

## Analyse du fonctionnement de l'écluse d'Arzal comme un ouvrage de franchissement pour les civelles d'anguilles (*Anguilla anguilla*).

Cédric Briand, Brice Sauvaget, Denis Fatin, 2008.

INSTITUTION D'AMENAGEMENT DE LA VILAINE.

### RESUME.

Nous avons examiné l'utilisation d'une écluse de navigation comme dispositif de franchissement pour les civelles. L'expérience a été effectuée au barrage d'Arzal, qui forme une barrière entre l'estuaire et d'eau douce dans le Vilaine. Un débit d'eau douce de  $1100 \text{ m}^3 \cdot \text{h}^{-1}$  a été utilisé de la basse mer à la pleine mer pour attirer les civelles dans l'écluse. Une pêche expérimentale a été effectuée à l'aide de tamis à main pendant **16 nuits** en mars et avril 2007. Les densités de civelles ont varié **de 0 à 80 civelles.  $\text{m}^{-3}$** . L'abondance des civelles n'était pas homogène, avec des densités augmentant près de la pompe, près des bords de l'écluse, et de la mi-marée à la pleine mer. L'accumulation en amont près du débit d'attrait n'est devenue évidente qu'après la mi-mars, 10 jours après que la pêche se soit arrêtée, et elle a eu tendance à augmenter de mars à mai. Le nombre total de civelles dans l'écluse à la pleine mer a été estimé à **380 000**, ce qui correspond à un poids de **121.4 kilogrammes**. Cette migration était de taille comparable au nombre de civelles ayant emprunté les deux passes pièges du barrage (**350 000, 97.2 kilogrammes**). Cependant, cette comparaison ne tient pas compte du nombre de civelles retournant à l'estuaire, par les portes de barrage, après franchissement de l'écluse à pleine mer.

### INTRODUCTION.

Les espèces migratrices ont une sensibilité particulière à la destruction des habitats (MCDOWALL, 2006), et la réduction de l'habitat est énumérée parmi les causes possibles (ICES, 2001) de l'effondrement du stock d'anguille. Tandis que les arrivées de civelles au niveau des côtes sont aujourd'hui réduites à une portion congrue de leur niveau historique (ICES, 2008 in prep.), certains obstacles majeurs situés dans les estuaires peuvent encore jouer un rôle important dans la réduction de populations amont (BRIAND *et al.*, 2006). Les barrages estuariens ont ceci de particulier qu'ils bloquent la migration des civelles qui utilisent les courants de marée pour progresser vers l'amont des estuaires, et qu'elles sont localisées à l'endroit où les densités de civelles sont les plus fortes. Le franchissement des barrières estuariennes par les civelles peut être réalisé par un transport passif. Des orifices situés dans les vannes du barrage ou des ouvertures temporaires sont utiles pour restaurer la libre migration, lorsque que le niveau est supérieur en aval (LEGAULT, 1987, 1990). Cependant, la mise en œuvre de telles techniques exige le transfert de grandes quantités d'eau de mer en amont, ce qui n'est pas toujours possible. Un siphon peut être utilisé pour attirer les civelles près du tuyau quand le niveau de la mer est inférieur au niveau d'eau douce, et par la suite aspirer les civelles vers l'eau douce dans le tuyau quand le niveau de la mer monte (BULT et DEKKER 2006). Le mode de franchissement le plus couramment utilisé est la passe à anguilles (LEGAULT, 1988). Cette dernière requiert une adaptation du comportement, qui serait principalement influencée par la température (BRIAND, 2009).

L'attraction des civelles par l'eau douce les conduit à s'accumuler à proximité de toutes les sorties d'eau douce en estuaire (DEELDER, 1958; BULT et DEKKER 2006), et la très forte sensibilité olfactive des anguilles (TESCH, 2003) favorise ce comportement. Ainsi, très souvent, un débit d'attrait est utilisé pour guider les civelles vers le pied des rampes des passes à anguilles (LARINIER *et al.*, 1999).

Sur la Vilaine (France) une expérimentation a eu lieu en 2007 pour tester l'usage de l'écluse à l'aide d'un débit d'attrait. L'objectif de ce rapport est de décrire la méthode utilisée pour estimer l'abondance des civelles dans l'écluse, mettre en évidence une transition de comportement des civelles dans les semaines suivant l'arrêt de la pêche professionnelle en estuaire et finalement comparer les efficacités respectives des manœuvres d'écluse et des passes à anguilles. Des manœuvres historiques de l'écluse ont été effectuées avant la construction de la passe à anguilles de 1980 à 1991, leurs résultats sont comparés à ceux de 2007 dans la discussion.

## MATERIEL ET METHODES

Depuis la construction du barrage d'Arzal, l'estuaire de la Vilaine a été réduit d'une longueur initiale de 50 kilomètres à 12 kilomètres. Près du barrage, le marnage atteint 6 m, et une pêche de civelle opère de décembre jusqu'au 11 mars 1997. La passe piège est située sur la rive gauche du barrage *et a permis le passage de 26 000 à 2 474 000 civelles et 851 à 37 000 anguilles jaunes depuis 1996*. L'écluse est située de l'autre côté du fleuve, par delà les portes du barrage. C'est un ouvrage de 13 m de large et de 82.9 m de long, et sa profondeur change selon la marée de 3 à 4 m.

Une pompe de grande capacité ( $1100 \text{ m}^3 \cdot \text{h}^{-1}$ ) a été placée en eau douce en amont du barrage. Sa sortie était située au niveau de l'extrémité amont de l'écluse près de la porte. Des courants forts étaient visibles jusqu'à 10m du débit d'attrait. La pompe a été activée à la basse marée et a continué à débiter jusqu'à marée haute. La porte aval était maintenue ouverte pour permettre aux civelles de pénétrer dans l'écluse.



**PHOTO 1.** - Le filet, équipé d'un enregistreur de distance.

Un tamis à main a été employé pour estimer la densité des civelles dans les différentes zones de l'écluse. La pêche a été effectuée en utilisant deux tamis de 60 centimètres de diamètre, de 1m de profondeur, et de 1 à 1.5 millimètre de maille, lestés et fixés à une bouée en surface. Chaque tamis était équipé d'un volumomètre (**PHOTO 1**).

Les tamis ont été tirés, sur les rives ou à travers l'écluse par des opérateurs situés au bord de l'écluse (**FIGURE 1**). Un tamis opérait en surface tandis que l'autre pêchait une couche d'eau plus profonde. Selon le niveau de marée, la profondeur de la pêche était réglée par la taille de la corde fixée à la bouée. Vingt-quatre traits expérimentaux ont

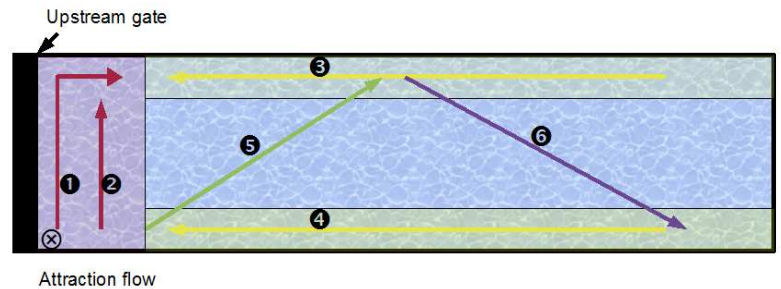
été faits par nuit. L'objectif était de décrire l'abondance des civelles en fonction de la proximité de la sortie de la pompe, la distance aux murs de l'écluse et de la profondeur. Chaque trait a été effectué deux fois par nuit de suivi. La pêche débutait 2,5 heures avant la pleine mer et se terminait à marée haute. Pour chaque trait de tamis, la distance était mesurée ainsi que le nombre de civelles capturées.

Une analyse statistique a été effectuée par GLM en deux étapes. Dans la première étape, la présence-absence a

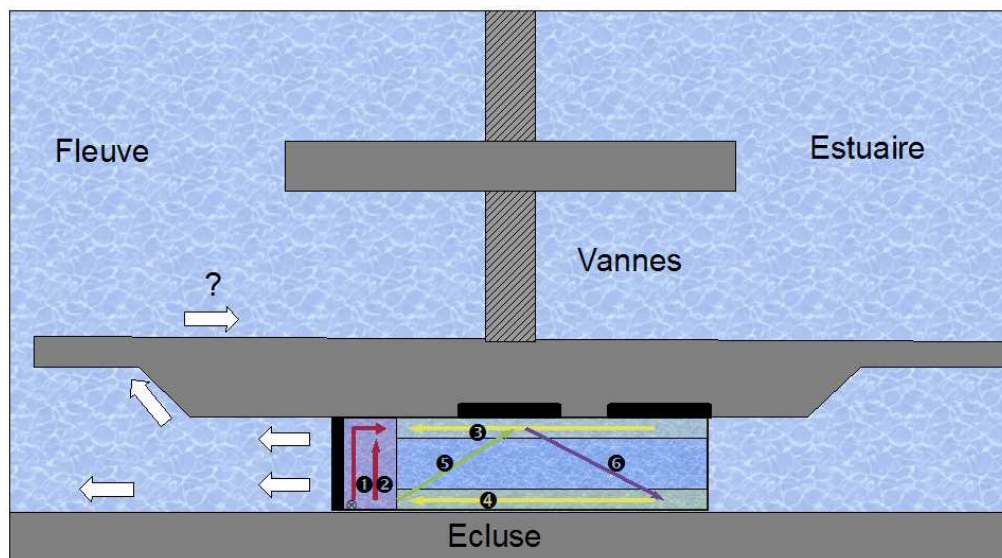
été prédite par un GLM avec dispersion binomiale et lien logit. Dans la seconde, les données positives étaient prédites par un GLM avec une dispersion gamma et un lien log. Les modèles finaux ont été sélectionnés en fonction du critère d'Akaike (AIC). Les effets testés dans le modèle étaient la date de pêche (qualitatif), le temps avant la pleine mer (continu), la profondeur (qualitatif, 0= en surface, 1 = en profondeur), la distance à la rive (qualitatif, 1=trait le long des murs de l'écluse, 0=trait en travers de l'écluse), et la pêche dans la partie amont de l'écluse où les courants étaient sous influence de la pompe (1= pêche dans la partie amont, 0=pêche en dehors de cette zone). Les traits ont été classés en fonction de la zone comme indiqué dans le **TABLEAU 1**. Les interactions entre les facteurs temporels et les variables qualitatives ont été testées.

**TABLEAU 1.- Classification des traits**

Numéro de trait	profondeur	amont	rive
1 surf./ prof.	0/ 1	1	1
2 surf./ prof.	0/ 1	1	0
3 surf./ prof.	0/ 1	0	1
4 surf./ prof.	0/ 1	0	1
5 surf./ prof.	0/ 1	0	0
6 surf./ prof.	0/ 1	0	0



**FIGURE 1.- Représentation schématique de l'écluse.** Les flèches illustrent les traits de tamis. Pour chaque nombre, les tamis étaient tirés à la fois en surface et en profondeur.



**FIGURE 1 (SUITE).**- Représentation schématique de l'écluse et des vannes du barrage, les flèches blanches indiquent le trajet possible des civelles lorsque l'écluse est manœuvrée à pleine mer.

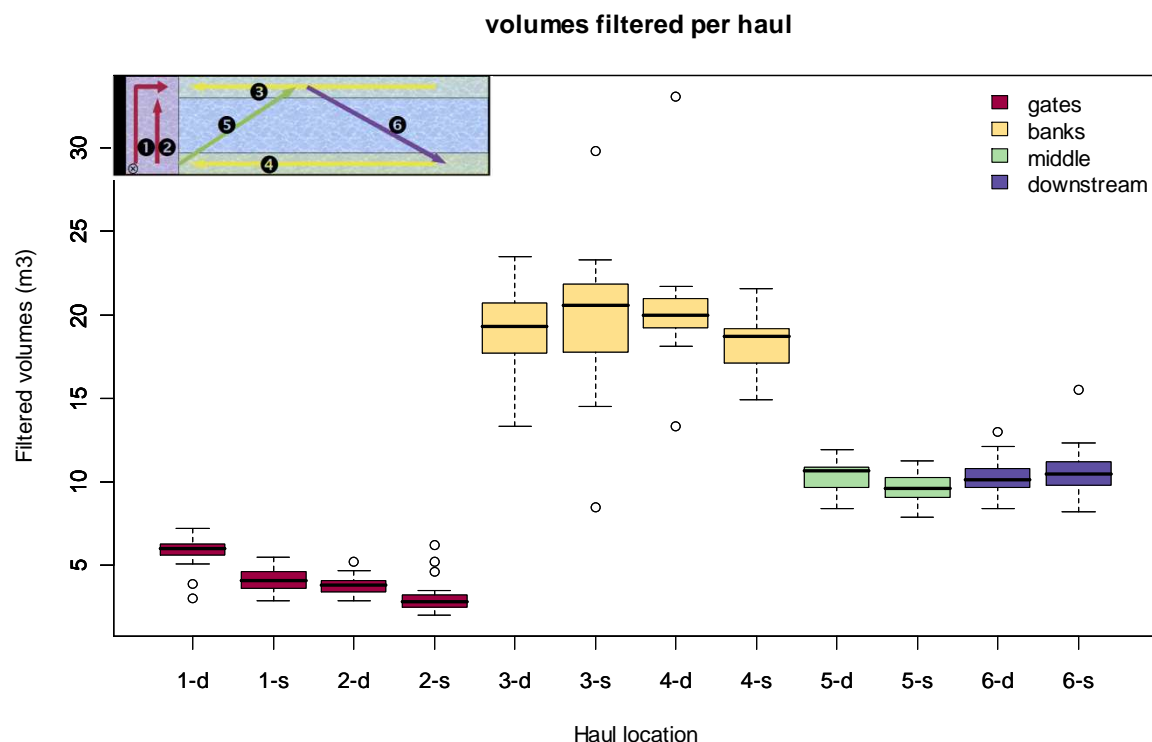
Le modèle a finalement été utilisé pour prédire la densité de civelles par zone de l'écluse et ces dernières ont été multipliées par le volume de la zone, sous l'hypothèse que l'effet rive était détecté à 1m des murs de l'écluse.

## RESULTATS

La pêche expérimentale a eu lieu à **16** reprises entre **le 5 mars et le 25 avril 2007**, permettant de recueillir **360 échantillons** d'abondance. 13 opérations ont été complétées avec 24 traits. Les deux premières pêches n'ont

pas pu être complétées avant la pleine mer. L'opération de pêche du 05 avril a été effectuée par une seule personne, qui a effectué la pêche en profondeur.

La variation du volume filtré par trait est exprimée à l'aide de boîtes à moustaches (FIGURE 2).



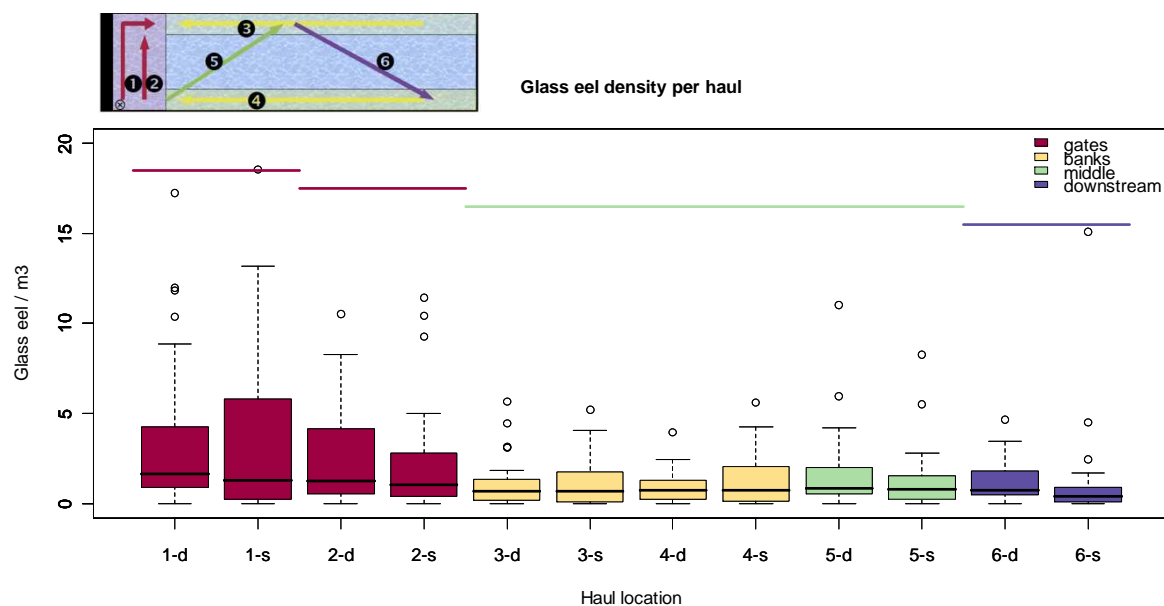
**FIGURE 2.** – Boîte à moustache des volumes filtrés par trait lors de 16 pêches expérimentales. Le nombre et la couleur correspondent à la localisation du trait de pêche sur la Figure 1 et dans le médaillon ci contre, la lettre à la profondeur de la pêche : d= en profondeur, s= en surface. The gates = porte située près de la pompe en amont dans l'écluse, middle (milieu) et downstream (aval), correspondent à des traits à travers l'écluse loin des rives. Banks=rives pêche le long des rives de l'écluse, en aval de la zone d'influence du débit d'attrait.

Les traits effectués en surface et dans la couche d'eau plus profonde de l'écluse ont une différence de volumes plus grande pour les traits 1 et 2. Ces traits, effectués dans la partie amont de l'écluse étaient les plus courts. Cette faible longueur implique que la partie du trait ou le tamis coule et remonte forme une partie plus importante du volume total filtré.

La densité par trait ne suit pas une distribution normale (Kolmogorov Smirnov,  $p < 0.001$ ). Comme le nombre d'échantillons disponibles est trop faible pour effectuer des tests T, les densités de civelles pour les différentes paires de zones est comparée à l'aide de test du signe de Wilcoxon pour échantillons appariés, l'appariement se faisant en fonction de l'opération de pêche.

La densité par trait est plus forte ( $p < 0.001$ ) dans la zone amont de l'écluse, (traits 1 et 2 près des portes, densité médiane =  $4.24$  civelles.  $m^{-3}$ ) qu'ailleurs (traits 3 à 6, densité médiane =  $1.52$  civelles.  $m^{-3}$ ), et le facteur amont est hautement significatif dans le GLM pour expliquer les changements de densité (TABLEAU 2, FIGURE 3). La densité est similaire entre les traits près des bords de l'écluse (traits 3 et 4,  $1.66$  civelles.  $m^{-3}$ ) et au milieu (trait 5,  $1.52$  civelle.  $m^{-3}$ ,  $p > 0.1$ ). Cependant, un trait près du bord augmente significativement les densités dans le GLM, et ce en partie car dans la zone amont, les densités sont plus fortes ( $p < 0.01$ ) le long des murs de l'écluse (trait 1,  $6.02$  civelles.  $m^{-3}$ ) que dans le trait effectué en travers de l'écluse (trait 2,  $2.42$  civelles.  $m^{-3}$ ). La densité pour le trait en aval au travers de l'écluse (trait 6,  $1.22$  civelles.  $m^{-3}$ ) est légèrement plus faible

( $p < 0.1$ ) que celle des traits 3 à 5. Ce résultat pourrait être la conséquence du rôle d'attraction de la pompe en amont.

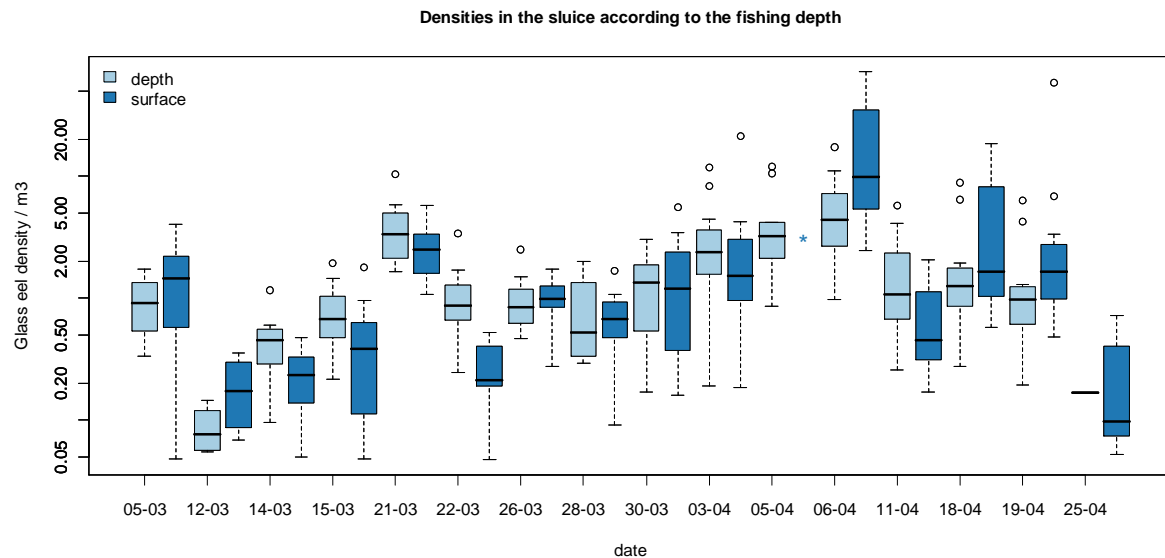


**FIGURE 3.-** Box-plot des densités de civelles par traits pour 16 pêches expérimentales. Le nombre correspond à l'emplacement du trait dans le médaillon et dans la figure 1, la lettre à la profondeur de pêche: d= profondeur, s= surface, les barres horizontales indiquent des groupes statistiquement différents (test du signe de Wilcoxon pour les échantillons appariés).

effet	DF	Déviante	AIC	F	P.R. (F)
<b>A/ modèle glm, dispersion =binomiale, lien=logit, présence = date+amont+temps+bord+prof</b>					
modèle complet		110.54	150.54		
date	15	255.67	265.67	29.75	***
amont	1	110.63	148.63	0.26	NS
temps avant pleine mer	1	113.41	151.41	8.83	**
bord	1	112.02	150.02	4.53	*
profondeur	1	112.07	150.07	4.70	*
<b>B/ modèle glm, dispersion =binomiale, lien=logit, présence = date +temps</b>					
modèle complet		113.6	147.66		
<b>C/ modèle glm, dispersion=gamma, lien=log, densité=date+amont+temps+bord+profondeur</b>					
modèle complet		184.66	844.88		
date	15	472.24	1165.87	30.94	***
amont	1	249.14	921.58	104.05	***
temps avant pleine mer	1	206.78	869.88	35.69	***
bord	1	194.73	855.18	16.26	***
profondeur	1	184.67	842.89	0.007	NS
<b>D/ modèle glm, famille gamma, lien=log, densité=date*amont+temps+bord</b>					
modèle complet		161.84	827.23		

**TABLEAU 2.** – A/Suppression un à un des termes du modèle de présence absence en utilisant toutes les variables sans interaction et calcul de la déviante du nouveau modèle et des probabilités de F associées. B/ Meilleur modèle de présence absence. C/ Suppression un à un des termes du modèle de densités sans interaction. D/ Meilleur modèle pour expliquer la densité dans l'écluse.

L'influence de la profondeur n'est pas évidente. Elle n'est ni significative dans le GLM pour des densités, ni dans le GLM pour la présence-absence. Il faut noter que la lumière artificielle des lampes est toujours présente excepté dans la section centrale de l'écluse. La densité de surface est parfois plus haute et parfois plus basse, sans qu'aucune tendance temporelle claire ne puisse être détectée. Nous suspectons que l'ordre dans lequel les filets ont été tractés pourrait avoir eu une influence, la capture du second tamis pouvant être diminuée par les perturbations causées par la traction du premier tamis (**FIGURE 4**).



**FIGURE 4.-** Boite à moustache des densités non nulles (échelle log) en fonction de la profondeur, bleu clair – depth = en profondeur, bleu foncé – surface. \* La pêche du 5 avril n'a été effectuée qu'avec un tamis en profondeur mais soyez assurés que le pêcheur de surface a bien dormi.

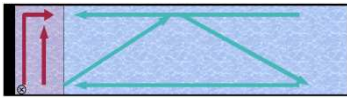
Il y a eu un changement saisonnier dans l'accumulation des civelles en amont, la différence entre les densités de l'amont (traits 1 et 2) et de l'aval (traits 3 à 6), n'est pas significative avant le 20 mars, et hautement significative après (**FIGURE 5**). Dans le GLM, l'interaction date:amont est fortement significative pour expliquer la densité et sa sélection a conduit au meilleur AIC.

Il y a également eu un effet temporel d'accumulation au cours des pêches, et les densités ont augmenté de la mi-marée à la pleine mer.

Pour les données de présence absence, le meilleur modèle est présence ~ date+ durée avant pleine mer. Aucun facteur de position (amont, bord, profondeur) n'est retenu. En fait seulement 42 traits sur 360 étaient sans civelles, et elles étaient principalement concentrées lors de la dernière pêche expérimentale dans la dernière pêche, et ainsi l'absence des civelles est mieux expliquée par la date seule.

Pour les données positives, le meilleur modèle était densité ~ date\* amont + durée avant pleine mer + bord

En utilisant la combinaison de deux modèles, la densité des civelles est prédite à pleine mer pour chacune des six zones, le facteur de profondeur n'est pas utilisé dans la prédiction. Le nombre total de civelles présents dans l'écluse à pleine mer est estimé à 380 000 ce qui correspond à un poids de 121.4 kg. Cette migration est d'une taille comparable au nombre de civelle ayant franchi les deux passes à anguilles du barrage (350 000, 97.2 kg). La biomasse par nuit semble principalement dépendre du coefficient de marée et le pic de migration a été observé après une diminution du débit en dessous de  $100 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$  (Figure 6).



Seasonal change in the upstream accumulation of glass eel

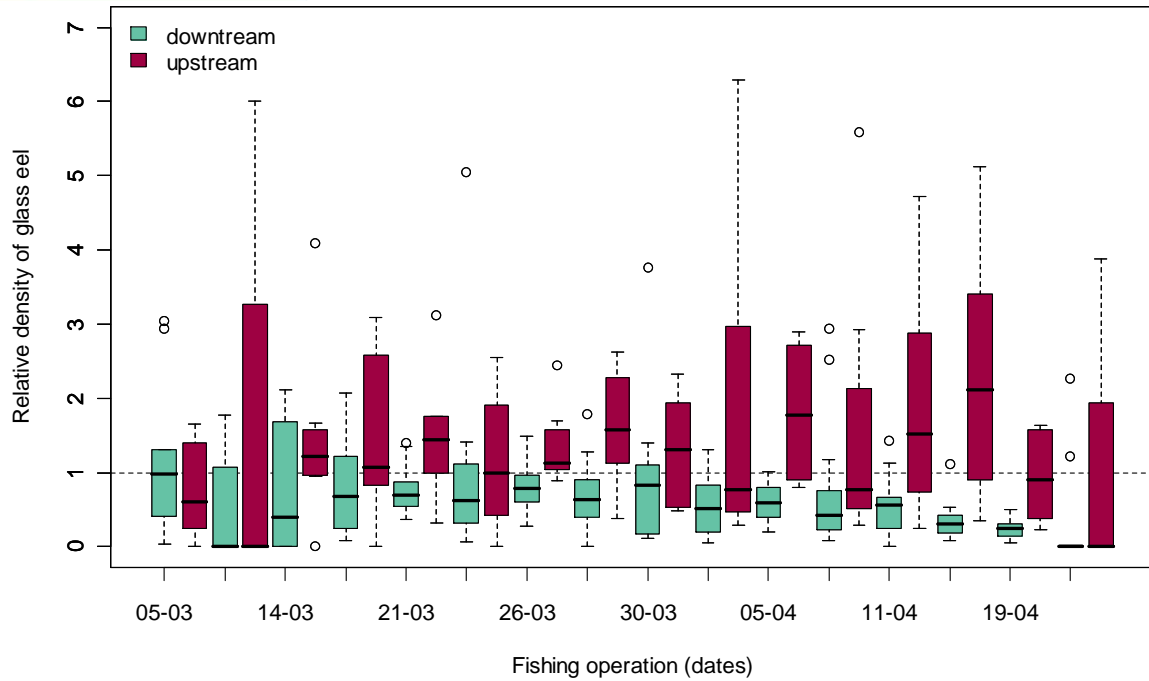


FIGURE 5.- Boîtes à moustaches des densités relatives (densité par zone/densité moyenne de la nuit de pêche), les couleurs correspondent à la distance du débit d'attrait, en vert aval de l'écluse en rouge amont de l'écluse.

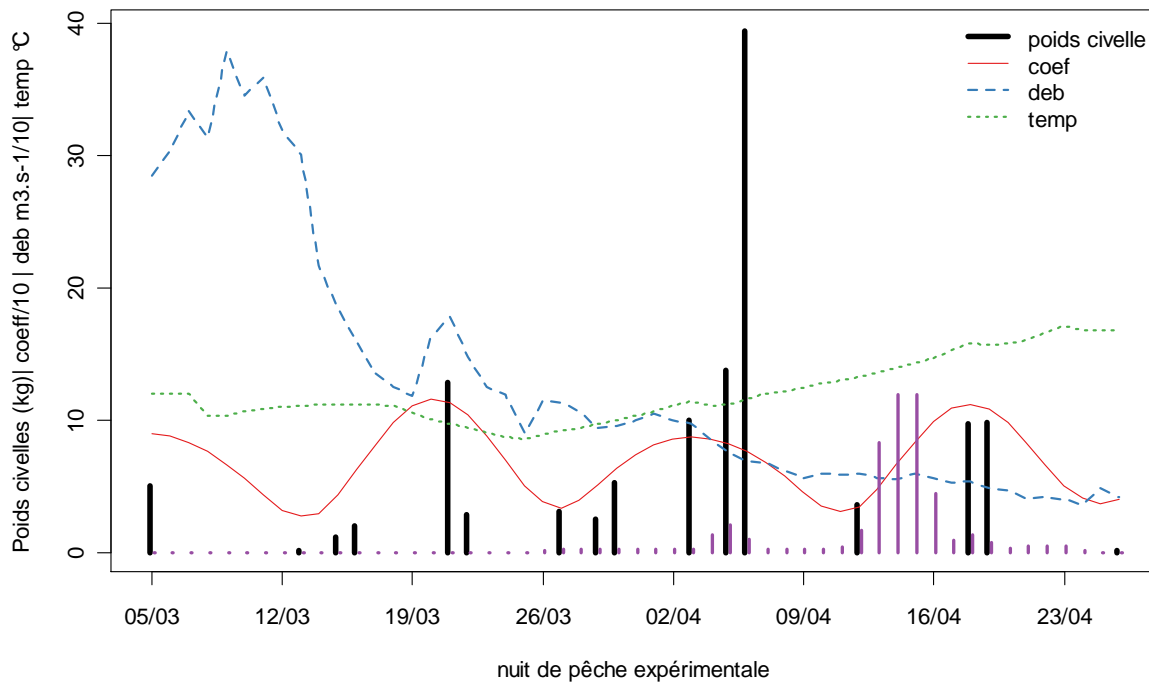


FIGURE 6.- Evolution chronologique de la biomasse estimée dans l'écluse à pleine mer, en relation avec les coefficients de marée, le débit, et les températures.

## DISCUSSION

L'utilisation de l'écluse pendant 16 nuits pendant la principale période d'accumulation de civelles a conduit au piégeage de 380 000 civelles avant la manœuvre d'écluse à marée haute. Parmi ces civelles piégées, la quantité de civelles qui a franchi le barrage avec succès pour coloniser l'eau douce est inconnue. Elle va dépendre du nombre de civelles restant dans l'écluse après la manœuvre, et du nombre qui va retourner en estuaire par les vannes du barrage. Au contraire ; le comportement particulier des civelles en transit par la passe et leur lâché dans un endroit loin de l'influence des courants diminue ce risque. Ainsi, les efficacités apparemment similaires de la passe et des manœuvres d'écluse doivent être considérées prudemment.

Une expérience similaire a été conduite au pays bas et a conduit à une capture 6 fois plus importante d'un siphon que d'une passe piège, mais lors de ce suivi, la passe piège a été utilisée avec une même durée que le siphon (BULT et DEKKER 2006). LEGAULT (1990) a utilisé des ouvertures de vannes pour transporter les civelles de Loire aux marais de Brière. La densité de civelles était de 0.03 à 3.2 ind.m<sup>-3</sup> c'est à dire inférieure à celle observée sur la Vilaine en 2007. Cependant, le passage estimé pendant seulement six opérations (560 000 civelles) dépasse celui de notre étude, car il correspond à de grands volumes d'eau transitant vers dans l'eau douce.

Sur la Vilaine, entre 1986 et 1991, 73 nuits de manœuvre d'ouvrage ont été effectuées par la brigade du CSP à partir de février à mai, en utilisant débit d'attrait de 30 (31 nuits) ou 130 m<sup>3</sup>.h<sup>-1</sup> (36 nuits) ou sans débit d'attrait (6 nuits) (Kerloch com pers., 1986-1991). L'expérience globale était identique mais le tamis était 1.1m de diamètre, des traits diagonaux comme ceux employés pour estimer la densité au centre de l'écluse ont été seulement mis en place à partir de 1987 à 1989. Aucun trait transversal n'a été réalisé près de la pompe, par contre un trait était réalisé au niveau de la porte aval.

Les plus grandes densités ont été trouvées dans la partie amont de l'écluse, près des bords, et contrairement à 2007, en surface, indiquant probablement que l'écluse n'était pas illuminée à cette époque. Selon l'année, les densités près de la porte ascendante étaient 0.52 à 17.30 civelles .m<sup>-3</sup> avec une valeur moyenne de 9.5 civelles .m<sup>-3</sup>, environ deux fois celle trouvée dans cette étude. Etant donné la baisse d'un facteur 7 du recrutement depuis cette époque, la différence d'un facteur deux peut étonner, mais elle reflète principalement les faibles densités dans l'estuaire pendant la période de pêche, car il n'y a aucun échappement dans l'estuaire de Vilaine (BRIAND *et al.*, 2003; BEAULATON et BRIAND, 2007). Des manœuvres d'écluse ont été également faites en 1982 sans débit d'attrait (ELIE et RIGAUD, 1984). Des abondances de 20 ; 1,2 ; 0,4 civelles .m<sup>-3</sup> ont été trouvés à 3 ; 25 et 50 mètres de la porte amont de la écluse (c'est-à-dire dans l'écluse), en Mai, lors d'un pic d'abondance.

## CONCLUSION

Il est possible d'estimer le nombre de civelles attirées dans l'écluse avant la manœuvre, et la procédure expérimentale utilisée en 2007 pourrait être simplifiée dans la Vilaine car il n'est pas nécessaire de décrire les variations de densité en fonction de la profondeur. Il convient de souligner que la densité change selon la distance du débit d'attrait d'eau douce et ce facteur, et qu'il existe une tendance temporelle dans cette accumulation. Ce facteur devra être pris en compte dans de futures études, notamment lors de la conception d'une nouvelle écluse munie d'un dispositif de quantification des civelles.

## REMERCIEMENTS.

Les services techniques de l'IAV et le personnel du barrage pour la mise en place de la pompe et les manœuvres.

## REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- BEAULATON L. and BRIAND C., 2007. Effect of management measures on glass eel escapement. *ICES J. Mar. Sci.*, 64, 1402-1413.
- BRIAND C., 2009. *Dynamique de population et de migration des civelles en estuaire de Vilaine. Population dynamics and migration of glass eels in the Vilaine estuary* AGROCAMPUS OUEST, Rennes.
- BRIAND C., FATIN D., FEUNTEUN E. and FONTENELLE G., 2003. Estuarine and fluvial recruitment of European glass eel in a fished Atlantic estuary. *Fish. Man. Ecol.*, 10, 377-384.
- BRIAND C., FATIN D., FONTENELLE G. and FEUNTEUN E., 2006. Effect of re-opening of a migratory axis for eel at a watershed scale (Vilaine river, Southern Brittany). *Bull Fr Pêche Piscic*, 378, 67:86.
- BULT T. P. and DEKKER W., 2006. An experimental field study on the migratory behaviours of glass eel (*Anguilla anguilla*) at the interface of fresh and salt waters, with implications to the management and improvement of glass eel migration. *ICES J. Mar. Sci.*, 64, 1396-1401.
- DEELDER C. L., 1958. On the behaviour of elvers (*Anguilla vulgaris* Turt.) migrating from the sea into fresh water. *J Cons Int Explor Mer*, 24, 135-146.
- ELIE P. and RIGAUD C., 1984. *Etude de la population d'anguilles de l'estuaire et du bassin versant de la Vilaine : examen particulier de l'impact du barrage d'Arzal sur la migration anadrome (civelles), proposition d'amélioration du franchissement de cet obstacle.* Cemagref/Université de Rennes, Rennes.
- ICES, 2001 Report of the ICES/EIFAC Working Group on Eels. ICES/EIFAC.
- ICES, 2008 in prep. Report of the ICES/EIFAC Working Group on Eels, Leuven, Belgique.
- LARINIER M., PORCHER J. P., TRAVADE F. and GOSSET C., 1999. *Passes à poissons, expertise, concetion des ouvrages de franchissement.*
- LEGAULT A., 1987. *Amelioration du franchissement des barrages estuariens des marais du Brivet.* Ecole Nationale Supérieure Agronomique de Rennes, Rennes.
- LEGAULT A., 1988. Le franchissement des barrages par l'escalade de l'anguille. *Etude en Sèvre Niortaise. Bulletin Français de la Pêche et de la Pisciculture*, 308, 1-10.
- LEGAULT A., 1990. Gestion des barrages estuariens et migration d'anguilles. *Int. Revue ges. Hydrobiol.*, 75, 819-825.
- MCDOWALL R. M., 2006. Particular problems for the conservation of diadromous fish. *Aquatic Conservation: Marine and Freshwater Ecosystems*, 2, 351 - 355.
- TESCH F. W., 2003. *The eel* (ed J. E. Thorpe), pp. 407. Blackwell Publishing, London.
- WHITE E. and KNIGHTS B., 1997. Dynamic of upstream migration of the European eel, *Anguilla anguilla* (L.), in the River Severn and Avon, England, with special reference to the effect of man-made barriers. *Fish. Man. Ecol.*, 4, 311-324.