

ESSAI D'ÉVALUATION DU STOCK DE GÉNITEURS D'ALOSE ALOSA ALOSA DU BASSIN VERSANT GIRONDE-GARONNE-DORDOGNE SUR LA PERIODE 1987-2001 ET COMPARAISON DE DIFFERENTS INDICATEURS D'ABONDANCE

**M. CHANSEAU (1), G. CASTELNAUD(2), L. CARRY(1),
D. MARTIN-VANDEMBULCKE(2), A. BELAUD(3)**

(1) MI.GA.DO., 18 ter, rue de la Garonne – BP 95 – 47520 Le Passage

(2) CEMAGREF, Unité RAC, 50 avenue de Verdun, 33612 Cestas cedex.

(3) ENSAT, BP 107, avenue de l'Agrobiopole, 31326 Castanet Tolosan cedex.

Reçu le 9 juillet 2004

Accepté le 8 novembre 2004

Received July 9, 2004

Accepted November 8, 2004

RÉSUMÉ

Trois outils de suivi et de mesure que sont la pêcherie aux filets et aux engins, les passes à poissons équipant les ouvrages hydroélectriques de Golfech (Garonne) et de Tuilières (Dordogne) et les frayères situées à l'aval de ces obstacles, ont permis d'estimer le stock total d'alose vraie dans le bassin de la Garonne. De 1987 à 2001, près de 7 600 000 géniteurs sont remontés sur le bassin de la Garonne, soit une moyenne annuelle de près de 505 000 individus. Une augmentation brutale de l'abondance est apparue sur le bassin en 1994, alors que la mortalité par la pêcherie est forte (61 % en moyenne par an) et stable. Cette augmentation peut être mise en relation avec le rétablissement de la libre circulation sur les deux axes Garonne et Dordogne à la fin des années 1980 et avec le cycle biologique de l'espèce, la majorité des géniteurs remontant en eau continentale à l'âge de 5 ans. La population semble s'être toutefois stabilisée sur la période 1994-2001, ne révélant aucune tendance statistiquement significative. Si l'on prend en compte les années 2002 et 2003, pour lesquelles les données concernant le stock reproducteur sont disponibles, il apparaît que la population présente globalement depuis 1994 une tendance descendante statistiquement significative. Il convient donc de surveiller la population, l'activité de reproduction et son efficacité afin de maintenir un niveau d'abondance de cette espèce compatible avec la pression de pêche qui, globalement, ne diminue pas.

Sur la période d'étude, plus de 63 % en moyenne des aloses s'engagent chaque année sur le cours d'eau Garonne sur la période d'étude. Ce résultat peut être rapproché des débits nettement plus importants en Garonne qu'en Dordogne durant la période de migration. Aucune influence des débits des deux cours d'eau n'a cependant pu être mise en évidence sur la répartition des géniteurs entre les axes migratoires. Des mesures de la température de l'eau au niveau de la confluence Garonne-Dordogne seraient fort utiles et permettraient d'appréhender plus précisément l'influence des facteurs environnementaux sur cette répartition.

Une augmentation de la proportion de poissons empruntant le cours d'eau Dordogne semble se dessiner ces dernières années puisque 44 % en moyenne des géniteurs sont remontés sur cet axe sur la période 1993-2001 contre 25 % en moyenne sur la période 1987-1992.

Le stock reproducteur (stations de contrôle + frayères) paraît être globalement un bon indicateur d'abondance de l'alose vraie sur le bassin en raison notamment de la relative stabilité des mortalités par pêche sur la période d'étude. Les CPUE issues du suivi de la pêcherie sont significativement reliées au stock total ainsi qu'aux effectifs estimés remontant sur les deux axes migratoires, indiquant qu'elles sont également un bon indicateur de l'abondance de l'alose. Elles ne sont toutefois pas à même de réellement refléter l'état du stock reproducteur et son évolution, bases de gestion de la population.

Mots-clés : *Alosa alosa*, Gironde, Garonne, Dordogne, pêcherie, station de contrôle, frayère, stock, abondance.

EVALUATION OF THE POPULATION OF *ALOSA ALOSA* OF THE SYSTEM GIRONDE-GARONNE-DORDOGNE DURING THE 1987-2001 PERIOD AND COMPARISON OF DIFFERENT ABUNDANCE INDICATORS

ABSTRACT

Three monitoring tools, the fishery using drift net, the fish pass of Golfech (Garonne) and Tuileries (Dordogne) hydroelectric powerplants located on the middle parts of the basin and the spawning areas located downstream from these obstacles have permitted to estimate the stock of *Alosa alosa* of the Garonne basin. From 1987 to 2001, 7 600 000 shads migrated on the Garonne basin, *i.e.* 505 000 fish per year. The jump of the abundance of *Alosa alosa* observed in 1994, despite the important (annual mean of 61%) and stable fishery mortality, can be related to the construction of fish pass at the end of the 80's and to the biological cycle of shad, most of fish returning in rivers after 5 years spent in ocean. However, the population seems to be stable over the period 1994-2001. If the reproductive stocks of 2002 and 2003 is taken into account, the stock show a decreasing tendency over the period 1994-2003. Thus, it appears necessary to look after the population, the reproduction activity and efficiency to ensure an abundance level compatible with a relative stable fishing mortality.

On the study period, more than 63% of shad migrate each year on the Garonne river. This result can be related to the higher flows in this river than in the Dordogne River during the migratory period. However, flows in Garonne and Dordogne seem to have no influence on the repartition of fish on the two axes. Water temperature monitoring at the confluence of the rivers should be useful to study more precisely the influence of environmental factors on this repartition. The proportion of shads migrating on the Dordogne river increases during the study period: 25% of fish migrate on the Dordogne river before 1993 vs. 44% over the period 1993-2001.

The reproductive stock (fish pass + spawning areas) appears to be a good abundance indicator on the Garonne basin because of the relative stable fishing mortality. The CPUE provided by the fishery appear to be significantly linked to the basin population and to the numbers of fish migrating on the two axes, thus revealing that they are also good abundance indicators. However, the CPUE cannot really indicate the status and the evolution of the reproductive stock, which is basic for the population management.

Key-words: *Alosa alosa*, Gironde, Garonne, Dordogne, fishery, control station, spawning area, stock, abundance.

INTRODUCTION

L'alose vraie, *Alosa alosa*, du bassin de la Garonne (Figure 1) se trouve dans une situation originale en Europe du fait de l'importance de ses stocks, de son niveau

d'abondance, même si celui-ci a pu être controversé (CASTELNAUD, ROCHARD et LE GAT, 2001) et de l'existence de différents suivis menés conjointement depuis plus d'une dizaine d'années (BELAUD et CARETTE, 1999 ; CASTELNAUD, ROCHARD et LE GAT, 2001 ; CARRY et DELPEYROUX, 2002 ; CARRY, SAGE et DELEZAY, 2003 ; GIRARDIN, CASTELNAUD et BEAULATON, 2003).

Trois outils de suivi et de mesure complémentaires du stock de géniteurs d'alose vraie sont utilisés sur le bassin de la Garonne.

Le plus ancien consiste en un suivi halieutique sur le secteur de la Gironde, qui comprend l'estuaire et les parties basses des cours d'eau Garonne et Dordogne. C'est dans ce secteur que se capture la plus grande partie des géniteurs d'alose vraie. Ce suivi a été mis en place par le CEMAGREF dès 1977 dans le cadre des études de référence et de surveillance de l'impact du Centre Nucléaire de production d'électricité EDF du Blayais (CTGREF, 1979 ; CASTELNAUD *et al.*, 1980 ; GIRARDIN, CASTELNAUD et BEAULATON, 2003). Il fait appel à des pêcheurs professionnels coopératifs qui fournissent des données précises de captures et d'efforts de pêche ainsi que des informations complémentaires concernant leur activité de pêche et celle des autres pêcheurs dans la même zone (CTGREF, 1979 ; CASTELNAUD, TROUVERY et DE VERDILHAC 1981 ; GIRARDIN, CASTELNAUD et BEAULATON, 2003). L'ensemble de ces données permet d'estimer chaque année les productions, les efforts de pêche et les CPUE sur le secteur de la Gironde et ses subdivisions.

Les plans de restauration des poissons migrateurs amphihalins du bassin de la Garonne lancés il y a une vingtaine d'années ont conduit à la conception et la construction, à partir de 1987, de dispositifs de franchissement au niveau des ouvrages hydroélectriques de Golfech sur la Garonne et de Tuilières sur la Dordogne (BELAUD *et al.*, 1987 ; LARINIER, 1993). Dès le départ, les géniteurs utilisant ces dispositifs ont été comptabilisés par l'intermédiaire de stations de contrôle mise en place pour évaluer leur efficacité. Les premières années, les suivis des passages ont été réalisés sous la responsabilité de l'École Nationale Supérieure d'Agronomie de Toulouse en ce qui concerne Golfech et sous la responsabilité de Électricité De France – Direction des Études et Recherches puis Électricité De France – Direction Technique Générale en ce qui concerne Tuilières. Ils se font depuis 1993 sous maîtrise d'ouvrage de l'association Migrateurs GARonne DOrdogne (MI.GA.DO) au niveau des deux aménagements (CHANSEAU, DARTIGUELONGUE et LARINIER, 2000).

Dès 1985, l'École Nationale Supérieure d'Agronomie de Toulouse, l'Association Toulousaine d'Ichtyologie Appliquée et l'Association pour la gestion de la Réserve Naturelle de la frayère d'alose d'Agen ont tenté d'estimer le nombre de géniteurs se reproduisant sur les frayères en Garonne, en particulier à l'aval de l'ouvrage hydroélectrique de Golfech (BELAUD et CARETTE, 1999). Aucun suivi n'a été réalisé jusqu'à présent sur les frayères de Dordogne.

Une première estimation de la population du bassin de la Garonne a été réalisée par MARTIN-VANDEMBULCKE (1999) à partir d'un modèle de dynamique des populations. Le présent travail se propose d'associer et de confronter les résultats fournis par l'analyse de l'ensemble des données issues de ces outils de mesure du stock d'alose vraie sur le bassin de la Garonne. Ce travail vise, sur la période d'étude 1987-2001, où l'ensemble des résultats est disponible conjointement, à (1) évaluer la dimension du stock total de reproducteurs d'alose vraie du bassin de la Garonne, (2) suivre l'évolution de ce stock au cours du temps, (3) étudier la répartition des géniteurs sur les deux axes Garonne et Dordogne, en relation avec les débits des deux cours d'eau et (4) comparer les différents indicateurs disponibles.

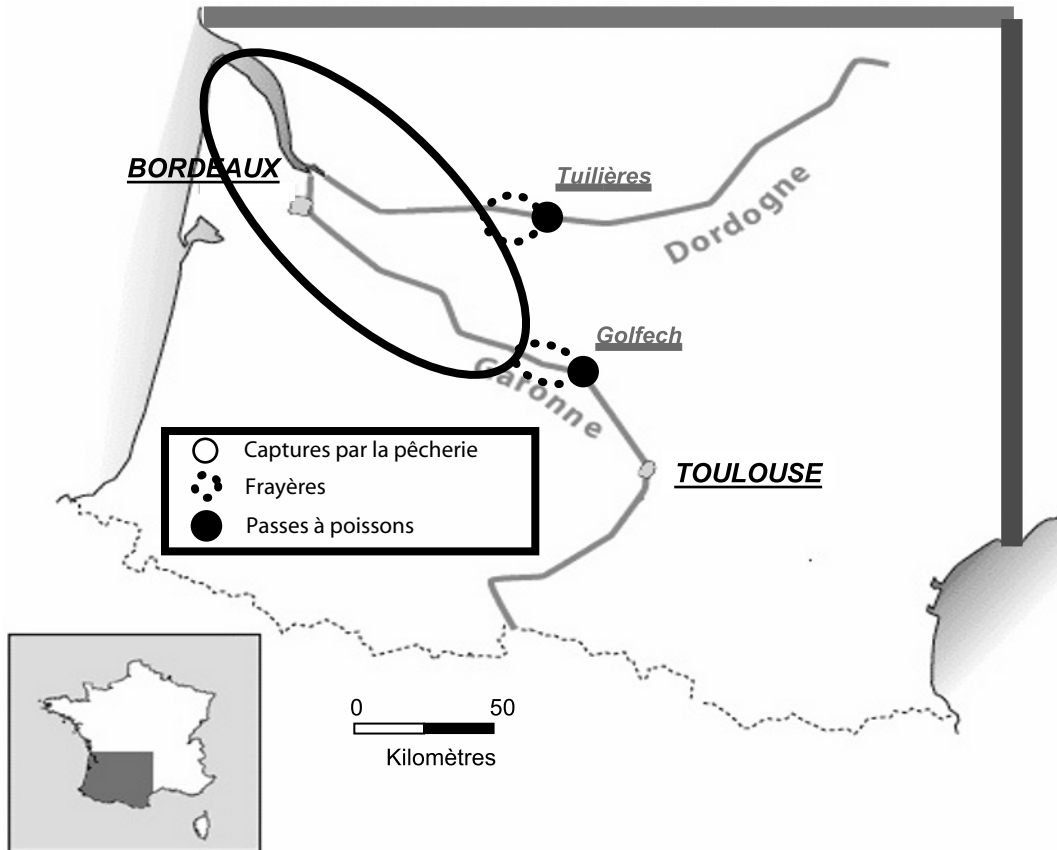


Figure 1

Situation sur le bassin de la Garonne des différents indicateurs d'abondance utilisés pour l'estimation de la population d'alose vraie *Alosa alosa* de 1987 à 1998.

Figure 1

Location on the Garonne basin of the different abundance indicators used to evaluate the population of *Alosa alosa* from 1987 to 1998.

MATÉRIEL ET MÉTHODE

Indicateurs d'abondance

Trois séries d'indicateurs d'abondance provenant des trois outils de mesure sont disponibles sur le bassin de la Garonne (Figure 1).

(i) En ce qui concerne le suivi halieutique réalisé par le CEMAGREF, les données de capture et d'effort proviennent, sur la période 1987-2001, d'un effectif moyen annuel de 31 pêcheurs coopératifs (min. : 22 en 1987 ; max. : 41 en 1994), ce qui représente en moyenne 18 % de la population totale des pêcheurs professionnels recherchant l'alose vraie (min. : 10,2 % en 1987 ; max. : 27,2 % en 1996). Ces données de capture et d'effort ont été stockées, à partir de 1994, dans une base de données « GIRPECH », par métier de pêche, par zone de pêche et par qualité, ce qui a rendu possible le traitement et l'analyse des séries chronologiques de façon plus complète et approfondie.

A partir de l'échantillon non-aléatoire de données de capture et d'effort fournies par les pêcheurs coopératifs, ont été calculées pour chaque année les captures totales

de l'ensemble des pêcheurs professionnels et non-professionnels en nombre d'aloses et les CPUE en nombre d'aloses par jour de pêche, assorties de leur intervalle de confiance, selon la méthode décrite par CASTELNAUD, ROCHARD et LE GAT (2001). Ce sont ces résultats, obtenus pour le secteur de la Gironde et chaque compartiment Estuaire, Garonne, Dordogne qui seront utilisés dans ce travail. Les captures réalisées par la pêche professionnelle et enregistrées par le CEMAGREF depuis 1987 hors du secteur de la Gironde, à l'aval des obstacles sur Garonne et Dordogne, seront intégrées dans les captures totales du secteur de la Gironde et des compartiments respectifs.

(ii) En ce qui concerne les dispositifs de franchissement, les comptages ont reposé sur la technique d'enregistrement vidéo de 1987 à 2001 à Golfech sur la Garonne et de 1989 à 2001 à Tuilières sur la Dordogne. Le principe de cette technique d'enregistrement consiste à faire passer les poissons devant une vitre de visualisation, au niveau d'une section rétrécie du dispositif de franchissement, où ils sont filmés en continu grâce à un système d'éclairage, identifiés et comptés (TRAVADE et LARINIER, 1992). A l'origine, le système « CERBERE » utilisé, mis au point par EDF-DRD, comprenait une caméra vidéo reliée à un magnétoscope de surveillance à temps échelonné enregistrant à vitesse réduite et se mettant à vitesse normale lors de l'intrusion d'un poisson ou plus généralement d'un objet, dans le champ d'observation de la caméra (TRAVADE et LARINIER, 1992). Un système informatique consistant à enregistrer, sur le site, des séquences déclenchées d'images noir et blanc numérisées et comprimées puis à dépouiller de façon interactive les enregistrements en temps différé à l'aide d'un logiciel dédié (CASTIGNOLLES, 1995 ; CATTOEN, LARINIER et THOMAS, 1999), a remplacé depuis 1998 les magnétoscopes de surveillance traditionnels (CHANSEAU, DARTIGUELONGUE et LARINIER, 2000). La première année, en 1987, à Tuilières, le nombre de géniteurs a été déterminé grâce à une opération de piégeage – transfert à l'amont. En 1988, toujours à Tuilières, aucun comptage n'a été réalisé.

(iii) En ce qui concerne les frayères, le nombre d'aloses a été estimé différemment sur les axes Garonne et Dordogne. En Garonne, le nombre de géniteurs à l'aval de l'aménagement de Golfech a été déterminé chaque année depuis 1985 à partir du comptage des pontes d'aloses sur les frayères (BELAUD et CARETTE, 1998 ; BELAUD et CARETTE, 1999). Chaque remous caractéristique (localement appelé « bull ») créé en surface par la nage tournoyante d'un mâle et d'une femelle est assimilé à une ponte (CASSOU-LEINS et CASSOU-LEINS, 1981). Il est ainsi possible d'estimer le nombre de géniteurs en comptant le nombre de bulls et en supposant que (1) les géniteurs ne se reproduisent que sur une seule frayère, (2) une seule femelle est impliquée dans un « bull », (3) le sex ratio des poissons sur la frayère est de 1 : 1 et (4) chaque femelle pond en moyenne 7.5 fois. Cette valeur correspond à la moyenne des valeurs proposées par CASSOU-LEINS et CASSOU-LEINS (1981) et DARTIGUELONGUE (1996). Ces évaluations ne couvrent la totalité des frayères que depuis 1998 et sont donc incomplètes pour les années précédentes (BELAUD et CARETTE, 1998).

Aucun comptage des aloses sur les frayères n'étant réalisé sur l'axe Dordogne, à l'aval de Tuilières, il a été considéré que (1) 30 % en moyenne des géniteurs qui se présentent chaque année au niveau du barrage de Bergerac, situé quelques dizaines de kilomètres à l'aval de Tuilières, se reproduisent à l'aval de l'obstacle (LARINIER, com. pers.) (2) la totalité des poissons franchissant cet aménagement se présente au pied de Tuilières (3) en moyenne 40 % des géniteurs qui se présentent chaque année au pied de l'ouvrage de Tuilières ne parviennent pas à passer à l'amont et se reproduisent ainsi à l'aval de l'obstacle. Cette estimation de l'efficacité de l'ascenseur de 60 % tient essentiellement de l'expertise (LARINIER, com. pers. ; LARINIER, DARTIGUELONGUE, et TRAVADE, 2000). Cette méthode conduit toutefois à estimer uniquement le nombre de poissons forcés à se reproduire à l'aval immédiat de l'obstacle, mais ne prend pas en compte les géniteurs qui se sont éventuellement arrêtés sur des frayères en aval de Bergerac. Le nombre réel de géniteurs en Dordogne sera ainsi probablement sous-estimé.

Méthode

La quantification du stock total d'alose vraie dans le bassin de la Garonne, de 1987 à 2001, est obtenue par l'addition des effectifs comptabilisés au niveau des stations de Golfech et de Tuilières et ceux estimés au niveau de la pêcherie et des frayères.

Les évolutions des chroniques concernant le stock total et les différents indicateurs d'abondance seront analysées et comparées sur la période 1987-2001. L'analyse des tendances des différents indicateurs sera effectuée par la méthode d'ajustement des moindres carrés complétée par des tests de signification de la pente (ZAR, 1996). Seront également étudiées, à l'aide de régressions linéaires simples, les relations pouvant exister entre les indicateurs d'abondance ayant servi à estimer ce stock et les CPUE de l'alose vraie calculées pour le secteur de la Gironde et les compartiments Garonne et Dordogne par CASTELNAUD, ROCHARD et LE GAT (2001), qui constituent l'indicateur d'abondance issu de la pêcherie jugé le plus pertinent.

L'influence des débits de la Garonne et de la Dordogne à leur confluence sur la distribution des géniteurs entre les deux axes migratoires, sera appréhendée à l'aide d'une régression multiple pas à pas. Plus précisément, les pourcentages annuels d'alose vraie (transformés par la fonction $\arcsin \sqrt{\quad}$ - ZAR, 1996) remontant en Dordogne par rapport aux effectifs totaux Garonne + Dordogne seront étudiés en fonction (1) des débits respectifs des deux axes Garonne et Dordogne durant les mois d'avril et mai, période où se produit l'essentiel de la migration sur les parties basses des deux cours d'eau (CASTELNAUD, 1978 ; CASTELNAUD *et al.*, 1980 ; CASSOU-LEINS et CASSOU-LEINS, 1981 ; ROCHARD, 1992), (2) du pourcentage (transformé par la fonction $\arcsin v$) de débit transitant en Dordogne par rapport au débit total Garonne + Dordogne.

RÉSULTATS

Le tableau 1 récapitule l'ensemble des résultats concernant les différents indicateurs d'abondance.

Évaluation du stock de géniteurs

La Pêcherie

De 1987 à 2001, les captures estimées de la pêcherie commerciale et amateur (Tableau 1 et Figure 2) sur la partie basse du bassin sont en moyenne annuelle de l'ordre de 302 700 poissons ($\sigma = 44\ 308$; C.V. = 14,6 %). Le maximum est observé en 1987 (358 000) et le minimum en 1993 (221 000). Les captures au niveau de l'Estuaire, de la Garonne et de la Dordogne représentent respectivement en moyenne 18,9 %, 52,8 % et 28,3 % des captures totales.

Les stations de contrôle

Au niveau de la station de contrôle de Tuilières (Tableau 1 et Figure 3), près de 37 500 aloses vraies ont été contrôlées par an en moyenne ($\sigma = 29\ 058$; C.V. = 77,5 %). Le maximum a été observé en 1996 (87 254) et le minimum en 1992 (1 945). Après de très faibles effectifs contrôlés jusqu'en 1992, une augmentation marquée est apparue à partir de 1993. Une évolution par vagues semble se dessiner avec des abondances élevées de 1994 à 1996 suivies, après une chute en 1997 et 1998, d'une légère augmentation des effectifs de 1999 à 2001.

L'absence de comptage en 1988 a très certainement pour conséquence d'augmenter légèrement la moyenne annuelle de poissons contrôlés en regard des effectifs contrôlés lors des années 1987 et 1989, compris entre 6 000 et 8 000 individus. Cette absence de comptage en 1988 ne doit cependant pas avoir une grande influence sur les estimations

Tableau I

Stocks annuels d'aloise vraie *Alosa alosa* estimés sur le bassin de la Garonne, captures annuelles estimées par la pêche aux filets et aux engins, effectifs annuels comptabilisés au niveau des stations de contrôle de Golfech (Garonne) et de Tuilières (Dordogne) et effectifs annuels de géniteurs estimés sur les frayères à l'aval de Golfech et de Tuilières sur la sur la période 1987-1998.

Table I

Annual stocks of *Alosa alosa* estimated in the Garonne basin, annual catches by the net fishery, annual numbers of fish monitored at the control stations of Golfech (Garonne) and Tuilières (Dordogne) and annual numbers of fish on spawning areas located downstream from Golfech and Tuilières from 1987 to 1998.

Année	Captures				Stations de contrôle				Frayères				Total	
	Estuaire	Garonne	Dordogne	Total	% Total	Golfech	Tuilières	Total	% Total	Garonne	Dordogne	Total		% Total
1987	82 250	211 848	64 055	358 153	85,4	18 224	6 880	25 104	6,0	26 507	9 501	36 008	8,6	419 265
1988	67 690	197 679	77 753	343 121	90,8	13 778	?	13 778	3,6	21 067	?	21 067	5,6	377 966
1989	72 995	187 319	79 501	339 815	73,5	66 401	7 789	74 190	16,0	37 875	10 756	48 631	10,5	462 636
1990	62 902	157 133	76 549	296 584	70,4	47 334	4 943	52 277	12,4	65 333	6 826	72 159	17,1	421 020
1991	68 802	213 213	63 958	345 973	72,3	40 073	6 053	46 126	9,6	78 036	8 359	86 395	18,1	478 494
1992	39 223	121 856	62 361	223 440	83,0	20 007	1 945	21 952	8,2	21 218	2 686	23 904	8,9	269 296
1993	37 078	111 005	72 844	220 927	65,4	18 554	35 704	54 258	16,1	13 515	49 306	62 820	18,6	338 005
1994	49 595	162 851	115 536	327 982	52,0	85 813	62 592	148 405	23,5	68 165	86 437	154 601	24,5	630 988
1995	50 034	180 601	843 65	315 000	45,0	85 624	78 245	163 869	23,4	112 963	108 053	221 016	31,6	699 884
1996	41 805	189 913	108 593	340 311	46,8	106 706	87 254	193 960	26,7	72 800	120 494	193 294	26,6	727 564
1997	75 490	119 784	57 735	253 009	50,9	98 819	42 374	141 193	27,8	49 365	58 516	107 882	21,3	507 004
1998	47 490	117 927	96 740	262 157	40,6	49 074	28 465	77 539	12,0	266 667	39 309	305 975	47,4	645 672
1999	49 814	137 709	114 426	298 949	52,0	36 373	63 308	99 681	17,3	89 221	87 425	176 647	30,7	575 277
2000	51 309	158 483	89 693	299 485	62,7	32 584	48 751	81 335	17,0	29 493	67 323	96 816	20,3	477 636
2001	60 056	149 528	106 433	316 018	57,9	25 277	50 828	76 105	13,9	83 392	70 191	153 583	28,1	545 706

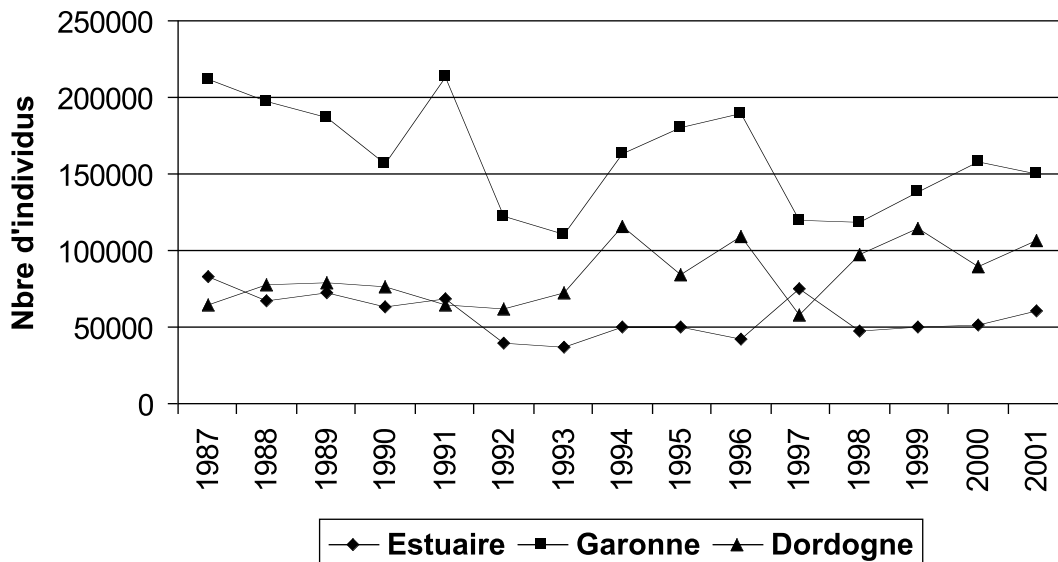


Figure 2

Estimation des captures d'alose vraie réalisées par la pêcherie aux filets et aux engins de 1987 à 1998, sur l'estuaire de la Gironde, sur les axes Garonne et Dordogne et sur l'ensemble du bassin de la Garonne.

Figure 2

Estimation of the catches by the net fishery from 1987 to 1998 in the Gironde estuary, in Garonne and Dordogne rivers and in the Garonne basin.

du stock total si l'on pose l'hypothèse vraisemblable que les effectifs d'alose vraie ayant franchi l'aménagement de Tuilières cette année-là n'ont pas dépassé 10 000 individus.

Au niveau de la station de contrôle de Golfech (Tableau 1 et Figure 3), 49 600 aloses vraies ont été comptabilisées par an en moyenne ($\sigma = 31\,435$; C.V. = 63,3 %). Le maximum a été observé en 1996 (106 706) et le minimum en 1988 (13 778). Une évolution par vagues semble se dessiner avec des abondances relativement élevées de 1989 à 1991 (40 000 à 66 000) suivies de fortes abondances de 1994 à 1997 (85 000 à plus de 100 000). Une chute marquée et progressive des effectifs apparaît toutefois à partir de 1998.

La sommation des effectifs contrôlés à Tuilières et à Golfech fait apparaître que, de 1987 à 2001, 84 650 aloses vraies ($\sigma = 54\,714$; C.V. = 64,6 %) ont été comptabilisées en moyenne par an au niveau des stations de contrôle (Tableau 1 et Figure 3). Le maximum a été observé en 1996 (193 960) et le minimum en 1992 (21 952). Les effectifs contrôlés à Golfech représentent en moyenne 62,4 % des aloses vraies comptabilisées annuellement au niveau des deux stations (maximum de 91,1 % en 1992 ; minimum de 33,2 % en 2001 et $\sigma = 21,7$).

Les frayères

Il a été estimé qu'en moyenne par an, 69 800 poissons ($\sigma = 64\,280$; C.V. = 92,1 %) se sont reproduits sur la Garonne à l'aval de Golfech, sur la période 1987-2001 (Tableau 1 et Figure 4). Les effectifs maximums ont été observés en 1998 (275 000) et les minimums en 1993 (13 500). La découverte de nouveaux sites de fraie en Garonne en 1998 explique en partie la très forte activité de reproduction comptabilisée sur le cours d'eau cette année-là. Il est ainsi fortement probable qu'avant cette date, le nombre de géniteurs estimé est sous-estimé sur ce cours d'eau.

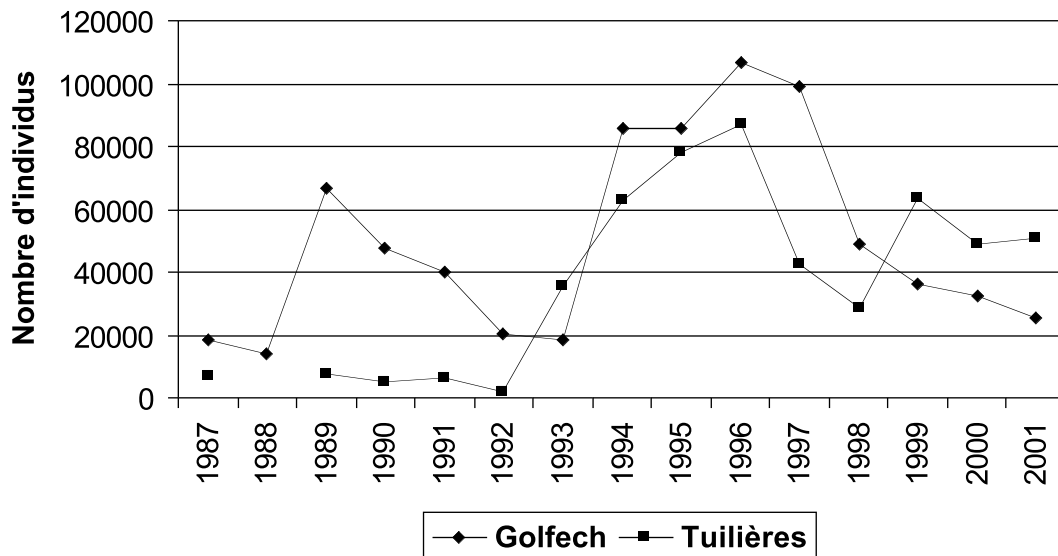


Figure 3

Nombre d'alose vraies *Alosa alosa* comptabilisées au niveau des stations de contrôle de Golfech (Garonne) et de Tuilières (Dordogne) de 1987 à 1998.

Figure 3

Number of shads *Alosa alosa* monitored at the control stations of Golfech (Garonne) and Tuilières (Dordogne) from 1987 to 1998.

Concernant la Dordogne, de 1987 à 2001 (excepté l'année 1988), on déduit des passages à Tuilières que 51 800 poissons par an en moyenne se seraient reproduits à l'aval de la station de contrôle (Tableau 1 et Figure 4).

Ainsi, entre 1987 et 2001, de l'ordre de 118 000 aloses vraies en moyenne par an ($\sigma = 83\,538$; C.V. = 70,7 %) se seraient reproduites à l'aval des deux stations de contrôle de Golfech et de Tuilières.

Le Bassin de la Garonne

La somme des effectifs estimés pour les différents outils de mesure et de suivi des stocks disponibles sur le bassin de la Garonne révèle que de 1987 à 2001, ce sont près de 7 583 000 aloses vraies qui sont remontées sur le bassin (Tableau 1 et Figure 5), soit une moyenne annuelle de plus de 505 000 poissons ($\sigma = 233\,600$; maximum : 727 500 en 1996 ; minimum : 269 300 en 1992).

Les captures par la pêcherie professionnelle, les géniteurs estimés sur les frayères et les individus comptabilisés au niveau des stations de contrôle, représentent respectivement en moyenne 61,2 % (min. : 40 % en 1998 ; max. : 85,4 % en 1987), 22,4 % (min. : 8,6 % en 1987 ; max : 48,1 % en 1998) et 16,4 % (min. : 6 % en 1987 ; max. : 28,1 % en 1997). L'année 1988 n'a pas été prise en compte ici compte tenu de l'absence de comptage des passages de poissons au niveau de Tuilières.

Évolution de la population d'alose vraie et des différents indicateurs d'abondance de 1987 à 2001

La chronique des effectifs estimés d'alose vraie du bassin Gironde-Garonne-Dordogne présente une augmentation subite du niveau d'abondance de l'espèce sur le bassin à partir de 1994 (Figure 5). Les effectifs moyens annuels, de l'ordre de

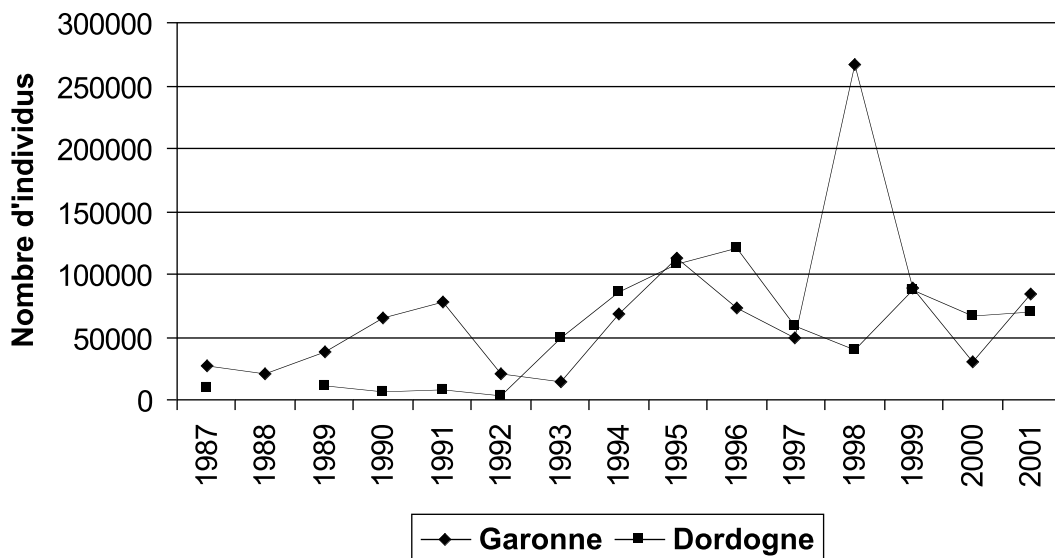


Figure 4

Nombre d'aloses vraies *Alosa alosa* estimées sur les frayères de Garonne et de Dordogne localisées à l'aval des stations de Golfech et de Tuilières de 1987 à 1998.

Figure 4

Number of shads *Alosa alosa* estimated on Garonne and Dordogne spawning areas located downstream from the control stations of Golfech and Tuilières from 1987 to 1998.

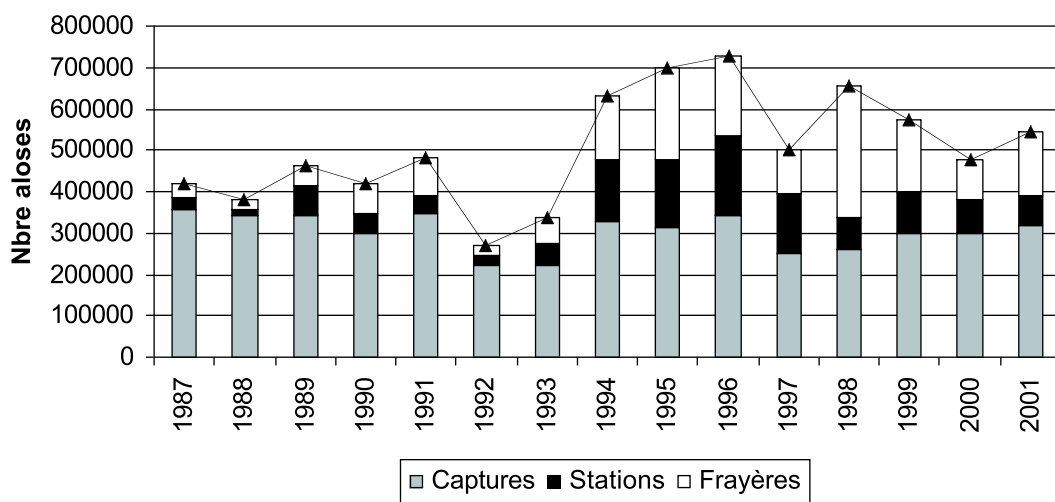


Figure 5

Nombre total d'aloses vraies *Alosa alosa* estimées sur le bassin de la Garonne de 1987 à 1998.

Figure 5

Total number of shads *Alosa alosa* estimated on the Garonne basin from 1987 to 1998.

395 000 individus sur la période 1987-1993, sont de plus de 642 000 poissons sur la période 1994-2001, la différence étant hautement significative ($t = -4,77$, $p < 0,001$).

Avant et après ce brutal changement d'abondance, les chroniques des effectifs ne présentent aucune tendance statistiquement significative (respectivement $t = 1,18$, $p > 0,2$ et $t = 2,05$, $p > 0,05$) (Figure 6). Il est à noter toutefois, même si elle n'est pas significative, une légère tendance descendante sur la période 1994-2001.

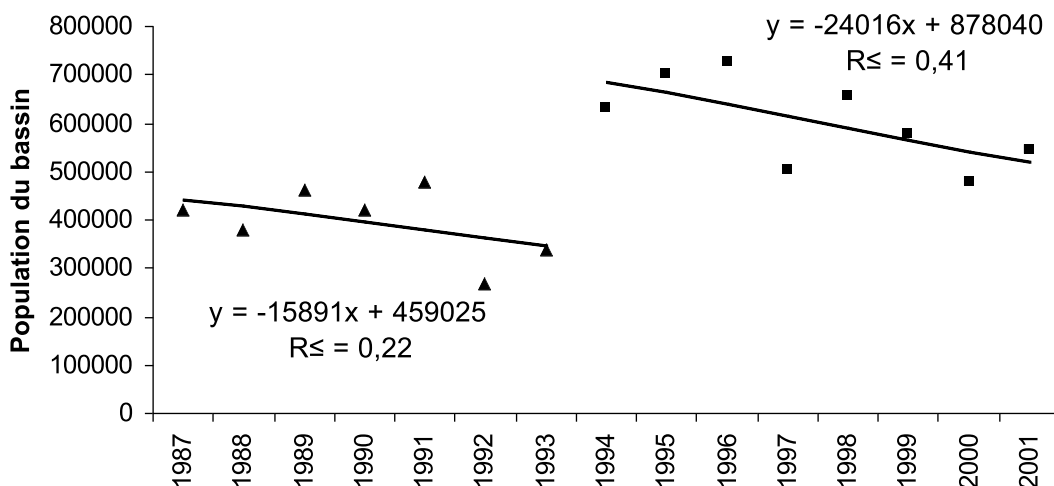


Figure 6

Visualisation de la tendance des différents indicateurs d'abondance de l'aloise vraie *Alosa alosa* du bassin de la Garonne de 1987 à 1998 par la méthode d'ajustement des moindres carrés.

Figure 6

Visualisation of the trend of different abundance indicators of *Alosa alosa* of the Garonne basin from 1987 to 1998 by the method of least squares

La chronique des effectifs capturés par la pêcherie est stationnaire sur la période d'étude ($t = -1,16$, $p > 0,2$), ne révélant aucune tendance, ni à l'augmentation, ni à la diminution (Figure 7). Les captures en Garonne semblent en diminution ($t = -2,25$, $p < 0,05$) alors que les captures en Dordogne présentent une tendance ascendante significative ($t = 2,53$, $p < 0,05$). Quant aux captures en estuaire, elles demeurent stationnaires ($t = -1,79$, $p > 0,05$).

Le stock reproducteur (Stations + Frayères) présente la même évolution générale que celle de la population avec une forte augmentation en 1994, les chroniques avant ($t = 0,13$, $p > 0,5$) et après cette date ($t = -1,94$, $p = 0,1$) restant stationnaires (Figure 8). Cependant, si l'on prend en compte les années 2002 et 2003, pour lesquelles les indicateurs d'abondance sur le stock reproducteur sont disponibles, il apparaît une baisse significative du nombre de géniteurs sur les frayères sur la période 1994-2003 ($t = -3,4$, $p < 0,01$).

Répartition des géniteurs sur les axes Garonne et Dordogne et influence des débits

Globalement, depuis 1987, plus de 4 200 000 aloses vraies sont remontées sur le cours d'eau Garonne, soit une moyenne annuelle de l'ordre de 280 500 poissons, contre plus de 2 530 000 sur la Dordogne, soit une moyenne annuelle de 168 800 poissons (Tableau 1). En moyenne, 63,7 % des individus (maximum de 80,9 % en 1991 et minimum

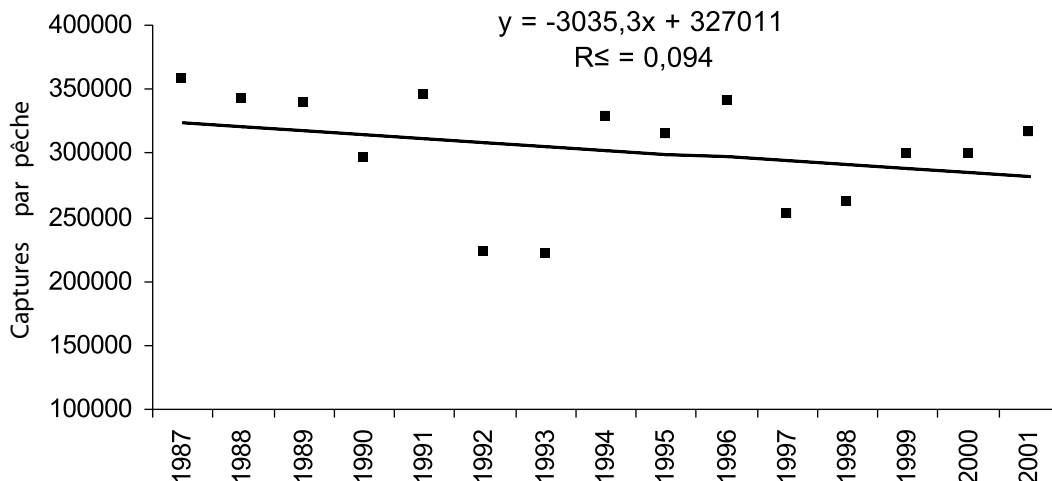


Figure 7
Tendance des captures d’alose vraie *Alosa alosa* par la pêche sur le bassin de la Garonne de 1987 à 2001.

Figure 7
Trend of total catch of *Alosa alosa* by the fishery on the Garonne basin from 1987 to 2001.

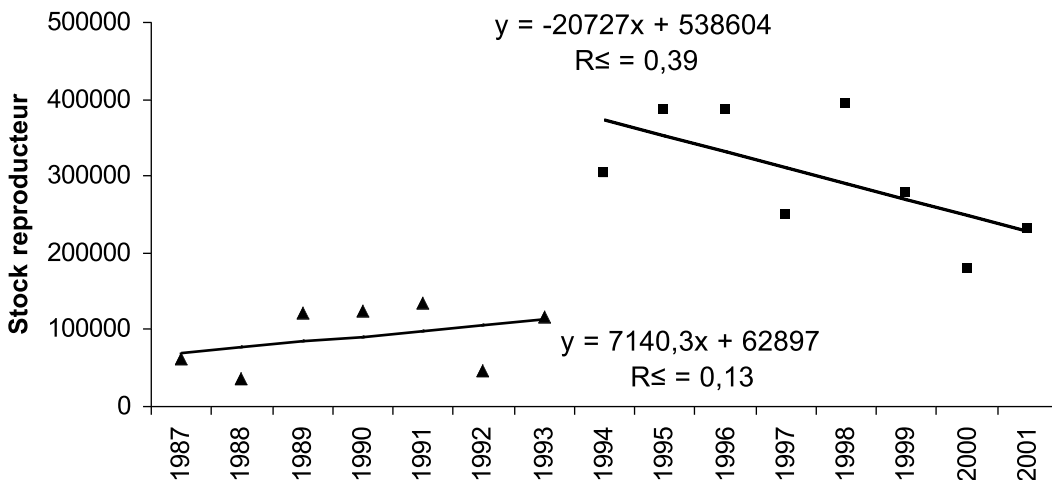


Figure 8
Tendance du stock reproducteur d’alose vraie sur le bassin de la Garonne de 1987 à 2004.

Figure 8
Trend of the reproductive stock of *Alosa alosa* on the Garonne basin from 1987 to 2001.

de 47,5 % en 1993) s’engagent chaque année sur l’axe Garonne. Il apparaît toutefois que l’axe Dordogne est concerné par une plus forte proportion de poissons ces dernières années ($t = 5,58$, $p < 0,001$), 25 % en moyenne des poissons remontant en Dordogne avant 1993 contre près de 44 % de 1993 à 2001.

Ni les débits des deux cours d'eau à leur confluence durant les mois d'avril et mai, ni le pourcentage de débit transitant en Dordogne par rapport au débit total Garonne + Dordogne ne paraissent exercer une influence sur la répartition des poissons entre les deux cours d'eau.

Comparaison de différents indicateurs d'abondance

De 1987 à 2001, les captures par la pêche professionnelle et amateur sont stables. L'évolution du stock total estimé d'alose semble ainsi directement liée à celle du stock reproducteur, c'est à dire aux effectifs contrôlés au niveau des stations de contrôle mais aussi à ceux estimés sur les frayères en aval de ces stations.

La CPUE du secteur Gironde est positivement reliée à l'estimation du stock d'alose vraie du bassin de la Garonne ($R^2 = 0,30$; $p < 0,05$), sur la période d'étude.

Sur chaque axe migratoire pris séparément, des relations significatives sont mises en évidence entre les CPUE Garonne et Dordogne et les effectifs respectifs estimés en Garonne et Dordogne. La relation est cependant meilleure en Dordogne ($R^2 = 0,39$; $p < 0,01$) qu'en Garonne ($R^2 = 0,27$; $p < 0,05$).

La CPUE Garonne n'est pas reliée aux effectifs comptabilisés au niveau de la station de contrôle de Golfech ($R^2 = 0$, $p > 0,5$) alors qu'une relation positive significative apparaît entre la CPUE Dordogne et les effectifs contrôlés à Tuilières ($R^2 = 0,31$, $p < 0,05$). Une relation significative existe cependant respectivement entre ces deux CPUE et les stocks reproducteurs estimés en Garonne ($R^2 = 0,33$, $p < 0,05$) et en Dordogne ($R^2 = 0,31$, $p < 0,05$).

DISCUSSION

L'abondance de l'alose vraie du bassin de la Garonne a été estimée à plus de 505 000 individus (minimum : 269 300 en 1992 ; maximum : 727 560 en 1996) par an en moyenne sur la période 1987-2001, soit près de 25 000 individus de plus que la première estimation réalisée par MARTIN-VANDEMBULCKE (1999) sur la période 1989-1996 (moyenne : 480 000 ; minimum : 270 000 en 1993 ; maximum : 615 000 en 1995). L'écart observé s'explique en partie par des estimations différentes des captures par la pêche et par la non prise en compte, dans l'étude de MARTIN-VANDEMBULCKE (1999), des géniteurs présents sur les frayères en Dordogne à l'aval de la station de contrôle de Tuilières.

La chronique de la population d'alose vraie du système fluvio-estuarien Gironde-Garonne-Dordogne présente un saut marqué en 1994, ce que confirme CASTELNAUD, ROCHARD et LE GAT (2001) à partir de l'estimation des CPUE sur la période 1977-1998. Une telle augmentation peut résulter du rétablissement de la libre circulation sur les axes Garonne (Golfech) et Dordogne (Bergerac et Tuilières) à la fin des années 1980 et dont les effets ne se seraient concrétisés qu'après un cycle biologique de l'alose. La majorité des géniteurs remontant en eau continentale est en effet âgée de 4 à 7 ans, avec une prédominance de la classe d'âge 5 (TAVERNY, 1991 ; LAMBERT *et al.*, 2001). L'autocorrélation de l'abondance sur la Gironde avec un pas de temps de 5 ans mise en évidence par CASTELNAUD, ROCHARD et LE GAT (2001) n'apparaît pas clairement dans le cadre de ce travail. Il est possible que la multiplication de cycles biologiques de durée variable entre 4 et 7 ans conduise à perdre progressivement la rythmicité des abondances. Il pourrait également exister, indépendamment de la réouverture des axes migratoires, d'autres facteurs (climatiques et de qualité des milieux) déterminants de la future abondance, agissant, par exemple, sur la survie de chaque cohorte. Les observations du CEMAGREF au niveau de l'estuaire semblent d'ailleurs montrer que les densités de juvéniles en automne/hiver sont très variables d'une année à l'autre,

indépendamment du nombre estimé de géniteurs qui se sont reproduits (TAVERNY, 1991 ; MARTIN-VANDEMBULCKE, 1999). A ce propos, il semblerait particulièrement intéressant de mettre en place des suivis complémentaires permettant d'appréhender, à proximité des frayères fonctionnelles du bassin, un niveau annuel de recrutement.

Après la brutale augmentation des effectifs en 1994 et les niveaux d'abondance élevés observés en 1995 et 1996, la population semble se stabiliser, aucune tendance statistiquement significative n'étant mise en évidence sur la période 1994-2001.

Le stock reproducteur, déterminé par la sommation des effectifs comptabilisés au niveau des stations de contrôle et des effectifs estimés sur les frayères à l'aval des stations, évolue globalement de la même façon que la population totale du bassin. Il constitue en cela un bon indicateur d'abondance de la population d'alose vraie du bassin.

Si l'on prend en compte les années 2002 et 2003, pour lesquelles les données sont disponibles, la chronique du stock reproducteur présente une tendance descendante significative. Il convient donc de rester prudent quant à l'évolution générale de la population d'alose vraie du bassin de la Garonne.

Les estimations du nombre de géniteurs sur les frayères doivent être affinées en mettant en place notamment des protocoles de suivi plus rigoureux et des systèmes de recueil de données performants.

La fiabilité de ces estimations peut être en effet en partie remise en cause sur l'axe Garonne avec la découverte récente (1998) de nouvelles zones de fraie dont certaines peuvent présenter une activité supérieure à celles des deux frayères traditionnelles d'Agen et de La Magistère (BELAUD et CARETTE, 1998). Ainsi, l'abondance totale en 1998, qui paraissait stable au vu des pêches, en légère diminution au vu des passages aux ascenseurs, semble importante en ajoutant les effectifs estimés sur les frayères, spécialement ceux de Garonne, qui ont explosé cette année-là. Cette forte valeur de l'abondance totale observée en 1998 peut fausser en partie les interprétations concernant la tendance générale du stock.

Sur l'axe Dordogne, les estimations du stock reproducteur reposent en partie sur l'avis d'expert concernant en particulier l'efficacité des dispositifs de franchissement équipant les aménagements hydroélectriques de Tuilières et Bergerac (LARINIER, com. pers.). Depuis 2002 toutefois, un suivi de la reproduction de l'espèce a été mis en place par MIGADO à l'aval de la station de Tuilières afin d'estimer plus précisément le stock reproducteur (LAGARRIGUE et LASCAUX, 2002 ; LASCAUX *et al.*, 2004). Pour les années 2002 et 2003, le suivi a permis d'estimer qu'environ 80 000 individus au total se sont reproduits à l'aval de la station alors que, sur la base de calcul utilisée dans le cadre du présent travail, les estimations sont de l'ordre de 90 000 poissons. Les faibles différences observées devront toutefois être validées sur une chronique plus importante.

Les captures totales de la pêcherie sont stables (environ 300 000 individus en moyenne par an) sur la période d'étude et ne constituent donc pas un bon indicateur de l'abondance de l'alose pour l'ensemble du bassin de la Garonne, comme l'ont déjà souligné CASTELNAUD, ROCHARD et LE GAT (2001).

Les comparaisons des différents indicateurs d'abondance ont révélé que les CPUE estimées par CASTELNAUD, ROCHARD et LE GAT (2001) sont significativement reliées à la population totale, aux effectifs remontant sur les deux axes migratoires et aux stocks reproducteurs. Les CPUE sont donc également susceptibles de refléter correctement l'abondance de l'alose sur le bassin de la Garonne. Elles ne permettent pas toutefois de réellement appréhender l'état du stock reproducteur, qui constitue la base de gestion de la population.

Au niveau du bec d'Ambès, zone de confluence de la Garonne et de la Dordogne, les aloses s'engagent préférentiellement en Garonne (près de 64 % des effectifs en moyenne par an). Depuis 1993 toutefois, une augmentation significative des proportions de poissons s'engageant sur l'axe Dordogne apparaît, 25 % seulement des individus remontant sur le cours d'eau avant 1993 contre plus de 44 % sur la période 1993-2001. Les remontées globalement plus importantes en Garonne sur la période d'étude pourraient être reliées en première analyse aux débits nettement plus élevés sur cet axe que sur l'axe Dordogne (837 m³/s et 775 m³/s en moyenne en Garonne en avril et mai vs 411 m³/s et 316 m³/s en moyenne en Dordogne sur la période d'étude 1987-2001) au moment des migrations, en regard notamment du comportement rhéotaxique positif marqué de l'espèce.

Cependant, les débits des deux cours d'eau lors des périodes migratoires ne semblent pas pouvoir expliquer les importantes variations interannuelles de répartition des individus sur les deux axes. Le phénomène de « homing », généralement admis chez l'espèce (BAGLINIERE *et al.*, 2000) mais qui se situerait plutôt, en l'état actuel des connaissances, à l'échelle du bassin hydrographique (ALEXANDRINO et BOISNEAU, 2000) ne l'explique pas davantage.

Aucune donnée concernant la température de l'eau des deux axes à leur confluence n'est disponible sur la période d'étude alors qu'il a été de nombreuses fois avancé (CASSOU-LEINS et CASSOU-LEINS, 1981 ; MENNESSON-BOISNEAU *et al.*, 2000) que le facteur thermique était susceptible d'influencer fortement le choix d'un axe migratoire par les aloses. Des mesures de la température de l'eau des deux cours d'eau au niveau de leur confluence seraient ainsi fort utiles et permettraient d'appréhender plus précisément l'influence des facteurs environnementaux sur la répartition des aloses sur le bassin.

CONCLUSION

Les résultats de l'estimation des remontées annuelles d'alose vraie, de l'ordre de 505 000 géniteurs en moyenne sur la période 1987-2001, attestent que le stock sur le bassin de la Garonne est important par rapport aux autres axes fluviaux français (CASTELNAUD, 1999 ; ELIE *et al.*, 2000).

L'alose vraie du bassin de la Garonne paraît s'être accommodée jusque là d'une forte pression de pêche, comme l'indiquent également CASTELNAUD, ROCHARD et LE GAT (2001). L'augmentation marquée de l'abondance à partir de 1994, alors que l'espèce est exploitée à plus de 60 % en moyenne par la pêcherie, semble liée au rétablissement de la libre circulation sur les axes migratoires et à une survie suffisante tout au long du cycle. C'est très certainement grâce aux caractéristiques biologiques de l'espèce, notamment à sa très forte fécondité, estimée généralement à plus de 100 000 ovocytes par kilogramme (CASSOU-LEINS *et al.*, 2000) ainsi qu'à la présence de frayères fonctionnelles à l'aval des premiers obstacles à la migration, que cette population s'est maintenue sur le bassin avant que les passes à poissons de Bergerac, Tuilières et Golfec ne soient construites. Sur la période 1987-2001, près de 60 % en moyenne des géniteurs se reproduisent sur les parties basses des deux axes migratoires, à l'aval des stations de Tuilières et Golfec. Ce résultat peut être rapproché de la capacité de l'alose à se reproduire sur les parties basse et moyenne des axes mais aussi de l'efficacité des passes à poissons pour cette espèce, une efficacité de 50 % pouvant être considérée comme bonne, une efficacité de 75 % restant exceptionnelle (LARINIER, DARTIGUELONGUE et TRAVADE, 2000). Ainsi, ces tronçons de cours d'eau ont joué et jouent encore un rôle important, voire prépondérant, pour l'espèce. Une attention toute particulière doit donc être portée à ces secteurs afin qu'aucune modification ne perturbe leur fonctionnalité à l'égard de la fraie de l'alose.

Après la brutale augmentation des effectifs observée en 1994 et les forts niveaux d'abondance constatés dans les quelques années qui ont suivi, la population semble

s'être progressivement stabilisée. La tendance stationnaire du stock reproducteur, voire légèrement descendante si l'on inclut les années 2002 et 2003, invite à la prudence quant à l'évolution à court et moyen terme de la population, d'autant plus que certains indicateurs d'abondance ayant servi à estimer cette population présentent un certain nombre d'incertitudes. De surcroît, l'effet de la pêche a été sous-estimé du fait de la non prise en compte des pêcheurs non professionnels au filet et aux engins sur les parties moyennes de Garonne et de Dordogne, à l'aval des obstacles, ainsi que des pêcheurs aux lignes qui sont, semble-t-il, en augmentation (CARETTE, 1999 ; ELIE *et al.*, 2000).

Il est probable que l'accès à des habitats de meilleure qualité permettrait d'améliorer le recrutement naturel et de maintenir, voire d'augmenter, le niveau d'abondance d'une population qui, au mieux se stabilise, et au pire présente une légère baisse de ses effectifs ces dernières années. En ce sens, une amélioration de la franchissabilité des principaux obstacles aval devrait être envisagée sur les deux axes migratoires (aménagement hydroélectrique de Mauzac sur la Dordogne, seuil de Beauregard et aménagement hydroélectrique de Golfech-Malause sur la Garonne). Une modification du dispositif de franchissement va être réalisée très prochainement à Mauzac sur la Dordogne, la passe à poissons ayant révélé sa faible efficacité (CHANSEAU et CARRY, 2003). Par contre, rien n'est encore décidé sur la Garonne, en particulier au niveau du barrage de Malause.

Les effectifs d'alse comptabilisés et estimés sur les parties moyennes du bassin doivent être considérés comme un excédent de la pêche à but reproducteur. Une réduction prolongée des effectifs menacerait l'espèce. Il faut donc s'assurer de l'efficace maximale de la reproduction qui dépend, en particulier, du bon fonctionnement des passes à poissons et des frayères situées en Garonne et Dordogne et sur leurs affluents, à l'amont et à l'aval des obstacles. Pour cela, le contrôle au niveau des passes à poissons doit être poursuivi. L'estimation du nombre de géniteurs sur l'ensemble des frayères actives du bassin doit également être réalisée. Il conviendrait également de mettre en place, à proximité des frayères fonctionnelles du bassin, des opérations permettant d'obtenir chaque année des indices de recrutement afin d'appréhender l'efficacité de la reproduction naturelle.

Il est apparu dans ce travail que les trois outils de mesure utilisés, la pêcherie, les frayères, et les passes à poissons, ont permis d'estimer le stock total d'alse vraie du bassin de la Garonne. Les indicateurs d'abondance qui en sont issus sont complémentaires et peuvent être utilisés conjointement ou séparément, tout en sachant que certains d'entre eux sont plus ou moins pertinents pour apprécier le sens de l'évolution de l'abondance du stock.

Il serait particulièrement intéressant de se doter d'un tel ensemble d'outils de suivi et de mesure sur le bassin de la Garonne pour d'autres espèces migratrices, comme par exemple la lamproie marine, afin de parvenir au même type de quantification de stock. En ce sens, un suivi de la reproduction de l'espèce a été mis en place à partir de 2003 sur la Dordogne (LASCAUX *et al.*, 2004), à l'aval de l'aménagement hydroélectrique de Tuilières. Un suivi de ce type pourrait être mis en place prochainement sur la Garonne à l'aval de l'ouvrage de Golfech. Quant au saumon atlantique, les seuls indicateurs d'abondance disponibles à l'heure actuelle sur le bassin sont les effectifs comptabilisés au niveau des stations de contrôle de Golfech et de Tuilières.

REMERCIEMENTS

Nos remerciements s'adressent à Michel Larinier pour la relecture de ce travail et sa collaboration concernant notamment les stations de contrôle et l'expertise de l'efficacité des dispositifs de franchissement et à Laurent Beaulaton pour son questionnement sur l'interprétation des résultats.

BIBLIOGRAPHIE

- ALEXANDRINO P., BOISNEAU P., 2000. Variabilité morphologique et diversité génétique chez les aloses : diversité génétique. *In* : BAGLINIERE J.L. et ELIE P. (eds.), Les aloses (*Alosa alosa* et *Alosa fallax* spp.) : écobiologie et variabilité des populations, 179-196, Cemagref, Inra Éditions, Paris.
- BAGLINIERE J.L., SABATIÉ M.R., ALEXANDRINO P., APRAHAMIAN M.W., ELIE P., 2000. Les aloses : une richesse patrimoniale à conserver et à valoriser. *In* : BAGLINIERE J.L. et ELIE P. (eds.), Les aloses (*Alosa alosa* et *Alosa fallax* spp.) : écobiologie et variabilité des populations, 263-275, Cemagref, Inra Éditions, Paris.
- BELAUD A., LABAT R., TRIVELLATO D., TISON G., 1987. Expérimentations hydrauliques et ichtyologiques d'un système de piégeage automatique des poissons migrateurs à Golfech. *La Houille Blanche*, 1 et 2, 73-79
- BELAUD A., CARETTE A., 1998. Suivi 1998 de la qualité des milieux et de la reproduction des aloses sur le tronçon Agen-Golfech de la Garonne. Rapport de l'Association pour la Gestion de la Réserve Naturelle de la Frayère d'alose, 36 p.
- BELAUD A., CARETTE A., 1999. Suivi 1999 de la qualité des milieux et de la reproduction des aloses à Agen et en moyenne Garonne. Rapport de l'Association pour la gestion de la Réserve Naturelle de la Frayère d'alose, 61 p.
- CARETTE A., 1999. La petite histoire de la grande alose et de la réserve d'Agen. Rapport de l'Association pour la Gestion de la Réserve Naturelle de la Frayère d'Alose, Agen, 31 p.
- CARRY L., DELPEYROUX J.M., 2002. Étude des rythmes de migration des espèces amphibiotiques et holobiotiques de la Garonne au niveau de la station de contrôle de Golfech au cours de l'année 2001. Rapport MI.GA.DO. G10-02-RT, 20 p. + annexes.
- CARRY L., SAGE D., DELEZAY B., 2003. Étude des rythmes de migration des espèces amphibiotiques et holobiotiques de la Dordogne au niveau de la station de contrôle de Tuilières au cours de l'année 2001. Rapport MI.GA.DO. D12-01-RT, 17 p. + annexes.
- CASSOU-LEINS F., CASSOU-LEINS J.J., 1981. Recherches sur la biologie et l'halieutique des migrateurs de la Garonne et principalement de l'alose : *Alosa alosa* L. Thèse de doctorat, Institut National Polytechnique de Toulouse, 382 p.
- CASSOU-LEINS J.J., CASSOU-LEINS F., BOISNEAU J., BAGLINIERE J.L., 2000. Biologie des aloses : la reproduction. *In* : BAGLINIERE J.L. et ELIE P. (eds.), Les aloses (*Alosa alosa* et *Alosa fallax* spp.) : écobiologie et variabilité des populations, 73-92, Cemagref, Inra Éditions, Paris.
- CASTELNAUD G., 1978. Étude de la pêche aux filets et aux engins dans l'estuaire de la Gironde. Doctorat de 3^e cycle analyse et aménagement de l'espace, Université de Bordeaux III, CEMAGREF, Bordeaux, 189 p.
- CASTELNAUD G., 1999. Localisation de la pêche, effectifs de pêcheurs et production des espèces amphihalines dans les fleuves français. *Bull. Fr. Pêche Piscic.*, 357/360, 439-460.
- CASTELNAUD G., CLEMENT O., TROUVERY M., DE VERDILHAC P., 1980. La pêche dans l'estuaire de la Gironde (France) : ses particularités et ses problèmes. Proceedings of the Technical Consultation on Allocation of Fisheries Resources., Vichy (France), 20-23 avril 1980, 34-36.
- CASTELNAUD G., TROUVERY M., DE VERDILHAC P., 1981. La pêche des poissons migrateurs dans le bassin Garonne-Dordogne, 2. Évaluation de la production au

- moyen de carnets de pêche. Actes du XXVI^e Congrès A.F.L., Orléans, juin 1981, SRAE éd., pp. 242-246.
- CASTELNAUD G., ROCHARD E., LE GAT Y., 2001. Analyse de la tendance de l'abondance de l'alose *Alosa alosa* en Gironde à partir de l'estimation d'indicateurs halieutiques sur la période 1977-1998. *Bull. Fr. Pêche Piscic.*, 362/363, 989-1015.
- CASTIGNOLLES N., 1995. Automatisation du comptage et de la reconnaissance des espèces dans les passes à poissons par l'analyse de séquences d'images. Thèse 3^{ème} cycle, Institut National Polytechnique, Toulouse, 172 p.
- CATTOEN M., LARINIER M., THOMAS N., 1999. Système et logiciels pour la surveillance des passes à poissons. *Bull. Fr. Pêche Piscic.*, 353/354, 263-277.
- CHANSEAU M., DARTIGUELONGUE J., LARINIER M., 2000. Analyse des données sur les passages enregistrés aux stations de contrôle des poissons migrateurs de Golfech et du Bazacle (Garonne) et de Tuilières (Dordogne). Rapport MI.GA.DO.-GHAAPPE, 64 p.
- CHANSEAU M., CARRY L., 2003. Suivi de l'activité ichthyologique au niveau de la passe à poissons de Mauzac en 2002. Rapport MI.GA.DO D8-03-RT, 12 p.
- C.T.G.R.E.F., 1979. Étude halieutique de l'estuaire de la Gironde. CTGREF de Bordeaux, Division ALA/EDF, rapport final, 189 p.
- DARTIGUELONGUE J., 1996. Suivi du déroulement de la fraie sur la frayère à aloses à l'aval de Mauzac (Dordogne). Rapport S.C.E.A., 19 p. + annexes.
- ELIE P., TAVERNY C., MENNESSON-BOISNEAU C., SABATIE M.R., 2000. Les aloses et les activités humaines : l'exploitation halieutique. *In* : BAGLINIERE J.L. et ELIE P. (eds.), Les aloses (*Alosa alosa* et *Alosa fallax* spp.) : écobiologie et variabilité des populations, 199-226, Cemagref, Inra Éditions, Paris.
- GIRARDIN M., CASTELNAUD G., BEAULATON L., 2003. Surveillance halieutique de l'estuaire de la Gironde : suivi des captures 2001 ; étude de la faune circulante 2002. Rapport Cemagref pour EDF CNPE du Blayais/Étude Cemagref, groupement de Bordeaux, Cestas, n° 79, 203 p.
- LAGARRIGUE T., LASCAUX J.M., 2002. Identification et cartographie des frayères de grande alose (*Alosa alosa* L.) sur la Dordogne en aval du barrage de Tuilières (départements de la Dordogne et de la Gironde). Rapport MI.GA.DO-ECOGEA, D1-03-RT, 18 p. + annexes.
- LAMBERT P., MARTIN VANDEMBULCKE D., ROCHARD E., BELLARIVA J.L., CASTELNAUD G., 2001. Age à la migration de reproduction des géniteurs de trois cohortes de grandes aloses (*Alosa alosa*) dans le bassin versant de la Garonne (France). *Bull. Fr. Pêche Piscic.*, 362/363, 973-987.
- LARINIER M., 1993. L'aménagement des obstacles pour la migration. *In* : Pour un retour des poissons migrateurs : Adour-Charente-Dordogne-Garonne, Agence de l'eau Adour-Garonne, CSP, CNRS, 9-10-11 décembre 1993, Hotel-Dieu, Toulouse.
- LARINIER M., DARTIGUELONGUE J., TRAVADE F., 2000. Les aloses et les activités humaines : la conception des dispositifs de franchissement. *In* : BAGLINIERE J.L. et ELIE P. (eds.), Les aloses (*Alosa alosa* et *Alosa fallax* spp.) : écobiologie et variabilité des populations, 249-259, Cemagref, Inra Éditions, Paris.
- LASCAUX J.M., LAGARRIGUE T., BRINKERT S., CHANSEAU M., 2004. Suivi de la reproduction de la grande alose (*Alosa alosa* L.) et de la lamproie marine (*Petromyzon marinus* L.) sur la Dordogne en aval du barrage de Tuilières (départements de la Dordogne et de la Gironde), mai-juin 2003, 32 p. Rapport MIGADO-ECOGEA 2D-04-RT.

- 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. Thèse de doctorat, École Nationale Polytechnique, Toulouse, 115 p.
- MENNESSON-BOISNEAU C., APRAHAMIAN M. W., SABATIE M.R., CASSOU-LEINS J.J., 2000. Biologie des aloses : remontée migratoire des adultes. In : BAGLINIERE J.L. et ELIE P. (eds.), Les aloses (*Alosa alosa* et *Alosa fallax* spp.) : écobiologie et variabilité des populations, 55-72, Cemagref, Inra Éditions, Paris.
- 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 écobiologique de l'esturgeon *Acipenser sturio*. Thèse de doctorat, Université Rennes I, 305 p. + annexes.
- 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, écologie. Étude particulière de la dévalaison et de l'impact des activités humaines. Thèse de doctorat, Université Bordeaux I, 375 p. + annexes.
- TRAVADE F., LARINIER M., 1992. Les techniques de contrôle des passes à poissons. *Bull. Fr. Pêche Piscic.*, 326/327, 95-110.
- ZAR J.H., 1996. Biostatistical analysis. Third Edition. *Prentice-Hall International, Inc.*, 662 p. + annexes.