



HAL
open science

Caractérisation et vulnérabilité des habitats essentiels utilisés par l'esturgeon européen, *Acipenser sturio*, dans l'estuaire de la Gironde : Rapport final Cemagref, MEDD-GRISAM

Laurent Brosse, Eric Rochard, Mario Lepage

► To cite this version:

Laurent Brosse, Eric Rochard, Mario Lepage. Caractérisation et vulnérabilité des habitats essentiels utilisés par l'esturgeon européen, *Acipenser sturio*, dans l'estuaire de la Gironde : Rapport final Cemagref, MEDD-GRISAM. [Rapport de recherche] irstea. 2002, pp.52. <hal-02605614>

HAL Id: hal-02605614

<https://hal.inrae.fr/hal-02605614v1>

Submitted on 16 May 2020

HAL is a multi-disciplinary open access archive for the deposit and dissemination of scientific research documents, whether they are published or not. The documents may come from teaching and research institutions in France or abroad, or from public or private research centers.

L'archive ouverte pluridisciplinaire **HAL**, est destinée au dépôt et à la diffusion de documents scientifiques de niveau recherche, publiés ou non, émanant des établissements d'enseignement et de recherche français ou étrangers, des laboratoires publics ou privés.



HAL Authorization



Caractérisation et vulnérabilité des habitats essentiels utilisés par l'esturgeon européen, *Acipenser sturio*, dans l'estuaire de la Gironde.

RAPPORT FINAL



Référence du document :

Brosse L., Rochard E. et Lepage M. 2002. Caractérisation et vulnérabilité des habitats essentiels utilisés par l'esturgeon européen, *Acipenser sturio*, dans l'estuaire de la Gironde. Rapport final Cemagref. Ministère de l'écologie et du Développement Durable-GIS GRISAM.

Table des matières.

1.	Introduction	4
1.1.	Contexte	4
1.2.	Objectifs et déroulement du projet.	8
2.	Matériels et méthodes.....	9
2.1.	La profondeur dans l'estuaire de la Gironde.....	9
2.2.	Le courant dans l'estuaire de la Gironde.	10
2.3.	Caractérisation des sédiments dans l'estuaire de la Gironde.....	11
2.4.	Caractérisation de la faune benthique.	15
2.5.	Le traitement statistique des données.....	16
3.	Résultats	17
3.1.	Les variables de l'environnement, leur répartition et leurs valeurs.....	17
3.2.	Résultats des analyses sur les liens entre les variables de l'habitat et le nombre de captures d'esturgeon.	26
4.	Discussion.	37
4.1.	Cas de la caractérisation de l'estuaire du point de vue des variables de l'environnement.	37
4.2.	Cas des coefficients de corrélation de Kendall.	37
4.3.	Cas des résultats de l'Analyse des Correspondances Multiples.....	38
4.4.	Discussion, conclusion sur l'ensemble des résultats obtenus lors des différents traitements des données STURAT	39
4.5.	Vulnérabilité de la faune benthique aux opérations de dragage et de dépôt de sédiments.....	41
5.	Utilisation ultérieure des connaissances acquises.....	42
5.1.	La méthode des Indices de Qualité des l'Habitat (IQH, ou HSI en anglais).	42
5.2.	Méthode de calcul d'un IQH.	43
5.3.	Résultats du calcul de l'IQH.	44
5.4.	Discussion des résultats obtenus avec la méthode IQH.....	46
6.	Conclusions générales.....	48
6.1.	Valorisation et portée à connaissances effectuée.....	49
6.2.	Valorisation et portée à connaissances prévues.....	49
7.	Références	50
8.	Remerciements.....	52
9.	Collaborations.....	52

1. Introduction

1.1. Contexte

On considère actuellement que la totalité des 26 espèces d'esturgeon sont menacées ou en danger d'extinction dans le monde (Rochard *et al.*, 1990; Birstein *et al.*, 1995; Birstein *et al.*, 1997a). Suivant les critères de l'union internationale pour la conservation de la nature (U.I.C.N.), on compte parmi les esturgeons (famille des Acipenséridés) du genre *Acipenser* une espèce à faible risque, sept espèces vulnérables, huit espèces menacées d'extinction et deux espèces gravement menacées d'extinction. Pour le genre *Huso*, les deux espèces sont menacées d'extinction. Pour le genre *Pseudoscaphirhynchus* une espèce est classée comme menacée d'extinction, les deux autres étant classées comme gravement menacées d'extinction. Pour le genre *Scaphirhynchus* une espèce est vulnérable et les deux autres sont menacées d'extinction.

On constate qu'une très large majorité des esturgeons (17/26) est classée soit comme menacée soit comme gravement menacé d'extinction et que le reste est dit vulnérable. Ceci témoigne du très mauvais état des populations d'esturgeon à travers le monde et montre clairement que la sauvegarde de ces espèces est un défi actuel.

Les causes les plus fréquemment citées pour expliquer les fortes réductions d'effectifs et la disparition de certaines populations d'esturgeon sont la surpêche, la mise en place de barrages infranchissables (Trouvery *et al.*, 1984; Rochard *et al.*, 1990; Castelnaud *et al.*, 1991; Birstein *et al.*, 1997a; Hensel and Holcik, 1997; Kynard, 1997; Ruban, 1997; Smith and Clugston, 1997) ainsi que la dégradation de leurs habitats via l'extraction de granulats ou la pollution des eaux (Trouvery *et al.*, 1984; Castelnaud *et al.*, 1991; Birstein *et al.*, 1997a; Ruban, 1997; Smith and Clugston, 1997). Dans la plupart des cas, plusieurs de ces facteurs se sont combinés, entraînant une réduction rapide des effectifs et la disparition des populations fréquentant certains bassins versants.

Actuellement l'esturgeon européen est considéré comme une espèce gravement menacée d'extinction (Cr-A2d) (Rochard *et al.*, 1990; Castelnaud *et al.*, 1991; Lepage and Rochard, 1995) à cause d'une surexploitation historique (fin du 19^e siècle et 20^eme siècle) par la pêche, d'une réduction de la surface des habitats accessibles et d'une dégradation de leur qualité (Trouvery *et al.*, 1984; Castelnaud *et al.*, 1991). Historiquement, l'esturgeon européen se rencontrait fréquemment de la mer Baltique au nord du Maroc ainsi qu'en mer Noire (Holcik, 1989) jusqu'au 19^{ème} siècle puis son aire de répartition n'a cessé de régresser jusqu'à nos jours (

Figure 1).

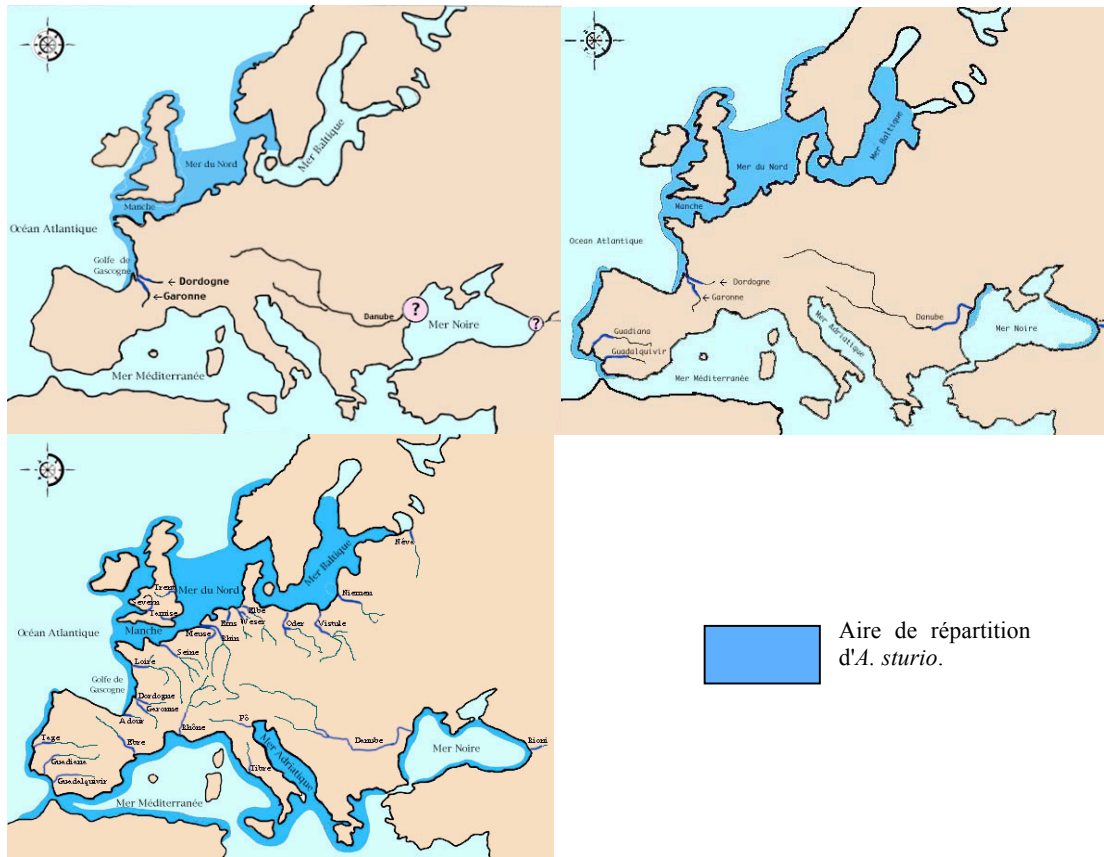


Figure 1 Aire de répartition de l'esturgeon européen *A. sturio* en 1850 ; 1950 et 1996 (source Cemagref).

La dernière population actuellement fonctionnelle fréquente le bassin versant Gironde-Garonne-Dordogne (Castelnaud *et al.*, 1991 ; Williot *et al.*, 1997) et se rencontre en mer, du sud du Golfe de Gascogne à la Scandinavie (Rochard *et al.*, 1997). Cette population a fait l'objet de deux programmes de restauration européens Life (I : 1994-1997 et II : 1998-2001) (Elie, 1997 ; Rochard 2002).

L'esturgeon européen, *Acipenser sturio*, 1758 Linnaeus, appartient à la famille des Acipenseridés, il peut atteindre 5 m pour un poids supérieur à 200 kg (Rochard *et al.*, 1991). L'esturgeon européen a le dos de couleur gris-beige et le ventre est blanc-rosé (Figure 2). Le nombre d'écussons pour la population de la Gironde varie entre 10 et 15 sur la rangée dorsale (D), 29 et 38 sur les rangées latérales (L) et 10 à 12 sur les rangées ventrales (V) (Rochard *et al.*, 1991).



Figure 2 : Juvénile d'esturgeon européen, *Acipenser sturio* capturé dans l'estuaire de la Gironde (Photographie Cemagref Bordeaux).

Le museau est allongé et plus ou moins pointu en fonction de l'âge (atténuation pour les individus âgés) avec quatre barbillons tactiles disposés ventralement en avant de la bouche protractile.

L'esturgeon européen est un poisson migrateurs amphihalins potamotoque, les adultes remontent en eau douce au printemps pour frayer avant de s'en retourner en milieu océanique (Figure 3). Après éclosion des œufs [80 à 104 h à 17,5 °C, Williot *et al.* (1997, Life I pp119-126)], les larves puis les alevins vivent quelques mois en fleuve (Jatteau, 1998) avant de passer dans la partie dulçaquicole de l'estuaire lors de leur premier hiver (Rochard *et al.*, 2001). Ces juvéniles vont rester plusieurs années dans l'espace estuarien en effectuant des aller-retour avec le milieu océanique avant de rejoindre celui-ci (Holcik *et al.*, 1989; Castelnaud *et al.*, 1991; Rochard *et al.*, 1991; Rochard *et al.*, 1997; Rochard *et al.*, 2001) pour atteindre la maturité sexuelle vers 11-13 ans pour les mâles et 15-17 ans pour les femelles (Figure 3), ils quittent alors la mer pour aller se reproduire sur la partie moyenne de la Garonne ou de la Dordogne (Jego *et al.*, 2002) avant de repartir en mer.

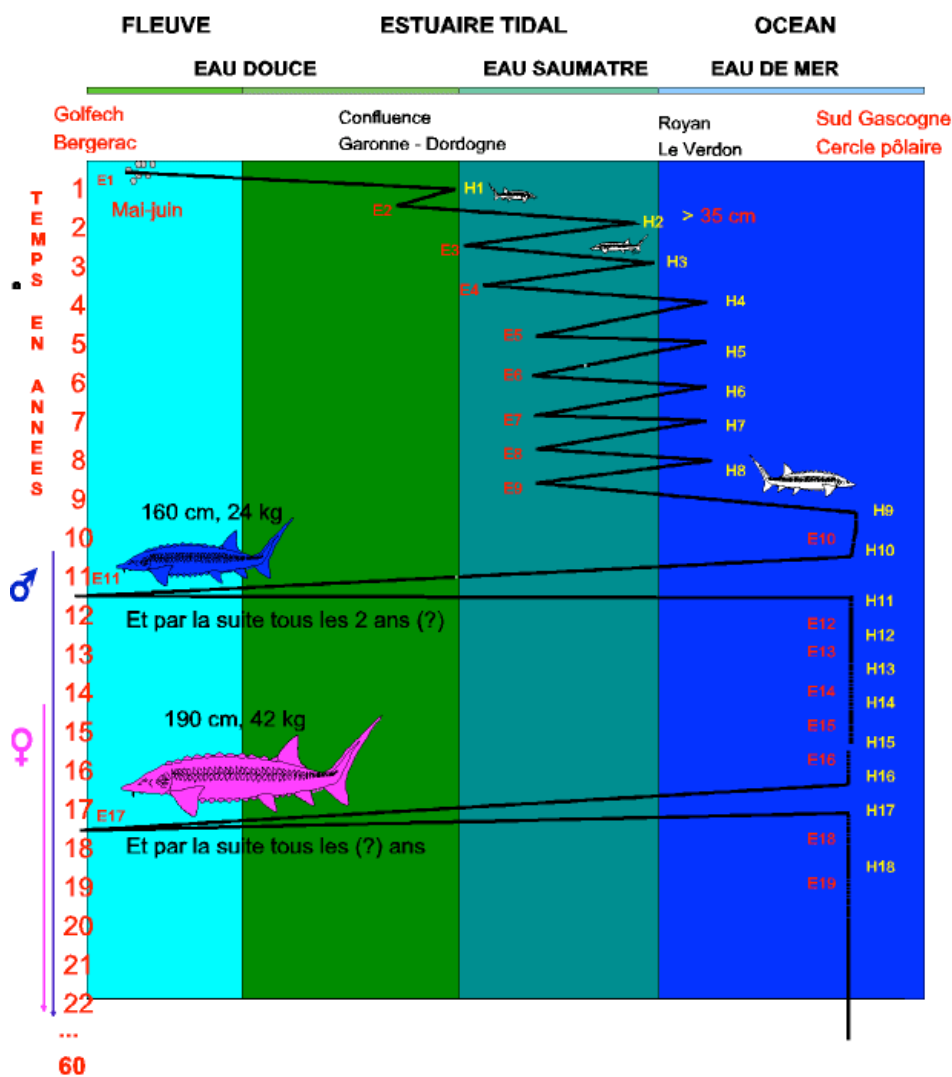


Figure 3: Trajectoire vitale type de l'esturgeon européen en fonction du temps (les années sont mentionnées en ordonnées, H correspond à l'hiver et E à l'été) et des milieux fréquentés. D'après (Rochard *et al.*, 2001).

Au cours de leur cycle vital les esturgeons restent donc pendant plusieurs années dans l'estuaire de la Gironde, qui peut être considéré comme une zone d'habitats essentiels au sens de Langton *et al.* (1996). Les échantillonnages mensuels par chalutage (campagnes STURAT)

dans l'ensemble de l'estuaire de la Gironde [pour plus de détails sur le protocole voir Rochard *et al.* (2001)] des cohortes nées en 1988, 1994 et 1995 ont mis en évidence que l'ensemble de l'estuaire de la Gironde étaient utilisées par les jeunes esturgeons. Pour les cohortes 1994 et 1995 suivies plus précisément, il est apparu dans un premier temps que deux zones présentaient une densité moyenne en esturgeons 20 fois plus importantes que les autres (Rochard *et al.*, 2001), sans qu'il se dégage de raisons évidentes à cette préférence. L'une de ces zones est située sur l'axe médian de l'estuaire près de la limite de salinité (zone oligohaline), l'autre est également située sur l'axe médian mais une vingtaine de km plus à l'aval dans une zone polyhaline (Rochard *et al.*, 2001).

Par la suite, le calcul de densité selon la méthode du Kernel (Worton, 1987; Seaman and Powell, 1996; Seaman *et al.*, 1999; Taulman and Seaman, 2000) à partir des données STURAT pour la période 1995-2000 (Brosse, données non publiées) a permis de mettre en évidence l'existence de trois zones de concentration des juvéniles d'esturgeon européen selon un gradient amont-aval (Figure 4) avec une occupation successive de ces trois zones au fur et à mesure que les individus deviennent plus âgés et qu'ils dévalent l'estuaire avant de partir vers le milieu océanique (Rochard *et al.*, 1997). Le contour de ces zones correspond à la ligne isodensitaire un esturgeon par km².

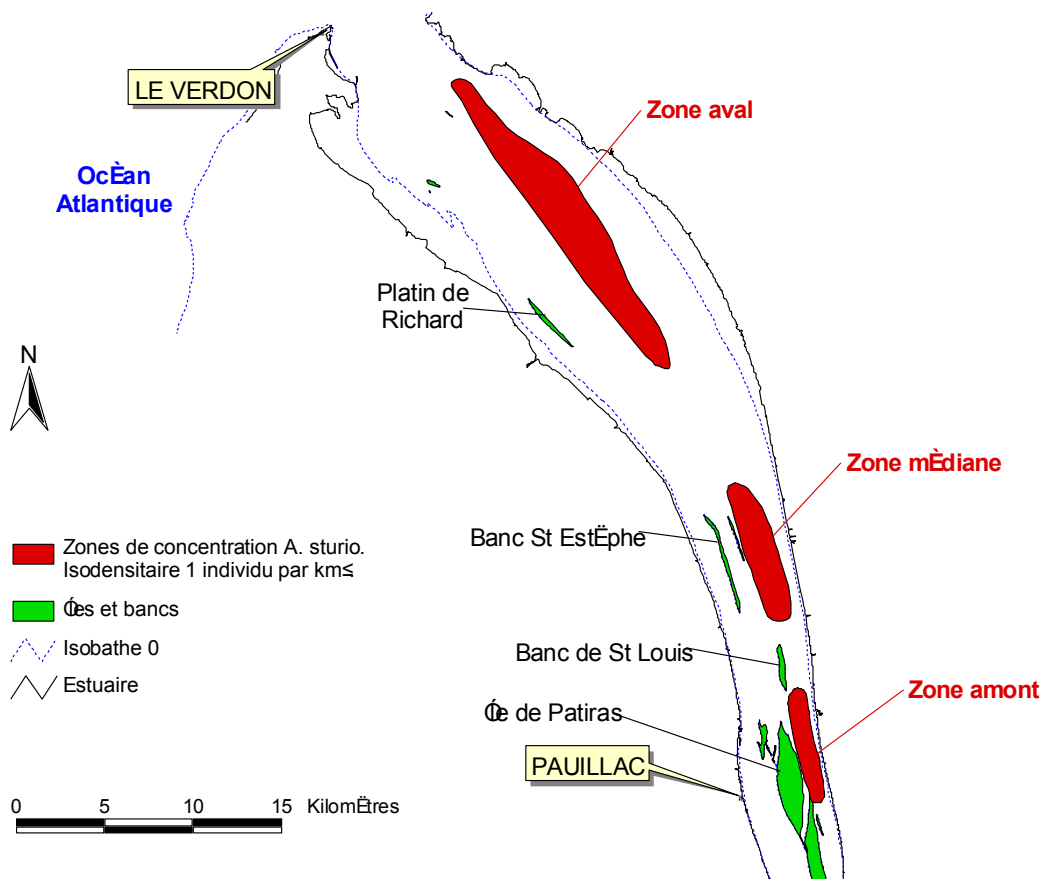


Figure 4 : Zones de concentration des juvéniles d'esturgeon européen pour l'ensemble de l'estuaire de la Gironde d'après les calculs de densité selon la méthode du Kernel pour l'ensemble des données STURAT de la période 1995-2000. La ligne isodensitaire retenue correspond à une concentration de 1 *A. sturio* par km².

Le programme Life II a permis grâce à l'utilisation de la télémétrie acoustique de préciser les déplacements des jeunes esturgeons (16 poissons suivis en 1999 et nés en 1994 ou 1995). Les résultats confirment un attachement particulier pour la zone la plus aval (Taverny *et al.*, 2002). Les deux zones plus en amont fréquentées essentiellement lors des trois premières

années de séjours des juvéniles (Rochard *et al.* 2001) n'ont pas pu faire l'objet de la même validation. En parallèle nous avons mis au point une méthode de lavage gastrique permettant pour la première fois de recueillir des données sur le régime alimentaire de cette espèce (Brosse *et al.*, 2002) sans risques pour les animaux. A ce jour nous avons recueilli 94 contenus stomacaux pour un total de 97 lavages gastriques réalisé entre mai 1998 et janvier 2001. Nous avons constaté que le taux de vacuité est quasiment nul quel que soit le moment de la capture et que le régime alimentaire repose essentiellement sur deux taxons de polychètes tubicoles que sont *Heteromastus filiformis* et *Polydora sp.* (Brosse *et al.*, 2000a; Brosse *et al.*, 2000b) (Figure 5).

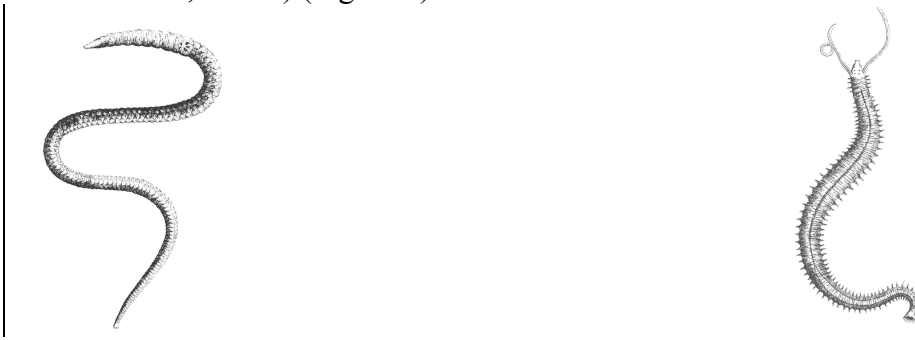


Figure 5 : Planches représentant *Heteromastus filiformis* (gauche) et *Polydora sp.* (droite) tirées de Hayward and Ryland (1994a).

1.2. Objectifs et déroulement du projet.

Le présent projet a été mis en place en complément des travaux réalisés dans le cadre du programme Life II (1998-2001). Il a pour objectifs de caractériser les zones les plus fréquentées par les juvéniles d'*A. sturio* du point de vue d'un certain nombre de variables de l'environnement à définir, de les situer en termes de caractéristiques par rapport aux autres zones, d'organiser ces connaissances à l'aide d'un S.I.G (Système d'Information Géographique), de les analyser en regard des informations obtenues récemment sur le régime alimentaire de l'espèce et ses déplacements. Ce travail vise aussi à déterminer le degré de vulnérabilité des principaux éléments de l'environnement caractérisant ces habitats aux perturbations ou évolutions hydrosédimentaires d'origines anthropiques ou naturelles. Le choix d'un certain nombre de paramètres à prendre en compte nous a été donné en étudiant la littérature existant sur d'autres espèces d'esturgeon.

Comme le montrent les résultats de plusieurs travaux effectués sur d'autres espèces d'esturgeons, les variables telles que la profondeur, la nature des sédiments, la force du courant et la présence de nourriceries importantes (en liens avec le régime alimentaire d'une part et la nature de la faune d'autres part) semblent jouer un rôle prépondérant dans le choix de certains habitats par les esturgeons. Pour ces raisons que nous avons décidé de caractériser l'ensemble de l'estuaire de la Gironde du point de vue de la profondeur, de la nature des sédiments, de la force du courant ainsi que de la faune benthique invertébrée afin de pouvoir déterminer quelles variables caractérisent le mieux les habitats préférentiels des juvéniles d'esturgeon européen dans l'estuaire de la Gironde. Nous avons aussi décidé de compléter ce jeu de variables par d'autres comme la distance aux berges, à l'isobathe 0 et à la ligne médiane de l'estuaire. Le choix de ces trois variables est lié aux constatations faites sur le terrain concernant la localisation spatiale des traits de chaluts les plus riches en esturgeon, généralement éloignés des berges ou de l'isobathe 0 et proches de la zone médiane.

Nous avons entrepris les démarches nécessaires auprès des laboratoires ou organismes compétents pour obtenir des informations disponibles concernant les sédiments, la force du courant ainsi que la bathymétrie dans l'estuaire de la Gironde. De plus, nous avons aussi effectué des campagnes d'échantillonnage afin d'obtenir des connaissances sur la composition ainsi que la répartition spatiale de la faune benthique dans l'estuaire de la Gironde. Par la suite, toutes ces informations ont été intégrées sous S.I.G puis traitées de plusieurs façon afin de pouvoir décrire et caractériser les habitats essentiels des juvéniles d'esturgeon dans l'estuaire de la Gironde. Le but final de ce travail est d'obtenir une première caractérisation des habitats essentiels [au sens de (Langton *et al.*, 1996)] des juvéniles d'esturgeon européen afin de pouvoir mieux les gérer, mais aussi dans le cadre de leur utilisation au cours de programmes futurs de réintroduction d'esturgeon européen dans d'autres bassins-versants que celui qu'ils occupent actuellement.

2. Matériels et méthodes.

2.1. La profondeur dans l'estuaire de la Gironde.

Les données concernant la profondeur dans l'estuaire de la Gironde ont été obtenues à partir de la carte hydrographique IGN au 1/50 000^{ème} réalisée grâce aux relevés du port autonome de Bordeaux (P.A.B) de 1999 qui a été numérisée par la suite afin d'être exploitable par un S.I.G. Les isobathes sont marqués sur la carte de 2m en 2m en partant de la valeur zéro. La carte numérisée est présentée à la Figure 6. L'examen de cette carte permet de constater que les profondeurs comprises entre 2 m et 6 m couvrent la très grande majorité de l'estuaire et que les profondeurs les plus importantes sont rencontrées dans le chenal de navigation (rive gauche) ainsi qu'à l'embouchure au niveau de la ville du Verdon.

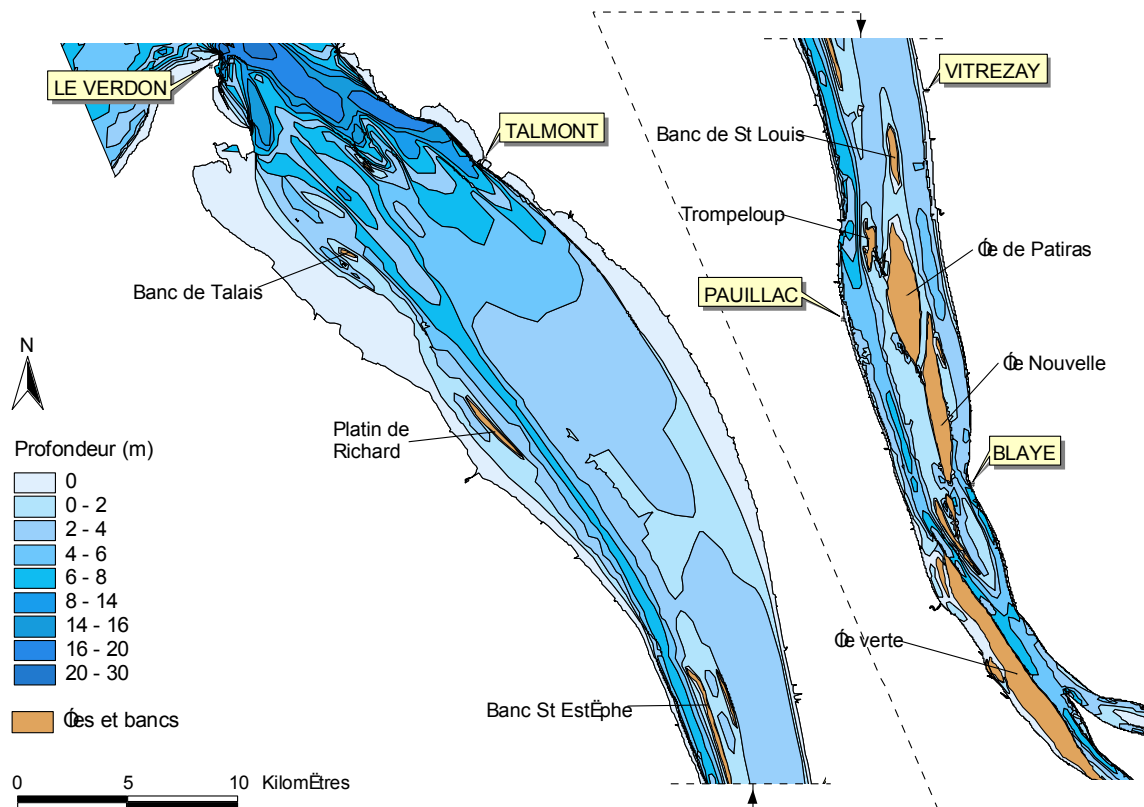


Figure 6 : Carte hydrographique de l'estuaire de la Gironde représentant les différentes catégories bathymétriques.

Les requêtes spatiales effectuées à l'aide d'Arc View entre la couche représentant les traits de chalut des campagnes STURAT et la couche bathymétrique permettent d'obtenir des tableaux donnant le numéro du trait avec la gamme des profondeurs rencontrées au cours du trait ainsi que la "surface" échantillonnée à chacune des profondeurs. Afin de faciliter les traitements ultérieurs, chaque trait de chalut se voit attribuer une profondeur unique qui correspond à celle majoritairement rencontrée (surface la plus importante) au cours dudit trait. Les traits sont ensuite regroupés par classe de profondeur rencontrée. Pour les traitements de données, la variable profondeur se décline en 4 modalités :

2.2. Le courant dans l'estuaire de la Gironde.

Les difficultés d'utilisation de la vitesse instantanée du courant en estuaire (jeux des coefficients de marée, inversion du courant etc. ...) allié à l'indisponibilité de ces vitesses pour l'ensemble des traits de chalut nous ont poussé à utiliser une autre expression du courant de fond qui intègre les fluctuations liées au cycle des marées. Nous avons donc choisi d'utiliser une expression du courant qui correspondent à la moyenne sur trois cycle de marée complets (42 jours) des intensités, en x et en y ($m \cdot jour^{-1}$), des vecteurs de vitesse du courant. Cette expression prend en compte l'intensité de la vitesse de flot comme celle de jusant et représente la quantité de courant exprimée en mètres par jour contre laquelle un poisson, en l'occurrence l'esturgeon, doit lutter pour se maintenir en un point fixe.

Les valeurs de vitesse utilisées ont été obtenues grâce au modèle hydraulique de l'estuaire de la Gironde SAM2D [mis au point par Ifremer et adapté au cas de la Gironde (Sottolichio, 1999)]. Dans ce modèle, l'estuaire de la Gironde est représenté par une grille de plusieurs centaines de cellules ne prenant pas en compte le domaine intertidal dont la taille est variable (Sottolichio, 1999). Pour chacune de ces cellules le courant moyen pour les 3 cycles de marée (42 jours) a été calculé, sachant que le modèle génère une valeur de vitesse toutes les 20 minutes (P. Lambert, com. pers.). Le calcul de la moyenne des intensités ($m \cdot jour^{-1}$) des vecteurs de la vitesse du courant par cellule s'est faite en utilisant un débit de $310 m^3 \cdot s^{-1}$ pour la Dordogne et $500 m^3 \cdot s^{-1}$ pour la Garonne qui sont les débits les plus fréquemment observés en hiver, et qui sont des valeurs proches des débits moyens sur 30 ans de ces deux fleuves ($338 m^3 \cdot s^{-1}$ pour la Dordogne et $631 m^3 \cdot s^{-1}$ pour la Garonne selon [Jego, 2002 #2939]). Les résultats obtenus ont été utilisés par la suite sous Arc View (Figure 7) dans le but de pouvoir associer une force du courant à chaque trait de chalut réalisé entre 1995 et 2000 au cours des campagnes STURAT.

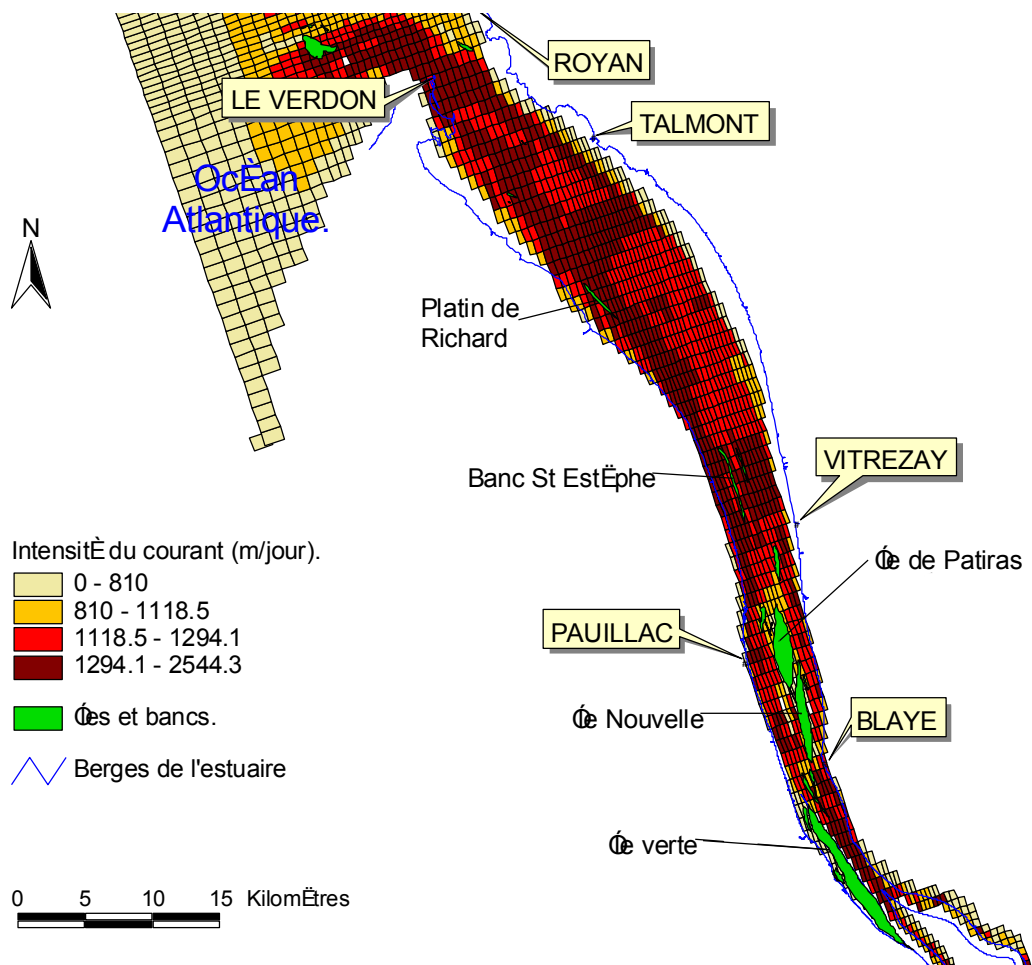


Figure 7 : Force moyenne du courant ($m \cdot jour^{-1}$) par cycle de marée obtenues avec le modèle SAM2D pour l'estuaire de la Gironde.

Cette représentation permet de constater que la force du courant est assez variable avec les valeurs les plus faibles à proximité des berges et les valeurs les plus fortes pour le chenal de Saintonge (rive droite) et le chenal de navigation (rive gauche) surtout à proximité de l'embouchure. Il est assez difficile de déceler des secteurs marqués par leur fort ou faible courant sur cette carte en raison du mode de calcul (moyenne) ayant permis de l'obtenir, c'est toutefois celle-ci qui a été utilisée pour donner associée une force de courant à chaque trait de chalut. Lorsqu'un trait de chalut rencontre plusieurs catégories de courant, c'est la catégorie majoritairement rencontrée qui est utilisée pour caractériser le trait.

2.3. Caractérisation des sédiments dans l'estuaire de la Gironde.

2.3.1. Données du DGO pour l'ensemble de l'estuaire de la Gironde

Afin d'obtenir une couverture complète et la plus récente possible de l'ensemble de l'estuaire de la Gironde d'un point de vue sédimentaire, nous nous sommes adressés au Département de Géologie Océanographique (D.G.O.) de l'Université Bordeaux I. Ce laboratoire a entrepris un travail de caractérisation des sédiments pour l'ensemble de l'estuaire de la Gironde entre 1998 et 1999 en réalisant 644 échantillons répartis entre l'estuaire de la

Gironde, la Garonne et la Dordogne (Figure 8) à l'aide de plusieurs outils (benne échantillonneuse dont le modèle Shipeck et carottier). L'analyse granulométrique a été réalisée à l'aide d'un granulomètre laser (Analyseur laser Malvern 3600 E). Les résultats obtenus ont ensuite été analysés à l'aide du S.I.G Arc View 3.2 afin d'obtenir une carte de répartition des différentes catégories de sédiments rencontrées pour l'ensemble de l'estuaire de la Gironde [pour plus de détails voir (Kapsimalis *et al.*, 2000b; c)].

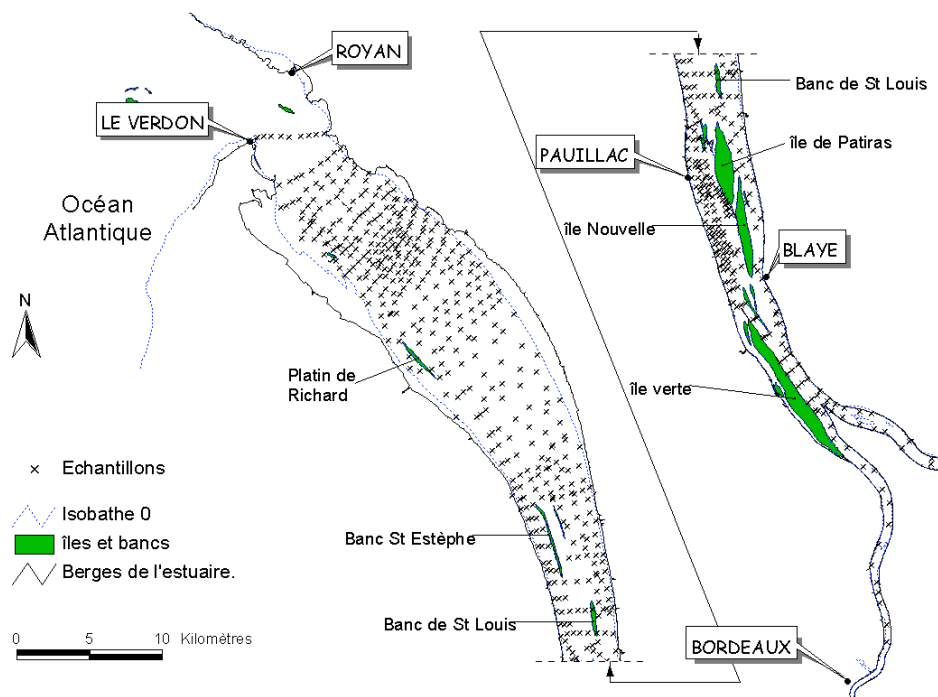


Figure 8 : Carte de répartition de l'ensemble des échantillons réalisés par le laboratoire D.G.O en 1998 et 1999 et réalisée à partir des données gracieusement fournies par le laboratoire D.G.O.

2.3.2. Données du Cemagref sur les zones de concentration d'esturgeons

Une campagne d'échantillonnage « benthos 2000 » a été réalisée afin d'inventorier la faune benthique sur les zones de concentration d'esturgeons (voir §2.4). Lors de cette campagne, nous avons utilisé une benne Shipeck (Figure 9) afin de prélever à la fois la faune benthique et le sédiment sous-jacent sur un carré de 20cm x 20cm et sur une épaisseur de 10 cm. Cette benne échantillonneuse est un outil utilisé en géologie océanographique (Kapsimalis *et al.*, 2000c) tel qu'évoqué au chapitre 2.3.1.



Figure 9 : La benne Shipeck en position armée avant sa mise à l'eau (Photo L. Brosse).

Les 70 échantillons de cette campagne ne couvrent que les deux zones les plus fréquentées par les esturgeons entre 1997 et 2001, à savoir les zones définies comme médiane (pK 57-65) avec 25 points et aval (pK 75-90) avec 45 points comme illustré par Figure 10. Les échantillons collectés pour l'étude sédimentologique correspondent au quart du volume total récupéré par la benne Shipeck, les $\frac{3}{4}$ restant étant destiné à la caractérisation de la faune benthique comme expliqué au chapitre 2.4.

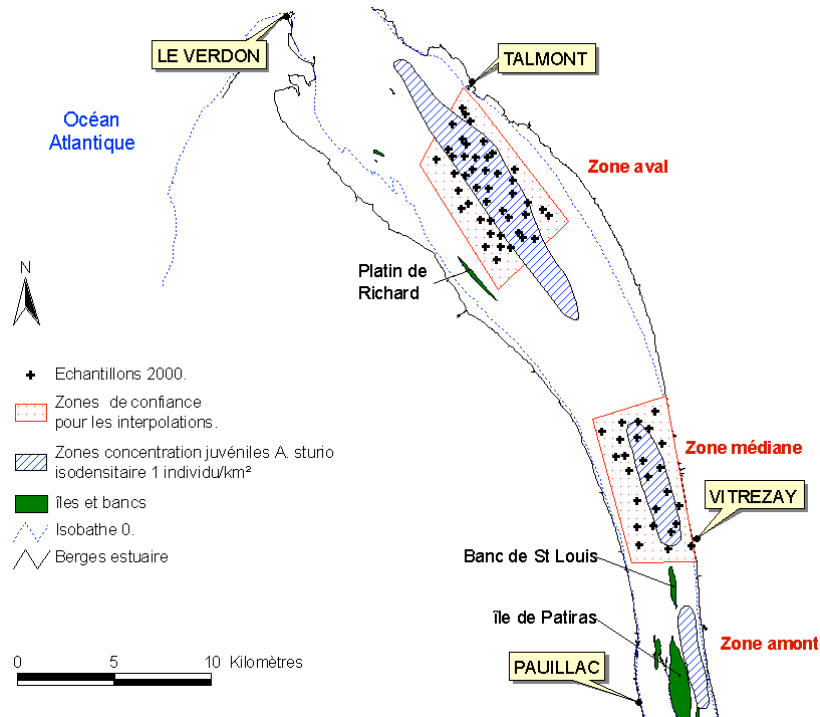


Figure 10 : Répartition des échantillons de la campagne Benthos 2000 en relation avec les zones de concentration des juvéniles d'esturgeon européen

Avant le tamisage une détermination macroscopique de la nature de l'échantillon est réalisée, à savoir graviers, sable, vase, crème de vase, argile ou argile durcie. Le tamisage est réalisé sur les mailles 2mm, 1mm, 0.5mm, 200µm, 100 µm et 80 µm (Figure 11).



Figure 11 : Jeu de tamis utilisé et bac de récupération.



Figure 12 : Tamisage par gravitation.

Après tarage des tamis et du bac de récupération de l'eau de rinçage, le tamisage se déroule par gravitation et les sédiments sont entraînés par de l'eau (Figure 12). Lorsque les tamis sont parfaitement rincés, ils sont placés dans une étuve à 70°C. Le bac de récupération de l'eau de rinçage, contenant la fraction la plus fine des sédiments, est placé dans une étuve à 110°C pendant 48h pour garantir la parfaite dessiccation des échantillons. Les différents tamis et le bac sont alors repesés puis brossés et rincés. Par la suite, la proportion de chaque granulométrie a été utilisée pour classer les sédiments selon la norme A.S.T.M. (Tableau 1).

Tableau 1: Classement en catégories de sédiments selon les normes A.S.T.M.

Description des classes	Diamètre des classes (mm)
Bloc	> 203,8
Galet	76,2 - 203,8
Gravier grossier	30,0 - 76,2
Gravier moyen	16,0 - 30,0
Gravier fin	2,0 - 16,0
Sable	0,075 - 2,00
Limon-argile	< 0,075

2.4.Caractérisation de la faune benthique.

Les données ont été acquises lors de deux campagnes, l'une en juin 2000 (Benthos 2000), l'autre en mai 2001 (Benthos 2001). Les prélèvements de faune benthique ont été effectué à l'aide d'un outil quantitatif, la benne Shipeck déjà utilisé au cours de travaux similaires comme indiqué dans (Bachelet, 1979; Bachelet *et al.*, 1981). Ces deux campagnes avaient pour but l'acquisition de connaissances sur la répartition, la composition et la densité en faune benthique dans l'estuaire afin de comparer la disponibilité en proie, la présence d'esturgeon sur ces sites et les espèces consommées par les esturgeons. Ce travail devrait permettre de localiser les aires de nourriceries pour les juvéniles d'esturgeon européen tout en faisant le lien avec les zones où ils se concentrent.

La campagne de l'année 2000 comporte 70 points d'échantillonnage répartis sur la zone médiane (n=25) et la zone aval (n=45) de concentration des juvéniles d'esturgeon européen (Figure 10).

La campagne de l'année 2001 comporte 106 points répartis sur l'ensemble des zones chalutées avec une stratification liée aux captures d'esturgeon (Figure 13). Les trait de chalut des campagnes STURAT ont été répartis selon 3 classes :

- aucun esturgeon ;
- entre 1 et 5 esturgeons dans le trait de chalut ;
- 6 esturgeons et plus dans le trait de chalut ;

Les points d'échantillonnages de la faune benthique ont été répartis entre ces 3 classes de façon aléatoire.

Pour les campagnes Benthos 2000 et Benthos 2001, les échantillons de faune ont été mis dans des sacs étanches, fixés avec du formol tamponné à 10 % et étiquetés. Par la suite, une fois le formol extrait, les échantillons ont été tamisés (tamis inox de 2,8 ; 1 ; 0,5 et 0,38 mm de maille) avant tri et détermination en utilisant les clés de détermination de Hayward and Ryland, (1994a; b).

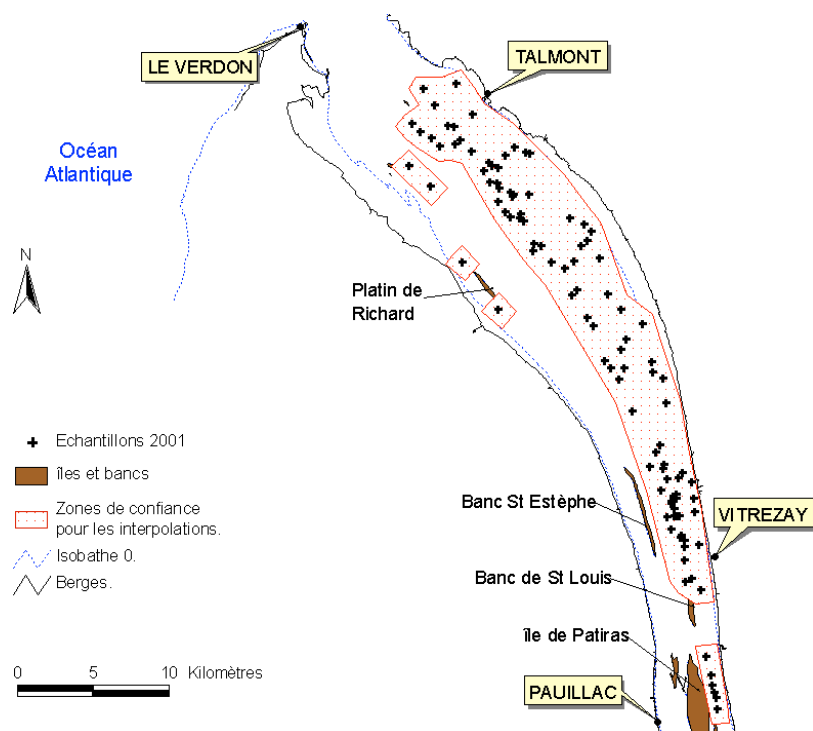


Figure 13 : Localisation des échantillons réalisés à la benne Shipeck au cours de la campagne Benthos 2001.

Les résultats concernant la faune benthique pour les campagnes Benthos 2000 et 2001 ont été traités séparément dans un premier temps puis regroupés afin d'être traités ensemble, en considérant que l'année écoulée entre ces deux campagnes n'a pas eu d'influence significative sur la faune benthique et que les échantillons prélevés lors de ces deux campagnes peuvent être considérés comme concomitants.

Les données ont été traitées à l'aide du S.I.G Arc View 3.2 (extension Spatial Analyst) afin de délimiter par interpolation des zones riches en certaines espèces comme par exemple les deux proies principales d'*A. sturio* et d'obtenir la localisation des aires de nurseries potentielles pour *A. sturio*. Ces interpolations consistent principalement en un calcul de densité via la fonction Kernel permettant d'obtenir des aires isodensitaires à partir d'un nuage de points et donnant les contours des zones riches en un taxon ou espèce (Worton, 1987; Seaman and Powell, 1996; Seaman *et al.*, 1999).

2.5. Le traitement statistique des données.

Le premier traitement consiste à calculer les coefficients de corrélation entre les variables de l'environnement et l'ensemble des traits de chalut des campagnes STURAT afin de voir s'il existe une relation significative entre certaines variables et le nombre d'esturgeons capturés. Parmi l'ensemble des variables associées aux captures d'esturgeon des campagnes STURAT, certaines sont de nature quantitative (distance aux berges, distance à l'isobathe zéro, distance à la médiane de l'estuaire, profondeur et vitesse du courant) et d'autres de nature qualitative (nature de la faune et nature des sédiments). Afin de calculer des coefficients de corrélation pour toutes ces variables, nous avons procédé à un découpage en classes d'effectifs égaux pour les variables quantitatives et à un découpage selon des seuils naturels (Sable, vase, crustacés par exemple) pour les variables qualitatives. Ce traitement préalable permet d'obtenir un jeu de données comportant une variable à expliquer quantitative (nombre de captures d'esturgeon) et 7 variables explicatives semi-quantitatives homogènes.

Etant donnée la nature semi quantitative des données ainsi obtenues, la méthode la plus appropriée pour le calcul du coefficient de corrélation est le calcul du coefficient τ de Kendall (Scherrer, 1984) qui permet les comparaisons 2 à 2 mais aussi par rapport à l'ensemble des variables. La signification des coefficients a été testée comme décrit dans Scherrer (1984).

Le second traitement consiste en une analyse des correspondances multiples (A.C.M) qui permet d'identifier les modalités et de séparer le groupe des traits de chalut sans capture d'esturgeon de celui avec captures d'esturgeons. Cette ACM a été réalisée en prenant en compte l'ensemble des variables de l'environnement, hormis la distance à la berge trop corrélée à la distance à l'isobathe, après codage des variables quantitatives en classes (voir explications plus haut) afin d'obtenir une matrice reliant des individus (traits de chalut) à un ensemble de variables semi-quantitatives. Tous les individus présentant la même combinaison de variables étudiées ont été regroupés en affichant l'effectif de chacune de ces combinaisons. Ces effectifs ont été utilisés dans l'ACM comme élément pondérateur des individus. Les traitements statistiques ont été réalisés à l'aide des logiciels Systat 8.0 et ADE 4.

3. Résultats

3.1. Les variables de l'environnement, leur répartition et leurs valeurs.

3.1.1. Les sédiments dans l'estuaire de la Gironde.

Les résultats obtenus pour l'ensemble de l'estuaire de la Gironde par le laboratoire D.G.O. (Figure 14) montrent clairement que la vase est le sédiment majoritaire et qu'elle recouvre environ 75% de la surface totale échantillonnée.

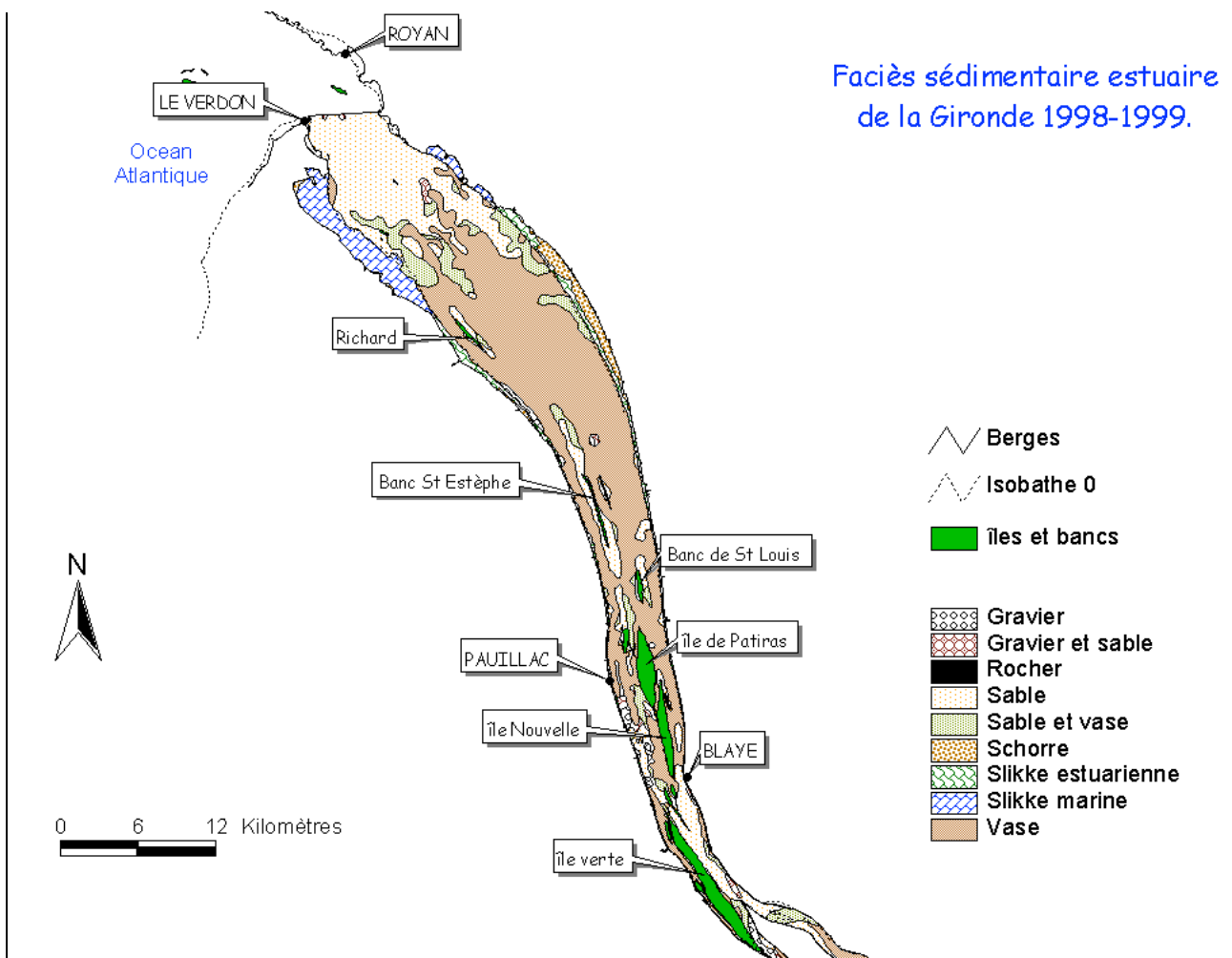


Figure 14 : Répartition spatiale des catégories sédimentaires pour l'ensemble des échantillons des campagnes réalisées en 1998 et 1999 par le laboratoire D.G.O (Source D.G.O, Université Bordeaux I).

On remarque que le sable est surtout présent en aval ainsi qu'autour des îles et des bancs tout comme le mélange sable vase. On notera aussi la présence de graviers à proximité de Pauillac. Il apparaît aussi que le secteur intertidal situé entre le Verdon et le phare de Richard est composé quasi exclusivement de Slikke marine alors que les secteurs intertidaux de la rive Saintonge sont dominés par la schorre et la slikke estuarienne.

Les résultats bruts obtenus pour l'ensemble des 70 échantillons de la campagne benthos 2000 après tamisage, pesée et classification des résultats selon la norme A.S.T.M sont présentés dans la Figure 15 qui montre clairement que la vase est le substrat dominant pour les deux zones d'habitat préférentiel d'*A. sturio* considérées.

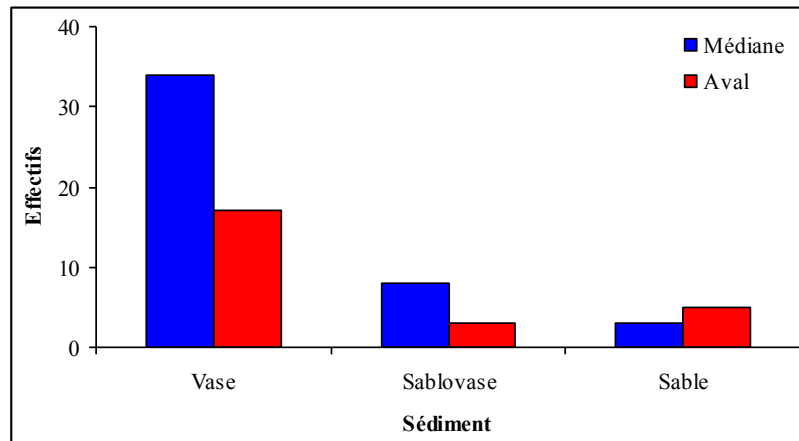


Figure 15 : Nombre d'échantillons de vase, sablo-vase et sable pour les zones d'habitat médiane et aval des juvéniles d'esturgeon européen pour l'été 2000.

Ces résultats ont été interpolés sous Arc View à l'aide d'une méthode statistique de voisinage qui donne une valeur aux zones vides se trouvant entre plusieurs échantillons en fonction de la catégorie majoritaire parmi les échantillons frontaliers. Les limites de la zone d'interpolation correspondent à la zone qui englobe l'ensemble des échantillons avec une zone tampon de 750 m vers l'extérieur. Les résultats obtenus (Figure 16) montrent que la majeure partie des deux zones est couverte de vase avec cependant des secteurs plus ou moins grands de sable ou de sablo-vase (Figure 16).

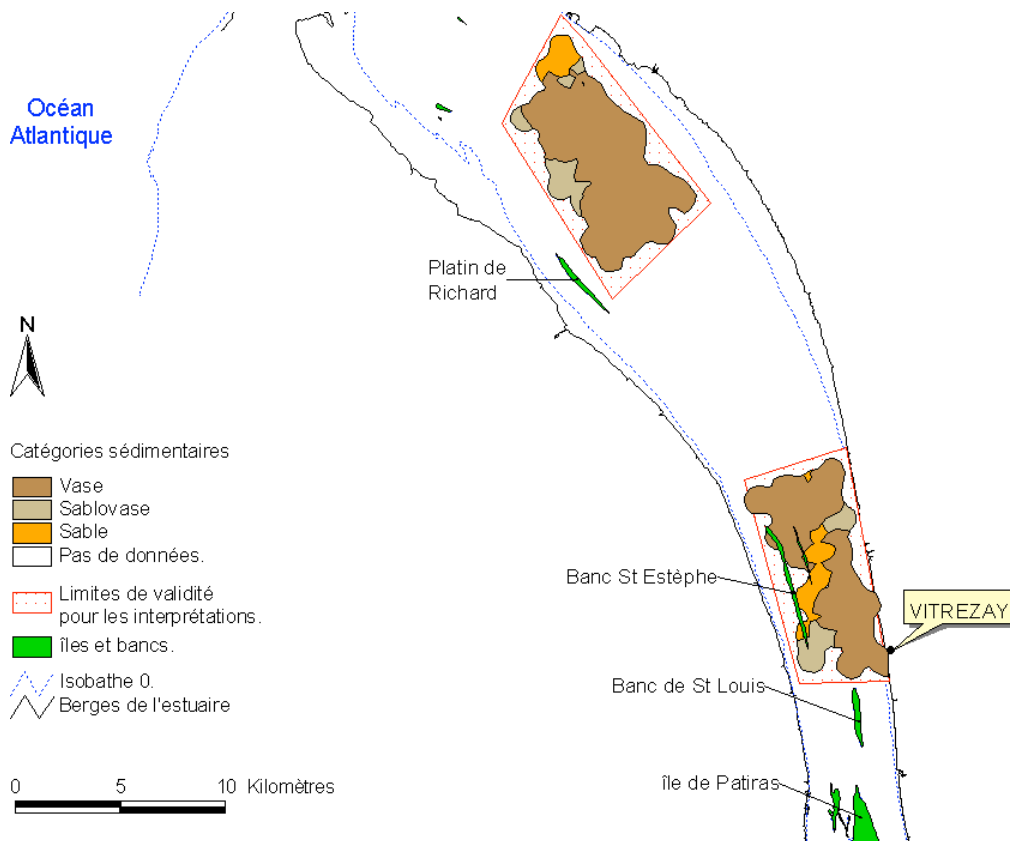


Figure 16 : Répartition spatiale des catégories sédimentaires pour l'ensemble des échantillons de la campagne Benthos 2000.

On remarquera que la zone médiane comporte deux secteurs vaseux qui semblent séparés par une bande de sable et sablo-vase qui pourrait résulter de la présence de deux bancs à proximité immédiate (Figure 16). La zone aval pour sa part est majoritairement vaseuse avec un secteur sableux dans sa partie la plus aval et une zone sablo-vaseuse au sud (Figure 16).

3.1.2. Cas de la faune benthique.

Les échantillons de juin 2000 ne contiennent quasiment que des polychètes (4 espèces) avec seulement une espèce de mysidacé (*Mesopodopsis slabberi*) présente occasionnellement (Figure 17). Les échantillons de la zone aval sont dominés par *Heteromastus filiformis* et on constate la présence de plusieurs échantillons avec une densité supérieure ou égale à 1000 ($\pm 10\%$) individus par mètre carré (Figure 17). Les échantillons de la zone médiane sont un peu plus diversifiés avec une majorité d'échantillons composés essentiellement de *Streblospio sp.* (Polychète spionidé) en faibles densités et 3 échantillons fortement dominés par *Polydora sp.* présent en densités très élevées (maximum supérieur à 10000 ($\pm 10\%$) individus au mètre carré) comme montré dans la Figure 17.

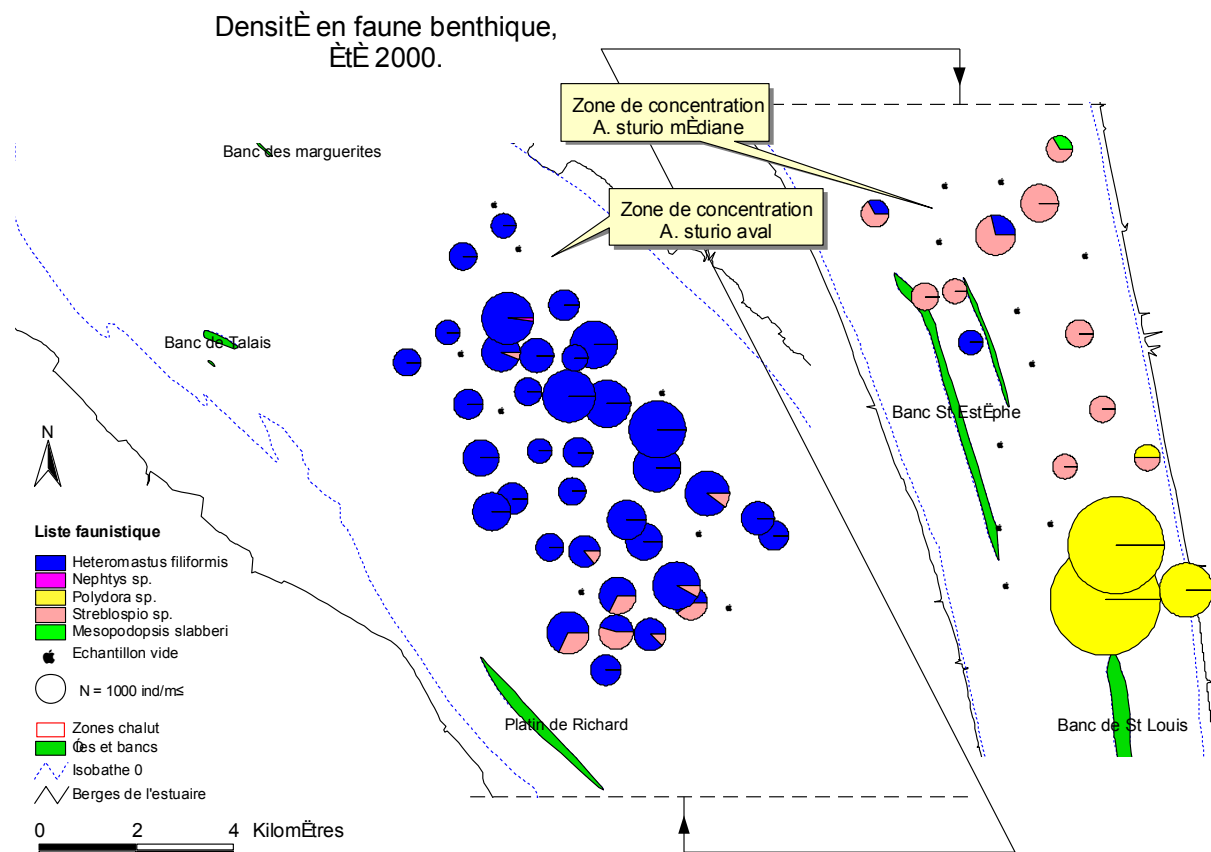


Figure 17 : Densité en faune benthique pour les échantillons prélevés en juin 2000 dans et autour des zones de concentration médiane et aval des juvéniles d'*A. sturio* dans l'estuaire de la Gironde. Les effectifs pour chaque échantillon sont proportionnels à la surface du disque.

On remarque aussi qu'aucun des 70 échantillons ne présente à la fois *Heteromastus filiformis* et *Polydora sp.* bien que l'on note la présence d'échantillons contenant des *Heteromastus filiformis* à proximité (5 km en aval) des échantillons très riches en *Polydora sp.* Il ressort aussi de ces résultats qu'il semble y avoir un gradient amont-aval dans la distribution de trois espèces de polychètes avec *Heteromastus filiformis* en aval, *Streblospio sp.* dans un secteur

plus médian et enfin *Polydora sp.* en amont (Figure 17). Seul quelques mysidacés (*Mesopodopsis slabberi*) ont été identifiés dans les échantillons mais il s'agit là d'une espèce appartenant à la faune suprabenthique et par conséquent sa présence dans des échantillons de benthos doit être traitée avec précaution.

Les échantillons de mai 2001 ne contiennent quasiment que des polychètes (5 espèces) avec deux espèces de mysidacés (*Mesopodopsis slabberi* et *Gastrosaccus spinifer*) présentes en densités peu élevées (Figure 18). Les échantillons de la zone aval sont dominés par *Heteromastus filiformis* et *Streblospio sp.* lorsque l'on remonte vers l'amont, zone pour laquelle on rencontre les densités les plus élevées pour le polychète *Polydora sp.*, avec une densité maximale estimée de l'ordre de 95 000 ($\pm 10\%$) individus au mètre carré (Figure 18).

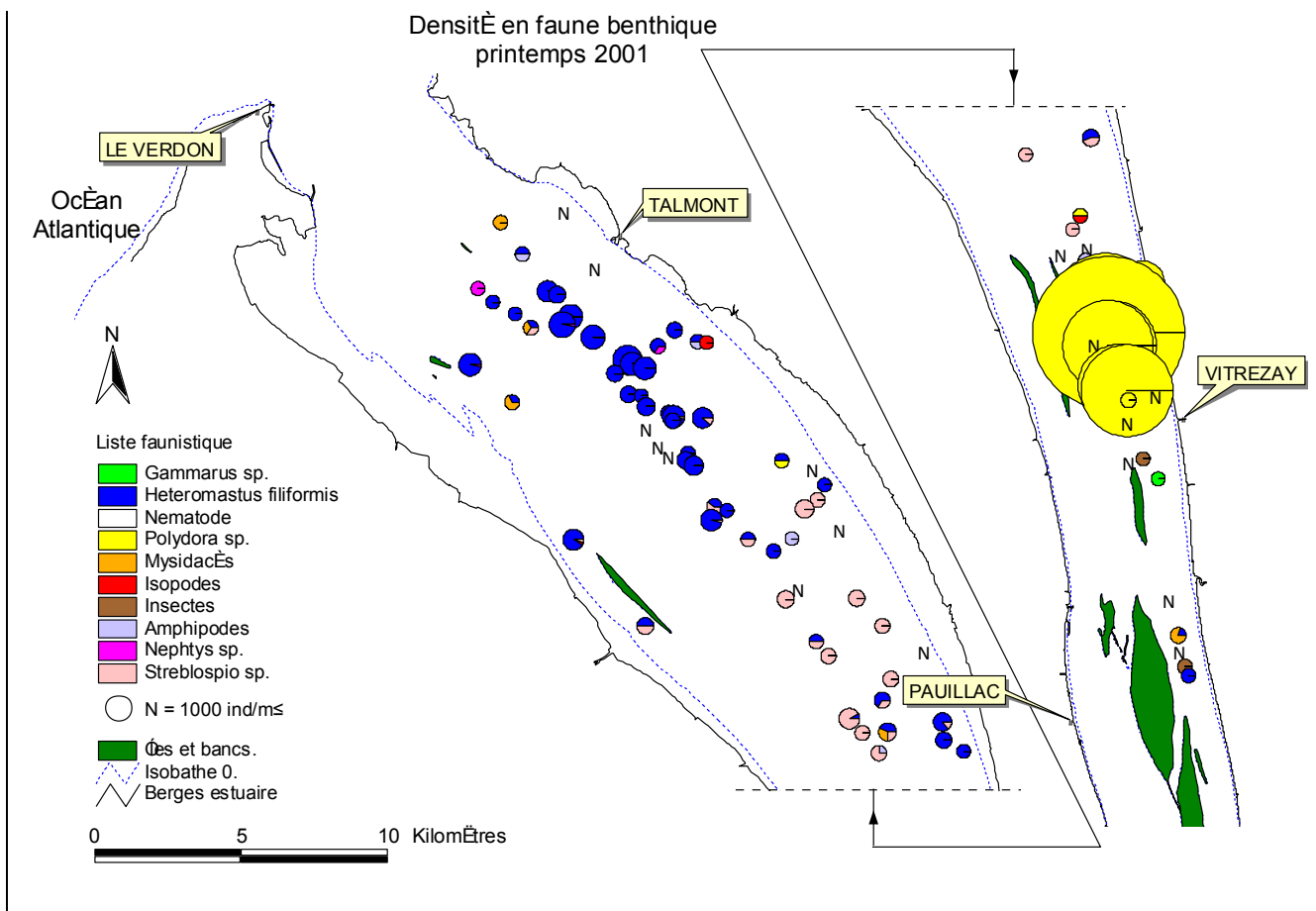


Figure 18 : Densité en faune benthique pour les échantillons collectés au printemps 2001 dans l'estuaire de la Gironde. Les effectifs pour chaque échantillon sont proportionnels à la surface du disque.

On note aussi que *Polydora sp.* a une répartition très restreinte et que celle-ci concerne l'amont de l'estuaire (comme ce qui a été constaté en 2000) avec toutefois des densités bien plus élevées. On remarque aussi la présence en faible quantité d'*Heteromastus filiformis* dans le secteur le plus amont prospecté, à un niveau où sont rencontrées des larves d'insectes (chironomes notamment) (Figure 18). De même, on constate que la répartition d'*Heteromastus filiformis* et de *Streblospio sp.*, sont identiques à celle trouvées pour la campagne de l'année 2000 (Figure 18). Contrairement à ce qui a été vu pour l'année 2000, il existe un échantillon présentant à la fois *Heteromastus filiformis* et *Polydora sp.*, qui sont rappelés les deux proies principales des juvéniles d'esturgeon européen (voir § 3.2.3.). Il

ressort aussi de ces résultats ainsi que de ceux de la campagne Benthos 2000 une absence totale de mollusques dans les échantillons collectés.

Pour l'ensemble des 176 points des campagnes Benthos 2000 et 2001, la faune a été répartie selon 4 grandes catégories afin de faciliter les traitements et les interprétations vis à vis du régime alimentaires des juvéniles d'esturgeon européen. Il s'agit des : polychètes tubicoles (*Heteromastus filiformis* et *Polydora sp.*), autres polychètes, larves d'insectes et crustacés. Les interpolations ont été réalisées en utilisant la fonction calcul de densité selon la fonction Kernel fournie dans l'extension Spatial Analyst du logiciel Arc View 3.2.[®] Le rayon d'interpolation utilisé est de 750 m afin de permettre des interpolations entre plusieurs échantillons.

Les résultats obtenus montrent qu'il existe deux grandes zones de concentration assez fortes pour les polychètes tubicoles (Figure 19) avec une surface plus importante et des densités plus faibles (2500 ind/m² maxi) pour l'aval comparativement à l'amont (95000 ind/m² maxi) (Figure 19) comme montré précédemment (Figure 17 et Figure 18).

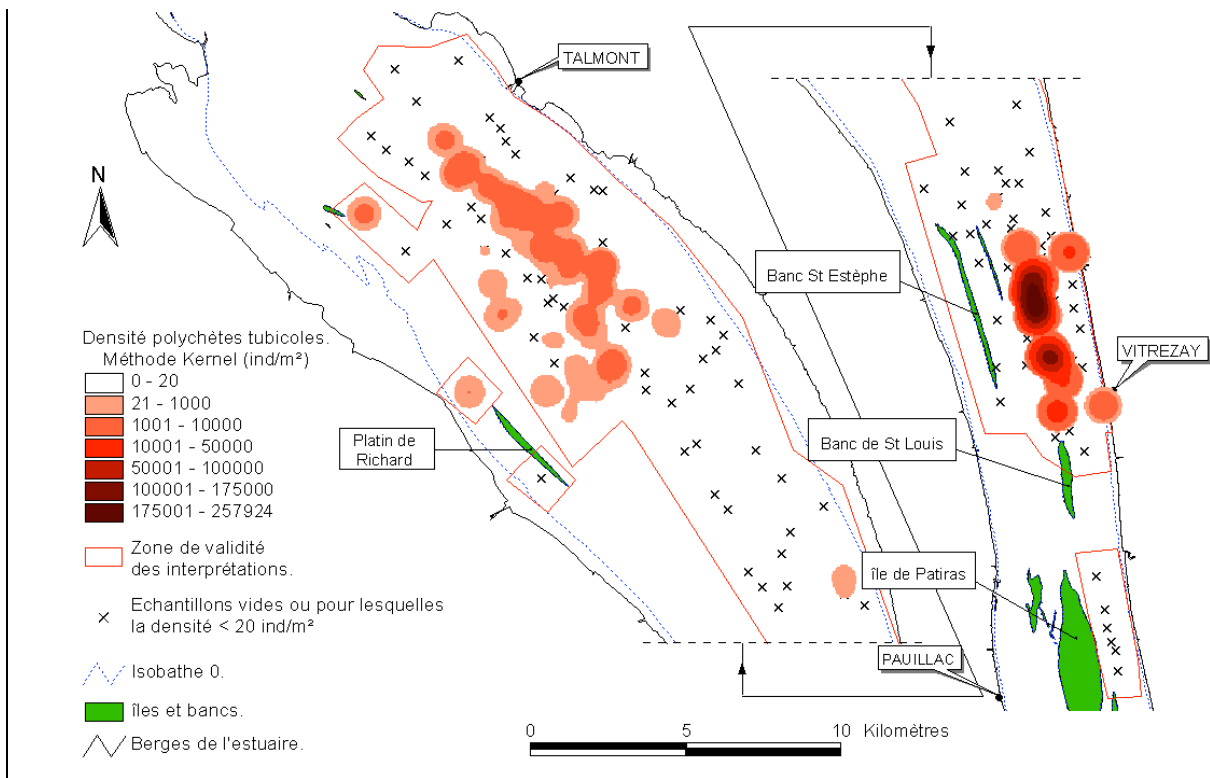


Figure 19 : Zones de concentration et densités estimées (ind/m²) en polychètes tubicoles d'après la méthode du Kernel sous Arc View 3.2 Les zones en dehors de la zone de validité ne sont pas interprétables par manque de données.

Concernant les autres polychètes, on remarque que leur distribution est plus dispersée et qu'elle couvre quasiment tout l'estuaire avec toutefois une présence plus marquée dans la portion médiane de celui-ci (Figure 20). Les densités atteintes par ces polychètes sont beaucoup plus faibles que celles des polychètes tubicoles et dépassent légèrement 1000 individus par mètre carré (Figure 17 et Figure 18).

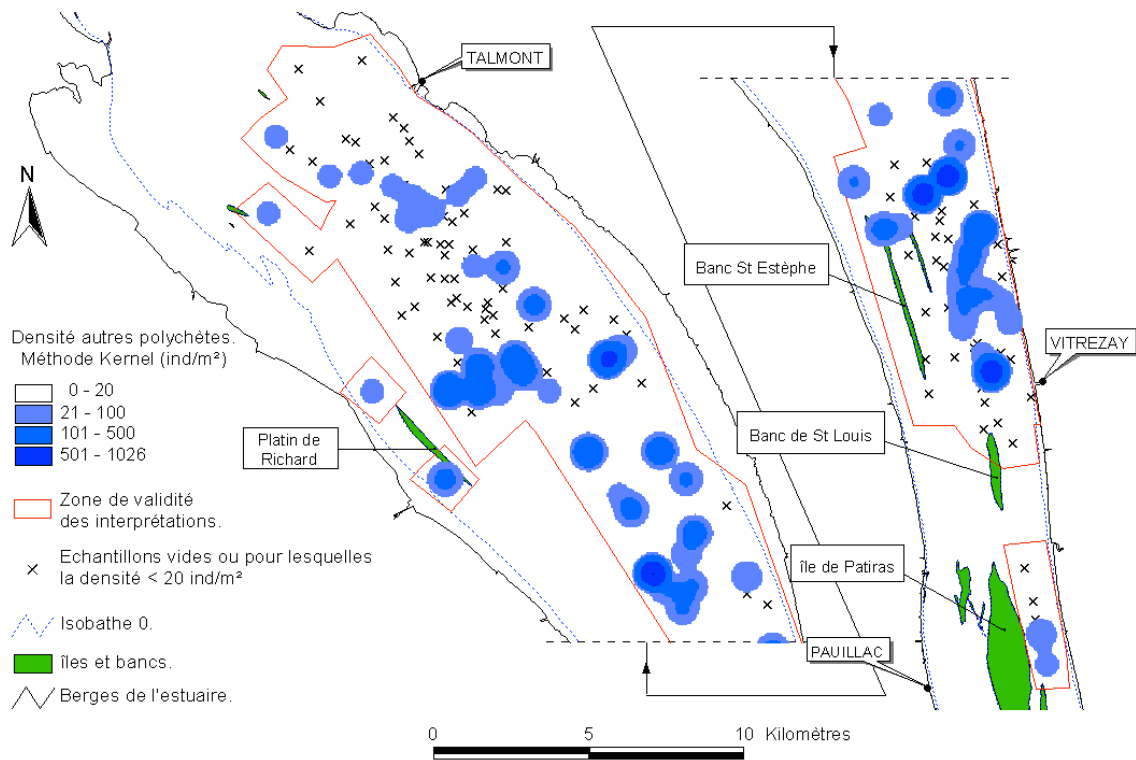


Figure 20 : Zones de concentration et densités estimées (ind/m²) en autres polychètes d'après la méthode du Kernel sous Arc View 3.2. Les zones en dehors de la zone de validité ne sont pas interprétables par manque de données.

Les crustacés benthiques sont très dispersés et il ne semble pas exister de réelle zone de concentration dans l'estuaire bien que l'on note qu'ils sont plus fréquemment rencontrés dans la partie amont de celui-ci (Figure 21). Les densités sont faibles et ne dépassent pas 1000 individus par mètre carré (Figure 17 et Figure 18), ce qui est peu comparativement aux polychètes.

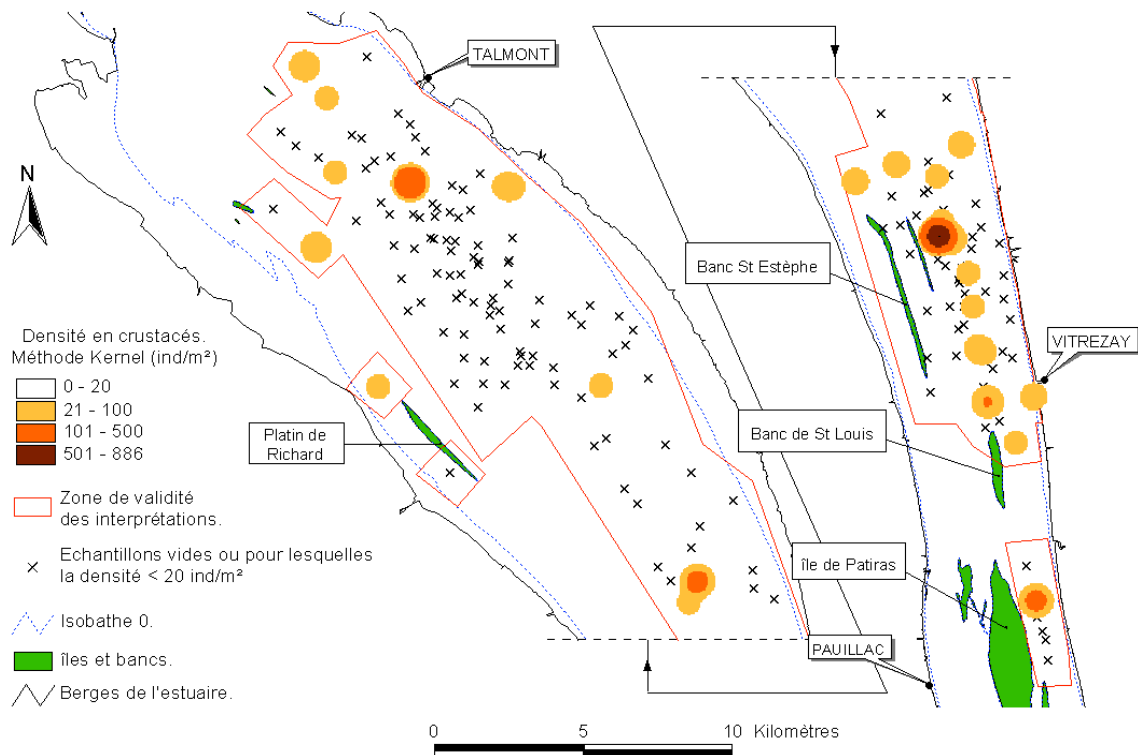


Figure 21 : Zones de concentration et densités estimées (ind/m² en crustacés d'après la méthode du Kernel sous Arc View 3.2. Les zones en dehors de la zone de validité ne sont pas interprétables par manque de données.

Les insectes sont très peu représentés et uniquement dans la portion amont de l'estuaire (Figure 22) avec des densités très faibles de l'ordre de quelques dizaines d'individus au mètre carré (Figure 17 et Figure 18).

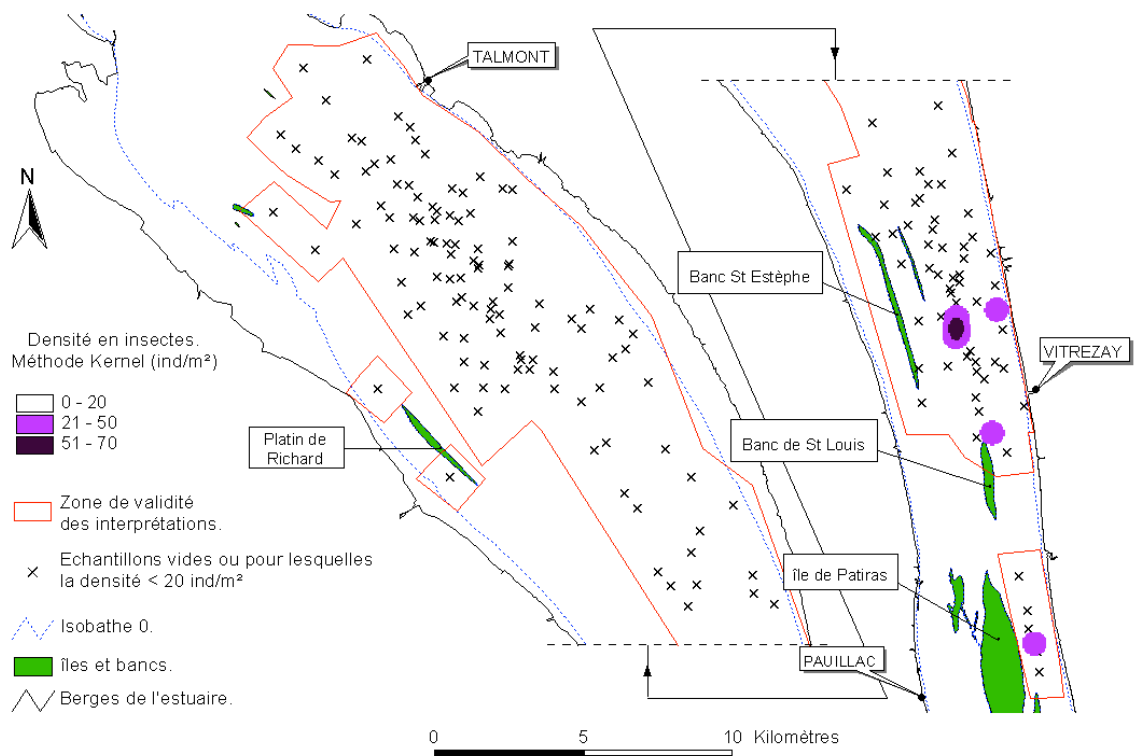


Figure 22 : Zones de concentration et densités estimées (ind/m²) en insectes d'après la méthode du Kernel sous Arc View 3.2.

Afin d'avoir une lecture plus claire de la répartition de l'ensemble de ces catégories faunistiques, les cartes obtenues précédemment ont été superposées (la ligne isodensitaire 20 individus/m² a été utilisée pour déterminer l'extension maximale pour chacun des groupes faunistiques) afin d'obtenir une carte donnant la répartition spatiale de ces groupes les uns par rapport aux autres (Figure 23) en ne tenant compte que de la seule catégorie dominante pour chaque échantillon afin de faciliter la lecture.

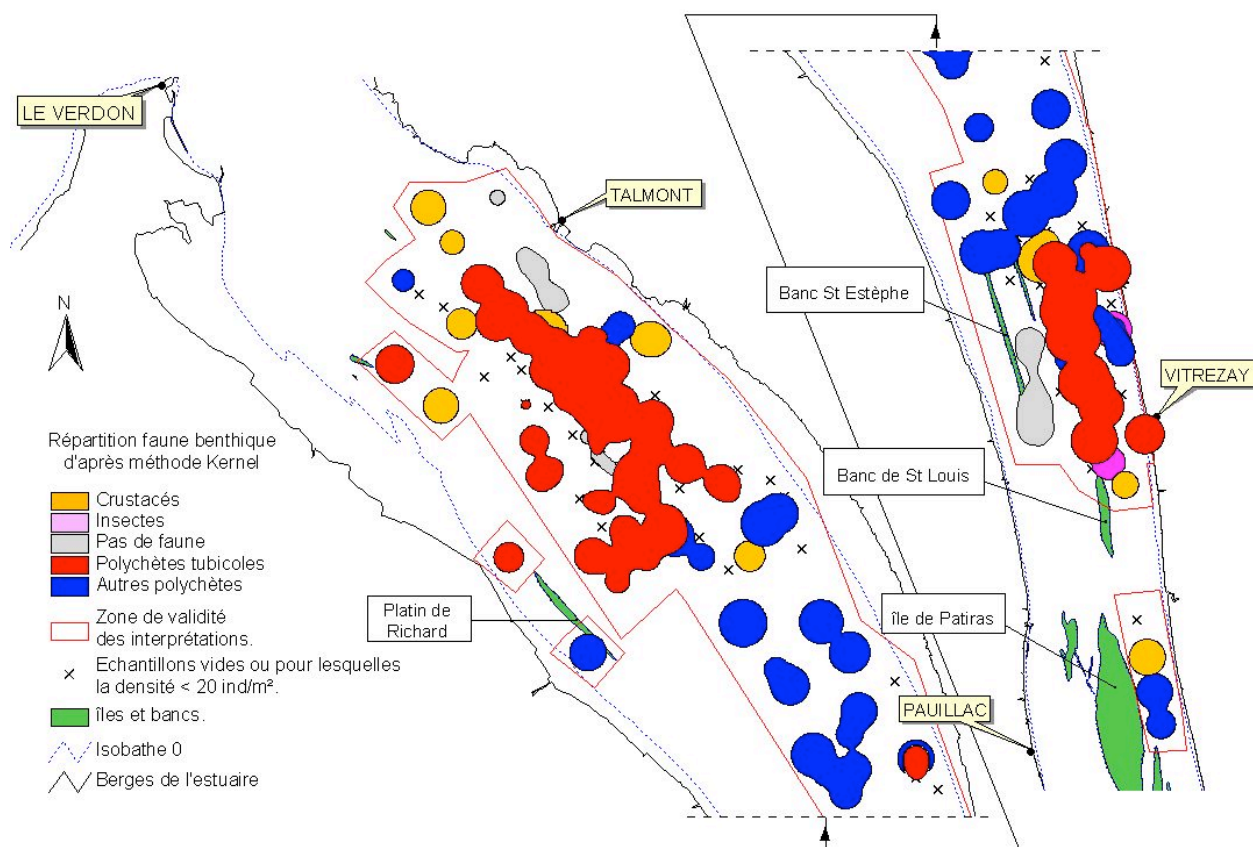


Figure 23 : Carte générale de répartition des catégories faunistiques rencontrées au cours des campagnes Benthos 2000 et 2001. Les surfaces obtenues découlent d'une compilation des figures 15 à 18 en prenant en compte la catégorie faunistique dominante lorsque plusieurs sont présentes dans un échantillon donné.

La Figure 23 montre clairement la nette prédominance des polychètes tubicoles par rapport aux autres catégories faunistiques. Notons qu'il existe aussi un secteur riche en polychètes tubicoles ainsi qu'en mollusques dans le secteur intertidal de la rive gauche de l'estuaire entre Le Verdon et le Platin de Richard avec des densités en polychètes tubicoles pour le mois d'avril 1992, comparables à celles rencontrées dans l'estuaire au cours des campagnes benthos 2000 et 2001 (Guy Bachelet, com. pers.). Cette carte montre aussi que l'estuaire de la Gironde semble découpé en trois grands secteurs faunistiques avec des secteurs aval et amont dominés fortement par les polychètes tubicoles et un secteur médian dominé par les autres polychètes avec une distribution des crustacés en quantités plus ou moins fortes sur l'ensemble de la zone estuarienne étudiée.

Les deux secteurs à polychètes tubicoles occupent des surfaces importantes avec 1985 et 1060 ha pour le secteur aval et le secteur amont respectivement. Etant donné que les autres polychètes ne sont pas franchement regroupés en une zone unique, il n'est pas possible de donner une surface réaliste dans le but d'obtenir une biomasse de polychètes.

3.2. Résultats des analyses sur les liens entre les variables de l'habitat et le nombre de captures d'esturgeon.

3.2.1. Les coefficients de corrélation.

Les premiers résultats obtenus lors du calculs des coefficients de Kendall montrent que ce sont les variables nature de la faune ($\tau = 0,181$) et force du courant ($\tau = 0,167$) qui sont les plus corrélées au nombre de captures par trait de chalut. Cependant, la proportion élevée de traits de chalut sans capture (85 %) est susceptible de générer un bruit de fond qui peut masquer ou amplifier les corrélations entre le nombre de captures et certaines variables car plusieurs traits de chalut sans captures ont eu lieu exactement au même endroit que des traits avec captures.

Pour ces raisons nous avons décidé de ne prendre en compte que les traits présentant au moins une capture d'esturgeon afin de limiter le bruit de fond lié aux traits sans capture et de tester la valeur de ces coefficients. Les résultats obtenus montrent une grande disparité entre les coefficients des diverses variables (Tableau 2).

Tableau 2 : Coefficients de corrélation entre le nombre d'esturgeon par trait de chalut avec capture d'esturgeon et les variables de l'habitat étudié et signification de ces coefficients.

Variable	Coefficient τ	Valeur
Dist moyenne berges	0,077	Non significatif
Dist moyenne Isobathe 0	0,1	Significatif
Dist moyenne à la médiane	-0,055	Non significatif
Sédiments	0,062	Non significatif
Profondeur	0,09	Non significatif
Faune	0,329	Significatif
Courant	0,196	Significatif

Malgré une présence de 1 à 5 individus dans l'ensemble des modalités des différentes variable (ref figure), le test de la significativité des coefficients de corrélation calculés montre que seuls 3 coefficients indiquent une corrélation significative entre la variable testée (Distance à l'isobathe zéro, faune et courant) et le nombre d'esturgeons capturés, les quatre autres variables affichant des coefficients de corrélation non significatifs (Tableau 2).

Parmi les variables significativement corrélées aux captures d'esturgeon, c'est la faune qui a le coefficient le plus élevé loin devant les deux autres variables (Tableau 2).

3.2.2. L'Analyse des Correspondances Multiples.

L'examen de l'inertie de chaque factoriel ainsi que l'inertie cumulée (% de la variance totale expliquée) montre que les trois premiers axes expriment 34,3 % de la variance totale (Tableau 3). Etant donné le nombre total d'axes (un axe par modalité, soit un total de 25) et la complexité qu'engendre l'utilisation d'un grand nombre d'axes, nous avons décidé de limiter l'analyse aux trois premier axes factoriels (Tableau 3).

Tableau 3 : Valeurs propres, inertie de chaque axe factoriel et inertie cumulée de l'ensemble des axes dans le cadre de l'ACM réalisée sur l'ensemble des variables quantitatives des données STURAT.

Axe factoriel	Valeur propre	Inertie	Inertie cumulée	Axe factoriel	Valeur propre	Inertie	Inertie cumulée
1	0,473	0,149	0,149	10	0,149	0,047	0,768
2	0,340	0,107	0,257	11	0,136	0,043	0,811
3	0,274	0,087	0,343	12	0,122	0,038	0,849
4	0,254	0,080	0,424	13	0,097	0,031	0,880
5	0,224	0,071	0,494	14	0,095	0,030	0,910
6	0,212	0,067	0,561	15	0,075	0,024	0,933
7	0,180	0,057	0,618	16	0,063	0,020	0,953
8	0,165	0,052	0,670	17	0,059	0,019	0,972
9	0,159	0,050	0,720	18	0,054	0,017	0,989
				19	0,035	0,011	1

A l'intérieur de chaque variable (Tableau 4), on remarque un fort déséquilibre entre les modalités des variables nature du sédiment, profondeur et faune. Les modalités des autres variables étant au contraire assez équilibrés.

Tableau 4 : Poids relatif de chacune des modalités à l'intérieur de chaque variable utilisée. La somme de l'ensemble des poids des modalités d'une variable est égale à 1.

Distance à l'isobathe 0	Identifiant	Poids	Profondeur	Identifiant	Poids
Très faible	1a	0,221	Très faible	4a	0,0916
Faible	1b	0,257	Faible	4b	0,788
Moyenne	1c	0,261	Moyenne	4c	0,111
Forte	1d	0,261	Forte	4d	0,0097
Distance à la médiane	Identifiant	Poids	Faune benthique	Identifiant	Poids
Très faible	2a	0,261	Faune vide	5a	0,042
Faible	2b	0,255	Crustacés	5b	0,119
Moyenne	2c	0,251	Polychètes autres	5c	0,385
Forte	2d	0,233	Polychètes tubicoles	5d	0,454
Nature des sédiments	Identifiant	Poids	Force du courant	Identifiant	Poids
Gravier	3a	0,001	Très faible	6a	0,224
Gravier-sable	3b	0,007	Faible	6b	0,263
Sable	3c	0,157	Moyenne	6c	0,253
Sable-vase	3d	0,059	Forte	6d	0,260
Vase	3e	0,776			

Ainsi, la modalité vase représente à elle seule 77,6 % de l'inertie totale de la variable nature du sédiment, la modalité profondeur faible représente 78,8 % de l'inertie de la variable profondeur et la modalité polychètes tubicoles représente 45,4 % de l'inertie de la variable faune benthique (Tableau 4).

Lorsqu'on regarde le degré de corrélation entre chaque variable et les trois axes factoriels retenus (Tableau 5), on note que toutes les variables étudiées, hormis la distance à l'isobathe 0 et la profondeur, sont corrélées avec l'axe factoriel 1 (min-max : 44,2-62 %), ce qui indique que cet axe est un bon séparateur des individus pour toutes ces variables. De même, les variables faune benthique et courant sont les seules à être corrélées à plus de 50 % avec l'axe factoriel 2 et les variables Distances à l'isobathe 0 et nature des sédiments et faune

benthique sont les seules à présenter un coefficient de corrélation supérieur à 30 % avec l'axe factoriel 3 (Tableau 5).

Tableau 5 : Coefficients de corrélation entre les variables de l'environnement et les trois premiers axes factoriels de l'ACM.

	Facteur 1	Facteur 2	Facteur 3
Distance à l'isobathe 0	0,346	0,205	0,310
Distance à la médiane	0,620	0,115	0,195
Nature des sédiments	0,520	0,105	0,304
Profondeur	0,398	0,377	0,274
Faune benthique	0,442	0,577	0,326
Courant	0,513	0,662	0,234

Cependant si on s'intéresse à la variable la plus fortement corrélée à chaque axe (et qui contribue le plus à l'inertie de cet axe), il ressort alors que l'axe factoriel 1 (F1) est lié à la distance à la médiane ($r^2 = 0,620$), à la nature des sédiments ($r^2 = 0,520$) ainsi qu'au courant ($r^2 = 0,513$), l'axe F2 est lié au courant ($r^2 = 0,662$) et à la nature de la faune benthique ($r^2 = 0,577$) et enfin l'axe F3 est pour sa part un peu plus équilibré que les deux autres pour ce qui est des corrélations de chaque variable avec des valeurs oscillant entre 0,195 et 0,326 (Tableau 5). On notera aussi la contribution relativement forte et équilibrée de la faune benthique et de la variable courant aux axes F1 et F2 (r^2 compris entre 0,442 et 0,662), ce qui fait de ces deux variables, en plus de la distance à la médiane et de la nature des sédiments des éléments prépondérants dans la caractérisation et la description des habitats essentiels des juvéniles d'*A. sturio* dans l'estuaire de la Gironde (Tableau 5).

Si on s'intéresse à la contribution globale de chaque modalité pour l'ensemble des trois axes factoriels retenus, on remarque qu'il y a un équilibre entre toutes les modalités avec une contribution qui oscille entre 0,011 et 0,053 (Tableau 6), sachant que la contribution moyenne théorique est de 0,04 (cela correspond à la répartition égale de la contribution des 25 modalités pour un axe d'inertie 1), ce qui est peu éloigné. Par la suite, si on considère la contribution de chacune des modalités axe par axe, on note que certaines modalités ont des contribution beaucoup plus fortes sur un axe par rapport aux deux autres (Tableau 6). On note aussi qu'il existe seulement quelques modalités ayant une forte contribution (> 35 %) pour les axes factoriels F1 et F2, et aucune modalité n'affiche de telles contributions pour l'axe factoriel 3 (Tableau 6). Ainsi on note que les modalités 2d, 3c, 3e et 6a sont celles qui contribuent le plus à l'axe F1, les modalités 5c, 5d et 6d sont celles qui contribuent le plus à l'axe F2 (Tableau 6).

Tableau 6 : Contribution relative et globale de chaque modalité à chaque axe factoriel, résidus non exprimés et poids pour chaque modalité utilisée dans l'ACM. Les modalités ayant une contribution > 35% pour un axe sont marquées avec *.

Modalité	Identifiant	Facteur 1	Facteur 2	Facteur 3	Résidu	Poids	Contribution
Distance à l'isobathe 0							
Très faible	1a	0,048	0,190	0,078	0,462	0,037	0,041
Faible	1b	0,135	0,064	0,067	0,483	0,043	0,039
Moyenne	1c	0,002	0,009	0,000	0,481	0,043	0,039
Forte	1d	0,280	0,004	0,270	0,316	0,044	0,039
Distance à la médiane							
Très faible	2a	0,253	0,014	0,162	0,481	0,043	0,039

Modalité	Identifiant	Facteur 1	Facteur 2	Facteur 3	Résidu	Poids	Contribution
Faible	2b	0,040	0,112	0,030	0,685	0,043	0,039
Moyenne	2c	0,000	0,005	0,069	0,467	0,042	0,039
Forte	2d	0,525 *	0,023	0,001	0,387	0,039	0,040
Nature des sédiments							
Gravier	3a	0,000	0,003	0,005	0,919	0,000	0,053
Gravier-sable	3b	0,003	0,019	0,016	0,625	0,001	0,052
Sable	3c	0,369 *	0,079	0,128	0,348	0,026	0,044
Sable-vase	3d	0,097	0,003	0,184	0,438	0,010	0,050
Vase	3e	0,514 *	0,059	0,010	0,300	0,129	0,012
Profondeur							
Très faible	4a	0,000	0,290	0,022	0,510	0,015	0,048
Faible	4b	0,225	0,046	0,052	0,410	0,131	0,011
Moyenne	4c	0,257	0,076	0,096	0,314	0,018	0,047
Forte	4d	0,123	0,037	0,160	0,527	0,002	0,052
Faune							
Vide	5a	0,305	0,010	0,315	0,257	0,007	0,050
Crustacés	5b	0,097	0,008	0,013	0,367	0,020	0,046
Polychètes autres	5c	0,090	0,504 *	0,000	0,297	0,064	0,032
Polychètes tubicoles	5d	0,017	0,458 *	0,024	0,261	0,076	0,029
Courant							
Très faible	6a	0,375 *	0,304	0,018	0,282	0,037	0,041
Faible	6b	0,208	0,131	0,027	0,340	0,044	0,039
Moyen	6c	0,071	0,085	0,123	0,301	0,042	0,039
Fort	6d	0,020	0,358 *	0,147	0,356	0,043	0,039

L'étude des nuages de points représentant les 174 individus pour les plans factoriels F1xF2 (Figure 24), F1xF3 (Figure 25) et F2xF3(Figure 26), en fonction de leur richesse moyenne en esturgeon ne montre pas de prime abord une séparation très nette des deux nuages de points.

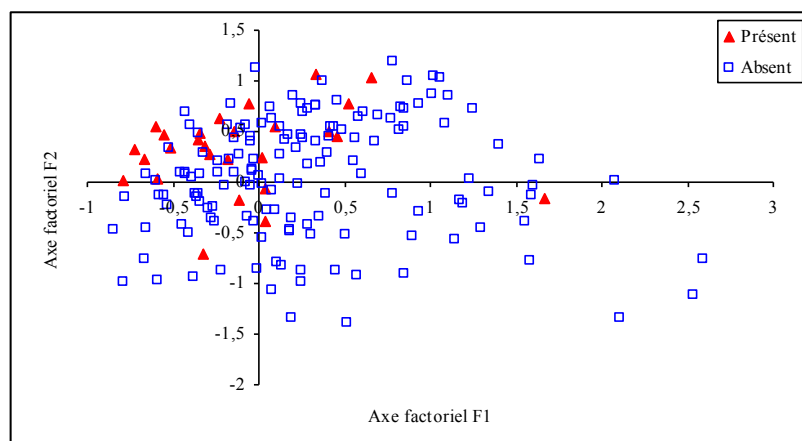


Figure 24 : Projection des individus "trait de chalut" en fonction de leur richesse en *A. sturio* pour les axes factoriels 1 et 2.

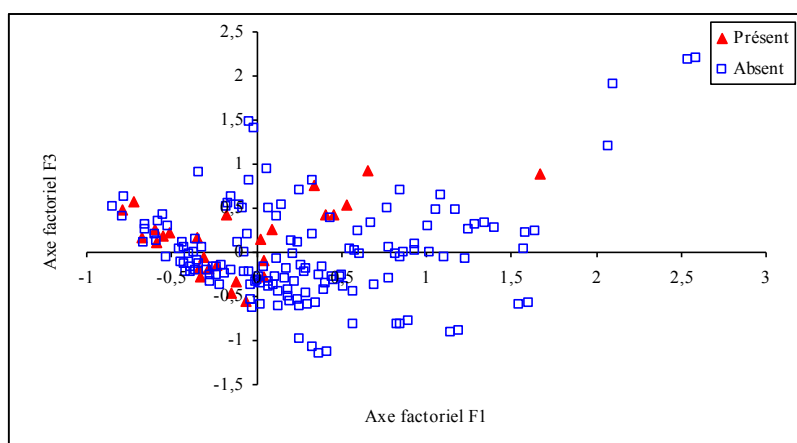


Figure 25 : Projection des individus "trait de chalut" en fonction de leur richesse en *A. sturio* pour les axes factoriels 1 et 3.

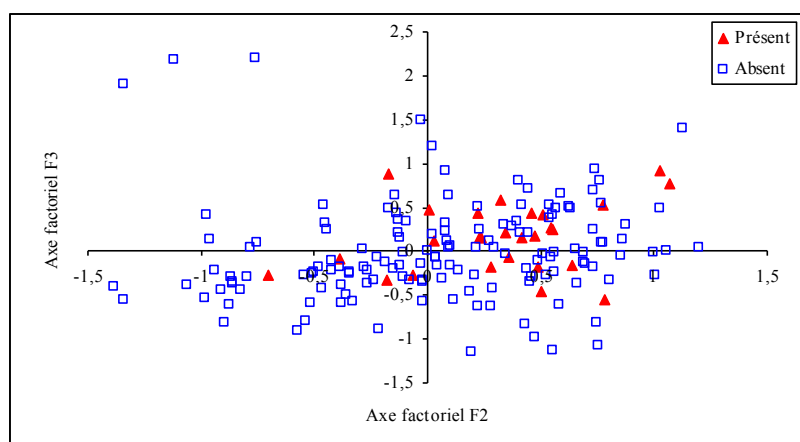


Figure 26 : Projection des individus "trait de chalut" en fonction de leur richesse en *A. sturio* pour les axes factoriels 2 et 3.

On note cependant que les points du groupe "présent" ont tendance à se regrouper dans la partie supérieure et plus particulièrement du côté gauche (1/4 supérieur gauche) du plan factoriel F1xF2 (Figure 24). Dans le cas du plan factoriel F1xF3, les points "présent" sont préférentiellement distribués le long d'un "V" avec une majorité de points dans la moitié supérieure du graphique (Figure 25). Enfin, pour le plan factoriel F2xF3, la grande majorité des points "présent" sont situés dans la partie droite du plan (Figure 26). Dans le même temps, on remarque que les points du groupe "absent" ont tendance à être bien répartis sur l'ensemble du plan factoriel et ce quel que soit le plan (F1xF2, F1xF3 ou F2xF3) envisagé (Figure 24 ; Figure 25 ; Figure 26).

Ces répartitions "préférentielles" des individus à l'intérieur des plans factoriels prennent tout leur intérêt quand on fait la comparaison avec la localisation de l'ensemble des modalités à l'intérieur de ces mêmes plans. Dans le cas du plan F1xF2 (Figure 24), le fait que les points de la catégorie "présent" soient majoritairement situés dans le 1/4 supérieur gauche du plan peut être reliés aux modalités 1d (distance à l'isobathe 0 forte) 2a et 2d (distance à la médiane très faible et forte), 3c (sable) et 3e (vase), 5a (faune benthique absente) et 6a (courant très faible) pour ce qui est de leur répartition le long de F1 et 4a (profondeur très faible, 0-2m), 5c (polychètes autres), 5d (polychètes tubicoles) 6a (courant très faible) et 6d (courant élevé) pour leur répartition le long de F2 (Tableau 6) étant donné que nous avons vu précédemment que ce sont ces modalités qui ont le plus de poids pour ces axes (Figure 27).

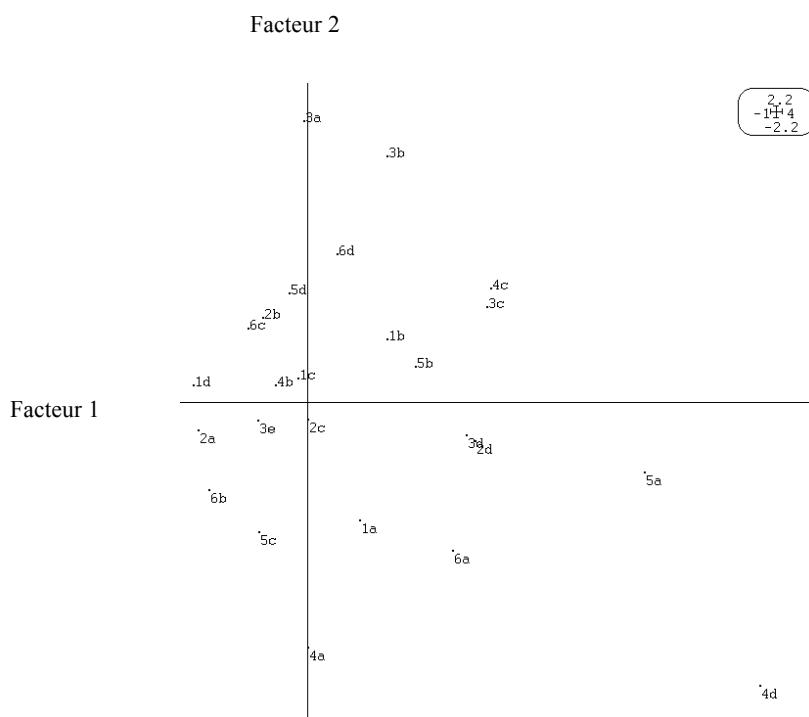


Figure 27 : Localisation des modalités des variables de l'environnement à l'intérieur du plan Factoriel F1xF2 de l'ACM.

Si on s'intéresse aux autres modalités rencontrées dans ce quartier supérieur gauche du plan F1xF2, on trouve les modalités 2b (faible distance à la médiane) et 4b (profondeur faible 4-6m) qui elles aussi semblent liées avec le localisation des points "présent" dans le plan F1xF2. La mise en parallèle de la Figure 27 avec le graphique en étoile dont les centres sont les centres de gravité des modalités et les branches les individus (Figure 28) montre que :

- Quasiment tous les individus de la partie gauche du graphique affichent la modalité 3e (vase) ;
- tous les individus de la moitié gauche du plan F1xF2 sont trouvés pour des profondeurs très faibles à faibles (4a et 4b) ;
- Quasiment tous les individus de la partie gauche ainsi qu'une majorité de la moitié supérieure du graphique affichent une faune composée soit de polychètes tubicoles (5d), soit d'autres polychètes (5c) ;
- tous les individus de la partie supérieure gauche du graphique sont liés essentiellement à des courants moyens à forts (6c et 6d) ;

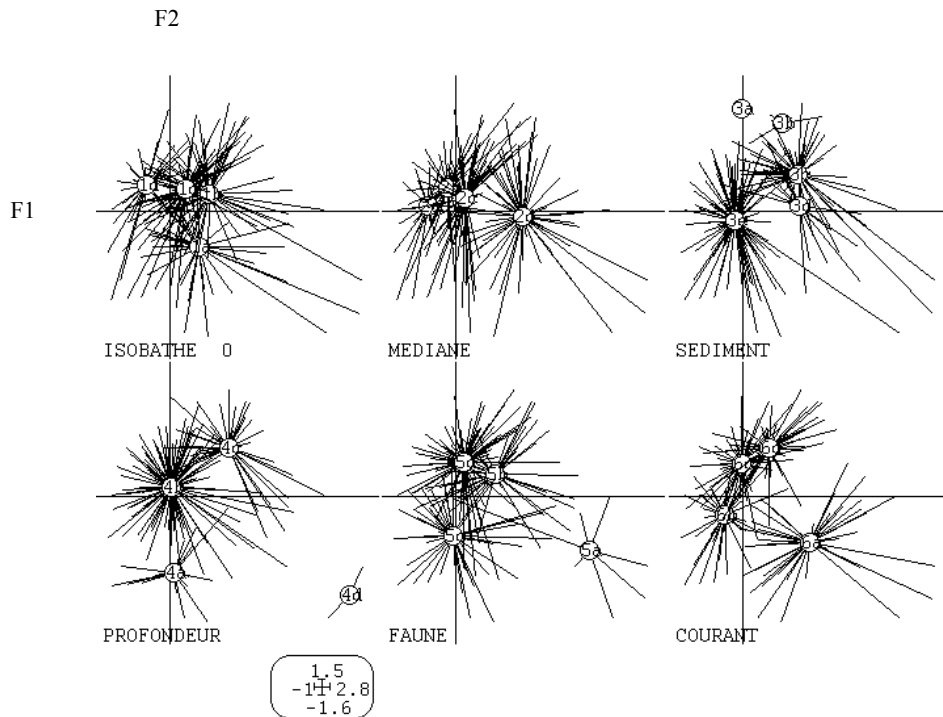


Figure 28 : Graphique en étoile mettant en relation le centre de gravité de chaque modalité avec l'ensemble des individus affichant cette modalité dans le plan factoriel F1xF2.

Dans le cas du plan factoriel F1xF3, la majorité des points "présent" sont regroupés dans la partie supérieure du graphique et sont collés le long d'une ligne en "V" (Figure 25). Cette localisation des points "présent" peut être reliée aux modalités 1d (distance à l'isobathe 0 forte) 2a et 2d (distance à la médiane très faible et forte), 3c (sable) et 3e (vase), et 6a (courant très faible) pour ce qui est de leur répartition le long de F1 (Figure 29) ainsi qu'à la modalité 1d (distance forte à l'isobathe 0), 2a (très faible distance à la médiane), 3d (sablo-vaseux), 4d (profondeur forte), 5a (absence de faune benthique) et 6d (courant fort) pour la localisation des points le long de l'axe F3 (Figure 29) étant donné que ce sont ces modalités qui affichent les contributions les plus fortes pour ces deux axes factoriels (Tableau 6). Le regroupement des individus "présent" le long cette ligne en "V" semble être lié avec d'autres modalités moins "lourdes" qui sont regroupées en ce même endroit telles 5c et 5d (polychètes autres et tubicoles) et 6c (vitesse du courant moyenne) (Figure 29).

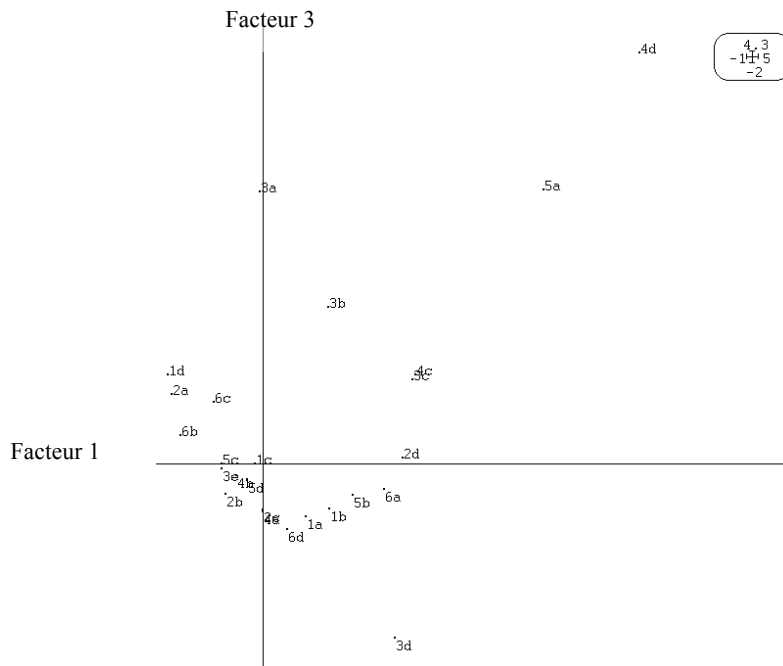


Figure 29 : Localisation des modalités des variables de l'environnement à l'intérieur du plan Factoriel F1xF3 de l'ACM.

La mise en parallèle du plan F1xF3 comportant l'ensemble des points individus et l'ensemble des modalités (Figure 25 et Figure 29) avec le graphique en étoile de l'ensemble des modalités-individus dans ce même plan factoriel (Figure 30), confirme l'importance des modalités 1c, 1d, 2a, 2b, 3c, 3e, 4b, 5c, 5d, 6c et 6d dans la localisation particulière du nuage de points "présent" par rapport à l'ensemble du nuage de points individus (Figure 25).

Les préférences qu'on peut donc observer sont :

- éloignement de l'isobathe 0 (> 1435 m);
- proximité de la médiane de l'estuaire (< 1471 m);
- sédiments sableux ou vaseux ;
- faune de type polychètes tubicoles ou autres polychètes ;
- courant moyen à fort (1275-1475 m.j⁻¹) ;

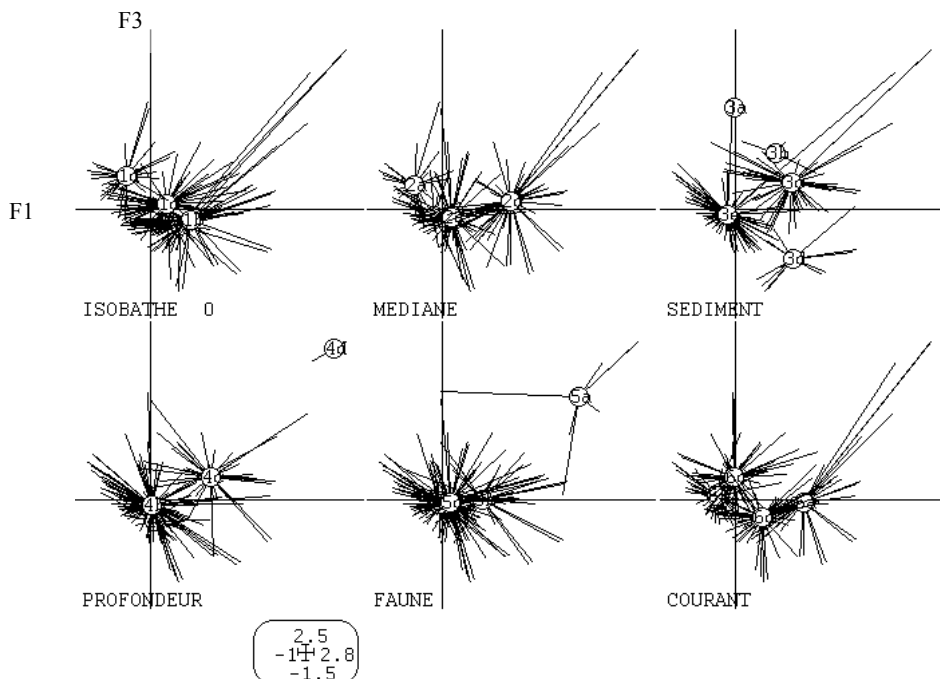


Figure 30 : Graphique en étoile mettant en relation le centre de gravité de chaque modalité avec l'ensemble des individus affichant cette modalité dans le plan factoriel F1xF3.

Dans le cas du plan factoriel F2xF3, le fait que la majorité des points "esturgeon présent" soient localisés dans la moitié droite du plan factoriel (Figure 26), peut être majoritairement attribué à l'influence des modalités 4a (très faible profondeur, 0-2m), 5c et 5d (Polychètes autres et polychètes tubicoles) ainsi qu'aux modalités 6c 6d (courant moyen à fort) pour l'axe F2 (Figure 31) et à la modalité 1d (distance forte à l'isobathe 0), 2a (très faible distance à la médiane), 3d (sablo-vaseux), 4d (profondeur forte), 5a (absence de faune benthique) et 6d (courant fort) pour la localisation des points le long de l'axe F3 (Figure 31) qui sont les variables ayant le plus de poids sur ces deux axes factoriels (Tableau 6). Lorsqu'on regarde l'ensemble des modalités, il ressort que certaines d'entre elles avec des poids moins forts que celles citées précédemment semblent avoir aussi une influence sur la répartition des individus "présent". Il s'agit des modalités 2b (faible distance à la médiane), 3c et 3e (sable et vase), et 4b (profondeur moyenne) comme constaté en effectuant la comparaison entre la Figure 26 et la Figure 31. La quasi absence d'individus "esturgeon présent" dans la moitié gauche du plan F2xF3 peut être imputé à la forte influence des modalités 1a et 4a qui représentent les secteurs intertidaux de l'estuaire (très faible distance à l'isobathe 0 et profondeur entre 0 et 2m)(Figure 31).

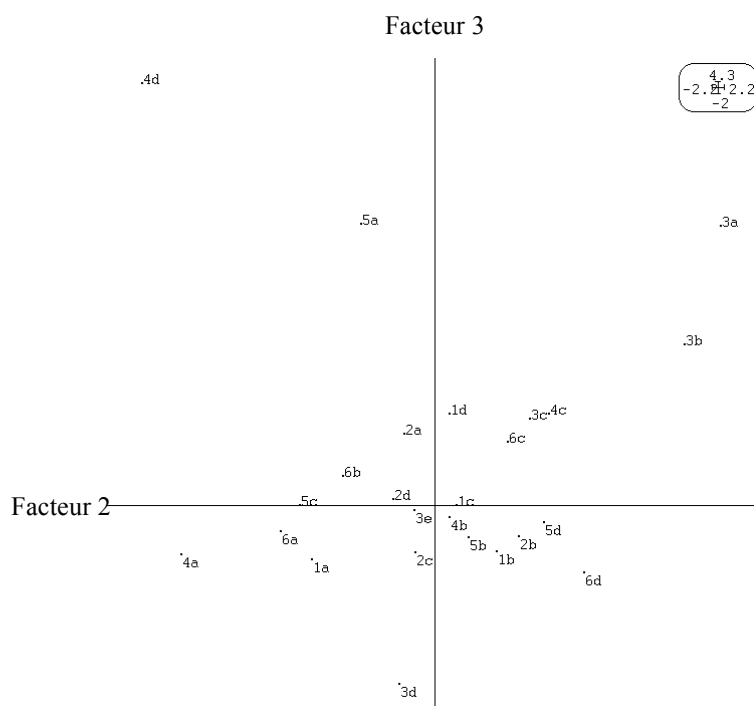


Figure 31 : Localisation des modalités des variables de l'environnement à l'intérieur du plan Factoriel F2xF3 de l'ACM.

Lorsqu'on met en parallèle la Figure 31 avec le plan factoriel F2xF3 comportant les graphiques en étoile qui représente les liens entre les modalités et les individus (Figure 32), on a la confirmation de l'importance des modalités 1c, 1d, 2a, 4a, 4b, 5c, 5d et 6d dans la localisation des individus "esturgeon présent" (Figure 26). Cette comparaison fait aussi ressortir une influence non négligeable des modalités 3c (sable) et 3e (vase) dans la localisation de ces mêmes individus (Figure 26 ; Figure 32), bien que leur poids soit faible pour ces deux axes factoriels (Tableau 6).

Le secteur de regroupement des points "esturgeon présent" dans le plan F2xF3 présente donc les caractéristiques suivantes :

- Distance à l'isobathe 0 moyenne à forte (> 1435 m) ;
- Distance à la médiane faible (< 723 m) ;
- Sédiments sableux ou vaseux ;
- Profondeur très faible à faible (0-6 m) ;
- Faune benthique composée de polychètes tubicoles ou d'autres polychètes ;
- Courant fort (> 1300 m.j⁻¹) ;

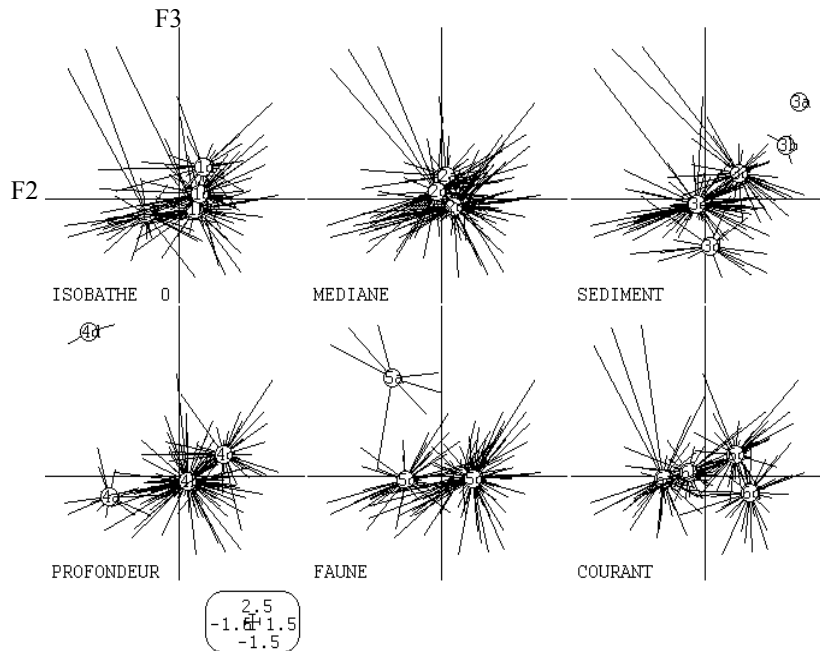


Figure 32 : Graphique en étoile mettant en relation le centre de gravité de chaque modalité avec l'ensemble des individus affichant cette modalité dans le plan factoriel F2xF3.

Afin d'obtenir une estimation du poids relatif de chaque modalité en tenant compte à la fois de son poids maximal sur un axe et de l'inertie de cet axe factoriel, nous avons réalisé l'opération suivante sur les seules modalités qui sont liées de façon positive au nuage de points "esturgeon présent":

$$Pr_{\text{mod}} = Poids_{\text{mod}} \otimes Inertie_{\text{axe}}$$

Les valeurs obtenues pour les modalités reconnues comme étant les plus liées à la répartition des individus trait de chalut "esturgeon présent" dans les trois plans factoriels étudiés (F1xF2, F1xF3 et F2xF3) sont présentées dans le Tableau 7

Tableau 7 : Rangs des modalités les plus liées à la présence d'*A. sturio* dans les traits de chalut en fonction premièrement de leur inertie brut sans tenir compte de l'axe factoriel puis en prenant en compte la part de variance totale exprimée par cet axe.

Modalité	ID	Poids	Rang	Axe	Inertie axe	Poids relatif	Rang
Distance à l'isobathe 0							
forte	1d	0,280	6	F1	0,1495	0,042	5
Distance à la médiane							

Modalité	ID	Poids	Rang	Axe	Inertie axe	Poids relatif	Rang
Très faible	2a	0,253	8	F1	0,1495	0,038	8
faible	2b	0,112	10	F2	0,1074	0,012	10
Nature des sédiments							
Sable	3c	0,3689	4	F1	0,1495	0,055	2
Vase	3 ^e	0,5136	1	F1	0,1495	0,077	1
Profondeur							
Faible	4b	0,2248	9	F1	0,1495	0,034	9
Moyenne	4c	0,2572	7	F1	0,1495	0,038	6
Faune							
Polychètes autres	5c	0,504	2	F2	0,1074	0,054	3
Polychètes tubicoles	5d	0,458	3	F2	0,1074	0,049	4
Courant							
Fort	6d	0,358	5	F2	0,1074	0,038	7

Comme on le constate, le fait d'intégrer la part de variance expliquée par l'axe factoriel pour lequel une modalité a le plus de poids dans le calcul du poids relatif de cette modalité change le classement entre les modalités. Lorsqu'on regarde ce classement, il ressort que la vase (1) et le sable (2) sont des modalités très fortes tout comme les polychètes tubicoles (4) et les autres polychètes (3). On notera aussi que l'éloignement de l'isobathe 0 (rang 5) semble plus fort que la proximité de la médiane (rangs 8 et 10). De même, les profondeurs moyennes (6) semblent plus importantes que la force du courant (7) et que les faibles profondeurs (9). Il ressort donc de ce classement que les zones de concentration des juvéniles d'*A. sturio* dans l'estuaire de la Gironde sont tout d'abord liées à la nature du sédiment (vase et sable) ainsi qu'à la nature de la faune benthique et à l'éloignement de l'isobathe 0. On note aussi que bien qu'elles soient moins bien classées, les modalités liées à la profondeur, la force du courant et la proximité de la médiane jouent un rôle important dans la définition des zones de concentration des juvéniles d'*A. sturio* en estuaire.

Lorsqu'on regarde les liens entre les zones de regroupement des points "présence d'esturgeon dans le trait de chalut" et les modalités de l'environnement, il ressort que ce sont les modalités 1d (forte distance à l'isobathe 0), 2a et 2b (faible à très faible distance à la médiane), 3c et 3e (sable et vase), 5c et 5d (polychètes autres et tubicoles) et 6c et 6d (courant moyen à fort) qui ont le plus d'influence sur ces points. On notera aussi que les modalités 2a, 4d et 5a ont une influence et qu'elles semblent agir comme des répulsifs sur les individus "capture d'esturgeons" alors que toutes les autres modalités semblent plutôt les attirer comme en atteste la comparaison entre les Figure 24 ; Figure 25; Figure 26 et les Figure 27 ; Figure 29 ; Figure 32.

Il est donc possible de dire que les modalités qui semblent les plus importantes dans la définition des zones de captures fréquentes d'*A. sturio* sont :

- distance à l'isobathe 0 importante (> 1435 m dans notre cas);
- distance à la médiane de l'estuaire très faible à faible (< 1471 m);
- sédiments de type sableux et vaseux ;
- Profondeur faible à moyenne (4 à 8m) ;
- faune benthique dominée par les polychètes et plus particulièrement les polychètes tubicoles ;

- courant moyen à fort ($> 1275 \text{ m.jour}^{-1}$);

4. Discussion.

4.1. Cas de la caractérisation de l'estuaire du point de vue des variables de l'environnement.

La bathymétrie utilisée au cours de ce travail repose sur une carte « figée » dont les cotes sont fixes et ne prennent pas en compte les variations journalières importantes de la hauteur d'eau liées au cycle des marées. Il est tout à fait possible que ces variations de plusieurs mètres (5 m et plus lors de marées de vives eaux) jouent un rôle dans l'occupation de l'espace chez les juvéniles d'esturgeon étant donné le caractère macrotidal de l'estuaire de la Gironde (Kapsimalis *et al.*, 2000b). Cependant, étant donné la non disponibilité des mesures pour l'ensemble des traits de chalut et les possibilités d'erreurs liées à la nature du substrat par endroit (lentilles denses de crème de vase pouvant être confondues avec le fond), l'utilisation du fond de carte tel que nous l'avons pratiqué semble plus sûr même si il peut apparaître comme moins efficace pour certains aspects.

La comparaison entre les résultats que nous avons obtenus avec les échantillons de la campagne benthos 2000 et ceux obtenus par le laboratoire D.G.O. ne montre pas de différence significative dans la nature ou la répartition des sédiments trouvés. Les faibles différences trouvées tendent à montrer qu'il y a une certaine stabilité au niveau de la composition des sédiments et de leur répartition. Cette constatation semble confirmée par les observations faites par le laboratoire DGO qui a comparé la carte obtenue en 1999 avec celle réalisée en 1969 par Allen (1972). Cette comparaison indique que les principaux changements se sont produits dans le secteur de l'embouchure avec une remontée vers l'amont de la zone de transition entre vase estuarienne et sable océanique rive droite (Saintonge) et un déplacement de cette même zone de transition vers l'aval rive gauche (Médoc) comme indiqué dans Kapsimalis *et al.* (2000a).

Le fait que la distribution spatiale des espèces les plus fréquentes et les plus abondantes (*Polydora sp.*, *Streblospio sp.* et *Heteromastus filiformis*) varient très peu entre la campagne de l'année 2000 et celle de 2001 renforce l'idée d'une possibilité d'analyses communes de ces données dans le but de délimiter les zones riches en ces espèces majoritaires et les zones pauvres en faune. Cette constatation est intéressante étant donné la très nette prédominance de cette catégorie dans l'alimentation des juvéniles d'esturgeon européen (Brosse *et al.*, 2000a; Brosse *et al.*, 2000b).

4.2. Cas des coefficients de corrélation de Kendall.

Les résultats obtenus par le calcul de coefficients montrent qu'il existe une corrélation significative entre la nature de la faune benthique rencontrée et le nombre d'esturgeons capturés par trait de chalut. Il en est de même avec les variables distance à l'isobathe zéro et courant. Ces tests montrent aussi que la variable faune benthique semble être la variable la plus corrélée avec le nombre d'esturgeons capturés par trait de chalut. Toutefois, le fait que d'autres variables comme la distance à l'isobathe zéro, et le courant affichent une corrélation significative avec les captures d'esturgeon tend à montrer que la nature de la faune seule ne suffit pas à expliquer la répartition spatiale des juvéniles d'*A. sturio* de façon satisfaisante.

La lecture des graphiques (Figures 25 à 29) renforce cette impression car on note que pour des variables comme la nature des sédiments, le courant, la profondeur ou la nature de la faune, les captures fortes en *A. sturio* ne sont retrouvées que pour 1 à 2 voire 3 modalités par variable. Les coefficients de corrélation calculés ne permettent pas de connaître l'importance de la contribution (poids) de chaque variable à la description des habitats des esturgeons ni de savoir quelles modalités ont le plus de poids à l'intérieur de chaque variable vis à vis des esturgeons. Ces éléments rendent difficile l'établissement de courbes de préférendum d'habitat pour l'esturgeon en Gironde avec ces données.

C'est dans le but de répondre à ces attentes que nous avons choisi de faire des analyses multivariées pour l'ensemble des traits de chalut des campagnes STURAT de 1995 à 2000 pour les sept variables utilisées dans les calculs de corrélation.

4.3. Cas des résultat de l'Analyse des Correspondances Multiples.

Les résultats obtenus grâce à cette analyse montrent tout d'abord qu'il est relativement difficile de différencier les traits de chalut avec captures d'esturgeon de ceux sans capture à l'aide des variables de l'environnement. Cette observation confirme les observations précédentes quant au bruit de fond important généré par les traits de chalut sans capture dont certains présentent des profils très proches de ceux avec captures pour ce qui est des variables du milieu et de leurs combinaisons.

Cependant ces résultats montrent aussi que les traits de chalut avec captures d'*A. sturio* ne sont pas complètement disséminés à l'intérieur des plans factoriels retenus pour l'ACM mais, qu'il y a plutôt une tendance au regroupement plus ou moins marqué selon les plans factoriels étudiés. Cela confirme l'idée que si des esturgeons sont capturés un peu partout dans l'estuaire, certains habitats présentent des caractéristiques favorisant le rassemblement des individus.

L'analyse des données montre que les profondeurs faibles à moyennes jouent un rôle dans la présence plus importante des juvéniles d'esturgeon dans l'estuaire. Toutefois cette variable doit être prise avec précaution car on l'a vu précédemment, les habitats peuvent subir des variations d'une amplitude de 5 m de hauteur d'eau par rapport au niveau indiqué sur les cartes lors de marées de vives eaux. Les valeurs indiquées (4 à 8 m) doivent être associées aux valeurs que l'on peut lire sur une carte et ne correspondent pas une hauteur d'eau observée.

Cette première caractérisation "fine" des zones d'habitats préférentiels des juvéniles d'esturgeon européen est intéressante mais ne permet pas de classer les facteurs par ordre d'importance. Un tel classement permettrait par la suite d'établir un jeu de courbes de préférendum reliant les caractéristiques du milieu étudié (variables et modalités des variables de l'environnement) à la qualité de ce milieu vis à vis de l'esturgeon et de ses préférences en terme d'habitat. Cet outil à but prédictif permettrait de caractériser un estuaire afin de connaître rapidement les zones susceptibles de représenter un intérêt primordial pour l'esturgeon européen. Ceci serait particulièrement utile pour préparer la réintroduction de cette espèce dans des bassins-versant aujourd'hui désertés.

Les résultats de l'ACM permettent de faire un premier classement des dix modalités citées plus haut en prenant en compte d'une part la contribution la plus forte de chaque modalité sur l'ensemble des trois axes factoriel et d'autre part le pourcentage de variance exprimée par chacun des axes. Etant donné que le pourcentage de variance décroît lorsqu'on passe de l'axe factoriel F1 à F2 puis à F3, cela signifie que deux variables ayant une contribution égale mais

l'une pour F1 et l'autre pour F3 n'ont pas au final la même influence sur la forme et la répartition du nuage de points individus, l'importance de la modalité liée à F1 étant plus forte.

4.4. Discussion, conclusion sur l'ensemble des résultats obtenus lors des différents traitements des données STURAT

La comparaison des résultats obtenus pour l'ensemble des données STURAT, que ce soit via le calcul de coefficients de corrélation ou dans le cadre de l'ACM montrent que ces analyses ont fournis des résultats cohérents et complémentaires. La comparaison des résultats de ces deux types d'analyses a permis de montrer d'une part que l'ensemble des variables étudiées est important dans la définition des habitats préférentiels des juvéniles d'*A. sturio* en estuaire, et d'autre part que seules certaines modalités (valeurs) de ces variables semblent vraiment caractéristiques de ces habitats :

- distance forte à l'isobathe 0 ;
- distance faible à la médiane de l'estuaire ;
- sédiments vaseux ou sableux ;
- profondeur faible à moyenne (2-8 m) ;
- faune composée de polychètes tubicoles préférentiellement ou d'autres polychètes ;
- courant fort ;

Il a aussi été possible de hiérarchiser ces différentes modalités en fonction de leur importance (poids) dans la définition des habitats préférentiels des esturgeons grâce aux résultats de l'ACM. Il ressort ainsi que les sédiments vase et sable ainsi que les polychètes tubicoles et les autres polychètes sont les modalités les plus importantes devant les autres modalités retenues comme la distance à la médiane ou la force du courant.

La comparaison des résultats obtenus pour ces deux analyses montre qu'il y a des similarités mais aussi des différences, surtout concernant la variable distance à la médiane non retenue par la méthode des coefficients de corrélation et retenue avec un classement moyen (8^{ème} rang, Cf. Tableau 8) dans le cadre de l'ACM. Il semblerait toutefois que les différences observées tiennent plus des différences entre les méthodes que de réelles différences. Quoi qu'il en soit, malgré ces quelques différences entre les résultats obtenus via ces deux analyses distinctes, on constate que leurs résultats sont proches concernant les variables caractéristiques des habitats essentiels des juvéniles d'*A. sturio* dans l'estuaire de la Gironde. Ces similarités sont intéressantes et constituent un indice en faveur d'une marge d'erreur acceptable entre ce qui est observé via les analyses des données et les conclusions qu'on en tire, et la réalité sur le terrain qui fait que les esturgeons se concentrent dans certaines zones de l'estuaire et pas ailleurs.

Il ressort donc de ces analyses que les variables (modalités) ayant le plus de poids dans l'explication des liens entre les juvéniles d'*A. sturio* et leur habitat et donc dans la description, la caractérisation de ces habitats sont par ordre d'importance décroissant :

- un sédiment de type vase ;
- un sédiment de type sable (si il n'y a pas de vase) ;
- une faune benthique dominée par les polychètes tubicoles ;
- une faune benthique dominée par les polychètes autres que tubicoles (le cas échéant) ;
- une distance à l'isobathe 0 importante ;
- une distance à la médiane faible ;

- un courant fort ;
- une profondeur faible à moyenne ;

On note que la totalité des variables étudiées, hormis la distance aux berges qui a été éliminée car très corrélée avec la distance à l'isobathe 0, interviennent dans la description des habitats préférentiels des juvéniles d'esturgeon en estuaire. Ce nombre est trop élevé si l'objectif est de fournir des outils de caractérisation "rapide" et / ou de gestion des habitats estuariens pour des systèmes destinés à accueillir une population d'*A. sturio*. Dans le but de simplifier et donc de fournir des outils utilisables "facilement", seules les 4 variables les plus fortes pourraient être conservées à savoir :

- la nature des sédiments ;
- la nature de la faune benthique ;
- la distance à la médiane ;
- le courant ;

La préférence de la distance à la médiane plutôt que celle par rapport à l'isobathe 0 est liée au fait que cette variable affiche des contributions similaires voire supérieures à celle de la distance à l'isobathe 0 (Tableau 6), de plus cette variable affiche un coefficient de corrélation avec l'axe F1 (le plus discriminant) nettement supérieur à celui de la variable distance à l'isobathe 0 (Tableau 5).

La connaissance des quatre variables précédemment citées doit suffire à fournir les éléments nécessaires à la bonne description et à la localisation des zones d'habitats préférentiels pour les juvéniles d'esturgeon européen dans la Gironde. De plus, le fait de connaître les modalités les plus fortement liées à la présence d'*A. sturio* en densité importante pour chacune des variables retenues permet d'effectuer la caractérisation de l'ensemble de l'estuaire en terme de qualité d'habitat pour l'esturgeon. Il est donc possible grâce à ces données de classer et "découper" l'estuaire de la Gironde en trois grandes classes d'habitat par exemple selon que ces habitats soient de très bonne qualité, qualité moyenne ou mauvaise qualité pour l'esturgeon européen (par exemple, un habitat composé de graviers, proche de l'isobathe 0 et avec une faune composée uniquement de crustacés serait jugé comme très défavorable pour les juvéniles d'esturgeon). FAUX

La comparaison des préférences d'habitat estuarien entre les juvéniles d'*A. sturio* et d'autres espèces d'esturgeon en estuaire ou en fleuve montre certaines similitudes mais aussi des différences. Par exemple, dans le cadre de leurs travaux sur l'esturgeon à museau de pelle, *Scaphirhynchus platyrhynchus*, ainsi que sur l'esturgeon pâle, *Scaphirhynchus albus*, Bramblett and White (2001) montrent l'importance de la nature des sédiments et des zones avec un courant important. Selon ces auteurs, les différences de nature des sédiments observées pour chacune des deux espèces seraient liées à leur alimentation basée sur les poissons dans le cas de l'esturgeon pâle et les invertébrés pour l'esturgeon à museau de pelle. Les travaux de Knights *et al.* (2002) sur les préférences en terme d'habitats de l'esturgeon jaune, *Acipenser fulvescens*, dans le fleuve Mississippi ont mis en évidence que ces individus évitent les zones de fort courant (vitesse supérieure à 40 cm.s⁻¹) et de profondeur inférieure à 7m. Il a aussi été montré sur cette espèce que les zones de concentration d'esturgeon se trouvent dans des zones de nourricerie potentiellement importante (Knights *et al.*, 2002) comme cela a été montré par Buckley and Kynard (1985) et Kieffer and Kynard (1993) dans le cadre de travaux sur l'esturgeon à museau court, *Acipenser brevirostrum*. Selon (Kynard *et al.*, 2000), les choix en terme d'habitats chez l'esturgeon à museau court sont liés plus ou moins fortement à

l'alimentation et donc à la présence de zones riches en proies à l'intérieur ou à proximité immédiate de ces habitats.

Ces quelques exemples montrent tout d'abord qu'il existe probablement plusieurs points communs entre ces différentes espèces pour ce qui est des variables les plus explicatives en terme de choix d'habitats, que ce soit en fleuve ou en estuaire. On notera tout d'abord que la nature des sédiments ainsi que la profondeur et la vitesse du courant apparaissent comme des variables importantes et communes aux différentes espèces étudiées. On notera aussi qu'il n'est pas fait directement mention d'une préférence pour des habitats proches du milieu du cours d'eau ou éloigné des berges. Il est possible toutefois que cet aspect de placement par rapport aux berges soit inclus dans ce que certains auteurs décrivent comme une préférence pour certaines régions géomorphologiques décrites par un ensemble de paramètres comme la sinuosité, le nombre d'îles etc.

Cette dernière variable de distance aux berges est peut-être moins fiable malgré les résultats significatifs issus de nos données car l'ensemble des captures d'esturgeon qui a été traité se rapporte principalement à une cohorte née en 1994 et à quelques individus de la cohorte née en 1995. Les principaux lieux de capture d'esturgeon de la cohorte née en 1988 étaient situés plus près de la berge et entre 1 et 5 km et plus en amont par rapport à la zone actuellement définie dans le secteur aval de l'estuaire. Aucune information sur le régime alimentaire de l'esturgeon ni sur la nature des sédiments n'étaient alors disponible, il est donc impossible de pousser plus loin la comparaison. Cependant, bien que la relative stabilité des fonds ait été montré, la morphologie de l'estuaire n'est pas immuable et un épisode de tempête peut modifier le faciès de l'estuaire et plus particulièrement dans la zone aval fortement soumise aux entrées de houle. Mauvais et Guillaud (1994) dans le livre blanc de l'estuaire de la Gironde montre l'évolution des zones de sédimentation et d'érosion pour les périodes de 1953-1962 et 1962-1970 et attestent une forte sédimentation allant jusqu'à 1,5 m par année par endroit.

Il ressort de l'ensemble de ces travaux que l'aspect alimentation joue un rôle prépondérant dans le choix d'un habitat plutôt qu'un autre, ce qui renforce l'intérêt des zones de nourriceries que nous avons mis à jour au cours de ces travaux du point de vue de la préservation de l'esturgeon européen. Les zones de nourricerie identifiées sont des habitats essentiels des esturgeons et leur réduction, dégradation ou disparition pourrait avoir de graves conséquences sur ces poissons si, comme nous le suspectons, il n'existait qu'une ou deux zones de nourriceries actuellement dans l'estuaire de la Gironde (Figure 23).

4.5. Vulnérabilité de la faune benthique aux opérations de dragage et de dépôt de sédiments.

Les travaux réalisés en 2001 dans le cadre d'une étude préliminaire sur les impacts des activités de dragage et de dépôt de sédiments dans l'estuaire de la Gironde ont permis de constater que ces deux activités ne sont pas sans conséquences sur la faune benthique. Nous avons constaté en effet qu'il y a de la faune benthique en quantités plus ou moins importante et comparables aux zones témoins dans les zones de dépôt de sédiments alors qu'on ne trouve pas (ou presque) de faune benthique pour la totalité des échantillons réalisés dans le chenal de navigation qui est régulièrement dragué toute l'année (Girardin *et al.*, 2001). Il semble donc que les fortes capacités de recolonisation des deux proies principales des juvéniles d'esturgeon européen (*Heteromastus filiformis* et *Polydora sp.*, (voir Figure 5) décrites comme étant des espèces pionnières (Rhoads and Boyer, 1982; Gallagher *et al.*, 1983) soient insuffisantes face aux perturbations engendrées par des opérations de dragage. Des travaux similaires menés au Québec sur les impacts du dragage et des dépôts de sédiments dans le fleuve St Laurent

(Québec, Canada) montrent une baisse de fréquentation des zones soumises à dépôt de sédiments par rapport à des zones témoins de la part des juvéniles d'esturgeon noir (Gouin and Fournier, 2000) qui est l'espèce la plus proche de l'esturgeon européen (Magnin, 1962; 1964; Birstein and Bemis, 1997). Ce comportement semble donc indiquer que ces activités humaines représentent une gêne pour ces poissons et que cela peut occasionner un stress supplémentaire dans le cadre d'opérations répétées au niveau d'habitats importants pour les esturgeons et non détectés en tant que tels.

5. Utilisation ultérieure des connaissances acquises.

5.1. La méthode des Indices de Qualité des l'Habitat (IQH, ou HSI en anglais).

La méthode de l'indice de qualité de l'habitat (IQH) est un outils permettant d'indiquer la qualité d'un habitat sur une échelle de 0 (hostile) à 1 (très favorable) pour un milieu particulier se trouvant dans un système par rapport aux exigences d'une espèce animale (Brown *et al.*, 2000). Les résultats de ces calculs peuvent être représentés sous forme de cartes pouvant servir de support à la prise de décisions dans le cadre de la gestion et de la protection de certaines espèces menacées et de leurs habitats (Brown *et al.*, 2000). De plus, cette méthode peut servir à développer des cartes de qualité d'habitat pour des zones faiblement échantillonnées (Rubec *et al.*, 1998) ou bien à prédire et évaluer les impacts liés à certaines perturbations. De même ces indices et les cartes qui en découlent peuvent servir dans le cadre de la conservation des habitats critiques pour le maintien d'une population ou d'une espèce voire pour la restauration de celle-ci comme cela a été projeté en Floride notamment (Rubec *et al.*, 1998).

La mise en place, la construction d'un IQH requiert des connaissances importantes et assez complètes des préférences en terme d'habitat, décomposé en variables (profondeur, sédiments, nourriceries etc. ...) pour l'espèce, la population voire l'écophase (larves, juvéniles, adultes...) ciblée dans le cadre de la mise au point de cet indice. Ces exigences en terme de connaissances sont telles que soit elles existent déjà dans la littérature et peuvent être utilisées pour la mise au point d'un IQH, soit ces données n'existent pas ou sont incomplètes et il est nécessaire de faire des recherches sur les liens unissant une espèce et ses habitats préférentiels. Lorsque les connaissances sur ces liens sont connues et validées si possible pour l'ensemble des variables de l'environnement concerné (fleuve, forêt, lac, prairie etc.), il est possible d'établir des courbes de préférendum, une par variable, donnant une valeur d'indice de qualité (IQ) entre 0 et 1 en fonction de la valeur de la variable pour l'échantillon considéré.

Les résultats obtenus à l'aide des IQH en terme de prédiction, que ce soit en biomasse animale ou de localisation d'habitats préférentiels et de validation par suivi de la fréquentation de ces habitats, sont variables et semblent assez fortement dépendant de la qualité des données de départ ainsi que du choix des variables de l'habitat retenues pour la mise au point de ces indices et leur application. De plus, il existe des incertitudes quant à la transférabilité dans de bonnes conditions de l'IQH obtenu pour une espèce dans un écosystème vers une autre population de cette même espèce localisée dans un autre écosystème similaire (Williams *et al.*, 1999).

Les méthodes de calculs et d'utilisation des IQH ont bien été développées et utilisées pour les fleuves et rivières (Brown *et al.*, 2000) et elles sont couramment utilisées en Amérique du Nord (Kliskey *et al.*, 1999). Par contre, les méthodes de calcul et d'utilisation

d'IQH ont été peu développées en estuaire (Soniati and Brody, 1988; Gibson, 1994). Dans le cas des esturgeons il existe très peu de courbes de préférence établies ou de modèles IQH (hormis le cas de l'esturgeon blanc *Acipenser transmontanus* (Parsley and Beckman, 1994)), principalement à cause de la méconnaissance des liens unissant ces espèces à leur habitat d'une part mais aussi à cause de la très diversité de ses habitats utilisés selon l'écophase considérée pour les espèces amphihalines migratrices comme l'esturgeon européen par exemple.

Dans le cas précis d'*A. sturio*, c'est principalement le manque de connaissances pertinentes et fiables à propos des caractéristiques plus ou moins précises des habitats préférentiels pour les différentes écophases (larve, alevin, juvénile, subadulte et adulte) de cette espèce qui n'a pas permis la mise en place d'un Indice de Qualité de l'Habitat par écophase. Cependant, les résultats obtenus au cours de cette étude sur la caractérisation des habitats préférentiels des juvéniles d'esturgeon européen dans l'estuaire de la Gironde sont un premier pas important dans la mise en place de cet indice pour le milieu estuarien qui pourrait éventuellement être exportable vers d'autres estuaires dans le cadre de travaux préliminaires à la réintroduction d'esturgeon européen. Les résultats obtenus lors du traitement statistique des données STURAT (Coefficient de corrélation de Kendall et ACM) donnent les éléments de connaissance nécessaires à l'établissement et au calcul d'un premier indice de qualité de l'habitat spécifique à l'écophase juvénile de l'esturgeon européen dans l'estuaire de la Gironde.

5.2.Méthode de calcul d'un IQH.

Il existe plusieurs façons de calculer un indice de qualité de l'habitat à partir des indices de qualité (IQ) pour les variables clés de l'environnement vis-à-vis de l'espèce ou de la population ciblée. Cependant, dans la plupart des cas c'est la méthode utilisant une moyenne géométrique (résultat d'une série de multiplications) qui est retenue plutôt que celle utilisant la moyenne arithmétique (résultat d'une série d'additions) car la première offre la possibilité de classer un habitat comme hostile (IQH = 0) dès que l'un des IQ est nul (Brown et al. 2000 ; Lauver et al. 2002). De plus, il ressort que la méthode utilisant la moyenne géométrique est une méthode robuste (Vadas and Orth, 2001). La forme générale de l'équation permettant de calculer un IQH pour les variables a, b, c et d est :

$$IQH = (IQ_a \times IQ_b \times IQ_c \times IQ_d)^{1/4}$$

Nos résultats nous ont permis de retenir 4 variables de l'environnement comme des éléments clés des habitats des juvéniles d'*A. sturio* dans l'estuaire de la Gironde. De plus il est ressorti que les différentes modalités de ces variables n'ont pas toutes le même effet (favorable ou défavorable) sur les esturgeons. De ce fait il est possible d'attribuer un coefficient (IQ) à chacune des modalités rencontrées pour chaque variable en fonction du nombre de captures d'esturgeon (Figures 25 à 29). Le coefficient calculé est compris entre 0 et 1 et est normalisé de façon à ce que la modalité pour laquelle le nombre de capture est le plus élevé (pour une variable donnée, le sédiment par exemple) correspond à la note maximale de qualité de l'habitat, à savoir 1. Les résultats obtenus sont fournis dans le Tableau 8.

Tableau 8 : Poids de chacune des modalités pour l'ensemble des quatre variables retenues comme étant les plus explicatives dans la description des habitats des esturgeons et coefficient appliqué à chacune des variables en fonction du nombre de captures d'*A. sturio*.

Nature des sédiments	Poids	Distance à la médiane	Poids
Schorre	0	Très faible	0,65

Slikke marine	0	Faible	1
Slikke estuarienne	0	Moyenne	0,63
Gravier	0	Forte	0,26
Gravier-sable	0,01		
Sable	0,08		
Sable-vase	0,01		
Vase	1		
Vitesse du courant	Poids	Faune	Poids
Nulle	0,19	Vide	0,02
Faible	0,64	Insecte	0
Moyenne	1	Crustace	0,07
Forte	0,67	Polychètes autres	0,37
		Polychètes tubicoles	1

La mise en application de cette méthode est réalisée sur l'ensemble de l'estuaire de la Gironde caractérisé par 1500 cellules réparties de façon aléatoire entre l'embouchure et le Bec d'Ambès (Figure 33 et Figure 34).

5.3. Résultats du calcul de l'IQH.

Dans un premier temps, la caractérisation de l'estuaire a été effectuée en ne prenant pas en compte la faune benthique (Figure 33) étant donné que nous n'avons pas une couverture spatiale complète de tout l'estuaire comme le montre la Figure 23.

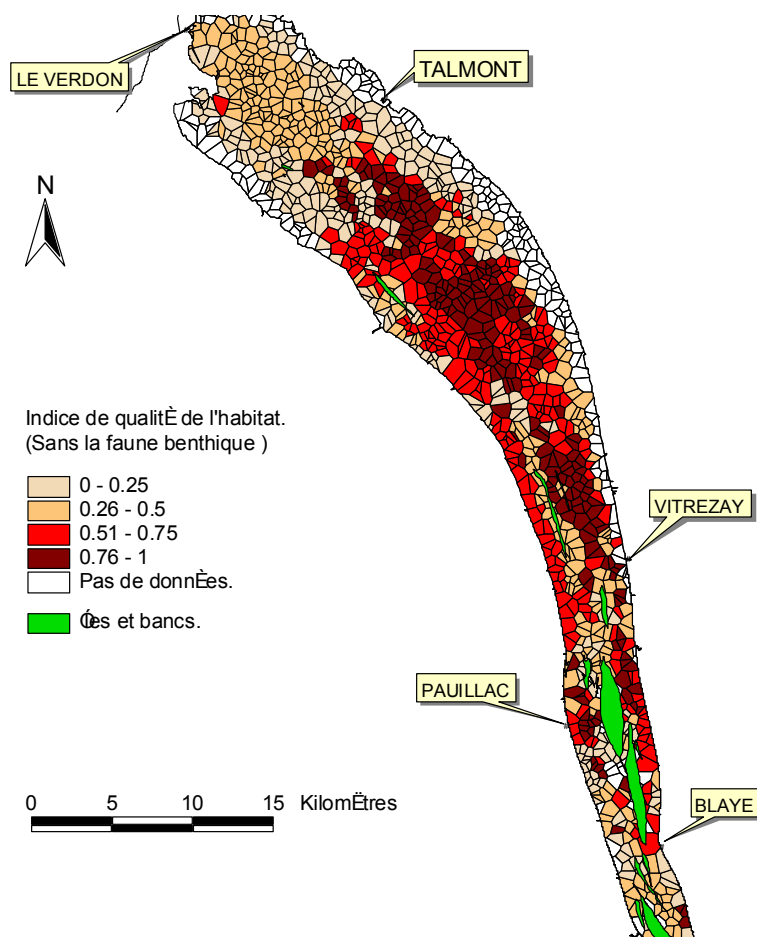


Figure 33 : Reclassification de l'ensemble de l'estuaire de la Gironde en 4 classes d'habitats en fonction de leur qualité (attrait) vis à vis des juvéniles d'esturgeon européen et de leurs exigences pour un ensemble de variables de l'environnement comprenant la nature des sédiments, la distance à la médiane de l'estuaire et la vitesse du courant.

La Figure 33 permet de constater que les habitats classés comme étant très favorables (indice entre 0,76 et 1) aux juvéniles d'esturgeon européen sont peu nombreux, localisés dans sa partie médiane et divisés en 3 blocs. On note aussi la présence d'un nombre important d'habitats jugés comme favorables (indice entre 0,51 et 0,76) tout le long de l'estuaire dans sa partie médiane avec aussi un bloc localisé rive gauche entre l'île de Patiras et le Banc de St Estèphe (Figure 33). On note également la présence d'habitats classés comme favorables à très favorables rive droite en amont de Blaye (Figure 33).

Une seconde simulation a ensuite été réalisée en prenant en compte la faune benthique afin de noter ce que cela apporte et voir si il y a des changements importants (Figure 34).

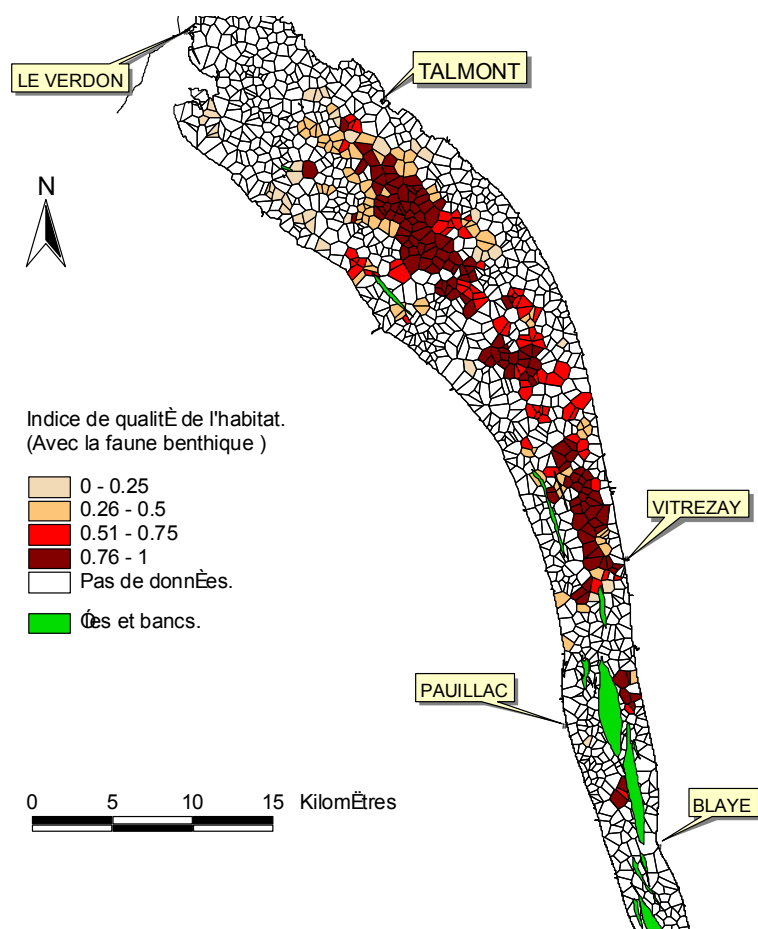


Figure 34 : Reclassification de l'ensemble de l'estuaire de la Gironde en 4 classes d'habitats en fonction de leur qualité (attrait) vis à vis des juvéniles d'esturgeon européen et de leurs exigences pour un ensemble de variables de l'environnement comprenant la nature des sédiments, la distance à la médiane de l'estuaire, la vitesse du courant et la nature de la faune benthique.

La Figure 34 montre tout d'abord qu'il existe deux zones importantes d'habitat classées comme très favorables et que celles-ci sont situées au même endroit quasiment que celles mises en évidence sur la Figure 33. On note aussi l'existence d'habitats favorables en quantité restreinte tout comme les zones d'habitats défavorables à hostiles (Figure 34).

5.4. Discussion des résultats obtenus avec la méthode IQH.

La comparaison entre les zones prévues comme étant très favorables aux esturgeons et le cœur d'activité obtenu pour les individus suivis par télémétrie (Figure 35) montre qu'il y a une assez bonne superposition entre les zones de concentration observées et les zones prédites pour ce qui est des habitats préférentiels situés en aval (Figure 35).

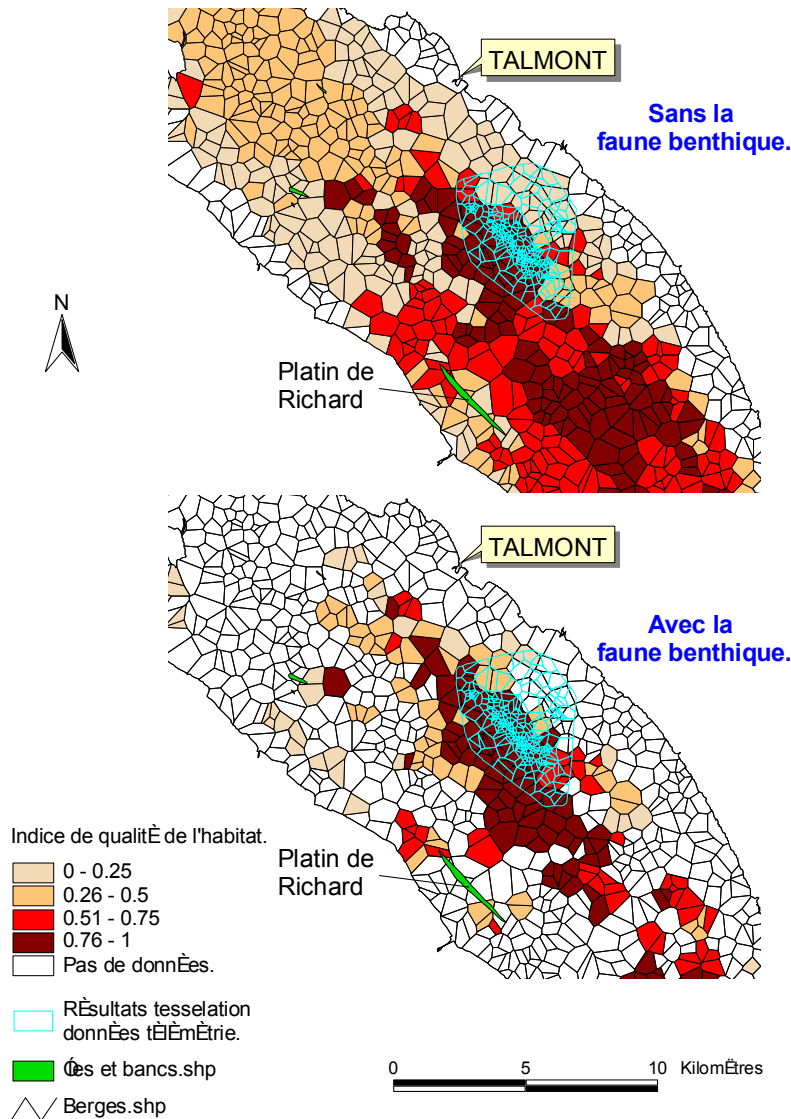


Figure 35 : Comparaison entre les résultats obtenus avec la méthode IQH pour la reclassification de l'estuaire de la Gironde (avec et sans la faune benthique) avec les résultats obtenus lors du suivi télémétrique des juvéniles d'*A. sturio* en 1999.

On note cependant que la correspondance n'est pas parfaite et que le cœur d'activité observé avec la télémétrie est excentré par rapport aux prévisions selon la méthode IQH (Figure 35). Il est difficile de donner une explication précise pour ce décalage. Il est possible que les écarts constatés soient liés d'une part à la méthode IQH elle-même car celle-ci n'utilise que les variables de l'environnement jugées les plus explicatives et de ce fait, certaines variables jugées secondaires, comme la profondeur par exemple dans notre cas, jouent un rôle non négligeable sur l'occupation de l'espace par les juvéniles d'esturgeon. Il est aussi envisageable de penser que parmi les quatre variables retenues, certaines ont un poids supérieur aux autres aux yeux des esturgeons et que le fait de ne pas inclure ce poids dans le calcul de l'IQH gomme cette influence, ce qui expliquerait les écarts constatés entre les prédictions selon le modèle IQH et les observations réellement effectuées avec la télémétrie. Par exemple, la comparaison simple entre la répartition de la faune benthique et les résultats de la télémétrie permet de voir que la majorité de la zone d'occupation délimitée par tessellation, et surtout la totalité du cœur d'activité, est située au dessus d'une zone de nurserie riche en polychètes

tubicoles. Il ne nous est pas possible de faire une telle comparaison pour les zones les plus en amont car nous n'avons pas de données de télémétrie pour ce secteur occupé essentiellement par des juvéniles de moins de 4 ans. Les zones laissées en blanc sur cette carte sont liées à un manque de données pour une ou plusieurs variables de cette zone, ce qui rend le calcul d'un indice impossible.

Dans le cas de l'utilisation de la nature de la faune benthique en plus des autres variables dans le calcul de l'indice de qualité de l'habitat (Figure 34) on note tout de suite une réduction du nombre d'habitats très favorables par rapport aux résultats obtenus sans cette variable (Figure 33). Cette forte réduction est liée principalement à deux éléments :

- le premier est le fruit d'une couverture très incomplète de l'estuaire pour la variable faune benthique, ce qui accroît considérablement le nombre de zones pour lesquelles il n'est pas possible de calculer un indice ;
- le second est que la variable faune benthique apporte une précision (finesse) ainsi que des restrictions (voir coefficients dans le Tableau 8) importante dans le calcul de l'indice et cela permet donc de restreindre fortement les zones jugées comme très favorables ($0.76 < IQH < 1$) en terme d'habitat aux juvéniles d'*A. sturio* ;

Toutefois, il ressort aussi que les zones d'habitat notées comme très favorables concordent bien avec les zones de concentrations médiane et aval des juvéniles d'esturgeon telles que délimitées par le traitement des données STURAT ainsi qu'avec les zones de concentrations telles que déterminées pour la partie aval avec les données de télémétrie (Taverny *et al.*, 2002). On note aussi par rapport à l'IQH obtenu sans utilisation de la faune benthique (Figure 33) que certaines zones notées comme très favorables deviennent seulement favorables et vice-versa.

La comparaison des résultats obtenus avec et sans prise en compte de la faune benthique dans le calcul de l'IQH tend à mettre en évidence l'importance des zones de nourricerie en rapport avec le régime alimentaire des juvéniles d'*A. sturio*, dans le choix et la délimitation des zones d'habitats essentiels de cette espèce en estuaire (en Gironde du moins). Cette constatation nous incite donc à dire qu'il est vraiment crucial de protéger fortement et efficacement ces zones de nourriceries si on veut dans un premier temps maintenir puis rétablir dans un second temps une population d'esturgeon européen viable et prospère.

6. Conclusions générales.

Les travaux réalisés au cours des dernières années ont permis l'acquisition de données et connaissances nouvelles et précieuses concernant l'écophase juvéniles de l'esturgeon européen dans l'estuaire de la Gironde. Ces connaissances ont aussi permis de progresser assez fortement dans notre compréhension des liens qui unissent les juvéniles d'*A. sturio* à leurs habitats dans l'estuaire de la Gironde. La compréhension de ces mécanismes ainsi que leur synthèse en un outil de prédiction (calcul de l'indice de qualité de l'habitat) est un premier élément important pouvant être utilisé dans deux cas :

- Le premier d'entre eux concerne la protection et la gestion à long terme des zones d'habitats essentiels des juvéniles d'*A. sturio* qu'il est absolument impératif de préserver "intacts" si on souhaite que les alevinages des prochaines années aient une chance de réussir et puissent à terme conduire à l'obtention d'une population d'esturgeon européen viable et autonome dans le bassin versant Garonne-Dordogne-Gironde.

- Le cas suivant concerne l'aspect réintroduction de l'esturgeon européen en France ainsi que dans d'autres pays européens, sachant que ce poisson était présent du sud de l'Espagne à la Scandinavie (**Erreur ! Source du renvoi introuvable.**). Il serait intéressant de pouvoir utiliser les connaissances obtenues au cours de nos travaux afin de caractériser rapidement (dans un premier temps) l'ensemble des bassins versants candidats à la réintroduction d'esturgeon européen et pouvoir rapidement faire le tri entre ceux qui sont propices à cette réintroduction (bonne qualité des milieux) de ceux présentant des problèmes. Par la suite il serait possible de faire des recommandations quant à la protection des zones d'habitats favorables voire la restauration de ces habitats dans certains cas. Ce classement rapide des bassins versant dans un premier temps permettrait de choisir rapidement les meilleurs candidats à une réintroduction.

Comme on peut le voir, les connaissances et le savoir faire acquis ces dernières années sont cruciaux dans le cadre de la restauration de l'esturgeon européen et on note que leurs applications sont assez larges. La première de ces applications, et la plus urgente, concerne la protection des zones d'habitat existant en Gironde vis-à-vis de perturbations directes que représentent les concessions d'extraction de granulats encore actives en rive droite entre Blaye et Vitrezay ainsi que les demandes d'autorisations pour l'obtentions d'autres concessions dans cette même zone. Une seconde application réalisable assez rapidement serait de tester le calcul d'IQH tel que nous l'avons obtenus dans le cadre du programme de réintroduction d'esturgeon noir, *Acipenser oxyrinchus* (espèce très proche de l'esturgeon européen selon (Magnin, 1962; 1964; Birstein *et al.*, 1997b), en Mer Baltique par une équipe allemande après qu'il ait été prouvé que cette espèce était présente (Ludwig *et al.*, 2002). Il serait donc très dommageable que tout ce travail n'aboutisse à rien à cause d'un manque de protection et de mobilisation pour la restauration de la dernière population d'*Acipenser sturio* en Europe.

6.1. Valorisation et porté à connaissances effectuée

- Une affiche (fournie en annexe) présentant des résultats partiellement issus de ce travail à été présentée en juillet 2001 à Toulouse lors du "Symposium for European Freshwater Sciences 2" : Brosse L., Taverny C. and Rochard E. Habitat characterisation trial for young European sturgeon, *Acipenser sturio*, in the Gironde estuary.
- Au cours de son stage au Québec, Laurent Brosse a notamment participé aux campagnes de chalutage au cours desquelles de nombreux esturgeons ont été capturés. Au cours de ces campagnes, la méthode mise au point pour effectuer des lavages gastriques pour l'esturgeon européen (Brosse *et al.*, 2002) a été appliquée à une vingtaine d'esturgeons (*Acipenser oxyrinchus* et *Acipenser fulvescens*) mesurant entre 60 cm et 2 m afin de connaître leur régime alimentaire en eau saumâtre. Ces connaissances viendront compléter celles acquises ces dernières années sur le régime alimentaire de cette espèce en eau douce (traitement des données par Frédéric Guilbard et Réjean Fortin).

6.2. Valorisation et porté à connaissances prévues

- A l'issue du stage au Québec, un rapport a été rédigé et une publication scientifique sur l'alimentation et l'habitat des esturgeons est envisagée, avec une mise en parallèle entre les travaux effectués et les résultats obtenus sur l'esturgeon européen dans la Gironde et sur l'esturgeon noir dans le Saint Laurent.

- Une publication portant sur les caractéristiques des habitats estuarien des juvéniles d'esturgeon européen dans l'estuaire de la Gironde ainsi que les risques et menaces pour ces habitats est prévue en 2003 après mise en forme, traitement et intégration des données acquises ces dernières années.
- La thèse de Laurent Brosse intégrant tous ces résultats devrait être soutenue au printemps 2003.

7. Références

- Allen, G. P. (1972). Etude des processus sédimentaires dans l'estuaire de la Gironde. Sciences Naturelles. Bordeaux, Université de Bordeaux I: 314.
- Bachelet, G. (1979). "Les peuplements macrobenthiques de l'estuaire de la Gironde: évolution annuelle des paramètres démographiques." *Journal de la Recherche Océanographique*. **4**(1): 3-13.
- Bachelet, G., J. M. Bouchet and P. Lissalde (1981). "Les peuplements benthiques dans l'estuaire de la Gironde: biomasse, productivité et évolution structurale." *Océanis* **6**(6): 593-620.
- Birstein, V. J., W. E. Bemis and J. R. Waldman (1995). The threatened status of acipenseriform fishes : a summary. *Sturgeon Biodiversity and Conservation*. V.J. Birstein, W.E. Bemis and J. R. Waldman. Dordrecht, Boston, London, Kluwer Academic Publishers: 427-435.
- Birstein, V. J. and W. E. Bemis (1997). "How many species are there within the genus *Acipenser*?" *Environmental Biology of Fishes* **48**(1-4): 157-163.
- Birstein, V. J., W. E. Bemis and J. R. Waldman (1997a). "The threatened status of acipenseriform species: A summary." *Environmental Biology of Fishes* **48**(1-4): 427-435.
- Birstein, V. J., R. Hanner and R. De Salle (1997b). Phylogeny of the Acipenseriformes: cytogenetic and molecular approaches. *Sturgeon Biodiversity and Conservation*. V.J. Birstein, J.R. Waldman and W. E. Bemis. Dordrecht, Netherlands., Kluwer Academic Publishing: 127-155.
- Bramblett, R. G. and R. G. White (2001). "Habitat use and movements of pallid and shovelnose sturgeon in the Yellowstone and Missouri rivers in Montana and North Dakota." *Transactions of the American Fisheries Society* **130**(6): 1006-1025.
- Brosse, L., M. Lepage and P. Dumont (2000a). "First results on the diet of the young european sturgeon, *Acipenser sturio* Linnaeus, 1758, in the Gironde estuary." *Boletín. Instituto Español de Oceanografía* **16**(1-4): 75-80.
- Brosse, L., E. Rochard, P. Dumont and M. Lepage (2000b). "Premiers résultats sur l'alimentation de l'esturgeon européen, *Acipenser sturio* Linnaeus, 1758 dans l'estuaire de la Gironde et comparaison avec la macrofaune estuarienne présente." *Cybium* **24**(3): 49-61.
- Brosse, L., P. Dumont, M. Lepage and E. Rochard (2002). "Evaluation of a gastric lavage method for sturgeons." *North American Journal of Fisheries Management* **22**(3): 955-960.
- Brown, S. K., K. R. Buja, S. H. Jury and M. E. Monaco (2000). "Habitat suitability index model for eight fish and invertebrate species in Casco and Sheepscot Bays, Maine." *North American Journal of Fisheries Management*. **20**(408-435).
- Buckley, J. and B. Kynard (1985). Habitat use and behavior of pre-spawning and spawning shortnose sturgeon, *Acipenser brevirostrum*, in the Connecticut River. in North American sturgeon : biology and aquaculture potential: 111-117.
- Castelnaud, G., E. Rochard, P. Jatteau and M. Lepage (1991). Données actuelles sur la biologie d'*Acipenser sturio* dans l'estuaire de la Gironde. *Acipenser*. P. Williot. Bordeaux, Cemagref Publication: 251-275.
- Elie, P. c. (1997). Rapport final Life Sturio. Bordeaux, Cemagref Bordeaux: 381.
- Gallagher, E. D., P. A. Jumars and D. D. Trueblood (1983). "Facilitation of soft-bottom benthic succession by tubebuilders." *Ecology* **64**: 1200-1216.
- Gibson, R. N. (1994). "Impact of Habitat Quality and Quantity on the Recruitment of Juvenile Flatfishes." *Netherlands Journal of Sea Research* **32**(2): 191-206.
- Girardin, M, Sautour, B, Brosse, L, Sorbe, J.C. and Rochard, E (2001). Etude de la faune présente sur les sites de dragage et d'immersion des déblais dragués dans l'estuaire de la Gironde. Bordeaux, Cemagref Groupement de Bordeaux, Université de Bordeaux I Laboratoire d'Océanographie Biologique, pour le port autonome de Bordeaux.: 53.
- Gouin, H. and D. Fournier (2000). Rapport d'opération : Suivi des communautés ichtyologiques au site de mise en dépôt de sédiments de dragage de l'île Madame en 1999. Québec, Société de la Faune et des Parcs du Québec, Direction du développement de la faune: 67.

- Haley, N., J. Boreman and M. Bain (1996). Juvenile Sturgeon Habitat Use in the Hudson River. *Final reports of the Tibor T. Polgar Fellowship Program, 1995. Section VIII*. J. R. Waldman, W. C. Nieder and E. A. Blair. New-York, Hudson River Foundation: 36.
- Hayward, P. J. and J. S. Ryland (1994a). The Marine Fauna of the British Isles and North-West Europe. Oxford, *Oxford Science Publication*. 627 pages.
- Hayward, P. J. and J. S. Ryland (1994b). The Marine Fauna of the British Isles and North-West Europe. Oxford, *Oxford Science Publication*. 368 pages.
- Hensel, K. and J. Holcik (1997). "Past and current status of sturgeons in the upper and middle Danube River." *Environmental Biology of Fishes* **48**(1-4): 185-200.
- Holcik, J., R. Kinzelbach, L. I. Sokolov and V. P. Vassilev (1989). *Acipenser sturio* Linnaeus, 1758. *The Freshwater Fishes of Europe*. J. Holcik. Wiesbaden, Aula Verlag. **Vol 1, Part II**: 367-394.
- Jego, S., C. Gazeau, P. Jatteau, P. Elie and E. Rochard (2002). "Les frayères potentielles de l'esturgeon européen *Acipenser sturio* L. 1758 dans le bassin Garonne-Dordogne. Méthodes d'investigation, état actuel et perspectives." *Bulletin Français de la Pêche et de la Pisciculture* **365-366**: 487-505.
- Kapsimalis, V., L. Massé and J.-P. Tastet (2000a). Changes in facies distribution in the Gironde Estuary (Bay of Biscay, SW France) over the last 30 years. *7th Colloque International d'Océanographie du Golfe de Gascogne*, Biarritz, (in press).
- Kapsimalis, V., J.-P. Tastet and L. Massé (2000b). Morphology of macrotidal estuaries: the example of the Gironde (SW France). *6th Hellenic Symposium of Oceanography and Fishery*, Chios, (1), 523 - 527.
- Kapsimalis, V., J.-P. Tastet and L. Massé (2000c). Modern sedimentology of macrotidal estuaries: the example of the Gironde (SW France). *6th Hellenic Symposium of Oceanography and Fishery*, Chios, (1), 528 - 532.
- Kieffer, M. C. and B. Kynard (1993). "Annual movements of shortnose and Atlantic sturgeons in the Merrimack river, Massachusetts." *Transactions of the American Fisheries Society* **122**: 1088-1103.
- Kliskey, A. D., E. C. Lofroth, W. A. Thompson, S. Brown and H. Schreier (1999). "Simulating and evaluating alternative resource-use strategies using GIS-based habitat suitability indices." *Landscape and Urban Planning* **45**(4): 163-175.
- Knights, B. C., J. M. Vallazza, S. J. Zigler and M. R. Dewey (2002). "Habitat and movement of lake sturgeon in the upper Mississippi River system, USA." *Transactions of the American Fisheries Society* **131**(3): 507-522.
- Kynard, B. (1997). "Life history, latitudinal patterns, and status of the shortnose sturgeon, *Acipenser brevirostrum*." *Environmental Biology of Fishes* **48**(1-4): 319-334.
- Kynard, B., M. Horgan, M. Kieffer and D. Seibel (2000). "Habitats used by shortnose sturgeon in two Massachusetts rivers, with notes on estuarine Atlantic sturgeon: A hierarchical approach." *Transactions of the American Fisheries Society* **129**(2): 487-503.
- Langton, R. W., R. S. Steneck, V. Gotceitas, F. Juanes and P. Lawton (1996). "The interface between fisheries research and habit management." *North American Journal of Fisheries Management* **16**(1): 1-7.
- Lepage, M. and E. Rochard (1995). "Threatened fishes of the world: *Acipenser sturio* Linnaeus, 1758 (*Acipenseridae*)." *Environmental Biology of Fishes* **43**: 28.
- Ludwig, A., L. Debus, D. Lieckfeldt, I. Wirgin, N. Benecke, I. Jenneckens, P. Williot, J. R. Waldman and C. Pitra (2002). "When the American sea sturgeon swam east - A colder Baltic Sea greeted this fish from across the Atlantic Ocean in the Middle Ages." *Nature* **419**(6906): 447-448.
- Magnin, E. (1962). "Recherches sur la systématique et la biologie des *Acipenseridae*." *Annales de la Station Centrale d'Hydrobiologie Appliquée* **9**: 7-242.
- Magnin, E. (1964). "Validité d'une distinction spécifique entre les deux *Acipenseridae* : *Acipenser sturio* L et *Acipenser oxyrinchus* d'Amérique du Nord." *Ministère de l'Industrie et du Commerce du Québec. Travaux sur les pêcheries du Québec* **XCI**(1): 1-20.
- Parsley, M. J. and L. G. Beckman (1994). "White sturgeon spawning and rearing habitat in the lower Columbia river." *North American Journal of Fisheries Management* **14**: 812-827.
- Quist, M. C., J. S. Tillma, M. N. Burlingame and C. S. Guy (1999). "Overwinter habitat use of shovelnose sturgeon in the Kansas River." *Transactions of the American Fisheries Society* **128**(3): 522-527.
- Rhoads, D. C. and L. F. Boyer (1982). The effects of marine benthos on physical properties of sediments: a successional perspective. *Animal - sediment relations*. P. I. McCall and M. J. S. Tevesz. New-York, Plenum Publishing: 3-52.
- Rochard, E., G. Castelnaud and M. Lepage (1990). "Sturgeon (*Pisces*: *Acipenseridae*); threats and prospects." *Journal of Fish Biology* **37**(Suppl. A): 123-132.
- Rochard, E., P. Williot, G. Castelnaud and M. Lepage (1991). Eléments de systématique et de biologie des populations sauvages d'esturgeons. *Premier colloque international sur l'esturgeon*, Bordeaux, CEMAGREF, Antony., 475-507.

- Rochard, E., M. Lepage and L. Meauze (1997). "Identification and characterisation of the marine distribution of the European sturgeon *Acipenser sturio*." *Aquatic Living Resources* **10**(2): 101-109.
- Rochard, E., M. Lepage, P. Dumont, S. Tremblay and C. Gazeau (2001). "Downstream migration of juvenile European sturgeon *Acipenser sturio* L. in the Gironde estuary." *Estuaries* **24**(1): 108-115.
- Ruban, G. I. (1997). "Species structure, contemporary distribution and status of the Siberian sturgeon, *Acipenser baerii*." *Environmental Biology of Fishes* **48**(1-4): 221-230.
- Rubec, P. J., M. S. Coyne, R. H. McMichael and M. E. Monaco (1998). "Spatial methods being developed in Florida to determine essential fish habitat." *Fisheries* **23**(7): 21-25.
- Rusak, J. A. and T. Mosindy (1997). "Seasonal movements of lake sturgeon in Lake of the Woods and the Rainy River, Ontario." *Canadian Journal of Zoology-Revue Canadienne De Zoologie* **75**(3): 383-395.
- Scherrer, B. (1984). Biostatistique. Montréal, *Gaëtan Morin*. 850 pages.
- Seaman, D. E. and R. A. Powell (1996). "An evaluation of the accuracy of kernel density estimators for home range analysis." *Ecology* **77**(7): 2075-2085.
- Seaman, D. E., J. J. Millsbaugh, B. J. Kernohan, G. C. Brundige, K. J. Raedeke and R. A. Gitzen (1999). "Effects of sample size on kernel home range estimates." *Journal of Wildlife Management* **63**(2): 739-747.
- Smith, T. I. J. and J. P. Clugston (1997). "Status and management of Atlantic sturgeon, *Acipenser oxyrinchus*, in North America." *Environmental Biology of Fishes* **48**(1-4): 335-346.
- Soniat, T. M. and M. S. Brody (1988). "Field validation of a habitat suitability index model for the American otter." *Estuaries* **11**: 87-95.
- Sottolichio, A. (1999). Modélisation de la dynamique des structures turbides (bouchon vaseux et crème de vase) dans l'estuaire de la Gironde, Université de Bordeaux I: 184.
- Taulman, J. F. and D. E. Seaman (2000). "Assessing Southern Flying Squirrel, *Glaucomys volans*, habitat selection with kernel home range estimation and GIS." *Canadian Field-Naturalist* **114**(4): 591-600.
- Taverny, C., M. Lepage, S. Piefort, P. Dumont and E. Rochard (2002). "Habitat selection by juvenile European sturgeon *Acipenser sturio* in the Gironde estuary (France)." *Journal of Applied Ichthyology* **18**((4-6)): 536-541.
- Trouvery, M., P. Williot and G. Castelnaud (1984). Biologie et écologie d'*Acipenser sturio*. Etude de la pêche. Bordeaux, Cemagref de Bordeaux, Division. ALA/Agedra: 79.
- Vadas, R. L. and D. J. Orth (2001). "Formulation of habitat suitability models for stream fish guilds: Do the standard methods work?" *Transactions of the American Fisheries Society* **130**(2): 217-235.
- Williams, J. G., T. P. Speed and W. F. Forrest (1999). "Comment : Transferability of habitat suitability criteria." *North American Journal of Fisheries Management* **19**: 623-625.
- Worton, B. J. (1987). "A review of models of home range for animal movement." *Ecological modelling* **38**: 277-298.

8. Remerciements.

Un grand merci à, Laure Grand'Moursel, Michel Girardin, Jean-François Bigot et Bernard Ballion pour leur aide précieuse au cours des campagnes de terrain et de traitement des échantillons. Merci aussi à Daniel Uny pour tout le travail effectué au cours de la numérisation de la carte de l'estuaire de la Gironde ainsi qu'à Patrick Lambert pour son aide à propos du modèle SAM2D et des données qu'il a fourni. Merci en fin aux autres membres de l'unité RAC DU Cemagref de Bordeaux ainsi qu'aux membres de l'université de Bordeaux I pour leur aide.

9. Collaborations.

Ont collaboré à la réalisation de ce travail :

- Daniel Uny, unité ADER, Cemagref Bordeaux ;
- Patrick Lambert, Unité RAC, cemagref Bordeaux ;
- Laurent Massé et Aldo Sottolichio, laboratoire DGO, Université Bordeaux I ;
- Guy Bachelet, LOB, station marine d'Arcachon, Université Bordeaux I ;