

Prié, V. & Cochet, G. 2010. Restaurer les fonctionnalités des écosystèmes : Proposition pour la réintroduction de l'Esturgeon de l'Atlantique *Acipenser oxyrinchus* Mitchill, 1815 (Pisces, Acipenseridae) pour sauver la Grande Mulette *Margaritifera auricularia* (Spengler, 1793) (Mollusca, Bivalvia, Margaritiferidae) de l'extinction. *MalaCo*, 6 : 270-277.
Article publié sur www.journal-malaco.fr (ISSN 1778-3941)

Restaurer les fonctionnalités des écosystèmes : Proposition pour la réintroduction de l'Esturgeon de l'Atlantique *Acipenser oxyrinchus* Mitchill, 1815 (Pisces, Acipenseridae) pour sauver la Grande Mulette *Margaritifera auricularia* (Spengler, 1793) (Mollusca, Bivalvia, Margaritiferidae) de l'extinction

Restoring ecosystems functionalities: A proposal for reintroduction of the Atlantic Sturgeon *Acipenser oxyrinchus* Mitchill, 1815 to save Giant Pearl Mussel *Margaritifera auricularia* (Spengler, 1793) from extinction

Vincent PRIÉ¹ & Gilbert COCHET²

¹ Biotope, 22, Boulevard du Maréchal Foch, F-34140 Mèze

² Le Village, F-07130 Saint-Romain-de-Lerps

Correspondance : vprie@biotope.fr

Résumé — La Grande Mulette *Margaritifera auricularia*, autrefois largement répandue en Europe de l'Ouest, ne subsiste actuellement que par quelques populations qui ne recrutent plus depuis plusieurs années. La disparition de son principal poisson-hôte, l'Esturgeon européen *Acipenser sturio*, serait la principale cause de sa raréfaction. Il resterait quelques dizaines d'années pour sauver la Grande Mulette de l'extinction. Un programme de restauration de l'Esturgeon européen est en cours, mais compte tenu de sa maturité sexuelle tardive, il permettra au mieux le retour de quelques adultes dans les rivières de France d'ici une quinzaine d'année. Pour restaurer les fonctionnalités de l'écosystème et sauver la Grande Mulette de l'extinction, nous évoquons la réintroduction d'une espèce proche : l'Esturgeon de l'Atlantique *A. oxyrinchus*. Cette espèce est la moins menacée parmi les Acipenseridae et fut présente en France au moins entre -3 000 et 200 ans après Jésus-Christ. Les risques de compétition et/ou d'introggression avec l'Esturgeon européen, semblent pouvoir être écartés puisque les deux espèces ont cohabité par le passé. La possibilité d'une réintroduction de l'Esturgeon de l'Atlantique donne un espoir pour la restauration des populations de Grande Mulette.

Mots clés — *Acipenser*, Esturgeon de l'Atlantique, fonctionnalité, Grande Mulette, *Margaritifera*, réintroduction.

Abstract — The giant pearl mussel *Margaritifera auricularia*, previously widespread in Western Europe, still survives in a few aging core populations, which have not been recruiting for several decades. The extirpation of its main host-fish, the European Sturgeon *Acipenser sturio*, is believed to be the main cause of its rarefaction. A few decades seem to be left to save the giant pearl mussel from extinction. A European Sturgeon restoration plan is ongoing, but given the late sexual maturity of this species, we cannot expect a return of sexually mature individuals in rivers in France before ca. 15 years. In order to restore ecosystems' functionality and save the Giant Pearl Mussel from extinction, we suggest the reintroduction of a similar species: the Atlantic Sturgeon *A. oxyrinchus*. This species is the least threatened of the Acipenseridae and was present in France at least between 3 000 BC and 200 AD. The interspecific competition risk with the European Sturgeon, as well as the introgression risk, can be eliminated as both species have coexisted in the past. The possibility of reintroducing the Atlantic Sturgeon gives new insights for the recovery of Giant Pearl Mussel populations.

Key-words — *Acipenser*, Atlantic Sturgeon, functionality, Giant Pearl Mussel, *Margaritifera*, reintroduction.

La Grande Mulette : une espèce en voie d'extinction qui ne se reproduit plus

La Grande Mulette *Margaritifera auricularia* est une moule d'eau douce, autrefois répandue du Danemark au Portugal, dont il ne reste que quelques noyaux de populations épars (Figure 1). Elle est considérée par l'IUCN comme en danger critique d'extinction. En effet, outre les mortalités directes dues à la surpêche et aux aménagements de rivières, les populations qui subsistent en France semblent ne plus se reproduire depuis plusieurs dizaines d'années (Cochet 2001). Leur présence actuelle dans les cours d'eau atlantiques serait due à la longévité exceptionnelle des adultes, estimée à 150 ans (Cochet 2004). Bien que les causes de cette absence de reproduction restent floues, l'hypothèse d'une extinction en cascade paraît actuellement la plus tangible. En effet, la Grande Mulette, à l'instar des autres náyades, accomplit son cycle biologique par l'intermédiaire d'un poisson-hôte. Les larves (ou glochidies), libérées dans le milieu, vont s'enkyster dans les branchies du poisson-hôte pour effectuer leur métamorphose. Ainsi, les náyades dépendent étroitement de l'aire de répartition et de l'abondance de leur poisson-hôte (Hastie & Young 2001, Neves 2004). Or le poisson-hôte présumé de la Grande Mulette serait l'Esturgeon européen *Acipenser sturio* (Altaba 1990, Altaba *et al.* 2001, Araujo & Ramos 2001, Lopez *et al.* 2007). Ce dernier a presque totalement disparu des fleuves et rivières de France et d'Europe, la dernière reproduction naturelle étant datée de 1994 (Brosse 2003) en Gironde. La raréfaction des Grandes Mulettes semble suivre de quelques décennies celle de l'Esturgeon européen (Altaba 1990).

En effet, si l'Esturgeon européen a fréquenté la Seine jusqu'en 1917 selon certains auteurs (Magnin 1959, Billard 1997), la dernière capture documentée aux environs de Paris remonte à 1856 (Mantes-la-Jolie, Boisset 1948) ; les dernières Grande Mulettes se sont probablement éteintes dans l'Oise autour de 2007 (Prié *et al.* 2008a). Dans le bassin de la Loire, que l'Esturgeon européen fréquentait assez régulièrement jusqu'à la moitié du XIX^{ème} siècle, il aurait disparu vers 1940 (Darlet & Prioux 1950) ; des populations de Grande Mulettes subsistent dans la Vienne (Figure 2) et la Creuse mais sont sénescentes (Cochet 2001). La population de Grandes Mulettes la plus robuste se trouve dans la Charente, dont l'embouchure est toute proche des dernières populations d'Esturgeons européens, qui se trouvent dans l'estuaire de la Gironde.

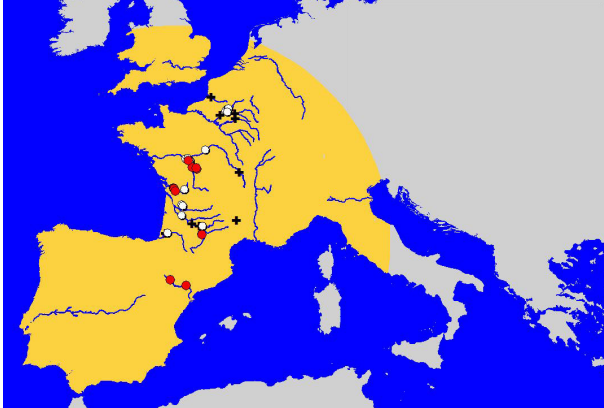


Figure 1 — Distribution passée et actuelle de la Grande Mulette. Les fleuves illustrés en **bleu** représentent des données historiques imprécises. **Points rouges** populations vivantes, **Points blancs** populations présumées éteintes récemment, **Croix** localités historiques, **Jaune** aire biogéographique historique

Malgré les efforts mis en œuvre pour sa réintroduction et des résultats encourageants (Kirschbaum & Gessner 2000, Lochet *et al.* 2004, Rosenthal 2004, Williot *et al.* 2009), il y a peu d'espoir de voir reflourir des populations viables d'Esturgeons européens dans les quelques dizaines d'années à venir. En effet, les relâchers effectués sur la Garonne (9 000 en 1995, 7 000 en 2007, 80 000 en 2008, 46 000 en 2009, E. Rochard, CEMAGREF com. pers.) et la Dordogne ne concernent que des juvéniles nés en éclosérie. Ces derniers s'alimentent tout au long de leur croissance dans les eaux saumâtres de l'estuaire (Brosse *et al.* 2000, Rochard *et al.* 2001, Brosse 2003) et il faudra attendre une quinzaine d'années pour les voir parvenir à maturation sexuelle et espérer un retour timide des adultes dans les fleuves et rivières de France. De plus, le retour d'adultes est attendu principalement dans la Garonne et la Dordogne, là où sont relâchés les alevins, en raison du phénomène de « *homing* » relativement marqué chez l'Esturgeon européen. La colonisation des rivières à Grandes Mulettes reste donc très hypothétique tant que les populations d'Esturgeons n'auront pas atteint un niveau élevé. Compte-tenu de l'état de sénescence des dernières populations (Araujo & Ramos 1998b, Cochet 2001, Prié *et al.* 2008a, b), ce laps de temps pour des résultats incertains ne semble pas compatible avec la sauvegarde de la Grande Mulette. Une nouvelle rencontre des deux « géants des rivières » semble donc compromise (Cochet 2010). A moins de restaurer les fonctionnalités de l'écosystème...

La fonctionnalité : clef de voûte des écosystèmes

Comme pour bien d'autres exemples (Barlow 2000), la survivance de la Grande Mulette est un « anachronisme » (Janzen & Martin 1982), témoin d'une interaction aujourd'hui disparue, d'une fonctionnalité dégradée. L'érosion de la diversité fonctionnelle des écosystèmes, dont la conséquence est un mécanisme d'extinctions en cascade, est devenue une problématique préoccupante dans le cadre de la préservation de la biodiversité (Koh *et al.* 2004a, Koh *et al.* 2004b). Les interactions entre espèces deviennent un enjeu majeur pour la conservation (Soulé *et al.* 2003, Soulé *et al.* 2005). La restauration des fonctionnalités des écosystèmes doit donc figurer parmi les objectifs primordiaux de gestion environnementale (Soulé *et al.* 2003, Foreman 2004, Donlan *et al.* 2005, Donlan *et al.* 2006).

Or le rôle fonctionnel des organismes est corrélé à leur taille. L'Esturgeon européen, dont la taille adulte varie généralement entre un et deux mètres, pourrait atteindre les 4 ou 5 m pour un poids allant jusqu'à 500 kg (Muus & Dahlström 1968, Muus 1999). C'est indéniablement le plus grand poisson que les rivières d'Europe de l'Ouest ont hébergé, dépassant largement la taille des plus gros silures *Silurus glanis* Linnaeus, 1758. Considérant que les espèces de grande taille ont généralement un rôle de « clef de voûte » dans les écosystèmes (ex. Borer *et al.* 2005) et ont une action déterminante sur le milieu, les impacts fonctionnels des Esturgeons vont probablement au-delà de leur relation avec la Grande Mulette.

La Grande Mulette est la plus grosse espèce indigène d'invertébrés d'eau douce en Europe : elle atteint une vingtaine de centimètres de long pour un poids dépassant les 400 grammes. Cette dernière ayant quasi disparu au cours du XX^{ème} siècle, aucune étude ne documente son impact sur l'écosystème. D'une manière générale, il existe relativement peu de travaux permettant d'appréhender le rôle fonctionnel des bivalves sur les écosystèmes (Davis *et al.* 2000, Howard & Cuffey 2006). Mais l'impact de certaines espèces envahissantes sur la turbidité des cours d'eau a pu être documenté (Phelps 1994) et certains projets visant à utiliser le pouvoir de filtration des bivalves d'eau douce à des fins économiques ont vu le jour (Soto & Mena 1999, Lara *et al.* 2000, McIvor 2004, Elliott *et al.* 2008). On peut supposer que la capacité de filtration de plusieurs dizaines de milliers d'individus de Grandes Mulettes puisse jouer un rôle non négligeable sur la qualité de l'eau, en particulier sur sa turbidité, en accélérant le phénomène de floculation (McIvor 2004).

Quels candidats pour restaurer le cycle biologique de la Grande Mulette ?

Plusieurs espèces pourraient s'ajouter à l'Esturgeon européen. Des tentatives de reproduction *in vitro* (Araujo & Ramos 2001, Araujo *et al.* 2003, Araujo 2004) ont en effet montré que les glochidies de la Grande Mulette pouvaient infester également les branchies de l'Esturgeon de Sibérie *Acipenser baerii* Linnaeus, 1758, de l'Esturgeon de l'Adriatique *Acipenser naccarii* Bonaparte, 1836, de la blennie fluviatile *Salaria fluviatilis* (Asso, 1801) et de la gambusie *Gambusia holbrooki* Girard, 1859. La gambusie est une espèce introduite d'Amérique du Nord. Elle fréquente rarement les mêmes

milieux que la Grande Mulette, affectionnant plutôt les eaux à faible courant et la végétation aquatique dense (Kottelat & Freyhof 2007), alors que la Grande Mulette vit à l'aval des grands fleuves dans des faciès sujets à de forts courants pendant les crues hivernales. Qui plus est, cette espèce ne rentre pas dans les terres, c'est plutôt une espèce côtière, estuarienne.

Enfin, bien que les espèces introduites n'aient pas nécessairement d'effets négatifs sur la fonctionnalité des écosystèmes aquatiques (Devin *et al.* 2005), les introductions d'espèces sont considérées comme l'une des principales causes de l'érosion de la biodiversité (Clout 1995, Olivieri & Vitalis 2001). Un hôte de substitution pour restaurer le cycle biologique de la Grande Mulette devra donc préférentiellement être autochtone. La blennie fluviatile ne vit que dans la partie méridionale de l'Europe (Keith & Allardi 2001, Kottelat & Freyhof 2007). Si elle peut jouer un rôle dans la reproduction des populations espagnoles, elle ne permettrait pas de préserver l'essentiel des effectifs, qui se trouvent en France, sur le bassin versant Atlantique (Prié *et al.* 2008b). Enfin, la gambusie ou la blennie fluviatile ne présentent pas le caractère anadrome des Esturgeons, c.-à.-d. qui passe la plus grande partie de sa vie en mer et ne remonte les rivières que pour se reproduire (McDowall 1987). Bien que la survie des glochidies de Grande Mulette en milieu marin dans les branchies des poissons-hôtes ne soit pas prouvée, les poissons migrateurs pourraient permettre un brassage génétique entre les populations de différents bassins versants, comme c'est probablement le cas pour la mulette perlière *Margaritifera margaritifera* (Linnaeus 1758) avec le saumon *Salmo salar* Linnaeus 1758. Ce brassage pourrait atténuer les effets négatifs de l'extrême fragmentation des populations de Grande Mulette (ex. Wilcox & Murphy 1985, Lamont & Klinkhamer 1993). Nous devons en conséquence nous tourner vers d'autres espèces d'Esturgeons. En effet, même si seuls l'Esturgeon européen, l'Esturgeon de l'Adriatique et l'Esturgeon de Sibérie sont actuellement considérés comme poissons-hôtes potentiels, il y a de fortes chances pour que les autres espèces du genre *Acipenser* puissent également servir de poisson-hôte (Araujo *et al.* 2003).



Figure 2 — Une des dernières Grandes Mulettes de la Vienne. Bien qu'aucun obstacle n'entrave les eaux entre elle et la mer, l'absence de poisson-hôte laisse peu d'espoir de voir perdurer cette population (© V. Prié/Biotope).

Il existe 24 espèces d'Acipenseridés dans le monde. La quasi-totalité des espèces est menacée ou en danger d'extinction (Rochard *et al.* 1990, Birstein 1993, Birstein *et al.* 1995, Birstein *et al.* 1997, Brosse *et al.* 2005, IUNC 2009). L'Europe héberge onze espèces d'Acipenseridés, dont dix du genre *Acipenser* (Tableau 1). Selon les critères de l'IUNC (2009), une espèce est catégorisée à faible risque, trois espèces sont vulnérables, six espèces sont en danger d'extinction et seul l'Esturgeon européen en danger critique d'extinction (Tableau 1). Des plans de restauration et des réintroductions sont en cours pour plusieurs espèces (Bruch 1999, Duke *et al.* 1999, Arlati *et al.* 2001, Wakeford 2001, Brosse *et al.* 2005).

Tableau 1 — Les Esturgeons européens : statut de conservation, statut en Atlantique et distribution actuelle. * Doutes sur la présence actuelle

Espèce	Catégorie IUCN	Statut en Atlantique	Distribution actuelle
<i>Acipenser gueldenstaedtii</i> Brandt, 1833	En		Mer noire
<i>Acipenser stellatus</i> Pallas, 1771	En		Mer noire
<i>Acipenser colchicus</i> Marty, 1940	En		Mer noire
<i>Acipenser nudiventris</i> Lovetsky, 1828	En		Mer noire
<i>Acipenser persicus</i> Borodin, 1897	En		Caspienne
<i>Acipenser ruthenus</i> Linnaeus, 1758	Vu	Introduite	Mer noire
<i>Acipenser baerii</i> Brandt, 1869	Vu	Introduite	Sibérie
<i>Acipenser sturio</i> Linnaeus, 1758	Cr	Autochtone	Atlantique, (Méditerranée, Mer noire)*
<i>Acipenser naccarii</i> Bonaparte, 1836	Vu		Adriatique
<i>Acipenser oxyrinchus</i> Mitchill, 1815	Nt	Eteinte	Amérique du Nord
<i>Huso huso</i> Linnaeus, 1758	En		Mer noire (Adriatique)*

La distribution de *A. colchicus*, *A. nudiventris*, *A. persicus* et *A. stellatus* ne recouvre pas l'aire de répartition historique de la Grande Mulette (Kottelat & Freyhof 2007).

Le Sterlet *A. ruthenus* est un poisson d'eau froide, ce qui explique son aire de répartition. Bien que des individus soient introduits en France (Keith & Allardi 2001), il ne se reproduit pas dans nos rivières probablement en raison de leur température et ne rencontre pas la Grande Mulette.

L'Esturgeon de Sibérie *A. baerii* peut héberger des glochidies de Grandes Mulettes. C'est une espèce qui se reproduit bien en conditions artificielles, et qui est déjà présente dans les eaux françaises, où elle a été introduite accidentellement à partir de piscicultures, notamment en 1999 dans la Gironde (Brosse 2003). Toutefois, elle ne semble pas se reproduire dans les rivières françaises qui seraient trop chaudes : elle ne fraie qu'à des températures comprises entre 9 et 18°C (Kottelat & Freyhof 2007). Ces températures se rencontrent dans les rivières de France, mais pas pendant la période de reproduction.

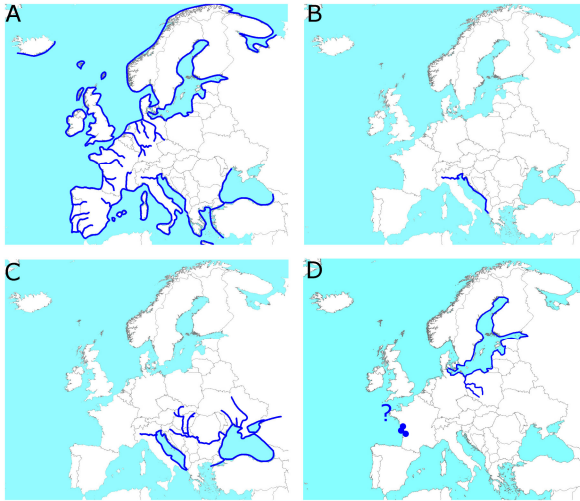


Figure 3 — Répartitions historiques des différentes espèces d'Esturgeons ayant été naturellement en contact avec des populations de Grandes Mulettes. **A.** Esturgeon européen ; **B.** Esturgeon de l'Adriatique ; **C.** Béluga ; **D.** Esturgeon de l'Atlantique. Pour cette dernière espèce, les points bleus indiquent la position des sites archéologiques analysés par Desse-Berset (2009). La répartition historique exacte et la date de disparition de cette espèce en Europe restent mal connues.

Restent donc trois espèces d'Esturgeons présents historiquement, au moins en partie, sur l'aire de répartition de la Grande Mulette (Figure 3), en plus de l'Esturgeon européen.

L'Esturgeon de l'Adriatique *A. naccarii* frayait dans les fleuves de l'Adriatique et aurait également colonisé quelques fleuves de Méditerranée occidentale et de l'Atlantique (Hernando *et al.* 1999, De la Herran *et al.* 2004). Dans le Pô, les Esturgeons de l'Adriatique ont été réintroduits avec succès (Arlati *et al.* 2001). L'Esturgeon de l'Adriatique pourrait donc être un hôte intermédiaire pour les populations méditerranéennes. Toutefois, sa présence à l'Ouest de la péninsule italienne n'est pas prouvée. Bien qu'il ait été suspecté dans le Rhône (Brosse *et al.* 2005), il semble aujourd'hui de plus en plus probable que seul l'Esturgeon européen ait frayé dans le plus grand fleuve méditerranéen français (Desse-Berset *et al.* 2008, Brosse *et al.* 2009, Pagès *et al.* 2009). En conclusion, d'une part, l'indigénat de l'Esturgeon de l'Adriatique dans l'Atlantique est douteux et, d'autre part, son statut actuel de conservation le rapproche de l'Esturgeon européen et il est peu probable que l'on parvienne à le réintroduire avec succès dans les délais très courts qui nous séparent de l'extinction des Grandes Mulettes.

Bien que l'extension vers l'Ouest de l'aire de répartition du Béluga *Huso huso* soit discutée (Hernando *et al.* 1999), il cohabitait au moins dans le Pô avec la Grande Mulette. Mais l'aire de répartition du Béluga ne recouvre pas celle des Grandes Mulettes atlantiques. De plus, le Beluga figure parmi les espèces les plus menacées d'extinction, donc la faisabilité de sa réintroduction en vue de sauvegarder les dernières Grandes Mulettes est compromise.

L'Esturgeon de l'Atlantique *A. oxyrinchus* est une espèce américaine, mais qui fut présente en Europe. En effet, des études récentes (Ludwig *et al.* 2008) ont montré que les dernières populations de la Baltique étaient des *A. oxyrinchus*, et non des *A. sturio* comme on le pensait précédemment. *A. oxyrinchus* aurait colonisé la Baltique il y a environ 1 200 ans, remplaçant progressivement *A. sturio*, avant d'être exterminé par la surpêche à partir des années 1960. Les derniers individus furent pêchés en 1996 au large de l'Estonie et en 2005 sur les côtes du Pays de Galles (Kottelat & Freyhof 2007). La découverte de la présence passée d'*A. oxyrinchus* justifie selon ces auteurs la mise en place d'un programme de réintroduction (Ludwig *et al.* 2002). Un projet allemand a alors vu le jour dans l'Oder, entre l'Allemagne et la Pologne (Figure 4). Desse-Berset (2009) a pu récemment montrer que l'Esturgeon de l'Atlantique était également présent en France au moins jusqu'à 200 ans après Jésus-Christ, entre la Rochelle et l'embouchure de la Garonne. Les deux espèces ont donc coexisté dans la même région géographique dans un passé proche. Bien que le rôle de poisson-hôte de l'Esturgeon de l'Atlantique pour la Grande Mulette reste à tester, le succès est hautement probable : trois espèces du genre ont pu héberger les glochidies de Grandes Mulettes (Araujo & Ramos 2001, Araujo *et al.* 2004, Lopez *et al.* 2007) ; l'Esturgeon de l'Atlantique est l'espèce la plus proche aux niveaux morphologique, cytogénétique (Fontana *et al.* 2008) et phylogénétique (Birstein & Doukakis, 2000, Peng *et al.* 2007) au point que son statut d'espèce distincte reste discuté (Artyukhin & Vecsei 2007). L'Esturgeon de l'Atlantique est la seule espèce d'acipenserid qui ne soit pas menacée d'extinction (IUCN 2009). Cette espèce survit par dizaines de milliers en Amérique du Nord. Sa valence écologique lui permettrait de survivre dans les fleuves et rivières abritant la Grande Mulette, au moins sur la façade atlantique. De nombreux programmes sont déjà en cours pour la restauration de ses populations (U.S. Fish and Wildlife Service & Gulf States Marine Fisheries Commission, 1995, Richardson *et al.* 2006) et son élevage est bien documenté (ex. Mohler 2004).

Les autres espèces d'Esturgeons, pouvant être des poissons-hôtes pour la Grande Mulette, ne recouvrent pas son aire de répartition historique et seraient donc à introduire, avec tous les aléas que cela comporte (acclimatation, compétition avec *A. sturio*, impact sur le milieu etc.). On sait aujourd'hui que l'Esturgeon de l'Atlantique a vécu en France au moins jusqu'au deuxième siècle en compagnie de l'Esturgeon européen. Sa présence historique dans les eaux françaises, à une époque où la nature avait peu souffert des impacts humains, garantit que son retour n'aura pas d'impact négatif sur l'environnement.

L'Esturgeon de l'Atlantique, qui a déjà pu être l'un des hôtes de la Grande Mulette, est donc un candidat idéal dans le cadre d'un programme de sauvegarde des dernières populations de Grande Mulette sur le bassin versant atlantique.

Réintroduction de l'Esturgeon de l'Atlantique : quels risques pour l'Esturgeon européen ?

Les éventuels risques de la réintroduction sont l'introgression et la compétition interspécifique. Ces deux risques doivent être étudiés en fonction des connaissances disponibles sur les deux espèces. Le débat sur le risque d'introgression, qui conduit au remplacement progressif d'une espèce par une autre suite à l'hybridation, a été soulevé par Tiedemann *et al.* (2007). Les résultats de cette étude sur l'ADN mitochondrial semblaient montrer que ce processus aurait conduit au remplacement des populations d'Esturgeon européen par celles d'Esturgeons de l'Atlantique dans la Baltique. Se basant sur ces résultats, Kirschbaum *et al.* (2009) mettent en doute la pertinence des projets de réintroduction d'Esturgeons de l'Atlantique en Europe. Toutefois, la validité de ces résultats est aujourd'hui remise en question (Gessner, *com. pers.*), notamment par les découvertes récentes montrant que les deux espèces ont bien vécu en sympatrie par le passé. Le programme de réintroduction de l'Esturgeon de l'Atlantique dans l'Oder se poursuit donc actuellement, en parallèle avec un programme de réintroduction de l'Esturgeon européen dans l'Elbe, initié en 2008.

Concernant le risque de compétition interspécifique, dans la Gironde, « plusieurs tonnes d'Esturgeons sibériens » ont été introduites accidentellement en 1999 (Brosse 2003). Brosse (2003) considère « qu'une compétition trophique est possible entre les juvéniles d'*A. sturio* et les juvéniles d'*A. baerii* dans la partie amont de l'estuaire de la Gironde ».

Dans la Baltique, Ludwig *et al.* (2008) montrent que *A. oxyrinchus* a progressivement remplacé *A. sturio* après la fondation de sa population il y a 1 200 ans. Les derniers *A. sturio* auraient disparu il y a 800 ans. Mais c'est le changement climatique, avec le « petit âge glaciaire », qui serait responsable de la disparition de *A. sturio*. En effet, *A. sturio* a besoin pour frayer d'eaux plus chaudes (>20°C) alors que *A. oxyrinchus* peut frayer dans des eaux entre 13 et 26°C. Ils ne considèrent donc pas qu'un phénomène de compétition ait pu éradiquer *A. sturio* de la Baltique. De nombreux fleuves ont hébergé par le passé plusieurs espèces d'Esturgeons. L'Esturgeon européen cohabitait dans le Pô avec *A. naccarii* et *H. huso*. Il a également cohabité avec cinq espèces d'Esturgeons dans le Danube (Bloesch *et al.* 2006, Tableau 1). La compétition interspécifique, si elle a existé, n'a donc pas exclu *A. sturio*. Enfin, la découverte récente de restes fossiles attribuables à *A. oxyrinchus* sur la façade Atlantique française (Desse-Berset 2009) montre que les deux espèces y ont cohabité par le passé.



Figure 4 — Un jeune Esturgeon de l'Atlantique, près d'être relâché dans l'Oder (© B. Midgalska 2007). Cette espèce est indifférentiable morphologiquement de l'Esturgeon européen.

Cependant, le principe de précaution voudrait que l'on ménage les dernières populations de *A. sturio* de la Gironde. La Gironde pourrait rester un sanctuaire dédié à *A. sturio* si une réintroduction de *A. oxyrinchus* se faisait dans d'autres systèmes, par exemple la Loire, où des populations de Grande Mulettes subsistent sur la Vienne, avec une transparence migratoire totale permettant un lien à la mer (Cochet 2007). Le phénomène de « homing » assez prononcé chez *A. oxyrinchus* (Stabile *et al.* 1996, Waldman & Wirgin 1998) comme chez *A. sturio* (Kirschbaum & Gessner 2000) permettrait de séparer géographiquement les deux espèces pour les sites de reproduction.

Prédation, impact sur le milieu

On peut se poser la question de l'impact sur le milieu du retour du plus gros poisson que les eaux douces françaises aient jamais hébergé. *A. oxyrinchus*, comme *A. sturio*, se nourrit principalement d'invertébrés prélevés dans le sédiment, au niveau des estuaires (Brosse *et al.* 2000, Brosse 2003, Mohler 2004). Dans le Golfe du Mexique, excepté pendant leur première année, les Esturgeons ne se nourrissent généralement pas en rivière. Leur impact sur la ressource des écosystèmes dulçaquicoles est donc négligeable. En revanche, les quelques 200 000 à 500 000 œufs déposés par chaque femelle sont une source de nourriture non négligeable pour les poissons et les larves d'insectes aquatiques (Sulak & Randall 2008).

Conclusion

Les Grandes Mulettes du bassin méditerranéen peuvent bénéficier de la présence de la blennie fluviatile pour se reproduire. Toutefois, on constate que leur disparition a été très rapide et il n'est pas sûr que ce poisson permette effectivement leur préservation à long terme. Les Grandes Mulettes du bassin versant Atlantique, en revanche, semblent aujourd'hui orphelines. Nous considérons ici que la disparition de l'Esturgeon européen, poisson-hôte de la Grande Mulette, a entraîné un phénomène d'extinction en cascade. La perte de fonctionnalité de l'écosystème aurait induit une perte de biodiversité. Nous proposons la réintroduction de l'Esturgeon de l'Atlantique, (i) pour restaurer la biodiversité originelle, (ii) pour sauver les Grandes Mulettes du bassin versant atlantique de l'extinction. Un programme de réintroduction de l'Esturgeon de l'Atlantique en France serait relativement aisé à mettre en œuvre en s'appuyant d'une part, sur les stocks importants présents aux Etats-Unis (Waldman 1998, USFS 2009), d'autre part sur les expérimentations en cours en Europe et enfin sur les connaissances acquises sur son élevage en conditions artificielles (Richardson 2006). Enfin, nous pensons proposer une approche novatrice. En effet, en rassemblant les données de l'archéozoologie et de la biologie de la conservation, il apparaît possible de rétablir des écosystèmes pleins, avec toutes leurs composantes, et notamment les espèces « clef de voûte », afin de garantir le retour à une fonctionnalité totale.

Remerciements — Jean ALLARDI a relu et apporté des commentaires constructifs à une version préliminaire du manuscrit.

Références

- Altaba, C. R. 1990. The Last Known Population of the Freshwater Mussel *Margaritifera auricularia* (Bivalvia, Unionoidea): A Conservation Priority. *Biological Conservation*, 52 : 271-286.
- Altaba, C. R., Lopez, M. A. & Montserrat, S. 2001. Giant pearl mussel's last chance. in: Bauer, G. [Ed] *Die Flussperlmuschel in Europa: Bestandssituation und Schutzmaßnahmen. Ergebnisse des Kongresses vom 16-18.19.2000*. Albert-Ludwigs-Universität Freiburg & Wasserwirtschaftamt Hof., Freiburg : 224-229.
- Araujo, R. & M. A. Ramos 2001. Life-history data on the virtually unknown *Margaritifera auricularia* in G. Bauer & K. Wächtler. *Ecology and evolution of the freshwater mussels Unionoidea*. Berlin, Heidelberg, Springer-Verlag : 143-152.
- Araujo, R. 2004. Two overlooked host fish species of *Margaritifera auricularia* (Bivalvia, Unionoidea, Margaritiferidae). *Basteria*, 67 (4-6) : 113.
- Araujo, R., Bragado, D. & Ramos, M. A. 2001. Identification of the river blenny, *Salarias fluviatilis*, as a host to the glochidia of *Margaritifera auricularia*. *Journal of Molluscan Studies*, 67 : 128-129.
- Araujo, R., Quirós, M. & Ramos, M. A. 2003. Laboratory propagation and culture of juveniles of the endangered freshwater mussel *Margaritifera auricularia* (Spengler, 1793). *Journal of Conchology*, 38 (1) : 53-61.
- Araujo, R. & Ramos, M. A. 1998a. Description of the glochidium of *Margaritifera auricularia* (Spengler 1793) (Bivalvia, Unionoidea). *Royal Society Philosophical Transactions Biological Sciences*, 353 (1375) : 1553-1559.
- Araujo, R. & Ramos, M. A. 1998b. *Margaritifera auricularia* (Unionoidea, Margaritiferidae), the giant freshwater pearl mussel rediscovered in Spain. *Graellsia*, 54 : 129-130.
- Arlati, G., Poliakova, L. & Granata, A. 2001. Experience over the ichthyofaunal restocking of the autochthonous sturgeon cobice (*Acipenser naccarii*) in the Lombardia Region waters. In: 4th International Symposium on Sturgeon, Oshkosh, WI. Poster.
- Artyukhin, E. & Vecsei, P. 2007. On the status of Atlantic sturgeon: conspecificity of European *Acipenser sturio* and North American *Acipenser oxyrinchus*. *Journal of applied ichthyology*, 15 (4-5) : 35-37.
- Barlow, C. C. 2000. *The ghosts of evolution: nonsensical fruits, missing partners and other ecological anachronisms*. Basic New York : 291 pp.
- Billard, R. 1997. *Les Poissons d'eau douce des rivières de France*. Delachaux et Niestlé, Lausanne : 192 pp.
- Birstein, V. J. 1993. Sturgeons and paddlefishes: threatened fishes in need of conservation. *Conservation Biology*, 7 (4) : 774-787.
- Birstein, V. J., Bemis, W. E. & Waldman, J. R. 1995. The threatened status of acipenseriform fishes: a summary. in: V.J. Birstein, W.E.B.R.W. [Ed] *Sturgeon Biodiversity and Conservation*. Kluwer Academic Publishers, Dordrecht, Boston, London : 427-435.
- Birstein, V. J., Bemis, W. E. & Waldman, J. R. 1997. The threatened status of acipenseriform species: a summary. *Environmental Biology of Fishes*, 48 : 427-435.
- Birstein, V. J. & Doukakis, P. 2000. Molecular analysis of *Acipenser sturio* L., 1758 and *Acipenser oxyrinchus* Mitchell, 1815: A review. *Bolín Instituto Español de Oceanografía*, 16 (1-4) : 61-73.
- Bloesch, J., T. Jones, Reinartz, R. & Striebel, B. 2006. An action plan for the conservation of sturgeons (acipenseridae) in the Danube River Basin. *Österreichische Wasser- und Abfallwirtschaft*, 58 (5-6) : 81-88.
- Boisset L. 1948. *Poissons des rivières de France*. Librairie des Champs-Élysées éditions, Paris : 148 pp.
- Borer, E. T., Seabloom, E. W., Shurin, J. B., Anderson, K. E., Blanchette, C. A., Broitman, B., Cooper, S. D. & Al., E. 2005. What determines the strength of a trophic cascade? *Ecology*, 86 : 528-537.
- Brosse, L., É. Rochard, P. Dumont & M. Lepage 2000. Premiers résultats sur l'alimentation de l'Esturgeon européen, *Acipenser sturio*, dans l'estuaire de la Gironde. Comparaison avec la faune benthique. *Cybium*, 24 (3) : 49-61.
- Brosse, L. 2003. Caractérisation des habitats des juvéniles d'Esturgeon européen, *Acipenser sturio*, dans l'estuaire de la Gironde : Relations trophiques, hiérarchisation et vulnérabilité des habitats. U.F.R. Sciences de la vie et de la terre. Cestas, Université Paul Sabatier : 262 pp.
- Brosse, L., Berrebi, P., Desse-Berset, N. & Lepage, M. 2009. Sturgeon Recovery Plan in the Rhône River (France). Preliminary Results on Species Determination and Habitat Suitability. in: Netherlands, S. [Ed] *Biology, Conservation and Sustainable Development of Sturgeons*. Ramón Carmona, Alberto Domezain, Manuel García-Gallego, José Antonio Hernando, Fernando Rodríguez, Manuel Ruiz-Rejón, 29 : 403-421.
- Brosse, L., Desse-Berset, N., Berrebi, P., Lepage, M. & Menella, J.-Y. 2005. Étude de la faisabilité de la réintroduction de l'Esturgeon dans le bassin du Rhône. Rapport d'étape Phase I Arles, Association Migrateurs-Rhône-Méditerranée : 46 pp.
- Bruch, R. M. 1999. Management of lake sturgeon on the Winnebago System - long term impacts of harvest and regulations on population structure. *Journal of Applied Ichthyology-Zeitschrift Fur Angewandte Ichthyologie*, 15 (4-5) : 142-152.
- Clout, M. 1995. Introduced Species: The Greatest Threat to Global Biodiversity. *Species*, 24 : 34-36.
- Cochet, G. 2001. Redécouverte d'une population vivante de la Grande Mulette, *Margaritifera auricularia*, sur la Vienne et la Creuse. *Recherches Naturalistes en Région Centre*, 10 : 3-16.
- Cochet, G. 2004. *La Moule perlière et les náyades de France. Histoire d'une sauvegarde*. Catiche production, Nohanent : 32 pp.
- Cochet, G. 2007. Barrage effacé... Biodiversité retrouvée. *Le courrier de la Nature*, 232 : 29-34.
- Cochet, G. 2010. *Fleuves et rivières sauvages au fil des réserves naturelles de France*. Delachaux & Niestlé, Paris : 192 pp.
- Darlet, M. & Prioux, G. 1950. L'Esturgeon et le caviar français. *Bulletin Français de Pisciculture*. 158 : 5-13.
- Davis, W., Christian, A. & Berg, D. 2000. Nitrogen and phosphorus cycling by freshwater mussels in a headwater stream ecosystem. in: Tankersley, R.A., Warmolts, D.L., Watters, G.T., Armitage, B.J., Johnson, P.D. & Butler, R.S. [Eds]. *Freshwater Mollusk Symposium Proceedings, Part II*. Ohio Biological Survey Special Publication, Columbus : 141-151.
- De La Herran, R., Robles, F., Martínez-Espin, E., Lorente, J. A., Rejon, C. R., Garrido-Ramos, M. A. & Rejon, M. R. 2004. Genetic identification of western Mediterranean sturgeon and its implication of conservation. *Conservation Genetics*, 5 : 545-551.
- Desse-Berset, N. 2009. First archaeozoological identification of Atlantic sturgeon (*Acipenser oxyrinchus* Mitchell 1815) in France. *Comptes Rendus Palevol*, 8 (8) : 717-724.

- Desse-Berset, N., Pagès, M., Brosse, L., Tougard, C., Chassaing, O., Hänni, C. & Al., E. 2008. Specific identification of the extinct population of sturgeon from the Rhône River by mtDNA analysis from bone remains (Jardin d'Hiver, Arles, France, 6th to 2nd century BC). in: P. Béarez, S.G., B. Clavel [Ed] *Archéologie du poisson. Trente ans d'archéo-ichtyologie au CNRS, Hommage aux travaux de Jean Desse et Nathalie Desse-Berset. XVIIIe rencontres internationales d'archéologie et d'histoire*, Antibes: 195-200.
- Devin, S., Beisel, J.-N., Usseglio-Polatera, P. & Moreteau, J.-C. 2005. Changes in functional biodiversity in an invaded freshwater ecosystem: the Moselle River. *Hydrobiologia*, 542 (1) : 113-120.
- Donlan, C. J., Berger, J., Bock, C. E., Bock, J. H., Burney, D. A., Estes, J. A., Foreman, D., Martin, P. S., Roemer, G. W., Smith, F. A., Soulé, M. E. & Greene, H. W. 2006. Pleistocene Rewilding: An optimistic agenda for twenty-first century conservation. *The American Naturalist*, 168 (5) : 661-681.
- Donlan, C. J., Greene, H. W., Berger, J., Bock, C. E., Bock, J. H., Burney, D. A., Estes, J. A., Foreman, D., Martin, P. S., Roemer, G. W., Smith, F. A. & Soulé, M. E. 2005. Re-wilding North America. *Nature*, 436 : 913-914.
- Duke, S., Anders, P., Ennis, G., Hallock, R., Hammond, J., Ireland, S., Lauffle, J., Lauzier, R., Lockhard, L., Marotz, B., Paragamian, V. L. & Westerhof, R. 1999. Recovery plan for Kootenai River white sturgeon (*Acipenser transmontanus*). *Journal of Applied Ichthyology-Zeitschrift Fur Angewandte Ichthyologie*, 15 (4-5) : 157-163.
- Elliott, P., Aldridge, D. C. & Moggridge, G. D. 2008. Zebra mussel filtration and its potential uses in industrial water treatment. *Water research*, 42 : 1664-1674.
- Fontana, F., Lanfredi, M., Kirschbaum, F., Garrido-Ramos, M. A., Robles, F., Forlani, A. & Congiu, L. 2008. Comparison of karyotypes of *Acipenser oxyrinchus* and *A. sturio* by chromosome banding and fluorescent *in situ* hybridization. *Genetica*, 132 : 281-286.
- Foreman, D. 2004. *Rewilding North America: A vision for conservation in the 21st Century*. Island Press, Washington, Covelo, London : 295 pp.
- Hastie, L. C. & Young, M. R. 2001. Freshwater pearl mussel (*Margaritifera margaritifera*) glochidiosis in wild and farmed salmonid stocks in Scotland. *Hydrobiologia*, 445 : 109-119.
- Hernando, J. A., Vasileva, E. D., Arlati, J., Vasilev V. P., Santiago J. A., Belysheva-Polyakova L., Domezain, A. & Soriguer, M. C. 1999. New evidence for a wider historical area of two species of European sturgeons: *Acipenser naccarii* and *Huso huso* (Acipenseridae). *Journal of Ichthyology*, 39 (9) : 841-845.
- Howard, J. K. & Cuffey, K. M. 2006. The functional role of native freshwater mussels in the fluvial benthic environment. *Freshwater Biology*, 51 : 460-474.
- IUCN 1996. *1996 Red List of Threatened Animals*. IUCN, Gland Switzerland : 368 pp.
- IUCN 1998. Guidelines for re-introduction. Group, I.S.R.-I.S. Gland, Switzerland & Cambridge, UK : 10 pp.
- IUCN 2009. IUCN Red List of Threatened Species. Version 2010.1. <www.iucnredlist.org>, consulté le 03 février 2010.
- Janzen, D. H. & Martin, P. S. 1982. Neotropical anachronisms: the fruits the Gomphoteres ate. *Science*, 215 : 19-27.
- Keith, P. & Allardi, J. 2001. Atlas des poissons d'eau douce de France. *Patrimoines Naturels*, 47 : 1-387.
- Kirschbaum, F. & Gessner, J. 2000. Re-establishment program for *Acipenser sturio* L. 1758: the German approach. *Boletín Instituto Espanol de Oceanografía*, 16 : 149-156.
- Kirschbaum, F., Wuertz, S., Williot, P., Tiedemann, R., Gerd-Michael, A., Anders, E., Krüger, A., Bartel, R. & Gessner, J. 2009. Prerequisites for the Restoration of the European Atlantic Sturgeon, *Acipenser sturio* and the Baltic Sturgeon (*A. oxyrinchus* x *A. sturio*) in Germany. in: Ramón Carmona, A.D., Manuel García-Gallego, José Antonio Hernando, Fernando Rodríguez, Manuel Ruiz-Rejón [Ed] *Biology, Conservation and Sustainable Development of Sturgeons*. Springer Netherlands, 29 : 385-401.
- Koh, L. P., Dunn, R. R., Sodhi, N. S., Colwell, R. K., Proctor, H. C. & Smith, V. S. 2004a. Species Coextinctions and the Biodiversity Crisis. *Science*, 305 (5690) : 1632-1634.
- Koh, L. P., Sodhi, N. S. & Brook, B. W. 2004b. Co-Extinctions of Tropical Butterflies and their Hostplants. *Biotropica*, 36 (2) : 272-274.
- Kottelat, M. & Freyhof, J. 2007. *Handbook of european freshwater fishes*. Berlin : 646 pp.
- Lamont, B. B. & Klinkhamer, P. G. L. 1993. Population size and viability. *Nature*, 362 : 211.
- Lara, G., Contreras, A. & Encina, F. 2000. La almeja de agua dulce *Diplodon chilensis* (Bivalvia : Hyriidae) potencial biofiltro para disminuir los niveles de coliformes en pozos. Experimento de laboratorio. *Gayana (Concepc.)*, 66 (2) : 113-118.
- Lochet, A., Lambert, P., Lepage, M. & Rochard, É. 2004. Croissance de juvéniles d'Esturgeons européens *Acipenser sturio* (Acipenseridae) sauvages et issus d'alevinage, durant leur séjour dans l'estuaire de la Gironde (France). *Cybius*, 28 (1 suppl.) : 91-98.
- Lopez, M. A., Altaba, C. R., Rouault, T. & Gisbert, E. 2007. The European sturgeon *Acipenser sturio* is a suitable host for the glochidia of the freshwater pearl mussel *Margaritifera auricularia*. *Journal of Molluscan Studies*, 73 : 207-209.
- Ludwig, A., Arndt, U., Lippold, S., Benecke, N., Debus, L., King, T. L. & Matsumura, S. 2008. Tracing the first steps of American sturgeon pioneers in Europe. *BMC evolutionary Biology*, 8 : 221.
- Ludwig, A., Debus, L., Lieckfeldt, D., Wirgin, I., Benecke, N., Jenneckens, I., Williot, P., Waldman, J. & Pitra, C. 2002. When the American sea sturgeon swam east. *Nature*, 419 : 447-448.
- Magnin, E. 1959. Répartition actuelle des acipenseridés. *Revue des Travaux de l'Institut scientifique des Pêches maritimes*, 23 (3) : 277-285.
- Mcdowall, R. M. 1987. The occurrence and distribution of diadromy among fishes. *American Fishery Society Symposium*, 1 : 286-297.
- Mcivor, A. L. 2004. Freshwater mussels as biofilters. Pembroke college. Cambridge, University of Cambridge : 142 pp.
- Mohler, J.W. 2004. Culture manual for the Atlantic sturgeon *Acipenser oxyrinchus oxyrinchus*. U.S. Fish and Wildlife Service : 70 pp.
- Muus, B. J. 1999 *Freshwater fish*. Scandinavian Fishing Year Book Hedehusene, Denmark : 224 pp.
- Muus, B. J. & Dahlström, P. 1968 *Süßwasserfische*. BLV Verlagsgesellschaft, München : 224 pp.
- Neves, R. J. 2004. Propagation of endangered freshwater mussels in North America. *Journal of Conchology, special publication*, 3 : 69-80.
- Olivieri, I. & Vitalis, R. 2001. La Biologie des extinctions. *médecine/sciences*, 17 (1) : 63-69.
- Pagès, M., Desse-Berset, N., Tougard, C., Brosse, L., Hänni, C. & Berrebi, P. 2009. Historical presence of the sturgeon *Acipenser sturio* in the Rhône basin determined by the analysis of ancient DNA cytochrome b sequences. *Conservation Genetics*, 10 : 217-224.
- Peng, Z., Ludwig, A., Wang, D., Diogo, R., Weic, Q. & He, S. 2007. Age and biogeography of major clades in sturgeons and paddlefishes (Pisces: Acipenseriformes). *Molecular Phylogenetics and Evolution*, 42 (3) : 854-862.
- Phelps, H. L. 1994. The asiatic clam (*Corbicula fluminea*) invasion and system-level ecological change in the Potomac River Estuary near Washington, D.C. *Estuaries*, 17 : 614-621.

- Prié, V., Cochet, G. & Philippe, L. 2008a. La Grande Mulette *Margaritifera auricularia* dans l'Oise - Chronique d'une mort annoncée. *Le Courrier de la Nature*, 239 : 20-24.
- Prié, V., Cochet, G., Philippe, L., Rethoret, H. & Filali, R. 2008b. Une population majeure de la très rare Grande Mulette *Margaritifera auricularia* (Spengler 1793) (Bivalvia : Margaritiferidae) dans le fleuve Charente (France). *MalaCo*, 5 : 230-239.
- Richardson, B., Stence, C., Baldwin, M. & Mason, C. 2006. Development of a captive brood stock program for Atlantic sturgeon (*Acipenser oxyrinchus*) in Maryland. 2006 Progress Report for U.S. Fish & Wildlife Service State Wildlife Grant Funding, T-3. Funding, U.S.F.W.S.S.W.G. Annapolis, Maryland, Maryland Department of Natural Resources : 40 pp.
- Rochard, E., Castelnaud, G. & Lepage, M. 1990. Sturgeon (Pisces: Acipenseridae); threats and prospects. *Journal of Fish Biology*, 37 (Suppl. A) : 123-132.
- Rochard, E., Lepage, M., Dumont, P., Tremblay, S. & Gazeau, C. 2001. Downstream Migration of Juvenile European Sturgeon *Acipenser sturio* L. in the Gironde Estuary. *Estuaries*, 24 (1) : 108-115.
- Rosenthal, H. 2004. Projet Sturio : vers un Plan d'Action Européen pour la conservation de l'Esturgeon. WWF. Neu Wulmstorf : 5 pp.
- Soto, D. & Mena, G. 1999. Filter feeding by the freshwater mussel *Diplodon chilensis* as a biocontrol of salmon farming eutrophication. *Aquaculture*, 171 : 65-81.
- Soulé, M. E., Estes, J. A., Berger, J. & Rio, C. M. D. 2003. Ecological effectiveness: conservation goal for interactive species. *Conservation Biology*, 17 : 1238-1250.
- Soulé, M. E., Estes, J. A., Miller, B. & Honnold, D. L. 2005. Strongly interactive species: conservation policy, management and ethics. *BioScience*, 55 : 168-176.
- Stabile, J., Waldman, J. R., Parauka, F. & Wirgin, I. 1996. Stock Structure and Homing Fidelity in Gulf of Mexico Sturgeon (*Acipenser oxyrinchus desotoi*) Based on Restriction Fragment Length Polymorphism and Sequence Analyses of Mitochondrial DNA. *Genetics*, 144 : 767-775.
- Sulak, K. J. & Randall, M. 2008. The Gulf Sturgeon in the Suwanee river: Questions and answers. Interior, U.S. Department of the Interior, U.S. Geological Survey. 72 : 11 pp.
- Tiedemann, R., Information, C., Moll, K., Paulus, K. B., Scheer, M., Williot, P., Bartel, R., Gessner, J. & Kirschbaum, F. 2007. Atlantic sturgeons (*Acipenser sturio*, *Acipenser oxyrinchus*): American females successful in Europe. *Naturwissenschaften*, 94 (3) : 213-217.
- U.S. Fish and Wildlife Service (USFWS) & Gulf States Marine Fisheries Commission. 1995. Gulf sturgeon recovery plan. U.S. Fish and Wildlife Service and Gulf States Marine Fisheries Commission, Atlanta : 186 pp.
- U.S. Fish and Wildlife Service (USFWS) 2009. Gulf Sturgeon (*Acipenser oxyrinchus desotoi*). 5-Year Review: Summary and Evaluation. Services, U.S.F.A.W. Panama city, St. Petersburg, Florida, U.S. Fish and Wildlife Service, National Marine Fisheries Service : 49 pp.
- Wakeford, A. 2001. State of Florida conservation plan for Gulf sturgeon (*Acipenser oxyrinchus desotoi*). Florida Marine Research Institute : 100 pp.
- Waldman, J. R. & Wirgin, I. I. 1998. Status and Restoration Options for Atlantic Sturgeon in North America. *Conservation Biology*, 12 (3) : 631-638.
- Wilcox, B. A. & Murphy, D. D. 1985. Conservation strategy: the effects of fragmentation on extinction. *American Naturalist*, 125 : 879-887.
- Williot, P., Rochard, E., Rouault, T. & Kirschbaum, F. 2009. *Acipenser sturio* Recovery Research Actions in France, In: R. Carmona, et al. in: Ramón Carmona, A.D., Manuel García-Gallego, José Antonio Hernando, Fernando Rodríguez, Manuel Ruiz-Rejón [Ed] *Biology, Conservation and Sustainable Development of Sturgeons*. Springer Netherlands : 247-263.

Soumis le 27 janvier 2010 ;

Accepté le 28 mars 2010.