

# Etude de la tolérance à l'hypoxie des juvéniles de grande alose (*Alosa alosa*)

ETIAGE

COMMUNAUTÉ  
URBAINE DE BORDEAUX  
LACUB



l'Europe  
s'engage  
en Aquitaine



AGENCE DE L'EAU  
ADOUR-GARONNE

R E G I O N



AQUITAINE



03 septembre 2012

**JATTEAU PH. et FRATY R.**

CENTRE DE BORDEAUX

50 Avenue de Verdun

Gazinet

33612 Cestas Cedex

Etude N° 146



Pour mieux  
affirmer  
ses missions,  
le Cemagref  
devient Irstea



## **Remerciements**

Cette étude a été réalisée grâce au concours de David CLAVE (MIGADO) qui a fourni les larves de grande alose. Cette étude a été réalisée dans le cadre du Projet Etiage, financé par l'Agence de l'Eau Adour-Garonne, la Communauté Urbaine de Bordeaux, la Lyonnaise des Eaux, la Région Aquitaine et le CPER A2E (Feder).



## Sommaire

<b>Résumé - Abstract .....</b>	<b>1</b>
<b>Contexte .....</b>	<b>3</b>
<b>Problématique .....</b>	<b>6</b>
<b>Objectif .....</b>	<b>6</b>
<b>Matériel et méthodes .....</b>	<b>6</b>
<b>Mise au point de la méthode de contrôle de l'oxygène .....</b>	<b>6</b>
<b>Obtention et stabulation des juvéniles .....</b>	<b>7</b>
<b>Récupération des juvéniles .....</b>	<b>7</b>
<b>Dispositif expérimental .....</b>	<b>8</b>
<b>Test de tolérance à l'hypoxie .....</b>	<b>9</b>
<b>Déroulement des challenges hypoxiques .....</b>	<b>9</b>
<b>Résultats .....</b>	<b>11</b>
<b>Conclusion .....</b>	<b>13</b>
<b>Bibliographie .....</b>	<b>14</b>



## Résumé

La population de grande alose (*Alosa alosa*) du bassin Gironde – Garonne – Dordogne est en fort déclin depuis le début des années 2000, conduisant à l'instauration d'un moratoire sur les pêches en 2008. Les raisons qui ont conduit à cette situation sont encore incertaines. Dans le contexte de changement climatique, l'écophase eau douce, de l'incubation jusqu'à l'arrivée des alosons dans l'estuaire, est très exposée aux modifications du milieu, notamment en termes de température et d'oxygène dissous, susceptibles d'impacter négativement la survie de ces jeunes stades. De plus, les alosons doivent traverser au cours de leur dévalaison vers l'estuaire, une zone fortement turbide, le bouchon vaseux, pouvant présenter des épisodes hypoxiques sévères.

L'objectif de cette étude est d'estimer la tolérance d'alosons de 3 mois à l'hypoxie. Les individus, stabulés à 70% de saturation en oxygène (14,5 KPa), ont été exposés à une diminution graduelle du niveau d'oxygène jusqu'à 20% de saturation (4,1 KPa), avec des paliers à 55, 40 et 30% de saturation. Les expérimentations ont été réalisées à 20 et 25 °C. Les niveaux d'oxygène correspondant à l'apparition des 3 critères comportementaux, l'altération de la nage, la perte d'équilibre et la mort ont été enregistrés. A 25°C les niveaux d'oxygène pour l'altération de la nage et la mort (3,8 et 3,4 mg.l<sup>-1</sup> respectivement) sont significativement plus élevés qu'à 20°C (2,2 et 2 mg.l<sup>-1</sup>). La cinétique de mortalité à 25 °C, étalée tout au long de l'expérimentation, montre également la plus grande sensibilité des alosons à l'hypoxie.

Si l'on considère que la perte d'équilibre est un stade à ne pas atteindre, cette expérimentation uniquement fondée sur des observations comportementales, permet d'identifier des concentrations minimales en oxygène pour les alosons à 20 et 25°C.

## Abstract

The allis Shad population (*Alosa alosa*) of the Gironde - Garonne - Dordogne basin is in sharp decline since the beginning of the years 2000, leading to the establishment of a moratorium on fisheries in 2008. The reasons that led to this situation are still uncertain. In the context of climate change, the freshwater ecophase, from incubation until juveniles reach the estuary, is very exposed to changes in the environment, particularly in terms of temperature and dissolved oxygen, likely to negatively impact the survival of these young stages. In addition, the juveniles must cross during their downstream migration to the estuary, a highly turbid area, the mud plug, with potentially severe hypoxic events.

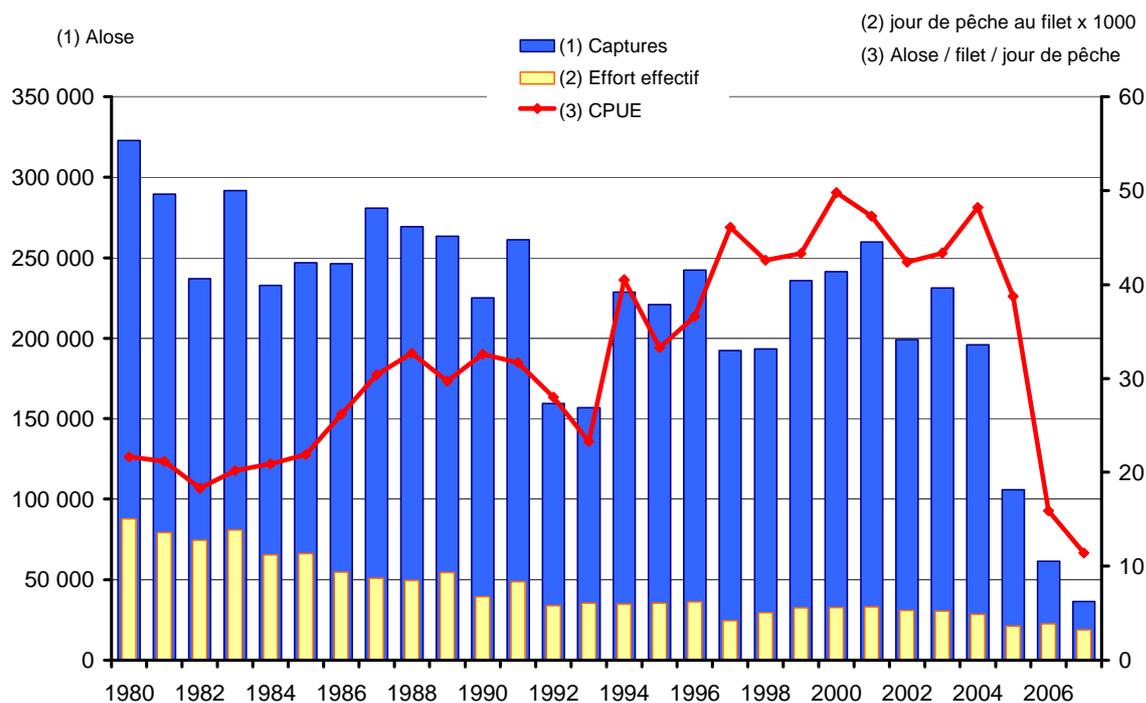
The objective of this study is to estimate the tolerance of 3 months old juveniles to hypoxia. Individuals, held at 70% of oxygen saturation (14.5 KPa), were exposed to a gradual decrease in oxygen level up to 20% of saturation (4.1 KPa), with steps at 55, 40, and 30% of saturation. The experiments were conducted at 20-25 °C. Oxygen levels corresponding to the appearance of 3 behavioral criteria, the alteration of swimming, loss of equilibrium and death were recorded. At 25 °C the levels of oxygen for the alteration of the swimming and death (3.8 and 3.4 mg.l<sup>-1</sup> respectively) were significantly higher than 20 °C (2.2 and 2 mg.l<sup>-1</sup>). The kinetics of mortality at 25 °C, spread throughout the experiment, shows also the greater sensitivity of the juveniles to hypoxia.

If we consider that the loss of equilibrium is a point of no return, this experimentation only based on behavioral observations, leads to identify minimal of oxygen levels for allis shad juveniles at 20 and 25 °C .



## Contexte

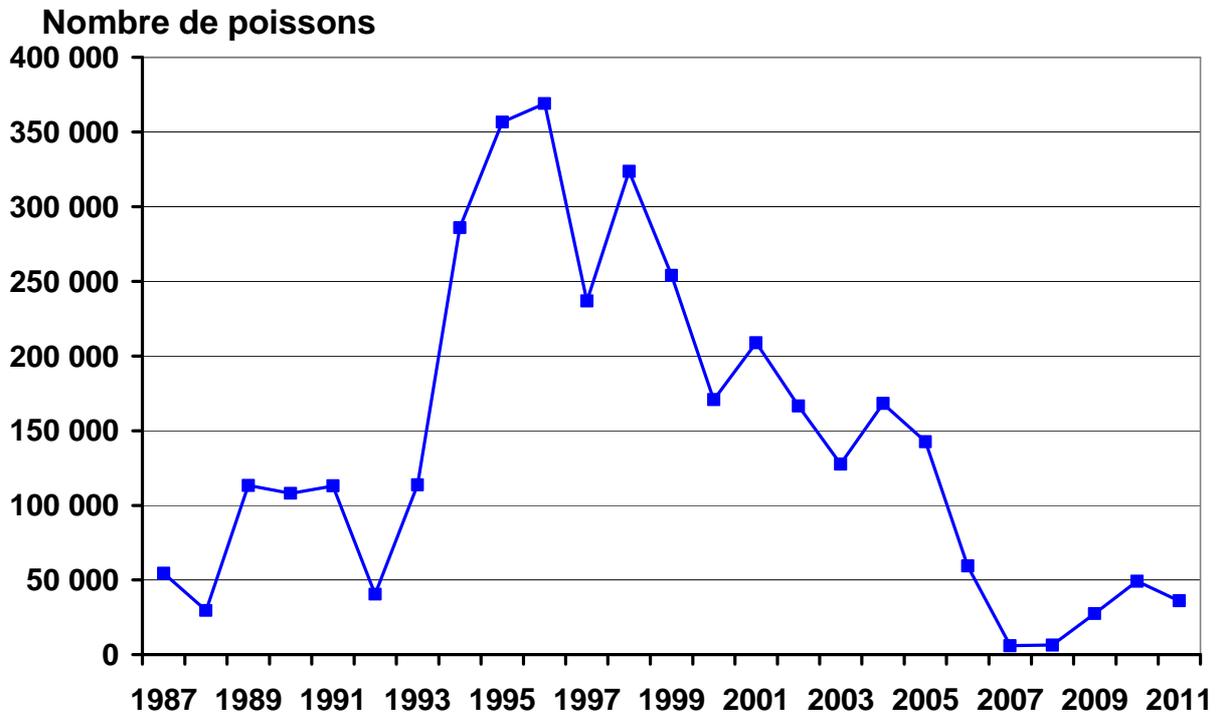
A l'échelle européenne la plupart des espèces de poissons migrateurs sont actuellement considérées en danger. Le bassin de la Garonne se situe parmi ceux qui ont la plus forte biodiversité en poissons migrateurs d'Europe (Béguer et al. 2007). Toutes les espèces le fréquentant historiquement y sont encore présentes (Lobry et al. 2003). La grande alose *Alosa alosa* était historiquement distribuée du Maroc à la Mer Baltique. Cette aire de distribution s'est progressivement contractée, et les populations fonctionnelles sont actuellement distribuées dans quelques bassins versants de la côte Atlantique (Bagliniere et al. 2003). Du fait de la réduction de son aire de répartition, la grande alose est classée comme espèce vulnérable selon les critères de l'IUCN. Elle est également répertoriée sur la liste rouge des espèces menacées en France, en annexe II et V de la Directive Habitat, en annexe V de la Convention OSPAR et en annexe III de la Convention de Berne (exploitation réglementée). Le bassin Gironde –Garonne – Dordogne possède la plus importante population de la grande alose (Bagliniere 2000).



**Figure 1 :** Evolution des captures, de l'effort effectif et des captures par unité d'effort de pêche pour la grande alose de 1980 à 2007 (Girardin et al. 2008)

Les principales études ont été menées sur la phase adulte (Bellariva 1998; Cassou-Leins and Cassou-Leins 1981; Rochard 1992; Taverny 1991) qui ont abouti au développement d'outils de gestion (Martin Vandembulcke 1999; Woillez and Rochard 2003). Cette population a supporté une importante exploitation par la pêche jusqu'au

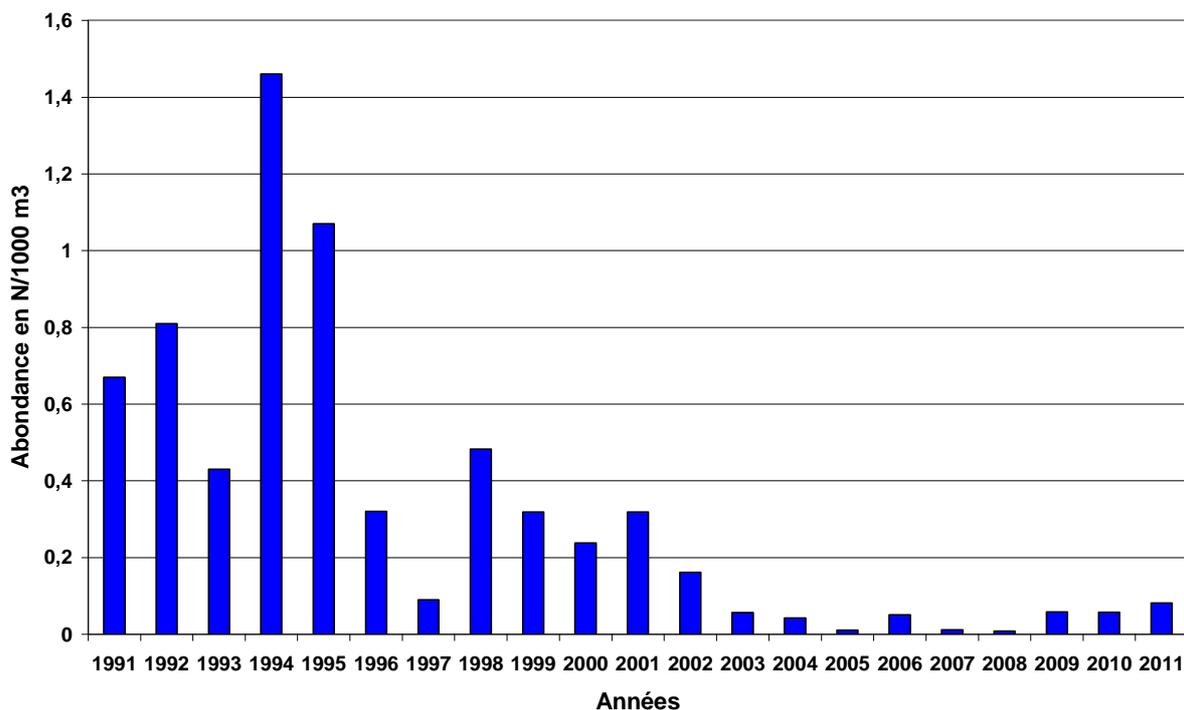
début des années 2000, qui s'élevait annuellement à environ 500 tonnes (Castelnaud 2000; Chanseau et al. 2005). Mais depuis 2004 un fort déclin de cette population a été observé qui a débouché sur un moratoire sur les pêches en 2008 (Figure 1).



**Figure 2** : Evolution du stock reproducteur sur le bassin Gironde Garonne Dordogne entre 1987 et 2011 (Source MIGADO)

Après un effectif record en 1995 – 1996, le stock reproducteur décline progressivement jusqu'en 2005 (Figure 2), tout en restant à un niveau élevé. A partir de 2006 le stock chute brutalement atteignant en 2007 et 2008 un plancher record d'environ 6 000 géniteurs.

Le suivi des alosons dans l'estuaire (Figure 3) montre un déclin de l'abondance depuis le milieu des années 90, pour atteindre des niveaux extrêmement bas au début des années 2000.



**Figure 3** : Evolution de l'abondance des alosons dans l'estuaire de la Gironde entre 1991 et 2011 (Girardin, comm. Pers.)

L'analyse de l'évolution du stock reproducteur et de l'abondance des alosons en estuaire (Figures 2 et 3) montre une distorsion pour les années 2001 à 2005 : le niveau de recrutement est en chute malgré un stock reproducteur stable à un niveau élevé (environ 150 000 individus). Ceci a conduit à émettre l'hypothèse selon laquelle le déclin observé pourrait être dû à un défaut de recrutement.

La prise en compte de cette hypothèse a conduit au développement d'étude sur les jeunes stades et la dévalaison (Bardonnnet and Jatteau 2008; Jatteau and Bardonnnet 2008; Lochet et al. 2009; Lochet et al. 2008; Véron et al. 2003). Une étude récente sur les causes possibles de l'effondrement de cette population étaye cette hypothèse (Rougier 2010). L'étude de la tolérance des jeunes stades d'alose à la température a montré un impact négatif des températures supérieures à 27°C. La confrontation de ces résultats aux profils thermiques recueillis sur la Garonne entre 2003 et 2008, permet d'estimer en première approche la mortalité induite par les hautes températures à environ 20%. Ce facteur n'expliquerait pas à lui seul le déclin observé. L'oxygène dissous est le second facteur abiotique pouvant avoir des répercussions sur la survie. L'estuaire de la Gironde se distingue notamment par la présence d'un bouchon vaseux résultant de floculation de particules argileuses. Ce phénomène est caractérisé par un important taux de matières en suspension et de fortes concentrations en carbone organique particulaire. L'oxydation de cette matière organique peut provoquer de très sévères chutes du taux d'oxygène dissous en période chaude et de faibles débits (été

début d'automne). Les niveaux d'oxygène dissous relevés ( $3,14 \text{ mg.l}^{-1}$  à Bordeaux en juillet 2006 – données Magest) peuvent être préjudiciables à la survie des poissons. C'est par ailleurs un corridor obligé pour la migration des juvéniles de poissons migrateurs dévalant vers l'estuaire. La dévalaison des alosons se déroule durant la période la plus critique en termes de niveaux d'oxygène.

## **Problématique**

Dans le contexte d'une population de grandes aloses en difficulté sur le bassin versant Gironde Garonne Dordogne, la question est de savoir si le franchissement de cette zone hypoxique liée au bouchon vaseux est susceptible de générer une mortalité chez les alosons, de quantifier cette mortalité ajoutée et d'estimer les conséquences sur la force des cohortes.

## **Objectif**

L'objectif de cette action est de déterminer la tolérance des juvéniles de grande alose à l'hypoxie.

Ce travail a été réalisé selon une approche expérimentale en condition contrôlée. Des juvéniles de 3 mois environ, ont été soumis à une diminution progressive du niveau d'oxygène, simulant l'entrée dans une zone hypoxique.

## **Matériel et méthodes**

### **Mise au point de la méthode de contrôle de l'oxygène**

Les niveaux d'oxygène ciblés ont été obtenus par un bullage d'azote ou d'oxygène dans un bac dit de mélange. Le niveau d'oxygène était mesuré en continu par une sonde Hach Lange LDO et les mesures transmises à un boîtier d'asservissement Sofrel. Ce boîtier était programmé au préalable avec la courbe de descente progressive de la concentration en oxygène. Le boîtier commande, en fonction du niveau d'oxygène mesuré dans le bac de mélange, l'introduction d'azote ou d'oxygène via deux électrovannes.

Ce système de régulation du niveau d'oxygène a été testé au préalable afin de vérifier le respect de la cinétique de descente en oxygène et des paliers imposés.

## Obtention et stabulation des poissons

Dans le but de limiter, les prélèvements de géniteurs dans un contexte de faible migration et le coût de ce programme de recherche, nous avons sollicité la collaboration de l'Association MIGADO pour l'obtention de larves de grande alose produites sur le site de Bruch. Pour la réalisation de cette étude, les besoins étaient estimés à environ 1000 larves afin de compenser les mortalités durant le transport, la stabulation jusqu'à l'âge de 3 mois et la capture pour la mise en expérimentation.

Les larves ont été transportées en sacs gonflés à l'oxygène. La durée du transport était de 2 heures. Le transfert a été effectué le 15 juin 2011.

Dès l'arrivée à la station expérimentale, les sacs ont été placés dans un raceway extérieur, avec introduction progressive d'eau du raceway dans les sacs afin de réaliser une modification lente de l'environnement des larves. Puis les larves ont été déversées dans le raceway (Figure 4). Le raceway avait été préalablementensemencé de manière à avoir une production suffisante de zooplancton dès l'arrivée des larves.

Durant toute la durée de la phase d'élevage en raceway, les paramètres physico-chimiques (température, pH, oxygène dissous) ont été relevés quotidiennement.



**Figure 4** : Déversement des larves dans le raceway de stabulation

## Récupération des juvéniles

La capture de juvéniles d'alse de 6 mois dans un raceway de la station expérimentale a déjà été pratiquée avec succès au moyen d'une pêche électrique. Cette méthode a été conservée pour la récupération des juvéniles au bout de 3 mois de stabulation. Les

poissons ont été concentrés avant de débiter la pêche électrique. Le matériel utilisé était de marque Heron, réglé sur 210 V, 2 A. Les individus ont été pêchés avant chaque expérimentation. Chaque pêche a duré entre 15 et 30 min. Les poissons expérimentés mesuraient  $4,6 \pm 0,1$  cm (longueur fourche  $\pm$  erreur standard) pour un poids de  $950 \pm 4$  mg.

## Dispositif expérimental

Le dispositif expérimental est composé d'un bac de mélange qui alimente 4 enceintes expérimentales. Le bac de mélange est couplé au système de régulation du niveau d'oxygène. L'incorporation de l'azote ou de l'oxygène se fait par des diffuseurs en céramique qui garantissent la diffusion de très fines bulles pour une bonne dissolution des gaz dans l'eau. Le bac de mélange est équipé d'une thermistance en titane (Schégo 200W) pour le chauffage et d'un groupe (Teco TR10) pour la production de frigories. La stabilité de la température est assurée par le boîtier de commande Sofrel. Une sonde oxygène est également placée dans l'une des enceintes afin de vérifier le niveau d'oxygène réel dans les enceintes.

Les 4 enceintes expérimentales sont alimentées en gravitaire à partir du bac de mélange. Le débit est contrôlé par une vanne avant chaque enceinte (Figure 5).



**Figure 5** : Dispositif expérimental

Les enceintes expérimentales sont circulaires (diamètre 0,3 m ; hauteur d'eau 0,2 m ; volume d'eau 14 L). L'arrivée d'eau tangentielle crée un courant circulaire. Chaque sortie d'eau des enceintes est reprise par une pompe (Eheim) pour un retour dans le bac de mélange. Le débit est modulé par une vanne.

Le bac de mélange et les enceintes sont couverts de manière à limiter les échanges gazeux et thermique.

## **Test de tolérance à l'hypoxie**

L'étude de la tolérance à l'hypoxie est fondée sur l'adaptation pour le paramètre oxygène, des méthodes « Critical Thermal Limit » (CTM) pour la température (Beitinger et al. 2000) et U-crit pour les capacités de nage (Plaut 2001). Ces méthodes sont fondées sur la détermination d'un seuil limite de tolérance pour le paramètre, en observant les réactions comportementales des poissons face à une variation progressive du paramètre. Pour cette étude les alosons ont été soumis à une diminution graduelle du niveau d'oxygène à température constante. Les expérimentations ont été réalisées à 2 températures, 20 et 25 °C. Les paliers ont été effectués aux mêmes pourcentages de saturation en oxygène pour les 2 températures (Figure 6 et 7).

## **Déroulement des challenges hypoxiques**

Deux tests à chaque température ont été réalisés entre le 22 et le 27 septembre 2011. En fonction du succès de la pêche le nombre de poissons dans les enceintes a été de 4 et 3 pour les tests à 20°C et 3 et 2 pour les tests à 25°C. Pour les tests à 20°C, les poissons capturés sont rapidement placés dans les 4 enceintes expérimentales. Pour les tests à 25°C, les poissons ont subi une montée progressive en température, de 18°C (température du raceway) à 24°C par paliers de 2°C en 90 min. Les poissons ont ensuite été introduits dans les enceintes expérimentales réglées à 24 °C. La température d'expérimentation était atteinte en 30 min.

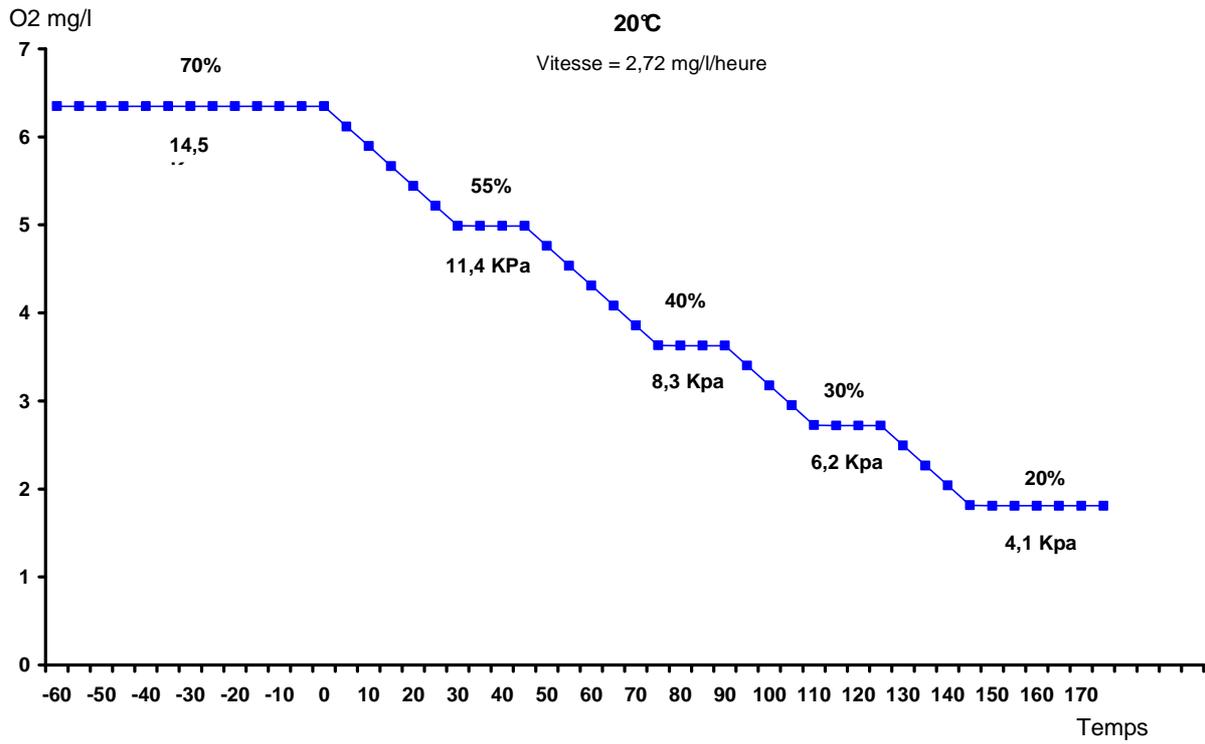


Figure 6 : Courbe de descente en oxygène à 20 °C

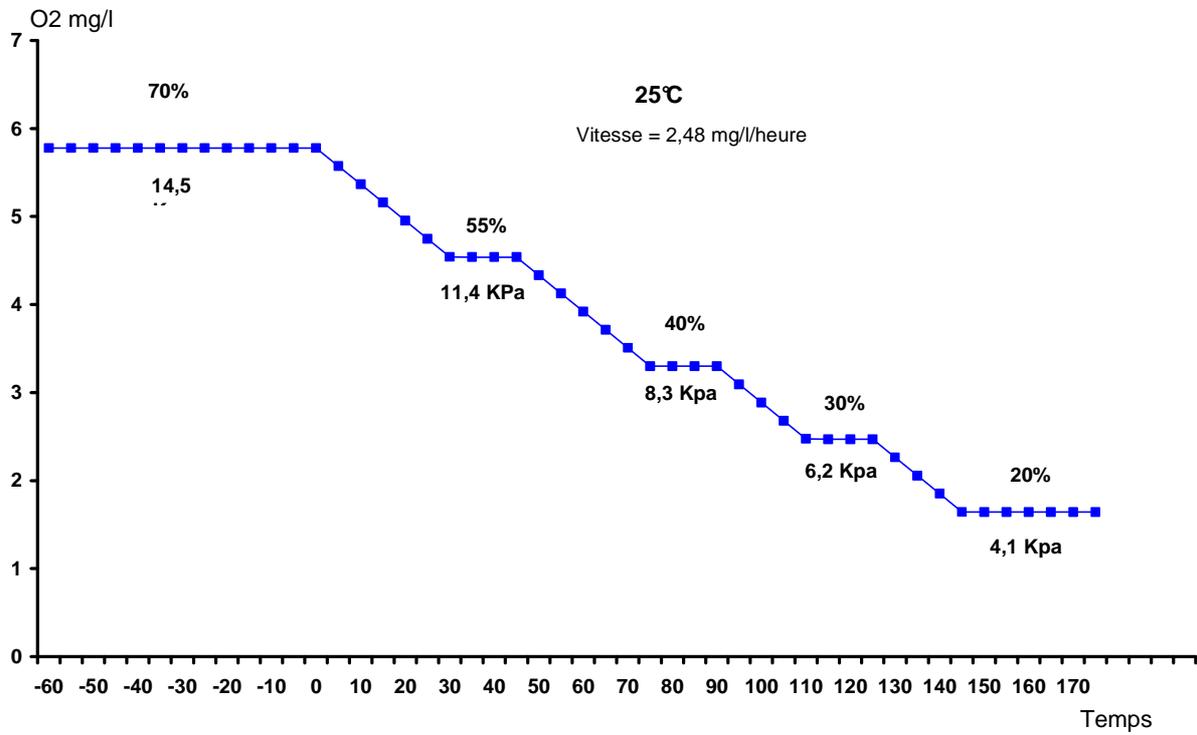


Figure 7 : Courbe de descente en oxygène à 25 °C

Après une phase d'acclimatation sans enregistrement de 30 min à 70 % de saturation, les tests débutaient par une stabulation de 60 min au même niveau de saturation.

Après la phase de stabulation, 3 des enceintes ont été soumises au protocole hypoxique ; la quatrième enceinte est restée à 70% de saturation durant le test et servait de contrôle.

Le comportement des poissons a été enregistré au cours de 16 observations (3 pendant la stabulation, milieu de descente, début et fin de palier). Des observations supplémentaires ont été réalisées pour enregistrer chaque évolution ou modification remarquable du comportement. Trois critères d'analyse ont été retenus :

- altération du comportement natatoire : nage saccadée, départ brutal (burst), pipage en surface ...
- perte d'équilibre : déséquilibre latéral, nage oblique, nage à l'envers ...
- mort : arrêt des battements operculaires
- 

Les niveaux d'oxygène enregistrés lors d'un test correspondent à :

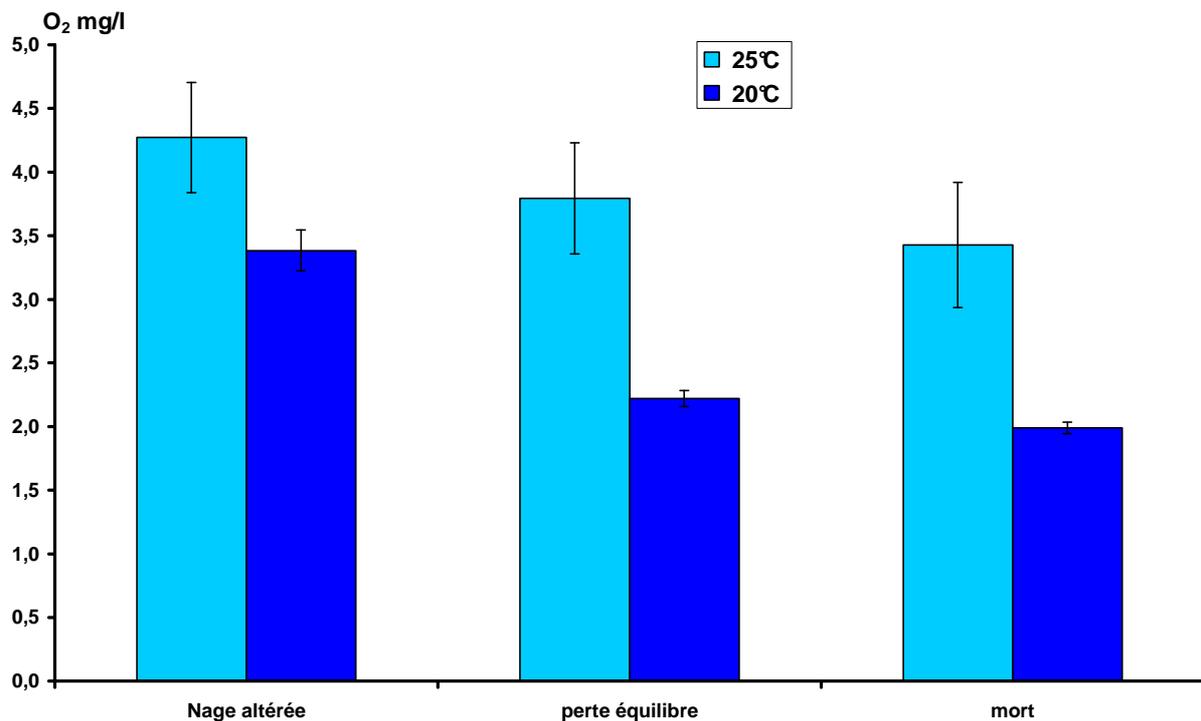
- la première altération du comportement dans une enceinte (n=3 par test)
- une ou plusieurs perte d'équilibre lorsque les poissons peuvent être différenciés (mini n=3 ; maxi n= nombre de poissons dans les 3 structures)
- toutes les morts observées pendant le test

L'arrêt des mouvements operculaires de tous les poissons constituait le critère d'arrêt du test ; sinon il durait au plus 175 min.

## Résultats

A 20°C, (Figure 8) les premiers signes d'altération du comportement surviennent en moyenne à 3,5 mg.l<sup>-1</sup> d'oxygène, niveau significativement différent de ceux où ont été enregistrés les pertes d'équilibre et les morts, respectivement 2,2 et 2 mg.l<sup>-1</sup> (ANOVA, p=0).

A 25 °C, il n'y a pas de différence significative entre les concentrations en oxygène correspondant aux trois critères (Kruskal-Wallis, p=0,534)



**Figure 8 :** Concentrations moyenne en oxygène relevées pour les 3 critères d'analyse, à 20 et 25°C. Les erreurs standards sont mentionnées.

Il n'y a pas de différence significative dans l'apparition des premiers signes d'altération du comportement à 20 et 25°C (Test U Mann-Whitney,  $p=0,195$ ). Par contre les 2 autres surviennent à des concentrations en oxygène significativement plus faibles à 20°C (Test U Mann-Whitney,  $p=0$  et  $p=0,007$ ).

Tous les poissons ayant subi les tests à 25°C sont morts durant l'expérimentation, alors que plus de 50% ont survécu à 20°C. Les cinétiques de mortalité (Figure 9) montrent qu'à 25°C le phénomène apparaît dès le début du test et s'étale sur toute la durée de celui-ci. A 20°C les mortalités apparaissent qu'à partir d'une concentration de 2,2 mg.l<sup>-1</sup> et se concentrent donc en fin de test.

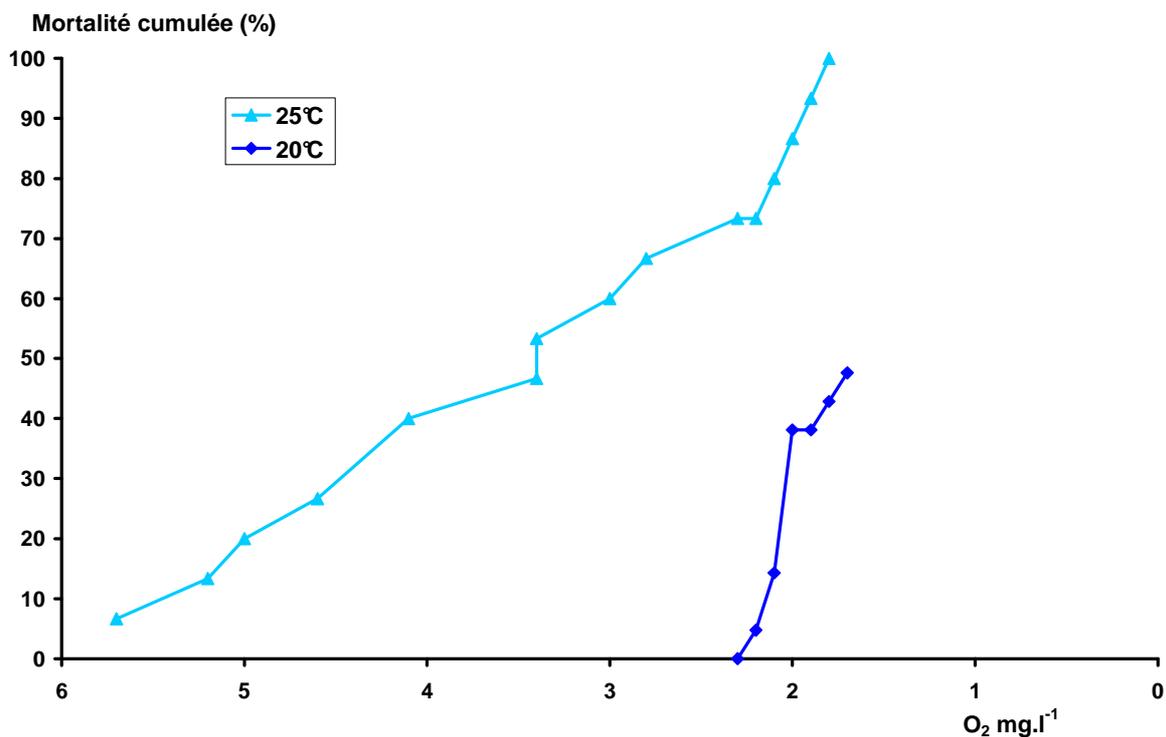


Figure 9 : Cinétique des mortalités enregistrées à 20 et 25°C

## Conclusion

Avant toute analyse, il est nécessaire de considérer le facteur manipulation qui a été plus important pour les poissons testés à 25°C (acclimatation progressive à la température). Ceci a probablement généré un stress plus important, et est probablement responsable des mortalités précoces observées pendant la phase d'acclimatation à 70% de saturation.

Néanmoins la tolérance des juvéniles de grande alose à l'hypoxie apparaît logiquement plus importante à 20°C qu'à 25°C.

A 25°C l'apparition des 3 critères s'effectue dans une gamme de concentrations en oxygène restreinte (de 4,3 à 3,4 mg.l<sup>-1</sup>) comparée à 20°C (3,4 à 2 mg.l<sup>-1</sup>), soulignant une tolérance plus faible à l'hypoxie. Les résultats révèlent également des hétérogénéités individuelles importantes comme le montre la cinétique des mortalités à 25°C.

Les indicateurs comportementaux retenus pour qualifier le premier critère (nage altérée) sont concomitants à un stress métabolique marqué chez *Seriola lalandi* (Cook and Herbert 2012). Par ailleurs la perte d'équilibre est considérée comme l'indicateur d'une désorganisation fonctionnelle et métabolique, empêchant les individus de fuir une zone dangereuse et les conduisant rapidement à la mort (Beitinger et al. 2000).

Cette étude sur la tolérance à l'hypoxie des juvéniles de grande alose uniquement fondée sur des indicateurs comportementaux ne permet pas de déterminer finement les

seuils de tolérance. Si l'on considère que la perte d'équilibre est la limite à ne pas atteindre, les seuils minimaux en oxygène pour garantir une probabilité de survie importante se situent à 3,8 et 2,2 mg.l<sup>-1</sup> à 25 et 20°C respectivement.

## Remerciements

Cette étude a été réalisée grâce au concours de David CLAVE (MIGADO) qui a fourni les larves de grande alose. Cette étude a été réalisée dans le cadre du Projet Etiage, financé par l'Agence de l'Eau Adour-Garonne, la Communauté Urbaine de Bordeaux, la Lyonnaise des Eaux, la Région Aquitaine et le CPER A2E (Feder).

## Bibliographie

- Bagliniere JL (2000) Le genre *Alosa* sp. In: Baglinière JL, Elie P (eds) Les aloses (*Alosa alosa* et *Alosa fallax* spp.) - Ecobiologie et variabilité des populations. Hydrobiologie et Aquaculture. INRA - CEMAGREF, Paris, pp 3-30
- Bagliniere JL, Sabatie MR, Rochard E, Alexandrino PJ, Aprahamian MW (2003) Biodiversity, status, and conservation of the World's shads. In: Limburg KE, Waldman JR (eds). American Fisheries Society, Baltimore, pp 85-102
- Bardonnnet A, Jatteau P (2008) Salinity tolerance in young Allis shad larvae (*Alosa alosa* L.). *Ecol Freshw Fish* 17 (1):193-197
- Béguer M, Beaulaton L, Rochard E (2007) Distribution and richness of diadromous fish assemblages in Western Europe: large scale explanatory factors. *Ecology of Freshwater Fish* 16:221-237
- Beitinger TL, Bennett WA, McCauley RW (2000) Temperature tolerances of North American freshwater fishes exposed to dynamic changes in temperature. *Environ Biol Fish* 58:237-275
- Bellariva JL (1998) Contribution à l'étude du déroulement de la migration et de la reproduction de la grande alose (*Alosa alosa* L.) en Garonne - Etude prospective de la dévalaison des juvéniles. Institut National Polytechnique, Toulouse
- Cassou-Leins F, Cassou-Leins JJ (1981) Recherche sur la biologie et l'halieutique des migrateurs de la Garonne et principalement de l'alose, *Alosa alosa* L. Thèse de 3ème cycle, Institut National Polytechnique, Toulouse
- Castelnaud G (2000) Localisation de la pêche, effectifs de pêcheurs et production des espèces amphihalines dans les fleuves français. *Bull Fr Pech Piscic* 357/358:439-460
- Chanseau M, Castelnaud G, Carry L, Martin Vandembulcke D, Belaud A (2005) Essai d'évaluation du stock de géniteurs d'alose *Alosa alosa* du bassin versant Gironde-Garonne-Dordogne sur la période 1987-2001 et comparaison de différents indicateurs d'abondance. *Bull Fr Pech Piscic* 374:1-19
- Cook DG, Herbert NA (2012) The physiological and behavioural response of juvenile kingfish (*Seriola lalandi*) differs between escapable and inescapable progressive hypoxia. *J Exp Mar Biol Ecol* 413:138-144. doi:10.1016/j.jembe.2011.12.006
- Girardin M, Castelnaud G, Laplaud A, Gonthier P (2008) Surveillance halieutique de l'estuaire de la Gironde - Suivi des captures 2006-2007 - Étude de la faune circulante 2007. Rapport pour EDF CNPE du Blayais. Etude Cemagref, groupement de Bordeaux, Cestas
- Jatteau P, Bardonnnet A (2008) Photoresponse in allis shad larvae. *J Fish Biol* 72 (3):742-746
- Lobry J, Mourand L, Rochard E, Elie P (2003) Structure of the Gironde estuarine fish assemblages: a European estuaries comparison perspective. *Aquatic Living Resources* 16 (2):47-58
- Lochet A, Boutry S, Rochard E (2009) Estuarine phase during seaward migration for allis shad *Alosa alosa* and twaite shad *Alosa fallax* future spawners. *Ecol Freshw Fish* 18 (2):323-335. doi:10.1111/j.1600-0633.2008.00350.x
- Lochet A, Jatteau P, Tomás J, Rochard E (2008) Retrospective approach to investigating the early life history of a diadromous fish: allis shad *Alosa alosa* (L.) in the Gironde ;Garonne ;Dordogne watershed. *J Fish Biol* 72 (4):946-960. doi:10.1111/j.1095-8649.2007.01776.x

- Martin Vandembulcke D (1999) Dynamique de la population de la grande alose (*Alosa alosa* L. 1758) dans le bassin versant Gironde - Garonne - Dordogne (France) : analyse et prévision par modélisation. Université de Toulouse, Toulouse
- Plaut I (2001) Critical swimming speed: its ecological relevance. *Comparative Biochemistry and Physiology A* 131:41-50
- Rochard E (1992) Mise au point d'une méthode de suivi de l'abondance des amphihalins dans le système fluvio-estuarien de la Gironde, application à l'étude écobioologique de l'esturgeon, *Acipenser sturio.*, Université de Rennes I, Rennes
- Rougier T (2010) Dynamique de la population de grande alose (*Alosa alosa*) du bassin versant Gironde Garonne Dordogne : Exploration des causes de l'effondrement de cette population au travers d'une modélisation des processus biologiques. Cemagref, Bordeaux
- Taverny C (1991) Contribution à la connaissance de la dynamique des populations d'aloses (*Alosa alosa* et *Alosa fallax*) dans le système fluvio-estuarien de la Gironde : pêche, biologie et écologie - Etude particulière de la dévalaison et de l'impact des activités humaines. Thèse de doctorat, Université de Bordeaux I,
- Véron V, Jatteau P, Bardonnnet A (2003) Firsts results on the behavior of young stages of allis shad *Alosa alosa*. In: Limburg KE, Waldman JR (eds) Biodiversity, status and conservation of the world's shads, vol 35. American Fisheries Society Symposium, Bethesda, Maryland, pp 241-251
- Wuillez M, Rochard E (2003) Tableau de bord, un outil pour le suivi des poissons migrateurs : concepts et méthode pour le choix des indicateurs, exemple de la population de grande alose du bassin versant Gironde-Garonne-Dordogne. *Ingénieries* 35:43-59



IRSTEA  
Direction Générale  
CS 10030  
92276 Antony Cedex  
tél : +33 (0)1 40 96 61 21  
fax : +33 (0)1 40 96 62 25  
[www.irstea.fr](http://www.irstea.fr)

