

## 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.

G. CASTELNAUD, E. ROCHARD, Y. LE GAT

Cemagref, Unité Ressources Aquatiques Continentales, 50 avenue de Verdun,  
33612 CESTAS Cedex, France. E-mail : [gerard.castelnaud@bordeaux.cemagref.fr](mailto:gerard.castelnaud@bordeaux.cemagref.fr)

Reçu le 24 octobre 2000  
Accepté le 22 janvier 2001

Received 24 October, 2000  
Accepted 22 January, 2001

### RÉSUMÉ

Au cours des deux dernières décennies, la population d'alose vraie *Alosa alosa* a été considérée par différents auteurs en diminution, même vouée à la disparition, puis en progression, ou se maintenant à un haut niveau d'effectif dans le bassin de la Garonne. L'objectif de ce travail est de produire les indicateurs halieutiques les plus aptes à rendre compte de la tendance de l'abondance de l'alose vraie en Gironde sur la période 1977-1998. Ces indicateurs saisonniers sont d'une part la CPUE et d'autre part la production totale et l'effort total qui doivent permettre d'explicitier et de conforter le diagnostic sur la tendance de l'abondance.

L'échantillon non-aléatoire de données de capture et d'effort provenant d'un réseau de pêcheurs coopératifs, a été stratifié selon les métiers de pêche, les zones de pêche et les quinzaines de pêche. L'estimation des captures totales et des efforts totaux fait appel à la théorie classique de l'échantillonnage avec stratification. Afin d'obtenir un indice qui reflète le mieux possible les variations d'abondance inter-annuelles et qui limite l'incidence des variations de capturabilité dans l'espace et dans le temps, nous avons utilisé la théorie du Modèle Linéaire Général pour construire un modèle log-linéaire qui donne le même poids aux zones et aux quinzaines de pêche sur toute la période d'étude. Le modèle explique la CPUE comme l'addition des effets principaux des facteurs zone, année et quinzaine. Une évolution en paliers des indices d'abondance est testée grâce à un modèle à erreur auto-régressive.

On constate que les paliers sont très hautement significatifs pour la Gironde et les trois compartiments Estuaire, Garonne, Dordogne. L'analyse des trois indicateurs halieutiques et la confrontation de leur évolution nous amènent à conclure que l'abondance d'*A. alosa* est au minimum stable en Gironde et qu'elle a très certainement augmenté au cours de la période 1977-1998. Le saut des indices d'abondance observé en 1994 peut être rapporté à l'effet de la mise en place des passes et ascenseurs à poissons sur les parties amont de Garonne et Dordogne.

Ces résultats encourageants ne doivent pas dissuader les gestionnaires d'adopter une approche prudente de la population d'alose dans le bassin de la Garonne, compte tenu du statut de cette espèce en Europe.

**Mots-clés :** *Alosa alosa*, France, Gironde, captures, efforts, CPUE, abondance, Modèle Linéaire Général.

## ABUNDANCE TREND ANALYSIS OF THE ALLIS SHAD *ALOSA ALOSA* IN THE GIRONDE BASIN DURING THE 1977-1998 PERIOD ON THE BASIS OF ESTIMATED FISHING INDICATORS.

### ABSTRACT

The population of the allis shad *Alosa alosa* has been considered successively in the last twenty years as declining, endangered, increasing, in a satisfactory status. The objective of this study is to estimate the most appropriate fishing indicators which can allow us to state on the abundance trend of *Alosa alosa* during the 1977-1998 period. These fishing indicators are CPUE, total catch and total fishing effort.

The non-random sample of data provided by a group of cooperative fishermen has been stratified with fishing techniques, fishing area, fortnight periods of fishing. The estimate of total catches and total efforts is based on the classical theory of stratified sampling. We used the General Linear Model method to obtain CPUE from a log-linear model, which limits the effects of the variations of capturability in space and time. These CPUE are supposed to be representative of the inter-annual variation of abundance. The model explains the CPUE as the addition of the main effects of the factors zone, year and fortnight. The trend of the abundance indexes is modeled by a step function with an auto-regressive error model.

The plateaus appear to be very highly significant for the Gironde basin as well as for the sections Estuaire, Garonne, Dordogne. The analysis of the three fishing indicators and the comparison of their evolution lead to the conclusion that the abundance of *Alosa alosa* is at least stable and has certainly increased in the Gironde basin. The jump of the CPUE observed in 1994 can be related to the construction of fishways in the upper parts of the Garonne and Dordogne rivers.

These encouraging results should however not dissuade managers to adopt a precautionary approach of the shad population in the Gironde basin, according to the status of this specie in Europe.

**Key-words** : *Alosa alosa*, France, Gironde, catch, effort, CPUE, abundance, General Linear Model.

### INTRODUCTION

Si avec 8,7 Millions de FF, l'aloise vraie *Alosa alosa* se situe seulement au 4<sup>ème</sup> rang en valeur des productions annuelles de poissons et agnathes amphihalins dans les cours d'eau et estuaires français (CASTELNAUD, 2001), elle arrive par contre avec 600 t environ, au 2<sup>ème</sup> rang en tonnage après l'anguille *Anguilla anguilla* tous stades confondus. Le bassin de la Garonne produit 90 % du tonnage total, soit en moyenne 540 t (CASTELNAUD, 2001 ; ELIE *et al.*, 2000). Le reste provient des bassins de la Loire et de l'Adour. Les estimations de captures sur le bassin de la Garonne concernent l'estuaire et les parties basses des fleuves Garonne et Dordogne-Isle qui concentrent l'essentiel de la pêche commerciale. Les débarquements d'aloise vraie y sont prépondérants depuis le début des années 80 (CASTELNAUD *et al.*, 1980 ; CASTELNAUD et DE VERDILHAC, 1982 ; ELIE, 1986 ; BABIN, 1993), après la chute des productions d'anguille tous stades confondus (CASTELNAUD *et al.*, 1994).

Cette espèce a été considérée dans le passé comme en déclin (ROGUET, 1993) en diminution (MENY et GOUBAULT, 1995), même vouée à la disparition en Garonne dans la

décennie 80-90 (CASSOU-LEINS et CASSOU-LEINS, 1981), puis en progression (PORCHER, 1993) montrant plutôt une tendance à la hausse (ROCHARD, 1992), se maintenant à un bon niveau d'effectif (MENY et GOUBAULT, 1995 ; MARTIN-VANDEMBULCKE, 1999). Face à ces constats opposés et incohérents, nous nous sommes fixé comme objectif de statuer sur une éventuelle tendance de l'abondance de la population d'*Alosa alosa* en Gironde. Pour cela nous disposons sur plus de deux décennies de chroniques de bonne qualité, concernant à la fois les captures et les efforts, collectées régulièrement et de façon personnalisée auprès d'un réseau de pêcheurs coopératifs. A partir de ces données nous nous proposons d'estimer les indicateurs halieutiques que sont les CPUE, les captures totales et les efforts de pêche totaux et d'analyser leur évolution sur la période 1977-1998.

## MÉTHODE

### Secteur d'étude

Le secteur d'étude appelé Gironde correspond à la partie du bassin de la Garonne soumise à l'influence de la marée dynamique. Il s'étend sur 150 km environ, de la limite transversale de la mer qui passe entre les ports de Royan en rive droite et de Le Verdon en rive gauche, jusqu'aux limites des zones mixtes de Garonne, Dordogne et Isle qui se situent respectivement à Casseuil, Castillon-la-Bataille et Laubardemont (Figure 1).

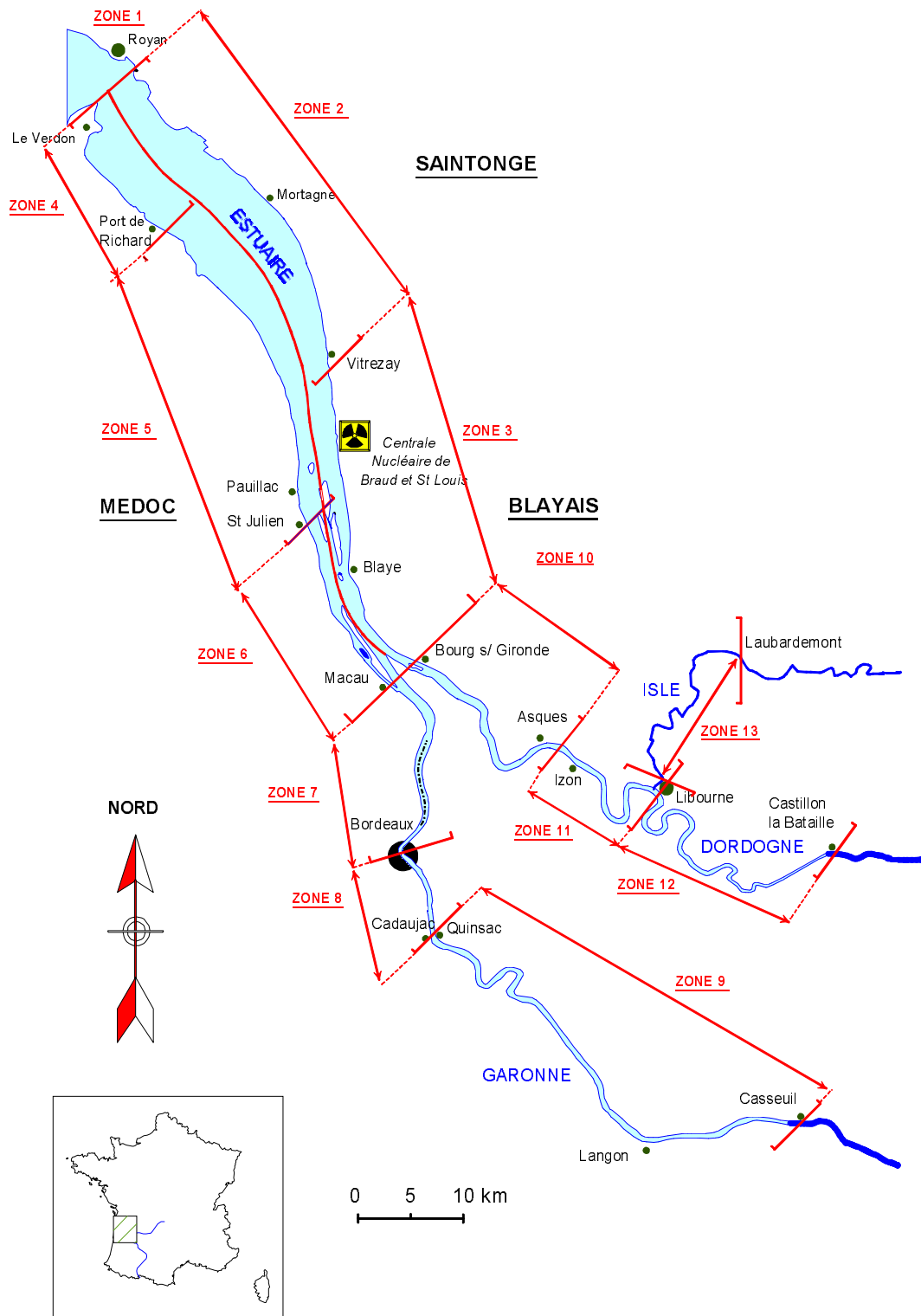
La partie estuaire, saumâtre, longue de 70 km, a une largeur maximale de 11 km et une largeur minimale de 2 km au niveau du Bec d'Ambès, confluence de la Garonne et de la Dordogne. Cet estuaire est constitué de 2 chenaux latéraux séparés par des hauts fonds et des îles, des digues et des barrages longitudinaux ; sa profondeur ne dépasse pas généralement 8 mètres sous le zéro bathymétrique mais atteint un maximum de 20 mètres dans son extrémité d'aval et se situe entre 7 et 35 mètres dans le chenal de navigation rive gauche. Les parties fluviales dulçaquicoles, d'une longueur de 80 km environ présentent les caractéristiques morphologiques de rivières à méandres avec un seul chenal. L'hydrodynamique de ce secteur est complexe et résulte de l'interaction entre les débits des fleuves accentués en période de crue et la marée semi-diurne, tantôt en opposition, tantôt en conjonction.

### Zones de pêche

La Gironde a été découpée en trois compartiments Estuaire, Garonne, Dordogne et en douze zones de pêche homogènes adjacentes à une zone de résidence, numérotées de 2 à 13 (Figure 1). La zone 1 est extérieure au secteur d'étude. Les zones de pêche 2, 3 et 4, 5, 6 s'étendent jusqu'au milieu de l'estuaire depuis la rive concernée, les zones de pêche 7, 8, 9, 10, 11, 12, 13 correspondent au bief entier.

### Pêche de l'alose

L'alose vraie est essentiellement capturée en tant qu'espèce cible au filet tramail dérivant à alose et en tant qu'espèce accessoire au filet tramail dérivant à lamproie marine (*Petromyzon marinus*) dans la Gironde. Seuls ces deux métiers de pêche « alose vraie – filet » et « lamproie marine – filet » seront pris en compte dans cette étude. Ces deux métiers sont pratiqués dans l'estuaire par des pêcheurs professionnels uniquement et dans les compartiments Garonne et Dordogne, par des pêcheurs professionnels concurremment avec des pêcheurs non-professionnels qui sont soit des pêcheurs amateurs authentiques, soit des pêcheurs qui commercialisent leurs prises (CASTELNAUD *et al.*, 1994).



**Figure 1**  
Le secteur d'étude, les compartiments et les zones de pêche.

**Figure 1**  
Study area, fishing sections and fishing areas.

La période de pêche se calque sur la période de migration. Les premières aloses sont capturées début mars lors de la pêche de la lamproie marine ; la pêche de l'aloise vraie proprement dite commence début avril et s'exerce jusqu'au 15 juin, date de la fermeture ; certains pêcheurs se concentrent sur le pic de migration, en mai (CASTELNAUD, 1978 ; CASTELNAUD *et al.*, 1980 ; CASSOU-LEINS et CASSOU-LEINS, 1981 ; ROCHARD, 1992).

Le filet tramail dérivant traditionnel pour la pêche de l'aloise vraie appelé « bichareyre » est constitué d'une nappe centrale de maillage étiré 110 mm et de 2 nappes extérieures de maillage étiré 700 mm. Sa longueur varie pour les professionnels de 120 à 160 m sur les compartiments Garonne et Dordogne et de 300 à 800 m sur le compartiment Estuaire selon les zones de pêche d'amont en aval ; elle est fixée à 60 m maximum pour les amateurs qui exercent uniquement sur les compartiments Garonne et Dordogne. Les caractéristiques du filet pour la pêche de la lamproie marine sont identiques sauf que le maillage de la nappe centrale est de 72 mm et celui de la nappe extérieure de 420 mm.

L'aloise n'est pas pêchée au filet en zones 4 et 13 ; elle est capturée avec le métier « alose vraie – filet » dans les zones 2, 3, 5, 6, 7, 8, 9, 10, 11, 12 et avec le métier « lamproie marine – filet » essentiellement dans les zones 3, 10, 11, 12.

### **Pêcheurs coopératifs**

Les débarquements des principales espèces d'intérêt halieutique et les efforts de pêche appliqués ont été estimés depuis 1977 dans la Gironde (CTGREF, 1979 ; CASTELNAUD *et al.*, 1980 ; CASTELNAUD *et al.*, 1999).

Du fait de la quasi-inexistence de statistiques administratives, le Cemagref a mis en place son propre système de suivi de l'activité halieutique. Ce système fait appel à des pêcheurs professionnels coopératifs qui fournissent des données précises de captures en nombre ou en poids et des informations complémentaires concernant leur activité de pêche et celle des autres pêcheurs dans leur zone de pêche (CTGREF, 1979 ; CASTELNAUD *et al.*, 1981 ; CASTELNAUD *et al.*, 1994). Des sorties de vérification et d'échantillonnage biologique sont associées (CTGREF, 1979 ; ROCHARD, 1992 ; MARTIN-VANDEMBULCKE, 1999 ; GAZEAU *et al.*, 2001).

Les données de capture et d'effort sont collectées annuellement par zone de résidence, par métier de pêche, par zone de pêche, par précision et qualité. Les pêcheurs coopératifs d'ordre 1 fournissent des données de capture en nombre de poissons à la précision sortie, jour ou quinzaine avec l'effort de pêche effectif correspondant ; elles sont de qualité 1. Les pêcheurs coopératifs d'ordre 2 fournissent des données à la précision mois ou saison avec ou sans l'effort de pêche effectif correspondant ; elles sont de qualité 2.

Au départ le réseau de pêcheurs coopératifs était surtout constitué de pêcheurs très assidus et performants ; progressivement il s'est étendu, démocratisé et on a cherché à augmenter la représentativité des pêcheurs coopératifs par zones de pêche.

A partir de 1994, les données de capture et d'effort ont été structurées sous forme d'une base de données « GIRPECH », ce qui a permis de les vérifier, de les valider et de les compléter en récupérant des données anciennes et des informations supplémentaires auprès des pêcheurs coopératifs dont le nombre et la qualité avaient progressivement augmenté.

La plus grande partie des données de capture d'aloise vraie et d'effort de pêche concernent le métier « alose vraie – filet » ; seuls des échantillonneurs d'ordre 1

fournissent des données de capture d'alose vraie réalisées avec le métier « lamproie marine – filet » et le plus souvent, ils pratiquent les deux métiers successivement.

### **Unité d'effort**

Compte tenu des caractéristiques de la pêche de l'alose vraie et du fait que le meilleur niveau de précision auquel nous puissions accéder lors de la collecte des données est le plus souvent le jour de pêche, nous avons retenu les deux unités suivantes :

- une unité standard d'effort nominal appelée PALAF correspondant à l'activité d'un pêcheur professionnel pêchant l'alose au filet tramail dérivant pendant la saison de pêche, du 1<sup>er</sup> mars au 15 juin ; cette unité permet d'obtenir l'effort nominal total ;

- une unité standard d'effort effectif appelée JALAF correspondant à l'activité d'un pêcheur professionnel pêchant l'alose au filet tramail dérivant, pendant une ou deux sorties de pêche lors d'un jour de pêche ; cette unité permet d'estimer l'effort effectif total et les CPUE.

### **Effectifs de pêcheurs et effort nominal**

Les effectifs de pêcheurs exerçant sur le bassin de la Gironde sont obtenus annuellement par recoupement des listes d'attribution de licences des administrations gestionnaires et des associations de pêcheurs. Les pêcheurs professionnels qui recherchent l'alose sont dénombrés chaque année parmi l'ensemble des pêcheurs professionnels à partir des informations collectées auprès du réseau de pêcheurs coopératifs et des représentants des associations de pêcheurs. Chacun de ces pêcheurs correspond à une unité standard d'effort nominal, soit 1 PALAF.

Comme nous ne disposons que de données éparses de capture et d'effort des pêcheurs non-professionnels, nous avons décidé, pour évaluer leur effort de pêche nominal puis leur production, de nous appuyer sur l'effectif annuel des pêcheurs amateurs auxquels est délivrée une licence de pêche au filet amateur.

Le nombre de pêcheurs non-professionnels étant vraisemblablement supérieur à l'effectif de pêcheurs amateurs licenciés et leur niveau d'assiduité à la pêche pouvant être soutenu, chaque pêcheur amateur licencié a été considéré entre 1997 et 1998 comme développant un effort égal au cinquième de celui d'un professionnel. Il est possible que cette donnée approximative biaise les estimations des efforts et des captures totaux, mais vraisemblablement toujours dans le même sens sur notre période d'étude.

L'effort nominal total pour une saison donnée est obtenu dans le compartiment Estuaire directement à partir de l'effort nominal des professionnels et dans les zones mixtes de Garonne et Dordogne-Isle, par sommation des efforts nominaux des deux catégories de pêcheurs.

### **Estimation des captures et des efforts effectifs totaux**

Les données de l'échantillon de pêcheurs coopératifs sont stratifiées selon les trois compartiments Estuaire, Garonne, Dordogne.

La théorie classique de l'échantillonnage avec stratification (COCHRAN, 1977) est utilisée pour calculer chaque année, successivement les captures moyennes et les efforts moyens par compartiment, puis, en utilisant les efforts nominaux, les captures et les efforts totaux par compartiment, ces derniers résultats étant assortis d'un intervalle de confiance

à 95 % dont l'amplitude est indiquée à la suite des valeurs moyennes dans le chapitre RÉSULTATS.

#### *Estimation des captures totales*

L'estimation des captures totales en nombre d'aloses s'opère sur l'ensemble des données de captures de qualité 1 et 2 des deux métiers « lamproie marine – filet » et « alose vraie – filet » confondus. Seuls sont retenus les pêcheurs coopératifs dont la capture totale annuelle excède 50 aloses.

Soient  $s$  les compartiments,  $i$  les pêcheurs coopératifs, et  $p$  les prélèvements ; le nombre de pêcheurs coopératifs de l'échantillon dans le compartiment  $s$  est noté  $n_s$  et l'effort nominal  $N_s$ .

Le prélèvement annuel moyen par pêcheur est estimé par :

$$\bar{p}_s = \sum_{i=1}^{n_s} p_i / n_s$$

La variance de cette moyenne est estimée par :

$$\hat{V}(\bar{p}_s) = (1 - n_s / N_s) \sum_{i=1}^{n_s} (p_i - \bar{p}_s)^2 / (n_s - 1) / n_s$$

La présence du facteur  $(1 - n_s / N_s)$ , appelé « correction de population finie », est justifiée par la faible valeur de  $N_s$ , qui varie de 43 à 142 selon le compartiment et l'année (Tableau I).

#### *Capture totale annuelle du compartiment*

La capture totale annuelle  $p_s$  est estimée par :

$$\hat{p}_s = N_s \bar{p}_s$$

Sa variance est estimée par :

$$\hat{V}(\hat{p}_s) = N_s^2 \hat{V}(\bar{p}_s)$$

La méthode suivante permet d'estimer un intervalle de confiance pour  $p_s$ . Si un grand nombre de résultats d'estimation de  $p_s$  étaient disponibles, issus d'échantillons indépendants de même taille  $n_s$ , et équivalents à celui disponible, 95 % des valeurs de  $\hat{p}_s$  seraient comprises dans l'intervalle :

$$\left[ \hat{p}_s - t(0,975, n_s - 1) \sqrt{\hat{V}(\hat{p}_s)}, \hat{p}_s + t(0,975, n_s - 1) \sqrt{\hat{V}(\hat{p}_s)} \right]$$

où  $t(0,975, n_s - 1)$  est le quantile à 97,5 % de la distribution de Student à  $(n_s - 1)$  degrés de liberté.

### Capture totale annuelle de Gironde

Le prélèvement annuel de Gironde  $p$  est estimé comme la somme des prélèvements estimés des compartiments :

$$\hat{p} = \sum_{s=1}^3 \hat{p}_s$$

Sa variance est estimée par :

$$\hat{V}(\hat{p}) = \sum_{s=1}^3 \hat{V}(\hat{p}_s)$$

Le calcul d'un intervalle de confiance à 95 % pour  $\hat{p}$  nécessite de calculer au préalable un nombre de degrés de liberté « effectif »  $n_e$  :

$$n_e = \frac{\left( \sum_{s=1}^3 \hat{V}(\hat{p}_s) \right)^2}{\sum_{s=1}^3 \hat{V}(\hat{p}_s)^2 / (n_s - 1)}$$

L'intervalle à 95 % pour  $\hat{p}$  est alors :

$$\left[ \hat{p}_s - t(0,975, n_e) \sqrt{\hat{V}(\hat{p}_s)}, \hat{p}_s + t(0,975, n_e) \sqrt{\hat{V}(\hat{p}_s)} \right]$$

### Estimation des efforts effectifs totaux

L'estimation des efforts effectifs totaux en nombre de JALAF s'opère sur les seules données d'effort de qualité 1 des deux métiers confondus. Les calculs sont effectués de façon identique à ceux concernant les captures totales.

### Estimation des CPUE

La CPUE est classiquement considérée en sciences halieutiques comme une quantité proportionnelle à la densité de l'espèce ou de façon équivalente à son abondance (BEVERTON et HOLT, 1957 ; GULLAND, 1969 ; RICKER, 1980 ; LAUREC et LE GUEN, 1981). Il a été cependant observé que ce concept n'est vraiment valide que de façon locale, c'est à dire dans un intervalle spatio-temporel où la densité de l'espèce et le coefficient de mortalité par pêche peuvent être considérés comme constants (GULLAND, 1969 ; RICKER, 1980 ; LAUREC et LE GUEN, 1981 ; CHAPMAN, 1990 ; CHADWICK et O'BOYLE, 1990 ; KLEIBER et PERRIN, 1991 ; GILLIS *et al.*, 1993 ; GILLIS et PETERMAN, 1998).

Or d'une part, la configuration géomorphologique et hydrodynamique du secteur d'étude induit des différences de concentration et donc de densité de l'aloise en migration et l'intensité de cette migration varie fortement au cours de la saison. D'autre part, les CPUE ne peuvent être calculées, comme cela se fait classiquement, à partir des captures totales et des efforts totaux. En effet, nous ne disposons que de données de capture et d'effort d'un échantillon non-aléatoire de petite taille et ce jeu de données n'est pas équilibré entre les facteurs explicatifs, dans le sens où, d'une année sur l'autre, la



proportion du nombre de pêcheurs coopératifs opérant dans une zone donnée et durant une quinzaine donnée, par rapport à l'effectif total de l'année, peut varier sensiblement. Il est donc délicat d'inférer l'abondance annuelle de l'alose à partir de simples calculs de moyennes.

Ainsi, afin d'obtenir un indice qui reflète réellement les variations d'abondance inter-annuelles, nous avons cherché à construire un modèle qui prenne en compte au mieux les conditions de proportionnalité entre CPUE et abondance. Nous avons utilisé la théorie classique du Modèle Linéaire Général (GLM) qui semble la mieux adaptée au jeu de données disponibles (LALOE *et al.*, 1996 ; STERGIOU *et al.*, 1997), moyennant un certain nombre d'hypothèses (BRETHES, 1990) et une stratification spatio-temporelle de ces données (BEVERTON et HOLT, 1957 ; KLEIBER et PERRIN, 1991).

La théorie GLM a déjà été utilisée pour standardiser et analyser des CPUE, en particulier pour les thonidés *Thunnus thunnus* (BROWDER, 1994 ; DONG et RESTREPO, 1996 ; PORCH et SCOTT, 1994 ; MIYABE, 1993), *Thunnus obesus* (MIYABE, 1996 ; OKAMOTO *et al.*, 1995), *Thunnus alalunga* (YEH et WU, 1996), pour l'espadon *Xiphias gladius* (HOEY *et al.*, 1989), le voilier *Istiophorus platypterus* (FARBER, 1994), le merlan *Merluccius merluccius* (GONI *et al.*, 1999), les homards *Homarus americanus* (BOUDREAULT *et al.*, 1977) et *Panulirus cygnus* (WALLACE *et al.*, 1998), mais aussi pour étudier l'influence des facteurs hydrodynamiques sur les CPUE pour l'alose *Alosa alosa* dans l'Adour (PROUZET *et al.*, 1994).

### *Hypothèses*

L'alose migre de fin février à début juillet selon une courbe de distribution généralement unimodale à l'échelle de la quinzaine (CASTELNAUD, 1978 ; ROCHARD, 1992) ; on postule que l'on a le même schéma annuel de migration, la même répartition annuelle entre fleuves et que l'accessibilité est constante d'une année sur l'autre.

Les variations de la vulnérabilité intrinsèque de l'alose liées à son comportement seront considérées comme identiques au cours d'une même saison et d'une saison à l'autre. Les deux hypothèses précédentes nous ramènent à une disponibilité constante, ce que ROCHARD (1992) avait posé implicitement.

On a affaire à des pêches séquentielles où chaque pêcheur retire une partie des aloses du flux migrant. On supposera que ce flux étant homogène, les biefs suffisamment longs et les pêcheurs suffisamment disséminés et distants les uns des autres, il y a indépendance des captures des pêcheurs sur une même zone et d'une zone à l'autre au cours de la saison. De ce fait, on considérera aussi que les changements d'effectifs de pêcheurs par zone d'une année sur l'autre n'ont pas d'influence sur la capture individuelle.

Certaines zones de pêche en particulier des compartiments Garonne et Dordogne concentrent le flux migratoire ; on posera que cet effet sur la vulnérabilité extrinsèque de l'alose est constant d'une année sur l'autre.

### *Stratification des données*

La stratification temporelle résulte d'un compromis entre l'amplitude des fluctuations de l'intensité migratoire à l'échelle de la saison de pêche et la nécessité d'exploiter les données de l'échantillon de pêcheurs coopératifs le plus large possible. C'est ainsi que la saison de pêche délimitée entre le 1<sup>er</sup> mars et le 15 juin a été découpée en 7 quinzaines. La stratification spatiale a, quant à elle, suivi le découpage initial de la Gironde en zones de pêche (Figure 1) ; 10 zones ont été retenues, du fait que l'alose n'est pas pêchée en zone 4 et en zone 13 (cf. Pêche de l'alose).

On considère qu'il n'y a pas d'interaction entre la zone et la quinzaine ; en effet, la vitesse de transit de l'alose qui est en moyenne de 25 km par jour (MENESSION-BOISNEAU, 1990 ; ROCHARD, 1992) en estuaire et en fleuve permet d'estimer que chaque zone, d'une longueur de 10 à 30 km maximum est traversée en 1 à 2 jours et le secteur d'étude en une semaine environ.

On utilise les seules données de qualité 1 du métier « lamproie marine – filet » pour le mois de mars uniquement et du métier « alose vraie – filet » pour l'ensemble de la saison de pêche du 1<sup>er</sup> mars au 15 juin. Les données de capture et d'effort de pêche de chaque pêcheur coopératif sont regroupées par strate spatio-temporelle zone-quinzaine pour calculer les CPUE élémentaires en nombre de poissons par jour de pêche à partir desquelles on ajuste le modèle explicité ci-dessous.

#### Le modèle

Dans le cadre du Modèle Linéaire Général, la variable dépendante CPUE élémentaire, transformée en son logarithme, est supposée être expliquée par l'addition des effets principaux des facteurs zone, année et quinzaine. Ce modèle est paramétré par la procédure GLM du module SAS/STAT(1989) en ne conservant que les effets les plus significatifs. La sous-procédure LSMEANS de GLM permet d'estimer les CPUE moyennes annuelles que l'on devrait observer si l'échantillon était équilibré selon les facteurs explicatifs.

Le modèle log-linéaire obtenu est le suivant :

$$\ln(CPUE + 1) = \beta_0 + \sum_{z=1}^{10} \beta_{1z} I_{[Zone=z]} + \sum_{a=1}^{22} \beta_{2a} I_{[Année=a]} + \sum_{q=1}^7 \beta_{3q} I_{[Quinzaine=q]} + \varepsilon \quad (1)$$

$$I_{[Y=y]} = \begin{cases} 1 & \text{si } Y = y \\ 0 & \text{si } Y \neq y \end{cases}$$

$$\varepsilon \text{ iid} \sim N(0, \sigma^2) \text{ (iid = indépendants et identiquement distribués)} \quad (2)$$

L'addition d'une unité à la CPUE permet de prendre en compte les CPUE élémentaires nulles (PORCH et SCOTT, 1994 ; LABELLE, 1998), observées certaines années en début de saison de pêche en particulier dans les zones du compartiment Estuaire ; son logarithme népérien est censé suivre une loi normale. C'est la distribution qui semble la mieux adaptée au jeu de données après comparaison au sens du maximum de vraisemblance, grâce à la procédure LIFEREG du module SAS/STAT (1989) des lois log-logistique, de Weibull, et log-normale. L'intérêt de la transformation logarithmique est double :

- elle stabilise la variance qui a tendance à augmenter pour les zones et les quinzaines les plus productives ;

- elle évite que les valeurs prédites par le modèle soient négatives, ce qui serait un non-sens.

Le modèle explique le  $\ln(\text{CPUE}+1)$  comme l'addition :

- d'un terme constant  $\beta_0$  ;

- d'un effet zone  $\beta_{1z}$  correspondant à la modification de la densité des aloses et de leur vulnérabilité à l'engin de pêche, à la différence de compétence possible entre les coopératifs des différentes zones et éventuellement à la différence de taille moyenne des engins de pêche selon les zones ;

- d'un effet année  $\beta_{2a}$  correspondant à la variation d'une année sur l'autre de l'abondance globale de l'aloise migrant dans la Gironde et éventuellement à l'évolution de la technologie de pêche ;

- d'un effet quinzaine  $\beta_{3q}$  traduisant la variation de l'intensité migratoire au cours de la saison de pêche.

Le terme d'erreur  $\varepsilon$  (différence entre les valeurs observées et calculées) résulte d'effets incontrôlables liés aux fluctuations naturelles de densité de l'aloise et à la variabilité inter-pêcheurs au sein d'une même zone et d'une même quinzaine, aux variations qualitatives et quantitatives inter-annuelles de l'échantillon de pêcheurs.

#### *Pertinence du modèle*

La pertinence du modèle est éprouvée par les outils classiques du Modèle Linéaire Général : coefficient de détermination  $R^2$ , test de Fisher sur la variance de chaque effet et test de Student sur les paramètres  $\beta$ .

#### *Normalité des résidus*

Le modèle linéaire est considéré comme étant assez robuste aux déviations par rapport à l'hypothèse (2) de normalité des résidus ; il importe tout de même de vérifier que les résidus observés du modèle n'en dérogent pas de façon trop sensible. Cette vérification s'effectue grâce au test de normalité de Shapiro-Wilk et par l'examen de l'histogramme des résidus, dont on attend en particulier qu'il n'indique pas de pluri-modalité. Ces calculs ont été effectués par la procédure UNIVARIATE du module SAS (1990).

#### *Estimation de la CPUE moyenne annuelle*

Pour une année donnée, une CPUE moyenne annuelle, corrigée des fluctuations d'échantillonnage, peut ainsi être estimée en appliquant l'équation (1) du modèle au cas où :

- l'indicatrice de l'année souhaitée est fixée à 1, et les indicatrices des autres années à 0 ;

- les indicatrices des  $m$  niveaux de chacun des autres facteurs sont fixées à  $1/m$  (soit  $1/10$  pour la zone et  $1/7$  pour la quinzaine), ce qui revient à faire la moyenne arithmétique des  $\beta$  de chaque facteur.

La CPUE moyenne de l'année  $a$  pour la Gironde est obtenue par la formule :

$$\ln(CPUE + 1) = \beta_0 + \left( \sum_{z=1}^{10} \beta_{1z} \right) / 10 + \beta_{2a} + \left( \sum_{q=1}^7 \beta_{3q} \right) / 7$$

La formule du calcul pour chaque compartiment est facilement déduite de la précédente.

La sous-procédure LSMEANS fournit en outre un écart-type d'estimation, permettant, en admettant la propriété de normalité asymptotique de l'estimation, de calculer un intervalle de confiance à 95 % pour la CPUE moyenne annuelle par compartiment et pour la Gironde. Son amplitude est indiquée à la suite des valeurs moyennes présentées au chapitre RÉSULTATS.

### Diagnostic de l'évolution des indices d'abondance

Les graphes du  $\ln(CPUE+1)$  en fonction du temps (Figure 4) suggèrent nettement une évolution en 3 paliers :

- 1977-1981,
- 1982-1993,
- 1994-1998.

La signification de ces paliers est testée grâce à un modèle linéaire à erreur auto-régressive explicité ci-après.

#### *Le modèle à erreur auto-régressive*

En appelant  $y_t$  le  $\ln(CPUE+1)$  moyen annuel calculé par le modèle (1) pour l'année  $t$ , où  $t = 0$  en 1976, le modèle suivant est posé :

$$y_t = \alpha_0 + \alpha_1 I_{[6 \leq t \leq 7]} + \alpha_2 I_{[t \geq 8]} + v_t \quad (3)$$

$$v_t = \varepsilon_t - \sum_{i=1}^5 \varphi_i v_{t-i} \quad \text{avec } \varepsilon_t \text{ iid} \sim N(0, \sigma^2) \quad (4)$$

#### *La pertinence des effets*

Le coefficient  $\alpha_0$  donne la valeur moyenne de  $y_t$  sur le premier palier (de 1977 à 1981),  $(\alpha_0 + \alpha_1)$  et  $(\alpha_0 + \alpha_2)$  jouant un rôle équivalent sur les paliers suivants. La signification de ces coefficients, ainsi que de leur différence, par rapport à la valeur 0 est éprouvée par un test de Student. La pertinence globale du modèle est évaluée par l'examen du coefficient de détermination  $R^2$ .

#### *Le diagnostic des résidus*

Etant susceptible de présenter une auto-corrélation, le terme  $v_t$  est modélisé comme une série auto-régressive (4), c'est à dire comme une combinaison linéaire de ses valeurs passées aux années  $t-1$ ,  $t-2$ ,  $t-5$ , afin de calculer les résidus finaux  $\varepsilon_t$  du modèle. Les  $\varphi_i$  significativement différents de 0 sont sélectionnés par la méthode pas-à-pas descendante, la P-value étant estimée de façon approximative par un test de Student au niveau de signification de 15 %. Les hypothèses de base concernant l'indépendance, l'identité et la normalité des distributions des  $\varepsilon_t$  sont éprouvées grâce au test de « bruit

blanc » de Ljong-Box (qui teste l'absence d'auto-corrélation dans la série des résidus), par le test de normalité de Shapiro-Wilk, et par l'examen de leur histogramme.

*La mise en œuvre du modèle*

Ce modèle est appliqué à l'ensemble des ln(CPUE+1) estimés, à l'échelle des deux décennies, au niveau de la Gironde et de chaque compartiment : Dordogne, Garonne et Estuaire. Les calculs sont effectués par les procédures AUTOREG et ARIMA du module SAS/ETS (1993) et UNIVARIATE du module SAS (1990).

**RÉSULTATS**

**Pêcheurs coopératifs et effort nominal**

*Pêcheurs coopératifs*

Les pêcheurs coopératifs de qualité 1 et 2 ont été en moyenne de 30 par an sur la période d'étude en Gironde (Tableau I). Ils représentent en moyenne 13 % de la population de pêcheurs professionnels d'aloise (min 6,2 % en 1981, max 29,9 % en 1996).

**Tableau I**

**Effectifs de pêcheurs, effort nominal et effectifs de pêcheurs coopératifs pour le secteur d'étude et les compartiments.**

**Table I**

**Number of fishermen, fishing effort and number of cooperative fishermen for the study area and fishing sections.**

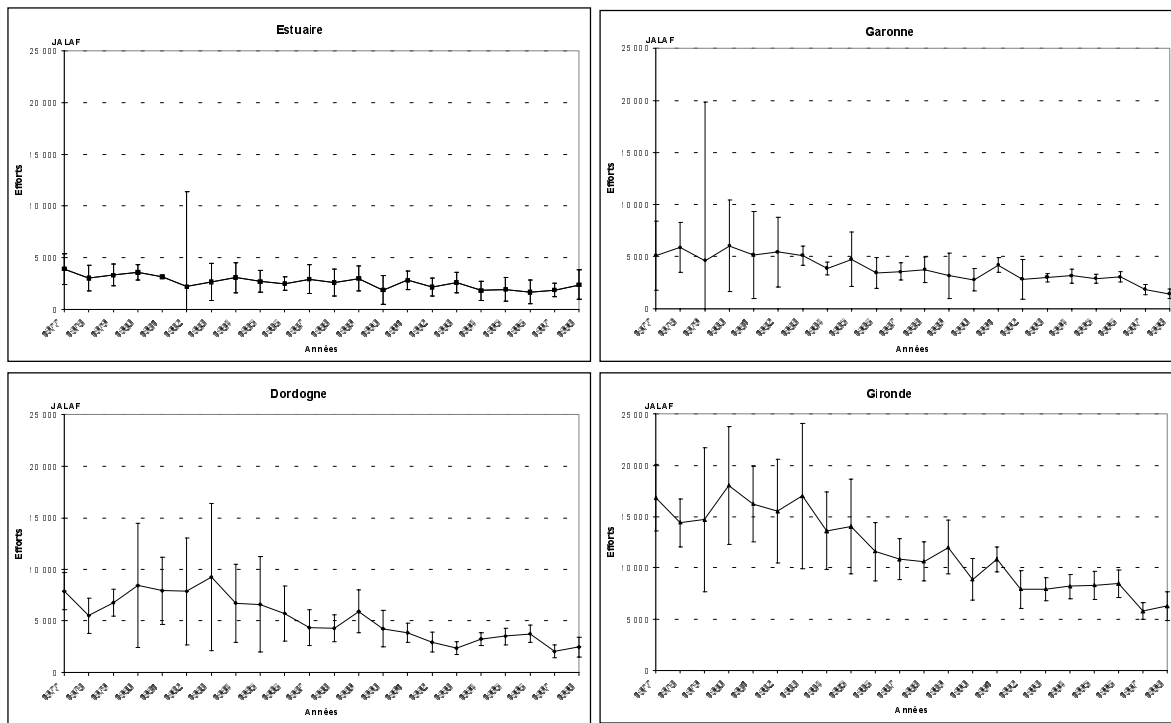
Année	1977	1978	1979	1980	1981	1982	1983	1984	1985	1986	1987	1988	1989	1990	1991	1992	1993	1994	1995	1996	1997	1998	
<b>Total Professionnels Gironde</b>	360	360	360	360	360	372	350	318	296	271	257	245	243	239	222	220	192	193	198	188	185	190	
<b>Professionnels Alose</b>	Estuaire	70	70	70	70	70	70	70	70	70	70	70	65	63	53	59	67	54	52	51	46	46	
	Garonne	80	80	80	80	80	80	77	58	60	57	50	55	53	45	44	42	35	29	30	34	28	29
	Dordogne	110	110	110	110	110	110	103	107	103	100	85	81	68	70	65	42	51	54	51	51	52	54
	Gironde	260	260	260	260	260	260	250	235	233	227	205	206	186	178	162	143	153	137	133	136	126	129
<b>Amateurs Filet</b>	Garonne	101	102	103	100	90	103	100	101	100	100	100	101	99	96	96	92	88	86	82	77	73	
	Dordogne	153	157	150	147	147	145	145	150	150	150	150	154	154	149	149	140	131	129	128	121	117	
	Gironde	254	259	253	247	237	248	250	246	250	250	250	255	253	245	245	232	219	215	210	198	190	
<b>Effort nominal en PALAF</b>	Estuaire	70	70	70	70	70	70	70	70	70	70	70	65	63	53	59	67	54	52	51	46	46	
	Garonne	100	100	101	100	98	101	97	78	80	77	70	75	73	65	63	61	53	47	47	50	43	44
	Dordogne	141	142	140	139	139	139	133	136	133	130	115	111	99	101	95	72	79	80	77	76	77	
	Gironde	311	312	311	309	307	310	300	284	283	277	255	256	237	229	211	192	199	181	176	178	165	167
<b>Pêcheurs coopératifs Gironde</b>	<b>Ordre 2 Qualité 2</b>	25	29	30	24	16	22	35	26	23	26	22	35	23	30	30	32	36	41	37	40	28	24
	% / Prof. ALAF Gironde	9,6	11,2	11,5	9,2	6,2	8,5	14,0	11,1	9,9	11,5	10,7	17,0	12,4	16,9	18,5	22,4	23,5	29,9	27,8	29,4	22,2	18,6
<b>Pêcheurs coopératifs Gironde</b>	<b>Ordre 1 Qualité 1</b>	22	22	18	10	8	10	12	18	19	23	18	25	14	17	23	22	32	34	30	33	20	17
	% / Prof. ALAF Gironde	8,5	8,5	6,9	3,8	3,1	3,8	4,8	7,7	8,2	10,1	8,8	12,1	7,5	9,6	14,2	15,4	20,9	24,8	22,6	24,3	15,9	13,2

Les effectifs de pêcheurs coopératifs de qualité 1 ont été en moyenne de 20 par an sur la période d'étude en Gironde (Tableau I). Ils représentent en moyenne 10 % de la population totale de pêcheurs professionnels d'alose (min 3,1 % en 1981, max 24,8 % en 1996).

*Effectifs de pêcheurs et effort nominal*

Les effectifs de pêcheurs amateurs au filet de la Gironde sont dans un premier temps restés assez stables de 1978 à 1992 et dans un second temps ont progressivement diminué pour rejoindre en 1998 les effectifs de la population totale de pêcheurs professionnels (Tableau I). Les effectifs de pêcheurs professionnels d'alose ont suivi la même tendance que la population totale de pêcheurs professionnels ; ils sont restés stables jusqu'en 1982 puis ils ont chuté pour passer au-dessous de 130 en 1997. Cela explique que l'effort nominal total de la Gironde a été assez stable entre 1977 et 1982, se situant aux alentours de 310 PALAF (Tableau I) puis a amorcé une baisse régulière, pour vraisemblablement se stabiliser en dessous de 170 PALAF à partir de 1997, soit une diminution de 45 % sur toute la période d'étude.

**Efforts effectifs totaux**



**Figure 2**  
Valeurs moyennes et intervalles de confiance à 95 % des efforts effectifs totaux pour le secteur d'étude et les compartiments.

**Figure 2**  
Mean values and 95 % confidence intervals of the total fishing effort for the study area and the fishing sections.

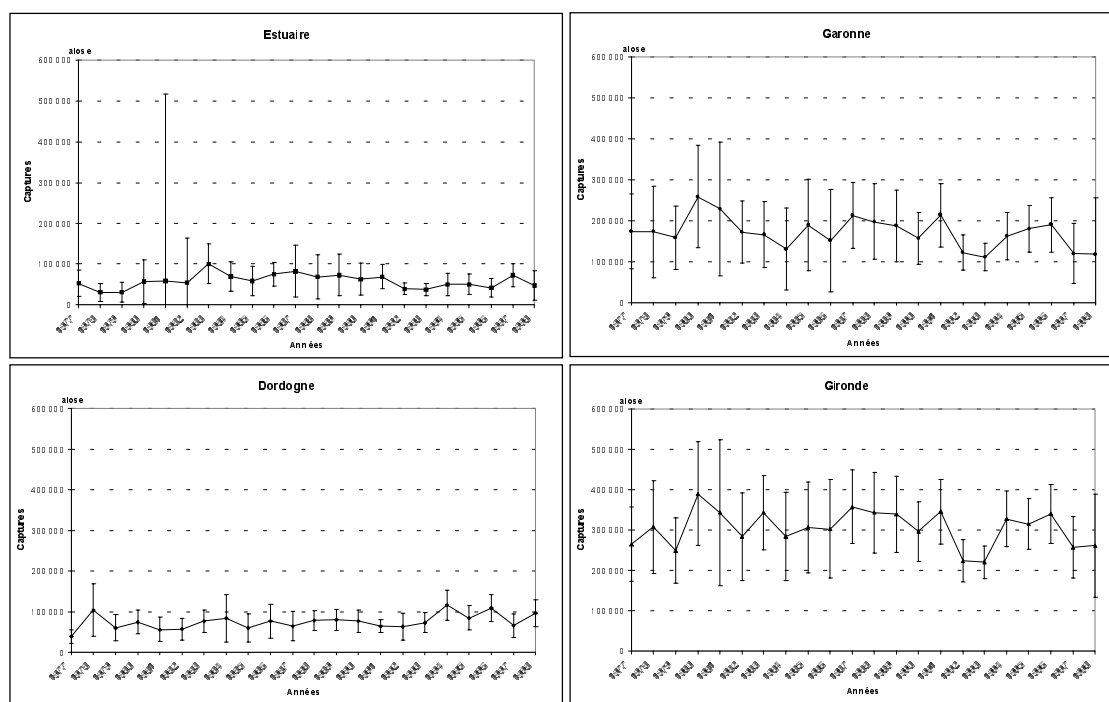
Les efforts effectifs totaux de Gironde passent d'une valeur comprise entre 14 400 ± 2 300 JALAF et 17 000 ± 7 000 JALAF environ en début de période d'étude à une valeur comprise entre 5 800 ± 800 JALAF et 8 300 ± 1 300 JALAF en fin de période d'étude, soit une baisse de plus de 50 % en 22 ans (Figure 2). Le palier atteint en 1992 autour de 8 000 JALAF ne s'est pas maintenu en 1997-1998.

L'effort effectif annuel du compartiment Garonne est encadré par celui de Dordogne qui est quasiment toujours le plus important et celui du compartiment Estuaire qui est quasiment toujours le plus faible pendant toute la période d'étude (Figure 2). Ces écarts ont cependant tendance à s'estomper fortement les deux dernières années d'étude.

Les efforts totaux semblent significativement à la baisse dans le secteur d'étude entre 1977 et 1998.

### Captures totales

Tout au long de la période d'étude, les captures totales de la Gironde ont été en moyenne de 374 000 aloses, valeur dont les années 1978 et 1997 se rapprochent beaucoup. On observe un minimum de 272 000 ± 50 000 aloses en 1992 et un maximum de 475 000 ± 159 000 aloses en 1980 (Figure 3).



**Figure 3**  
Valeurs moyennes et intervalles de confiance à 95 % des captures totales pour le secteur d'étude et les compartiments.

**Figure 3**  
Mean values and 95 % confidence intervals of the total catch for the study area and the fishing sections.

Les captures moyennes de Garonne sont doubles ou triples de celles des deux autres compartiments sur l'ensemble de la période. Depuis 1993, alors que les captures totales en Garonne et Estuaire stagnent, elles ont tendance à augmenter en Dordogne. Les captures totales du compartiment Garonne sont toujours supérieures à celles des deux autres compartiments, tandis que les captures totales de Dordogne apparaissent le plus souvent supérieures à celles de l'Estuaire.

Les captures totales doivent être considérées comme équivalentes dans le secteur d'étude sur l'ensemble de la période 1977-1998.

### CPUE élémentaires

Sur la période 1977-1998 (Tableau II) on totalise 1640 CPUE élémentaires pour le secteur d'étude, dont 479 pour l'Estuaire, 412 pour la Garonne, 749 pour la Dordogne. Le nombre total annuel de CPUE élémentaires pour le secteur d'étude varie de 17 à 81 entre 1977 et 1987 et de 62 à 155 entre 1988 et 1998. Le nombre annuel le plus faible de CPUE élémentaire (Tableau II) se trouve en Dordogne (2) de même que le plus élevé (78) ; le nombre moyen annuel le plus faible se trouve en Garonne. Si on se place au niveau de la quinzaine, que ce soit en Gironde ou dans les trois compartiments, on constate que le minimum de CPUE élémentaire peut être égal à 0 et le maximum à 14 ; c'est dans la première quinzaine de mai que le nombre moyen de CPUE élémentaire est le plus élevé.

**Tableau II**

**Nombre de CPUE élémentaires pour le secteur d'étude et les compartiments par quinzaine, par année et pour la période d'étude 1977-1998 ; (min) moy (max).**

**Table II**

**Number of elementary CPUE for the study area and fishing sections by fortnight, by year and for the period of study 1977-1998 ; (min) moy (max).**

Strates	Quinzaine							Année	Total
	mars-01	Mars-02	avr-01	avr-02	mai-01	mai-02	juin-01		
Estuaire	(0) 1 (2)	(0) 2 (9)	(0) 3 (8)	(1) 4 (10)	(1) 5 (9)	(1) 4 (8)	(1) 3 (5)	(4) 22 (48)	479
Garonne	(0) 1 (4)	(0) 2 (6)	(0) 3 (6)	(1) 3 (6)	(1) 4 (6)	(1) 4 (6)	(0) 3 (6)	(5) 19 (40)	412
Dordogne	(1) 4 (9)	(1) 5 (11)	(0) 5 (13)	(0) 5 (14)	(0) 6 (13)	(0) 6 (13)	(0) 4 (10)	(2) 34 (78)	749
Gironde	(0) 2 (9)	(0) 3 (11)	(0) 4 (13)	(0) 4 (14)	(0) 5 (13)	(0) 4 (13)	(0) 3 (10)	(17) 75 (155)	1640

### Estimation des CPUE

Le Tableau III montre que :

- les modèles expliquent entre 57 et 73 % de la variation observée du  $\ln(\text{CPUE}+1)$ , pêcheur par pêcheur, quinzaine par quinzaine, et zone par zone ;
- les tests de Fisher indiquent une bonne linéarité globale des différents modèles ;
- tous les effets sont très hautement significatifs, à l'exception de l'effet zone sur le modèle Garonne ;
- les résidus sont toujours normaux à l'exception du compartiment Garonne où une légère divergence par rapport à cette normalité est observée.



**Tableau III**

**Qualité de l'ajustement global du modèle log-linéaire, pertinence des effets zone, année et quinzaine, et normalité des résidus.**

**Table III**

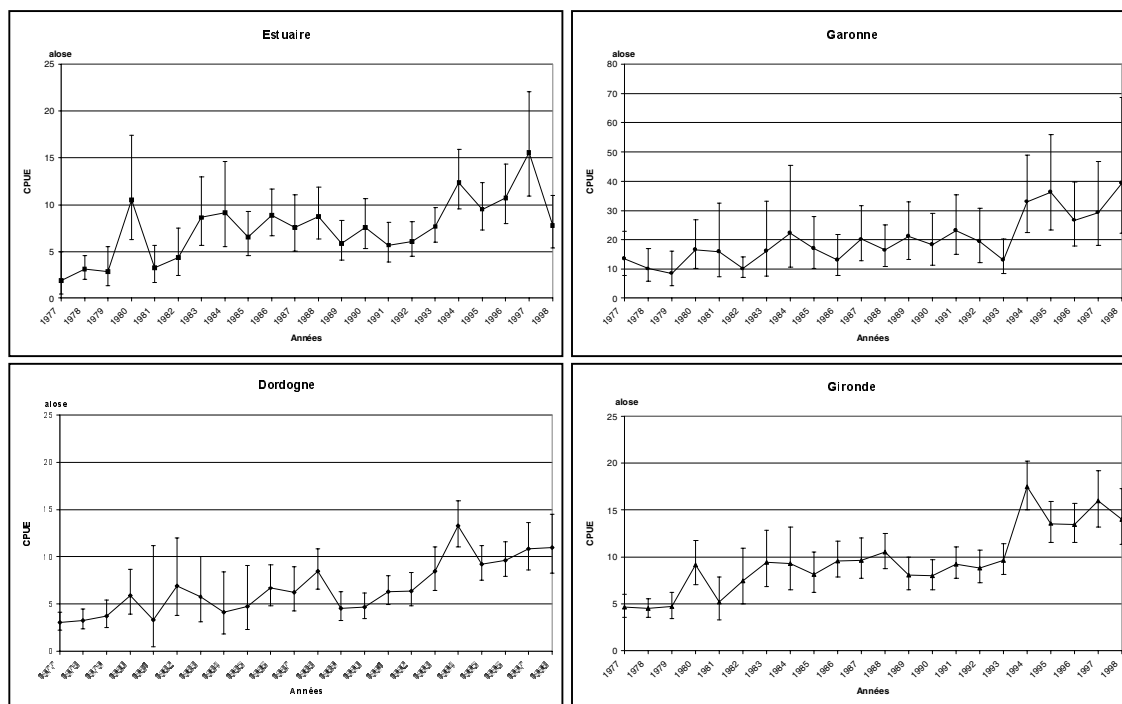
**Goodness of fit of the log-linear model, relevance of the fishing area, year and fortnight effects, and normality of the residuals.**

Secteur et compartiments	Gironde	Estuaire	Garonne	Dordogne
<b>R<sup>2</sup></b>	0,70	0,57	0,63	0,73
<b>F / P &gt; F</b>	103,5 / 0,0001	20 / 0,0001	21,7 / 0,0001	66,7 / 0,0001
<i>(ddl modèle ; ddl erreur)</i>	(36 ; 1580)	(30 ; 448)	(28 ; 360)	(29 ; 719)
<b>ZONE : F / P &gt; F</b>	65,8 / 0,0001	16,9 / 0,0001	0,78 / 0,46	27,3 / 0,0001
<i>(ddl modèle ; ddl erreur)</i>	(9 ; 1580)	(3 ; 448)	(2 ; 360)	(2 ; 719)
<b>ANNÉE : F / P &gt; F</b>	14,6 / 0,0001	5 / 0,0001	4,4 / 0,0001	8,3 / 0,0001
<i>(ddl modèle ; ddl erreur)</i>	(21 ; 1580)	(21 ; 448)	(20 ; 360)	(21 ; 719)
<b>QUINZAINE : F / P &gt; F</b>	410,8 / 0,0001	70,6 / 0,0001	89,3 / 0,0001	250 / 0,0001
<i>(ddl modèle ; ddl erreur)</i>	(6 ; 1580)	(6 ; 448)	(6 ; 360)	(6 ; 719)
<b>W de Shapiro-Wilk / P &lt; W</b>	0,99 / 0,97	0,99 / 0,53	0,98 / 0,045	0,99 / 0,54

La Figure 4 permet de visualiser les CPUE pour la Gironde et les compartiments Estuaire, Garonne, Dordogne sur la période 1977-1998, avec leurs intervalles de confiance.

On peut distinguer sur la Figure 4 une période 1994-1998 pour le secteur d'étude et les trois compartiments, où les CPUE sont systématiquement plus élevées que celles de la période 1977-1979 pour les compartiments et 1977-1982 pour le secteur d'étude.

Les CPUE Gironde sont comprises entre 5 et 9 aloses  $\pm 3$  par jour de pêche durant la période 1977-1981, entre 7 et 11 aloses  $\pm 3$  par jour de pêche durant la période 1982-1993 et entre 13 et 18 aloses  $\pm 3$  par jour de pêche durant la période 1994-1998. Les plus fortes valeurs sont observées dans le compartiment Garonne, avec des intervalles de confiance cependant parfois très importants : la valeur la plus élevée en 1998 est comprise entre 22 et 69 aloses par jour de pêche et la plus faible en 1979, entre 4 et 16 aloses par jour de pêche. Vient en deuxième position le compartiment Dordogne et ensuite le compartiment Estuaire.



**Figure 4**  
**Valeurs moyennes et intervalles de confiance à 95 % des CPUE pour le secteur d'étude et les compartiments.**

**Figure 4**  
**Mean values and 95 % confidence intervals of the CPUE for the study area and the fishing sections.**

**Tendance des indices d'abondance**

Il ressort du Tableau IV que :

- le modèle à erreur auto-régressive explique entre 56 et 87 % de la variation ;
- les paliers sont très hautement significatifs pour la Gironde et les trois compartiments Estuaire, Garonne, Dordogne ;
- les résidus apparaissent dans chaque cas comme un bruit blanc ; l'hypothèse de normalité est toutefois rejetée pour la Gironde et l'Estuaire à cause de l'année 1980 qui s'écarte notablement du premier palier (l'exclusion de ce point suffit à retrouver la normalité) ;
- les termes auto-régressifs d'ordre 2 pour la Gironde et la Garonne, ainsi que d'ordres 3 et 4 pour la Dordogne apparaissent significatifs et permettent de supprimer toute auto-corrélation au sein des séries résiduelles.

Tableau IV

Qualité de l'ajustement global du modèle à erreur auto-régressive, pertinence et estimation des effets paliers et des coefficients auto-régressifs, et test de bruit blanc gaussien des résidus.

Table IV

Goodness of fit of the auto-regressive error model, relevance and estimation of the plateau effects and of the auto-regressive coefficients, and gaussian white noise test of the residuals.

Secteur et compartiments		Gironde	Estuaire	Garonne	Dordogne
<b>Intercept <math>\alpha_i</math></b>	Valeur / écart-type	1,8 / 0,05	1,5 / 0,1	2,5 / 0,1	1,5 / 0,1
	T ratio / P > ITI	39,9 / 0,0001	11,3 / 0,0001	39,0 / 0,0001	24,6 / 0,0001
<b>Coef. de régression <math>\alpha_i</math></b>	Valeur / écart-type	0,5 / 0,05	0,5 / 0,2	0,4 / 0,1	0,4 / 0,1
	T ratio / P > ITI	8,3 / 0,0001	3,4 / 0,003	4,8 / 0,0002	5,6 / 0,0001
<b>Coef. de régression <math>\alpha_i</math></b>	Valeur / écart-type	0,9 / 0,06	0,9 / 0,2	0,9 / 0,1	1,0 / 0,1
	T ratio / P > ITI	14,3 / 0,0001	4,8 / 0,0001	10,5 / 0,0001	11,3 / 0,0001
<b>**<math>\alpha_{i-1}</math>**</b>	Valeur / écart-type	0,4 / 0,05	0,4 / 0,2	0,5 / 0,1	0,6 / 0,1
	T ratio / P > ITI	8,5 / 0,0001	2,4 / 0,0277	7,6 / 0,0001	7,5 / 0,0001
<b>Coef. auto-régressif résiduel <math>\varphi_i</math></b>	Valeur / écart-type	0,5 / 0,2		0,5 / 0,2	
	T ratio / P > ITI	2,5 / <0,15		2,4 / <0,15	
<b>Coef. auto-régressif résiduel <math>\varphi_i</math></b>	Valeur / écart-type				0,3 / 0,2
	T ratio / P > ITI				1,5 / <0,15
<b>Coef. auto-régressif résiduel <math>\varphi_i</math></b>	Valeur / écart-type				0,3 / 0,2
	T ratio / P > ITI				1,5 / <0,15
<b>R<sup>2</sup></b>		0,87	0,56	0,80	0,83
<b>Test de Ljung-Box aux décalages 1 à 6</b>	Chi 2	5,7	3,4	5,6	4,8
	P > Chi 2	0,46	0,76	0,47	0,57
<b>W de Shapiro-Wilk</b>	P < W	0,86 / 0,004	0,91 / 0,05	0,97 / 0,66	0,96 / 0,43

## DISCUSSION

Ce que l'on a cherché à mettre en évidence, ce sont les variations de l'abondance, sa tendance, à partir d'une série de CPUE saisonnières estimées, sur une période assez longue. De ce fait, c'est la fidélité des indices d'abondance qui compte davantage que leur justesse.

Nous avons estimé les captures totales et les efforts effectifs totaux dans la Gironde afin de nous placer dans une approche globale et rigoureuse de la tendance de l'abondance d'*A. alosa*. La connaissance de l'évolution de ces indicateurs halieutiques est hautement souhaitable pour valider la tendance indiquée par les CPUE, spécialement lorsque celles-ci sont estimées à partir d'un échantillon de pêcheurs. Cette connaissance, jointe à celle plus affinée de la structure de l'effort de pêche et des tactiques de pêche, permet aussi de limiter les erreurs de diagnostic sur l'abondance (GULLAND, 1969 ; 1977 ; LAUREC et LE GUEN, 1981 ; CHAPMAN, 1990 ; KLEIBER et PERRIN, 1991 ; MYERS *et al.*, 1997 ; NEIS *et al.*, 1999).

Il s'agit donc de s'assurer que les CPUE calculées avec le modèle log-linéaire sont bien représentatives de l'abondance réelle et que l'augmentation très hautement significative de leurs valeurs en deux temps conjointement dans le secteur d'étude et les trois compartiments, n'est pas liée à des artéfacts plutôt qu'à l'accroissement de l'abondance.

Les CPUE issues de pêcheries commerciales sont généralement calculées en faisant le rapport des captures totales et des efforts totaux obtenus par sommation de données issues de déclarations obligatoires. Dans ce cas, on maîtrise rarement l'origine et l'histoire des données, ce qui rejait sur la fiabilité et la représentativité des indices calculés, en fait sur leur exactitude.

Dans notre cas, l'estimation des CPUE se fait à partir de données issues d'un échantillon de pêcheurs coopératifs non-aléatoire du fait du caractère volontaire de cette coopération. Ce volontariat suscité par des contacts personnalisés et un long travail de persuasion dont les avantages sont soulignés par CARLANDER *et al.* (1958) nous permet d'avoir, en plus de la traçabilité, la meilleure assurance-qualité possible des données (GEOGHEGAN, 1996 ; GAZEAU *et al.*, 2001). De plus, au lieu de déduire le fonctionnement de la pêcherie à partir des données collectées comme le font par exemple CHANGEUX et ZYLBERBLAT (1993), nous nous appuyons sur une connaissance fine de terrain de la pêcherie, comme le recommandent en particulier NEIS *et al.* (1999) et HILBORN (1985), sur une connaissance « paysanne » selon l'expression de BRETHERS (1990).

Concernant le modèle log-linéaire utilisé, on peut indiquer que la sous-procédure LSMEANS de GLM est conçue pour que les CPUE moyennes annuelles obtenues à partir du modèle log-linéaire ne soient pas biaisées par les fluctuations structurelles de l'échantillon des pêcheurs coopératifs. Par exemple, cette procédure évite de considérer que l'indice d'abondance augmente une année où l'effort d'échantillonnage s'est plus que les autres années, porté sur une zone ou une quinzaine à forte productivité. Le test de normalité des résidus du modèle log-linéaire permet de confirmer que l'effet du caractère non-aléatoire des données n'affecte pas la validité du modèle.

Le taux de variation expliquée situe cette étude en bonne place par rapport à celles comparées dans GOÑI *et al.* (1999) pour lesquelles les taux de variation expliquée vont de 39 à 80 %. En combinant les taux d'explication du modèle log-linéaire en fonction des effets pris en compte et du modèle auto-régressif, on peut estimer qu'environ 60 % de la variation dans le temps de la CPUE de la Gironde est expliquée. Ce résultat peut être considéré comme satisfaisant compte tenu du jeu de données disponible et du caractère peu déterministe des modèles utilisés, les facteurs explicatifs de type biologique, physico-chimique, hydrologique, astronomique et tactique étant exclus. L'incertitude liée à ces processus naturels qui n'est pas prise en compte dans le modèle log-linéaire, se retrouve dans le terme d'erreur.

Le premier saut des indices observé peut être dû à l'effet d'un changement de qualité des données de base dans la première phase d'existence du système de recueil des données halieutiques. En effet, les données de capture et d'effort pour les années 1977 à 1981 proviennent de carnets de pêche distribués à un groupe de pêcheurs professionnels (CASTELNAUD *et al.*, 1981) et certains d'entre eux, méfiants et encore peu sensibilisés, n'ont assurément pas consigné la totalité de leurs captures. Le fait d'enregistrer les données des années 1982 et suivantes en présence du pêcheur, à partir de son support d'enregistrement personnel, de pouvoir les discuter et les recouper, a augmenté l'exhaustivité et la précision. L'utilisation dans les calculs de données plus proches de la réalité à partir de l'année 1982 peut aboutir très naturellement à des valeurs nettement supérieures des CPUE annuelles entre les périodes 1977-1981 et 1982-1993.

Le second saut des indices, lui, peut être difficilement imputé à des modifications du système de recueil de données halieutiques ou de la structure de la pêcherie entre 1983 et 1998. En effet, l'analyse de la population de pêcheurs ou de l'échantillon de pêcheurs coopératifs durant cette période ne montre pas une évolution dissymétrique de leur composition ni de leur répartition spatio-temporelle. Par exemple, on n'assiste pas à la disparition des pêcheurs les moins performants lors des arrêts d'activité de pêche conduisant à une augmentation progressive de l'efficacité du groupe actif de pêcheurs et donc de l'échantillon, qui pourrait entraîner une augmentation factice de la valeur des CPUE.

De même on peut écarter l'hypothèse d'une augmentation des valeurs des CPUE de Gironde du fait d'une réduction du niveau de capture en aval dans l'Estuaire qui aurait permis une progression du niveau de capture dans les deux compartiments Garonne et Dordogne, dont les productions et les rendements ont une influence prépondérantes dans le secteur d'étude. En effet, d'une part les effectifs de pêcheurs professionnels diminuent proportionnellement moins vite dans l'Estuaire que dans Garonne et Dordogne et il n'y a pas d'incertitude liée aux pêcheurs non-professionnels d'aloses : ceux-ci sont absents de ce compartiment ; d'autre part les effectifs de pêcheurs coopératifs dans l'Estuaire conservent une proportion identique avec ceux de Garonne et Dordogne pendant toute la période d'étude et ce compartiment révèle comme les deux autres une augmentation des CPUE.

L'effort de pêche effectif que nous avons calculé en unité d'effort standard JALAF représente bien l'évolution de l'effort réel : aucun changement significatif n'a été observé pendant toute la période d'étude, que ce soit au niveau de la répartition spatio-temporelle ou au niveau de la puissance de pêche. Ce sont les captures moyennes par pêcheur en augmentation sur Garonne et Dordogne qui maintiennent le niveau des captures totales sur la Gironde entre 1977 et 1998 (Figure 3) et non l'effort de pêche appliqué qui diminue progressivement sur toute la période d'étude comme le montrent les estimations d'efforts nominaux et effectifs (Tableau 1 et Figure 2).

La tendance des indicateurs halieutiques « captures totales » et « efforts totaux » est en cohérence avec celle des CPUE que l'on peut sûrement considérer à la hausse : même si le deuxième palier 1982-1993 ne peut être dissocié d'un problème d'échantillonnage, le troisième palier 1994-1998 ne trouve pas d'autre explication que biologique et démographique.

La tendance croissante de l'indice d'abondance est suffisamment lourde pour que les biais d'échantillonnage ne perturbent pas les résultats. En effet, nous avons vérifié que la même tendance se retrouve au niveau du secteur d'étude et des compartiments avec les CPUE calculées en faisant le rapport entre les captures totales et les efforts totaux estimés. Cette tendance est aussi observée avec des CPUE obtenues en faisant le rapport simple des données de capture et d'effort des pêcheurs coopératifs (CASTELNAUD *et al.*, 1999).

L'analyse précautionneuse que nous avons effectuée des trois indicateurs halieutiques et la confrontation de leur tendance nous amènent à conclure que l'abondance d'*A. alosa* est au minimum stable en Gironde et qu'elle a très certainement augmenté au cours de la période 1977-1998.

C'est à partir de 1989 que la libre circulation des espèces amphihalines sur les principaux axes de migration du bassin de la Garonne s'est améliorée (TENDRON et ROGUET, 1989 ; ROGUET, 1993) notamment par la construction de dispositifs de franchissement des ouvrages hydroélectriques de Golfesch sur la Garonne et de Tuilières sur la Dordogne et par l'aménagement du seuil d'Agen-Beauregard sur la Garonne (LARINIER, 1993 ; LARINIER *et al.*, 2000). Les comptages réalisés à partir de 1987 aux

stations de contrôles (CHANSEAU *et al.*, 2000) et à partir de 1985 sur les frayères (BELAUD et CARETTE, 1998 ; 1999) ont montré une augmentation des effectifs enregistrés en particulier à partir de 1994 (CHANSEAU *et al.*, comm. pers.).

Ce constat consolide la validité de la tendance indiquée par les séries de CPUE du secteur d'étude et le diagnostic d'une augmentation hautement probable de l'abondance de l'alose à partir de 1994 qui peut être vraisemblablement dû à l'effet de la mise en place de dispositifs de franchissement des obstacles dans le bassin et qui se serait fait sentir après une génération (MENNESSON-BOISNEAU *et al.*, 2000). D'une manière générale l'alose a bénéficié aussi de l'arrêt progressif des extractions de granulats (CASTELNAUD *et al.*, 1985) et de la protection des frayères les plus aval (TAVERNY *et al.*, 2000) dans la décennie 80-90.

## CONCLUSION

Nous avons mis en évidence, à partir de la modélisation des données de capture et d'effort issues d'un échantillon de pêcheurs professionnels, que l'abondance de l'alose a très certainement augmenté en Gironde sur les deux dernières décennies. Nous ne nous sommes pas contentés d'estimer seulement des CPUE avec un outil mathématique approprié ; nous avons aussi estimé les captures et les efforts effectifs totaux, ce que la conception du système de suivi de l'activité halieutique et les données collectées permettaient, et nous avons croisé l'ensemble des résultats obtenus et des informations disponibles afin de limiter au mieux les erreurs de diagnostic.

Cette espèce suscitant de la part des pêcheurs coopératifs peu de réticence à indiquer leurs prises lorsqu'ils les notent, nos résultats sur les captures totales en Gironde sur la période 1983-1998 sont possiblement surévalués par la part estimée de la pêche non-professionnelle mais certainement fidèles. Ils sont utilisés dans la modélisation de la dynamique de population (LAMBERT *et al.*, 2001) et dans les évaluations de stock (CHANSEAU *et al.*, comm. pers.).

La population d'alose semble s'être accommodée du niveau de mortalité par pêche élevé (LAMBERT *et al.*, 2001 ; CHANSEAU *et al.*, comm. pers.) qu'elle a subi durant cette période d'étude. Le taux d'exploitation actuel ne devrait pas augmenter, dans la mesure où le nombre total des pêcheurs d'alose est en légère diminution et où la puissance de pêche et les stratégies sont bien établies, ces dernières conduisant plutôt les pêcheurs à obtenir un meilleur prix de vente qu'à augmenter les prises.

Il ne faut toutefois pas sous-estimer l'impact des prélèvements de la pêche amateur aux filets et aux engins et de la pêche de loisir aux lignes dans les parties du bassin de la Garonne situées à l'amont du secteur d'étude. Ceux-ci, évalués à plus de 200 tonnes par CARETTE (1999), soit environ 115 000 poissons, ce qui correspond à l'imprécision des estimations de captures totales en Gironde, sont semble-t-il en augmentation, du fait du développement spectaculaire de la pêche de l'alose à la ligne.

Fort heureusement la disparition de l'alose ne s'est pas produite dans la décennie précédente, comme le laissaient présager les travaux menés par CASSOU-LEINS et CASSOU-LEINS (1981). Mais le principe de précaution que préconisaient « avant l'heure » les auteurs sur la base de ces travaux, mais aussi sur la base du constat de régression de l'espèce en Europe et en particulier sur les autres bassins français, a eu le mérite de peser sur la prise en compte des migrateurs autres que le saumon dans les plans de restauration mis en œuvre dans les années 80 sur le bassin de la Garonne (TAVERNY *et al.*, 2000).

Ce principe de précaution appliqué aux pêcheries (GARCIA, 1994 ; FAO, 1996 ; BRETHES, 1999) des espèces amphihalines (FAO, 1993), s'assortit spécialement dans le cas présent, du principe de responsabilité du scientifique et de la collectivité (BOURG, 1993 ; PAILLOTIN, 1997 ; GALLAND, 1998). C'est en effet une grande responsabilité au plan patrimonial et halieutique que de diagnostiquer une stabilité et a fortiori une augmentation de l'abondance d'une espèce dans un bassin fluvial surtout lorsque celle-ci est considérée comme vulnérable (IUCN, 1994 ; MAURIN et KEITH, 1994) et en diminution partout ailleurs en Europe et qu'aucune mesure conservatoire n'est envisagée (TAVERNY *et al.*, 2000 ; BAGLINIERE *et al.*, 2000). Le principe de précaution, évident pour une espèce en diminution, pourrait ne pas être appliqué à cette population d'alose pour laquelle les risques et les incertitudes (CADDY et MAHON, 1996 ; CADDY, 1998) subsistent, même si l'on a cherché à les minimiser dans ce travail d'analyse bien délimité.

## REMERCIEMENTS

Nous sommes très redevables à David BARBIER et à Philippe CAMOIN pour leur aide dans la réalisation des tableaux, figures et dans la mise en forme du texte ainsi qu'aux arbitres pour leurs corrections et suggestions.

## BIBLIOGRAPHIE

- BABIN D., 1993. Contribution à l'étude d'une ressource naturelle renouvelable : la pêche professionnelle en eau douce en France. Thèse de doctorat, Cemagref / Univ. Rennes II, 300 p.
- 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* : Les aloses (*Alosa alosa* et *Alosa fallax* spp.) : écobiologie et variabilité des populations, BAGLINIERE J.L., ELIE P. INRA, Paris, Cemagref Editions, Antony. 263-275
- 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.
- BEVERTON R.J.H., HOLT S.J., 1957. On the dynamics of exploited fish populations. Her majesty's stationery Office, London. 533 p.
- BOUDREAULT F.R., DUPONT J.N., SYLVAIN C., 1977. Modèles linéaires de prédiction des débarquements de homard aux Iles de la Madeleine (Golfe du Saint-Laurent). *J. Fish. Res. Board Can.*, 34, 379-383.
- BOURG D., 1993. Hans Jonas et l'écologie. *La Recherche* 256, vol. 24, 886-890
- BRETHES J.C., 1990. Le processus d'évaluation des stocks. *In* : BRETHES J.C., O'BOYLE R.N. (Eds.), Méthodes d'évaluation des stocks halieutiques, Centre international d'exploitation des océans, Québec, 17-30.
- BRETHES J.C., 1999. Spatialiser la gestion dans l'approche de précaution : mortalité globale et mortalité locale. *In* : Les espaces de l'halieutique, 4<sup>ème</sup> forum halieumétrique, Rennes, 29/06-1/7/99, 205-211.
- BROWDER J.A., 1994. GLM analysis of medium bluefin tuna relative abundance in the western North Atlantic based on rod and reel CPUE. *Collect. Vol. Sci. Pap. ICCAT*, vol. 42, n°1, 223-228.
- CADDY J., 1998. A short review of precautionary reference points and some proposals for their use in data-poor situations. *FAO Fisheries Technical Paper*, 379, 30 p.
- CADDY J.F., MAHON R., 1996. Points de référence en aménagement des pêcheries. *FAO Document technique sur les pêches*, 347, 89 p.

- CARETTE A., 1999. La petite histoire de la grande alose et de la réserve d'Agen. Association pour la Gestion de la Réserve Naturelle de la Frayère d'Alose, Agen. Rapport. 31p.
- CARLANDER K.D., DI COSTANZO C.J., JESSEN R.J., 1958. Sampling problems in creel census. *Progressive fish culturist*, vol. 20, n°2, 73-81.
- 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.
- CASTELNAUD G., 1978. Etude de la pêche aux filets et aux engins dans l'estuaire de la Gironde. Doctorat de 3<sup>e</sup> cycle analyse et aménagement de l'espace, Université de Bordeaux III, Cemagref, Bordeaux, 189 p.
- CASTELNAUD G., 2001. 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, p. 34-36.
- CASTELNAUD G., TROUVERY M., DE VERDILHAC P., 1981. La pêche des poissons migrateurs dans le bassin Garonne-Dordogne, 2. Evaluation de la production au moyen de carnets de pêche. Actes du XXVI<sup>e</sup> Congrès A.F.L., Orléans, juin 1981, SRAE ed., p. 242-246.
- CASTELNAUD G., DE VERDILHAC P., 1982. Etat de la production des pêches d'estuaires : Importance de cette évaluation et méthodologie. In : Colloque sur la production et la commercialisation du poisson d'eau douce, 30 mars-1<sup>er</sup> avril 1982, Dijon, Ass. Internat. *Des Entretiens Ecologiques*, cahiers 13 et 14, 98-107.
- CASTELNAUD G., COUTANCIER B., CEREZUELLE D., GUCHAN A., 1985. La pêche des migrateurs en Gironde 1<sup>ère</sup> partie : Analyse historique : du 18<sup>ème</sup> siècle à nos jours : bilan et perspectives. Cemagref de Bordeaux, Division ALA/MSHA/ Ministère de l'Environnement/ Département de la Gironde, 177 p. + annexes.
- CASTELNAUD G., GUERAULT D., DESAUNAY Y., ELIE P., 1994. Production et abondance de la civelle en France au début des années 90. *Bull. Fr. Pêche Piscic.*, 335, 263-287.
- CASTELNAUD G., ROCHARD E., GAZEAU C., 1999. Surveillance halieutique de l'estuaire de la Gironde - Suivi des captures 1997 - Étude de la faune circulante 1998. Étude Cemagref, groupement de Bordeaux, n°41. 172 p.
- CHADWICK M., O'BOYLE R.N., 1990. L'analyse des données de capture et d'effort. In : BRETHES J.C., O'BOYLE R.N. (Eds.), Méthodes d'évaluation des stocks halieutiques, Centre international d'exploitation des océans, Québec, 77-101.
- CHANGEUX T., ZILBERBLAT M. 1993. Analyse des statistiques de pêche aux engins dans le bassin du Rhône. Première partie : étude de l'effort de pêche. *Bull. Fr. Pêche Piscic.*, 330, 245-269.
- 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, 63 p.
- CHAPMAN D.G., 1990. Statistical problems in fisheries. In : HUNTER J. (ed.), Writing for fishery journals, 81-92, American Fisheries Society, Bethesda.
- COCHRAN W.G., 1977. Sampling techniques (3<sup>ème</sup> éd.), Wiley and sons, New-york. 428 p.
- C.T.G.R.E.F., 1979. Etude halieutique de l'estuaire de la Gironde. CTGREF de Bordeaux, Division ALA/EDF, rapport final, 189 p.
- DONG Q., RESTREPO V.R., 1996. Notes on the Poisson error assumption made to estimate relative abundance of West Atlantic bluefin tuna. *Collect. Vol. Sci. Pap. ICCAT*, vol. 45, n°2, 158-161.
- ELIE P., 1986. Les productions halieutiques et aquacoles dans les eaux continentales françaises. In : Symposium FAO-CECPI, Bordeaux, mai 1986, 4 p. + annexes.



- ELIE P., TAVERNY C., MENNESSON-BOISNEAU C., SABATIE M.R., 2000. l'exploitation halieutique. In : Les aloses (*Alosa alosa* et *Alosa fallax* spp.) : écobiologie et variabilité des populations, BAGNINIÈRE J.L., ELIE P. INRA Editions, Paris, Cemagref Editions, Antony. 199-226.
- FAO Fisheries Department, 1993. Reference points for fishery management : their potential application to straddling and highly migratory resources. *FAO Fisheries Circular*, 864, 52 p.
- FAO, 1996. Precautionary approach to fisheries. Part 2 : scientific papers. Prepared for the Technical consultation on the precautionary approach to capture fisheries. Lysekil, Sweden, 6-13 June 1995. *FAO Fisheries technical paper*, n°350, Part 2, 210 p.
- FARBER M.I., 1994. Standardization of U.S. recreational fishing success for sailfish (*Istiophorus platypterus*) 1973-92, using general linear model techniques. *Collect. Vol. Sci. Pap. ICCAT*, vol. 42, n°2, 346-352.
- GALLAND J.P., 1998. Les responsabilités des experts et le principe de précaution. *Natures, Sciences et Sociétés*, vol.6, n° 1, 46-49.
- GARCIA S.M., 1994. The precautionary principles : its implications in capture fisheries management. *Ocean & coastal management*, 22, 99-125.
- GAZEAU C., LEFRANÇOIS T., ROCHARD E., 2001. Mise en place d'une démarche qualité dans le cadre de l'échantillonnage d'une population de grande alose (*Alosa alosa*). *Bull. Fr. Pêche Piscic.*, 362/363, 1017-1024.
- GEOGHEGAN P., 1996. The management of quality control and quality assurance systems in fisheries science. *Fisheries*, vol. 21, n°8, 14-18.
- GILLIS D.M., PETERMAN R.M., 1998. Implications of interference among fishing vessels and the ideal free distribution to the interpretation of CPUE. *Can. J. Fish. Aquat. Sci.*, vol. 55, n°1, 37-46.
- GILLIS D.M., PETERMAN R.M., TYLER A.V., 1993. Movement dynamics in a fishery : application of the ideal free distribution to spatial allocation of effort. *Can. J. Fish. Aquat. Sci.*, 50, 323-333.
- GONI R., ALVAREZ F., ADLERSTEIN S., 1999. Application of generalized linear modeling to catch rate analysis of Western Mediterranean fisheries : the Castellon trawl fleet as a case study. *Fisheries research*, vol. 42, n°3, 291-302.
- GULLAND J.A., 1969. Manual of methods for fish stock assessment. Part 1 : Fish population analysis. *FAO Manuals in Fisheries science*, n°4, 154 p.
- GULLAND J.A., 1977. The stability of fish stocks. *J. Cons. Int. Explor. Mer*, vol. 37, n°3, 199-204.
- HILBORN R., 1985. Fleet dynamics and individual variation : why some people catch more fish than others ? *Can. J. Fish. Aquat. Sci.*, 42, 2-13.
- HOEY J., MEJUTO J., CONSER R., 1989. CPUE indices derived from combined Spanish and US catch and effort data. *Collect. Vol. Sci. Pap. ICCAT*, vol. 29, 228-240.
- IUCN, 1994. Catégories de l'UICN pour les listes rouges. Commission de la sauvegarde des espèces de l'UICN.
- KLEIBER P., PERRIN C., 1991. Catch-per-effort and stock status in the U.S. North Pacific albacore fishery : reappraisal of both. *Fishery bulletin*, vol. 89, n°3, 379-385.
- LABELLE M., 1998. Some comments on abundance indices and probing surveys. In : CAYRE P., LE GALL J.Y. (Eds.), Le thon : enjeux et stratégies pour l'Océan Indien, ORSTOM, Paris, 177-191.
- LALOE F., PECH N., SIMIER M., 1996. Modèles linéaires généraux et capacité de représentation. In : FERRARIS J., PELLETIER D., ROCHET M.J. (Eds.), Méthodes d'étude des systèmes halieutiques et aquacoles, 59-64, ORSTOM, Paris.
- 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 Gironde (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, 110-116.
- LARINIER M., TRAVADE F., DARTIGUELONGUE J., 2000. Les aloses et les activités humaines : la conception des dispositifs de franchissement . INRA Editions, Paris, Cemagref Editions, Antony. *In* : Les aloses (*Alosa alosa* et *Alosa fallax* spp.) : écobiologie et variabilité des populations, BAGLINIÈRE J.L., ELIE P. 249-259.
- LAUREC A., LE GUEN J.C., 1981. Dynamique des populations marines exploitées. Tome I : concepts et modèles. *Rapports scientifiques et techniques CNEXO*, 45, 117 p.
- MARTIN-VANDEMBULCKE D., 1999. Dynamique de 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, Institut National Polytechnique, Toulouse. 115 p.
- MAURIN H., KEITH P., 1994. Le livre rouge, inventaire de la faune menacée en France. Nathan, MNHN WWF. 175 p.
- MENNESSON-BOISNEAU C., 1990. Recherches sur les aloses (*Alosa* sp.) dans le bassin de la Loire. Thèse de doctorat, Université de Rennes I. 105 p.
- MENNESSON-BOISNEAU C., APRAHAMIAN M.W., SABATIE M.R., CASSOU-LEINS J.J., 2000. Biologie des aloses : remontée migratoire des adultes. *In* : Les aloses (*Alosa alosa* et *Alosa fallax* spp.) : écobiologie et variabilité des populations, BAGLINIÈRE J.L., ELIE P. INRA Editions, Paris, Cemagref Editions, Antony. 55-72
- MENY J., GOUBAULT O., 1995. Plan de gestion des poissons migrateurs des bassins de Garonne-Dordogne et Charente-Seudre. 1 - Document de synthèse des données existantes. DIREN Aquitaine, Bordeaux, 82 p.
- MIYABE N., 1993. Standardized CPUE of Atlantic bluefin in the eastern Atlantic and Mediterranean Sea obtained from the japanese longline fishery. *Collect. Vol. Sci. Pap. ICCAT*, vol. 40, n°1, 310-316.
- MIYABE N., 1996. Standardized bigeye CPUE from the japanese longline fishery in the Atlantic. *Collect. Vol. Sci. Pap. ICCAT*, vol. 45, n°3, 208-214.
- MYERS R.A., HUTCHINGS J.A., BARROWMAN N.J., 1997. Why do fish stock collapse ? The example of cod in Atlantic Canada. *Ecological applications*, vol. 7, n°1, 91-106.
- NEIS B., SCHNEIDER D.C., FELT L., HAEDRICH R.L., FISCHER J., HUTCHINGS J.A., 1999. Fisheries assessment : what can be learned from interviewing resource users, *Can. J. Fish. Aquat. Sci.*, 56, 1949-1963.
- OKAMOTO H., MIYABE N.K., ANANUZZI A.A., STOBBERUP K.A., WEBB N.J., 1995. Updated standardized CPUE of bigeye caught by the japanese longline fishery in the Indian Ocean, and stock assessment by production model. *IPTP Collect.*, vol. 9, 225-231.
- PAILLOTIN G., 1997. Recherche et société : de l'abstention à la coresponsabilité. *Natures, Sciences et Sociétés*, vol.5, n°2, 41-44 Elsevier éditeur.
- PORCH C.E., SCOTT G.P., 1994. A numerical evaluation of GLM methods for estimating indices of abundance from West Atlantic bluefin tuna catch per trip data when a high proportion of the trips are unsuccessful. *Collect. Vol. Sci. Pap. ICCAT*, vol. 42, n°1, 240-245.
- PORCHER J.P., 1993. Actions entreprises pour sauver les poissons migrateurs. Pour un retour des poissons migrateurs, 9-10-11 décembre 1993, Toulouse. *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, 95-99.
- PROUZET P., MARTINET J.P., BADIA J., 1994. Caractérisation biologique et variation des captures de la grande alose (*Alosa alosa*) par unité d'effort sur le fleuve Adour (Pyrénées Atlantiques, France). *Aquat. Living Ressour.*, 7, 1-10.
- RICKER W.E., 1980. Calcul et interprétation des statistiques biologiques des populations de poissons. *Ministère des pêches et des océans, Ottawa, Bulletin 191F*, 409 p.
- 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 Docteur en Biologie des populations et écosystèmes. Université Rennes I, 306 p.
- ROGUET M., 1993. Bilan du programme de restauration des poissons migrateurs dans le bassin Adour-Garonne. Pour un retour des poissons migrateurs, 9-10-11 décembre 1993, Toulouse. *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, 100-109.
- SAS/STAT, 1989. User's Guide, Version 6, Fourth Edition, Volume 2, Cary, NC : SAS Institute Inc., 1686 p.
- SAS, 1990. Procedures Guide, Version 6, Third Edition, Cary, NC : SAS Institute Inc., 705 p.
- SAS/ETS, 1993. User's Guide, Version 6, Second Edition, Cary, NC : SAS Institute Inc., 1022 p.
- STERGIOU K.I., CHRISTOU E.D., PETRAKIS G., 1997. Modelling and forecasting monthly fisheries catches : comparison of regression, univariate and multivariate time series methods. *Fisheries research*, 29, 55-95.
- TAVERNY C., BELAUD A., ELIE P., SABATIE M.R., 2000. Influence des activités humaines *in* : Les aloses (*Alosa alosa* et *Alosa fallax* spp.) : écobiologie et variabilité des populations, BAGLINIÈRE J.L., ELIE P. INRA, Paris, Cemagref Editions, Antony, 227-248.
- TENDRON G., ROGUET M., 1989. Aspects techniques et économiques de la politique de restauration des grands migrateurs. *Courrier de la Nature*, n°122, 27-36.
- WALLACE I.F., LINDNER R.K., DOLE D.D., 1998. Evaluating stock and catchability trends : annual average catch per unit effort is an inadequate indicator of stock and catchability trends in fisheries. *Marine policy*, vol. 22, n°1, 45-55.
- YEH S.Y., WU C.L., 1996. Assessment of South Atlantic albacore resource by using surplus models on Taiwanese 1968-1993 longline data. *Collect. Vol. Sci. Pap. ICCAT*, vol. 43, 379-382.

