majeur en amont de l'ouvrage soumis à marée.

Pour l'anguille, on portera son attention surtout sur les tailles inférieures à 15 cm, voire 10 cm, de manière à pouvoir réellement visualiser l'impact de la seule mesure sur l'ouvrage en minimisant les interférences avec d'autres facteurs impactants (*pêches, qualité d'eau, dégradation d'habitats,...*) qui peuvent compromettre plus ou moins rapidement une amélioration nette de la transparence de l'ouvrage aval.

Des essais ont été initiés (*Irstea, Ecolab Toulouse, Migado, Logrami, Cellule Charente Seudre, Parc du Marais poitevin,...*) pour tester des modalités de suivi du niveau de présence de ces jeunes individus le long des axes. Ces travaux seraient à poursuivre pour pouvoir rapidement disposer d'outils et de procédures normalisées et notamment dans les zones de marais. Ceci étant, une telle démarche nécessite également pour l'anguille de disposer d'un indice annuel de recrutement général à l'échelle d'une façade littorale pour pouvoir relativiser ces observations dans les années à venir.

Conclusion générale

La tenue de ce premier atelier GRISAM dédié à la transparence des ouvrages littoraux avait été demandée par le Groupe Anguille lors de ses dernières rencontres nationales. Il a permis un premier tour d'horizon des connaissances disponibles et des équipes impliquées sur cette thématique peu abordée jusqu'à présent.

Ces ouvrages littoraux, côtiers ou estuariens, y compris les dispositifs majeurs implantés sur les grands axes de migration, ont été en effet très longtemps oubliés dans les grands programmes d'études ou d'aménagement ciblant la libre circulation piscicole.

Ces ouvrages commandent pourtant l'entrée soit de bassins versants parfois importants, soit de zones humides rétro-littorales pouvant représenter de fortes capacités d'accueil en termes de surface en eau et d'habitats.

Ces dernières années, le Règlement européen sur l'anguille et sa déclinaison nationale ont un peu changé la donne et amené à prendre en compte ces vannages soumis à marée, présents dans toutes les zones d'actions prioritaires des plans locaux en métropole.

Les échanges entre les participants de cet atelier, tous impliqués dans des démarches de suivis ou d'essais ainsi que la mobilisation des connaissances disponibles (*publications et rapports techniques*) ont permis d'effectuer ce premier bilan.

Il est bien sûr très perfectible, mais malgré le peu de recul sur ce type d'ouvrage et cette problématique, des éléments convergents ressortent déjà clairement et peuvent contribuer utilement aux démarches d'évaluation et de choix de modalités techniques à mettre en œuvre sur la majorité de ces sites littoraux.

Pour les civelles, l'amélioration de la transparence de ces ouvrages dès la saison hivernale et printanière permettrait **l'expression de comportements naturels avec une moindre mortalité en aval (pêche, prédation) et un moindre retard pris dans la migration de colonisation du territoire amont, que ce soit à l'échelle d'une rivière, d'un fleuve ou d'une zone de marais littoral.**

Au niveau métropolitain, **ces ouvrages se caractérisent par une grande diversité** à la fois en termes physiques (*gabarit, type*) et en termes d'implantation (*contexte aval, nature du territoire amont avec les usages développés, caractéristiques du premier bief*). Face à cette diversité, il apparaît illusoire de vouloir développer une réponse technique uniforme et l'intérêt de disposer d'une **palette de solutions de gestion ou d'aménagement** ressort donc

clairement. Dans tous les cas, l'évaluation du VMA (*volume maximal admissible*) par le premier bief est incontournable avec à ce niveau, un regard important à porter sur la sécurité des biens et des personnes situés dans les territoires amont proches.

Sur beaucoup de sites, la **mise en œuvre d'admissions hivernales et printanières compatibles avec le volume d'eau maximal que leur premier bief peut admettre**, doit permettre sans équipement majeur, d'améliorer rapidement et de manière très significative leur niveau de transparence, notamment vis-à-vis des civelles.

A l'échelle d'une marée, la phase de loin la plus intéressante pour faire franchir ces jeunes anguilles lors d'admissions d'eau raisonnées, se situe surtout **entre l'inversion du courant en aval de l'ouvrage et la pleine mer**. Ce constat biologique permet d'élaborer et d'offrir des modalités techniques adaptées à chaque situation et à chaque site. L'atelier a initié une analyse des avantages et limites de chacune d'elles.

<p>Arasement</p> <p><i>(suppression totale de l'ouvrage ou maintien d'un seuil submersible)</i></p>	<p>Sites très particuliers avec projet de dé-poldérisation ou compatibles avec des submersions régulières</p>
<p>Envois rares, mais massifs</p>	<p>Sites en zone douce et/ou avec un premier bief physiquement et biologiquement compatible avec des envois d'eau très massifs</p>
<p>Envois permanents mais limités</p> <p><i>(vantelles obturables, cales fixes,.....)</i></p>	<p>Sites avec VMA réduit. Possibilité de maîtriser encore plus le volume admis par recours aux raidisseurs sur clapets ou portes à flot sur les sites à fortes contraintes (<i>salinité, bouchon vaseux,....</i>)</p> <p>Si possible préférence pour les envois près du fond pour leur caractère plus multi-spécifique et moins sensible au braconnage.</p>
<p>Passes à poissons</p> <p><i>(rampe anguille ou passe multi-spécifique)</i></p>	<p>Sites aval de BV conséquents avec problématique Migrateurs avérée. Nécessité d'un débit d'appel significatif à l'échelle de l'axe au moins jusqu'en début d'été.</p>
<p>Eclusées régulières</p>	<p>Sites avec écluse de navigation. Regard multi-spécifique. Automatisation recommandée avec besoin de phases d'appels d'eau significatifs en regard du débit de l'axe majeur</p>
<p>Transferts de civelles</p>	<p>Solution transitoire en attente d'éventuels équipements lourds sur l'ouvrage concerné</p>

Le choix qui doit être fait sur un ouvrage donné doit donc s'appuyer sur une démarche initiale de diagnostic plus large que celle mise en œuvre sur un ouvrage amont classique. Elle doit en effet comporter une analyse du **contexte aval de l'ouvrage**, une évaluation des contraintes et des atouts à la fois du **territoire amont en général et du premier bief** avec notamment la détermination du volume d'eau maximal que ce dernier peut supporter sans

dommage (*débordement, environnement, usages*). Elle doit enfin, plus classiquement examiner **les caractéristiques de l'ouvrage lui-même**.

L'atelier a ainsi établi une liste de données importantes à collecter dans le cadre de cette phase d'évaluation et recommandé un mode d'organisation de la démarche qui doit, au vu du caractère très sensible de la question des ouvrages aval sur la majorité de ces territoires littoraux, **impliquer tous les acteurs locaux concernés**.

De nouvelles connaissances ne manqueront pas d'apparaître dans les années à venir, des points restent également à préciser et il sera donc important de poursuivre la démarche d'échanges initiée au cours de ce premier atelier.

A l'évidence, les points à aborder ne manquent pas et on peut déjà citer (*liste non exhaustive*) :

- L'analyse des nouveaux tests sur des modalités de gestion et d'aménagement, avec évaluation de leur efficacité instantanée,
- L'élaboration possible (*souhaitable ?*) d'un arbre de décision pour orienter vers un choix de modalité en fonction des constats effectués sur l'ouvrage et son environnement naturel et humain,
- Les critères d'évaluation des territoires amont,
- Les stratégies et méthodes de suivi indirect dans le territoire amont, des retombées des actions menées sur l'ouvrage aval,
- La mise en réseau et l'analyse de mises en œuvre d'actions de gestion ou d'aménagement,
- La prise en compte de l'ensemble de la faune piscicole se présentant au niveau de ces ouvrages,
- L'intégration des besoins de migration vers la mer des anguilles argentées dans la gestion des ouvrages,....

A bientôt donc pour poursuivre la démarche et bon usage de ces premières informations déjà à même de contribuer à une amélioration notable des conditions de migration et de déplacement entre zone côtière/estuaire et marais / bassins versants.

Pour en savoir plus : les références citées dans le document

- ADAM G., FEUNTEUN E., PROUZET P., RIGAUD C., 2008. L'anguille européenne. Indicateurs d'abondance et de colonisation. *Rapport final du programme européen Indicang. Editions Quae*, 392 p.
- ALBERT F., LAURONCE V., SAVASTANO R., 2008. SAGE « Estuaire de la Gironde et milieux associés ». Etude des potentialités piscicoles des affluents de l'estuaire. Cs des migrateurs amphihalins (anguille européenne, lamproies marine et fluviatile, mulets et flets). *Rapport MIGADO 1D-08-RT*, 167 pages.
- ANRAS L., BLANCHIER P., HUSSENOT J., LAGARDERE J.-P., LAPOUYADE P., MASSE J., POITEVIN B., RIGAUD C., 2004. Les marais salés atlantiques, mieux connaître pour mieux gérer. *Cahier technique du Forum des Marais atlantiques*, 76 pages.
- ANRAS L., CHASTAING C., 2005. Ouvrages hydrauliques et gestionnaires en marais atlantiques. *Collection « Vivre en marais », Publ. Forum des Marais atlantiques*, 16 p.
- ARRIBAS C., FERNANDEZ-DELGADO C., OLIVIA-PATERNA F.J., DRAKE P., 2012. Oceanic and local environmental conditions as forcing mechanisms of the glass eel recruitment to the southernmost European estuary. *Estuar. Coast. Shelf Science*, 107, pp 45-57.
- BADEWIN V., 2004. La dé-poldérisation, composante d'une gestion intégrée des espaces littoraux ? Perspectives sur le littoral picard et analyse à la lumière de quelques expériences (Baie des Veys (Normandie), Aber de Crozon (Bretagne), Tollesbury (Essex), Freiston shore (Lincolnshire)). *Cahiers nantais*, 2004-1, pp 11-20.
- BAISEZ A., LAFFAILLE P., 2009. Recrutement estuarien : les manœuvres d'ouvrages. *Plaquette d'information. Tableau de bord Anguille de la Loire, des Côtiers vendéens et de la Sèvre niortaise*, 4 p.
- BARBIN G.P., KRUEGER W.H., 1993. Behaviour and swimming performance of elvers of the American eel (*A. rostrata*) in a experimental flume. *Jl Fish Biol.*, vol. 45 : 111-121.
- BARDONNET A., RIERA P., 2005. Feeding of glass eels (*Anguilla anguilla*) in the course of their estuarine migration : new insights from stable isotope analysis. *Estuarine, coastal and shelf Science*, 63 : 201-209.
- BEAULATON L., CASTELNAUD G., 2005. The efficiency of the selective stream tidal transport in glass eels entering the Gironde (France). *Bull. Franc. Pêche Pisc.*, 378-379 : 5-21.
- BERTIGNAC M., 1984. Etude d'une passe à civelles et de manœuvres d'ouvrages à la mer. *ENSA Rennes, DDA Halieutique*, 65 pages et annexes.
- BOLLIET V., LAMBERT P., RIVES J., BARDONNET A., 2007. Rhythmic swimming activity in *Anguilla anguilla* glass eels: synchronisation to water current reversal under laboratory conditions. *Jl Exp. Mar. Biol and Ecol.*, 344 : pp 54-66.
- BOLLIET V., LABONNE J., 2008. Individual patterns of rhythmic swimming activity in *Anguilla Anguilla* glass eels synchronised to water current reversal *Jl of Exp. Mar. Biol and Ecol.*, 362 : 125-130.
- BONHOMMEAU S., CHASSOT E., RIVOT E., 2008. Fluctuations in European eel (*A. Anguilla*) recruitment resulting from environmental changes in the Sargasso Sea. *Fisheries Oceanography*, 17 : 32-44.
- BRIAND C., FATIN D., LEGAULT A., 2002. Role of eel odour on the efficiency of an eel (*A. anguilla*) ladder and trap. *Envir. Biol. of Fishes*, 65 : 473-477.
- BRIAND C., MOUNAIX B., FATIN D., FEUNTEUN E., 2003. The contribution of springtime and autumn glass-eels (*A. Anguilla*) to stock : results based on otolith morphometry. *Bull. Fr. Pêche Pisc.*, 368 : 27-42.
- BRIAND C., FATIN D., FEUNTEUN E., FONTENELLE G., 2003. Estuarine and fluvial recruitment of European glass eels in an exploited Atlantic estuary. *Fisheries Management and Ecology*. 10: 377-384.
- BRIAND C., FATIN D., CICOTTI E., LAMBERT P., 2005A. A stage-structured model to predict the effect of temperature and salinity on glass-eel (*A. anguilla*) pigmentation development. *Jl Fish Biol.*, 67 : 993-1009.
- BRIAND C., SAUVAGET B., FATIN D., 2008. Analyse du fonctionnement de l'écluse d'Arzal comme un ouvrage de franchissement pour les civelles d'anguilles. *Rap. Institution d'aménagement de la Vilaine*, 9 p.
- BULT T.P., DEKKER W., 2007. Experimental field study on the migratory behaviour of glass eels (*Anguilla Anguilla*) at the interface of fresh and salt water. *ICES Jl Mar. Sci.*, 64(7) : 1396-1401.
- BUREAU du COLOMBIER S., BOLLIET V., BARDONNET A., 2009. Swimming activity and behaviour of European (*A. anguilla*) glass eels in response to photoperiod and flow reversal and the role of energy status. *Jl Fish Biol.*, 74 : 2002-2013.
- CANTRELLE I., 1984. Le marquage par coloration appliqué à l'étude des migrations de civelles (*A. anguilla*). *Cybiuim*, 8 (3) : 69-78.
- CHOW V.T., 1959. Open-channel hydraulics. *McGraw-Hill, Toronto (Ontario)*.
- CLERMONT J., BESSE T., BAISEZ A., 2011. Guide technique d'aide aux gestionnaires et propriétaires d'ouvrages hydrauliques. *Publication LOGRAMI*, 46 pages.
- CRIVELLI A.J., AUPHAN N., CHAUVELON P., SANDOZ A., MENELLA J.Y., POIZAT G., 2008. Glass eel recruitment, *Anguilla anguilla* (L.) in a Mediterranean lagoon assessed by a glass eel trap : factors explaining the catches. *Hydrobiologia*, 602 : pp 79-86.
- DAVERAT F., LIMBURG K., THIBAUT I., SHIAO J.C., DODSON J.J., CARON F., TZENG W.N., IIZUKA Y., WICKSTRÖM H., 2006. Phenotypic plasticity of habitat use by three temperate species, *A. anguilla, japonica, rostrata*. *Mar. Ecol. Prog. Ser.*, 308 : 231-241.
- DEELDER C. L., 1958. On the behaviour of elvers (*Anguilla vulgaris*, Turt.) migrating from the sea into fresh water. *J. Cons. Int. expl. Mer*, 24 (1) 135-146.
- DEELDER, C.L., 1984. Synopsis des données biologiques sur l'anguille, *A.anguilla* (Linnaeus, 1758). *FAO Fisheries Synopsis 80, Revision 1*. 73 p.
- DEKKER W., 2000. The fractal geometry of the European eel stock. *ICES Journal of Marine Science*, 57 : 109-121.
- DESAUNAY Y., GUERRAULT D., 1997. Seasonal and long-term changes in biometrics of eel larvae : a possible relationship between recruitment variation and North Atlantic ecosystem productivity. *J. Fish Biol.*, vol. 51 - Sup.A : 317-339
- DROUINEAU H. RIGAUD C., LAHARANNE A., FABRE R., ALRIC A., BARAN P., 2015. Assessing the efficiency of an elver ladder using a multi-state mark-recapture model. *River research and applications*, vol. 31 : 291-300.
- EDELIN E., DUFOUR S., BRIAND C., FATIN D., ELIE P., 2004. Thyroid status is related to migratory behaviour in *Anguilla anguilla* glass eels. *Mar. Ecol. Prog. Ser.*, vol. 282 : 261-270.
- EDELIN E., LAMBERT P., RIGAUD C., ELIE P., 2006. Effects of body condition and water temperature on *Anguilla anguilla* glass eel migratory behavior. *Journal of Exp. Marine Biol. & Ecol.*, 331 : 217-225

- EDELINE E., BEAULATON L., LE BARH R., ELIE P., 2007. Dispersal in metamorphosing juvenile eel (*Anguilla anguilla*). *Mar. Ecol. Prog. Ser.*, 344 : pp 213-218.
- EDELINE E., 2007. Adaptative phenotypic plasticity of eel diadromy. *Mar. Ecol. Prog. Ser.* 341 : 229-232.
- ELIE P., R. LECOMTE-FINIGER, I. CANTRELLE, N. CHARLON, 1982. Définition des limites des différents stades pigmentaires durant la phase civelle d'*Anguilla anguilla* L. *Vie et Milieu*, 32 : 149-157.
- ELIE P., ROCHARD E., 1994. Migration des civelles d'anguilles (*A. anguilla*) dans les estuaires. Modalités du phénomène et caractéristiques des individus. *Bull. Fr. Pêche Pisc.*, 335 : 81-98.
- FEUNTEUN E., C. RIGAUD, P. ELIE, J.-C. LEFEUVRE. 1989. Les peuplements piscicoles des marais littoraux endigués atlantiques : un patrimoine à gérer? Le cas du marais de Bourgneuf -Machecoul (Loire -Atlantique, France). *Bull. Fr. Pêche Piscic.*, 352, 63-79
- FEUNTEUN E., LAFFAILLE P., ROBINET T., BRIAND C., BAISEZ A., OLIVIER J.-M., ACOU A., 2003. A review of upstream migration and movements in inland waters by Anguillid eels : towards a general theory. in Aida K, Tsukamoto K.& Yamauchi K, Eds *Eel biology*. Tokyo : Springer-Verlag, pp 191-213.
- GASCUEL D., 1986. Flow carried and active swimming migration of the glass-eel (*A. anguilla*) in the tidal area of a small estuary on the French Atlantic coast. *Helgol. Meeresunters*, 40 : 321-326.
- GIANNICO G., SOUDER J.A., 2005. Tide gates in the Pacific Northwest. Operations, types and environmental effects. *Rap. Oregon Sea Grant, Oregon State University*, 28 p.
- GOELDNER-GIANELLA L., BERTRAND F., 2013. La submersion marine et ses impacts environnementaux et sociaux dans le Bassin d'Arcachon: est-il possible, acceptable et avantageux de gérer ce risque par la dépollérisation? *Rap. Institut de Géographie, Paris*, 198 pages.
- GOUTX – VAN DE MAELE E., 1986. Les marais à poissons de la Côte atlantique française. *Rap. CEMAGREF-ENGREF*, 213 p.
- GUILLAUD J.F., ROMAÑA L. A., 1984. La gestion des estuaires en France. *Norois*, n° 121, 97-112.
- HARRISON A.J., WALKER A.M., PINDER C.J., BRIAND C., APRAHAMIAN M., 2014. A review of glass-eel migratory behaviour, sampling techniques and abundance estimates in estuaries: implications for assessing recruitment, local production and exploitation. *Rev. Fish Biol. Fisheries*, 24 : 967-983.
- HUERTAS M., CERDA J., 2006. Stocking density at early developmental stages affects growth and sex-ratio in the European eels (*A. anguilla*). *Biol. Bull.*, 211 (3) : 286-296.
- HYACINTHE F., 2009. Suivi des passes à anguille du Marais poitevin. Bilan de 1984 à 2009. *Rap. Parc Interrégional du Marais poitevin*, 35 p.
- IBBOTSON A., SMITH J., SCARLETT P., APRAHAMIAN M., 2002. Colonization of freshwater habitats by the European eel (*Anguilla anguilla*). *Freshwater Biology*, 47 : 1696-1706.
- IMBERT H, LABONNE J., RIGAUD C., LAMBERT P., 2010. Resident and migratory tactics in freshwater European eels (*A. Anguilla*) are size-dependent. *Freshwater Biol.*, 55 : 1483-1493.
- KNIGHTS B., 2003. A review of the possible impacts of long-term oceanic and climate changes and fishing mortality on recruitment of anguillid eels of the Northern hemisphere. *The Science of the Total Environment*, 310 : 237-244.
- LAFFAILLE P., BROUSSE S., FEUNTEUN E., BAISEZ A., LEFEUVRE J.-C., 1998. Role of fish communities in particulate organic matter fluxes between salt marshes and coastal marine waters in the Mont Saint-Michel Bay. *Hydrobiologia*, 373-374, pp 121-133.
- LAFFAILLE P., CARAGUEL J.-M., LEGAULT A., 2007. Temporal patterns in the upstream migration of European glass eels (*Anguilla anguilla*) at the Couesnon estuarine dam. *Coastal and Shelf Sci.*, 73 : 81-90.
- LARINIER M., 1992. Le franchissement des buses, des seuils en enrochements et des ouvrages estuariens. *Bull. Fr. Pêche Pisc.*, 326-327 : pp 111-124.
- LAURONCE V. et al, 2010 - Libre circulation de l'anguille sur les principaux affluents en aval du bassin de la Garonne et de la Dordogne - Phase II. Affluents de l'Estuaire de la Gironde. Rapport Migado
- LAURONCE V., 2010. Actions pour la sauvegarde de l'anguille européenne sur le Bassin Gironde-Garonne-Dordogne. Actions 2009. *Rapport MIGADO 8GD-10-RT*, 273 p (simulations hydrauliques pour la gestion avec des raidisseurs sur clapets).
- LAURONCE V., 2011. Actions pour la sauvegarde de l'anguille européenne sur le Bassin Gironde-Garonne-Dordogne. Actions 2010. *Rapport MIGADO 21D-11-RT*, 239 p. (simulations hydrauliques pour la gestion avec des vannes basses).
- LAURONCE V., 2012. Actions pour la sauvegarde de l'anguille européenne sur le Bassin Gironde-Garonne-Dordogne. Actions 2011. *Rapport MIGADO 18D-12-RT*, 235 p. (simulations hydrauliques pour la gestion avec une vanne télescopique).
- LAURONCE V., BOUYSSONNIE W., GARANDEAU S., CANNEVET, 2013. Actions pour la sauvegarde de l'anguille européenne sur le Bassin Gironde-Garonne-Dordogne et mis en place de rivières pilotes. Actions 2012. *Rapport MIGADO 20GD-13-RT*, 273 p.
- LECOMTE-FINIGER R., PRODON R., 1979. Etude expérimentale du comportement fouisseur de la civelle: le choix d'un substrat. *C.R. Acad. Sci. Paris*, 289 : 741-744.
- LECOMTE-FINIGER R., RAZOULS C., 1981. Influence des facteurs hydrologiques et météorologiques sur la migration des civelles dans le Golfe du Lion. *Cah. du Labor. de Montereau*, 12 : 13-16.
- LEFEUVRE J.-C., LAFFAILLE P., FEUNTEUN E., BOUCHARD V., RADUREAU A., 2003. Biodiversity in salt marshes : from the patrimonial value to the ecosystem functioning : the case study of the Mont Saint-Michel Bay. *Compte-rendus Biologie*, 326, 125-131.
- LEGAULT A., 1988. Franchissement des barrages par escalade de l'anguille. Etude en Sèvre niortaise. *Bull. Fr. Pêche. Piscic.*, 308:1-10.
- LEGAULT A., 1990. Gestion des barrages estuariens et migration des anguilles. *Int. Rev. ges. Hydriol.*, 75, 6, 819-825.
- LEGAULT A., 1992. Etude de quelques facteurs de sélectivité des passes à anguilles. *Bull. Fr. Pêche Piscic.*, 325. 83-91.
- LEGAULT A., 1994. Etude préliminaire du recrutement fluvial de l'anguille. *Bull. Fr. Pêche Piscic.*, 335. 33-41.
- LINTON E.D., JONSSON B., Noakes D.L.G., 2007. Effects of water temperature on the swimming and climbing behaviour of glass eels, *Anguilla* spp. *Env. Biol. of Fishes*, 78 : 189-192.
- MANN K.H., 1982. Ecology of coastal waters. *University of California press, Los Angeles*, 322 p.
- MARCHAND J., ELIE P., 1983. Contribution à l'étude des ressources benthodémersales de l'estuaire de la Loire. *Rapport du CSEEL*, 160 p.
- MARTIN M.H., 1995. The effects of temperature, river flow and tidal cycles on the onset of glass eel and elver migration into freshwater in the American eel. *J. Fish. Biol.*, 46 : 891-902.
- MASSE J., RIGAUD C., 1998. L'anguille et les marais littoraux. In: Hussenot et Buchet (eds) *Colloque « Marais maritimes et aquaculture », Ifremer, Série Actes de colloques*, n°19, 141-154.

- MAZEL V., CHARRIER F., BOUSSION N., TROGER F., LEGAULT A., 2013.** Evaluation des mesures de gestion en faveur des civelles du premier ouvrage à la mer sur le Brivet à Méan. *Rapport Fish-Pass / PNR Brière*, 106 p.
- MC CLEAVE J.D., 1980.** Swimming performance of European eel (*A. anguilla*) elvers. *Jl of Fish Biol.*, 17: 30-37.
- MC CLEAVE J.D., KLECHNER R.C., 1982 .** Selective tidal stream transport in the estuarine migration of glass eels of the American eel (*A. rostrata*). *Jl Cons. Intern. Explor. Mer*, 40 : 262-271.
- MC CLEAVE J.D., WIPPELHAUSER G.S., 1987.** Behavioural aspects of selective tidal stream transport in juvenile American eels. *Amer. Fish. Soc. Symp.*, 1 : 138-150.
- MORIARTY C., 1986.** Riverine migration of young eels *A. anguilla* (L.). *Fisheries Research* 4: 43-58.
- MORIARTY C., W. DEKKER, 1997.** Management of the European eel. *Fish. Bull. (Dublin)*, 15, 110p.
- MOUTON A.M., STEVENS M., VAN DEN NEUCKER T., BUYSE D., COECK J., 2011.** Adjusted barrier management to improve glass eel migration at an estuarine barrier. *Mar. Ecol. Prog. Ser.*, vol. 439 : 213-222.
- ODUM E.P., 2000.** Tidal marshes as outwelling/pulsing systems *in* M.P. Weinstein and D.A. Kreeger, eds, *International symposium : Concepts and controversies in tidal marsh ecology*. Kluwer Academic Publishers, Dordrecht, Netherlands, pp 3-7.
- PEDERSEN M, 2009.** Does stocking of Danish lowland streams with elvers increase European eel population? *Amer. Fish. Soc. Symp.*, 58 : 149-156.
- PIPER A.T., WRIGHT R.M., KEMP P.S., 2012.** The influence of attraction flow on upstream passage of European eel (*Anguilla anguilla*) at intertidal barriers. *Ecological engineering*, vol. 44, pp 329-336.
- PROUZET P., ODUNLAMI M., DUQUESNE E., BOUSSOUAR A., 2009.** Analysis and visualization of the glass-eel behavior (*A. anguilla*) in the Adour estuary and estimate of its upstream migration speed. *Aquat. Living Resour.*, 22 : 525-534.
- RIGAUD C., ALRIC A., ROBIN F.-X., COURRET D., 2014.** Les civelles face à deux ouvrages latéraux de l'estuaire de la Charente. Tests de modalités de gestion ou d'aménagement visant à améliorer la franchissabilité de ces ouvrages. Bilan des suivis 2010-2013. *Rapport du Pôle Eco-hydraulique de Toulouse (Onema-Irstea-Imft)*, 92 p.
- RIGAUD C., BARAN P., 2011.** Amélioration de la transparence migratoire des ouvrages pour l'anguille européenne en phase de colonisation. Etat des connaissances biologiques. *Rapport Pôle Eco-hydraulique*, 45 pages.
- RIGAUD C., FONTENELLE G., GASCUEL D., LEGAULT A., 1988.** Le franchissement des ouvrages hydrauliques par les anguilles (*A. anguilla*). Présentation des dispositifs installés en Europe. *Publication ENSA Rennes, Biol-Halieuistique*, n°9, 16p et annexes.
- SIMON J. DÖRNER H., 2014.** Survival and growth of European eels stocked as glass- and farm sourced eels in five lakes in the first years after stocking. *Ecol. Freshwater Fish*, 23 : 40-48.
- SÖRENSEN P.W., 1951.** An investigation of some factors affecting the upstream migration of the eel. *Report of the Institute of Freshwater Research of Drottningholm*, 32. 126-172
- TESCH F.W., 2009.** The eel. 5th Edition by Thorpe J.E., *Culinary and Hospitality Ind. Publi. Serv.*, 408 p.
- TONGIORGI P., BALSAMO M., TOSI L., 1986.** Thermal preferences in upstream migrating glass-eels of *Anguilla anguilla* (L.) *J. Fish. Biol.*, 28. 501-510.
- TSUKAMOTO K., KAJIHARA T., NISHIWAKI M., 1975.** Swimming ability of fish. *Bull. Jap. Soc. of Scient. Fisheries*, 41(2) : 111-121.
- VERGER F., 2005.** Marais maritimes et estuaires du littoral français. *Eds Belin, Paris*, 335 p.
- VIDELER J., WARDLE C., 1991.** Fish swimming stride by stride : speed limits and endurance. *Rev. Inl. Fish Biol. and Fisheries*, 1, 23-40.
- VOETGLE B., LARINIER M., 2000.** Etude sur les capacités de franchissement des civelles et anguilles. Site hydroélectrique de Tuilières sur la Dordogne et du barrage estuarien d'Arzal sur la Vilaine. *Rap. GHAAPPE, RA 00-05 / MIGADO G15-00-RT*, 126 p.
- WHITE E.M., KNIGHTS B., 1997a.** Environmental factors affecting migration of the European eel in the Rivers Severn and Avon, England. *Journal of Fish Biology*, 50, 1104-1116.
- WHITE E.M., KNIGHTS B., 1997b.** Dynamics of upstream migration of the European eel (*Anguilla Anguilla*) in the rivers Severn and Avon (England) with special references to the effects of man-made barriers. *Fisheries Management and Ecology*, 4 : 311-324.

