
Mémoire présenté pour l'obtention de l'Habilitation à Diriger des Recherches

Spécialité : Biologie de l'Environnement

Impact des facteurs anthropiques et naturels sur le fonctionnement de quelques populations halieutiques

*Nécessité d'une approche écosystémique pour une gestion intégrée de
ces ressources halieutiques.*

Patrick Prouzet

IFREMER, Centre de Nantes
Laboratoire Ressources Halieutiques d'Aquitaine
Technopole IZARBEL
64210 Bidart

Soutenance le 8 décembre 2006 devant le jury composé de :

M. Bœuf Gilles, Professeur, Université de Paris VI
M. Caumette Pierre, Professeur, Université de Pau et des Pays de l'Adour
M. Feunteun Eric, Professeur, Université de La Rochelle
M. Gros Philippe, HDR, Directeur de thème IFREMER, Centre de Brest
M. Mouchès Claude, Professeur, Université de Pau et des Pays de l'Adour

UNIVERSITE DE PAU ET DES PAYS DE L'ADOUR

Sommaire

RESUME	4
CURRICULUM VITAE	8
PREAMBULE	10
COMPRENDRE	14
L'ECOSYSTEME : QUELLE DEFINITION ?	14
UNE THEMATIQUE DE REFERENCE : LA BIOLOGIE DES POPULATIONS	14
UN CADRE CONCEPTUEL ELARGI A L'ENSEMBLE DES CONTRAINTES NATURELLES ET ANTHROPIQUES.	15
UNE DISCIPLINE DE REFERENCE : LA DYNAMIQUE DES POPULATIONS.....	16
EVOCATION DES PRINCIPALES LOIS FONDAMENTALES QUI REGISSENT L'ABONDANCE DES POPULATIONS ICHTYOLOGIQUES EXPLOITEES.	16
NOTION DE CAPACITE D'ACCUEIL D'UN MILIEU OU DE CAPACITE BIOGENIQUE.	22
LE SAUMON ATLANTIQUE ET L'ANCHOIS COMMUN : STRATEGES DE TYPE K ET DE TYPE R- : QUELLES CONSEQUENCES POUR LEURS GESTIONS ?.....	26
STOCHASTICITE ET PREVISION CHEZ UN STRATEGUE DE TYPE K : LE SAUMON ATLANTIQUE ET UN STRATEGUE DE TYPE R : L'ANCHOIS COMMUN.	43
PREVISION DE L'ABONDANCE : MYTHE OU REALITE ?.....	50
LA GESTION DE LA POPULATION D'ANGUILLE : LA NECESSITE D'UNE APPROCHE ECOSYSTEMIQUE	54
UTILISATION D'UN MODELE COMPOSITE POUR L'ESTIMATION DE L'ABONDANCE D'UN FLUX DE CIVELLES EN ESTUAIRE.	65
CONCLUSIONS ET PERSPECTIVES	69
IDENTIFICATION DU MICROCOSME ET DE SON AUTONOMIE.	69
LE GROUPEMENT DE RECHERCHE IFREMER ADOUR	70
LE PROGRAMME DEMOSTEM : UNE CONTRIBUTION A L'APPROCHE ECOSYSTEMIQUE DES PECHES.....	72
LISTE DES FIGURES ET TABLEAUX	77
LISTE DES TRAVAUX SCIENTIFIQUES EFFECTUES	79
ARTICLES DANS REVUES SCIENTIFIQUES A COMITE DE LECTURE	79
OUVRAGES ET ARTICLES DANS OUVRAGES	80
COMMUNICATIONS DANS COLLOQUES OU SEMINAIRES	81
ARTICLES DANS DES REVUES DE VULGARISATION	85
RAPPORTS SCIENTIFIQUES ET TECHNIQUES, DE CONTRATS ET D'EXPERTISES.....	85
MEMOIRES DE DIPLOMES	87
COORDINATION DE LA RECHERCHE ET DE PROGRAMMES EUROPEENS	88
PROGRAMMES EUROPEENS : DG XIV – INTERREGIIC ET INTERREGIIB (ANCHOIS, ANGUILE, THON ROUGE, INDICANG).	88
GDR ADOUR (GROUPEMENT DE RECHERCHE IFREMER)	90
PRINCIPALES COOPERATIONS SCIENTIFIQUES DU LABORATOIRE HALIEUTIQUE D'AQUITAINE....	93
FORMATION A LA RECHERCHE : ENCADREMENT, ENSEIGNEMENT	96
ENCADREMENT DE THESES.....	96
ENCADREMENTS DE MEMOIRES DE DEA	97

ENCADREMENTS DE MEMOIRES DE DESS.....	97
ENCADREMENTS DE MEMOIRES D'ELEVES INGENIEURS.....	98
ENSEIGNEMENT SUPERIEUR.....	99
VULGARISATION SCIENTIFIQUE ET TRANSFERT VERS LES UTILISATEURS.....	100
EXPERTISES.....	100
CONTRATS D'ETUDES.....	101
ORGANISATIONS DE COLLOQUES OU D'ASSISES DE LA PECHE; EDITION D'OUVRAGES DE VULGARISATION SCIENTIFIQUE.....	101
PARTICIPATION A DES CHAPITRES D'OUVRAGES SCIENTIFIQUES OU DE VULGARISATION SCIENTIFIQUE.....	102
AVIS.....	102
EXEMPLE DU VOLUME ET DE LA NATURE DES AVIS ELABORES DURANT LA PERIODE 2001-2003.	102
REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES COMPLEMENTAIRES.....	105
ANNEXES : EXEMPLE DE DEVELOPPEMENT DE MODELES SOUS MATHCAD ©.....	111
ANNEXE 1 : MODELE STOCHASTIQUE DU CYCLE BIOLOGIQUE DU SAUMON ATLANTIQUE ET VISUALISATION DE SA RELATION STOCK – RECRUTEMENT.....	111
ANNEXE 2 : ESTIMATION DE LA BIOMASSE SAISONNIERE DES FLUX DE CIVELLES A PARTIR D'UN MODELE COMPOSITE ET D'UNE METHODE DE RE-ECHANTILLONNAGE (BOOTSTRAP).....	135

Résumé

Chercheur depuis 1974 au CNEXO (Centre National pour l'Exploration des Océans), puis à l'IFREMER (Institut Français pour l'Exploitation de la Mer), j'ai mené parallèlement aux travaux de recherche sur la dynamique des populations ichtyologiques exploitées, des actions de valorisation et de transfert des connaissances pour aider les gestionnaires et les parties prenantes à administrer ces ressources et à les restaurer si nécessaire.

Cette activité m'a conduit à exercer une double démarche : celle de l'expert à qui l'on demande d'établir « un jugement de vérité » sur un sujet donné ou en fonction d'une question déterminée et celle du scientifique confronté au jugement de ses pairs qui cherche à ne pas transgresser ses savoirs (c'est à dire ceux qui sont soumis à la critique de la communauté scientifique).

Ce changement de statut n'est pas évident pour la personne experte - c'est à dire « versé dans la connaissance des choses par la pratique » - et ne peut se concevoir que si la fonction d'expert n'est pas pérenne. Dans ce cas, l'expert réintègrera son champ disciplinaire pour asseoir sa crédibilité en tant que personne experte. C'est en partie ce va-et-vient qui caractérise la forme de mon activité.

Sur le fond, ma démarche peut être assimilée à ce que l'on nomme actuellement « approche écosystémique¹ pour l'aménagement des pêcheries ». Celle-ci m'a conduit à animer un programme de l'IFREMER appelé : « Démarche Ecosystémique pour la gestion intégrée des ressources halieutiques² » au sein du thème 4 de l'IFREMER : « Ressources Halieutiques, Exploitation Durable et Valorisation ».

Ma thématique scientifique s'identifie à la Biologie (Ecologie) des Populations qui recouvre l'ensemble des investigations concernées par les structures et les processus qui gouvernent l'adaptation d'une population à un milieu donné³ soumis à des variations naturelles (évolution du climat par exemple) ou anthropiques (liées à l'action de l'Homme sur les biocénoses et les biotopes).

La Dynamique des Populations constitue ma discipline de référence et la mise en pratique de l'Écologie quantitative m'a permis d'étudier quelques facteurs qui déterminent l'équilibre instable de 3 stocks ou populations ichtyologiques caractérisés par des cycles biologiques rapides ou lents et par des mécanismes de régulation de leurs cinétiques démographiques très différents : l'anchois commun (*Engraulis encrasicolus*), le saumon atlantique (*Salmo salar*) et l'anguille européenne (*Anguilla anguilla*).

Le recours au modèle en tant que « sondes conceptuelles que l'on plonge dans la réalité » est largement utilisé pour mieux synthétiser l'effet de facteurs anthropiques et naturels sur la capacité biogénique des habitats colonisés ou bien sur l'évolution démographique des populations elles-mêmes.

¹ méthodologie qui cherche à étudier le contexte qui caractérise un système déterminé plutôt que sa structure. Cette approche déjà implicite dans la théorie Darwinienne explique que, parmi toutes les occurrences possibles, seule une réponse appropriée aux contraintes de l'environnement a les meilleures chances de survivre, de se développer et de se reproduire.

En fait, il ne s'agit plus de savoir « pourquoi quelque chose s'est produit », mais de savoir quelles contraintes ont fait que « n'importe quoi ne se soit pas produit ».

Ainsi, le système n'évolue pas de manière aléatoire, mais suivant des lignes directrices qui permettent son adaptation à l'évolution du contexte qui le contraint.

² Acronyme DEMOSTEM

³ Pris au sens de Darwin, c'est à dire de la « fitness » qui se mesure par la capacité de réplication des gènes à travers les générations.

A partir de 2 équations simples établies d'une part par Lotka-Volterra et d'autre part par Verhulst-Pearl, les paramètres r et K sont introduits. Le premier définit le taux intrinsèque de croissance de la population, le second la capacité biogénique de l'habitat occupé par celle-ci. Cela permet d'introduire *in fine* la notion de *stratège de type r* et celle de *type K* . Dans le premier des cas, la population gère son taux de croissance, dans le second des cas, la population régule son abondance en fonction des capacités trophiques de l'environnement qu'elle colonise.

Cette distinction a certes le mérite de la simplicité⁴, mais ne rend pas compte de la complexité des stratégies démographiques qu'une population donnée met en jeu au cours de son cycle biologique⁵. C'est pour cette raison qu'à partir de cette classification simple entre lesquelles les espèces ou les stades biologiques d'une espèce déterminée se positionnent, la modélisation du cycle de vie ou de certains des stades biologiques des espèces modèles choisies est développée.

Pour illustrer certains des mécanismes de régulation impliqués et leurs modulations sous l'effet de différents facteurs naturels et anthropiques, une première comparaison est effectuée entre le saumon atlantique défini comme un stratège de type K et l'anchois considéré comme un stratège de type r .

Pour le premier, sa stratégie démographique lui permet d'ajuster l'abondance de sa population de juvéniles à l'importance de la surface de production disponible et non à l'abondance des géniteurs. D'où le lien qui existe entre la taille du stock de géniteurs et la grandeur des zones de production en juvéniles. Par contre la productivité de la population (exprimée en nombre de recrues par géniteur) n'a rien à voir avec la grandeur des zones de production, mais est fortement dépendante de la qualité de ces zones. Le développement d'un modèle stochastique permet de prévoir à partir de divers scénarios d'aménagement du milieu et de régulation de l'exploitation le devenir d'une population de saumons. Les résultats obtenus montrent les effets limités d'un seul contrôle de la pêche lorsque les habitats continentaux de production de cette espèce ont été dégradés.

Pour le second type, à fécondité élevée, la stratégie consiste à disperser les œufs et larves dans un large espace dont les caractéristiques environnementales sont imprévisibles. Si chez le stratège de type K , comme le saumon atlantique, ceux sont les géniteurs qui prospectent avec soin le milieu de production initial, chez les stratèges de type r comme l'anchois, ceux sont les larves qui constituent le premier niveau d'échantillonnage de l'environnement. Pour ce stratège, l'échantillonnage semble aléatoire ou tout au moins synchronisé par des facteurs environnementaux non prévisibles, alors que pour le premier, il est déterminé et conditionné par le phénomène du « homing ».

Les conséquences sur la stochasticité et la prévision de l'abondance de ces populations à cycle court sont analysées. De l'analyse effectuée, il ressort une différence profonde de la variabilité de la « fertilité » du milieu de production pour les 2 espèces.

Le saumon atlantique a privilégié une stratégie de reproduction caractérisée par un enfouissement des œufs dans des endroits précis aux caractéristiques physiques que la femelle recherche pour déposer sa ponte. Ces habitats sont immuables dans le temps et dans l'espace et permettent aux larves d'éclore dans un milieu protégé et de bénéficier d'un environnement où la nourriture est apportée par la dérive des organismes de l'amont vers l'aval. La régulation de l'abondance est faite ensuite par le biais de compétitions intra et interspécifiques pour l'acquisition de territoires.

L'anchois a privilégié une stratégie de reproduction par éparpillement de ses œufs et de ses larves. Ceux-ci échantillonnent un milieu d'autant plus vaste que la biomasse reproductrice est importante. A l'intérieur de cette zone de reproduction, les habitats favorables ne sont

⁴ Sachant que les 2 paramètres r et K n'ont pas la même complexité. Le premier est un paramètre de population pur : facteur de multiplication simple, tandis que le second est un paramètre plus composite : population-environnement-interaction.

⁵ Il existe en effet un continuum entre les stratèges dits de type r et de type K et la place d'une espèce y est toujours relative.

pas immuables dans le temps et dans l'espace et sont dépendants pour leurs tailles et leurs nombres de conditions essentiellement climatiques intervenant durant la période estivale et automnale.

La question de la prévision de l'abondance : mythe ou réalité ? est en définitive posée pour les espèces à cycle court. Elle reste possible pour des stratégies de type *K* ou tout au moins pour des stades biologiques régulés suivant un mode de type *K* (« gestion de l'asymptote ou de l'optimum »). Elle est beaucoup plus aléatoire, voire difficilement envisageable pour des stratégies de type *r* pour lesquels il est difficile de trouver des descripteurs appropriés pour caractériser le recrutement.

L'étude de la troisième espèce : *Anguilla anguilla* permet de montrer la nécessité d'une mise en œuvre d'une approche écosystémique pour restaurer une population actuellement en forte régression dans la majorité des habitats continentaux qu'elle fréquente.

Espèce panmictique se reproduisant en mer des Sargasses, ses larves dites « leptocéphales » sont disséminées par le biais de la circulation océanique vers les bassins versants situés entre la Mauritanie et le Cercle Polaire.

La structure arborescente de la population⁶ permet de comprendre que la restauration de cette population ne peut se concevoir que par la prise en compte d'unités géographiques constituées par les bassins versants à une échelle au moins régionale : Méditerranée, golfe de Gascogne, Baltique,...

L'analyse des facteurs naturels et anthropiques agissant sur la productivité du stock montre que la restauration de cette ressource et de ses habitats nécessite un cadre partenarial pour définir un contexte constitué de réalités différentes : biologiques, économiques, sociales et culturelles et perçues sous des angles différents qui font que la réalité des uns n'est pas forcément celle des autres.

C'est la prise en compte de ce contexte qui a abouti à la proposition d'un projet de transfert et de valorisation des connaissances ainsi que des savoir-faire sur cette espèce dans le cadre du programme INTERREGIIB-Espace Atlantique. Ce projet dont l'acronyme est INDICANG a pour objectif de mettre en place un réseau de partenariats afin d'adapter et mettre à disposition des gestionnaires un ensemble d'indicateurs de colonisation et d'abondance de l'anguille européenne dans la partie centrale de son aire de répartition.

La conclusion de ce mémoire repose le problème de l'hétéronomie du champ disciplinaire que constitue la « recherche en environnement ». Elle évoque la difficulté de concilier hétéronomie et autonomie dans un cadre de recherche interdisciplinaire qui a pour objectif de contribuer au développement durable, c'est-à-dire à la mise en œuvre d'une « négociation plus écologique pour une conservation plus humaine afin d'éviter qu'un consensus s'établisse sur le dos de la Nature ou que certaines pratiques de stricte conservation entraînent des conflits sociaux ».

L'Halieutique ou plus précisément, pour ce qui me concerne, la Biologie des Pêches est un champ disciplinaire non seulement hétéronome, mais aussi une discipline qui permet de faire cohabiter « le moment de l'invention » et « le moment de l'innovation ». Cela renvoie au problème de la communication entre acteurs scientifiques et acteurs économiques.

Dans ce contexte, le programme DEMOSTEM que j'anime au nom de l'IFREMER, a pour objectif de développer des travaux de recherche et de valorisation dans 4 axes de recherche prioritaires :

⁶ On peut schématiser sa répartition et son fonctionnement par l'image d'un arbre dont les racines formées par les reproducteurs sont en mer des Sargasses, dont le tronc serait le Gulf Stream véhiculant la sève constituée par les leptocéphales jusqu'aux différentes branches de la circulation de l'Atlantique Nord Est qui apportent dans les différentes zones géographiques : Méditerranée, golfe de Gascogne, mer du Nord, Baltique,...les civelles qui colonisent les bassins versants que l'on peut assimiler aux feuilles.

1. Anticiper le renouvellement de la gouvernance du système pêche : étudier les modalités futures de la régulation de l'accès aux ressources et de la maîtrise de la capacité de capture des flottilles, conditions nécessaires à la mise en application et recommandations pour une gestion durable ;
2. Caractériser les impacts de la pêche et des autres contraintes anthropiques sur la biodiversité, mettre au point et proposer des moyens de réduction des altérations des ressources et des écosystèmes ;
3. Comprendre l'influence des forçages climatiques sur la dynamique des populations et des écosystèmes dans le but de reculer « l'horizon de prévisibilité » de la variabilité (spatiale, quantitative, qualitative,...) des ressources ;
4. Maximiser la richesse créée par la valorisation de la biomasse pêchée.

Les objectifs ainsi définis montrent que le programme DEMOSTEM s'inscrit dans une vision de l'Approche écosystémique voisine de celle adoptée par la FAO en élargissant cependant les travaux à l'impact de l'ensemble des usages et pas seulement de la pêche.

Pour satisfaire aux exigences de l'invention (acquisition des connaissances) et de l'innovation (aides à la décision), la structure préconisée pour ce programme est celle d'une démarche à la fois prospective et synthétique.

Pour atteindre les objectifs énoncés, trois challenges sont à relever :

1. La prise en compte de l'ensemble des usages qui exercent des « dépenses de nature » ne peut être ignorée dès lors que l'on se rapproche des écosystèmes littoraux et estuariens. Cela complique très sérieusement le système étudié et rend « l'horizon de prévisibilité » plus incertain et lointain ;
2. Cette complexité du système nécessite une intégration très forte de compétences et de métiers divers. La prise en compte de la génétique de population et plus largement de l'écologie moléculaire pour l'étude de la réversibilité des changements observés ajoute à la difficulté de la mise en place de cette démarche intégrative ;
3. La mise en place des expérimentations nécessaires portant sur de nouveaux modes de régulations (création d'aires marines protégées par exemple) nécessite l'assentiment des décideurs et impose la mise en place d'un partenariat différent entre scientifiques et utilisateurs de nos recherches. Il entraîne de la part des scientifiques un effort de mise à disposition d'outils adaptés à la gestion par anticipation (série d'indicateurs écosystémiques, construction de tableaux de bord adaptés aux besoins exprimés par les gestionnaires) et non par réaction (cadre actuel de la gestion rejetée par l'ensemble des acteurs).

Curriculum vitae

Nom :	Patrick Prouzet
Date de naissance :	25 janvier 1950 à Lorient
Nationalité :	Française
Situation familiale :	marié – deux enfants
Adresse professionnelle :	IFREMER – Laboratoire Halieutique d'Aquitaine Technopole IZARBEL Maison du Parc 64210 – Bidart tel : 05.59.41.53.98 fax : 05.59.41.53.59
	e-mail : patrick.prouzet@ifremer.fr

Cursus scolaire

1964 – 1968 : Etudes secondaires, Lycée Dupuy de Lôme , Lorient – Baccalauréat (série D)

1968-1969 : Classe de MathSup-Bio – Lycée François 1^{er} , Fontainebleau

Etudes Universitaires

1970 – 1972 : DEUG Biologie – Université de Bretagne Occidentale (Brest) - AB

1972 - 1973 : Certificat de Zoologie – Université de Bretagne Occidentale (Brest) – AB

1973 – 1974 : Certificat d'Embryologie et de Physiologie animale – Université des Sciences de Nantes – B et B

1974 – 1975 : Certificat d'Océanographie Générale – Université de Bretagne Occidentale (Brest) – TB

1975 – 1976 : DEA d'Océanographie Biologique – Université de Bretagne Occidentale (Brest) – B

1976 – 1979 : Doctorat en Océanographie Biologique – Université de Bretagne Occidentale (Brest) – THF

Evolution professionnelle et activités

01/09/72 au 31/07/73 : Maître auxiliaire en Collège d'enseignement secondaire

01/01/74 au 01/01/75 : Assistant de recherche contractuel à l'association Eau et rivières de Bretagne – affectation au CNEXO.

1975 – 1976 : Service National à l'EPSHOM (Etablissement Principal du Service Hydrographique et Océanographique de la Marine).

1976 – 1984 : Cadre de recherche (niveau 1) en biologie au CNEXO puis à l'IFREMER – service de l'URDA. Thèmes de recherche : dynamique de population des salmonidés migrateurs, gestion des stocks et repeuplement.

1984 – 1986 : Cadre de recherche (niveau 1) en biologie à l'IFREMER – Station aquaculture – pêche. Centre Océanologique de Brest. Département Biologie-Aquaculture-Pêche. Thèmes de recherche : dynamique des populations de salmonidés migrateurs, modélisation stochastique et utilisation de l'analyse de forme pour la discrimination de stocks. Mise en place du programme de *pacage marin* de l'IFREMER.

1987 – 2000 : Cadre de recherche (niveau 2) en biologie à l'IFREMER. Mutation à la Station d'hydrobiologie de l'INRA à St-Pée sur Nivelle. Développement du programme d'étude sur les pêcheries et les populations de migrateurs amphihalins de l'estuaire de l'Adour. Développement du programme sur le suivi et la dynamique de la population d'anchois du golfe de Gascogne en liaison avec l'AZTI et l'IEO (Espagne). Création du Laboratoire Halieutique d'Aquitaine. Coordination et participation à des programmes de recherches européens sur l'anchois.

2000- 2004 : Cadre de recherche (niveau 2) en biologie à l'IFREMER. Responsable du Laboratoire Halieutique d'Aquitaine. Développement d'un programme de recherche européen sur l'anguille dans un cadre pluridisciplinaire en liaison avec l'UPPA, l'Université Pierre Mendès-France de Grenoble, l'EPHE- Laboratoire d'Ichtyologie de Perpignan, l'ENSA Toulouse, le CSP et le CEMAGREF. Coordination scientifique de deux programmes d'application des connaissances et de transfert des savoirs sur les poissons amphihalins (programme amphihalins Adour : applications saumon atlantique et anguille et programme européen – INDICANG : application anguille). Participation en liaison avec l'UPPA à la création du GDR IFREMER- Adour sur l'anthropisation des écosystèmes estuariens et côtiers de l'Adour et de la côte basco-landaise et coordination du GDR à la demande de l'IFREMER et de l'UPPA.

2005 : Responsable du programme « DEMOSTEM » : Démarche Ecosystémique pour une gestion intégrée des ressources halieutiques.

2006 : Cadre de troisième catégorie à l'IFREMER

Préambule

Mon parcours scientifique effectué depuis mon entrée au CNEXO en 1974 peut apparaître éloigné des canons d'une carrière scientifique qui veut que l'on ne s'écarte guère de ce que l'on appelle « l'excellence thématique ». J'essaierai de montrer que diversité des activités, passage du statut d'expert, fort de ses certitudes et de ses acquis, à celui de chercheur, fort de ses doutes, n'entrave en rien la recherche de l'excellence dans la pratique de l'Ecologie des populations qui constitue le fil directeur de mon activité de recherche depuis maintenant une trentaine d'années.

Une des particularités de mon travail est d'avoir pratiqué, parallèlement au développement des principaux projets de recherche sur la dynamique des populations ichtyologiques exploitées, une valorisation et une application d'une partie de ces travaux et de ces acquis sur le terrain. C'est ce qui explique en particulier ma participation, en liaison avec des associations de protection de la nature⁷, des associations professionnelles⁸ ou des entreprises privées⁹, à des expériences de développement sur le forçage du recrutement (expériences de repeuplement en ruisseaux pépinières, de pacage marin, de production d'œufs de souche locale pour le saumon atlantique), à l'étude du comportement de poissons migrateurs (travaux sur l'impact des conditions hydroclimatiques sur la capturabilité des engins de pêche) ou sur les retombées de l'aménagement des milieux naturels sur la capacité biotique des milieux continentaux (effets de l'entretien des berges sur l'évolution des populations de saumon atlantique dans des rivières bretonnes, suivi du plan de gestion et de restauration du stock de saumons du bassin de l'Adour).

Participer à ces développements, dialoguer avec d'autres acteurs possédant des approches différentes, souvent complémentaires, se heurter à des problèmes concrets et mesurer bien souvent la distance entre l'approche théorique et la réalité de terrain m'ont permis de relativiser les acquis, repositionner à sa juste place le statut d'expert qui m'a été parfois conféré et surtout enregistrer les questionnements et les attentes des usagers et des autres acteurs vis à vis de la « Science » pour essayer d'apporter ma modeste contribution à une demande identifiée comme « **le maintien de la diversité des usages dans le respect des équilibres naturels** ».

Je tiens de ce fait à replacer mon activité dans cette démarche de groupe d'acteurs où le scientifique, l'usager, le gestionnaire tentent de trouver des compromis entre développement économique, attentes sociales et protection environnementale.

Cela m'a permis aussi de comprendre rapidement dans ce cadre que je qualifierai de systémique, qu'il ne faut pas rester inféodé à cet espace strict et autonome, ce microcosme constitué par le champ scientifique ou plus précisément la discipline¹⁰ à laquelle nous avons été formée.

La confrontation des métiers (terme pris au sens le plus large et non seulement dans le contexte du « champ scientifique »), mais aussi la nécessaire mise en œuvre de la pluridisciplinarité caractérisent mon parcours de recherche. C'est ce qui explique en particulier la diversité de mes publications et de leurs valorisations, mais aussi « l'hétérogénéité thématique » de mes co-auteurs (spécialistes de l'aquaculture, de la technologie, de la biologie des populations, de la statistique ou de l'analyse numérique ou même du monde associatif ou professionnel).

Au début des années soixante-dix, l'écologie dite « de terrain » est une écologie relevant plus du militantisme que d'une démarche thématique. On parle alors d'éco-

⁷ L'Association Eaux et Rivières constitue d'ailleurs mon premier employeur

⁸ Comités locaux et nationaux des pêches

⁹ aquaculteurs et pisciculteurs ou armateurs et patrons de pêche notamment

¹⁰ Les usages sociaux de la Science – Pour une sociologie clinique du champ scientifique – P. Bourdieu (1997) INRA (ed.), Sciences en Question, 79 pages.

développement (Club de Rome). A cette époque, « l'approche systémique » relève plus des « sciences de l'ingénieur » que d'une approche thématique proprement dite inféodée à une école doctorale. Pourtant, il émerge de cette approche des questionnements importants qui vont être abordés ultérieurement par les équipes de recherche : déterminisme du recrutement et cohérence de son forçage ; régulation de la pêche et restauration des habitats ; exploitation séquentielle de l'environnement et de ses ressources¹¹,.....

Cette démarche se structure peu à peu et on commence à voir poindre dès le début des années quatre-vingts la notion de développement durable¹². Il n'est pas exagéré de dire que la Communauté scientifique¹³ a joué un rôle dans l'émergence de ce concept de « Développement Durable »¹⁴ et je veux croire que par mes actions de communication auprès des Associations d'usagers, de Protection de la Nature, d'Universités du Temps Libre ou par mes articles dans des revues de vulgarisation, j'ai apporté, certes de manière modeste, ma contribution au développement de cette prise de conscience environnementale chez certains de mes concitoyens. J'espère également par mes travaux de recherche avoir participé à conforter le sentiment que l'approche systémique procède d'une véritable démarche scientifique.

C'est donc bien dans ce cadre que je repositionnerai mes travaux et actions ainsi que mes perspectives concernant les travaux de recherche et de valorisation. Le schéma ci-dessous le résume et caractérise le « macrocosme » dont je dépends (schéma 1).

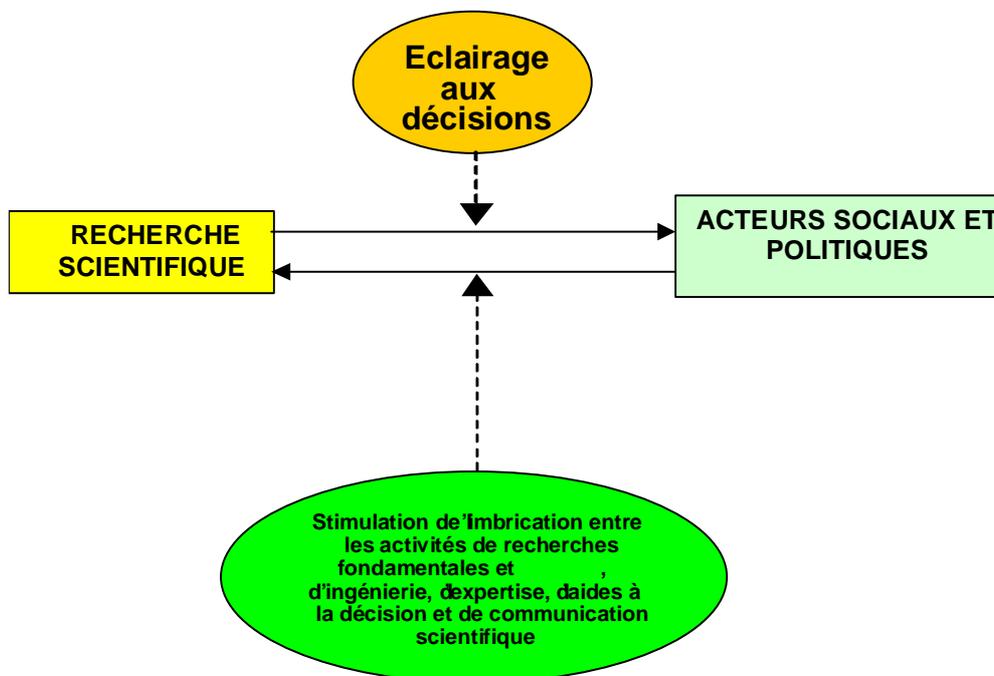


Schéma 1 : Définition du macrocosme

¹¹ cf. L'Homme et les Ressources Halieutiques : Essai sur l'usage d'une ressource renouvelable . IFREMER (ed.). Jean-Paul Troadec (1990).

¹² Rapport G. Brundland (1987) effectué pour les Nations –Unies : « Le développement durable est celui qui répond aux besoins du présent sans compromettre la capacité des générations futures à satisfaire les leurs ».

¹³ à ne pas confondre avec les structures scientifiques qui peinent encore à organiser une réelle pluridisciplinarité en restant accrochées à la stricte autonomie de leurs champs scientifiques.

¹⁴ Cette notion de « Développement Durable » associe une idée de durabilité à la notion positive de développement, qui suggère un épanouissement des capacités, une croissance soutenue et équilibrée à la fois économique et sociale étendue à l'ensemble des régions du monde ». Rapport du groupe de travail sur la recherche au service du développement durable (Rapporteur : Pierre-Cyrille Hautcoeur, 16 janvier 2003).

Trois actions structurent mon activité scientifique : **comprendre ; confronter et valoriser les acquis ; identifier les attentes et redéfinir les perspectives de travail.**

La définition du Développement durable, telle que donnée par le rapport Bruntland indique que celui-ci « se veut à la conjonction du viable (plan environnemental), de l'équitable (plan social) et de l'efficace (plan économique) »¹⁵.

En tant qu'expert, il m'est vite apparu que la seule description des écosystèmes ou même la seule compréhension des mécanismes biologiques qui régissent leurs évolutions ne permettaient pas de répondre aux attentes ni des usagers ni des décideurs tant il est vrai que la mise à plat des diverses « dépenses de nature »¹⁶ effectuées par les nombreux exploitants de l'environnement naturel montrent que les problèmes d'environnement, d'économie et de société ne relèvent pas de solutions globales séparées¹⁷.

C'est pour cette raison que je détaillerai de manière plus complète, les travaux que j'ai effectués sur les populations de poissons amphihalins. En effet, « l'enjeu de la gestion des populations de poissons migrateurs se situe exactement à l'articulation des trois volets de recherche : transferts physiques/systèmes biologiques/société, d'autant plus si l'aide à la décision est considérée comme un objectif identifié de la recherche. Les chercheurs en hydrobiologie ont la responsabilité d'accepter et même de favoriser la rencontre des disciplines concernées. Cela demande une bonne dose de volontarisme, une capacité à apprivoiser de nouveaux outils : systèmes d'information, modèles quantitatifs ou qualitatifs. Cette évolution doit prendre en compte les changements d'échelle et nécessite l'ouverture et la curiosité scientifique vers d'autres disciplines et démarches. C'est à ce prix que l'hydrobiologie pourra prétendre se situer dans le champ de recherche de l'environnement, tel que défini par Jollivet et Pavé (1992)¹⁸ ».¹⁹

Comme le signale le rapport Hautcoeur (2003), la capacité de la Science à la création d'une société plus juste est renforcée par les principes juridiques internationaux, nationaux et régionaux : responsabilité étendue du producteur, principe pollueur-payeur, principe de précaution qui rend progressivement l'Etat et les acteurs économiques plus sensibles au mouvement même de constitution et de validation des connaissances économiques.

Le principe de précaution illustre parfaitement ce propos (loi 95-101) : « l'absence de certitudes, compte-tenu des connaissances scientifiques du moment, ne doit pas retarder l'adoption de mesures effectives et proportionnées visant à prévenir un risque de dommages graves et irréversibles à l'environnement à un coût économique acceptable ».

¹⁵ Citation Rapport Hautcoeur sur la recherche au service du développement durable (2003)

¹⁶ cf. Weber J. et D. Bailly, 1993. Prévoir c'est gouverner. *Nature-Sciences-Sociétés* 1(1) : 59 - 64

¹⁷ J'avais écrit, en 1999, pour une revue halieutique « Le Pêcheur Professionnel » un article qui contenait le § suivant : « L'approche analytique qui est communément adoptée par les organismes de recherche a empêché la synthèse requise pour « la sage administration de la ressource ». Les pouvoirs publics pour contrebalancer cette tendance aurait dû prendre l'initiative de reconcentrer les analyses sur des questions plus larges. Or au lieu de faire cela, on a dispersé les problèmes au sein de nombreuses structures. On aboutit ainsi à des approches sectorielles proposant des remèdes au coup par coup et sans vision globale même à court terme.

Vouloir régler à tout prix la question de l'exploitation rationnelle des ressources piscicoles par la seule prise en compte de l'activité halieutique conduit inéluctablement à ignorer que les autres activités (agriculture, industrie, tourisme,...) exercent également ce que l'on peut appeler « des dépenses de nature ». Il peut arriver un moment où le déséquilibre par l'intensification inconsidérée d'une activité aboutit à l'éradication des autres activités qui tirent parti du vivant. Ces exemples sont multiples et auraient dû faire réfléchir nos décideurs ».

¹⁸ Jollivet M. , Pavé A., 1992. L'environnement : un champ de recherche en formation. *Nature, Sciences et Sociétés*, 101, 6-20.

¹⁹ Extrait de O. Clément et P. Prouzet , 1996 – Contribuer à gérer les poissons migrateurs : un enjeu de recherche pour les hydrobiologistes. *INRA Prod. Anim.*, Hors série, 141-144.

Il est clair que la Société (où tout au moins ses décideurs) attend des Sciences qu'elles définissent des aides à la décision qui confèrent une place centrale aux connaissances scientifiques.

La notion d'aide à la décision renvoie à la notion d'expertise et à celle de prévision du risque. Il est bon ici de mieux la définir car cette facette de mon activité a été loin d'être secondaire (cf. § *curriculum vitae et valorisation de la Recherche*).

J'emprunterai à Roqueplo (1997)²⁰ sa description de la fonction d'expert et de son rôle dans le processus de l'aide à la décision.

Il y a lieu de ne pas confondre tout d'abord un expert et une personne experte. J'ai eu à exercer mes compétences dans les 2 situations²¹.

Dans la première, un avis sur un dossier m'a été demandé dans le cadre d'une expertise. Cela consiste à utiliser mon expérience pour faire la synthèse des connaissances mises à ma disposition et à contribuer à l'élaboration d'un « jugement de vérité ». Dans ce cadre, la connaissance est considérée comme établie (c'est à dire non soumise à la critique des membres de la communauté scientifique) et insérée dans le dynamisme de la prise de décision. Cela rejoint la notion d'avis auprès des services gestionnaires de l'Etat ou de l'Europe, ce qui constitue pour l'IFREMER une fonction institutionnelle. Dans ce cas, il y a bien production de connaissances par l'expert, mais non par la communauté scientifique. C'est souvent un problème pour le scientifique, fort de ses doutes, et qui est obligé de trancher en « connaissance de cause » pour satisfaire cette obligation de réponse inscrite dans la notion même d'expertise. Il y a dans ce cas transgression des limites de notre propre savoir comme l'indique Roqueplo. Ce changement de statut n'est pas si évident pour la personne experte.

Celle-ci au sens où le dictionnaire l'entend est « versé dans la connaissance d'une chose par la pratique ». Cette situation constitue la base de ma fonction de chercheur dans un domaine que je détaillerai ultérieurement et qui est constitué par la « modélisation de l'impact des facteurs anthropiques (dont la pêche) sur certaines populations ichtyologiques » (cf. § comprendre). Cette fonction a été exercée au sein de groupes pluridisciplinaires (cf. § coordination de la recherche et collaborations scientifiques) qui ont permis d'aborder des problèmes complexes sur la prévision de l'abondance de certaines populations ichtyologiques (essentiellement poissons amphihalins et petits pélagiques) soumises aux perturbations naturelles et anthropiques de leurs milieux de production. Ces modélisations qualifiées de stochastiques ont permis d'aborder la notion de risque d'extinction, notion de plus en plus importante à quantifier dans le cadre constitutionnel imposé par le Principe de Précaution.

²⁰ Ph. Roqueplo (1997) *Entre savoir et décision, l'expertise scientifique*. INRA (ed.) Sciences en Question, 111 pages.

²¹ Je ne parle pas ici du rôle d'expert nommé par le gouvernement pour participer à une négociation de nature politique et dont le rôle est assorti de consignes d'ordre politique. Ce rôle ne concerne pas ma fonction.

Comprendre

L'écosystème : quelle définition ?

L'écosystème est constitué de biotopes et de biocénoses dont la population constitue l'unité fonctionnelle (Arnaud et Emig, 1986).

Le biotope est un espace défini et délimité par la constance relative de ses facteurs abiotiques ou la prévisibilité de leurs fluctuations. Dans ces conditions, un biotope n'aura qu'une extension plus ou moins locale et définie selon Picar (1985) comme « l'espace de vie dans lequel il y a potentialité d'existence d'une biocénose déterminée ».

La biocénose telle que la définit Möbius (1877) est dans ces conditions un : « groupement d'êtres vivants correspondant par sa composition, par le nombre d'espèces et des individus, à des conditions moyennes de milieu et qui sont liés par une dépendance réciproque et se maintiennent en se reproduisant dans un certain endroit de façon permanente ».

Ceci souligne qu'une biocénose et *a fortiori* une population, unité de cette biocénose, n'existe pas sans biotope et est nécessairement circonscrite dans une aire restreinte et localisée. Ceci est particulièrement important à prendre en compte lorsque l'on s'intéressera au devenir d'une population qu'il sera, comme nous le verrons, difficile de dissocier de celui de ou des différentes biocénoses qu'elle colonise successivement.

D'où la prise en compte de l'écosystème comme une unité hiérarchique qui regroupe l'ensemble des biocénoses ayant des caractéristiques analogues.

Cette définition retenue et choisie parmi beaucoup d'autres, a le mérite de prendre en compte les préoccupations qui ont délimité fortement mon cadre et mes activités de recherche : « étude de la modification des caractéristiques d'une population sous l'effet des pressions environnementales (naturelles et anthropiques), au sein d'une biocénose ». Au préalable, il nous semble important de définir les principaux termes et constituants sur lesquels mes travaux de recherche ont porté.

L'habitat constituera la partie du biotope occupée par la population. Chaque population a un ensemble de caractéristiques biologiques définissables qui constituent avec l'habitat, la niche.

Chaque espèce étant généralement représentée par plusieurs populations (occupant chacune un habitat), l'ensemble des habitats de l'espèce constitue son aire de répartition. L'écozone sera l'ensemble des niches occupées par la même espèce (Arnaud et Emig 1986).

Une thématique de référence : la Biologie des Populations

Ma démarche peut être assimilée à ce que certains dénomment « Ecosystem Approach for Fisheries Management » (Jennings 2004²²). Dans ce cadre, l'IFREMER a mis en place un programme de recherche appelé « Démarche écosystémique pour une gestion intégrée des ressources halieutiques », programme dont j'assure l'animation (cf. figure 1 ci-dessous).

Celui-ci cherche à étudier les mécanismes évolutifs qui jouent un rôle dans le fonctionnement des populations et des communautés. Sous cet angle, il utilise comme thématique la Biologie des Populations (Jacquard 1986). Ceci recouvre l'ensemble des investigations concernées par les structures et les processus qui gouvernent l'état d'ajustement (« *fitness*») à un milieu donné. Ces structures et processus combinent : génétique, physiologie et démographie (démarche triadique).

²² Jennings, S., 2004. The ecosystem approach to fishery management : a significant step towards sustainable use of the marine environment ? *Mar. Ecol. Prog. Ser.* **274** : 279-282.

De ce point de vue, la Biologie des Populations est donc une démarche synthétique permettant de faire des prévisions sur des états futurs (Solbrig, 1977). Pour ce qui concerne les ressources halieutiques, la démarche reste plus ciblée sur certaines communautés d'intérêt économique, bien que l'ensemble des communautés de la biocénose soit affecté par les modifications du biotope.

Les populations sont ici considérées comme des structures dissipatives et qui possèdent, selon Johnson (1981), deux caractéristiques absentes chez l'individu : la continuité dans le temps et l'aptitude au changement.

Un cadre conceptuel élargi à l'ensemble des contraintes naturelles et anthropiques.

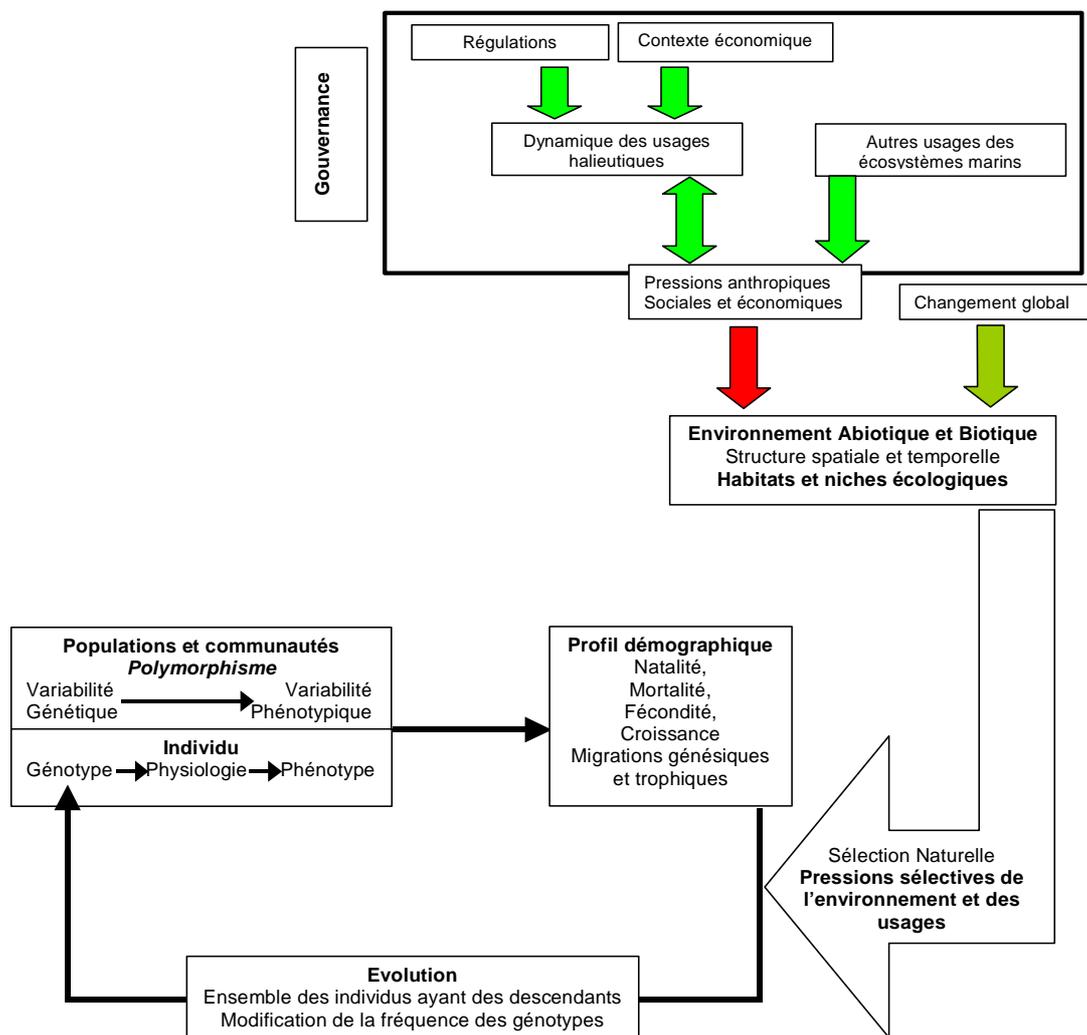


Figure 1 : Schéma conceptuel du programme DEMOSTEM (Prouzet –coordinateur-, document programme 2005)

La pression environnementale interfère principalement avec l'expression d'un caractère en terme de valeur sélective. Cette pression peut être de deux types soit naturelle soit anthropique. Elle fait varier les caractéristiques biologiques d'une population qui ne peut se maintenir qu'en s'intégrant à la biocénose sous réserve de la disponibilité d'un espace vacant.

Dans l'optique d'une exploitation durable, il convient d'analyser comment les facteurs anthropiques sur lesquels l'homme peut influencer, viennent perturber ou modifier brutalement l'évolution des biotopes et des biocénoses et quels sont les niveaux d'anthropisation susceptibles de limiter autant que faire se peut la perte de diversité biologique des populations et plus largement des communautés avec comme extension la perte de diversité des usages (ou de manière plus ciblée celle des métiers de la pêche).

En d'autres termes, il en est des ressources halieutiques comme des usages que leurs exploitations génèrent, l'objectif est de conserver une diversité suffisante afin que les combinaisons de gènes ou d'usages permettent de générer des individus ou des exploitations à forte capacité d'ajustement (notion de *fitness* biologique ou de *fitness* économique).

Une discipline de référence : La dynamique des populations

En biologie des populations, on considère qu'il existe un niveau privilégié de gestion des effectifs de l'espèce et donc de sa variabilité génétique. Le dynamicien des populations parlera alors de population ou de stock²³, le généticien de gamodème²⁴ ou de population.

La compréhension de l'organisation dynamique dans le temps et dans l'espace des ensembles d'individus ou de gènes est un enjeu fondamental pour la dynamique et la génétique des populations (Autem, Mathieu et Bonhomme 1986) du fait de l'importance de cette organisation spatiale et temporelle dans les hypothèses à la base des modèles proposés par ces disciplines, outre l'intérêt direct de cette organisation pour la gestion des ressources naturelles.

Dans les travaux qui seront mentionnés ultérieurement, l'accent sera mis plus sur l'aspect quantitatif et l'impact des facteurs naturels et anthropiques sur l'évolution numérique d'une population ou d'un stock, mais beaucoup moins sur son identité génétique.

Cela ne veut pas dire que cet aspect a été ignoré²⁵, mais compte-tenu de la discipline (spécialité) de référence qui a été mienne : Dynamique des populations halieutiques, les travaux se sont orientés dans cette voie disciplinaire sans pour autant en oublier le contexte thématique dans lequel elle doit s'inscrire.

La dynamique des populations s'attache à décrire de manière quantitative les variations du nombre d'individus d'une population et à rechercher si possible les causes de cette variabilité. Elle fait ainsi appel à l'Ecologie quantitative pour étudier les facteurs qui définissent l'équilibre instable du système biologique.

Par l'utilisation de méthodes d'analyses mathématique et statistique, elle permet la construction de modèles simulant des situations diverses. Ces modèles permettent d'explorer le système étudié, de l'analyser et de comprendre ainsi le rôle des différents facteurs qui le constituent et des différents paramètres qui le régissent.

Avant d'illustrer ce pan de mes travaux par des exemples choisis chez des espèces aux caractéristiques populationnelles diverses, je reviendrai d'abord sur les bases fondamentales de la dynamique des populations ichtyologiques exploitées.

Evocation des principales lois fondamentales qui régissent l'abondance des populations ichtyologiques exploitées.

L'équation de Lotka-Volterra décrit la croissance d'une population influencée par la capacité biogénique du milieu qu'elle colonise et par la contrainte de populations compétitrices.

²³ Le stock peut être succinctement identifié à un groupe de poissons isolés dans l'espace et dans le temps.

²⁴ Le dème est un groupe d'individus établissant des liens sociaux dans un espace restreint.

²⁵ On se réfèrera aux travaux effectués sur le saumon atlantique et sur l'anchois auxquels j'ai collaboré (cf. liste des travaux de recherche)

Ainsi, sous une forme différentielle et de manière continue, nous pouvons représenter l'évolution numérique de 2 populations compétitrices occupant le même habitat de la manière suivante :

$$\frac{dN_1}{dt} = r_1 \cdot N_1 \cdot \left(\frac{K_1 - N_1 - \alpha \cdot N_2}{K_1} \right) \text{ et } \frac{dN_2}{dt} = r_2 \cdot N_2 \cdot \left(\frac{K_2 - N_2 - \beta \cdot N_1}{K_2} \right) \quad \text{[équations 1 et 2]}$$

avec : $\frac{dN}{dt}$ = taux instantané de variation de la taille de la population

r = taux intrinsèque de croissance de la population

K = capacité biogénique de l'habitat occupé par la population

α et β : coefficients permettant de simuler les effets négatifs liées à la mise en présence des populations 1 et 2 lorsqu'elles occupent la même niche écologique.

Cette relation est à la base de l'équation fondamentale qui décrit le développement d'une population (ichtyologique par exemple) en milieu nouvellement colonisé ; équation de croissance dite « courbe logistique de Verhulst et Pearl »²⁶.

Cette courbe peut être décrite par l'équation suivante : $X_{(t)} = \frac{X_{\max}}{1 + a \cdot e^{-r \cdot t}}$ [équation 3]

avec a : valeur positive ; r : taux de croissance maximal de la population qui tend vers une taille limite définie par X_{\max} .

L'exemple illustrant cette fonction et les régulations qu'elle schématise est tiré de données concernant l'évolution de la biomasse de poissons herbivores dans un étang et de celle de la population végétale²⁷ (figure 2).

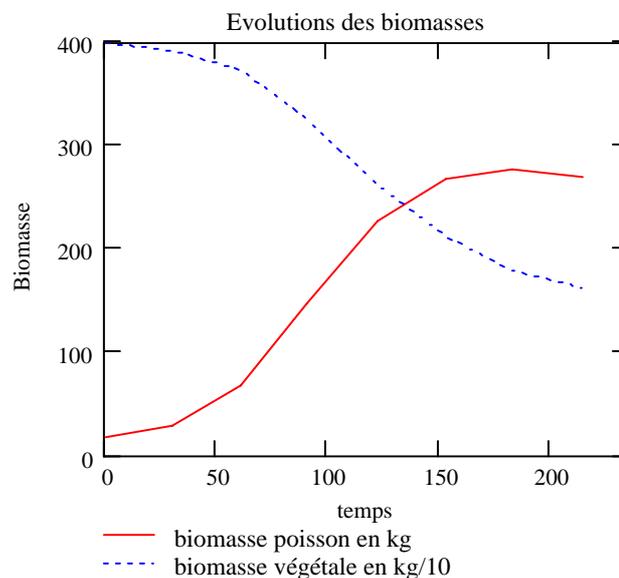


Figure 2 : Evolutions simultanées des biomasses ichtyologiques et végétales observées dans un étang.

²⁶ Cette équation [équation 3] a été établie en 2 temps d'abord par Verhulst en 1839 puis en 1930 par Pearl qui indépendamment des travaux de Verhulst convergeait vers la même équation en établissant les lois descriptives du développement d'une population en milieu nouvellement colonisé. (in Laurec A. et Le Guen J.-C., 1981. Dynamique des populations marines exploitées. Tome 1 – Concepts et modèles. Rapport Scientifiques et Techniques CNEXO, 45, 117 pages)

²⁷ données originales d'après W.E Grant (1986) System analysis and simulation in Wildlife and Fisheries Sciences.

La modélisation de cette évolution dans le temps par la fonction logistique permet de voir les différentes phases de la croissance de la population de poissons herbivores et en particulier le point d'inflexion qui matérialise la période de croissance « self accélérée » et la période de ralentissement de croissance dès lors que l'on s'approche de la taille théorique maximale d'expansion de la population (figure 3).

Parallèlement, la population végétale diminue et contrôle l'expansion des consommateurs primaires qui stabilisent leur abondance dès lors que la production végétale descend en-dessous d'un certain seuil.

Pour l'exemple décrit, les équations logistiques des 2 populations sont les suivantes :

$$P_{(x)} = \frac{278,997}{(1 + 32.809 * \exp^{-(+0.41)x})} \quad \text{et} \quad V_{(x)} = \frac{486.11}{1 + 0.176 * \exp^{-(-0.012)x}}$$

avec $P_{(x)}$: évolution de la biomasse de poissons en kg et $V_{(x)}$: évolution de la biomasse de végétaux en dixième de kg.

Nous pouvons ainsi estimer que la population de poissons dont l'abondance initiale était de 17 kg atteindra une biomasse maximale de 279 kg pour une biomasse végétale de 48,6 kg si on laisse l'étang évoluer vers un équilibre naturel exempt d'intervention anthropique (dont en particulier la pêche).

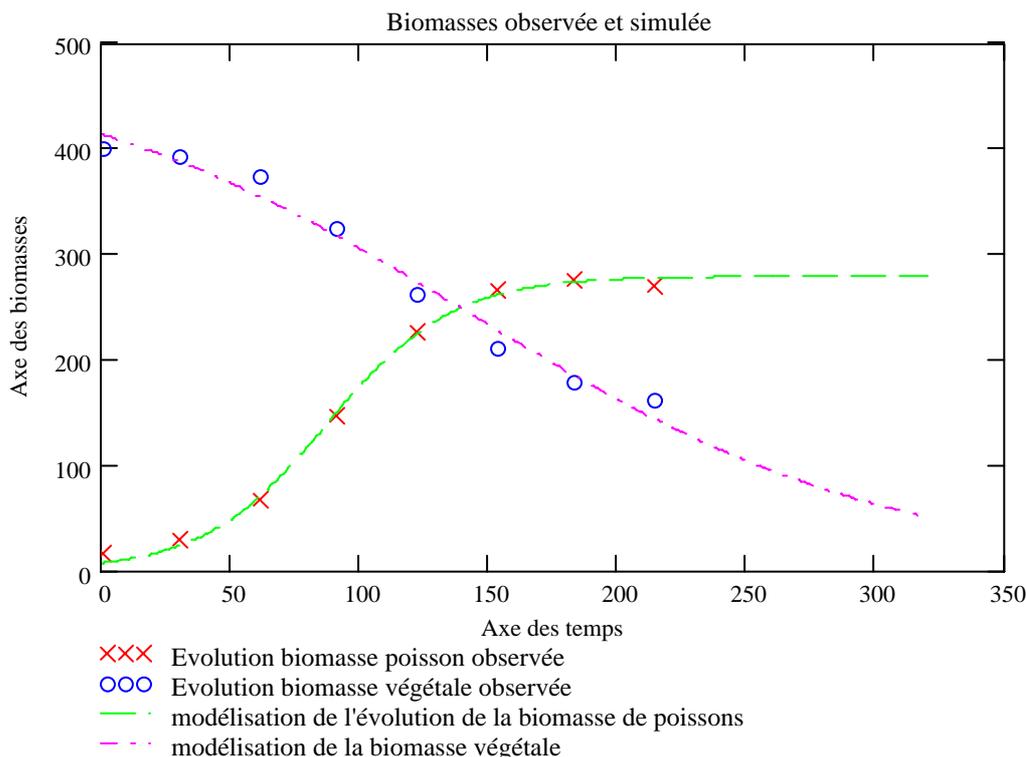


Figure 3 : Evolutions simulées et simultanées des populations ichtyologique et végétale par la courbe logistique.

Ces deux populations interdépendantes ont des taux intrinsèques de croissance de valeurs différentes et de signes contraires : +0.041 pour $P_{(x)}$, consommateur, et -0.012 pour $V_{(x)}$, population consommée.

Il est possible également de décrire les évolutions de ces 2 populations par le biais de la variation de leurs taux de croissance dont la valeur à l'origine est donné par r : taux intrinsèque de croissance maximale que nous avons défini précédemment.

Ainsi l'évolution du taux de croissance de ces deux populations respectives est définie par :

$$\frac{dx}{Xdt} = r \cdot \left(1 - \frac{X}{X_{\max}}\right)$$

et montre en figure 4 les variations contraires des taux et leurs évolutions tendancielles à long terme vers zéro dès lors que l'équilibre entre la production végétale et la consommation des poissons herbivores se stabilisent ; point d'équilibre théoriquement atteint pour une biomasse piscicole de 278,9 kg par hectare et une biomasse végétale de 48,6 kg. Cet équilibre peut être modifié par l'introduction de carnassiers régulant l'abondance de la population d'herbivores ou par la pêche qui permet, dans le cadre de certaines limites de prélèvement, de stimuler la production globale de poissons en maintenant l'abondance dans une zone où le taux intrinsèque de croissance est plus élevé.

Cette constatation déduite des caractéristiques de la courbe logistique a été pour la première fois formulée par Baranov (1918)²⁸ : « une pêcherie en éclaircissant une population de poissons crée d'elle-même la production qui assurera son maintien » dit *principe de Baranov*.

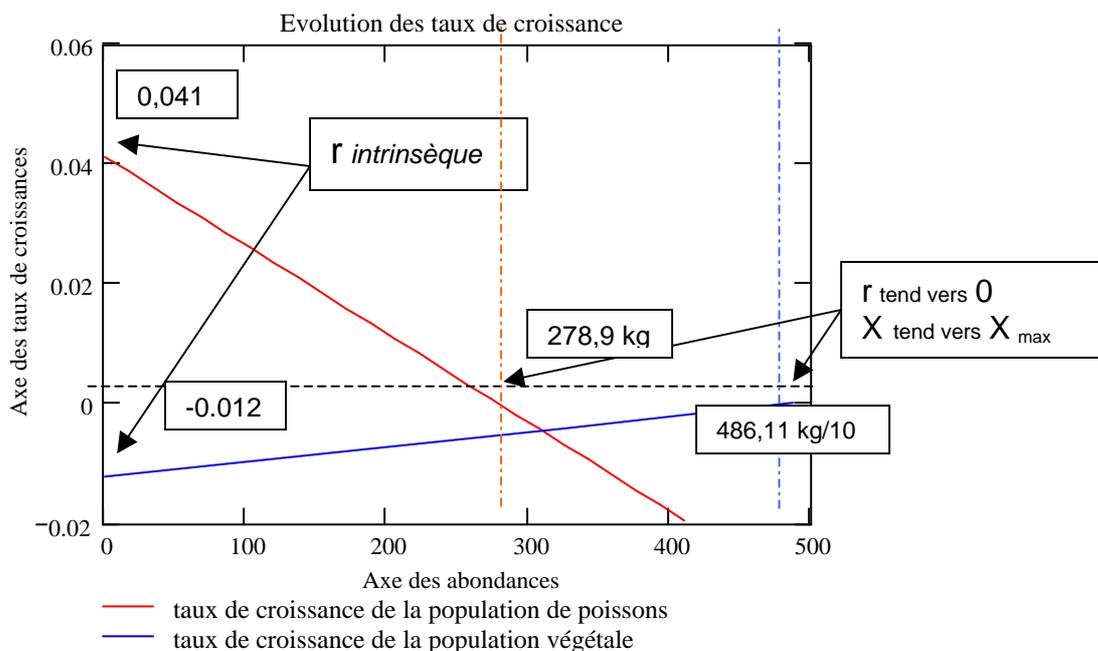


Figure 4 : Variations respectives des taux de croissance (t) pour les populations $P_{(x)}$ et $V_{(x)}$

$$\text{avec } t[P_{(x)}] = 0.041 * \left(1 - \frac{x}{278.99}\right) \quad \text{et} \quad t[V_{(x)}] = -0.012 * \left(1 - \frac{x}{486.11}\right)$$

Nous pouvons enfin visualiser les flux de croissance des 2 populations qui sont définis par la

relation suivante :

$$\frac{dx}{dt} = rX \left(1 - \frac{X}{X_{\max}}\right).$$

²⁸ Baranov F-I., 1918 – On the questions of the biological basis of fisheries. *Nauchnyi Issled Ikhtiol. Inst. Izv.*, 1(1), 81-122 – cité par Laurec et Le Guen (1981) Dynamique des populations marines exploitées – Tome I : Concepts et Modèles, *Rapport Sc. et Tech. CNEXO* 45, 117 pages.

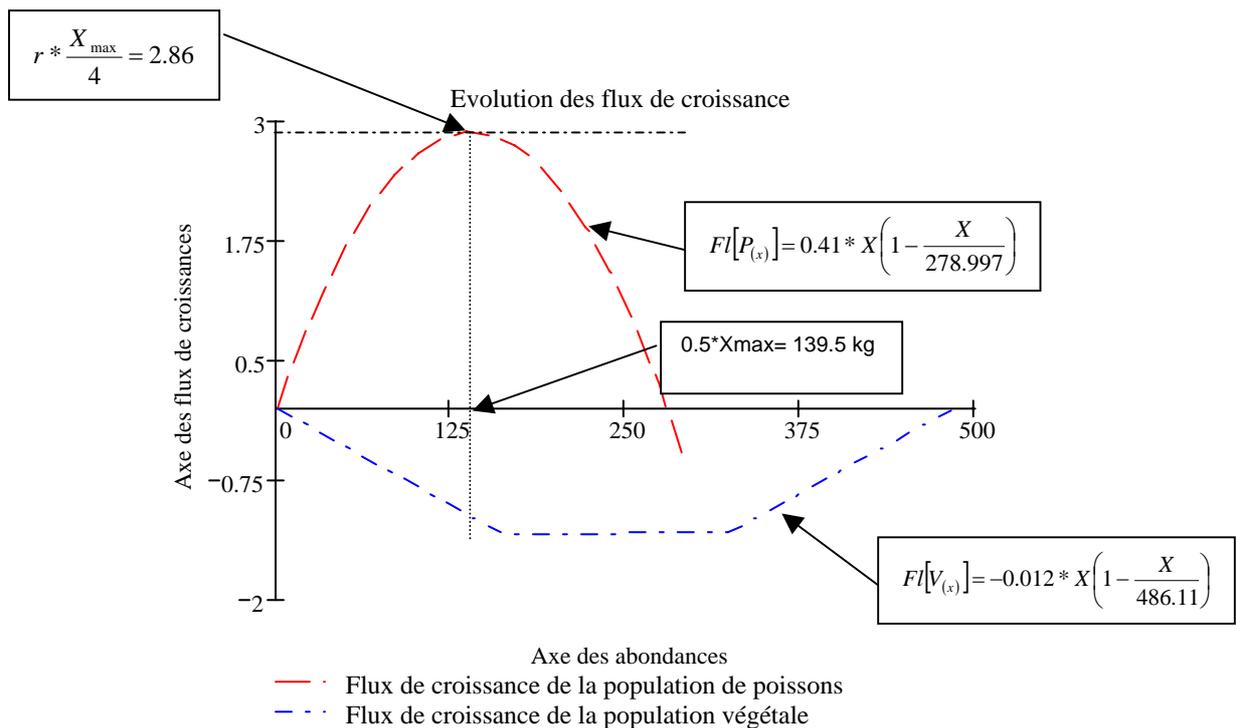


Figure 5 : Evolutions respectives des flux de croissance pour les populations $P_{(x)}$ et $V_{(x)}$

La figure 5 met bien en évidence les contraintes entre ressources nutritives et production piscicole. L'optimum du flux de croissance de la population d'herbivores est atteint au moment où celui de la ressource végétale atteint un plateau minimal. Le flux de croissance de la population de poissons décroît alors constamment vers une valeur nulle puis négative ce qui provoque une augmentation, avec un effet retard, du flux de croissance de la biomasse végétale.

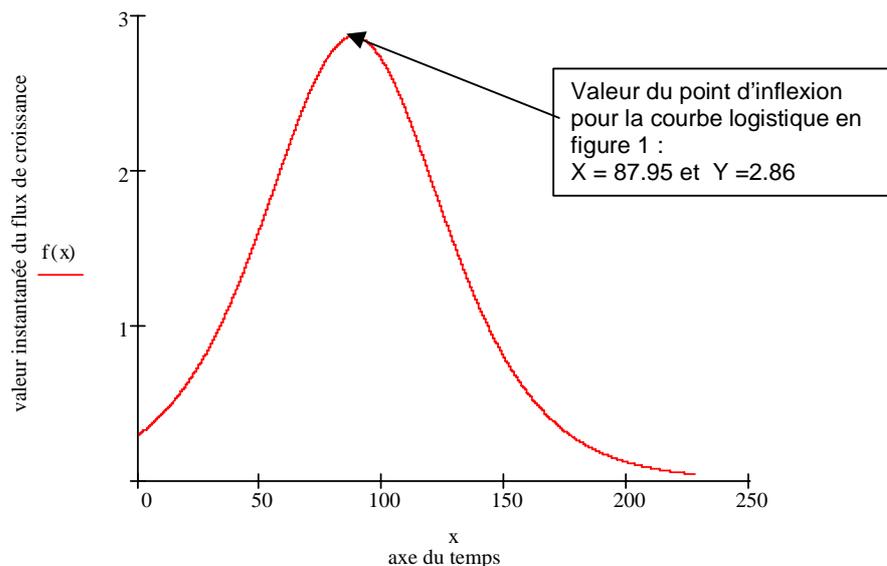


Figure 6 : Evolution de la valeur instantanée du flux de croissance de la population piscicole au cours du temps

Le maximum de ce flux de croissance est atteint au moment où la courbe d'évolution de l'abondance de la population de poissons (figure 3) marque un point d'inflexion, c'est à dire lorsque la dérivée seconde atteint son maximum ainsi que nous l'indique la figure 6.

Cela marque l'optimum de la phase « self accélérée » de la croissance de la population de poissons qui démarre après une certaine période d'acclimatation (figure 7).

Le début de cette phase nous est donnée par la valeur du premier point tangent entre la courbe logistique et la droite de pente 1 et la fin par le deuxième point tangent.

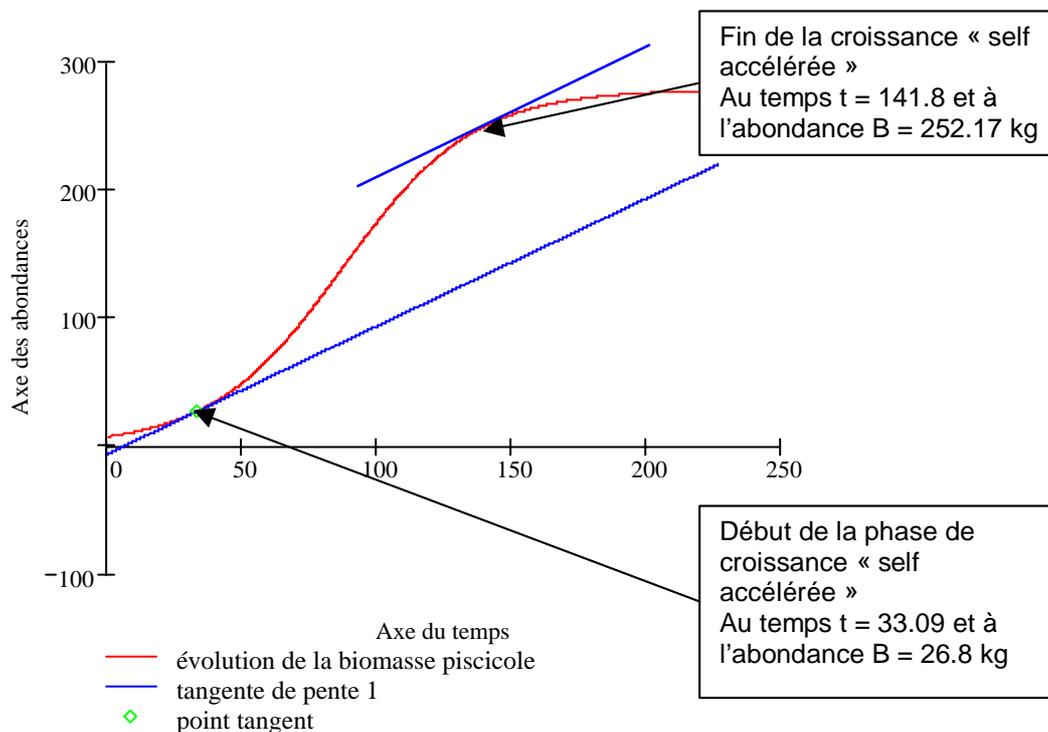


Figure 7 : Valeurs des points tangents entre la courbe logistique et la droite de pente 1.

Cela nous amène à introduire la notion de mécanismes de régulation dits aussi « mécanismes de compensation » qui empêchent la population d'évoluer de manière monotone. Ceux-ci interviennent généralement sur la quantité de nourriture réellement disponible pour chaque maillon de la chaîne trophique. Ces contraintes alimentaires peuvent être liées non seulement aux capacités trophiques d'un espace productif, mais aussi à la diversité des habitats qui peuvent limiter plus ou moins les interactions entre compétiteurs intra ou interspécifiques²⁹ occupant une même niche et la pression des prédateurs³⁰. Nous illustrerons de manière plus précise cet énoncé dans le paragraphe qui suit.

²⁹ Cas classique abondamment détaillé dans la littérature des compétitions entre salmonidés migrateurs. Consulter à ce propos Mac Fadden J.T., 1969 – Dynamics and regulation of salmonid populations in streams. Symposium on Salmon and Trout in Streams, H.R. Mac Millan; Lecture in Fisheries, Univ. British Columbia, 313 – 329.

³⁰ Cette notion est très souvent difficile à faire comprendre aux gestionnaires et aux utilisateurs des ressources ichtyologiques qui par précaution tendent à privilégier l'approche linéaire que l'on pourrait qualifier de manière imagée « plus on met de géniteurs ou d'œufs plus on aura de produits ». Cette notion de « capacité de charge » semble pourtant être relativement bien comprise dans le domaine des productions agricoles.

Notion de capacité d'accueil d'un milieu ou de capacité biogénique³¹.

La vision « Malthusienne » d'une population à croissance exponentielle ne peut dans ces conditions se concevoir. Les contraintes alimentaires tendent à plus ou moins long terme, même dans des milieux « stables », à prévenir toute croissance exponentielle monotone d'une population en intervenant sur les niveaux des taux de croissance intrinsèques des maillons constituant la chaîne alimentaire.

La capacité de production d'un maillon de cette chaîne dépend d'interactions biologiques qui dépassent les seules relations trophiques. Cela est particulièrement évident lorsque l'on regarde le devenir des principales phases d'une cohorte de poisson.

Schématiquement et en accord avec Daan³² (1990), nous pouvons distinguer 3 périodes successives au cours du cycle biologique pour la plupart des populations piscicoles marines et continentales³³ :

- De l'œuf aux juvéniles, phase fortement dépendante des conditions environnementales qui conditionnent le succès du recrutement pour une biomasse féconde donnée. La variabilité de la survie des larves est fortement contrôlée par des facteurs abiotiques, même dans des milieux où les conditions environnementales sont relativement stables (cas des eaux continentales par exemple). Chez les poissons territoriaux, c'est la phase qui correspond à l'établissement des territoires dont le nombre va contrôler l'importance de la population.
- Du juvénile au subadulte, phase où l'effectif des cohortes paraît être largement stabilisé. La prédation naturelle joue un rôle régulateur important, surtout dans les milieux confinés, où la ramification des chaînes trophiques et leur diversité est relativement réduite. Dès que les individus entrent dans la phase exploitée par une pêcherie, il se surajoute, une mortalité liée aux effets de la pêche.
- Du subadulte au reproducteur, la taille des individus minimise les effets de la prédation. A ce stade, le contrôle de la production de la cohorte peut être effectué par les niveaux de compétition inter ou intraspécifique entre individus pour l'utilisation d'une ressource alimentaire limitée et bien évidemment par la mortalité par pêche.

D'après Rothschild (1990), la forte variabilité temporelle et spatiale des stocks ichtyologiques dépend de deux sources principales et connues de variabilité liées d'une part aux phénomènes de densité-dépendance (relation stock-recrutement) et d'autre part au rôle des facteurs environnementaux sur la variabilité du recrutement.

D'après cet auteur, le schéma conceptuel qu'il faudrait retenir pour mieux comprendre l'action de ces 2 causes majeures, est celui qui considère simultanément la stabilité et la variabilité des populations marines. Dans ce cadre, il préconise d'utiliser le concept de « stationnarité » qui signifie que chaque observation annuelle est tirée d'une distribution dont la structure fonctionnelle et les paramètres se conservent à l'identique.

Cet auteur définit des modules de « processus dynamique des populations » conçus comme une formalisation des relations entre les mécanismes de stabilisation et de déstabilisation (figure 8).

³¹ On l'appelle aussi capacité biotique.

³² N. Daan (1990). Relations trophiques et Evaluation des ressources plurispécifiques. In L'Homme et les Ressources Halieutiques : Essai sur l'usage d'une ressource renouvelable (coord.) J.P. Troadec ; (Ed.) IFREMER 97-129.

³³ Pour certaines populations amphihalines que nous détaillerons plus tard, le cycle biologique est plus complexe et se scinde généralement en 4 phases.

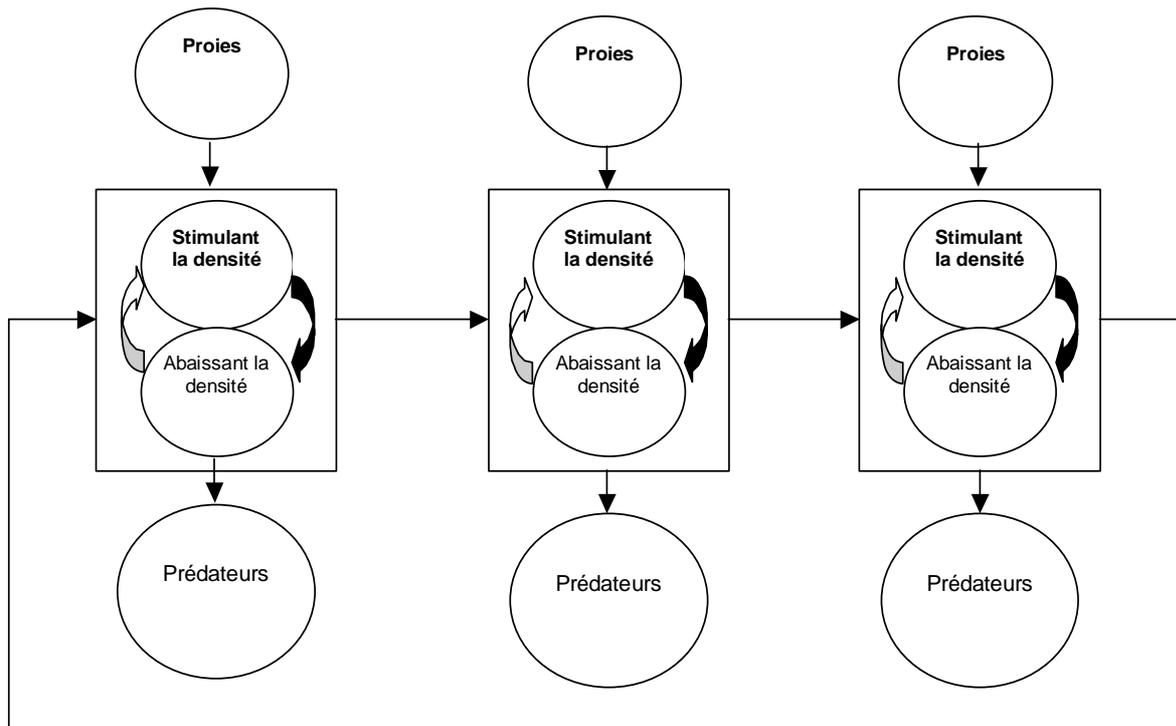


Figure 8 : Modules de processus « dynamique des populations » d'après B. Rothschild (1989)

Ces modules permettent de prendre en compte les principales sources de variabilité qui se manifestent soit par des phénomènes de densité-dépendance (composantes stabilisatrices) soit par des phénomènes indépendants de la densité (composantes déstabilisatrices).

Les composantes stabilisatrices agissent au cours des trois phases du cycle de vie décrites précédemment et qui sont matérialisées par les trois modules. Chaque stade a des mécanismes de densité-dépendance spécifiques. Les successions des stades permettent de corriger les équilibres entre les niveaux d'abondance des proies et des prédateurs dont la multiplicité augmente tout au long du cycle de vie de l'animal (moins grande spécialisation au niveau des proies).

Les composantes déstabilisatrices sont de deux ordres. Celles qui interviennent sur la variabilité du patrimoine génétique de la population et qui l'empêche de varier de manière monotone. Cela a pour effet d'empêcher une extinction ou *a contrario* une explosion rapide de la population. Celles enfin qui jouent sur l'environnement physique des proies et des prédateurs et viennent perturber leur probabilité de rencontre (diminution du taux de contact entre larves et plancton par exemple) ou bien qui interviennent directement sur la physiologie de l'individu (colmatage des frayères à salmonidés par exemple induisant une augmentation de la mortalité des œufs).

Dans le milieu marin, ces composantes déstabilisatrices d'origine environnementales sont nombreuses et ont été décrites par divers auteurs (tableau 1).

Toutes les espèces ne réagiront pas de la même façon à ces mécanismes de régulation. Chez les populations de poisson, les espèces pélagiques, benthiques, démersales, amphibiotiques ou continentales ont développé des stratégies adaptatives distinctes qui leur ont permis de s'adapter aux contraintes écologiques des milieux où ils vivent.

Tableau 1 - Exemples de mécanismes hydrodynamiques océaniques pouvant intervenir sur les survies des larves ou des juvéniles d'espèces ichtyologiques d'après Bakun (1989).

Mécanismes	Caractéristiques principales
Colonnes stratifiées de Taylor	Piégeage d'une cellule d'eau entre le relief sous-marin et une couche sus-jacente stratifiée en densité. Si la structure a une taille suffisante pour que les effets de rotation de la Terre l'emportent sur la friction, une circulation s'établit autour de la masse d'eau piégée dans le sens des aiguilles d'une montre dans l'hémisphère Nord et en sens contraire dans l'hémisphère Sud.
Fronts côtiers	Ils sont créés par le brassage de l'eau dû aux marées avec des courants de densité du large vers le front en surface et en profondeur et un courant de compensation de direction opposée à une profondeur intermédiaire.
Dérive due au vent	La couche superficielle océanique est entraînée par l'action directe du vent. L'effet est généralement circonscrit aux premières dizaines de mètres. Le transport de l'eau est orienté à 90 degrés à droite de la direction du vent dans l'hémisphère nord et à gauche dans l'hémisphère sud.
Cisaillement vertical des courants géostrophiques	La compensation barocline se manifeste par des cisaillements verticaux entre les courants géostrophiques présents dans les couches stratifiées.
Couches limites de fond	Au contact du fond, le courant est freiné par la friction. Les organismes qui peuvent alternativement se poser sur le fond et monter dans la colonne d'eau ont la capacité de régler leur dérive.
Transport par les ondes superficielles de Stokes	En zones peu profondes, les effets de la friction augmentent le transport de l'eau dans le sens de propagation des vagues, à proximité immédiate du fond.
Circulation de Langmuir	Des traînées de convergence superficielles se manifestent en surface par des « slicks » parallèles au vent. Une pellicule d'eau est ainsi entraînée dans la direction du vent à des vitesses supérieures au niveau des « slicks ».
Circulation estuarienne	Elle établit des courants de densité à l'intérieur des baies. Dans les cas les plus simples, la stratification est constituée d'un flux superficiel qui s'écoule vers le large et un flux profond qui s'écoule vers le fond de l'estuaire.

L'équation de Lotka-Volterra (cf. équations 1 et 2) permet de rendre compte de la croissance des populations naturelles en faisant jouer 2 paramètres : r et K et de schématiser la variabilité des réponses démographiques que nous venons d'évoquer. Cela a permis de distinguer, sur la base d'un modèle de compétition entre génotypes 2 types de sélection (Barbault 1987)³⁴ :

- La sélection r qui s'exerce dans les populations à basse densité et promeut un taux de multiplication aussi élevé que possible par « maximisation de r » ;
- La sélection K qui prévaut en conditions de densités élevées et favorise une meilleure conversion des ressources trophiques par accroissement des descendants.

La description comparative de ces 2 types de sélection peut-être résumée par le simple schéma ci-dessous (figure 9).

³⁴ R. Barbault 1987 . Peut-on encore parler de sélection r et de sélection K ? In, Actes du Colloque Biologie des Populations. CNRS, INRA (eds), 11-17.

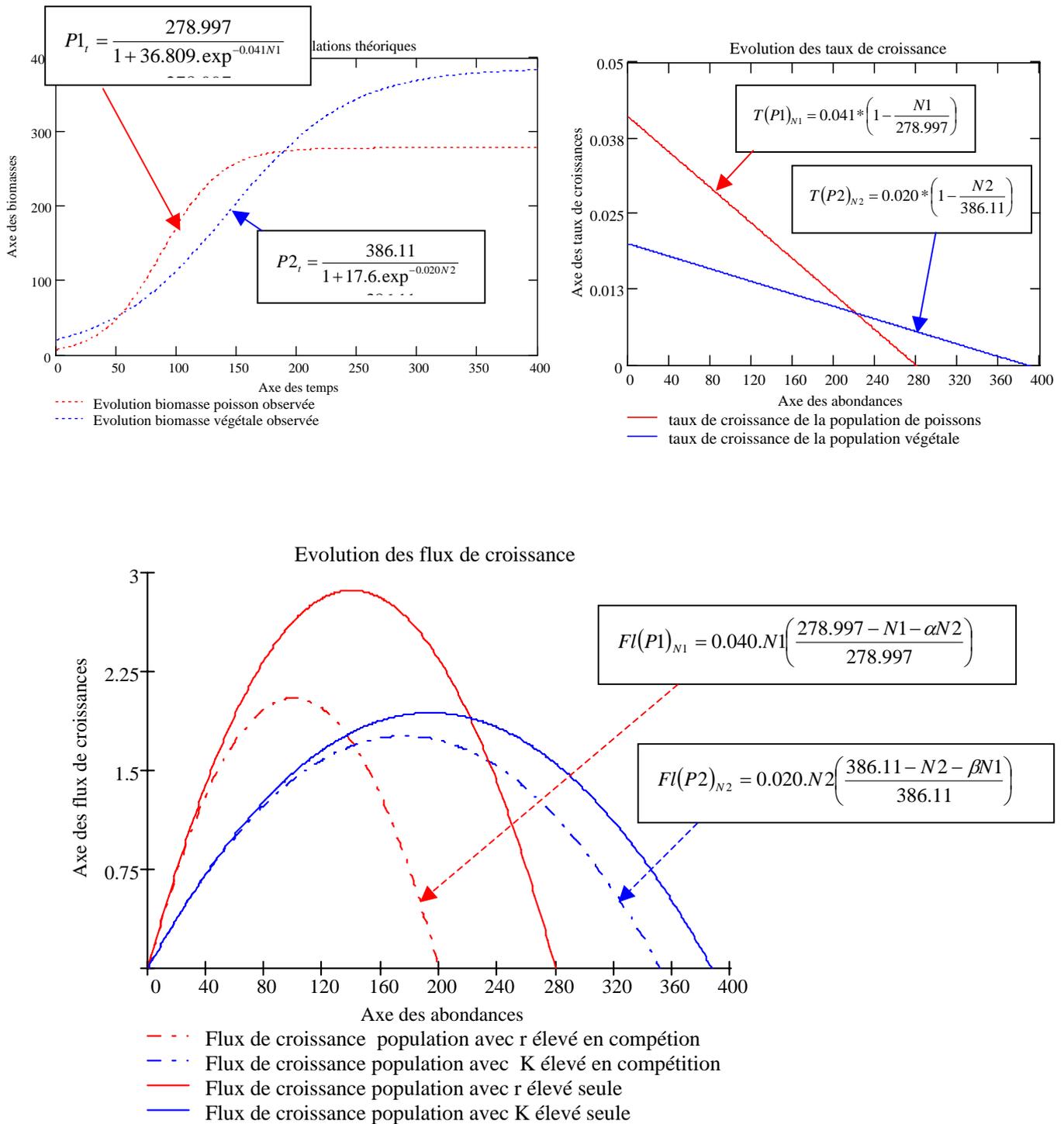


Figure 9 : Modélisation de la croissance numérique de 2 populations de type r et de type K en compétition.

Cette figure résume de manière graphique l'idée développée par MacArthur (1972)³⁵ selon laquelle les génotypes K ont à basse densité une capacité d'accroissement moindre que les génotypes r, l'inverse se produisant à forte densité. De ce fait, l'utilisation optimale de la capacité d'accueil d'un milieu déterminé par une population donnée sera fonction de son

³⁵ R.H. MacArthur (1972). *Geographical Ecology*. Harper and Row, New York, 269 pages.

génotype et de la faculté qu'elle aura d'ajuster sa stratégie démographique aux contraintes écologiques des habitats qu'elle colonise.

D'où l'intérêt de préciser dans le chapitre qui suit ce que représentent véritablement ces stratégies de type r et de type K pour les populations ichthyologiques.

La stratégie de type r et la stratégie de type K : signification pour la relation entre le stock de géniteurs et les recrues³⁶ qu'ils produisent.

Le modèle développé par MacArthur (1972) peut être élargi, ainsi que le signale Barbault (1987), aux notions de densité-dépendance d'une part et de plus ou moins grande stabilité du milieu comme régime sélectif d'autre part.

Dans ce cadre, et en accord avec Parry (1981)³⁷, la sélection r- serait la composante indépendante de la densité de la sélection naturelle. La sélection K- serait la composante densité-dépendante. Dans ces conditions et si nous nous référons à ce qui a été dit au paragraphe précédent, la sélection r- se produirait en conditions de milieux instables ou éphémères, tandis que la sélection K- opérerait plutôt dans des milieux dont les capacités d'accueil seraient moins variables ou prévisibles.

Le stratège de type r- sera donc caractérisé plutôt par une vie adulte brève, une fécondité élevée (forte résilience) et une densité variable. Le stratège de type K- serait à l'inverse mature plus tardivement, avec un cycle biologique long et une densité naturellement stable et peu inféodée aux aléas du milieu physique induits souvent par les conditions climatiques.

Cependant, cette dichotomie est sans doute trop simpliste pour pouvoir véritablement représenter la variabilité des stratégies démographiques.

Par exemple, le saumon atlantique³⁸, a une vie adulte courte et une maturité précoce. Il ne peut être pour autant qualifié de stratège de type r-, mais correspond bien au stratège de type K- en étant largement influencé par des mécanismes de régulation démographique densité-dépendant qui interviennent principalement aux jeunes stades de développement.

C'est pour cette raison qu'il apparaît plus opportun de se référer plutôt au choix de la stratégie adaptative par rapport aux caractéristiques du milieu de production de l'espèce. Seule peut être généralisée, et bien explicitée par l'équation fondamentale de Verhulst, la maximisation du paramètre K- sous l'influence des mécanismes de densité-dépendance et du paramètre r- chez des populations en situation de basses densités.

C'est ce que nous essayerons d'illustrer en prenant comme exemple deux espèces ichthyologiques dont le cycle de vie est très différent : l'anchois (*Engraulis encrasicolus*) et le saumon atlantique (*Salmo salar*) et que nous avons étudié plus précisément aux cours de nos travaux .

Le saumon atlantique et l'anchois commun : stratégies de type K et de type r- : Quelles conséquences pour leurs gestions ?

Le saumon atlantique : généralités sur son cycle biologique³⁹.

Il ne sera fait qu'un bref rappel sur les principales caractéristiques du cycle de cette espèce. On pourra se reporter aux travaux que nous avons pu produire sur cette espèce en France (cf. liste bibliographique) ou de manière plus générale ou à des ouvrages comme Ecology

³⁶ Le terme de recrues est employé ici au sens écologique du terme et est assimilé au stade de développement le plus jeune après la phase larvaire.

³⁷ G.D. Parry (1981). The meanings of r- and K- selection. *Oecologia* (Berl.), **48**: 260-264.

³⁸ On pourra consulter à ce propos P. Prouzet (1990) Stock characteristics of Atlantic salmon (*Salmo salar*) in France: a review. *Aquat. Living Resourc.*, **3**, 85-97.

³⁹ on se référera au livre le saumon atlantique (Guéguen et Prouzet 1994, Edition IFREMER) -

and Management of Atlantic Salmon (Mills, 1989), Atlantic Salmon : Planning for the future (Mills and Piggins, 1988) et Salmon migration (Thorpe 1988).

Le saumon atlantique se reproduit dans les eaux bien oxygénées des rivières de l'Atlantique Nord allant du Nord du Portugal au Nord de la Norvège à l'Est et de la Baie d'Hudson au Nord du Canada à l'Ouest.

La femelle creuse la gravière et pond en un temps très court ses œufs dans le gravier. Ceux-ci ont été lors de leurs expulsions fécondés par le ou les mâles présents. Les œufs sont répartis en plusieurs poches sur une surface n'excédant pas quelques m² ou quelques dizaines de m² (Beall, 1994). La fécondité évaluée en nombre d'œufs moyen déposés par individu dans la population dépend de plusieurs paramètres : l'âge marin, le rapport des sexes et le poids de l'individu. Le nombre d'œufs produits par kg de femelle varie entre 1500 et 2000 individus (Prouzet et Gagnon 1982, Dumas et Prouzet 2003).

Le tableau 2 nous donne une idée de la variation des caractéristiques des saumons selon le temps qu'ils ont passé en mer .

Tableau 2 - Caractéristiques de diverses populations de saumon atlantique en France

Rivière	Age en eau douce (nbre d'hivers)	Type (nbre hivers en mer)	Longueur fourche (en cm)	Poids (en gr)	Rapport des sexes	Fécondité (nbre d'œufs /kg)	références
Elorn	1 à 2	1 hiver	59,1 (3,44)	1868 (360)	1,45M/1F	1705 (69)	Prouzet(1990) (Prouzet et Gagnon (1982) Prouzet et Jézéquel (1983)
Elorn	1 à 3	2 hivers	74,03 (3,41)	4013 (563)	0,24M/1F		Prouzet(1990) Prouzet et Jézéquel (1983)
Elorn	1 à 2	3 hivers	79,42 (4,23)	4863 (813)	0,30M/1F		Prouzet(1990) Prouzet et Jézéquel (1983)
Aulne	1 à 3	2 hivers	73,85 (3,72)	3832 (605)			Prouzet (1984)
Aulne	1 à 2	3 hivers	80,61 (4,16)	5003 (900)			Prouzet (1984)
Loire	1 à 2	2 hivers	80,9 (5,2)	4645			Prouzet (1990)
Loire	1 à 2	2 hivers	96,5 (4,5)	7728			Prouzet (1990)
Adour	1 à 2	1 hiver	65,8 (3,8)	2991 (581)	1,44M/1F		Prouzet (1990)
Adour	1 à 2	2 hivers	78,2 (4,2)	5076 (826)	0,31M/1F		Prouzet (1990)
Adour	1 à 2	3 hivers	94,5 (4,0)	9115 (1558)	0,58M/1F		Prouzet (1990)
Nivelle	1à 2	1 hiver		2528 (116)		1661	Dumas et Prouzet (2003)
Nivelle	1 à 2	2 hivers		4884 (296)		1740	Dumas et Prouzet (2003)

On notera que la production d'œufs d'un groupe d'individus de type déterminé (castillons ou grilses, petit et grand saumons de printemps ou d'été) dépend du nombre de géniteurs produits, mais aussi de la capacité à produire des individus ayant séjourné un plus long temps en mer et se reproduisant de ce fait plus tardivement. Notons également que les individus qui reviennent plus précocement dans leur rivière d'origine sont en majorité des mâles alors que les saumons ayant séjourné plusieurs hivers en mer sont généralement des femelles. Ce fait est courant pour les populations de migrateurs amphihalins. C'est le cas également pour l'alose (Prouzet, Martinet et Badia 1994).

La diversité de cette population exprimée par la répartition des individus dans différentes classes d'âge de mer est liée à sa variabilité génétique originelle, mais aussi à l'influence de paramètres environnementaux comme l'éloignement des aires de ponte de l'embouchure et la dureté d'accès des saumons aux frayères (Schaffer et Elson 1975, Prouzet 1990).

Les comparaisons des caractéristiques des captures effectuées sur l'Adour à la fin du 19^{ème} et du 20^{ème} siècles confirment ces précédents travaux (Cuende et Prouzet 1992) et montrent parallèlement à la diminution de l'accessibilité des frayères du cours supérieur des Gaves au cours du 20^{ème} siècle, une chute de la présence de grands saumons (3 et 4 hivers de mer) dans les captures professionnelles (80% de plusieurs hivers de mer à la fin du 19^{ème} pour 50% environ à la fin du 20^{ème}).

Outre, l'effet sur la survie des œufs (les frayères du cours inférieur étant de qualité moindre en termes de perméabilité à l'oxygène), la pression de sélection moins forte tend à produire des saumons plus jeunes et de poids moyens au même âge de mer inférieur (Prouzet 1990, Cuende et Prouzet 1992). Cela n'est pas sans effet sur le reproducteur moyen de la population et en conséquence sur son évolution démographique. Un simple calcul en appliquant la formule du potentiel reproducteur moyen pondéré (Prouzet 1992) :

$$PR_{moyen} = \sum_{i=1}^T (Pr_i * \bar{P}_i * \frac{SR_i}{100} * 2000)$$

avec T : le nombre de types de saumons ; Pr_i : proportion de chaque type de saumon dans les captures ; P_i : le poids moyen de chaque type et SR_i la proportion de femelles

montre en effet qu'au 19^{ème} siècle le potentiel reproducteur moyen par individu était le double (9000 œufs) de celui des individus remontant les Gaves à la fin du 21^{ème} siècle (4700 œufs). Bien évidemment l'évolution démographique et le rendement par recrue de la population dépendent d'autres facteurs comme la survie des jeunes et le taux de retour des subadultes à la rivière d'origine. Ces effets combinés sont analysés ultérieurement de manière stochastique.

Expression de la relation entre le stock et le recrutement pour un stratège considéré comme de type K-

Chez les salmonidés comme le saumon atlantique, ce sont les adultes qui prospectent avec soin l'environnement afin de trouver le milieu adéquat qui permet d'assurer un maximum de réussite à la ponte et vont jusqu'à enfouir leurs œufs dans le sédiment. Dans ce cas les individus pondent en une fois et durant un temps très court dans un milieu relativement restreint, soumis à des conditions très fluctuantes, mais où la nourriture est répartie de manière plus homogène.

Chez ces espèces, il est couramment admis que les tailles des populations sont régulées en grande partie par des phénomènes qui dépendent de la densité au stade jeune, c'est à dire pendant la phase de production juvénile -ou pour les salmonidés anadromes avant la migration des smolts en mer- (Prouzet 1979, 1994). En effet, la régulation de l'abondance se fait par l'établissement de territoires dont le nombre est défini pour un environnement et une capacité biotique déterminés⁴⁰.

⁴⁰ Le comportement territorial de l'alevin de salmonidés a été décrit par de nombreux auteurs (Kalleberg 1958, Allen 1969, Chapman et Bjorn 1969, Mac Fadden 1969, Le Cren 1970, Symons et Heland 1978). Par le biais de ce comportement le fond se transforme en une mosaïque de territoires dont la grandeur (donc le nombre pour une aire donnée) est influencée par certains facteurs, tels l'espèce (Allen 1969), la taille du poisson, le courant, l'irrégularité du fond (Kalleberg 1958, Allen 1969, Grant et Kramer 1990), la température (Chapman et Bjorn 1969), la nourriture (Symons 1961, 1971, Chapman 1966, Slaney et Northcote 1974). Cette distribution territoriale liée à la compétition nutritionnelle (Kalleberg 1958, Kennleyside et Yamamoto 1962) et à la compétition spatiale intra et inter-spécifique (Chapman 1966, Symons et Heland 1978, Heland et Dumas 1994) permet une répartition plus uniforme des alevins grâce à l'établissement d'une mosaïque territoriale.

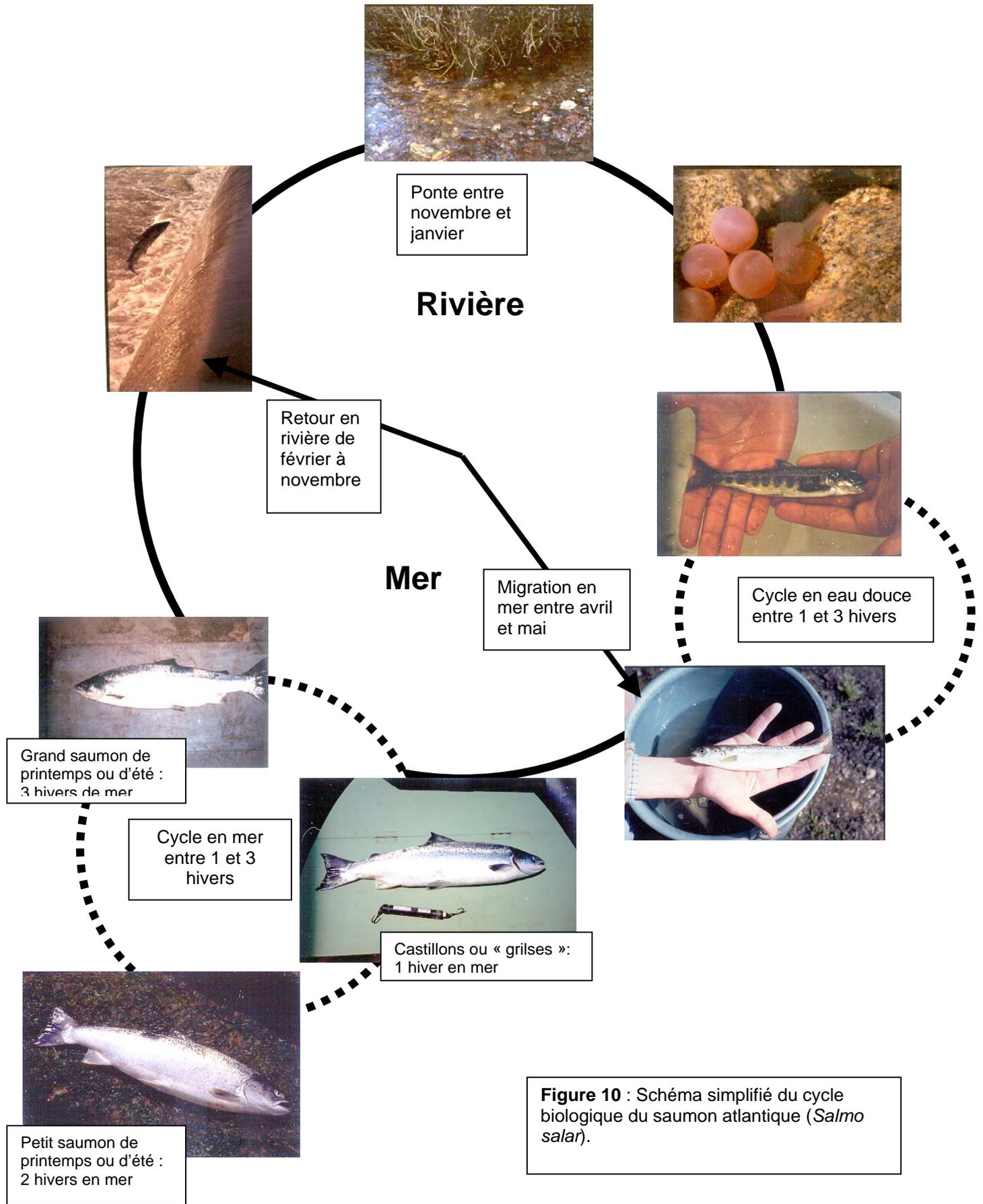


Figure 10 : Schéma simplifié du cycle biologique du saumon atlantique (*Salmo salar*).

Les travaux effectués sur la population de saumons atlantiques de La Nivelles (Dumas et Prouzet 2003) permettent d'illustrer ces phénomènes de densité-dépendance aux stades jeunes (tableau 3 et figure 11).

Tableau 3 – Evolutions du nombre d'œufs déposés sur les frayères de la Nivelles de 1991 à 2000 et du nombre d'alevins produits (d'après Dumas et Prouzet 2003).

Cohorte	Œufs déposés	Tacons O+	Tacons 1+
1991	745 700	4206	604
1992	528 100	3105	340
1993	709 400	2640	540
1944	1 208 300	1956	263
1995	792 800	1751	143
1996	446 500	5068	648
1997	671 000	5888	790
1998	387 400	5392	979
1999	374 500	8797	1334
2000	477 000	9865	

L'expression de la relation entre le nombre d'œufs déposés et le nombre de juvéniles produits est couramment décrite par une équation de type exponentielle prenant en compte le jeu de mécanismes compensateurs. Les propriétés de ce type de modèles ont été abondamment décrites par Ricker (1954), Paulik, Larkin (1973).

L'équation générale, pour l'exemple évoqué ici, peut être exprimée selon la formulation de Larkin et Hourston (1964) : $tacons_{0+} = \alpha \cdot oeufsdéposés \cdot \exp(-\beta \cdot oeufsdéposés)$

L'optimum de cette courbe qui lie le stock aux recrues qu'il génère (d'où l'appellation de relation stock-recrutement) est atteinte lorsque la dérivée première de l'équation s'annule, c'est à dire lorsque $(1 - \beta \cdot oeufsdéposés) \cdot \alpha \exp(-\beta \cdot oeufsdéposés) = 0$. On peut ainsi définir

l'optimum par ses coordonnées, soit en abscisse : $\frac{1}{\beta}$ et en ordonnée : $\frac{\alpha}{\beta \cdot e}$. Cela permet en

définitive de préciser de manière déterministe un taux de survie théorique des œufs aux tacons₀₊ égal à : $\frac{\alpha}{e}$.

Cela illustre parfaitement ce que peut être un stratège de type K qui utilise, au-dessus d'un certain seuil d'abondance, une stratégie démographique lui permettant d'ajuster sa population aux stades jeunes, à l'importance de la surface de production disponible et non à l'abondance des géniteurs (exprimée en nombre d'œufs déposés). On comprendra ainsi que la taille de la population dépende de la grandeur des zones de production, mais on verra également et ultérieurement que la productivité de la population (exprimée en nombre de recrues par géniteur) n'a rien à voir avec cette taille, mais reste contrôlée par la « qualité »⁴¹ des zones de production. Cette constatation joue un rôle très important pour ce qui concerne l'aménagement des pêches et les effets de la variation de l'effort de pêche sur le devenir d'une population (cf. § sur la stochasticité).

La vitesse de croissance de la population (figure 12) décroît jusqu'à une valeur négative puis se stabilise et tend vers zéro lorsque la population tend vers l'infini. L'annulation de la pente correspond à l'optimum de la courbe de croissance de la population. La valeur de la pente à l'origine est la valeur du paramètre α . Celui-ci va déterminer la forme de la courbe et la vitesse d'accroissement de la population. La pente s'annule et coupe l'axe des abscisses en un point qui correspond à la valeur de la biomasse parentale donnant un niveau de recrutement maximal.

⁴¹ Ce terme sera défini ultérieurement car sa signification est complexe et englobe de nombreuses variables.

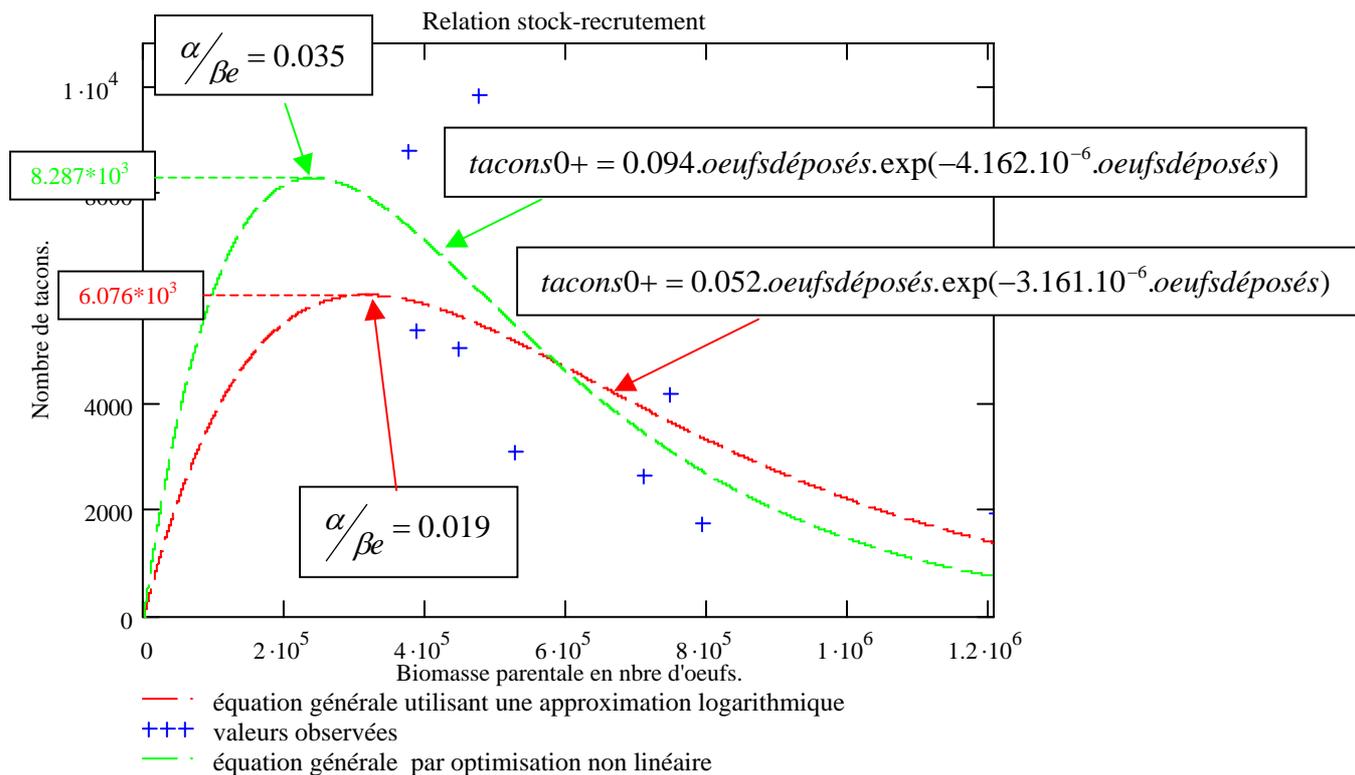


Figure 11 : Modèle de « type Ricker » montrant l'effet de phénomènes compensateurs de densité dépendance pour la population de saumons juvéniles de la Nivelles.

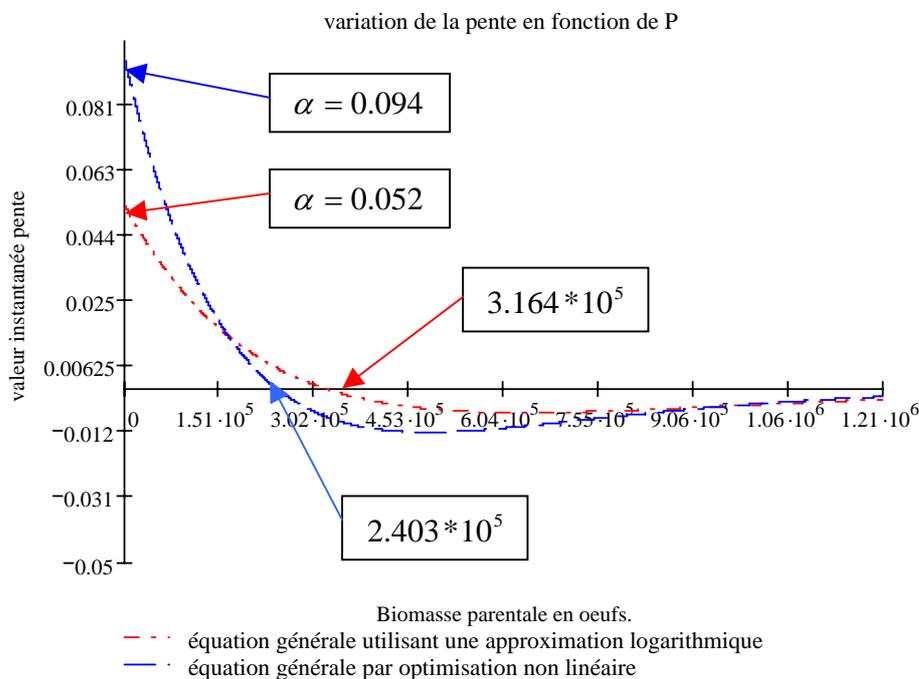


Figure 12 : évolution de la valeur instantanée de la pente de la courbe en fonction de la biomasse parentale.

L'anchois commun (*Engraulis encrasicolus*) : généralités sur son cycle biologique dans le golfe de Gascogne.

L'anchois du golfe de Gascogne (*Engraulis encrasicolus*) pond principalement au printemps entre les mois de mai et juin, mais la ponte peut s'étaler du mois d'avril au mois d'août (Motos et al 1996). Comme chez beaucoup de poissons de zones tropicales ou tempérées la fécondité annuelle est saisonnièrement indéterminée. Au moment de la saison de ponte, on observe une maturation continue des ovaires avec une apparition de lots d'ovocytes selon une fréquence bien déterminée. D'après Motos (1994) l'anchois pond entre 20 et 25 fois par saison. Les œufs de forme ovoïde sont facilement reconnaissables des œufs de sardine ou de chinchard présents au même moment dans le plancton. La ponte s'effectue en surface. La fécondité par ponte est comprise entre 10000 et 15000 œufs, ce qui représente une fécondité journalière par gramme d'anchois en ponte comprise entre 60 et 70 œufs par gramme. On estime qu'environ le quart des femelles est journalièrement en ponte (Motos et al 1994). Les principales zones de frayères recensées sont situées en face de l'estuaire de la Gironde et entre l'estuaire de l'Adour et le gouf de Capbreton (Uriarte et al 2000, cf. figure 13).

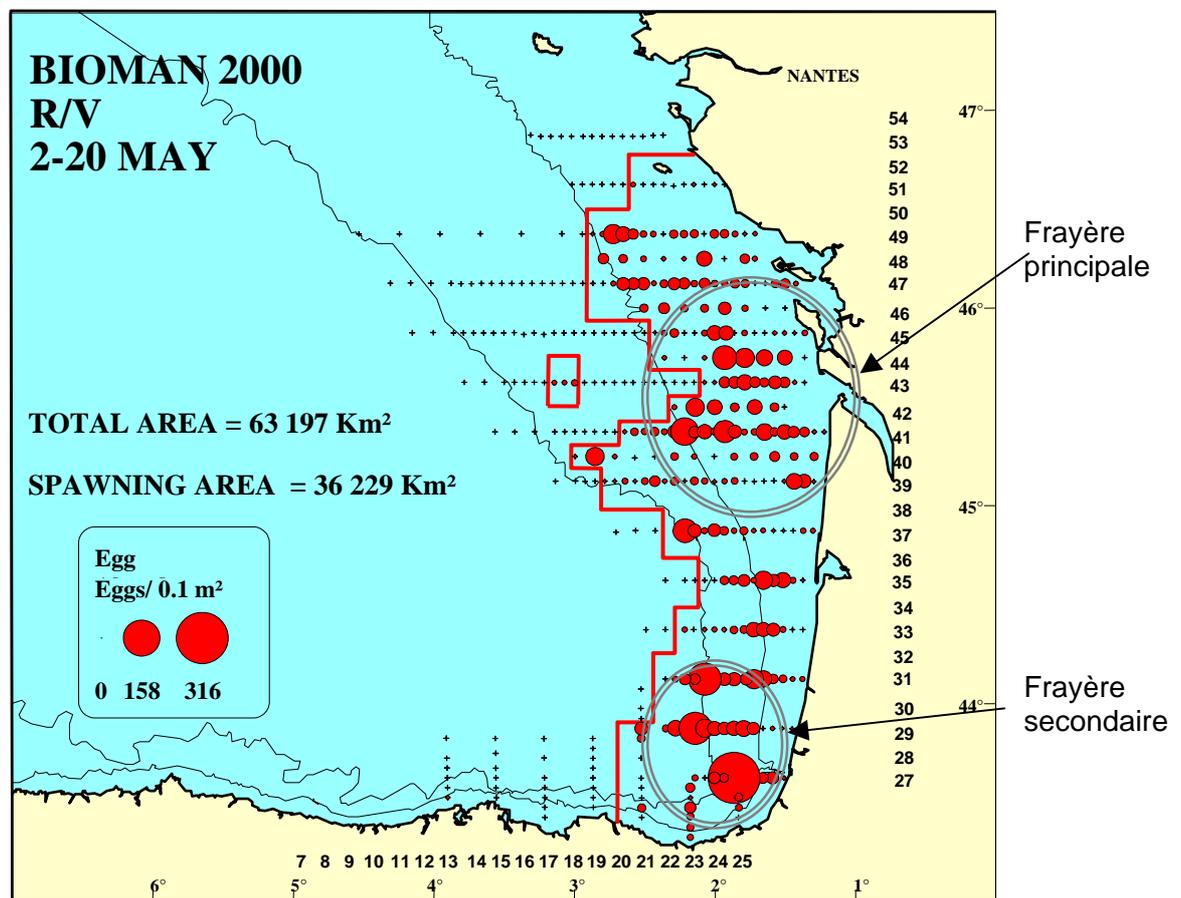


Figure 13 : Dispersion et abondance des œufs d'anchois (*Engraulis encrasicolus*) dans le golfe de Gascogne durant le printemps 2000 (d'après Uriarte et al 2000⁴²).

La ponte débute d'abord dans le sud du golfe de Gascogne puis l'aire de ponte s'étend progressivement et se déplace vers le centre du Golfe. On note cependant suivant les

⁴² Uriarte, A., L. Motos, M. Santos, P. Alvarez et P. Prouzet, 2000. Preliminary Anchovy Biomass estimate from survey BIOMAN 2000. WD to the ad'hoc STECF sub-group on Anchovy Brussels 29-31 May 2000.

années de fortes différences entre la distribution des œufs : parfois concentrés à la côte, parfois plus au large, parfois très concentrés vers le centre du Golfe et certaines années principalement répartis dans le sud (figure 14, saisons de ponte de la période 1998 – 2005, d'après Uriarte *et al* 2005).

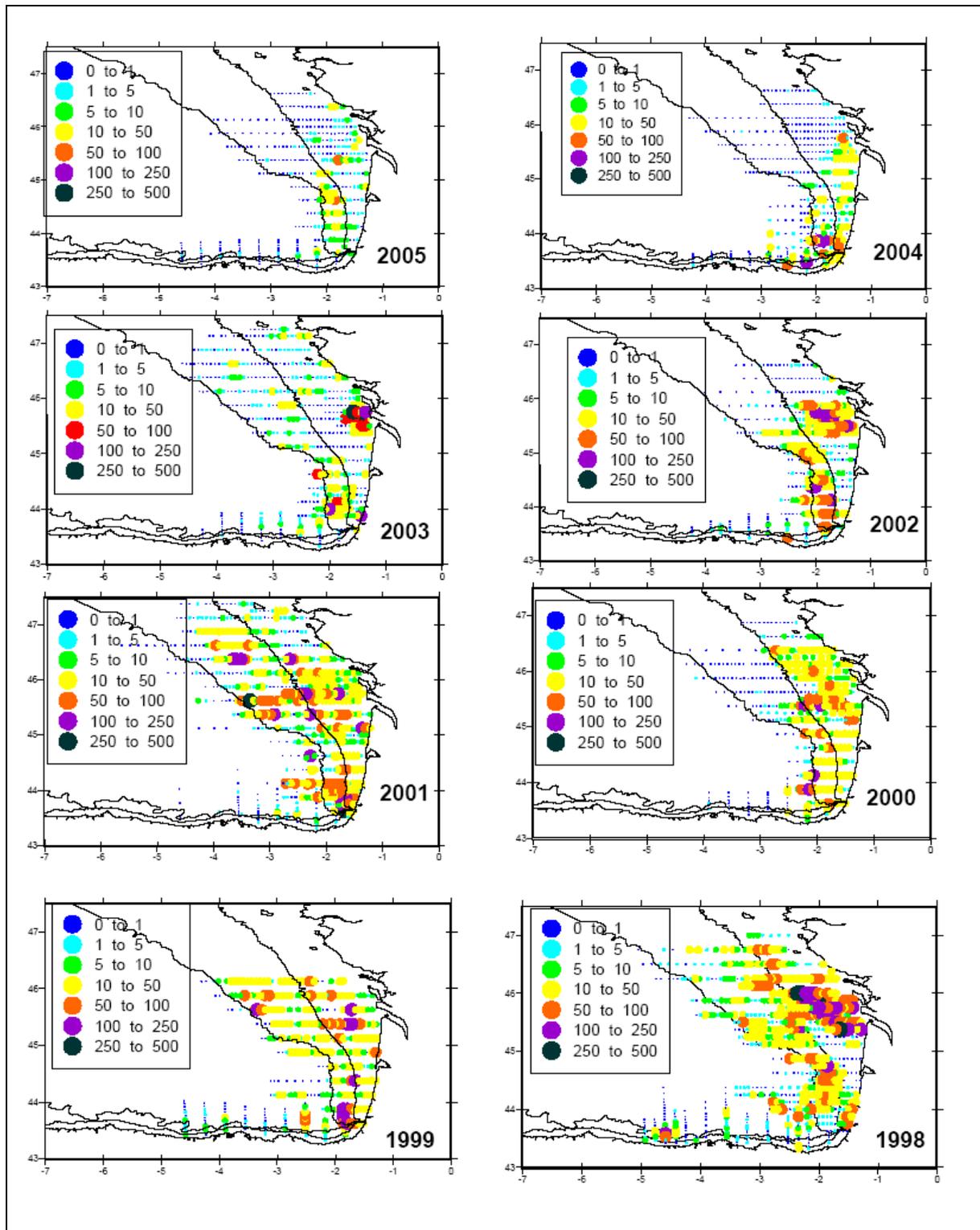


Figure 14 : distributions des œufs d'anchois durant les saisons de ponte de la période 1998 – 2005 d'après Uriarte *et al* 2005).

En fait, il existe chez ce type de poisson que l'on classe dans la catégorie des « petits pélagiques », une relation très étroite entre l'expansion géographique de la population et son importance numérique. La figure 15 montre, en effet, une relation étroite entre la surface de ponte effective⁴³ et la taille de la population dans le golfe de Gascogne. Ce phénomène limite les situations de concentrations trop fortes des larves et permet à la population d'éparpiller des larves dans des zones potentiellement favorables à leur survie.

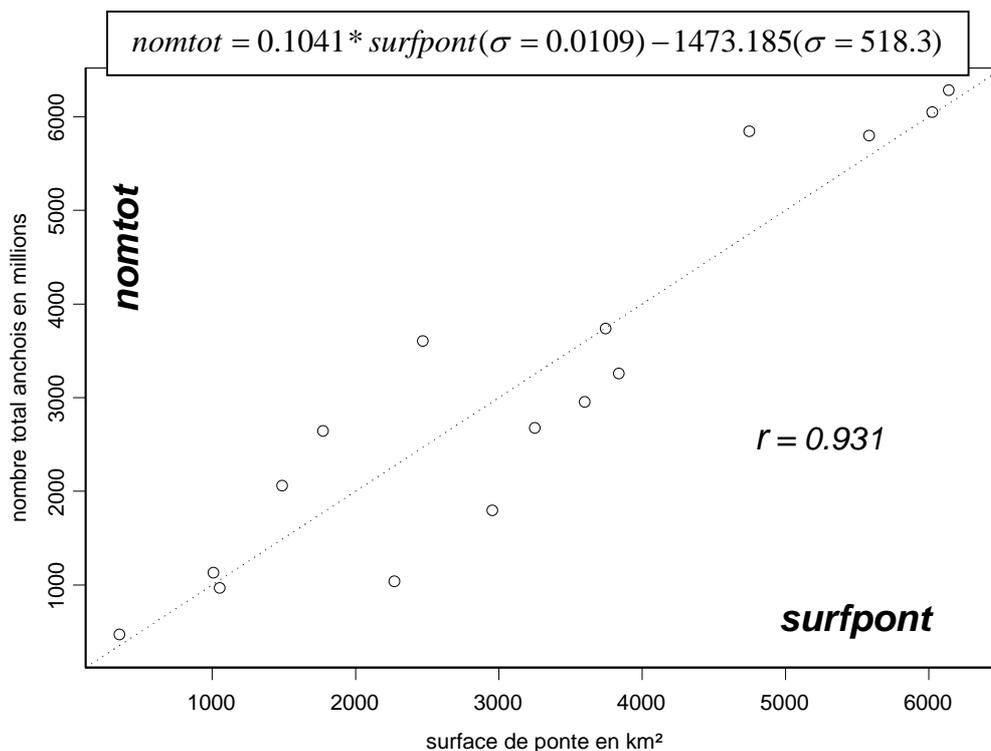
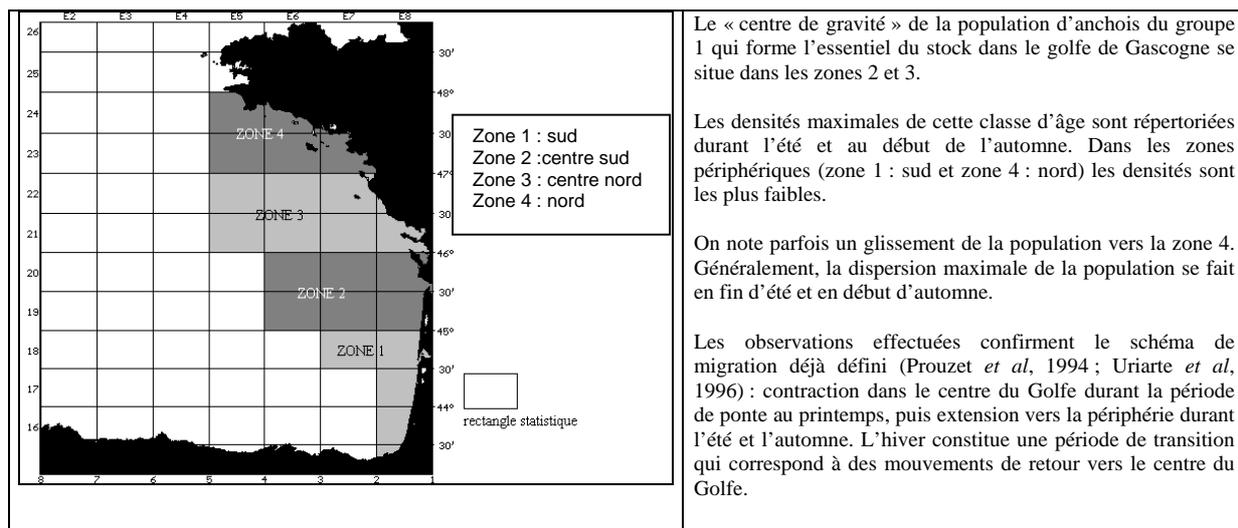


Figure 15 : relation entre le nombre d'anchois en millions et la surface de ponte effective en km².

Cette stratégie démographique ne permet cependant pas d'éliminer les fortes fluctuations d'abondance que nous observons pour cette espèce dans cette zone ainsi que nous le rappelle la figure 18. La survie des larves est en fait conditionnée principalement par des phénomènes physiques qui ont été évoqués au § portant sur la capacité d'accueil d'un milieu (cf. tableau 1).

L'anchois effectue principalement ses migrations génésiques au printemps et en début d'été dans la partie sud et centre du Golfe. Ses migrations trophiques ont une extension plus large ainsi que le montre (Prouzet et al 1999) par l'étude de la variabilité des captures par unité d'effort de certaines flottilles de chalutiers pélagiques. Ces migrations peuvent être résumées comme suit en fonction de zones géographiques (d'après Prouzet et al 2000) :

⁴³ Zone où les œufs d'anchois sont trouvés dans les filets à plancton.



Le « centre de gravité » de la population d'anchois du groupe 1 qui forme l'essentiel du stock dans le golfe de Gascogne se situe dans les zones 2 et 3.

Les densités maximales de cette classe d'âge sont répertoriées durant l'été et au début de l'automne. Dans les zones périphériques (zone 1 : sud et zone 4 : nord) les densités sont les plus faibles.

On note parfois un glissement de la population vers la zone 4. Généralement, la dispersion maximale de la population se fait en fin d'été et en début d'automne.

Les observations effectuées confirment le schéma de migration déjà défini (Prouzet *et al.*, 1994 ; Uriarte *et al.*, 1996) : contraction dans le centre du Golfe durant la période de ponte au printemps, puis extension vers la périphérie durant l'été et l'automne. L'hiver constitue une période de transition qui correspond à des mouvements de retour vers le centre du Golfe.

L'anchois ainsi que tous les petits pélagiques est caractérisé par une mortalité naturelle au moment de la période larvaire élevée et très variable.

La variabilité du recrutement annuel est très forte chez les clupéidés, même en l'absence d'exploitation comme le montrent les observations de Soutar et Isaacs (1974) ou celles de De Vries et Percy (1982) sur le dénombrement des restes de poissons dans les sédiments. Soutar et Isaacs montrent, en particulier, que la fréquence d'écaillés par niveau sédimentaire, il y a de cela une centaine d'années, est très variable alors que les clupéidés au large de la Californie n'étaient pas exploités commercialement. Il est ainsi évident, qu'indépendamment de la pêche, l'environnement peut influencer de façon marquée l'abondance des populations halieutiques.

Un certain nombre d'auteurs ont avancé des hypothèses pour expliquer cette variabilité de la mortalité naturelle des larves.

Parmi ceux-ci, on peut citer Hjort (1914, 1926) qui définit l'« hypothèse de la période critique ».

Selon Hjort, la recherche de nourriture avant la fin de résorption de la vésicule et la mort rapide sans nourriture adéquate permet d'expliquer l'apparition simultanée de classes d'âges importantes appartenant à des espèces aussi différentes que le hareng et la morue : « quand les larves, en début d'alimentation, trouvent en abondance la nourriture qui leur convient, plusieurs populations appartenant à des espèces différentes peuvent simultanément en bénéficier » ; par contre quand la nourriture fait défaut, les classes annuelles sont faibles.

Hjort (1926) précise l'hypothèse énoncée : « les individus qui, au moment même de leur éclosion, ne réussissent pas à trouver la nourriture dont ils ont spécifiquement besoin, sont sûrs de mourir de faim. Autrement dit, pour qu'une classe d'âge soit prospère, il faut que l'éclosion des œufs coïncide avec la poussée des plantes et des nauplii qui sont essentiels aux larves ».

C'est en laboratoire que l'hypothèse de « la période critique » a été étayée. Une étude sur l'anchois de Californie montre que les larves d'anchois ont besoin de concentrations en organismes nutritifs relativement plus élevées que celles que l'on rencontre en moyenne dans leur habitat (O'Connell et Raymond 1970). Lasker (1975) conforte ces observations par d'autres faites *in situ* à bord d'un bateau sur des larves nouvellement écloses et placées dans des échantillons d'eau prélevés à différentes profondeurs. Au début de leur alimentation, les larves d'anchois ont besoin de particules de taille au moins égale à 20-30µm, de bonne qualité nutritive et de concentration supérieure à 20 à 30 par ml. Ces conditions ne se trouvent réunies que dans certaines zones, notamment dans les couches à maximum de chlorophylle où les particules sont agrégées en masse et sont constituées d'organismes nutritifs comme les dinoflagellés non armés. Depuis, l'importance des dinoflagellés dans la nutrition des larves de poisson en début d'alimentation a été confirmée :

poissons plats de la Manche (Last 1978), gadidés (Last 1978), alose du golfe du Mexique (Govoni et al 1983, Stoecker et Govoni 1984).

Cette thèse de la période critique s'est trouvée renforcée par la découverte de concentrations de larves d'anchois de Californie (O'Connell 1976, 1980) et de Chinchard du Pacifique (*Trachurus symmetricus*) (Theilacker 1986), complètement sous-alimentées dans leur habitat naturel.

Cela veut probablement dire que la production absolue de nourriture n'est peut être pas la variable la plus importante parmi les déterminants de la survie larvaire.

L'adéquation des proies aux besoins trophiques des larves serait plus importante. Ces agrégations de proies peuvent apparaître par taches au sein de vastes étendues de faible productivité moyenne. La taille des proies et leur adéquation avec les caractéristiques anatomiques des larves ou juvéniles d'anchois serait également un facteur important à prendre en compte dans la survie des différentes cohortes. L'importance de la taille des proies et notamment de la relation entre la taille de la bouche des juvéniles et des particules alimentaires a été largement démontrée en conditions expérimentales principalement sur les salmonidés (Gaignon 1994). L'ensemble de ces interactions et de ces synchronismes peut être défini et résumé par ce que Cushing en 1975 appelle « l'hypothèse de coïncidence ».

La deuxième hypothèse forte est exprimée par Lasker en 1981. Elle est connue sous le nom « d'hypothèse de la stabilité océanique ».

Schématiquement, elle correspond au processus physique suivant : les périodes de mauvais temps et les *upwellings* engendrent une turbulence dans la colonne d'eau susceptible, en disloquant les concentrations d'organismes alimentaires, de faire descendre leur densité en-dessous du seuil trophique. Cury et Roy (1989) affinent cette théorie en définissant des fenêtres environnementales optimales qui correspondent à des conditions d'*upwelling* modérés en dehors desquelles le recrutement diminue.

Pour ce qui concerne, l'écosystème du golfe de Gascogne qui nous intéresse ici plus particulièrement, les déterminants de cette mortalité sont également à rechercher dans la fluctuation des paramètres hydroclimatiques ainsi que le montrent Borja et al (1996) puis Allain (2004). Des nombreuses observations effectuées sur la variabilité et les caractéristiques physiques de l'écosystème, quatre facteurs forçants ont été retenus : les phénomènes d'« *up* et de *downwelling* », la turbulence dans la colonne d'eau et la température.

L'effet des *upwelling* « remontées d'eaux froides du fond » est non seulement de fournir des eaux plus riches en sels nutritifs, mais aussi de faire remonter la thermocline vers la surface et de concentrer la production planctonique dans une zone superficielle (de quelques mètres) où les œufs d'anchois puis les larves se trouvent. Les vents modérés de Nord et d'Est sont propices au printemps à l'apparition de tels phénomènes notamment au voisinage des côtes landaises. C'est un facteur positif du recrutement si les courants d'advection superficiels produits par les vents du Nord ne dispersent pas les larves et leur nourriture.

Les *downwelling* « enfoncement des eaux superficielles » sont liés aux vents d'ouest et de sud. Ils pourraient avoir un effet négatif sur la survie des œufs et larves en les dispersant dans la colonne d'eau. Ils provoquent également l'enfoncement des eaux dessalées en provenance des panaches estuariens riches en sels nutritifs. Ils appauvrissent, de ce fait, la colonne d'eau.

La turbulence joue un rôle sur la dispersion des agrégats planctoniques et peut affecter la distribution verticale des œufs et des larves d'anchois.

Enfin, la température printanière et estivale en jouant sur la vitesse de développement larvaire, puis des juvéniles constitue également un facteur important sur la survie et la croissance des individus appartenant à chaque cohorte. Allain (2004) montre l'influence positive de la température sur la croissance des larves d'anchois dans le Golfe lorsque celle-ci est située entre 13 et 19°C. L'optimum se situerait vers 19°C.

Des tentatives de modélisation concernant l'influence de ces paramètres environnementaux sur le devenir des individus afin de mieux prévoir l'intensité à court terme du recrutement ont été effectuées.

Borja et al (1996) établissent un premier modèle permettant d'expliquer une part significative de la variabilité d'un indice de recrutement (66% de variance expliquée) à partir de l'intensité de l'*upwelling* entre mars et juillet et celle de la turbulence entre mai et janvier. Ce modèle est décrit par l'équation suivante : $IR = 1447 + 5,04 * U - 26,93 * T$ avec IR : indice de recrutement construit à partir des captures par unité d'effort (cpue) de la pêche des senneurs espagnols et tel que :

$$IR_y = \sum_{a=1}^4 CPUE_{a,y+a}$$

avec y : année de capture et a : âge en année ; U : intensité de l'*upwelling* en $m^3 \cdot s^{-1} \cdot km^{-1}$ et T : turbulence en $m^3 \cdot s^{-3}$.

Ce modèle descriptif confirme l'effet significatif de l'intensité de l'*upwelling*, mais semble indiquer un effet mineur de la turbulence⁴⁴.

Afin d'essayer de mieux comprendre l'effet de ces variables physiques sur la dispersion des œufs et larves et la probabilité d'entrée dans le stade juvénile, Arino et Prouzet ont proposé en 1997, un premier projet de recherche à la Direction des Pêches de l'Union européenne⁴⁵. Les résultats obtenus permettent de simuler la croissance de la larve en fonction de la température et son entraînement passif par les courants et la turbulence verticale, et de montrer la répartition des larves à partir de la matrice de répartition des œufs observés par les campagnes d'évaluation de la densité en œufs dans le golfe de Gascogne (Arino, Boussouar et Prouzet 1999, Boussouar et al 2001) (figure 16).

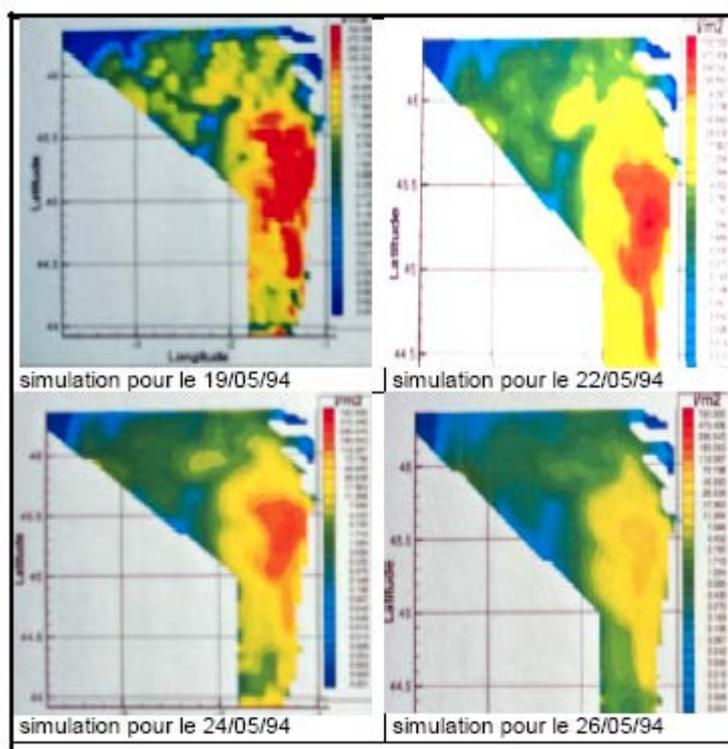


Figure 16 : simulation de la survie d'une cohorte d'œufs du 19 au 26 mai 1994 (d'après Arino, Boussouar et Prouzet 1999)

⁴⁴ en fait, l'indice de turbulence utilisé par Borja et al (1996) est un indice indirect de la turbulence et estimé à partir de la tension du vent à la surface de la mer. Cet indice n'a pas un effet significatif sur l'indicateur de recrutement comme le montre la table d'analyse de variance du modèle de régression multiple.

⁴⁵ Modélisation du stade larvaire de l'anchois du golfe de Gascogne. Estimation de la probabilité d'entrée dans le stade juvénile - *project 96/048/DG XIV*.

Allain (2004)⁴⁶ montre à partir d'un modèle couplant la physique et la biologie le rôle positif de la température sur la survie larvaire, mais un effet plutôt négatif de la stratification thermique sur les jeunes stades. Cela a permis de caractériser deux habitats potentiels de ponte très différents en ce qui concerne la capacité d'accueil : au large des micro-cohortes de larves très désavantagées par des proies en faible nombre avec des stratifications qui empêchent les échanges entre les couches hydrologiques et une abondance *a priori* plus grande de prédateurs pélagiques ; au voisinage des accores, les larves rencontrent des eaux enrichies avec des échanges qui se font dans une colonne d'eau peu stratifiée et avec des rétentions. L'influence des vents est également notée en intensité et en direction avec une influence positive des régimes de nord/nord-est par rapport aux régimes de vent d'ouest. Cela confirme les résultats de Borja et al (1996).

Cet auteur montre également l'interaction entre la dynamique de la ponte et les caractéristiques de l'environnement sur la survie des micro-cohortes. Cela n'avait pas été pris en compte dans les premiers travaux de modélisation (cf. Boussouar et al 2001) et permet de bien différencier la notion d'habitat potentiel et d'habitat favorable dont l'extension contrôle directement l'intensité du recrutement.

Cette variabilité de la mortalité naturelle ne se manifeste pas uniquement durant la période larvaire, mais également comme le montrent Prouzet et al (2000) sur cette espèce, après la première ponte : variation de 1 à 7 (tableau 4 et figure).

Tableau 4 - Simulation des estimateurs de *Z*, *F* et *M* et de leurs intervalles de confiance

COHORTE	Z(DEPM)	Z (CPUE)	Int. Conf. Z (90%)		F est.	Int. Conf. F (90%)		M est.	Int. Conf. M (90%)	
1986	0,93	1,16	0,75	1,57	0,59	0,34	0,97	0,57	0,13	0,98
1987	2,09	4,56	3,41	5,70	0,98	0,58	1,67	3,59	2,69	4,61
1988	0,60	1,93	1,70	2,17	0,63	0,50	0,78	1,30	1,05	1,54
1989	2,96	3,76	2,90	4,62	0,71	0,43	1,14	3,01	2,15	3,73
1990	1,16	1,94	1,68	2,21	1,20	0,87	1,67	0,74	0,36	1,05
1991	2,32	1,92	1,58	2,25	0,43	0,27	0,74	1,48	1,12	1,82
1992	2,82	2,82(*)	2,44	3,20	0,24	0,15	0,39	2,58	2,21	2,96
1993	1,92	2,67	2,18	3,16	1,01	0,68	1,54	1,65	1,07	2,14

Ces hypothèses sont prises en compte pour expliquer les fortes variations de l'abondance de la population d'anchois du golfe de Gascogne (Uriarte et al 1996), mais ne permettent pas de prévoir à court terme les variations d'abondance de cette population de type *r* pour des raisons que nous allons expliciter au § suivant. La figure 17 résume les contraintes s'exerçant sur le cycle et les principales phases du cycle : stratification de la colonne d'eau, importance du panache des fleuves, contrôle thermique de la croissance, exploitation par pêche et répartition des flottilles calquées sur les migrations trophiques des adultes. Il faudrait également ajouter à ce schéma les remontées d'eaux froides riches en sels nutritifs apparaissant le long des côtes landaises et aux accores du plateau continental.

⁴⁶ Thèse d'Halieutique sur la modélisation biophysique pour la prévision du recrutement : Couplage stochastique d'un modèle individu-centré de croissance larvaire avec un modèle hydrodynamique 3D pour développer un indice de recrutement de l'anchois dans le golfe de Gascogne. – ENSAR – Vie-Agro-Santé 2004, 178 pages + annexes.

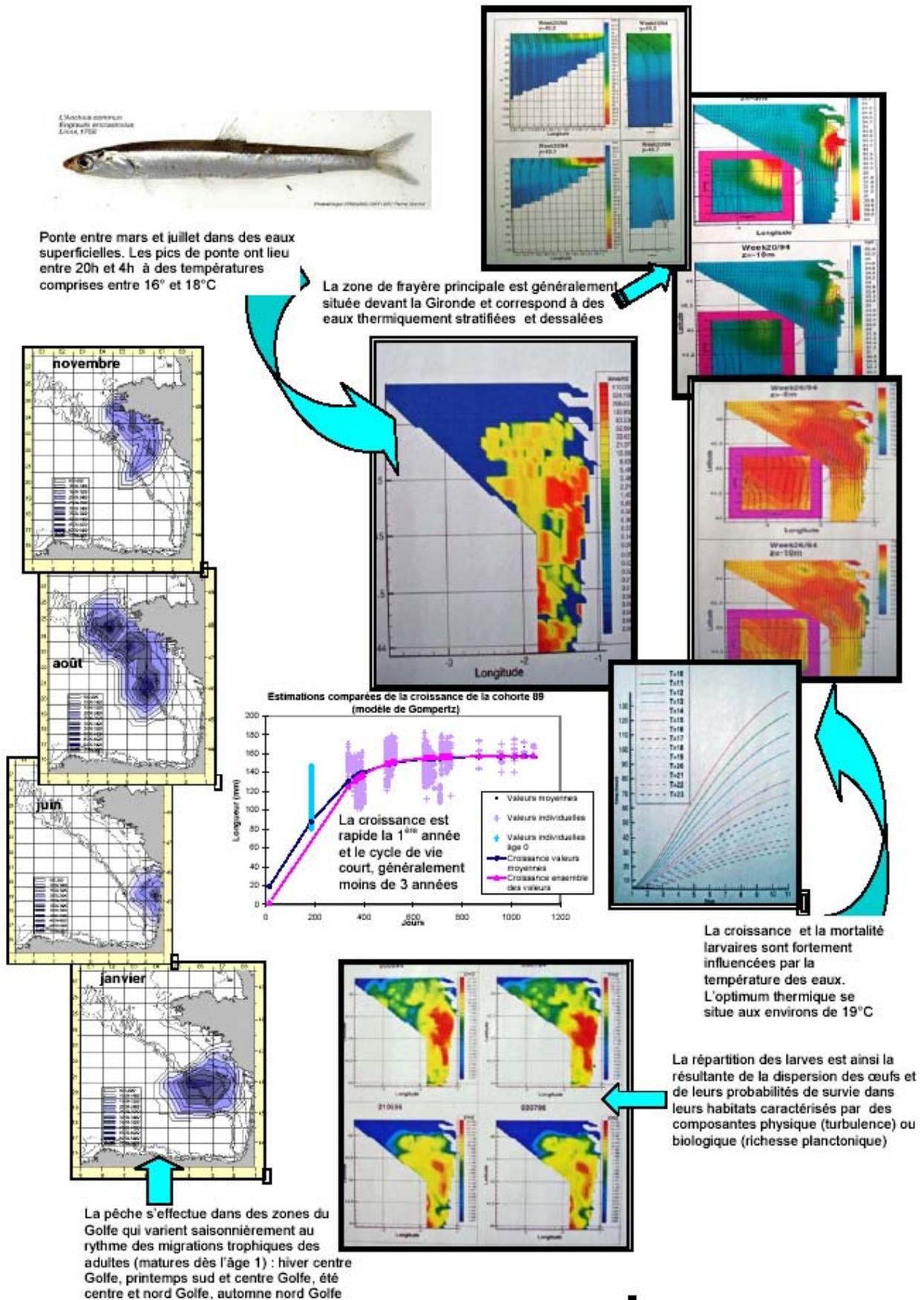


Figure 17 : Schéma du cycle biologique de l'anchois commun (*Engraulis encrasicolus*) et facteurs de contrôle

Expression de la relation entre le stock et le recrutement pour un stratège considéré comme de type *r*-.

La biologie de cette espèce montre que ceux sont des poissons à fécondité élevée qui dispersent leurs œufs et larves dans un vaste environnement dont l'évolution est souvent imprévisible (cf. tableau 1). Le fractionnement de leurs pontes et la période de temps relativement longue durant laquelle ils émettent leurs produits génitaux, permettent d'augmenter les chances de réussite globale de la reproduction.

Si, chez le stratège de type *K*-, ceux sont les géniteurs qui prospectent avec soin leur milieu de production animale, chez celui de type *r*-, comme chez la plupart des petits clupéidés, ceux sont les larves qui constituent le premier niveau d'échantillonnage de l'environnement. Si dans ce dernier cas, l'échantillonnage semble aléatoire ou tout au moins synchronisé par des facteurs environnementaux non prévisibles, dans le cas du premier il est déterminé et conditionné par le phénomène de « Homing⁴⁷ ».

Les travaux effectués sur cette espèce dans le golfe de Gascogne⁴⁸ montrent une grande variabilité du recrutement qui ne semble pas liée, pour la gamme d'observations que nous possédons, à une valeur de la biomasse de géniteurs.

Le tableau 5 et la figure 18 mettent en évidence cette déconnexion entre biomasse reproductrice et recrutement (exprimé en nombre d'anchois de 1 an), caractéristique d'une population à dynamique de type *r*.

Tableau 5 – Données relatives à l'importance de la population d'anchois dans le golfe de Gascogne (d'après WGHMSA – ICES 2004).

	1987	1988	1989	1990	1991	1992	1994	1995	1996	1997	1998	1999	2000	2001	2002	2003
zone de ponte effective (en km²)	23850	45384	17546	59757	24264	67796	48735	31189	28448	50133	73131	51019	37883	72022	35980	42535
zone investiguée (en km²)	34934	59840	37930	79759	84032	92872	60330	51968	34294	59587	83156	61533	63192	92376	56176	70041
Biomasse en ponte (tonnes)	29365	63500	11861	97239	19276	90720	60062	54700	39545	51176	101976	69074	71729	124132	30697	32866
abondance totale (en millions d'ind.)	1129	2675	470	5843	966	5797	2954	2644	2060	3738	6282	3258	3604	6048	1039	1797
abondance de 1 an	656	2349	246	5613	670,5	5571	2030	2257	1482,3	3247	5466,7	1159,9	2213,3	4362,2	283,6	1454,3
abondance de 2 ans	331	258	206	190	290,3	209,3	874	329	505,7	482,1	759,5	2003,4	1059,2	1562	621,3	246,1
abondance de 3 ans et plus	142	68	18	40	4,8	16,7	49,3	58	71,6	13,1	56,3	94,9	332,0	123,5	133,8	96,3

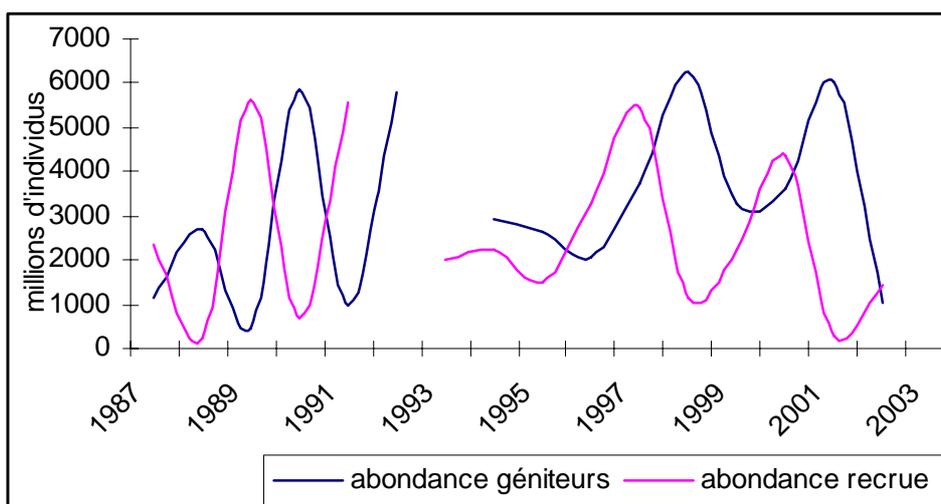


Figure 18 : Fluctuations observées des abondances parentales l'année n et des abondances des recrues l'année n+1.

⁴⁷ Retour à la rivière d'origine et pour certaines espèces à la zone de frayère d'origine.

⁴⁸ cf. synthèse de Uriarte, Prouzet et Villamor 1996, cité dans la liste des travaux de recherche

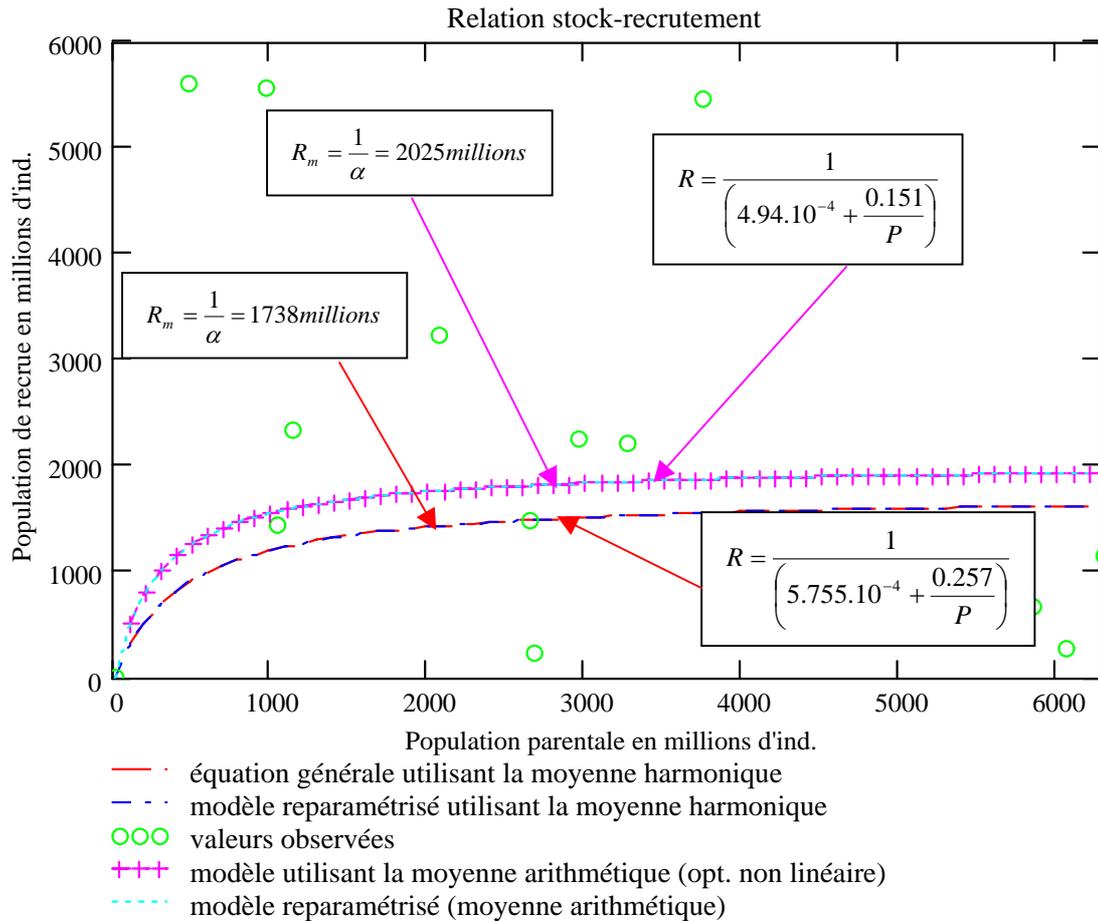


Figure 19 : Modèle de « type Beverton et Holt » montrant l'effet de phénomènes compensateurs indépendants de la densité pour la population d'anchois du golfe de Gascogne (d'après données WGHMSA-ICES2003)

Le recrutement maximal théorique fourni par la formulation déterministe du modèle de Beverton et Holt⁴⁹ est très éloigné, comme nous pouvons le voir, des recrutements *maxima* observés (figure 19). Les populations de type *r*- ont des évolutions brutales qui sont, comme nous l'avons vu précédemment, sous la dépendance principale de facteurs environnementaux physiques.

La vitesse de croissance de la population décroît de manière monotone et tend vers zéro lorsque la biomasse reproductrice tend vers l'infini (figure 20). Sa valeur à l'origine est donnée par l'inverse de la valeur de β .

⁴⁹ $R = \frac{1}{\alpha + \frac{\beta}{P}}$ avec R égal au nombre de recrues et P au nombre de géniteurs.

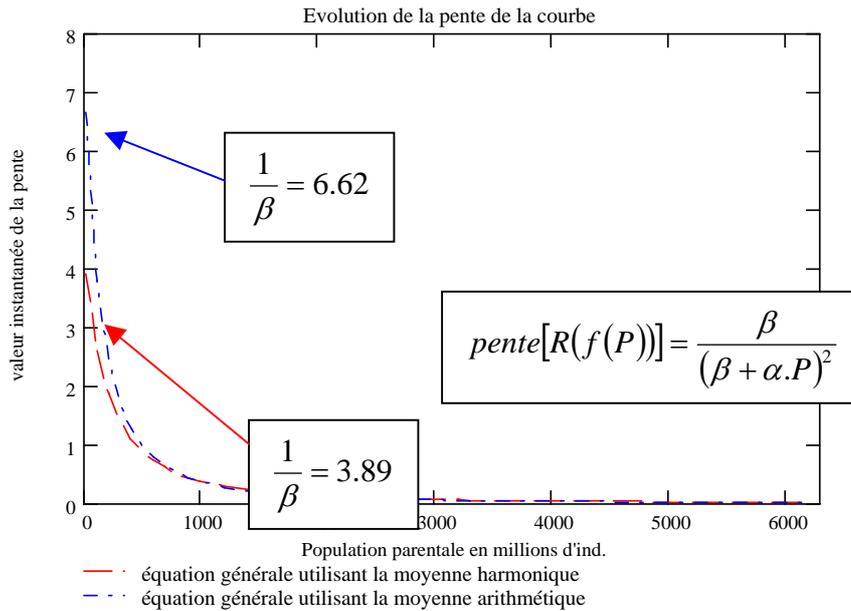


Figure 20 : Evolution de la valeur instantanée de la pente (vitesse de croissance de la population) en fonction de la population parentale.

Le modèle de Beverton et Holt permet également comme celui de Ricker (cf § précédent) de préciser l'évolution des 2 types de mortalité : mortalité de type densité non dépendante (Z_c) qui provoque la disparition d'une même fraction des individus quelle que soit le niveau d'abondance de la population ou bien de type compensatoire (ou « dépendant ») (Z_i) qui élimine une fraction de la population dont la valeur augmente avec le niveau d'abondance. Ricker (1973) définit les deux types de mortalité de la manière suivante :

$Z_c = \log_e \left(1 + \frac{\alpha \cdot P}{\beta} \right)$ et $Z_i = \log_e \gamma + \log_e \beta$, pour ce dernier taux, la connaissance de la fécondité par adulte est nécessaire.

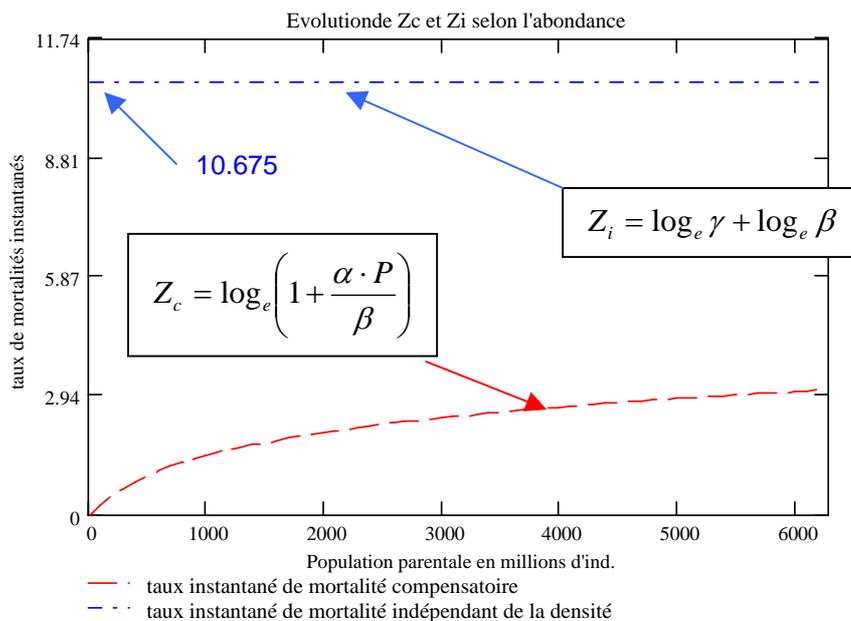


Figure 21 : Exemple d'évolution des taux de mortalités compensatoire Z_c et densité non dépendant Z_i pour l'anchois du golfe de Gascogne.

Dans l'exemple décrit en figure 21 et qui est relatif à la population d'anchois du golfe de Gascogne, la fécondité saisonnière des individus a été prise à 287500 œufs (d'après les données de Motos 1974).

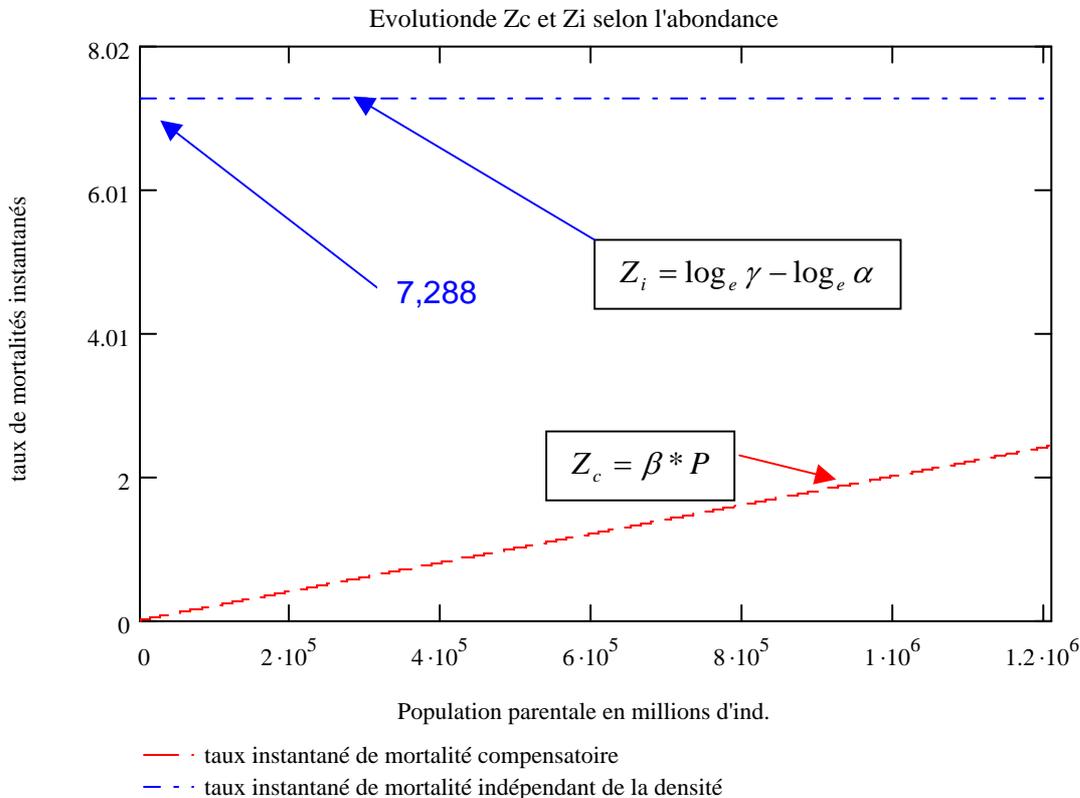


Figure 22 : Exemple d'évolution des taux de mortalités compensatoire Z_c et densité non dépendant Z_i pour le saumon de la rivière Nivelle (d'après données de Dumas et Prouzet 2003).

On notera l'accroissement monotone du taux instantané de mortalité compensatoire pour une population de saumon atlantique (ici la population de la Nivelle) en fonction de l'accroissement de la population parentale (figure 22). Ceci est caractéristique d'une population de type **K**- et non de type **r**- comme la population d'anchois dont le taux de mortalité compensatoire se stabilise après un certain niveau de population (cf. figure 21), les fluctuations fortes de la population se manifestant au-delà de ce niveau de stabilisation.

Stochasticité et prévision chez un stratège de type K : le saumon atlantique et un stratège de type r : l'anchois commun.

Les modèles décrits précédemment pour mieux schématiser les caractéristiques de la dynamique des différentes populations étudiées sont des modèles déterministes qui ne prennent pas en compte l'aspect stochastique du phénomène de recrutement qui traduit les aléas liés à l'action de l'environnement. Que cela soit pour le saumon atlantique et plus encore pour l'anchois commun du golfe de Gascogne, le contrôle du recrutement n'est pas sous la seule dépendance de l'abondance de la population reproductrice, mais comme nous l'avons vu sous le contrôle de contraintes physiques et environnementales qui définissent au sein de l'espace de colonisation potentiel, des habitats favorables et/ou accessibles.

Stochasticité et prévision pour un stratège de type K : le saumon atlantique.

Pour le saumon de l'atlantique ou plus largement pour les migrateurs amphihalins (dont nous reparlerons à propos des travaux sur l'anguille), les déterminants de l'abondance des recrues sont relativement bien définis et leurs impacts généralement quantifiés⁵⁰.

Cela a permis de tester les effets conjoints et relatifs de l'impact des principaux usages (et non seulement de la pêche) sur l'évolution d'une population par simulation de la variabilité des paramètres démographiques (Gros et Prouzet 1988 ; Dumas et al 1996 ; Dumas et Prouzet 2003).

Les travaux les plus élaborés ont été réalisés par l'INRA et l'IFREMER sur la rivière Nivelle (rivière index de la NASCO) au Pays Basque avec une analyse particulièrement précise du colmatage des frayères sur la survie des alevins (Dumas et Darolles 1999) et de la taille de l'habitat disponible.

Les grandes lignes de ce travail résumé ci-après ont été exposées au COGEPOMI Adour et ont permis de structurer les plans de gestion de la population de saumon atlantique du bassin de l'Adour et des Gaves⁵¹.

Les résultats des simulations effectuées peuvent être résumés par les schémas qui suivent (figures 23, 24 et 25). Les feuilles de programmation peuvent être consultées en annexe.

Les variables de contrôle de l'abondance de la population sont :

- La taille de la population de géniteurs qui contrôle le nombre d'œufs déposés dans les gravières ;
- La superficie des zones de production à juvéniles qui contraint l'importance de la quantité de juvéniles à partir d'une certaine densité d'œufs déposés ;
- La qualité des zones de frayères (matérialisée par un degré de colmatage des graviers) et qui contrôle le taux de survie sous gravier des œufs et alevins vésiculés.

L'état initial est donné par les caractéristiques démographiques de la population de saumons de la Nivelle ainsi que par la surface actuellement utilisable pour la production de saumons juvéniles. Ces caractéristiques peuvent être schématisées comme suit : prépondérance de saumons ayant séjourné 1 hiver en mer ; faible survie moyenne de l'œuf à l'alevin de 6 mois estimée par Dumas et Prouzet (2003) à 0,97% ; surface de production potentielle estimée à 56 000m².

La figure 23 montre l'allure de la relation stock-recrutement estimée à partir de la situation actuelle et après génération de 1000 trajectoires liant le stock de reproducteurs aux recrues qu'il génère.

On constate une relation stock-recrutement très aplatie et se différenciant très peu de la droite d'équilibre (un géniteur donne une recrue pour la reproduction). Cela caractérise une population très peu productive et dont le taux d'exploitation optimal estimé à partir des paramètres de l'équation Stock-Recrutement est de 13,3%. La situation moyenne est une masse reproductrice de 470 300 œufs générant ultérieurement 514 500 œufs.

⁵⁰ De nombreux ouvrages de synthèse ont été faits sur le saumon atlantique. Parmi ceux-ci nous pouvons citer :

Mills D., 1971. Salmon and Trout. Oliver and Boyd Edinburgh ; Mills D. and D. Piggins, 1988. Atlantic salmon : Planning for the future. Croom Helm Ltd, London, 587 p. ; Mills D., 1989. Ecology and Management of Atlantic salmon. Chapman & Hall New-York, 351 p. ; Gueguen J. et P. Prouzet, 1994. Le saumon atlantique. Ifremer, 330 pages ; Larinier M. J.-P. Porcher, F. Travade et C. Gosset, 1994. Passes à Poissons : expertise, conception des ouvrages de franchissement. *Ed CSP Collection mise au point*, 336 pages.

⁵¹ Note technique IFREMER-INRA-CSP sur les mesures de gestion

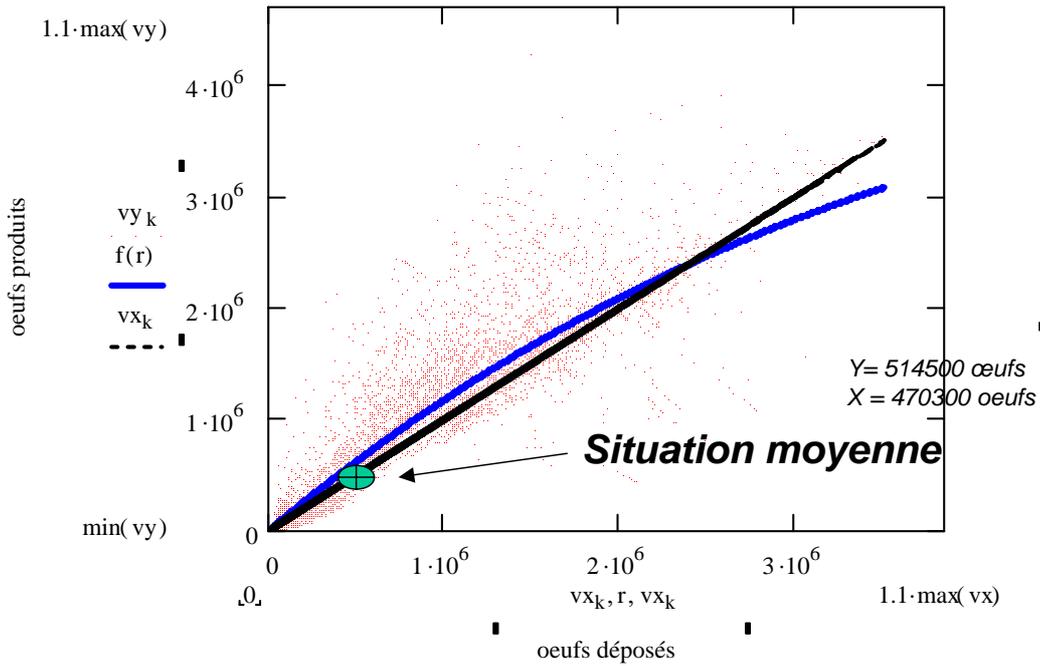


Figure 23 : Relation stock – recrutement moyenne pour la population de saumons de la Nivelles – situation actuelle et état de référence.

A partir de cet état de référence, nous avons envisagé le scénario basé sur une même surface de production (56 000 m²), mais possédant des frayères non colmatées qui permettent un plus fort taux de survie sous gravier que l'on a estimé à 5% (figure 24).

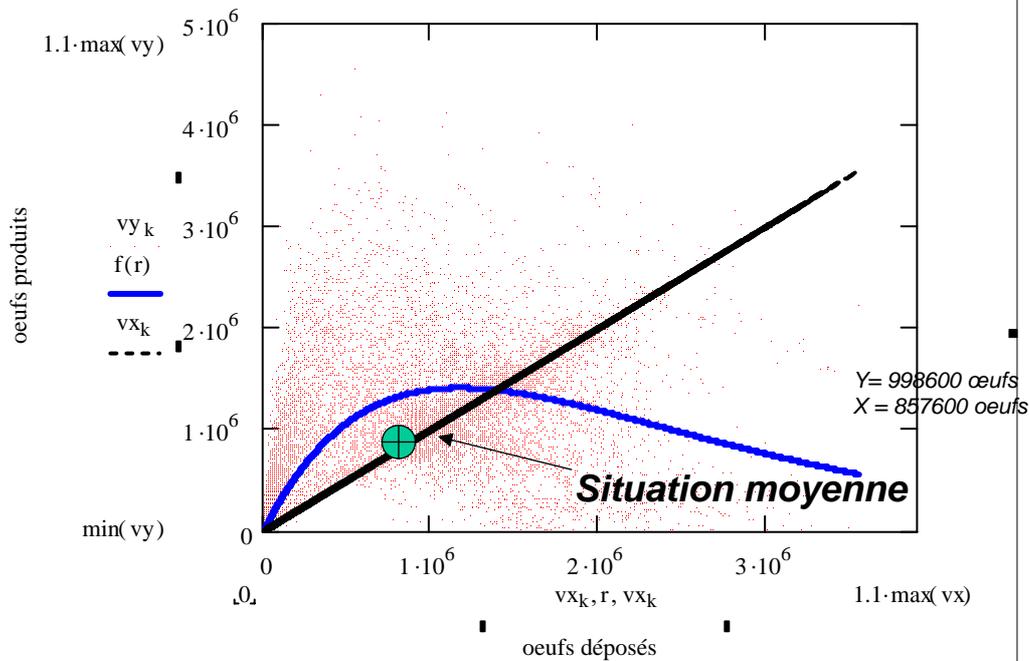


Figure 24 : Relation stock –recrutement moyenne pour la population de saumons de la Nivelles – situation matérialisant une amélioration de la qualité de l'habitat utilisé.

Dans ces conditions, à partir d'une population initiale de même taille et de même caractéristique démographique que l'état de référence, on aboutit à une relation stock-recrutement plus en dôme et très bien différenciée de la droite d'équilibre. Cela caractérise une population à plus forte productivité et dont les capacités d'autorégénération après exploitation sont beaucoup plus importantes puisque le taux d'exploitation optimal est ici estimé à 49,8%. La situation moyenne est également améliorée puisque la masse reproductrice est évaluée à 857 600 œufs et génère 998 600 œufs.

La troisième situation (figure 25) est celle correspondant à un accroissement de la surface colonisable sans amélioration de la qualité des habitats colonisés. Cela peut être simulé à partir d'une superficie de production de l'ordre de 100 000 m² (Dumas communication personnelle) tout en conservant une survie de l'œuf au stade juvénile de 0,97%.

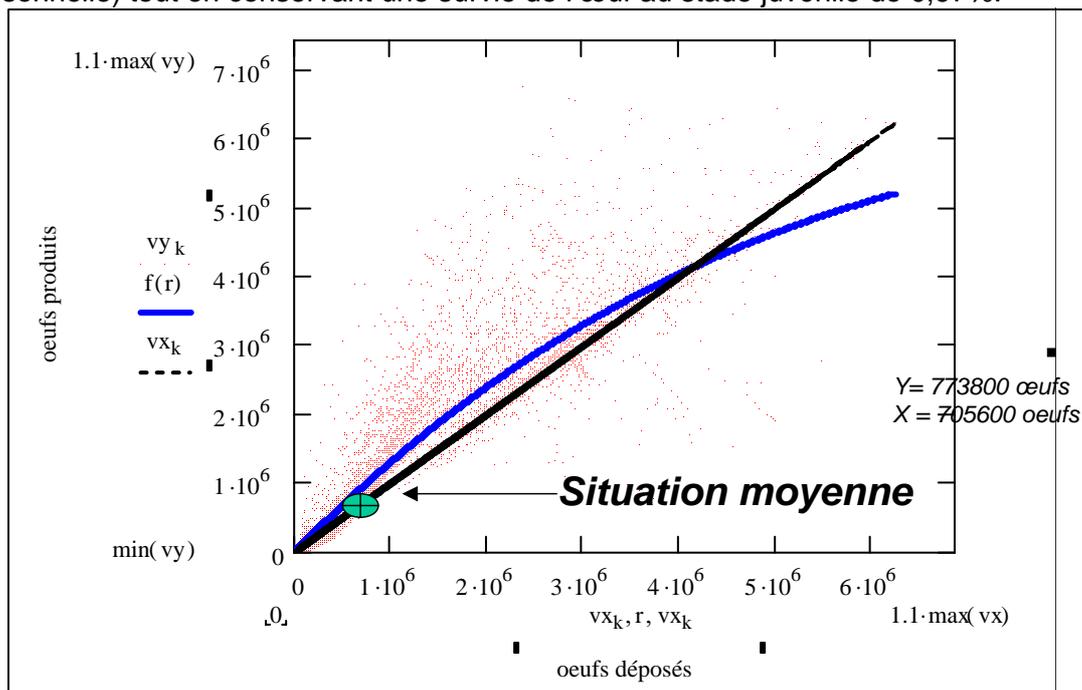


Figure 25 : Relation stock –recrutement moyenne pour la population de saumons de la Nivelle – situation matérialisant un accroissement de l'habitat utilisé sans amélioration de la qualité.

Par rapport à la situation de référence, on aboutit à une masse reproductrice plus élevée 705 600 œufs générant 773 800 œufs, mais l'accroissement de cette taille de la population (1,5 fois la taille initiale) ne permet pas d'améliorer fortement la productivité puisque le taux d'exploitation optimal est ici estimé à 16,9% (pour 13,3% initialement).

En résumé, la taille d'une population à l'équilibre est conditionnée par la grandeur des habitats disponibles. Cependant, sa capacité d'autorégénération lorsque la population est déplacée de son point d'équilibre par un niveau donné d'exploitation, est liée à la qualité de l'habitat disponible. Ces bases stochastiques de la dynamique des populations de type K-avaient été définies par divers auteurs dont Ricker (1973), Paulik (1973) ou Larkin (1973)⁵². Les travaux ici effectués contribuent à réactualiser cette approche dans un cadre

⁵² On pourra consulter à ce propos les articles de synthèse suivant :
 Prouzet P., 1992. La gestion de la ressource-saumon : théorie et pratique. In Les Actes du Colloque International FQSA « Le développement du saumon atlantique au Québec » - Connaître les règles du jeu pour réussir. , 166 – 178.
 Prouzet P., 1998. Quelques aspects concernant les bases biologiques et halieutiques de la dynamique des populations exploitées (Application aux populations ichthyologiques). Workshop sur les pêcheries données et modèles . Marrakech 19 – 24 octobre 1998. Université Cadi Ayad, 28 pages.

stochastique. Ils confortent les travaux antérieurs montrant que des mesures visant à accroître la qualité et l'accessibilité des zones de frayères ont des effets plus durables sur la stabilité des stocks que de simples modifications de la réglementation des pêches (Moussali et Hilborn 1986).

La démarche ainsi préconisée a été appliquée à l'Adour de la manière suivante⁵³ :

- 1- amélioration de la libre circulation des migrateurs sur l'axe principal et les principaux affluents du gave d'Oloron pour accroître la taille et la qualité de l'habitat favorable ;
- 2- diminution temporaire du taux d'exploitation des pêcheries aux lignes et aux filets pour accroître rapidement la biomasse reproductrice de manière à profiter au maximum de l'augmentation des capacités d'autorégénération de la population ;
- 3- parallèlement et afin de ne trop pénaliser économiquement la pêche professionnelle des relèves des engins de pêches décalées de l'aval vers l'amont de l'estuaire ont été instaurées de manière à ne pas trop allonger la période hebdomadaire de relève des filets. Ces décalages ont été définis après étude du comportement migratoire des saumons dans l'estuaire par radiotélémetrie et pistage acoustique .

La mise en place de ce plan a donné des résultats rapides et probants, puisque les remontées de saumons en 2004 ont dépassé les 10000 unités et ont permis d'atteindre en très peu de temps (moins de 5 ans) l'objectif visé de 20 millions d'œufs alors qu'elles atteignaient difficilement le niveau de 5000 individus auparavant dans les meilleures années pour une dépose totale de moins de 10 millions d'œufs.

Stochasticité et prévision pour un stratège de type *r* : l'anchois commun.

La construction d'un modèle autorégénérant pour l'anchois commun, comme pour beaucoup d'espèces marines, est loin d'être facile. Deux raisons principales peuvent être évoquées : les variables d'état (taux de survie et de croissance) nécessaires à la construction de modèles de ce type sont souvent mal connues et *a fortiori* leurs variabilités. Les déterminants de cette variabilité sont multiples et très fluctuants car le milieu marin est beaucoup plus instable que le milieu continental surtout en ce qui concerne sa productivité. Pour l'anchois le problème se complique par un cycle de vie court (3 classes d'âge consécutives au maximum et le plus souvent 2) ne permettant pas de tamponner les effets de la fluctuation d'abondance d'une cohorte d'où une biomasse reproductrice variant de manière erratique sous l'influence de variables physiques, comme nous le montre la figure 18.

Pourtant, une analyse plus fine indique que le problème du déterminisme de l'abondance de la population d'anchois reste fondamentalement le même que celui de la population de saumon.

En effet, la taille de la biomasse reproductrice est liée à l'extension de son aire de ponte comme nous l'indique la figure 15⁵⁴, mais c'est la quantité d'habitats favorables définis dans le temps et l'espace (fenêtres spatio-temporelles liées à des mécanismes agissant à différentes échelles : rétention des larves et des juvéniles et effets de la turbulence - Allain 2004 – figure 26) qui contrôle la productivité (= rendement par recrue) de l'aire de production⁵⁵.

⁵³ On pourra également consulter le sommaire de ces travaux dans l'article de Cuende F.-X. Cuende et P. Prouzet. Poissons migrateurs de l'Adour : La recherche au service de la gestion. Revue de l'Agence Adour-Garonne, 89, 9 – 15.

⁵⁴ C'est également le cas pour le saumon atlantique ainsi que nous l'avons montré précédemment.

⁵⁵ On retrouve ici la notion de qualité des gravières (au sens de la perméabilité) que nous avons évoquée pour le saumon.

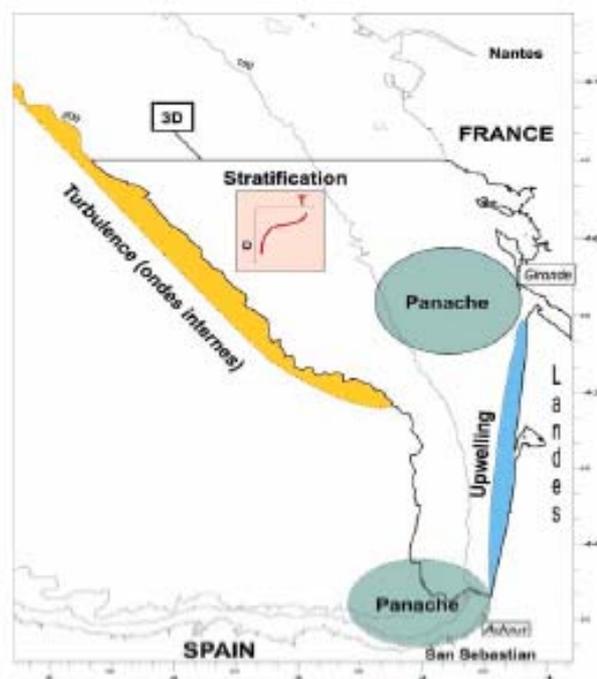


Figure 26 : Principales structures physiques intervenant sur la survie des larves et juvéniles d'anchois dans le golfe de Gascogne (d'après Allain 2004).

Pour ces deux populations à cycle court (âge moyen entre 1 et 2 ans pour l'anchois du golfe de Gascogne et entre 2 et 3 ans pour le saumon du bassin des Gaves et de la Nivelles), c'est la variabilité de la « fertilité » de leur milieu de production qui est profondément différente.

Le saumon atlantique a privilégié une stratégie de reproduction caractérisée par un enfouissement des œufs dans des endroits précis aux caractéristiques physiques que la femelle recherche pour déposer sa ponte. Ces habitats sont immuables dans le temps et dans l'espace et permettent aux larves d'éclore dans un milieu protégé et de bénéficier d'un environnement où la nourriture est apportée par la dérive des organismes de l'amont vers l'aval. La régulation de l'abondance est faite ensuite par le biais de compétitions intra et interspécifiques pour l'acquisition de territoires⁵⁶.

L'anchois a privilégié, ainsi que nous l'avons déjà mentionné, une stratégie de reproduction par éparpillement de ses œufs et de ses larves. Ceux-ci échantillonnent un milieu d'autant plus vaste que la biomasse reproductrice est importante. A l'intérieur de cette zone de reproduction, les habitats favorables ne sont pas immuables dans le temps et dans l'espace et sont, comme nous l'avons vu, dépendant pour leurs tailles et leurs nombres de conditions essentiellement climatiques intervenant durant la période estivale et automnale.

Ceci explique toute la difficulté que les biologistes des pêches ont pour estimer à court terme (pour l'année suivante) l'abondance de cette population fortement dépendante d'une seule classe d'âge.

La figure 27 illustre bien cette difficulté. Elle est tirée du rapport du groupe de travail du CIEM sur l'évaluation des stocks de maquereaux, chinchards, sardines et anchois et montre la répartition des groupes d'âge moyenne dans les captures pour la période 1987-2000⁵⁷.

⁵⁶ On se reportera pour de plus amples précisions à Heland et Dumas (1994). Ecologie et comportement des juvéniles. In Le Saumon Atlantique (Edition IFREMER) Gueguen et Prouzet, 29 – 46.

⁵⁷ Anonymous 2002. Report of the Working Group on the Assessment of Mackerel, Horse Mackerel, Sardine and Anchovy. ICES Headquarters : 4 – 13 september 2001. ICES CM 2002/ACFM : 06, 559 pages.

Avec 3% des captures, le groupe d'âge 0 capturé de manière occasionnelle et opportuniste selon l'abondance des autres classes d'âge ne peut être un indicateur fiable de la prévision de l'abondance du groupe 1 l'année suivante. Celui-ci constitue généralement la majeure partie des débarquements d'anchois dans le Golfe. Il est dépendant du succès du recrutement l'année précédente ; recrutement dont le niveau n'est pas relié après un certain seuil à l'importance de la population de reproducteurs (cf. figure 19). Le succès de la survie des œufs et des larves comme nous l'avons vu précédemment est fortement influencé par la température et la turbulence au sein de la colonne d'eau. Certains modèles biophysiques sont actuellement proposés (Allain 2004), mais leur valeur prévisionnelle pour ce qui concerne la biomasse capturable une année plus tard reste encore à tester.

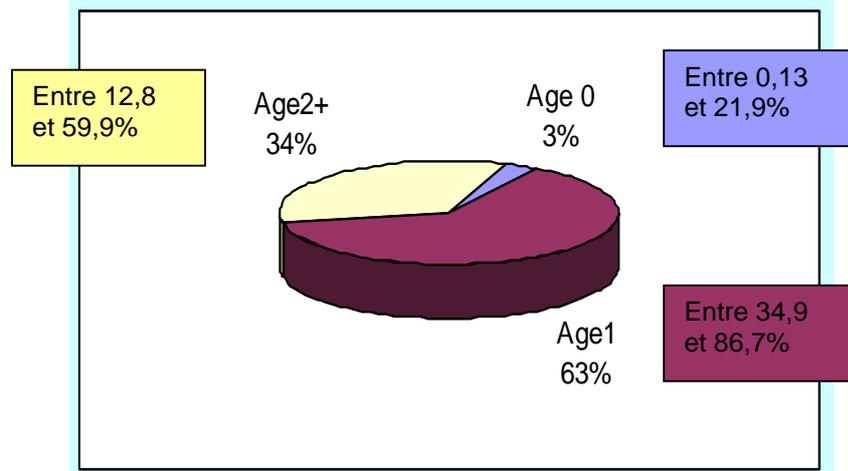


Figure 27 : Répartition moyenne des différents groupes d'âge dans les captures d'anchois du golfe de Gascogne durant la période 1987 - 2000 (d'après WGMHMSA 2002)

Le groupe d'âge 2+ (anchois âgés au moins de 2ans) peut être prédit à partir de l'estimation de la biomasse des différentes classes d'âge au printemps en appliquant un taux de mortalité totale Z dont la valeur peut être déduite d'un taux de mortalité naturelle fixe (M) et d'un taux de mortalité par pêche (F) fixé à une certaine valeur (par exemple identique à celle de l'année précédente). Cependant, même pour ce groupe d'âge un problème demeure. La mortalité naturelle est comme nous l'avons vu précédemment très variable d'une année à l'autre ainsi que nous le montre la figure 28.

Ce diagramme permet de visualiser la variation conjointe des valeurs de F et de M calculées à partir d'observations directes de la biomasse par la méthode des œufs et par estimation de l'abondance et de la structure en âge des captures effectuées entre deux saisons de ponte. La variabilité de M pourrait être expliquée par une variation des réserves lipidiques des reproducteurs après la ponte et par une fluctuation des réserves alimentaires dans le Golfe après la période de reproduction. Ces hypothèses restent à vérifier scientifiquement, mais elles paraissent plausibles dans la mesure où la qualité des anchois débarqués est considérée comme variable, d'une année à l'autre, par les usines de transformation.

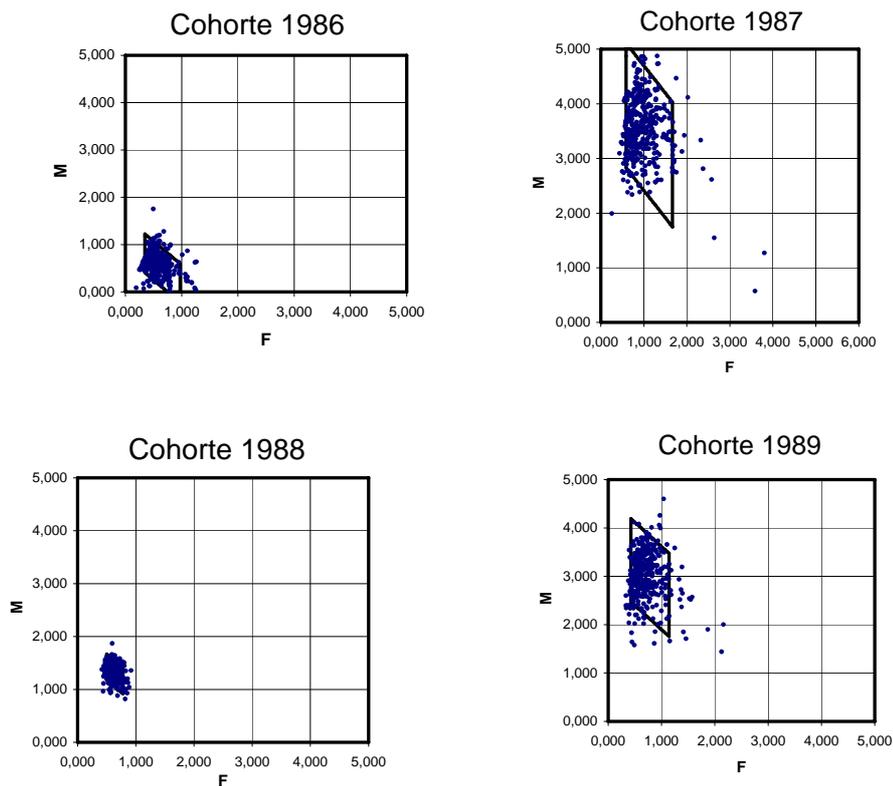


Figure 28 : Dispersion des couples de valeurs M et F et visualisation graphique de leurs aires de confiance conjointe à 81% pour les cohortes 1986, 1987, 1988 et 1989 (d'après Prouzet et al 2000).

Prévision de l'abondance : mythe ou réalité ?

Certaines populations au cycle long et bien que présentant des variations de recrutement très fortes ont des abondances qui peuvent être prévues sur le long terme (plusieurs années) de manière suffisamment fiable. C'est le cas pour les « petits pélagiques » de la population de chinchards (*Trachurus trachurus*) de l'Atlantique Nord-Est qui a hérité d'une classe d'âge en 1982 très importante conditionnant les profils démographiques des captures pendant une dizaine d'années au moins (figure 29).

Ces « marqueurs démographiques » permettent moyennant des hypothèses assez robustes sur la mortalité naturelle d'appliquer des profils d'exploitation et ainsi de prévoir le stock exploité et les captures admissibles.

Pour les espèces à cycle court, mais présentant des variations relativement modérées de leur recrutement comme les espèces de type K- telles que le saumon atlantique (*Salmo salar*), la prévision ne peut se faire bien évidemment qu'à court terme, 2 à 3 ans et reste soumise à des variations de la mortalité des *smolts* en mer. Cependant, cette variabilité de la mortalité naturelle n'atteint pas l'ordre de grandeur d'espèces à cycle court et de type r-.

La figure 30 décrit 2 relations linéaires entre le nombre de jeunes tacons de l'année qui vont partir en mer et le nombre de géniteurs produits ultérieurement par la cohorte de juvéniles sur la rivière Nivelle. La rupture entre deux périodes (1991 –1995 et 1996-2000) est bien nette et probablement liée en grande partie à des conditions locales d'exploitation avant la migration des géniteurs en rivière, mais on constate bien qu'au sein de chacune des périodes la mortalité totale reste étonnamment constante.

Dans ces conditions, il est relativement aisé de prédire à l'avance et avec une fiabilité relative forte l'importance du stock de saumons qui pourra être exploité une voire deux années plus tard.

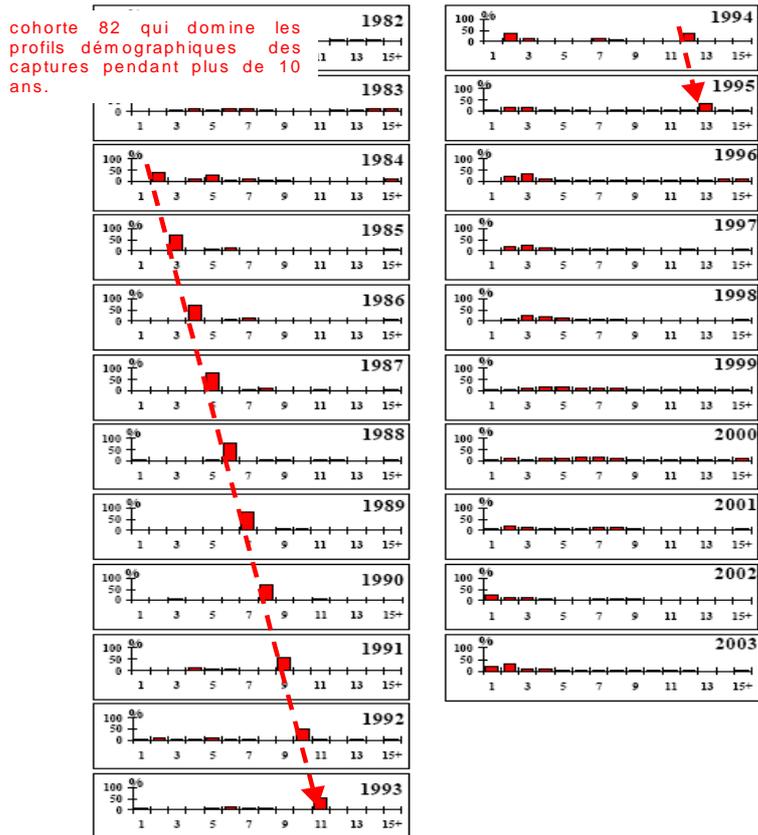


Figure 29 : Composition en âge du stock de chinchard (*Trachurus trachurus*) dans les eaux internationales de 1982 à 2003 (d'après WGMHMSA 2005)

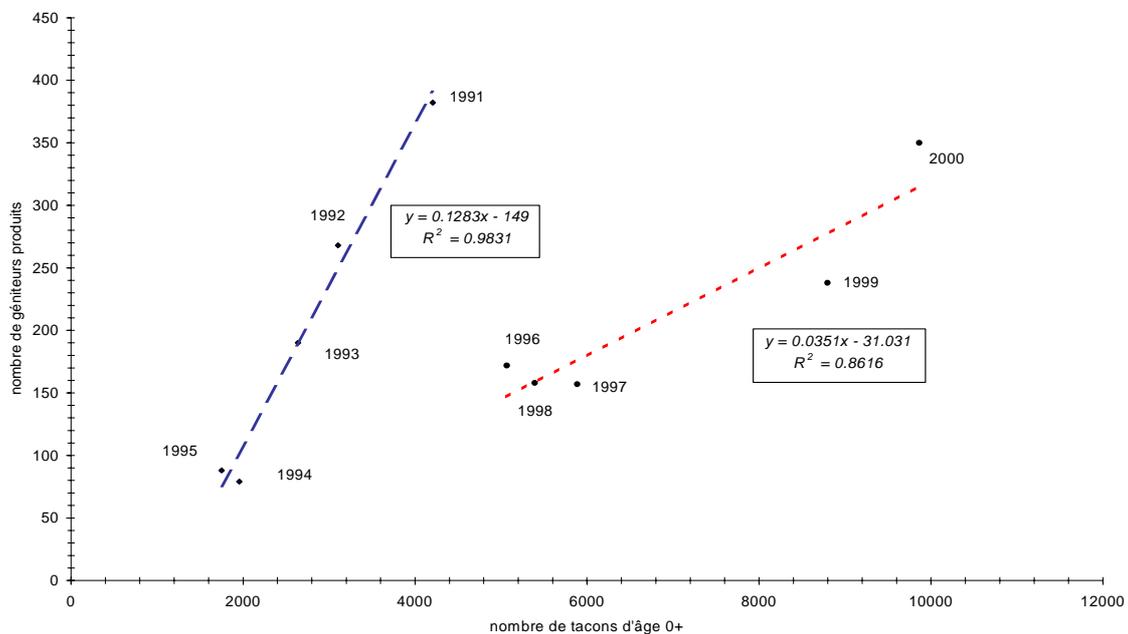
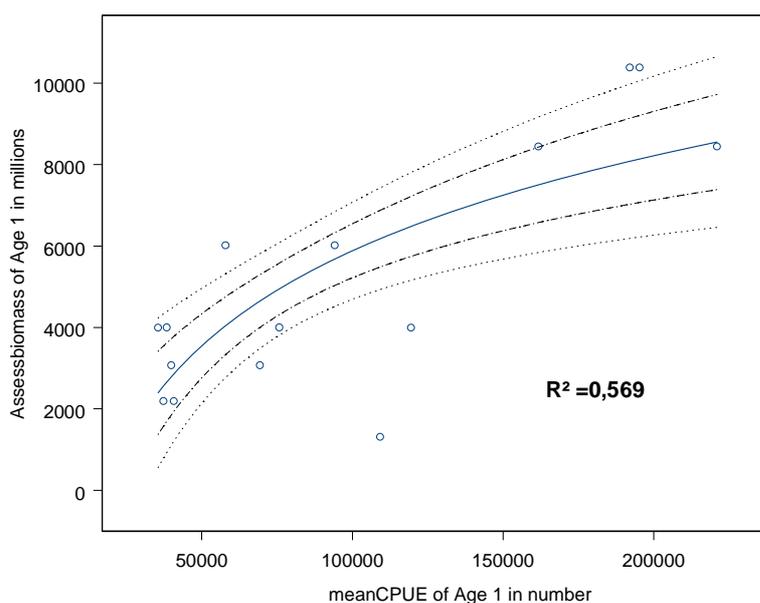


Figure 30 : Relation entre le nombre de juvéniles produits et le nombre de géniteurs produits sur la Nivelle (d'après données de Dumas 2003, In Dumas et Prouzet 2003)

Cela reste possible dans le cas du saumon car l'indicateur du recrutement est estimé à partir d'un stade biologique (tacon) qui est l'origine d'une phase biologique pour laquelle les relations densités dépendantes sont de moindres intensités. Cette relation entre l'abondance

des recrues et celle des géniteurs ne serait pas aussi déterministe si l'on avait pris comme indicateurs du recrutement le nombre d'œufs déposés (cf. figure 11).

Pour une espèce comme l'anchois (*Engraulis encrasicolus*), nous avons vu qu'il n'existe pas de relation évidente entre l'importance du nombre de géniteurs une année donnée et les recrues générées l'année suivante (cf. figure 18). Cela ne veut pas dire qu'il n'y a pas d'indicateur fiable de la prévision de l'abondance du stock, mais que les descripteurs que nous prenons pour caractériser le recrutement ne sont pas appropriés⁵⁸. L'utilisation d'indicateurs (variables synthétiques constituées de descripteurs d'origines biologique et physique pour ce qui nous concerne) pour prédire le recrutement à partir d'un modèle de corrélation entre une série halieutique (abondance d'anchois d'âge 1 tel que défini par le Groupe de travail du CIEM) et des sorties eulériennes du modèle hydrodynamique de l'IFREMER (Lazure et Jégou 1988) est une sérieuse avancée. Ce modèle décrit par Petitgas *et al* 1991 permet⁵⁹ de prédire correctement le recrutement pour la plupart des années, mais des différences subsistent entre les prévisions du modèle de survie larvaire et les observations effectuées au printemps suivant : notamment le modèle ne prévoit pas à partir de la situation automnale 2004, le faible recrutement 2005. Cela limite le caractère opérationnel du modèle pour la gestion de la population et la prévision des captures admissibles. Les travaux s'orientent maintenant sur la variabilité des mortalités hivernales et son déterminisme. Nous avons, en effet, montré précédemment (Prouzet *et al* 2000, cf. figure 28) que la mortalité naturelle était très variable suivant les années pour des poissons des classes d'âge 1 et 2. Il serait très improbable que cela ne soit pas le cas, de manière sans doute plus contrastée, pour la classe d'âge 0.



	Df	Residual deviance	Pseudo-F	Prob(F < Fcrit)
NULL	14	124144604		
log (mediancpue)	1	53503562	17.16	0.0011

Figure 31 : Relation entre la biomasse et la capture moyenne par marée (en nombre) des chalutiers turballais et giras durant le premier trimestre (d'après Prouzet et Lissardy 2000).

⁵⁸ C'est à dire stabilisés en niveau.

⁵⁹ Petitgas P., G. Allain et P. Lazure ; A recruitment index for anchovy in 2002 in Biscay ; ICES Working Group on the assessment of mackerel, Horse mackerel, Sardine and Anchovy. September 2001, 4 pages.

Dans ces conditions, la prévision de la biomasse capturable au printemps et en été (période de production maximale pour les flottilles françaises ou espagnoles) pourrait être légèrement anticipée par des indicateurs comme les captures par marée des chalutiers pélagiques durant le premier trimestre (Prouzet et al 2000, Prouzet and Lissardy 2000⁶⁰) (figure 31).

Ce type de relation a permis notamment d'estimer en 2000, une biomasse d'anchois capturable de 82 500 tonnes, niveau qui s'est avéré cohérent avec l'abondance des débarquements effectués durant la campagne de pêche⁶¹.

L'utilisation de modèles conceptuels complexes peut être tentée. Ils restent cependant du domaine de l'exploratoire et constituent des sortes de laboratoires virtuels où l'effet de différentes situations environnementales peuvent être testées dès lors que la structure du modèle est suffisamment précise et documentée pour l'autoriser.

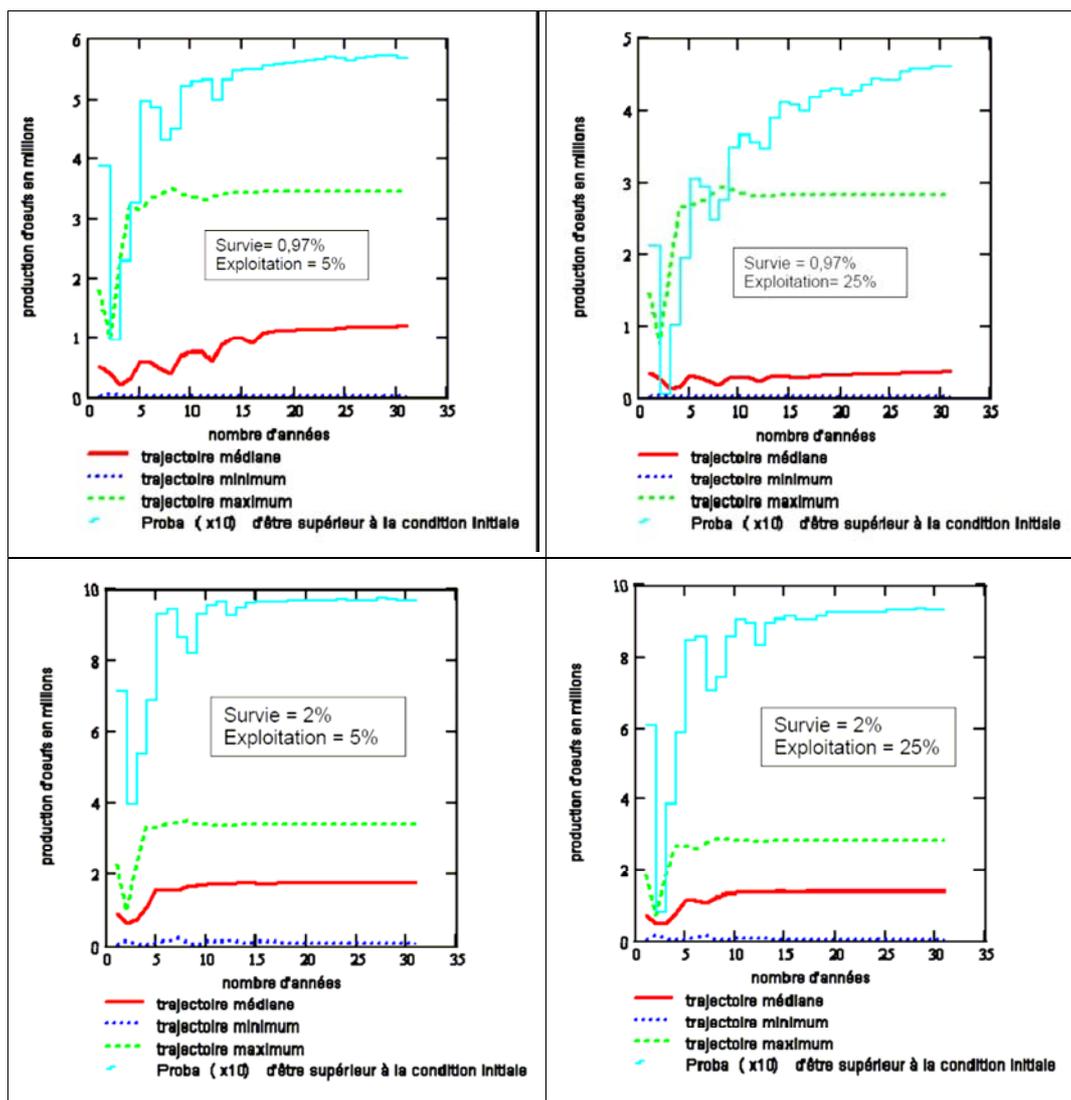


Figure 32 : Evolution de l'abondance d'une population de saumons (cas de la Nivelles) et de sa variabilité estimée à partir de 500 trajectoires (condition initiale : dépose de 612 500 œufs)

⁶⁰ Prouzet P. and Lissardy M., 2000. An attempt to estimate the anchovy biomass in the Bay of Biscay in 2000 from the Catch per trip of the French pelagic Fleet during the first quarter. WD for the STECF workgroup on anchovy – Brussels 29 to 31 May 2000, 20 pages.

⁶¹ Alors que l'estimation effectuée par la Daily Egg Production Method en avril (c'est à dire trop tôt) de 45000 tonnes était visiblement sous estimée puisque 37 000 tonnes de captures ont été débarquées.

Nous avons utilisé cette approche pour le saumon atlantique pour prévoir à moyen terme (5 ans) la probabilité qu'une abondance donnée soit atteinte sur l'Aulne, rivière de Bretagne Nord (Gros et Prouzet 1988), puis pour simuler l'évolution de la population de saumons du bassin de la Nivelles en fonction de la variabilité de divers paramètres (Dumas *et al* 1996, Faivre *et al* 1997, Dumas et Prouzet 2003). L'établissement de ce type de modèle est long et coûteux. Il réclame de nombreuses observations sur différentes phases du cycle biologique. La figure 32 ci-dessus synthétise les résultats obtenus à partir d'un modèle de ce type (cf. annexe 1) sur 500 trajectoires d'une période de 35 années en faisant varier la survie sous gravier des alevins (indicateur de la qualité du milieu) et le niveau d'exploitation. La probabilité d'être au-dessus de la condition initiale de dépose d'œufs de 612 500 œufs (niveau moyen de dépose d'œufs pour la population de la Nivelles) est ensuite calculée pour chaque année de la période considérée. Cela montre et confirme ce que nous avons dit précédemment sur l'importance de la productivité du milieu de production.

La gestion de la population d'anguille : la nécessité d'une approche écosystémique

Rappels concernant la biologie de l'anguille européenne (*Anguilla anguilla*).

Le cycle vital de l'anguille, espèce amphihaline est complexe et, à l'inverse de celui du saumon atlantique, encore caractérisé par de nombreuses zones d'ombres. Par exemple, la reproduction n'a jamais été observée et aucun œuf ou adulte n'a été capturé dans l'aire de fraie présumée (Nilo et Fortin, 2001). Le statut taxonomique de l'espèce est encore très imprécis et des hybridations entre l'Anguille européenne (*Anguilla anguilla*) et américaine (*Anguilla rostrata*) sont couramment constatées (Boëtius 1980, Avise *et al*, 1986 et 1990). Des travaux effectués sur la diversité génétique des anguilles européennes et américaines (Wirth et Bernatchez 2001, 2003) tendent à montrer une ségrégation bien établie entre ces deux espèces.

La figure 33 schématise le cycle biologique de l'Anguille européenne (*Anguilla anguilla*).

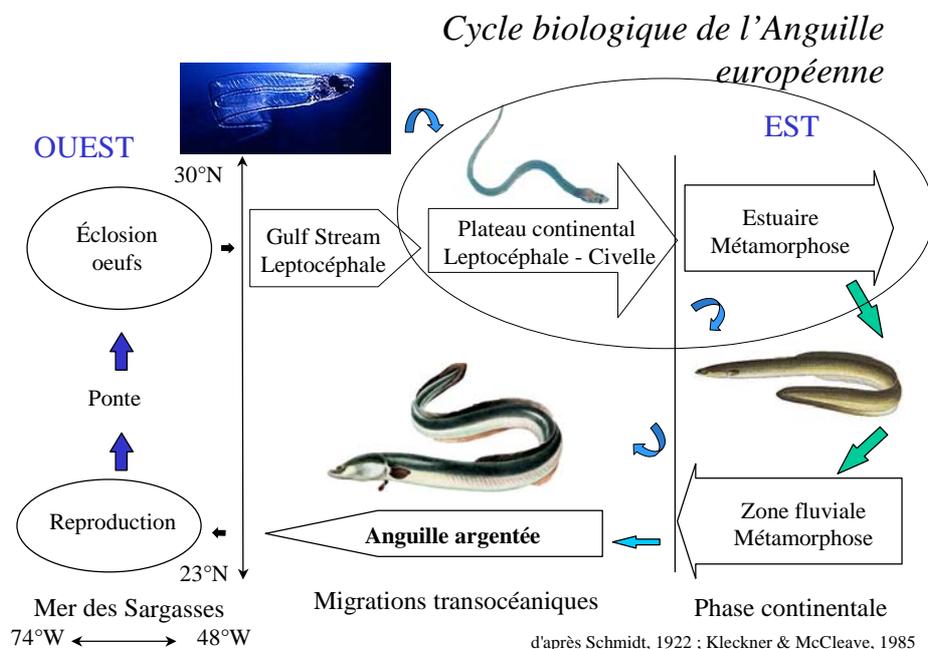


Figure 33 : schéma du cycle biologique de l'Anguille européenne adapté de Schmidt (1922), Kleckner et Mac Cleave (1985).

La reproduction .

Parmi les 19 espèces et sous-espèces d'*Anguilla*, deux *Anguilla anguilla* et *Anguilla rostrata* fréquentent l'Océan Atlantique (Tesch 1977). Ces deux espèces ont leurs zones de reproduction qui se chevauchent très probablement en mer des Sargasses. La localisation des aires de fraie semble influencée par la convergence subtropicale (Kleckner *et al* 1983). Schmidt (in Nilo et Fortin, 2001) observait pour *Anguilla anguilla* un pic de reproducteur en mars, résultat confirmé ultérieurement en 1979 (Tesch et Wegner 1990). Mac Cleave *et al* (1987) pensent que la fraie a lieu de janvier à juillet et ce, pour les deux espèces dont l'hybridation a bien été montrée.

Schmidt (1925) supposait que la reproduction s'effectuait à des profondeurs comprises entre 400 et 700 mètres. Cependant, Robins *et al* (1979) ont observé au large des Bahamas des anguilles par 2000 mètres de fond.

Compte-tenu de la morphologie des reproducteurs (peau épaisse, pupilles dilatées, transformation rétinienne) et de la nécessité d'avoir des pressions fortes sur les flancs pour déclencher expérimentalement l'émission des gamètes, il est en effet très probable que la reproduction s'effectue à plusieurs centaines de mètres dans la zone épipélagique (Kleckner *et al* 1983). Les larves les plus petites sont capturées entre 200 et 300 mètres (Schoth et Tesch 1984).

Pour l'instant, aucune observation ne vient étayer la présence d'une seconde aire de reproduction d'*Anguilla anguilla* en Méditerranée, mais Boëtius et Harding (1985) estiment que les conclusions de Schmidt selon lesquelles cette espèce ne se reproduisait pas en Méditerranée sont quelque peu infondées.

Selon Boëtius et Boëtius (1980) la fécondité de l'anguille d'Europe est comprise entre 0,7 et 2,6 millions d'œufs pour des individus mesurant entre 630 mm et 790 mm.

Le développement embryonnaire et la phase larvaire.

Nous n'avons que peu d'informations sur le développement embryonnaire des anguilliformes. Aucun œuf n'a été récolté dans le milieu naturel jusqu'à présent. Les seules observations que nous possédons sont celles obtenues en milieu artificiel sur *Anguilla japonica* (Yamamoto et Yamauchi 1974).

La larve appelé leptocéphale est mieux connue. Les plus petites mesurant 5 mm environ ont été capturées sur l'aire de reproduction présumée.



Figure 34 : Photo de leptocéphale d'anguille (*Anguilla anguilla*) (Y. Desaunay IFREMER)

Ces larves dites « en feuille de saule » ou littéralement « à tête mince » (figure 33) consomment du plancton. Elle est dentée entre 3 et 20 dents selon la taille (Bertin 1951). Elle est portée par les courants océaniques de manière passive, mais effectue des

migrations verticales selon un rythme nyctéméral pouvant atteindre plusieurs centaines de mètres.

Au voisinage du talus continental, après une période de vie qui peut atteindre entre 1 et 2 ans, la larve se métamorphose en civelle. Au moment de la métamorphose la taille des leptocéphales atteint environ 70 mm.

La phase de pénétration en eau douce : le stade civelle.

La civelle en mer à l'approche des flux d'eau douce est transparente et peu pigmentée. On lui attribue le stade V_A (Elie et al 1982). Petit à petit, la pigmentation se développe ; on parle de stade V_B lorsque les tâches pigmentaires cérébrales et caudales sont bien distinctes. C'est à ces stades que les civelles sont prélevées par la pêche en estuaire et dans les parties basses des fleuves (Prouzet et al, 2002, De Casamajor, Lecomte-Finiger et Prouzet 2003). La pigmentation se poursuit et la civelle devient totalement pigmentée au stade dit VI_B . Ceci marque la fin du stade civelle qui correspond à la prise d'alimentation et au passage au stade VII qui correspond à l'apparition des pigments jaunes et à la phase anguille avec un comportement essentiellement benthique.

La migration de la civelle a été étudiée précisément sur l'Adour (Prouzet et al 2003) où il a été bien confirmé que la migration vers l'amont se faisait passivement derrière l'avancée du front de marée dynamique avec une position des flux de civelles dans la colonne d'eau dépendant de l'intensité de la lumière (De Casamajor, Bru et Prouzet 1999).

La pénétration des civelles en estuaire ne se fait pas de manière continue, mais par « vagues » (De Casamajor, Prouzet et Lazure 2000). On constate durant la saison de remontée (d'octobre à mars généralement sur l'Adour) une diminution de la taille et du poids des civelles capturées (Charlon et Blanc 1982 ; De Casamajor, Lecomte-Finiger, Prouzet, 2001, De Casamajor, Prouzet, Lazure 2000). La taille moyenne des civelles est généralement comprise entre 68 et 76 mm (De Casamajor, Lecomte-Finiger et Prouzet 2003) pour le fond du golfe de Gascogne.

La phase de colonisation dans les eaux estuariennes et continentales : l'anguille jaune.

La fin de la migration portée est liée aux modifications comportementales de la civelle passant d'un comportement de type pélagique à un comportement benthique. Toutes les civelles ne migrent pas vers l'amont ; certaines vont se sédentariser dans les parties basses des fleuves et estuaires voire dans les eaux de transition littorales : espaces lagunaires, marais salés. Les civelles diffusent vers les parties amonts des rivières en fonction de critères qui sont actuellement peu connus. C'est ce qui explique les difficultés que l'on a à établir un lien entre le recrutement estuarien constitué par l'importance des flux saisonniers de civelles en estuaire et le recrutement fluvial constitué par la fraction qui colonise de manière semble-t-il progressive les eaux continentales situées plus en amont. Feunteun (2001, 2003) classe les comportements migratoires en 4 catégories. Ceux des fondateurs (« founders ») qui se sédentarisent dès qu'ils trouvent un habitat favorable ; ceux des pionniers qui migrent le plus en amont du système fluvial ; ceux des résidants (« home range dwellers ») qui s'établissent dans une aire donnée pour plusieurs années et ceux des nomades qui divaguent d'un habitat à un autre pour s'alimenter et s'établir transitoirement. Les travaux effectués sur la Vilaine (Briand et al. 2000) montrent que la colonisation du bassin versant se fait par vague migratoire avec des mécanismes de densités dépendance mis en œuvre. Sur la Severn, Ibbotson et al (2002) suggère plutôt une colonisation du bassin versant par diffusion de l'aval vers l'amont.

De manière générale, les mâles dominent dans les parties basses des bassins versants là où les densités sont les plus fortes alors que les femelles plus âgées et plus grosses sont dominantes. Cela n'est cependant pas toujours le cas, surtout sur des bassins versants de faibles dimensions. Cette ségrégation sexuelle observée spatialement au moins sur les grands bassins se fait à partir d'une certaine taille. L'oogenèse et la spermatogenèse se déroulent parallèlement dans la gonade, la première débute vers 14 cm et la seconde vers

18 cm. Cette étape hermaphrodite précède une phase de masculinisation ou de féminisation définitive (Bertin 1951). Les facteurs qui interviennent sur le déterminisme du sexe après la phase dite hermaphrodite sont pratiquement inconnus (Tesch 1977). Certaines expériences indiquent que l'action de l'environnement en conjonction avec les fortes densités de population et la disponibilité des ressources alimentaires favorisent le développement du sexe mâle (Passakas et Tesch 1980). Cela étaye l'existence d'un gradient décroissant de mâles de l'aval vers l'amont.

La phase de migration de l'eau douce vers les eaux marines : l'anguille argentée.

Cette phase est caractérisée par une modification des comportements, de la physiologie de l'anguille et de certaines de ses caractéristiques anatomiques.

La modification la plus visible est constituée par le changement de la coloration de la peau qui devient argentée avec des reflets métalliques (Tesch 1977). L'accroissement de la taille de l'œil est important et a été décrit par de nombreux auteurs depuis Schmidt (1906).

La période de dévalaison s'effectue suivant les latitudes de l'été à l'hiver. Généralement, dans la zone centrale de l'aire de répartition (golfe de Gascogne), elle a lieu en automne (Langon et Dartiguelongue 1997 ; Gosset *et al* 2000). Les variations de température, de débit et les rythmes lunaires jouent un rôle important sur le déclenchement de la dévalaison (Smith and Saunders 1955 ; Winn *et al* 1975 ; Gosset *et al* 2000). Les tailles et l'âge des dévalants varient en fonction principalement du sexe : les mâles migrant à une taille et à un âge inférieurs en moyenne à ceux des femelles.

Parmi les autres transformations anatomiques remarquables figure celle de la vessie natatoire dont la modification de la paroi permet à l'anguille d'atteindre des profondeurs d'au moins 2000 mètres (Robins *et al* 2000). A ces profondeurs, la modification des cellules rétinienne permet à l'anguille de se mouvoir dans un environnement moins riche au niveau du spectre lumineux.

La migration en profondeur de l'anguille permettrait à celle-ci d'utiliser les contre-courants profonds du Gulf-Stream pour atteindre l'aire de fraie (Tucker 1959). La direction du déplacement de la masse d'eau pourrait être déterminée avec l'aide des champs électriques induits (Rommel et Stasko 1973, Rommel et Mac Cleave 1973) qui peuvent être détectés par l'anguille.

Mécanisme de dispersion de l'aire de reproduction aux zones de production continentales.

L'hypothèse de panmixie signifie que l'anguille européenne constitue une seule population s'appariant au hasard en mer des Sargasses. Il en résulte qu'au travers de la dissémination aléatoire des larves par le biais de la circulation océanique l'ensemble des stocks d'anguille européenne disséminés sur les bassins versants de l'aire de colonisation allant de la Mauritanie au Cercle Polaire appartient à la même population reproductrice. Cette hypothèse généralement acceptée est cependant remise en question par les derniers travaux portant sur la diversité génétique de la population (Wirth et Bernatchez 2001, 2003, Maes et Volckaert 2002).

Ces auteurs établissent en effet à partir de l'analyse de l'ADN nucléaire (figure 35) les faits suivants :

- l'espèce *Anguilla rostrata* est bien différenciée à partir des marqueurs génétiques utilisés d'*Anguilla anguilla* et sa structure non arborescente semble indiquée que l'espèce est panmictique ;
- l'espèce *Anguilla anguilla* a une structure arborescente qui montre l'existence de plusieurs groupes : un groupe Méditerranéen ; un groupe mer du Nord et un groupe Atlantique et qui permet de conclure que l'espèce n'est pas panmictique ;
- l'échantillon d'origine islandaise occupe une position intermédiaire et confirme les travaux de Avise *et al* (1990) sur la présence d'un taux non négligeable d'hybrides des 2 espèces (5,6% de l'échantillon observé) dans ces rivières.

Cette isolation aboutissant à la définition de plusieurs unités génétiquement distinctes serait liée d'après ces auteurs à la distance qui sépare les bassins versants de la zone de reproduction en mer des Sargasses. Cependant, la position de l'échantillon de l'Adour (fond du golfe de Gascogne) et de celui du Minho (nord du Portugal) proche dans l'arborescence des échantillons issus de la mer du Nord montrent que la position respective des bassins versants par rapport à la mer des Sargasses n'expliquent pas tout. La complexité de la circulation océanique de la mer des Sargasses vers les côtes européennes pourrait par les longueurs respectives des temps de migration apporter des éléments complémentaires pouvant éclairer cette proximité génétique non étayée par une proximité géographique des stocks considérés.

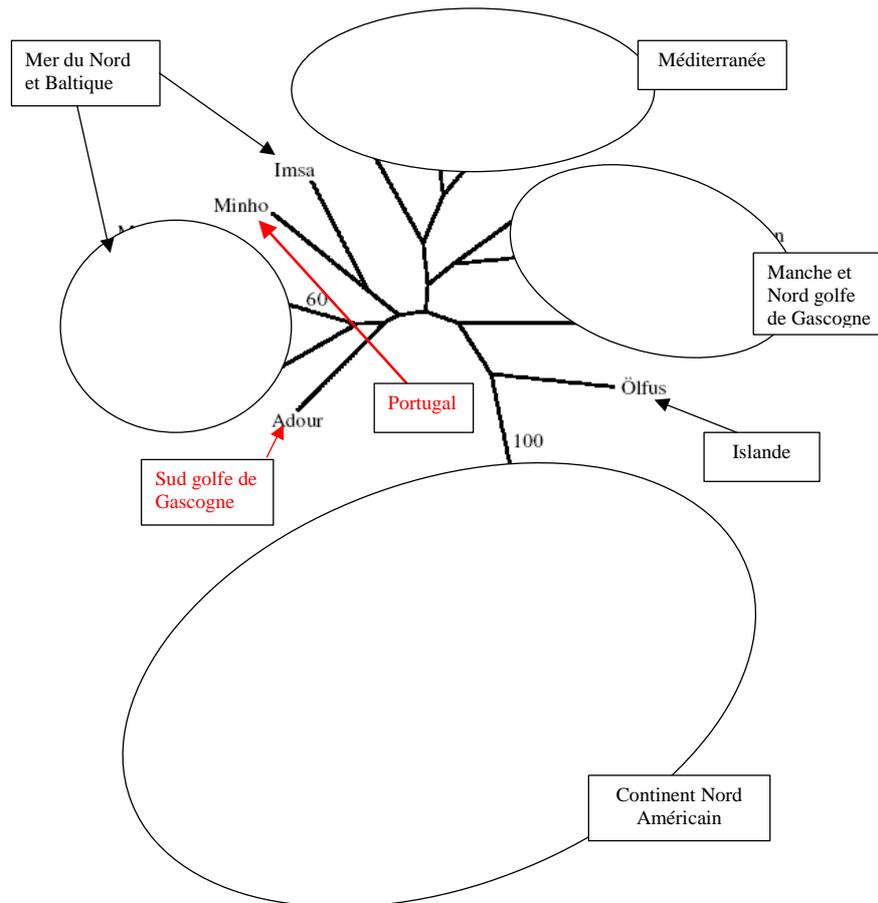


Figure 35 : Proximité génétique des échantillons d'anguille issus de différents bassins versants de l'aire de répartition d'après Wirth T. and L. Bernatchez (2003).

Cette structuration de la population d'anguille européenne en unités génétiquement distinctes est actuellement remise en cause par des travaux qui incluent une composante temporelle plus grande et différents stades de développement (Dannewitz et al, 2005).

La figure 36 montre le flux d'eau transporté par le système du Gulf Stream dans l'Atlantique Nord et met en relief les fortes différences des volumes véhiculés vers les parties Nord, centre et sud de l'aire de répartition.

Compte tenu de la faible capacité de nage des larves, on estime que la plus grande partie de la migration est assurée par un transport vers l'ouest au sein de la branche principale du courant du Gulf Stream, puis dans la Dérive Nord Atlantique. Le courant des Açores qui

forme la composante nord de la Convergence Subtropicale, transporte les larves vers la Méditerranée alors que la branche nord de la Dérive Nord Atlantique diffuse les larves vers la partie septentrionale de l'aire de distribution. La branche sud de la Dérive Nord Atlantique, la plus importante, diffuse les larves vers la partie centrale de l'Europe. Ce phénomène de diffusion est très important, car il explique pourquoi les principales pêcheries de civelles se sont développées dans la partie centrale (golfe de Gascogne, sud des Iles Britanniques) qui reçoit en premier les plus fortes concentrations de civelles. Les rivières du Nord de la Péninsule Ibérique, ayant des remontées de civelles plus précoces que celles des rivières du nord du Golfe, pourraient être irriguées par un flux de civelles venant du courant des Açores et non de la branche sud de la Dérive Nord Atlantique.

La colonisation sur les bordures de l'aire de répartition étant effectuée après, par diffusion de ce qui n'a pas été attiré dans les eaux continentales de la zone centrale. A l'inverse, le recrutement par la mer d'Irlande ou le sud de la mer du Nord ou encore par le bras nord du courant Nord Atlantique est naturellement moins élevé ou faible, même les bonnes années. C'est ce qui explique les faibles densités d'anguille des régions scandinaves, qui sont compensées par une forte proportion de femelle (Knight, 2001).

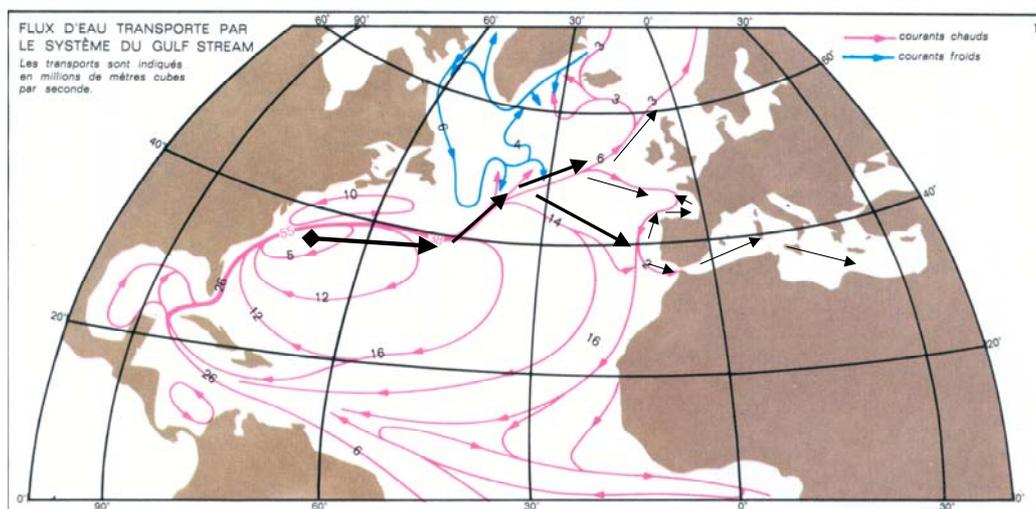


Figure 36 : carte de l'Océan Atlantique Nord montrant les volumes d'eau véhiculés par le flux d'eau océanique et les transports supposés des leptocéphales (d'après carte Encyclopédie Bordas).

Evaluation de la ressource et bases sur sa dynamique de population.

Statut de la population

Les travaux compilés par le groupe de travail conjoint CIEM/CECPI (Anonyme 2003) montrent que la population et les pêcheries développées sur l'anguille européenne (*Anguilla anguilla*) ont fortement chuté dans la plupart des zones de l'aire de distribution. La population est actuellement considérée en danger (« outside safe biological limits ») et les pêcheries ne peuvent maintenir leur niveau de production dans la plupart des bassins versants concernés. La pêche civelière française et du sud de l'Europe garde cependant une importance socio-économique très forte pour les petites pêches côtières (Leauté (coordinateur) 2002, Prouzet (coordinateur) 2002) compte-tenu des prix élevés à la première mise en marché⁶² liés à une demande asiatique (Chine en particulier) très forte et qui se maintient.

Pour l'anguille américaine (*Anguilla rostrata*) le constat est le même (Nilo et Fortin 2001). S'il existe peu de données sur les remontées de civelles suivies uniquement par intermittence aux Etats Unis et au Canada, on constate sur de nombreux cours d'eau (américains (Casselman *et al* 1997, Chaput *et al* 1997) une baisse très sensible du nombre d'anguillettes

⁶² Entre 600 à 700 euros départ professionnel pour de la civelle vivante.

ou d'anguilles jaunes recensées dans les passes migratoires ou des densités répertoriées par pêche à l'électricité sur différentes rivières. Les deux populations européenne et américaine montrent conjointement une évolution de leur abondance vers une baisse très conséquente au moins vers la fin des années soixante dix.

Il convient cependant de noter que les situations sont très diverses selon les bassins versants concernés et sont liées très souvent à la position du bassin versant : situation plus critique semble - t'il dans la partie nord de l'aire de répartition que dans la partie sud et selon aussi le degré d'anthropisation des bassins versants concernés : chute très forte des densités en anguille jaune sur des bassins versants fortement artificialisés (Lobon – Cervia, Utrilla and Rincon 1995) , mais moins sensible sur d'autres plus ouverts à la pénétration des civelles (cas de l'Adour par exemple, Prouzet *et al* 2002). C'est le cas aussi du côté du continent Nord Américain bien que Richkus et Whalen (1999) signalent que les tendances statistiquement significatives observées dans les ensembles de données fiables sont négatives.

Evolutions millénaire, séculaire et actuelle : l'action du climat.

Les travaux de Wirth et Bernatchez (2003) portant sur l'analyse de la diversité génétique de l'anguille à partir de l'ADN nucléaire semblent montrer, en utilisant la méthode développée par Beaumont (1999), que le déclin des populations d'anguille se serait poursuivi depuis une période de temps qui s'écoule sur un nombre de générations compris entre 766 et 5132 générations. Si l'on se base sur le temps de maturité sexuelle des femelles estimé entre 10 et 15 années selon Tesh (1977), cela nous donnerait une période de déclin au moins de 8000 années et au plus de 75000 ans. Les résultats de ces travaux indiquaient également que le déclin a commencé plus tôt en Amérique du Nord qu'en Europe et que le taux de déclin a été plus prononcé chez l'anguille européenne.

Les valeurs moyennes prises par ces auteurs : 2000 générations et durée d'une génération estimée à 10 ans nous amènent à penser que l'origine de ce déclin date de la dernière période de glaciation au Wisconsin. Ces modifications climatiques ont joué un rôle sur la circulation océanique (Duplessy 1999) et sur le transport des larves par le Gulf Stream.

Des variations de la NAO ont été notées sur une échelle séculaire. On sait que ces variations de la pression atmosphérique influent fortement sur la circulation océanique. Elles ont des effets bénéfiques sur certaines populations de poissons amphihalins comme les salmonidés (Beaugrand and Reid 2003) en augmentant la productivité de la chaîne trophique. Cependant, en ralentissant les vitesses de la circulation océanique, elles pourraient avoir des impacts négatifs sur des espèces comme l'anguille dont les écophases marines se nourrissent peu (leptocéphale) ou pas du tout (anguille argentée et civelle) et qui utilisent le courant comme support de migration.

Dans ces conditions, on constate que les diminutions des recrutements constatées sur de nombreux bassins versants de la partie centrale de l'aire de répartition (celle qui est le plus irriguée en civelle) coïncident avec l'accroissement de l'indice NAO (anomalies de la pression atmosphérique) dans l'Atlantique Nord (figure 36, exemple de la Loire) vers la fin des années soixante dix⁶³.

⁶³ Les statistiques de pêche avant les années soixante ne reflètent qu'imparfaitement l'abondance des flux de civelles

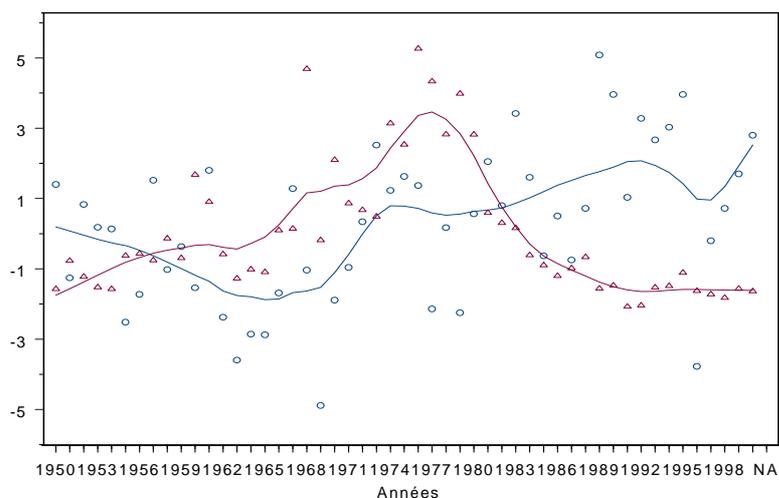


Figure 37 : Variation relative des productions de civelles en Loire (courbe rouge) et variation de l'indice NAO (courbe bleue) de 1950 à 2000.

Les facteurs anthropiques : évolution récente.

L'analyse de l'évolution du recrutement dans la partie Nord de l'aire de répartition, et notamment en Suède et en Baltique, montre cependant que les indicateurs de recrutement et d'échappement ont commencé à décliner bien avant les années 70 (Anonyme 2002).

La situation des stocks d'anguille européenne et américaine est comme nous l'avons signalé précédemment très variable selon les bassins versants pour ce qui concerne les aires de colonisation de l'espèce.

Dans toute l'aire de répartition, l'une des causes majeures de la diminution de cette espèce, notamment dans les zones septentrionales, est la fragmentation de l'habitat par l'édification de plus en plus importante d'obstacles à la migration.

Au cours du 20^{ème} siècle, plus de 25 000 grands barrages ont été construits pour des besoins multiples à travers le monde. Les pays membres de l'Union Européenne régulent 60 à 65% du débit de leurs rivières et la construction de grands barrages s'est accélérée en Europe après la seconde guerre mondiale (in Anonyme 2003). Ces obstacles ont restreint fortement l'accessibilité des zones de production des cours moyens et supérieurs, ce qui a eu pour effet immédiat de diminuer les productions piscicoles. Cet effet s'est certainement fait plus sentir dans les zones périphériques de l'aire de colonisation et notamment dans les zones scandinaves, nettement moins irriguées en civelle que la zone centrale (golfe de Gascogne notamment). La Suède, pionnière du développement hydroélectrique en Europe, a développé cette source d'énergie dès la fin du 19^{ème} siècle. Au début du 20^{ème} siècle, le développement des techniques de transport de l'énergie a permis d'équiper les grands bassins. Cela a permis à la Suède, possédant des réserves en eau considérables (plus de 100 000 lacs, 13 rivières à plus de 100m³/s en moyenne), de compter sur l'énergie hydroélectrique pour couvrir jusqu'en 1967 la totalité de ses besoins en énergie. Il est plus que probable que les effets ont été catastrophiques sur la production d'anguilles subadultes de cette zone. Dès la fin des années quarante (alors que l'exploitation de l'anguille ne s'est pas accélérée durant la deuxième guerre mondiale ou juste après), on constate une diminution très nette des captures de civelles dans cette région, suivie dix ans plus tard par une baisse très marquée des captures d'anguille en Baltique.

En France, bien que moins importante, cette fragmentation s'est également poursuivie tout au long du 20^{ème} siècle. Certains barrages, comme celui d'Arzal sur la Vilaine,

ont été construits à l'embouchure afin de prévenir la remontée de la marée dynamique en amont. Cela a eu pour effet de bloquer les flux de civelles et d'accroître le prélèvement par la pêche (taux d'exploitation supérieur à 90%, CIEM-Groupe de travail sur l'anguille, 2002)

Si des efforts importants ont été consentis pour faciliter le franchissement de ces obstacles par les salmonidés migrateurs ou les aloses lors de leurs remontées, beaucoup moins de passes à poissons ont été dédiées à l'anguille. Les grands barrages ont commencé à être équipés assez récemment, notamment en France. L'exemple du barrage de Tuilières sur la Garonne illustre parfaitement ce propos (Teyssier *et al*, 2002). En 2002, l'installation d'une rampe à brosse (équipement adapté au franchissement des juvéniles d'anguilles) a permis le passage de 19 000 individus alors que la passe à bassins (dédiée aux salmonidés migrateurs) n'avait permis le passage que de 267 anguillettes.

L'effet négatif de ces barrages sur la production d'anguilles dans un bassin peut être encore accentué par l'installation de turbines hydroélectriques. En effet, de nombreuses expériences ont montré que la survie des anguilles, après passage dans ces turbines lors de la phase de dévalaison (stade anguille argentée), pouvait être très réduite. Les mortalités engendrées dépendent du type de turbine utilisée, de la position des prises d'eau par rapport à l'axe de la rivière, de la présence ou non de grilles de protection et de la pression hydrostatique due à la hauteur de la dénivellation créée. Le problème devient particulièrement épineux lorsque plusieurs barrages hydroélectriques se succèdent sur le bassin versant. Prignon *et al* (1998) estiment que, sur la Meuse, la mortalité directe pour les mâles se situerait entre 34 et 45% et pour les femelles entre 40 et 63%. Dönni *et al* (2001) montrent, sur le Rhin, qu'entre Shaffhouse et Bale la mortalité cumulée des anguilles, après passage dans 13 centrales hydroélectriques, serait de 92,7%. Ainsi, le devenir de cette espèce passe le plus rapidement possible par l'amélioration de la libre circulation à la montée (anguillettes et anguilles jaunes), mais aussi à la descente (anguilles argentées). Dans le cas contraire, la stérilisation des zones moyennes et supérieures des bassins versants devrait s'accélérer. A cet égard, le groupe de travail du CIEM s'inquiète très sérieusement des retombées négatives, pour cette espèce, de la directive européenne (2001/77/EC) relative à l'augmentation par les pays membre de l'énergie dite « verte ». Cette directive prévoit de faire passer la part d'énergie issue des ressources renouvelables de 13,9 à 22%. Elle aura pour conséquence, la multiplication des barrages hydroélectriques sur les axes fluviaux.

La diminution de la surface des zones humides est également un autre facteur qui a été identifié comme particulièrement défavorable à l'espèce. Les modifications des pratiques culturales à partir des années soixante dans les parties centrales et sud de la zone de colonisation ont provoqué une augmentation des pompages ou des détournements de l'eau pour les besoins de l'irrigation et une disparition très importante des zones humides situées sur les bassins inférieurs par remblaiement ou par drainage. 30 à 40% des 268 millions d'hectares irrigués dans le monde le sont à partir des retenues d'eau. Cela provoque des étiages de plus en plus prononcés des cours d'eau et par conséquent une diminution très forte de leur productivité piscicole. La France où l'agriculture représente une activité majeure n'échappe bien évidemment pas à cette règle. Par exemple, sur le bassin versant de la Garonne, Charente et Dordogne, on a constaté un accroissement par cinq des surfaces céréalières irriguées : de 100 000 hectares en 1970 à 500 000 hectares en 2000 (Teyssier *et al*, 2002). Sur le bassin versant de l'Adour, la situation est identique et l'on note une augmentation par quatre de ces cultures irriguées sur le bassin versant (Prouzet *et al*, 2002).

La mise en culture de ces zones humides, l'accroissement de ce type de production agricole s'est également accompagné par l'augmentation de l'utilisation de xénobiotiques. Or l'anguille accumule très facilement ce type de contaminants (chlorobiphényles, métaux lourds, pesticides organochlorés,...) dans ses graisses. Une étude sur la contamination en PCB de l'anguille effectuée en Belgique (Goemans et Belpaire, 2002) montrait que sur 244 sites d'inventaire, 80% des échantillons excédaient le seuil admissible de 75µg/kg. Des

concentrations importantes ont été également trouvées sur cette espèce dans le bassin de l'Adour (données GIS-ECOBAG). L'impact de cette contamination sur la physiologie de l'anguille et notamment sur sa reproduction, reste encore indéterminé.

A ces différents facteurs anthropiques qui ont des impacts très négatifs sur le futur de cette population, il convient d'ajouter les conséquences de l'introduction d'espèces végétales ou animales exotiques : écrevisse de Floride qui colonise en abondance les zones inférieures des bassins versants, introductions de végétaux d'aquariophilie tels que la jussie ou le myriophylle qui envahissent les canaux d'irrigation et qui sont éradiqués par l'utilisation intensive de désherbants.

Enfin, l'introduction en Méditerranée dès le début des années quatre-vingt d'anguilles asiatiques (Peters et Hartmann 1986) a provoqué l'apparition, dans nos milieux, d'un nématode parasite hématophage, *Anguillicola crassus* responsable de l'anguillicolose qui se fixe dans la paroi de la vessie natatoire et rend sa membrane très rigide et donc moins fonctionnelle pour assurer l'équilibre hydrostatique lors de la migration marine de l'anguille vers la mer des Sargasses (Möller *et al* 1991). La présence de ce parasite est signalé largement en Europe, on peut parler de véritable pandémie. Dans de nombreux pays les taux d'infestation sont proches de 100% très rapidement après l'introduction du parasite (Kennedy et Fitch 1990). Des études précises sur le taux de contamination ont été faites sur certains bassins comme celui de l'Adour (Anonyme 1998) où l'on signalait des taux de prévalence moyens de 55%.

L'introduction aux Etats Unis semblerait plus récente Fries *et al* (1996) signalent sa découverte dans une pisciculture du Texas. On constate par la suite une expansion rapide de ce parasite puisqu'il est signalé dans la rivière Hudson (Etat de New York, Barse et Secor 1999).

Signalons que cette nématode n'entraîne pas de troubles pathologiques chez *Anguilla japonica* (Ooi *et al* 1996).

La pêche de cette espèce à tous les stades de son développement peut être un facteur aggravant de la diminution de l'espèce, mais son intensité est très variable suivant les bassins versants. L'analyse de la situation de la population à l'échelle européenne montre que cette activité n'a pas été le facteur déclenchant (Prouzet 2003).

Les taux d'exploitation effectués sur les flux de civelles vont de 0% (cas de la plupart des flux remontant en Méditerranée où la pêche de cet alevin est interdite dans de nombreux pays) à plus de 90% à l'aval de barrage d'estuaire bloquant toute migration (Anonyme 2002).

Sur l'Adour dans un estuaire de type ouvert, les estimations effectués sur l'abondance des flux de civelles ont montré que durant la saison de pêche 1999 – 2000, campagne de production la meilleure de la dernière décennie (Lissardy *et al* 2004), le taux d'exploitation saisonnier global a été de 6,8%% en estuaire avec un taux d'exploitation du flux passant en estuaire inférieur à 6% un jour sur deux (Bru, Prouzet et Lejeune 2004).

Pour l'anguille jaune, la compilation des données montrent également la diversité de l'intensité de l'exploitation 85% d'exploitation pour les mâles et pratiquement 100% des femelles sur le Lac IJsselmeer en Hollande durant la période 1989-1996 (Dekker 2000). Ce taux d'exploitation est un peu plus modéré sur la côte Ouest de la Suède et aboutit à un échappement de 15% du stock vierge (Svedäng 1999) et un peu moins fortement dans le lac de Grandlieu en France (entre 45 et 50% d'échappement d'après Adam 1997). Cette exploitation a tendance dans de nombreuses rivières françaises à diminuer fortement compte-tenu de la raréfaction de cette ressource dans de nombreuses zones, mais aussi par la faible attractivité de ce métier vis à vis des jeunes pêcheurs professionnels : cas de l'Adour (Lissardy *et al* 2004) ou de la Garonne et Dordogne par exemple (Anonyme 2004)

Pour ce qui concerne l'anguille argentée, l'intensité de l'exploitation est également très variable. Elle est peu pêchée sur la façade Atlantique française et beaucoup de fleuves comme l'Adour ou le système fluvio estuarien Gironde – Garonne – Dordogne n'ont pas de

pêche ciblées sur cette phase. Cela n'est pas le cas sur la façade Méditerranéenne où cette écophase est ciblée au même titre que l'anguille jaune.

Sur la Loire Feunteun et Boisneau (in Anonyme 2003) estiment par marquage –recapture un échappement de 80 à 90% des pêcheries au guideau.

Il est moins fort en Baltique où l'échappement des anguilles argentées est estimé à 60% Moriarty (1997). C'est le cas également sur l'Erne River (Matthews *et al* 2001) ou sur la rivière Shannon en Irlande (McCarthy et Cullen 2000) où l'échappement est en moyenne supérieur à 60%.

De l'approche écosystémique dans la gestion et la restauration des stocks d'anguille européenne.

L'accroissement de la masse de géniteurs en mer des Sargasses est strictement dépendant de l'augmentation de l'échappement en anguille argentée des zones continentales, estuariennes ou littorales localisées entre la Mauritanie et le Cercle Polaire. Compte-tenu de la situation de cette espèce, le groupe de travail conjoint CIEM – CECPI réunit à Sukarrieta (Espagne) en 2003 a recommandé que l'impact de l'ensemble des facteurs anthropiques (dont la pêche) agissant sur cette écophase soit réduit à son niveau le plus bas possible (Anonyme 2004, page 43).

L'analyse de la situation par bassin telle qu'elle a été faite par les scientifiques de part et d'autre de l'Atlantique (Anonyme 2003) montre que cette mesure d'urgence ne suffira pas à moyen terme pour restaurer l'espèce et qu'il convient d'agir sur l'ensemble des principaux facteurs qui interviennent sur les autres écophases (civelle et anguille jaune).

La biologie de l'espèce et son mode de colonisation arborescent fractionnent la population d'anguilles en unités de différentes tailles dont la productivité est dépendante de la capacité d'accueil des zones de grossissement qui les reçoivent.

La diversité des situations exposées précédemment est telle que l'on devrait presque considérer séparément chaque unité de production qui s'identifie à un bassin versant.

L'approche par bassin versant, largement recommandée par la communauté scientifique, est celle qui permet d'avoir une analyse de type systémique. La pêche n'est pas le seul facteur d'exploitation d'un environnement, d'autres causes entrent en jeu (exploitation des ressources hydriques, exploitation des paysages urbains et agricoles par exemple).

C'est celle aussi qui permet d'associer le plus étroitement possible les exploitants en intégrant à la fois leurs observations (l'exploitant est, dans ce contexte, un praticien qui assure en outre une veille environnementale) et en les associant à la confrontation des résultats des suivis scientifiques et techniques et de ceux issus des indicateurs d'exploitation (captures totales, effort de pêche, captures par unités d'effort, variabilité climatique,...).

Mais cette échelle est insuffisante si on restreint l'espace à cette seule appréhension du bassin car le devenir de l'espèce passe par une vision géographique plus large. Une restauration des habitats et de la ressource sur un seul bassin versant ne peut conduire à une restauration de la ressource à l'échelle européenne compte-tenu de cette structure arborescente de la population.

D'où la mise en réseau de bassins pilotes permettant une approche précise et locale sur une aire plus large et crédible à l'échelle de l'Europe et sans nul doute à l'échelle de « l'Espace Atlantique ». C'est ce que propose le projet INDICANG (Prouzet 2004) entrepris dans le cadre du programme INTERREGIII B et qui met en place un réseau de bassins versants incluant cette dimension locale sur les unités de production majeures comprises entre la Cornouaille anglaise et le Nord du Portugal (cf. chapitre : coordination de la recherche et de programmes européens).

Au niveau de chaque bassin, une structure d'animation permet d'assurer de manière concrète un transfert de connaissances ascendant et descendant entre les différents acteurs de la gestion. Elle a pour vocation de traiter non seulement des problèmes de biologie, mais aussi des questions de socio-économie. L'expérience montre en effet que la gestion de cette ressource est basée sur l'établissement de compromis entre acteurs qui ne sont pas établis uniquement sur des faits biologiques, mais également sociaux.

Elle veillera à la mise en place des structures techniques chargées des suivis des indicateurs. Les indicateurs collectés doivent être validés et établis selon des normes pour pouvoir être comparés au niveau du réseau de bassins versants. Cela procède d'une démarche scientifique qui est entreprise par le réseau de « boîtes thématiques ». Ce réseau est placé sous la responsabilité des organismes de recherche en liaison avec les structures techniques locales ; ils forment des groupes thématiques. Il est chargé de faire le point : état initial des observations et suivis par bassin, d'analyser les méthodes utilisées, d'apporter une vision critique et de proposer une base technique commune pour l'ensemble des bassins du réseau.

L'ensemble des données répertoriées et relatives à la connaissance des pêcheries, à l'évaluation de la ressource et de la qualité de son habitat sera archivée, synthétisée et collectivement commentée afin d'aider les gestionnaires et décideurs régionaux, nationaux et européens à la « sage administration de cette ressource et de son environnement ».

Utilisation d'un modèle composite pour l'estimation de l'abondance d'un flux de civelles en estuaire.

L'objectif de ces travaux programmés dans le cadre de la gestion de l'espèce sur le bassin de l'Adour était de mettre au point une méthode d'estimation de l'abondance d'un flux de civelles en estuaire ouvert présentant les caractéristiques suivantes : reproductible ; cohérente et peu coûteuse.

Les premiers travaux ont été effectués dans le cadre de deux thèses : De Casamajor (1998) et Bru (1998) qui ont permis de mesurer les effets de l'hydroclimat sur le comportement des civelles et leurs captures. Cela a permis de quantifier entre autre, la base de connaissances accumulées par l'expérience des pêcheurs professionnels d'estuaire⁶⁴.

Les travaux effectués⁶⁵ ont notamment permis de mieux caractériser le comportement de la civelle à partir de variables qui agissent sur l'intensité de l'éclairement de la colonne d'eau. Parmi celles-ci la turbidité et la phase lunaire conditionnent la présence des civelles en surface et par voie de conséquence leur vulnérabilité aux engins de pêche professionnels qui n'explorent en surface qu'une couche d'eau d'une épaisseur maximum de 1m50 environ (De Casamajor, Bru et Prouzet, 1999).

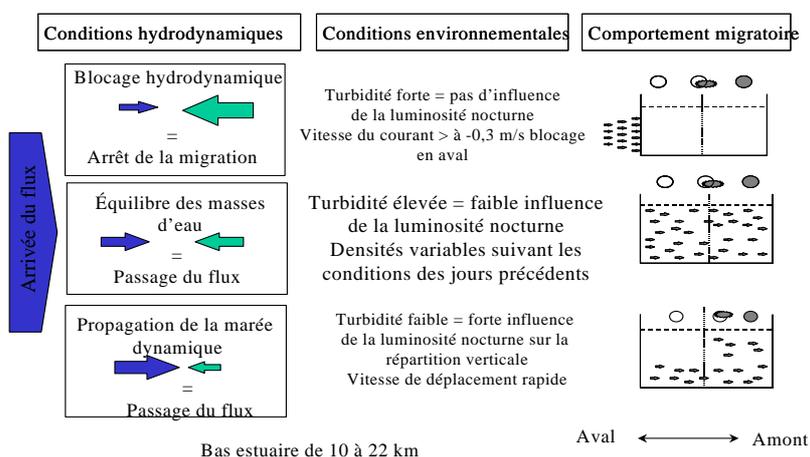


Figure 38 : schéma comportemental de la civelle en estuaire selon certaines combinaisons environnementales.

⁶⁴ Cette approche a permis notamment de bien cerner les facteurs principaux responsables de la présence des civelles en surface et donc vulnérable à la pêche. Elle a permis aussi de mettre plus facilement au point les protocoles d'échantillonnage du flux derrière le front de marée dynamique.

⁶⁵ Pour plus de détails on se reportera à la liste bibliographique des travaux.

Le schéma emprunté à De Casamajor (1998) résume les grands traits du comportement selon les différentes combinaisons des conditions environnementales jugées comme pertinentes (figure 38).

L'analyse conjointe de la répartition des captures professionnelles dans le temps et dans l'espace ainsi que la modélisation comportementale de la migration de la civelle en estuaire effectuée par l'IFREMER-LRHA et l'UPPA-LMA a permis de montrer également la vitesse de migration du flux, de confirmer la migration passive derrière le front de marée dynamique et de valider les dires des professionnels sur la migration de jour de la civelle à proximité du fond (Prouzet -coordinateur 2003⁶⁶) (figure 39).

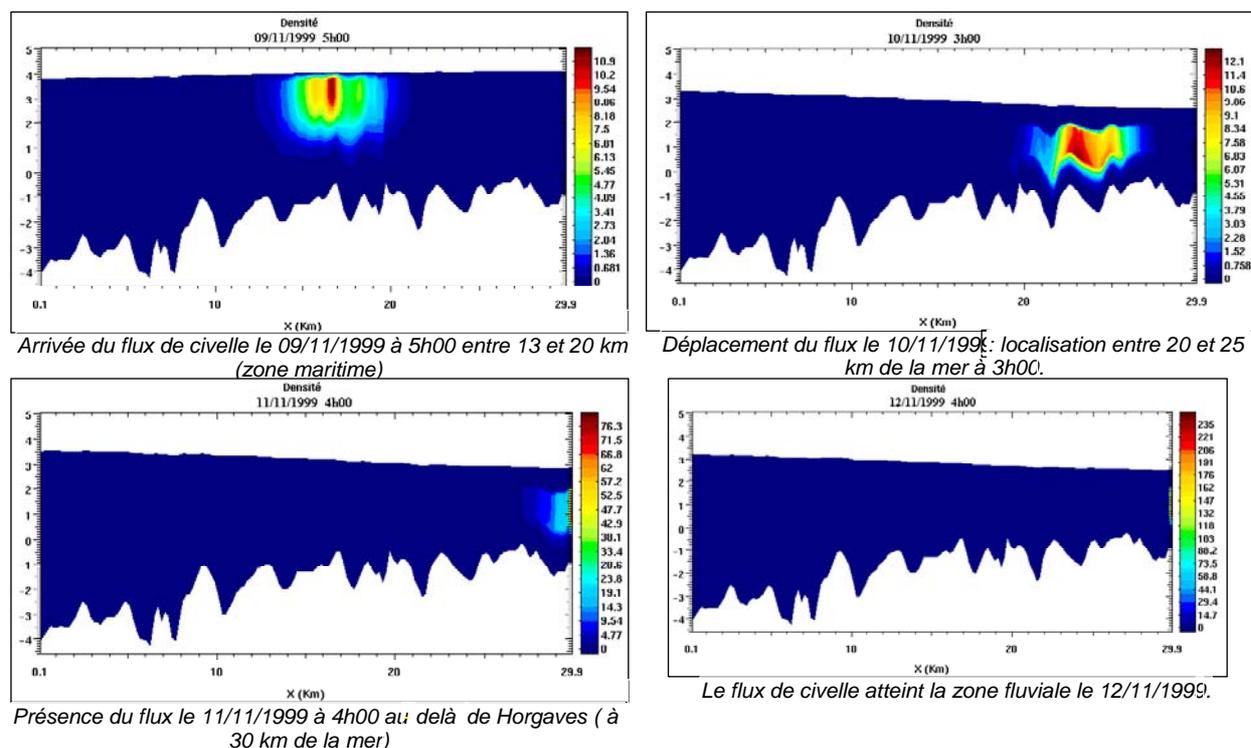


Figure 39 : Sorties du simulateur comportemental montrant le cheminement du flux dans l'estuaire et correspondant au temps nécessaire pour qu'un pic de captures identifié dans le bas estuaire arrive dans le haut estuaire avec les conditions hydroclimatiques correspondantes.

L'ensemble de ces études nous a permis de mettre au point une méthode d'estimation journalière des flux de civelles et de réaliser une extrapolation saisonnière à partir des captures journalières effectuées et du taux d'exploitation prédit selon les variables hydroclimatiques. Ces travaux sont résumés dans le poster présenté à la figure 40 d'après Bru *et al* (2005).

La technique d'estimation journalière a été développée dans le cadre du programme amihalins Adour par le LabSad (Upmf Grenoble) et l'IFREMER-LRHA⁶⁷.

Cette technique permet à partir de transects effectués parallèlement aux rives sur une station d'échantillonnage située dans le bas estuaire d'évaluer les densités de civelles à différents moments du flot et de l'extrapoler à toute la masse d'eau située derrière le front de

⁶⁶ Prouzet (coordinateur) 2003 - Etude sur la civelle (*Anguilla anguilla*) dans l'estuaire de l'Adour : Pêche, biologie, comportement, modélisations hydrodynamique et comportementale, estimation des flux de civelles en estuaire. Rapport de contrat Institution Adour – IFREMER, 224 pages + annexes.

⁶⁷ Bru N., Lejeune M. et P. Prouzet (soumis à publication). Estimating daily Glass-eel abundance in an open estuary from sparse data in spatio-temporal sampling : application to the Adour (France).

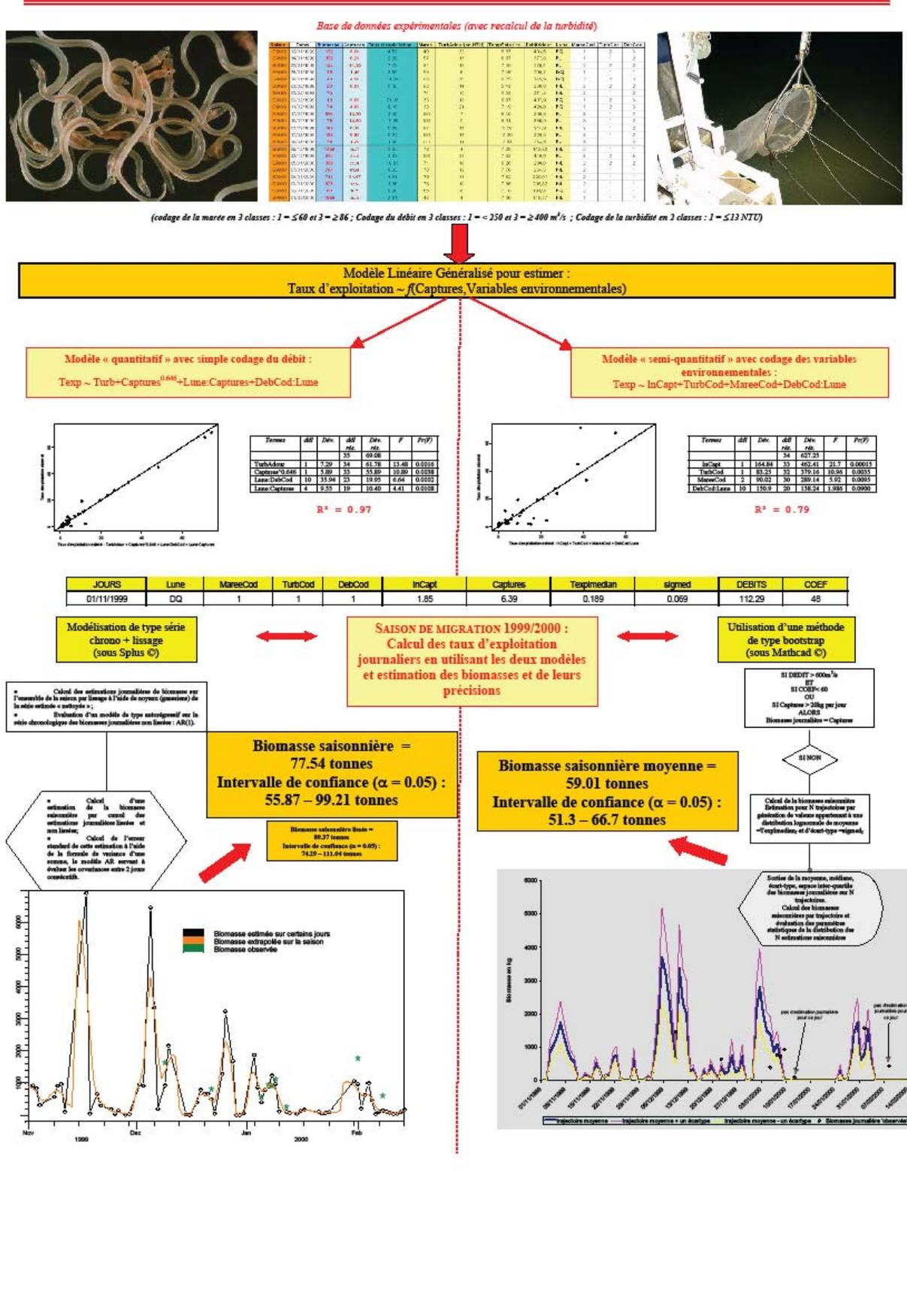


Figure 40 : Chaîne d'observations et de traitements permettant d'estimer la biomasse saisonnière

la marée dynamique. L'estimation de cette biomasse journalière permet en la rapprochant des captures effectuées, ce jour là, dans la zone touchée par la progression du flot d'évaluer le taux d'exploitation exercée par la pêcherie aux tamis poussés. Dans ces conditions, plusieurs séries de sorties nous permettent de construire un modèle statistique liant le taux d'exploitation à un « facteur d'échelle » (la capture) et des variables hydrodynamiques qui influent sur la capturabilité des civelles (présence de celles-ci en proportion variable suivant l'éclairement de la colonne d'eau dans la partie proche de la surface explorée par les tamis poussés).

Deux méthodes d'estimation ont été utilisées : une méthode basée sur l'étude de séries chronologiques des valeurs de biomasse journalière prédites en utilisant un lissage sur une fenêtre de temps estimée par le modèle comportemental (cf. figure 39) et une méthode basée sur un rééchantillonnage de la base de connaissances décrivant les valeurs centrales (médianes ou moyennes) des taux d'exploitation journaliers et de leurs variabilités prédits par le modèle linéaire généralisé.

J'ai plus particulièrement contribué à développer la seconde méthode qui est détaillée dans les feuilles de programmation sous MathCad © de l'annexe 2 .

Ces travaux sont repris sur d'autres estuaires, à la demande des gestionnaires (DIREN et DRAM) dans le cadre du programme INDICANG et sont actuellement en phase de transfert vers les structures techniques locales (LOGRAMI, AAPPEDD Gironde, SMIDAP). Ils permettent d'avoir des ordres de grandeur des taux d'exploitation sur différents estuaires de type ouvert (sans obstacle à la migration en estuaire) et répondent aux demandes de l'Union Européenne sur la gestion et la restauration de l'anguille européenne.

Conclusions et Perspectives

En préambule, j'ai précisé le contour du macrocosme au sein duquel je me situais (cf. schéma 1 page 7). Mon appartenance à un organisme de recherche ayant des fonctions d'avis et d'expertises institutionnelles font que les liens et contacts avec les acteurs qui gèrent ou exploitent ces ressources halieutiques, sont plus nombreux que ceux développés par les chercheurs de laboratoires de recherches universitaires ou du CNRS (par exemple). En Europe, de nombreux instituts ont une responsabilité équivalente : IPIMAR au Portugal, IEO en Espagne, CEFAS en Angleterre,...

De ce fait, ma démarche scientifique et plus largement professionnelle entreprise au cours de ces 30 années de carrière, s'est développée parfois bien au-delà de la communauté scientifique impliquée dans l'étude des ressources halieutiques. L'élargissement de ce cadre m'a permis de mieux appréhender le chemin qu'il nous reste à parcourir et les écueils qu'il nous faut éviter pour véritablement mettre en place le « développement durable ». Cette évolution des mentalités ne concerne pas que le seul développement d'un champ disciplinaire, il ne concerne pas non plus que la seule communauté scientifique mais, puisqu'il est rappelons le « à la conjonction du viable (plan environnemental), de l'équitable (plan social) et de l'efficace (plan économique) », découle d'une convergence entre les intérêts scientifiques, sociaux et politiques. A mon avis, les conditions pour favoriser une telle convergence ne sont pas encore réunies et il n'est pas évident que les différents « clans d'acteurs » soient tout à fait prêts à le faire.

Nous essaierons, pour ne pas tomber dans un pessimisme de mauvais aloi, d'analyser certains blocages et quelques possibilités de faire avancer la démarche vers une « Approche Ecosystémique pour une gestion intégrée des ressources halieutiques ».

Identification du microcosme et de son autonomie.

Pierre Bourdieu⁶⁸ assimile le champ disciplinaire à un microcosme relativement autonome : « c'est un univers dans lequel sont insérés les agents qui produisent, reproduisent ou diffusent la discipline ou plus largement la science s'il s'agit d'un champ scientifique ». Le degré d'autonomie du champ confère un certain pouvoir de s'affranchir des contraintes externes et surtout la capacité de réfracter, en les retraduisant sous une forme spécifique, les contraintes ou les demandes externes. Il s'agit en fait de répondre par « ce que je sais faire » plutôt que par « ce que je dois faire ». L'augmentation du pouvoir du champ se faisant par l'augmentation du capital scientifique individuel des agents et collectif, on a tout intérêt à cultiver « l'excellence thématique »⁶⁹, pour tout simplement garder un niveau d'autonomie important en fixant aux agents extérieurs un droit d'entrée très fort.

On comprendra aisément que dans ce cadre, l'ouverture vers les connaissances externes au champ reste conditionnée à l'accroissement de l'autonomie et non de l'hétéronomie⁷⁰.

⁶⁸ Bourdieu P., 1997 – Les usages sociaux de la science : Pour une sociologie clinique du champ scientifique. Sciences en Question (Ed) INRA, 80 pages.

⁶⁹ A moins de capitaliser non sur l'acquis scientifique, mais sur le capital d'institution pour accroître son influence politique au sein du champ et exercer un pouvoir tyrannique selon la définition de Pascal.

⁷⁰ Il ne faudrait pas que l'on se méprenne sur mes remarques concernant l'autonomie. En effet, comme on le dit si bien en « terre d'Ovalie », il ne faut pas oublier les fondamentaux. L'autonomie disciplinaire (ou plus précisément l'excellence thématique) confère à celui qui la cultive une autorité spécifique et une crédibilité en tant que « personne experte » dans un champ hétéronome ou lorsqu'il émet des avis et expertises vers et pour les décideurs. Cela l'autorise d'autant plus à parler en dehors du champ scientifique qui est le sien et durant une période plus ou moins longue à l'issue de laquelle il réintègrera son champ disciplinaire.

C'est pourtant celle-ci qui peut permettre l'amalgame disciplinaire⁷¹.

L'Halieutique constitue un champ disciplinaire très hétéronome et ses contours ne sont d'ailleurs pas précisément définis. Cette hétéronomie et cette ouverture aux influences externes (forte réactivité à la demande sociale et important pouvoir d'attraction des crédits extérieurs nécessaires, en outre, à son développement) favorisent la coexistence et l'amalgame entre diverses disciplines telles que l'économie, l'écologie et les mathématiques appliquées. Elle diminue cependant son attractivité vis à vis de champs scientifiques plus autonomes et dont certains des agents ont des compétences qui pourraient être d'un grand secours (écologie moléculaire, génétique des populations, éthologie par exemple) au développement de cette discipline.

Cette hétéronomie permet en outre, pour un organisme de recherche appliquée tel que le mien, de faire cohabiter selon Bourdieu « le moment de l'invention » et « le moment de l'innovation⁷² ». Il reste bien évidemment à solutionner dans ce contexte le problème de la communication entre le champ scientifique et le champ économique. Cela renvoie à la fonction de transfert et à la façon dont les médiateurs sont capables de faire circuler l'information et d'assurer le lien.

On conçoit également que ces deux fonctions au sein d'un organisme ou plus spécifiquement d'un champ, peuvent provoquer un schisme entre praticiens (au sens de l'ingénieur) et chercheurs ; les activités des deux fonctions évoluant de manière tout à fait autonome créant des sous-champs accentuant l'hétérogénéité du groupe ou de l'institut de recherche. Dans ces conditions, il semble judicieux pour éviter ce schisme de transférer ce qui est étudié et connu pour financer ce qui est en cours ou en projet et qui participera à l'accumulation des connaissances et donc renforcera le capital scientifique du groupe. Si la différenciation (spécialisation) des fonctions est accentuée, le problème de la dépendance financière comme celui de la dépendance créative d'un groupe par rapport à l'autre, se posera. Une solution possible, selon Bourdieu (1997), consiste à développer une culture d'organisme autour d'un objectif commun en assurant l'intégration des compétences et des savoirs.

Du fait de son hétéronomie, la recherche halieutique présente les faiblesses et les atouts qui viennent d'être évoqués. La démarche pluridisciplinaire nécessaire à l'évolution de ce champ s'inscrit dans le cadre plus large de programmes comme Nature, Sciences et Société du CNRS par exemple. A un niveau plus modeste, j'ai contribué et contribue à l'animation d'actions de recherche qui permettront de participer au développement de l'Approche Ecosystémique précédemment signalée : le GDR Adour et le programme DEMOSTEM.

Le Groupement de Recherche IFREMER Adour⁷³

Le cadre de recherche proposé est « l'impact des facteurs anthropiques sur le système estuarien de l'Adour et de sa zone d'influence sur le littoral basco-landais ». L'approche est pluridisciplinaire, mais ne juxtapose pas les compétences thématiques des chercheurs appartenant à des champs disciplinaires très différents : Ecologie moléculaire ; biochimistes ; numériciens ; statisticiens ; biologistes des pêches et économistes. Le fil conducteur est le contaminant métallique ou organique qui, de la source (usage agricole) à la cellule (cible

⁷¹ et non la simple juxtaposition des champs pour une fiction pluridisciplinaire.

⁷² « entendue au sens que la tradition économique donne à ce mot, c'est à dire comme transformation des inventions scientifiques en innovations génératrices de nouveaux produits et de nouveaux profits dans le monde économique Bourdieu page 47 (Les usages sociaux de la science).

⁷³ On trouvera au chapitre Coordination de la recherche et de programmes européens, des précisions sur les objectifs du GDR

L'approche est pluridisciplinaire et cherche à étudier l'influence de l'anthropisation des milieux estuariens et continentaux sur un modèle biologique l'anguille. L'intégration de l'ensemble des compétences du GDR est utilisée notamment pour appréhender le cheminement, la transformation des contaminants organiques et métalliques de la source jusqu'à l'accumulation dans les tissus de l'anguille et leurs effets sur la physiologie de l'animal et la démographie de la population.

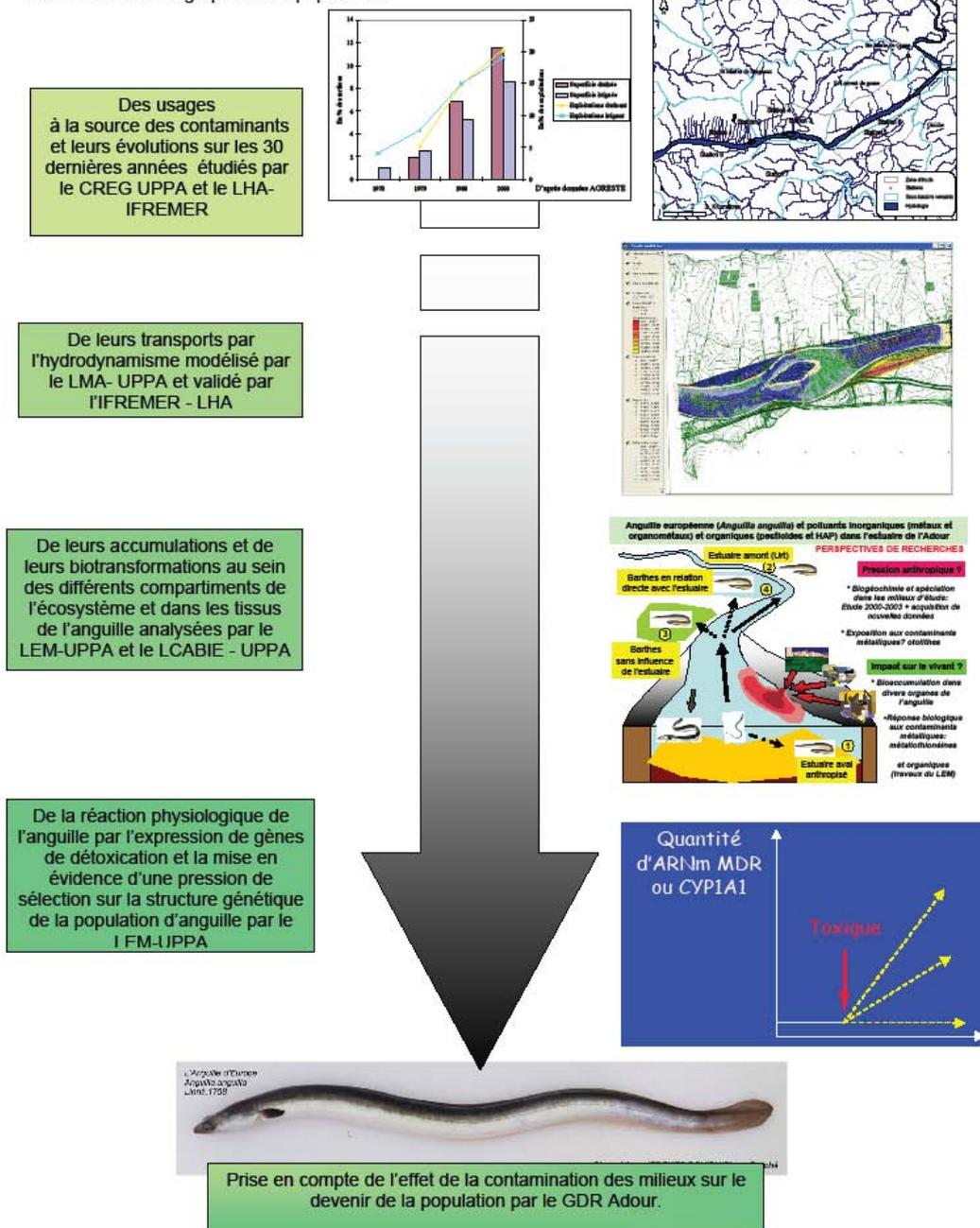


Figure 41 : schéma montrant l'approche pluridisciplinaire entreprise par le GDR Adour pour étudier l'effet des contaminants sur la biologie et la dynamique de la population de l'anguille du bassin versant inférieur (zone des barthes de l'Adour).

biologique), est véhiculé, transformé puis assimilé pour impacter une ressource biologique d'intérêt économique important : l'anguille (*Anguilla anguilla*). La figure 41 nous donne un aperçu schématique de l'enchaînement des travaux. En somme, des compétences scientifiques diverses sont mises en œuvre pour résoudre un problème complexe non seulement par la coordination des savoirs, mais aussi par la complémentarité des tâches effectuées (le produit d'une tâche sert au moins en partie à la programmation de l'autre).

La cohésion du groupe est assurée, dans ce cadre, par la dualité existant entre invention et innovation. L'invention consiste en la publication de travaux originaux sur un modèle biologique l'anguille ou sur des modèles statistiques ou numériques combinant des approches novatrices ou incorporant de l'information composite et par le développement de thèses ou de post-doctorats. L'innovation vient de l'utilisation de ces nouveaux savoirs pour la construction de modèles biophysiques ou par l'utilisation de connaissances annexes pour contraindre des modèles statistiques à prédire des états prenant mieux en compte les réalités halieutiques et hydrodynamiques. *In fine*, il s'agira d'incorporer les connaissances acquises sur l'accumulation des contaminants dans les tissus de l'anguille et sur les effets physiologiques ou génétiques que leur accumulation induit, au modèle démographique de la population d'anguille du bassin de l'Adour.

Le programme DEMOSTEM : une contribution à l'Approche Ecosystémique des Pêches.

Historique et contexte international.

En 1982, la convention des Nations Unies sur le Droit de la Mer permettait la définition d'un nouveau cadre pour une meilleure gestion des ressources marines : les Etats côtiers avaient juridiquement des droits et des responsabilités en matière d'aménagement et d'utilisation des ressources halieutiques dans leurs zones de juridiction nationale représentant 90% des pêches marines mondiales.

Dès 1991, au regard de la surexploitation des ressources, le Comité des Pêches de la FAO (COFI) recommandait l'élaboration de nouvelles approches de la gestion des pêches prenant en compte la conservation et la protection de l'Environnement.

En 1992 à Cancun, la Conférence Internationale sur la *Pêche Responsable* porte à l'attention du Sommet Mondial de Rio organisé la même année, la nécessité de définir un Code de conduite pour une pêche responsable (FAO 1992). Ce code est complété en 1993 par l'accord visant à promouvoir le respect par les navires pêchant en haute mer des mesures internationales de conservation et de gestion (résolution 15/93 du code). Il était complété en 1995 par une disposition relative à la gestion des stocks chevauchants (grands migrateurs comme les thonidés par exemple).

Notons que l'application de ce code de « bonne conduite » est facultative et que son adoption sous sa forme actuelle date de 1995⁷⁴.

Parallèlement à ces travaux de la FAO formalisant en quelque sorte « l'Approche Ecosystémique pour la gestion des pêches », un certain nombre de sommets mondiaux ont jalonné la mise en place de cette approche et de son appropriation actuelle par le « Monde scientifique » et au moins les médias.

La première formalisation de ce concept date de la Déclaration de Stockholm en 1972, suivie par la Convention de l'ONU sur le Droit de la Mer et 10 ans après par le Sommet Mondial de Rio avec sa déclaration sur l'environnement et le développement de notre planète introduisant le « Principe de Précaution » (chapitre 17 de l'Agenda 21). Ce sommet est suivi en 2000 de celui de Nairobi sur la Biodiversité et la définition des grands écosystèmes marins (LME : Large Marine Ecosystem) et enfin du sommet de Johannesburg en 2002 qui fixe un certain nombre de jalons d'ici 2015 sur la route du « Développement durable » :

⁷⁴ FAO 1995 Code de conduite pour une pêche responsable (www.fao.org/Fl/agreem/codeond/ficonds/asp)

- 2010 : diminution significative des altérations de la biodiversité ;
- 2012 : création d'un réseau pilote d'aires marines protégées (AMP) ;
- 2015 : rétablissement durable des pêcheries au niveau de leurs productions maximales.

Ceci étant dit, la définition de l'Approche Ecosystémique reste encore à stabiliser, ne serait-ce qu'en ce qui concerne son contour scientifique.

Sur ce sujet différents points de vue s'affrontent allant d'une vision « conservationniste » à une vision « productiviste (durabilité du MSY⁷⁵) » (Tudela and Short 2005⁷⁶)

Dans la version conservationniste, le *Principe de précaution* introduit par le Sommet de Rio joue un rôle important et met en exergue la complexité de l'écosystème marin et la nécessité pour l'ensemble des facteurs anthropiques (et pas seulement la pêche) de réduire leurs impacts. L'objectif est en fait le maintien de la biodiversité au niveau de son état actuel.

A l'opposé, une approche purement mécaniste cherche à rendre maximum les profits pour les sociétés humaines en artificialisant si nécessaire l'écosystème.

Le guide de la FAO (2003)⁷⁷ traduit une position relativement intermédiaire entre ces 2 extrêmes, mais intègre en grande partie l'approche mécaniste. Elle recentre, en effet, l'Approche Ecosystémique vers la gestion des pêcheries et non de l'écosystème et propose une extension de l'approche préconisée par le TROM (Target Resources Oriented Management) qui se focalise sur la gestion des pêcheries orientées sur les espèces cibles.

L'analyse des effets de cette stratégie d'aménagement et de restauration des pêcheries ou plus généralement de l'écosystème ne peut être rendue opérationnelle qu'à partir de la construction d'une série d'indicateurs écosystémiques liée à des grilles de niveaux de référence (Caddy and Mahon 1995⁷⁸). Dans ce contexte, le guide FAO sur « la définition des indicateurs pour le développement durable des pêcheries maritimes » permet de définir un cadre général pour la construction d'indicateurs qui, cependant, repose sur une base de connaissances dont certaines restent encore à acquérir (effets des contaminants sur la physiologie et la variabilité génétique, effets du changement climatique, degré de réversibilité des impacts et des modifications des habitats,...)

L'appropriation de cette approche par le « Monde scientifique » ou par les gestionnaires et usagers des ressources halieutiques n'est pas encore faite pour certaines raisons stratégiques et pratiques.

L'approche holistique de l'EBM « Ecosystem-Based Management » rend sa mise en pratique très difficile et implique un effort de recherche très conséquent.

En fait, la reconnaissance de la nature complexe des écosystèmes marins exploités devrait aboutir à réduire les capacités de la Science à produire des prévisions précises. Ces considérations quelque peu pessimistes sont partagées par Rice (2005)⁷⁹ qui pense que la vision des gestionnaires, actuellement basée presque uniquement sur les profits économiques et sociaux à court terme, s'accommodera mal d'avis scientifique incluant une part d'incertitude encore plus grande sur les capacités de production et de résilience des ressources naturelles.

Il est vrai que dans ce contexte, on ne peut que constater la force de l'argument sauf à considérer ainsi que le signale le rapport Hautcoeur : « plus conscients des limites de la

⁷⁵ Maximum Sustainable Yield ou Rendement Maximal Soutenu

⁷⁶ Paradigm shifts, gaps, inertia and political agendas in ecosystem-based fisheries management. *Marine Ecology Progress series*, **300** : 282 – 286.

⁷⁷ FAO (2003) Indicateurs pour le développement durable des pêcheries maritimes. Directives Techniques pour une pêche responsable, 8, 78 pages.

⁷⁸ Caddy J.-P. and Mahon R., 1995. Reference points for fisheries management. *Fish Tech. Pap.* **347**, FAO, Rome.

⁷⁹ Implementation of the Ecosystem Approach to Fisheries Management – asynchronous co-evolution at the interface between science and policy. *Marine Ecology Progress series*, **300** : 265 – 270.

Science car nous savons qu'il n'y a pas de rapport continu et encore moins linéaire entre la connaissance (scientifique) et la décision (politique), nous n'attendons pas moins d'elle **des aides à la décision qui confèrent une place centrale aux connaissances scientifiques** » (rapport Guesnerie – Hautcoeur 2003, page 18).

DEMOSTEM : entre acquisition des connaissances et aide à la décision.

Le programme « Démarche Ecosystémique pour une gestion intégrée des Ressources Halieutiques » est un des deux programmes du thème 4 de l'IFREMER : « Ressources halieutiques, exploitation durable et valorisation ».

Ses objectifs sont cadrés par le thème et plus généralement par ceux définis par l'IFREMER dans le cadre de son plan stratégique (2005-2009). Il participe ainsi à l'acquisition des connaissances de 4 des 6 priorités du thème 4 (Gros, Berthou et Prouzet 2005)⁸⁰ :

5. Anticiper le renouvellement de la gouvernance du système pêche : étudier les modalités futures de la régulation de l'accès aux ressources et de la maîtrise de la capacité de capture des flottilles, conditions nécessaires à la mise en application et recommandations pour une gestion durable ;
6. Caractériser les impacts de la pêche et des autres contraintes anthropiques sur la biodiversité, mettre au point et proposer des moyens de réduction des altérations des ressources et des écosystèmes ;
7. Comprendre l'influence des forçages climatiques sur la dynamique des populations et des écosystèmes dans le but de reculer « l'horizon de prévisibilité » de la variabilité (spatiale, quantitative, qualitative,...) des ressources ;
8. Maximiser la richesse créée par la valorisation de la biomasse pêchée.

Les objectifs ainsi définis montrent que le programme DEMOSTEM s'inscrit dans une vision de l'Approche écosystémique voisine de celle adoptée par la FAO en élargissant cependant les travaux à l'impact de l'ensemble des usages et pas seulement de la pêche.

Pour satisfaire aux exigences de l'invention (acquisition des connaissances) et de l'innovation (aides à la décision), la structure préconisée pour ce programme est celle d'une démarche à la fois prospective et synthétique.

Pour atteindre les objectifs énoncés, trois challenges sont à relever :

4. La prise en compte de l'ensemble des usages qui exercent des « dépenses de nature » ne peut être ignorée dès lors que l'on se rapproche des écosystèmes littoraux et estuariens. Cela complique très sérieusement le système étudié et rend « l'horizon de prévisibilité » plus incertain et lointain ;
5. Cette complexité du système nécessite une intégration très forte de compétences et de métiers divers (cf. § identification du microcosme et son autonomie). La prise en compte de la génétique de population et plus largement de l'écologie moléculaire pour l'étude de la réversibilité des changements observés ajoute à la difficulté de la mise en place de cette démarche intégrative ;
6. La mise en place des expérimentations nécessaires portant sur de nouveaux modes de régulations (création d'aires marines protégées par exemple) nécessite l'assentiment des décideurs et impose la mise en place d'un partenariat différent entre scientifiques et utilisateurs de nos recherches. Il entraîne de la part des scientifiques un effort de mise à disposition d'outils adaptés à la gestion par anticipation (série d'indicateurs écosystémiques, construction de tableaux de bord adaptés aux besoins exprimés par les gestionnaires) et non par réaction (cadre actuel de la gestion rejetée par l'ensemble des acteurs).

⁸⁰ Ressources Halieutiques, Exploitation Durable et Valorisation. Dossier préparé pour la revue du Thème 4 – Comité de Direction élargi du 17 05 2005, 21 pages.

DEMOSTEM : entre autonomie et hétéronomie.

Les différentes actions regroupées en 5 projets : 2 génériques et 3 chantiers (figure 42) ont pour objet d'assurer l'acquisition des connaissances nécessaires, leur valorisation, leur synthèse et leur transfert vers les utilisateurs.

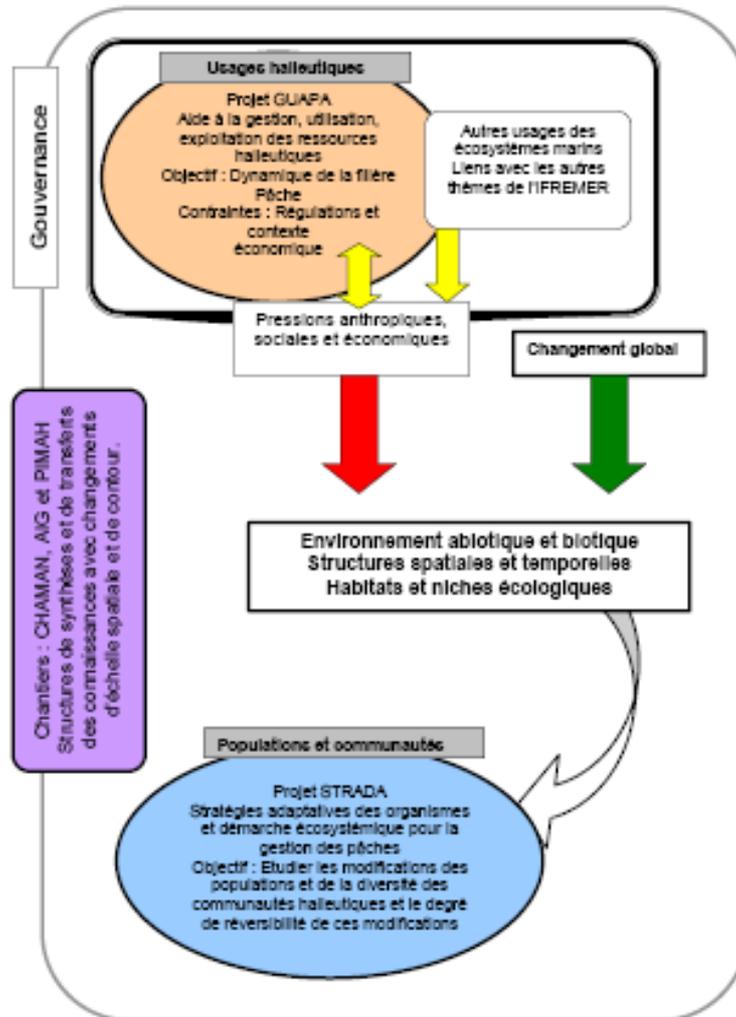


Figure 42 : schéma conceptuel et organisationnel du programme DEMOSTEM

Plus précisément, nous⁸¹ avons défini :

- **un projet générique STRADA** « Stratégies adaptatives des organismes et démarche écosystémique pour la gestion des pêches » qui aura pour objectif de répondre aux questions suivantes : Quels sont les forçages principaux de la dynamique des populations exploitées ? Comment définir les habitats essentiels des espèces d'intérêt halieutique ? Comment les stratégies vitales des populations marines leur permettent elles de s'adapter à un environnement fluctuant ? Comment l'exploitation et le

⁸¹ Quand je dis nous, c'est que je ne peux m'approprier la définition entière du programme. Il s'agit bien entendu d'un travail collectif avec le comité de programme et le responsable de thème pour lequel j'ai dressé un cadre conceptuel en fonction de l'objectif assigné : le développement durable. J'ai animé ce programme avec l'aide d'un comité de programme que j'ai mis en place.

changement climatique modifient-ils ces stratégies vitales ? Quelles sont les limites de réversibilité des impacts naturels et anthropiques ?

- **un projet générique GUAPA** « Aide à la gestion, utilisation et exploitation des ressources halieutiques » dont l'objectif principal est d'élaborer des scénarios de gestion permettant à la fois l'exploitation durable et la mise en valeur des ressources halieutiques et d'en estimer les coûts et les bénéfices pour la société. Il aura pour objectif de répondre aux questions suivantes : Quelles stratégies de gestion pour exploiter durablement les ressources, pour réduire les effets néfastes de l'activité de pêche sur l'environnement marin et la biodiversité ? Quelles stratégies d'exploitation des ressources, de traitement et de valorisation des captures pour rentabiliser à long terme la filière halieutique, pour répondre à la demande des consommateurs ? Comment adapter les stratégies de gestion aux variations de l'environnement de la filière halieutique ?
- **Trois chantiers : AIG « Actions intégrées : Chantier golfe de Gascogne » ; CHAMAN : Chantier Manche - Mer du Nord » ; PIMAH « Actions intégrées halieutiques Méditerranée »**. La finalité de ces trois chantiers est de faire la synthèse des connaissances dans un cadre qui dépasse DEMOSTEM (lien non seulement avec l'autre programme du thème 4 : SIDEPECHE « Systèmes d'information et techniques d'observation, économie et diagnostic de l'évolution des ressources et de leurs usages », mais aussi avec les autres thèmes de l'IFREMER) en changeant à la fois l'échelle spatiale (emprise régionale) et le contour du partenariat (renforcement de la concertation avec les structures institutionnelles et les usagers). C'est aussi un cadre qui permet la transformation de problèmes concrets en un questionnement scientifique cohérent et de fournir des outils d'aides à la décision aux structures compétentes.

L'amalgame des compétences, la prise en compte des besoins de l'un par l'autre n'est pas si facile à résoudre et ne peut se faire que dans le cadre d'un rôle d'animateur dont la partition est fixée par un cadre conceptuel (cf. figure 42) et un objectif à atteindre. Cette approche selon Bourdieu (1998) permet de ne pas exercer un pouvoir tyrannique (ou tout au moins perçu comme tel par les agents du champ scientifique auquel on n'appartient pas) et c'est celle qui par expérience marche en effet le mieux (cf. GDR Adour et projet INTERREGIII INDICANG notamment).

Ainsi, le rôle d'animateur doit être de favoriser des voies de recherche novatrices dans le contexte qui est le nôtre. C'est le cas de la génétique des populations (projet STRADA) qui est encore peu utilisée pour étudier le degré de réversibilité des caractéristiques des populations naturelles marines⁸². Son rôle doit être aussi d'inciter à la réflexion de groupe, c'est dans ce cadre que non seulement un comité directeur du programme DEMOSTEM a été créé, mais aussi un groupe de prospective scientifique. Celui-ci a pour but d'élaborer un document de réflexion, puis d'initier une démarche (forum de discussion puis groupe de travail ouvert sur l'extérieur) permettant la production d'un document cadre dressant le contenu opérationnel de DEMOSTEM pour fournir une « expertise de qualité en soutien à la mise en œuvre d'une approche écosystémique de la gestion des pêcheries (EAF)⁸³.

⁸² Alors qu'elle l'est pour les populations marines cultivées : cas de la conchyliculture ou de la salmoniculture par exemple ou pour des populations continentales : cas des salmonidés.

⁸³ Fromentin J.- M , Planque B. et O. Thébaud, 2005. Prospective scientifique de DEMOSTEM : Premiers éléments de réflexion, septembre 2005, 12 pages Ce document rappelle le contexte dans lequel l'approche écosystémique de la gestion des pêches se développe, ainsi que les grands axes de questionnement scientifique qui sous-tendent l'EAF et présente des scénarios possibles d'évolution des contextes.

Liste des figures et tableaux

Schéma 1 : Définition du macrocosme	11
Figure 1 : Schéma conceptuel du programme DEMOSTEM (Prouzet –coordinateur-, document programme 2005).....	15
Figure 2 : Evolutions simultanées des biomasses ichtyologiques et végétales observées dans un étang.	17
Figure 3 : Evolutions simulées et simultanées des populations ichtyologique et végétale par la courbe logistique.....	18
Figure 4 : Variations respectives des taux de croissance (\hat{t}) pour les populations $P_{(x)}$ et $V_{(x)}$	19
Figure 5 : Evolutions respectives des flux de croissance pour les populations $P_{(x)}$ et $V_{(x)}$	20
Figure 6 : Evolution de la valeur instantanée du flux de croissance de la population piscicole au cours du temps	20
Figure 7 : Valeurs des points tangents entre la courbe logistique et la droite de pente 1.	21
Figure 8 : Modules de processus « dynamique des populations » d'après B. Rothschild (1989).....	23
Tableau 1 - Exemples de mécanismes hydrodynamiques océaniques pouvant intervenir sur les survies des larves ou des juvéniles d'espèces ichtyologiques d'après Bakun (1989).....	24
Figure 9 : Modélisation de la croissance numérique de 2 populations de type r et de type K en compétition.....	25
Tableau 2 - Caractéristiques de diverses populations de saumon atlantique en France	27
Tableau 3 – Evolutions du nombre d'œufs déposés sur les frayères de la Nivelle de 1991 à 2000 et du nombre d'alevins produits (d'après Dumas et Prouzet 2003).	30
Figure 11 : Modèle de « type Ricker » montrant l'effet de phénomènes compensateurs de densité dépendance pour la population de saumons juvéniles de la Nivelle.....	31
Figure 12 : évolution de la valeur instantanée de la pente de la courbe en fonction de la biomasse parentale.	31
Figure 13 : Dispersion et abondance des œufs d'anchois (<i>Engraulis encrasicolus</i>) dans le golfe de Gascogne durant le printemps 2000 (d'après Uriarte et al 2000).	32
Figure 14 : distributions des œufs d'anchois durant les saisons de ponte de la période 1998 – 2005 d'après Uriarte <i>et al</i> 2005).....	33
Figure 15 : relation entre le nombre d'anchois en millions et la surface de ponte effective en km ²	34
Figure 16 : simulation de la survie d'une cohorte d'œufs du 19 au 26 mai 1994 (d'après Arino, Boussouar et Prouzet 1999).....	37
Tableau 4 - Simulation des estimateurs de Z , F et M et de leurs intervalles de confiance	38
Figure 17 : Schéma du cycle biologique de l'anchois commun (<i>Engraulis encrasicolus</i>) et facteurs de contrôle.....	39
Tableau 5 – Données relatives à l'importance de la population d'anchois dans le golfe de Gascogne (d'après WGHMSA – ICES 2004).	40
Figure 18 : Fluctuations observées des abondances parentales l'année n et des abondances des recrues l'année n+1.....	40
Figure 19 : Modèle de « type Beverton et Holt » montrant l'effet de phénomènes compensateurs indépendants de la densité pour la population d'anchois du golfe de Gascogne (d'après données WGHMSA-ICES2003)	41
Figure 20 : Evolution de la valeur instantanée de la pente (vitesse de croissance de la population) en fonction de la population parentale.....	42
Figure 21 : Exemple d'évolution des taux de mortalités compensatoire Z_c et densité non dépendant Z_i pour l'anchois du golfe de Gascogne.....	42
Figure 22 : Exemple d'évolution des taux de mortalités compensatoire Z_c et densité non dépendant Z_i pour le saumon de la rivière Nivelle (d'après données de Dumas et Prouzet 2003).....	43
Figure 23 : Relation stock – recrutement moyenne pour la population de saumons de la Nivelle – situation actuelle et état de référence.	45
Figure 24 : Relation stock –recrutement moyenne pour la population de saumons de la Nivelle – situation matérialisant une amélioration de la qualité de l'habitat utilisé.	45
Figure 25 : Relation stock –recrutement moyenne pour la population de saumons de la Nivelle – situation matérialisant un accroissement de l'habitat utilisé sans amélioration de la qualité.	46

Figure 26 : Principales structures physiques intervenant sur la survie des larves et juvéniles d'anchois dans le golfe de Gascogne (d'après Allain 2004).....	48
Figure 27 : Répartition moyenne des différents groupes d'âge dans les captures d'anchois du golfe de Gascogne durant la période 1987 - 2000 (d'après WGMHMSA 2002).....	49
Figure 28 : Dispersion des couples de valeurs M et F et visualisation graphique de leurs aires de confiance conjointe à 81% pour les cohortes 1986, 1987, 1988 et 1989 (d'après Prouzet et al 2000).	50
Figure 29 : Composition en âge du stock de chinchard (<i>Trachurus trachurus</i>) dans les eaux internationales de 1982 à 2003 (d'après WGMHMSA 2005).....	51
Figure 30 : Relation entre le nombre de juvéniles produits et le nombre de géniteurs produits sur la Nivelle (d'après données de Dumas 2003, In Dumas et Prouzet 2003).....	51
Figure 31 : Relation entre la biomasse et la capture moyenne par marée (en nombre) des chalutiers turballais et giras durant le premier trimestre (d'après Prouzet et Lissardy 2000).....	52
Figure 32 : Evolution de l'abondance d'une population de saumons (cas de la Nivelle) et de sa variabilité estimée à partir de 500 trajectoires (condition initiale : dépose de 612 500 œufs)	53
Figure 33 : schéma du cycle biologique de l'Anguille européenne adapté de Schmidt (1922), Klechner et Mac Cleave (1985).	54
Figure 34 : Photo de leptocéphale d'anguille (<i>Anguilla anguilla</i>) (Y. Desaunay IFREMER)	55
Figure 35 : Proximité génétique des échantillons d'anguille issus de différents bassins versants de l'aire de répartition d'après Wirth T. and L. Bernatchez (2003).	58
Figure 36 : carte de l'Océan Atlantique Nord montrant les volumes d'eau véhiculés par le flux d'eau océanique et les transports supposés des leptocéphales (d'après carte Encyclopédie Bordas).	59
Figure 37 : Variation relative des productions de civelles en Loire (courbe rouge) et variation de l'indice NAO (courbe bleue) de 1950 à 2000.	61
Figure 38 : schéma comportemental de la civelle en estuaire selon certaines combinaisons environnementales.	65
Figure 39 : Sorties du simulateur comportemental montrant le cheminement du flux dans l'estuaire et correspondant au temps nécessaire pour qu'un pic de captures identifié dans le bas estuaire arrive dans le haut estuaire avec les conditions hydroclimatiques correspondantes.	66
Figure 40 : Chaîne d'observations et de traitements permettant d'estimer la biomasse saisonnière ..	67
Figure 41 : schéma montrant l'approche pluridisciplinaire entreprise par le GDR Adour pour étudier l'effet des contaminants sur la biologie et la dynamique de la population de l'anguille du bassin versant inférieur (zone des barthes de l'Adour).	71
Figure 42 : schéma conceptuel et organisationnel du programme DEMOSTEM	75

Liste des travaux scientifiques effectués

Articles dans revues scientifiques à comité de lecture

- 1 Prouzet, P., Y. Harache et J. Branellec, 1977. Etude de la croissance de la truite commune *Salmo trutta fario* (L.) dans deux rivières du Finistère. *Bull. Fr. Piscic.*, **267**: 62-84.
- 2 Fontenelle, G., G. Douaire, Baglinière J.-L., Prouzet P. and Y. Harache, 1980. Atlantic Salmon (*Salmo salar* L.) in Brittany and Lower-Normandy : Preliminary Observations on the General Characteristics of Adults. *Fish. Mgmt*, **11**(3): 87 - 100.
- 3 Prouzet, P., 1981. Observation d'une femelle de tacon de saumon atlantique (*Salmo salar* L.) parvenue a maturité sexuelle en rivière. *Bulletin Français de Pisciculture*, **282**: 16-19.
- 4 Prouzet, P., 1981. Caractéristiques d'une population de salmonidés (*Salmo salar* et *Salmo trutta*) remontant sur un affluent de l'Elorn (rivière de Bretagne Nord) pendant la période de reproduction 1979-1980. *Bull. Fr. Piscic.*, **283**: 140-154.
- 5 Prouzet, P. et J.-L. Gaignon, 1982. Fécondité des saumons atlantiques adultes capturés sur le bassin versant de l'Elorn (rivière de Bretagne Nord) et caractéristiques de leurs pontes. *Bull. Fr. Piscic.*, **285**: 233-243.
- 6 Prouzet, P. et J.-L. Gaignon, 1982. Production de saumon atlantique (*Salmo salar* L.) juvéniles et adultes sur un ruisseau pépinière de Bretagne Nord (France) à partir d'une souche Irlandaise. *Rev. Trav. Inst. Pêches marit.*, **45**(2): 155-174.
- 7 Dumas, J. et P. Prouzet, 1983. Marquage magnétique interne : essais de tolérance par de jeunes saumons atlantiques (*Salmo salar* L.). *Bull. Fr. Piscic.*, **287**: 23-33.
- 8 Gaignon, J.-L. et P. Prouzet, 1983. Elevage du saumon atlantique (*S. salar*) en écloserie : essai d'utilisation de substrats durant la résorption vitelline. *Bull. Fr. Piscic.*, **287**: 1-5.
- 9 Prouzet, P. et M. Jezequel, 1983. Caractéristiques des populations de saumon atlantique (*Salmo salar* L.) capturées à la ligne sur l'Elorn (rivière de Bretagne Nord) durant la période 1974 - 1981. *Bull. Fr. Piscic.*, **289**: 94 - 111.
- 10 Prouzet, P., 1984. Caractéristiques du stock de saumon atlantique (*Salmo salar* L.) capturé à la ligne sur l'Aulne (rivière de Bretagne-Nord) durant la période 1973 - 1981. *Rev. Trav. Inst. Pêches marit.*, **46**(4): 285 - 298.
- 11 Prouzet, P., P.-Y. Le Bail, and M. Heydorff, 1984. Sex Ratio and Potential Fecundity of Atlantic Salmon (*Salmo salar* L.) Caught by Anglers on the Elorn River (Northern Brittany, France) during 1979 and 1980. *Fish. Mgmt*, **15**(3): 123 - 130.
- 12 Prouzet, P. et J.-L. Gaignon, 1985. Caractéristiques du stock de saumon atlantique d'un hiver de mer (*Salmo salar* L.) capturé sur l'Elorn de 1974 à 1984. *Rev. Trav. Inst. Pêches marit.*, **47**(3 et 4): 167 -178.
- 13 Pontual (de), H. and P. Prouzet, 1987. Atlantic salmon, *Salmo salar* L., stock discrimination by scale-shape analysis. *Aquaculture and Fisheries Management*, **18**: 277-289.
- 14 Prouzet, P. et A. Souplet, 1987. Détermination de l'âge et de la croissance à partir de pièces calcifiées chez les poissons. *Rev. Trav. Inst. Pêches marit.*, **49**(1 et 2): 67-88.
- 15 Pontual (de), H. and P. Prouzet, 1988. Numerical analysis of scale morphology to discriminate between atlantic salmon stocks. *Aquat. Living Resourc.*, **1**: 17 - 27.
- 16 Gros, P. and P. Prouzet, 1988. Modèle stochastique prévisionnel des captures de saumons de printemps (*Salmo salar*) dans l'Aulne (Bretagne) : éléments d'aménagement de la pêche. *Acta OEcologica - Oecol. Applicata*, **9**(1): 3 - 23.
- 17 Prouzet, P., 1990. Stock characteristics of Atlantic salmon (*Salmo salar*) in France : a review. *Aquat. Living Resourc.*, **3**: 85-97.

- 18 Cuende, F.-X. and P. Prouzet, 1992. Comparison of Atlantic salmon *Salmo salar* L., stocks exploited by commercial fisheries in the Adour Basin, France at the end of the 19th and 20th centuries. *Aquaculture and Fisheries Management*, **23**: 373 - 383.
- 19 Reddin, D., H. Pontual (de), and P. Prouzet, 1992. A comparison of two techniques to discriminate continental origin of Atlantic salmon (*Salmo salar* L.) off West Greenland. *Aquat. Living Resourc.*, **5**: 81 - 88.
- 20 Prouzet, P., J.-P. Martinet et J. Badia, 1994. Caractérisation biologique et variations des captures de la grande alose (*Alosa alosa*) par unité d'effort sur le fleuve Adour (Pyrénées Atlantiques). *Aquat. Living Resourc.*, **7**: 1 - 10.
- 20 Uriarte, A., P. Prouzet and B. Villamor, 1995. Bay of Biscay and Ibero Atlantic anchovy populations and their fisheries. **In** *The european anchovy and its environment*. Malaga (Spain) 1995. I. Palomera and P. Rubies (ed.) *Scientia Marina*, **60 (Supl. 2)**: 237-255.
- 21 Badia, J. et P. Prouzet, 1996. Modèles loglinéaires pour l'étude des associations entre captures par unité d'effort et variables hydroclimatiques. *Aquat. Living Resourc.*, **9**: 217 - 223.
- 22 de Casamajor, M.-N., N. Bru et P. Prouzet, 1999. Influence de la luminosité nocturne et de la turbidité sur le comportement vertical de migration de la civelle d'anguille (*Anguilla anguilla* L.) dans l'estuaire de l'Adour. *Bull. Fr. Piscic.*, **355**: 327 - 347.
- 23 de Casamajor, M.-N., P. Prouzet et P. Lazure, 2000. Identification des flux de civelles (*Anguilla anguilla*) à partir des relations d'allométrie en fonction des conditions hydroclimatiques de l'estuaire de l'Adour. *Aquat. Living Resourc.*, **13**: 411 - 420.
- 24 Boussouar, A., S. Le Bihan, O. Arino and P. Prouzet, 2001. Mathematical model and numerical simulations of the migration and growth of Biscay Bay anchovy early larval stages. *Oceanologica Acta*, **24(5)** : 489 - 504.
- 25 de Casamajor, M.-N., R. Lecomte-Finiger et P. Prouzet, 2001. Passé larvaire des civelles, *Anguilla anguilla* (Linné 1758) en migration en zones côtière et estuarienne (Adour, golfe de Gascogne) à partir de l'examen des otolithes. *C.R. Acad. Sciences de la Vie*, **324**:1011 - 1019.
- 26 de Casamajor, M.-N., R. Lecomte-Finiger et P. Prouzet, 2001. Détermination de l'état d'amaigrissement des civelles (*Anguilla anguilla*) en migration en zones côtière et estuarienne. *C.R. Acad. Sciences de la Vie*, **324**: 345 - 353.
- 27 Truong-Van, B. and P. Prouzet, 2001. Méthodes de captures successives : une synthèse et quelques contributions avec application. *Journal de la Société Française de Statistique*, **142(3)** : 53 - 87.
- 28 de Casamajor, M.-N., R. Lecomte-Finiger and P. Prouzet, 2002. Biological and physiological characteristics of glass eels (*Anguilla anguilla*) in the Bay of Biscay. *Fisheries Science*, **68 supplement series**.
- 29 de Casamajor, M.-N., R. Lecomte-Finiger et P. Prouzet, 2003. Caractéristiques biologiques des civelles (*Anguilla anguilla*) lors de la transition en estuaire. *Bull. Fr. Piscic.*, **368**:109 - 124.
- 30 (30) Dumas, J. and P. Prouzet, 2003. Variability of demographic parameters and population dynamics of Atlantic salmon (*Salmo salar* L.) in a southwest French river. *ICES Journal of Marine Science*, **60**: 356 - 370.

Ouvrages et articles dans ouvrages

- 1 Prouzet, P. and J. Dumas, 1988. Measurement of Atlantic salmon spawning escapement. **In** *Troisième Symposium International du Saumon Atlantique - Atlantic Salmon: Planning for the Future*. Biarritz, 21 - 23 October 1986, D. Mills and Piggins, D. (ed.), Croom Helm (publisher): 325 - 344.
- 2 Harache, Y. et P. Prouzet, 1989. Chapitre B - sous-chapitre 8 : Repeuplement et pacage marin des salmonidés migrants. **In** *L'Homme et les Ressources Halieutiques : Essai sur l'usage d'une ressource renouvelable*. Jean-Paul Troadec (ed), IFREMER: 261 - 312.

- 3 Prouzet P, 1992. La gestion de la ressource saumon : théorie et pratique. **In "Le développement du Saumon atlantique au Québec : connaître les règles du jeu pour réussir". Québec, décembre 1992. Fédération québécoise pour le saumon atlantique (ed), collection *Salmo salar*, 1 :166 – 178.**
- 4 Davaine, P. et P. Prouzet, 1994 . Chapitre 3 : La vie marine du saumon atlantique dans son aire géographique. **In *Le Saumon Atlantique*. J. Gueguen et Patrick Prouzet (ed), IFREMER. 64-85.**
- 5 Dumas, J. et P. Prouzet, 1994 . Chapitre 13 : Repeuplement et pacage marin. **In *Le Saumon Atlantique*. J. Guéguen et Patrick Prouzet (ed), IFREMER. 239 - 254.**
- 6 Gueguen, J. et P. Prouzet, 1994 . *Le Saumon Atlantique. Publication IFREMER, 330 pages.*
- 7 Prouzet, P., 1994. Chapitre 8 : La dynamique des stocks. **In *Le Saumon Atlantique*. J. Guéguen et Patrick Prouzet (ed), IFREMER. 155-174.**
- 8 Prouzet, P. et F.-X. Cuende, 1994. Chapitre 14 : Le saumon en France - Exploitation, gestion et avenir. **In *Le Saumon Atlantique*. J. Guéguen et Patrick Prouzet (ed), IFREMER. 255 - 267.**
- 9 Prouzet, P., J.-P. Martinet, et F.-X. Cuende, 1994. Les Pêches estuariennes du bassin de l'Adour de 1985 à 1991. **IFREMER (ed). *Repères Océans*, 6 : 31-78.**
- 10 Clément, O. et P. Prouzet, 1996. Contribuer à gérer les poissons migrateurs : un enjeu de recherche pour les hydrobiologistes. **In *Productions Animales, Hors Série, Cinquantenaire de l'INRA*. (ed) INRA. 141 - 144.**
- 11 Prouzet, P., 1995. Les populations de petits pélagiques exploitées dans le golfe de Gascogne : biologie, zones de pêche et production par les flottilles européennes. **In *Colloque AGLIA : Du suivi des petits poissons pélagiques vers un observatoire des pêches du golfe de Gascogne*, ADA (ed). Gujan Mestras, 13-37.**
- 12 Pennell, W. and P. Prouzet, 1998. Salmonid Fish: Biology, conservation status, and Economic importance of Wild and Cultured Stocks. **In *Encyclopédie, Unesco (ed). EOLSS: Oxford. 28 pages.***
- 13 Caill-Milly, N. et P. Prouzet, 2000. Pêches basques et sud-landaises : Ressources, flottille, économie, commercialisation. Gestion durable des ressources halieutiques, (ed). **IFREMER. *Repère Océans*. Vol. 17., 121pages.**
- 14 Elbée (d'), J. et P. Prouzet, 2000. Océanographie du golfe de Gascogne. VIIème Colloque International d'Océanographie du golfe de Gascogne, **Biarritz, 4-6 avril 2000. IFREMER (ed.), *Actes Colloq.*, 31, 369 pages.**
- 15 (45) Prouzet, P., 2003. Sous - Chapitre 6.7 : Les pêches et les ressources estuariennes et continentales : Importance, évolution et contraintes anthropiques. Un cas particulier, l'anguille. **In *Exploitation et surexploitation des ressources marines vivantes, Académie des Sciences (ed) RST, 17 : 235 - 248.***

Communications dans colloques ou séminaires

- 1 Harache, Y. and P. Prouzet, 1977. Characteristics of Atlantic salmon stocks caught during the fishing season on the Elorn and Aulne rivers. **In *Réunion statutaire du CIEM. 1977. Reykjavik: ICES/CM : M19,***
- 2 Prouzet, P., Y. Harache, P. Danel et J. Branellec, 1977. Production extensive de tacons de saumon atlantique (*Salmo salar*) dans quatre ruisseaux pépinières de Bretagne Nord. **In *Réunion statutaire du CIEM. Reykjavik, october 1977, ICES/CM: M18, 21 pages.***
- 3 Prouzet, P., Y. Harache, and J. Branellec, 1978. An attempt to explain the fluctuations of the Atlantic salmon catches in the river Elorn during the 1966 - 1977 period. **In *Réunion statutaire du CIEM. Copenhagen october 1978: ICES/CM: M14 , 15 pages.***
- 4 Prouzet P., 1978. Relationship between density and growth of Atlantic salmon reared in nursery streams in natural conditions. **In *Réunion statutaire du CIEM. Copenhagen 1978: ICES/CM : M13, 14 pages.***

- 5 Prouzet P., 1979. Interspecific competition between juveniles of brown trout (*Salmo trutta*) and atlantic salmon (*Salmo salar*) in a nursery stream of Northern Brittany. **In** *Réunion statutaire du CIEM, Copenhagen 1979: ICES/CM : M31*, 11 pages.
- 6 Prouzet, P. et Y. Harache, 1979. Rapport des sexes et fécondité des saumons (*Salmo salar* L.) capturés sur une rivière de Bretagne Nord (France). **In** *Réunion statutaire CIEM. Copenhagen, October 1979. ICES/ CM : M30*, 9 pages.
- 7 Harache, Y. et P. Prouzet, 1980. L'exploitation extensive des salmonidés : repeuplement et sea-ranching. **In** *9ème colloque sur l'Exploitation des Océans, Brest 16 - 18 janvier 1980, ASTEO (ed.)*, 11 pages.
- 8 Dumas, J., P. Prouzet, J.-P. Porcher et P. Davaine, 1981. Etat actuel des connaissances sur le saumon en France. **In** *Journées "Aquaculture extensive et Repeuplement" 1979. Centre Océanologique de Bretagne - Brest: CNEXO (ed.)*, 28 pages.
- 9 Prouzet, P. and P. Davaine, 1982. "Atlantic salmon. Development prospects in France and its overseas departments". **In** *Sea Ranching of Atlantic Salmon - Cost 46 Workshop. 1982. Lisbonne: Union Européenne*.
- 10 Pontual (de), H., C. Liacopoulos et P. Prouzet, 1983. Essai de différenciation de deux stocks de saumon atlantique (*Salmo salar* L.) par reconnaissance de la forme de leurs écailles. **In** *Réunion statutaire du CIEM, octobre 1983: ICES/CM : M8*, 14 pages.
- 11 Prouzet P, 1983. Salmon rehabilitation and management on the river Elorn Northern Brittany, France. **In** *IMFS Study Course. London, 19-22 September 1983* : 28 - 43.
- 12 Baglinière, J.-L., Prouzet P., Porcher J.-P, Nihouarn A., Maise G., 1985. Bilan des connaissances sur les caractéristiques du saumon atlantique (*Salmo salar* L.) du Massif Armoricain. **In** *Colloque Franco-Québécois : La restauration des rivières à saumons. Colloque Franco-Québécois -Bergerac. INRA (ed)*.
- 13 Pontual (de), H. and P. Prouzet, 1986. Atlantic salmon stocks discrimination by scale shape analysis. **In** *Réunion statutaire du CIEM, 1986: ICES/CM : M6*, 14 pages.
- 14 Troadec, H. et P. Prouzet, 1986. Essai de détermination automatique de l'âge et de la croissance du saumon atlantique (*Salmo salar* L.) par analyse de l'image de leurs écailles. **In** *Réunion statutaire CIEM. Copenhagen September 1986. ICES/CM: M14*, 19 pages.
- 15 Elie, P., P. Prouzet, et J. Dumas, 1988. La pêche des amphihalins dans " l'Espace Grand Littoral". **In** *Rencontres Interrégionales sur la recherche appliquée à la gestion des ressources vivantes marines, Commission Interrégionale Aquitaine-Poitou-Charentes - Pays de Loire, Arcachon, 12-13 février 1988*, 17 pages.
- 16 Prouzet P, 1989. Salmon in France. The status and management of Salmon stocks. **In** *International Atlantic Salmon Symposium. Santander, 1989 Gouvernement des Asturies (ed.)*, 10 pages.
- 17 Cuende, F.-X. and P. Prouzet, 1991. Evolution of characteristics of Atlantic Salmon catch in the Adour Basin related to environmental variations. **In** *Réunion statutaire du CIEM. La Rochelle: ICES/CM :1991/M:32*, 20 pages.
- 18 Prouzet P, 1993. Aspects séquentiels de l'exploitation des ressources halieutiques et de leur environnement. Un exemple : les populations de migrateurs amphihalins sur l'Adour. **In** *Modélisation de l'utilisation spatio-temporelle de l'habitat par les poissons :Exemples de la truite, de l'ombre commun et du barbeau fluviatile. Lyon novembre1993, PIR Poisson (ed.) : Programme "Modèles d'habitat" 1992-1994, résumé*.
- 19 Prouzet, P. et F.-X. Cuende, 1993. Les pêcheries estuariennes de l'Adour : aspect séquentiel de l'exploitation des ressources halieutiques et de leur environnement. **In** *Questions sur la Dynamique de l'Exploitation Halieutique. Montpellier 6 au 8 septembre 1993, F. Laloë, H. Rey, J.-L. Durand (ed.). Publication ORSTOM (série Colloques et séminaires) : 387 - 412*.
- 20 Badia, J., Faivre, R., Charron M.-H., Prouzet P., Dumas J., Cuende F.-X., 1995. Estimation de probabilités par le modèle linéaire généralisé. Application au saumon.

- In Deuxième Forum Halieumétrique Nantes, Ferraris J., Pelletier D. et M.-J. Rochet (ed). ORSTOM (série Colloques et séminaires) : 65-69.**
- 21 Cuende, F.-X., Prouzet P., Martinet J.-C. et J. Badia, 1995. Influence of hydrological and climatic conditions on daily catch per unit effort of Atlantic salmon (*Salmo salar* L.) with drift gillnet at the mouth of the Adour river, France. **In Réunion statutaire du CIEM. 1995: ICES/ M/ 20, Ref C,D, 23 pages.**
- 22 Dumas, J., Faivre R., Charron M.-H., J. Badia, P. Davaine et P. Prouzet, 1995. Modélisation stochastique du cycle biologique du saumon atlantique (*Salmo salar* L.) : bases biologiques, implémentation informatique et interprétation. **In Deuxième Forum Halieumétrique Nantes, Ferraris J., Pelletier D. et M.-J. Rochet (ed). ORSTOM (série Colloques et séminaires) : 211 - 217.**
- 23 Caill, N., Prouzet P., Cuende F.-X., Milly D. et F. Pautrizel, 1997. Des activités du Grand Littoral Atlantique à l'Observatoire des pêches et des cultures marines. **In Dixièmes rencontres Interrégionales. 20 - 21 novembre 1997. Saint-Jean de Luz, AGLIA (ed), 155 pages.**
- 24 Charron, M.-H., Prouzet P., Dumas J. et R. Faivre, 1997. Modélisation du cycle biologique du saumon atlantique. Simulation de l'aspect stochastique de la relation Stock-Recrutement. **In 7èmes journées du Pôle de Recherche GRAES : "Modélisation, échantillonnage et estimation des stocks halieutiques" Pau: IFREMER-UPPA(ed) : 51-63.**
- 25 de Casamajor, M.-N., N. Bru et P. Prouzet 1997. Présentation de la campagne d'échantillonnage de la civelle d'anguille (*Anguilla anguilla* L.) dans l'estuaire de l'Adour. **In 7èmes journées du Pôle de Recherche GRAES : "Modélisation, échantillonnage et estimation des stocks halieutiques" Pau: IFREMER-UPPA (ed), 37 - 39.**
- 26 de Casamajor, M.-N., N. Bru et P. Prouzet, 1997. Influence des conditions environnementales sur la capturabilité de la civelle d'anguille (*Anguilla anguilla* L.) dans le bassin de l'Adour. **In 7èmes journées du Pôle de recherche GRAES : "Modélisation, échantillonnage et estimation des stocks halieutiques". Pau: IFREMER-UPPA (ed), 45 - 50.**
- 27 Faivre, R., J. Dumas, M.-H. Charron, J. Badia and P. Prouzet, 1997. River basin management using a stochastic model of the salmon life cycle. **In MODSIM'97 : International congress on Modeling and Simulation. 1997. Hobart, Tasmanie, Australie : 1536 - 1541.**
- 28 Jarry, M., P. Prouzet et B. Truong-Van, 1997. Modélisation, Echantillonnage et estimation des stocks halieutiques. 7èmes journées du Pôle de recherche GRAES, **Pau 28 - 29 avril 1997, IFREMER (ed.), 79 pages.**
- 29 Motos, L., F.-X. Cuende, Uriarte, A., Prouzet P. et A. Sarasua, 1997. Evaluation de la biomasse d'anchois (*Engraulis encrasicolus*) dans le golfe de Gascogne. **In 7èmes journées du Pôle de recherche GRAES : "Modélisation, échantillonnage et estimation des stocks halieutiques", Pau 28 - 29 avril 1997: IFREMER (ed.), page 29 (résumé).**
- 30 Prouzet P, 1997. Le point sur la biologie du Saumon atlantique. **In Dixièmes rencontres Interrégionales, Saint-Jean de Luz 20 et 21 novembre 1997. Actes des Colloques de AGLIA, AGLIA (ed.): 20 - 36.**
- 31 Badia, J., Clément O., Jarry M., Prouzet P et Truong-Van B., 1998. Biométrie et modélisation appliquée aux populations de poissons migrateurs de l'Adour et de la Nivelle. **In Hydrosystème Adour : 2ème rencontre du réseau Zones ateliers GIP Hydrosystèmes. Biarritz 30 avril 1998. Agence de l'Eau - Institution Adour (ed.), 51-53.**
- 32 de Casamajor, M.-N., N. Bru, and P. Prouzet, 1998. *Influence of night brightness on the migratory behaviour of glass eels (*Anguilla anguilla* L.) in the Adour estuary.* **In Réunion statutaire CIEM, Baltimore September 1998. ICES, 15 pages.**
- 33 Prouzet P, 1998. *Quelques aspects concernant les bases biologiques et halieutiques de la dynamique des populations exploitées (Application aux populations*

- ichtyologiques). In *Workshop sur les Pêcheries : Données et Modèles. Marrakech, 19 - 24 octobre 1998*: 24 pages.
- 34 Bru, N., M.-N. de Casamajor et P. Prouzet, 1999. Fluctuations des captures de civelles (*Anguilla anguilla* L.) et analyse de la variation de leur capturabilité dans l'estuaire de l'Adour. In *Séminaire National sur les Poissons Migrateurs Amphihalins 27 et 28 mai 1999. Paris (MATE): GRISAM (ed)* (résumé présentation orale).
- 35 Bégout-Anras, M.-L., Lagardère J.P., Gosset C., Rives J. et P. Prouzet, 2000. Comportement migratoire et structures hydrodynamiques : suivi individuel par pistage des saumons atlantiques dans l'Adour. In *VIIème Colloque International d'Océanographie du golfe de Gascogne Biarritz: d'Elbée J. et P. prouzet (ed) IFREMER (série Actes de Colloque)*: 340-345.
- 36 de Casamajor, M.-N., Bru N., Prouzet P. et F. Sanchez, 2000. Suivi du recrutement de civelles (*Anguilla anguilla* L.) dans l'estuaire de l'Adour. In *VIIème Colloque International d'Océanographie du golfe de Gascogne, Biarritz. d'Elbée J. et P. Prouzet (ed). IFREMER (Séries Actes de Colloque)*, 346 -354.
- 37 Sanchez, F., P. Prouzet, P. Lazure, Amara M., Capatina D., Trujillo D. et P. Puisseux, 2000. Modèle hydrodynamique de l'estuaire de l'Adour. In *VIIème Colloque International d'Océanographie du golfe de Gascogne Biarritz: d'Elbée J. et P. prouzet (ed) IFREMER (série Actes de Colloque)*: 250-255.
- 38 de Casamajor, M.-N., R. Lecomte-Finiger et P. Prouzet, 2001. Caractéristiques biologiques des civelles (*Anguilla anguilla*) en migration en zone côtière et estuarienne. In *Rencontres Nationales "Anguilles". 26 - 29 mars 2001. Tour de Valat. GRISAM (ed)*.
- 39 De Casamajor, M.-N., Lecomte-Finiger R., and P. Prouzet, 2001. Biological and physiological characteristics of glass eels (*Anguilla anguilla*) in the Bay of Biscay. In *JSFS - International commemorative Symposium, 2001. Tokyo: Fisheries Science*.
- 40 de Casamajor, M.-N., Lecomte-Finiger R., Blamart D., Mouchès C. Cagnon C. et Prouzet P., 2002. Étude du passé larvaire transatlantique de la civelle (*Anguilla anguilla*) dans le golfe de Gascogne. Échelle locale et européenne. In *Colloque "Défi golfe de Gascogne". 11 - 13 décembre 2002 Centre IFREMER de Brest*, (poster et résumé).
- 41 de Casamajor, M.-N., P. Prouzet, J.-M. Blanc et N. Charlon, 2002. Inter and intra annual evolution of biometrics characteristics of glass eels (*Anguilla anguilla*) in the south of the bay of Biscay. In *8ème colloque international d'Océanographie du golfe de Gascogne. Gijon - Espagne: IEO (ed)*.
- 42 Prouzet, P., de Casamajor, M.-N., Lissardy M. et F. Sanchez, 2002. Estimation d'un flux journalier de civelles en estuaire ouvert et principe de l'extrapolation sur la saison de pêche. In *Colloque "Défi golfe de Gascogne". IFREMER - Centre de Brest, 11 au 13 décembre 2002, IFREMER (ed)*, résumé et poster.
- 43 Prouzet, P. et M.-N. de Casamajor, 2002. Estimation de l'abondance et du comportement d'un flux de migrateurs : application à la civelle. In *Rencontres Anguille en Loire. Angers, 19 mars 2002, LOGRAMI (ed.)*, 17 pages.
- 44 Prouzet, P. 2005 , Approche écosystémique de la gestion de l'anguille *Anguilla anguilla* à l'échelle européenne. In *Colloque Défi golfe de Gascogne, Brest 22-24 mars 2005*, 12 pages.
- 45 Prouzet P., Boussouar A., Sanchez F. et de Casamajor M.-N., 2005. Comportement migratoire des civelles *Anguilla anguilla* en estuaire : Modélisation et application à la vitesse de déplacement du flux et à sa disponibilité pour la pêche. In *Colloque Défi golfe de Gascogne, Brest 22-24 mars 2005* (poster)
- 46 (91) Bru N., Prouzet P., M. Lejeune et Lissardy M. 2005 Construction d'un modèle composite pour l'estimation de l'abondance saisonnière d'un flux de civelles en estuaire ouvert : Application au fleuve Adour. In *Colloque Défi golfe de Gascogne, Brest 22-24 mars 2005* (poster).

Articles dans des revues de vulgarisation

- 1 Kermarrec, J.-Y., P. Prouzet, and Y. Harache, 1976. Vers une renaissance des rivières bretonnes : L'Elorn. Le point sur les études scientifiques et travaux en cours. *Saumons et truites de Bretagne et Basse-Normandie*, **20**, 24 pages.
- 2 Harache, Y., P. Lagarde, and P. Prouzet, 1978. Essais d'une marque magnétique interne pour smolts de saumon. *Saumons*, **26**, 31 -36.
- 3 Prouzet, P., 1980. La saison 1980, une nouvelle abondance : l'exemple de l'Elorn. *Eaux et Rivières de Bretagne et de Basse-Normandie : Saumons et Truites*, **36**, 13-14.
- 4 Prouzet, P., 1980. Que penser du repeuplement ? *Eau et Rivières de Bretagne et Basse-Normandie - Saumons et truites*, **36**, 20 - 22.
- 5 Prouzet, P. et H. Touzery, 1980. Chapitre 3.0 - Le saumon en Bretagne et Basse-Normandie. *Saumons - Numéro spécial - Le Saumon en France*, **34**, 19 - 24.
- 6 Prouzet, P., 1983. Le Pacage en mer du saumon Atlantique en Europe. *La Pêche Maritime*, **1261**, 205 - 208.
- 7 Tane, J.-P., J.-L. Baglinière et P. Prouzet, 1984. Organisation générale de la pêche au Québec. *Saumons*, **50**, 8-11.
- 8 Cuinat, R., J.-L. Gaignon, P. Prouzet et Y. Turgeon, 1984. Elevages de jeunes saumons pour le repeuplement. *Saumons*, **50**: 29 - 31.
- 9 Prouzet, P., 1984. Les stratégies de développement du saumon atlantique dans les Provinces Maritimes Canadiennes : pêche et Aquaculture. *La Pêche Maritime*, **1274**, 263 - 271.
- 10 Chevassus, B., P. Prouzet, et J.-P. Troadec, 1988. Chapitre 4.4 : L'évaluation des stocks d'amphihalins et de leurs pêches. *Bulletin de liaison du CSP*, **54**, 52 - 53.
- 11 Prouzet, P., J.-P. Martinet et J. Casaubon, 1989. La pêche estuarienne sur l'Adour : bilan de l'année 1988. *Equinoxe*, **29**, 29 - 32.
- 12 Prouzet, P., 2003. L'anguille européenne. *Les Nouvelles de l'IFREMER*, **48** - Fiche espèce *Le Marin*, 2 pages.
- 13 (104) Prouzet, P., 2004. INDICANG : un projet européen pour synthétiser nos connaissances sur l'anguille et sur la qualité de ses habitats. In *Chroniques européennes des Pays de la Loire*, **54** : 50 - 51.

Rapports scientifiques et techniques, de contrats et d'expertises.

- 1 Prouzet, P. et A. Aminot, 1979. Qualité des eaux de la rivière Elorn 1974 -1977. *Rapport CNEXO-COB*, 79 pages.
- 2 Gaignon, J.-L. et P. Prouzet, 1980. Résultats d'élevage de *Salmo salar* en Bretagne - Saison 1979-1980. *Rapport CNEXO-COB*, 19 pages.
- 3 Gaignon, J.-L. et P. Prouzet, 1980. Etude de la production de juvéniles de saumon atlantique. I - résultats de la saison 1979-1980 à la pisciculture du Quinquis. *Rapport CNEXO-COB*, 48 pages.
- 4 Gaignon, J.-L. et P. Prouzet, 1980. Etude de la production de juvéniles de saumon atlantique. II - Influence de la densité sur l'alevinage. Campagne 1980-1981 à la pisciculture du Quinquis. *Rapport CNEXO-COB*, 35 pages.
- 5 Gaignon, J.-L. et P. Prouzet, 1983. Programme de repeuplement "sea-ranching" en salmonidés migrateurs. production de juvéniles saison 1980-1981. *Rapport IFREMER/COB-BAP*, 106 pages.
- 6 Prouzet, P., 1983. Aménagement et gestion des populations de salmonidés anadromes en Colombie Britannique. *Rapport IFREMER-COB*, 23 pages.
- 7 Prouzet, P., 1983. L'aménagement et la gestion des stocks de saumon atlantique au Québec. *Rapport IFREMER-COB*, 12 pages + annexes.

- 8 Prouzet, P., 1983. L'aménagement et la gestion des stocks de saumon atlantique dans les provinces maritimes canadiennes. *Rapport IFREMER-COB*, 20 pages.
- 9 Prouzet, P., K. Metuzals-Sebedio et C. Caboche, 1994. L'anchois du golfe de Gascogne ; caractéristiques biologiques et campagnes de pêche françaises en 1992. *Rapport de contrat IFREMER-CNPMEM*, 28 pages.
- 10 Motos, L., K. Metuzals-Sebedio, A. Uriarte et P. Prouzet, 1994. Evaluation de la biomasse d'anchois (*Engraulis encrasicolus*) dans le golfe de Gascogne - Campagne Bioman 94. *Rapport final de contrat CNPMEM-AGLIA-IFREMER-AZTI*, 32 pages + annexes.
- 11 Prouzet, P., K. Metuzals-Sebedio et C. Caboche, 1995. L'anchois du golfe de Gascogne. Généralités et campagne de pêche 1993. *Rapport de contrat IFREMER-IMA-Région Aquitaine-CNPMEM*, 54 pages.
- 12 Prouzet, P., J.-P. Martinet et F.-X. Cuende, 1995. Rapport sur la pêche des marins pêcheurs dans l'estuaire de l'Adour en 1995. *Rapport technique DRV-IFREMER-LHA*, 28 pages.
- 13 Caill, N. et P. Prouzet, 1996. La filière pêche (2ème phase). La commercialisation des produits de la mer dans le Sud-Ouest. *Rapport de contrat IFREMER-FIOM-ENSAR-CLPM*, 84 pages + annexes.
- 14 Caill, N. et P. Prouzet, 1997. Les pêches basques : ressources exploitées - typologie des flottilles - Etude économique d'armements - Premiers éléments de la commercialisation des produits de la mer dans le Sud-Ouest. *Rapport de contrat IFREMER-MAPA*, 112 pages.
- 15 Prouzet, P., J.-P. Martinet et F.-X. Cuende, 1997. Rapport sur la pêche des marins pêcheurs dans l'estuaire de l'Adour en 1996. *Rapport technique DRV- IFREMER - LHA*, 27 pages.
- 16 Arino O., A. Boussouar et P. Prouzet, 1999. Modélisation du stade larvaire de l'anchois du golfe de Gascogne. Estimation de la probabilité d'entrée dans le stade juvénile. *Rapport de contrat UE DG FISH 96/048*, 179 pages.
- 17 Laé, R. et P. Prouzet, 1999. Rapport de mission au Sénégal : Evaluation du programme de recherche. Environnement et ressources des Estuaires au Sénégal. Le système Pêche du Siné - Saloum. *Rapport de mission IRD- IFREMER-LHA*, 14 pages + annexes.
- 18 Prouzet, P., 1999. Point sur la pêcherie et la population d'anchois du golfe de Gascogne. *Document de travail IFREMER-CNPMEM pour la commission anchois du CNPMEM du 17/11/99*, 27 pages.
- 19 Prouzet, P., J. Massé et C. Caboche, 1999. Point sommaire sur la biologie et les caractéristiques de la pêcherie de sardine atlantique (*Sardina sardina pilchardus*) du golfe de Gascogne. *Rapport IFREMER-CNPMEM*, 19 pages.
- 20 Prouzet, P., A. Uriarte, L. Motos, M. Santos et P. Alvarez, 1999. Evaluation de la biomasse d'anchois dans le golfe de Gascogne en 1999. *Rapport final de contrat IFREMER-AZTI-CNPMEM-Région Aquitaine*, 25 pages + annexes.
- 21 Prouzet, P. (Coordinateur), 2000. Estimation de la mortalité par pêche (F) et naturelle (M) à partir des méthodes directes d'évaluation de l'abondance chez les petits pélagiques. *Rapport final de contrat DG XIV - Fishery - 95/PROP/018*, 67 pages + annexes.
- 22 Prouzet, P., F. Sanchez, M.-N. de Casamajor, N. Bru et R. Drouilhet, 2000. Impact de la pratique du tamis poussé en zone maritime de l'Adour sur l'abondance des civelles et sur leur pêche. *Rapport interne - contrat IFREMER-MATE-PESCA*, 84 pages.
- 23 Prouzet, P. and M. Lissardy, 2000. An attempt to estimate the anchovy biomass in the Bay of Biscay in 2000 from the Catch per trip of the French pelagic Fleet during the first quarter. Working Document for the STECF sub-group on anchovy - Brussels 29 to 31 of May 2000, 20 pages.
- 24 Prouzet, P., F. Sanchez et N. Diner, 2000. Calibration du signal acoustique par étalonnage direct sur des civelles d'anguille (*Anguilla anguilla*, L.) en enceintes confinées. *Rapport interne Contrat IFREMER-PESCA-MATE*, 18 pages + annexes.

- 25 Caill-Milly, N., J.-P. Léauté, B. Trouillet, Laborde J.-L., Goumy C., Prouzet P., Lissardy M., Grandpierre A. et J.-P. Corlay, 2001. La petite pêche en Aquitaine - Le Bassin d'Arcachon - Halieutique, Socio-Economie, usages et réglementation. *Rapport interne de contrat IFREMER-Pesca - convention du 5/07/2000, IFREMER-LHA*, 156 pages + annexes.
- 26 Prouzet, P., M. Lissardy, G. Morandeau et F.-X. Cuende, 2001. La pêche maritime professionnelle dans l'estuaire de l'Adour en 2000. *Rapport Scientifique et technique DRV/RST/RH/2001-08*, 38 pages.
- 27 Dumas, J. et P. Prouzet, 2002. Variabilité des paramètres démographiques et dynamique d'une population de Saumon atlantique, *Salmo salar* L., du sud-ouest de la France. *Rapport INRA - Station d'Hydrobiologie: Saint-Pée sur Nivelle*, 25 pages.
- 28 Prouzet, P., 2002. Historique des captures de saumons sur les côtes basco-landaises depuis 1990 : Périodes et conditions de captures. *Rapport final de contrat IFREMER - Conseil Général 64*, 28 pages + annexes.
- 29 Prouzet, P. (coordinateur), 2002. Historique des captures de civelles, intensité actuelle de leur exploitation, variation de leur capturabilité par la pêche professionnelle maritime et indices de colonisation sur le bassin versant de l'Adour. *Rapport final de contrat DG XIV-FISHERY/99/023*, 147 pages + annexes.
- 30 Baillon, N., Y. Pellequer et P. Prouzet, 2003. Aperçus sur la ressource anguille en Province Nord de Nouvelle-Calédonie et premiers éléments de réflexion pour la mise en place d'une filière. *Rapport scientifique IFREMER-LHA/ DDE-E Province Nord*, 64 pages.
- 31 Prouzet, P. (coordinateur), 2003. Etude sur la civelle d'anguille dans l'estuaire de l'Adour : Pêche, biologie, comportement, modélisations hydrodynamique et comportementale, estimation des flux. *Rapport de contrat Institution Adour-IFREMER*, 258 pages + annexes.
- 32 Prouzet, P., J. Lespine et D. Mahaut, 2003. Rapport relatif à la réalisation d'une expertise sur la ressource en anguilles de cours d'eau de la province Nord de Nouvelle-Calédonie en vue de la mise en place d'une filière d'exploitation. *Rapport d'expertise IFREMER-LHA-CLPM Bayonne*, 56 pages + annexes.
- 33 Prouzet, P. et T. Nielsen, 2003. Mise en place d'un projet d'exploitation et de gestion de la ressource en anguille européenne (*Anguilla anguilla* L.) dans le cadre d'une exploitation durable. *Rapport d'expertise effectué pour le compte de la FAO - FIRI du 7 juillet au 17 juillet 2003*, 19 pages + annexes.
- 34 Prouzet, P. et V. Crespi, 2004. Appui au développement et à la gestion de la ressource en anguille européenne (*Anguilla anguilla* L.) dans le cadre d'une exploitation durable. *Rapport d'expertise effectué pour le compte de la FAO - FIRI du 18 au 24 septembre 2004*, 14 pages + annexes.
- 35 (139) Prouzet, P. et D. Mahaut, 2005. Mise en place d'un projet d'exploitation et de gestion de la ressource en anguille européenne (*Anguilla anguilla* L.) dans le cadre d'une exploitation durable. *Rapport d'expertise effectué pour le compte de la FAO - FIRI du 30 mars au 8 avril 2005*, 22 pages + annexes.

Mémoires de diplômes .

- 1 Prouzet, P., 1975. Généralités sur le repeuplement en saumon atlantique. Essai de production en saumon atlantique sur le Dour-Ar-Men-Glas. *D.E.A. d'Océanographie Biologique. Université de Bretagne Occidentale: Brest*, 63 pages .
- 2 (141) Prouzet, P., 1979. Le saumon atlantique de l'Elorn et de l'Aulne : Etude des stocks et repeuplement. *Thèse de 3ème cycle en Océanographie biologique en Université de Bretagne Occidentale: Brest*, 233 pages.

Coordination de la recherche et de programmes européens.

Dans cette rubrique, j'évoquerai mes actions concernant la coordination (ou la participation à) de(s) projets de recherche pluridisciplinaires ou celle concernant l'élaboration de documents de synthèse ou l'organisation de colloques et de séminaires. Quelques exemples sont développés.

Un tableau de synthèse des différents projets interdisciplinaires effectués par le Laboratoire Halieutique d'Aquitaine dont j'assume la direction est donné à titre documentaire.

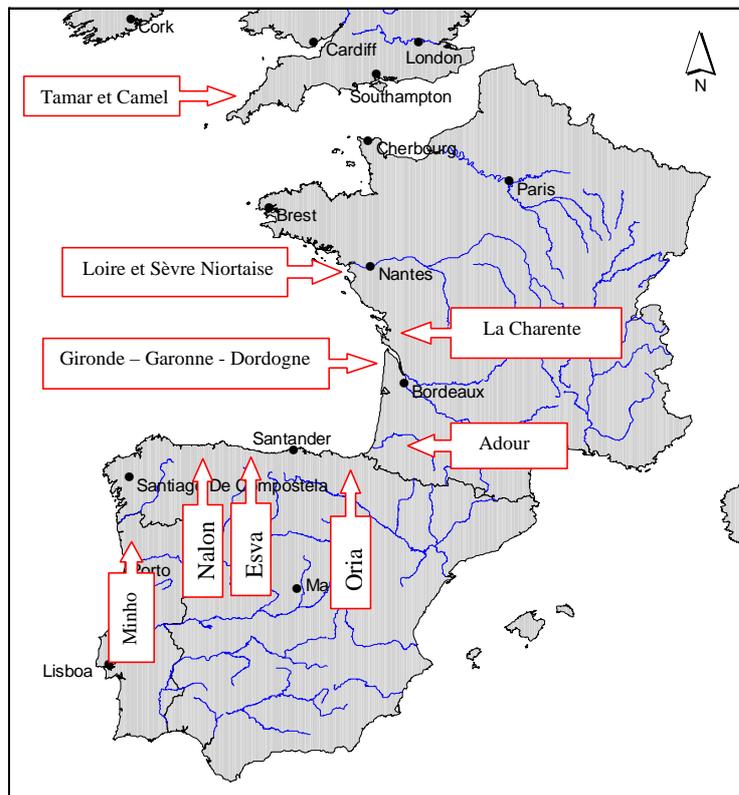
Programmes européens : DG XIV – INTERREGIIC et INTERREGIIB (Anchois, Anguille, Thon rouge, INDICANG).

Ils prolongent généralement les conclusions et recommandations effectuées par les groupes de travail du CIEM (cas des travaux développés sur l'anchois ou sur l'anguille) ou par les Comités du CIEM (cas du programme européen DG Fish/99/023).

Ils ont pour but de faire avancer les connaissances sur des points identifiés comme importants pour l'évaluation du stock (ex : estimation de la variabilité annuelle de la biomasse d'anchois, ou variabilité de la mortalité naturelle et par pêche, influence des facteurs naturels et anthropiques sur le recrutement et sur la productivité du stock).

Projet INDICANG : un programme INTERREGIII de transfert et de valorisation

Le projet a été proposé au programme INTERREG III dans le cadre de la priorité C : Environnement et ressources naturelles. L'enjeu soulevé est en effet bien environnemental et correspond à la préservation d'une ressource - l'anguille - dans le cadre d'une exploitation durable de son environnement.



4 pays de l'Arc Atlantique sont concernés : le Portugal, l'Espagne, la France et le Royaume-Uni.

7 Régions : Portugal Nord, Asturies, Pays Basque, Aquitaine, Poitou-Charente, Pays de Loire et Cornouaille Britannique⁸⁴.

45 partenaires sont impliqués. La coordination du programme est effectuée par le Laboratoire Halieutique d'Aquitaine de l'IFREMER.

12 grands bassins versants identifiés sur la carte ci-dessus.

Principes de fonctionnement du projet.

Le projet s'appuie sur les compétences existantes. Il ne crée pas de structures nouvelles. Il met donc en réseau des équipes motivées et impliquées à la fois dans l'aide à la gestion locale, nationale et européenne. Ces équipes sont formées à la fois de personnels de structures techniques et d'organismes de recherche. Elles sont en liaison étroite avec la profession et les représentants du tourisme halieutique, les structures institutionnelles et l'administration.

L'emboîtement d'échelles locales, nationales et européenne reste un des enjeux forts de ce projet et devrait permettre de mettre en relation un ensemble d'actions à la dimension de la partie centrale de l'aire de colonisation avec une adaptation et une précision locale.

La mise en oeuvre locale d'INDICANG est de la responsabilité d'un animateur qui doit coordonner un certain nombre d'actions se reportant thématiquement aux rubriques suivantes :

- Estimation du recrutement : estimation des flux de civelles et de leurs taux d'exploitation.
- Estimation de la colonisation : abondance des populations d'anguille jaune.
- Estimation de l'échappement : abondance des populations d'anguille argentée en migration.
- Une « boîte environnement » a été définie de manière à voir comment les pressions anthropiques s'exerçant sur les habitats de l'anguille ont évolué au cours des trois dernières décennies.

L'autre enjeu fort du projet est le transfert de responsabilités techniques vers les structures permettant d'assurer les pérennités des suivis qui doivent être faits selon un cahier des charges déterminé et agréé par les partenaires du programme et évidemment au moindre coût. Aux termes des trois années, il devrait être possible de définir pour les instances nationales et européennes un réseau de contacts capable de mettre en oeuvre de tels cahiers des charges pour le suivi des indicateurs de cette ressource et de la qualité des habitats qu'elle colonise.

Un site INDICANG est mis à disposition du public et des partenaires. Il est à l'adresse : <http://www.ifremer.fr/indicang/>

Programmes régionaux : Programmes amphihalins Adour

Ils répondent à une demande de gestion plus ciblée localement et liée à des interrogations sur les effets de la pêche et de la qualité des milieux sur la dynamique des espèces amphihalines et plus particulièrement sur l'anguille et le saumon atlantique. La complexité des mécanismes de régulation et la diversité des modèles mis en oeuvre pour répondre aux interrogations des gestionnaires nous a amené à développer des coopérations scientifiques

⁸⁴ La Région Bretagne s'est jointe au projet INDICANG (bassin versant concerné La Vilaine) après l'acceptation du dossier et fait partie du projet à titre d'associé.

pluridisciplinaires dont le cadre a été la mise en place d'un pôle de recherche DRAES, puis d'un Groupement de Recherche IFREMER – UPPA appelé GDR Adour ⁸⁵ (cf. ci-dessous).

GDR Adour (Groupement de Recherche IFREMER)

Le cadre de recherche proposé est « l' Impact des facteurs anthropiques sur le système estuarien de l'Adour et de sa zone d'influence sur le littoral basco-landais ».

Plus particulièrement, le GDR s'intéresse à la dynamique des flux de contaminants dans l'estuaire de l'Adour, transformation, bioaccumulation et toxicité de ces matières au sein de 2 compartiments de la chaîne alimentaire : les communautés bactériennes et l'anguille. L'objectif *in fine* est de pouvoir évaluer les effets des impacts anthropiques sur un maillon terminal de la chaîne alimentaire d'une espèce ubiquiste telle que l'anguille. Il est une des composantes du programme IFREMER « Démarche Ecosystémique pour une Gestion Intégrée des Ressources Halieutiques » appelé DEMOSTEM.

Originalité de la démarche

La démarche s'intègre dans un cadre véritablement pluridisciplinaire et non dans une simple juxtaposition de travaux effectués par des spécialistes de compétences différentes.

Le programme de recherche proposé complète la démarche systémique élaborée par le GDR pour un cadre de recherche plus élargi (anthropisation des écosystèmes littoraux, estuariens et impact sur les ressources halieutiques dont l'anguille) et répond à un questionnement récurrent des gestionnaires et usagers : Quid du devenir des polluants au sein de la chaîne alimentaire et de l'impact de ces contaminants sur la productivité de cette chaîne trophique et de certains maillons d'intérêt halieutique ? Les disciplines s'imbriquent passant de l'objet physique (support liquide ou sédimentaire) à l'objet biologique (chaîne trophique et population ichtyologique) en s'intéressant à la répercussion de l'élément chimique et de sa transformation (contaminant et bio-transformation par les micro-organismes) sur la physiologie de l'individu et de sa possible répercussion sur la dynamique de la population d'anguille.

Collaborations scientifiques et territoriales

Ces travaux de recherche complètent aux plans prospectif et fondamental une démarche plus appliquée et qui répond à une demande clairement exprimée par l'Union Européenne dans le contexte de la Directive Cadre Eau (DCE) : gestion et utilisation des milieux aquatiques naturels dans une perspective d'équilibre des écosystèmes et de développement durable.

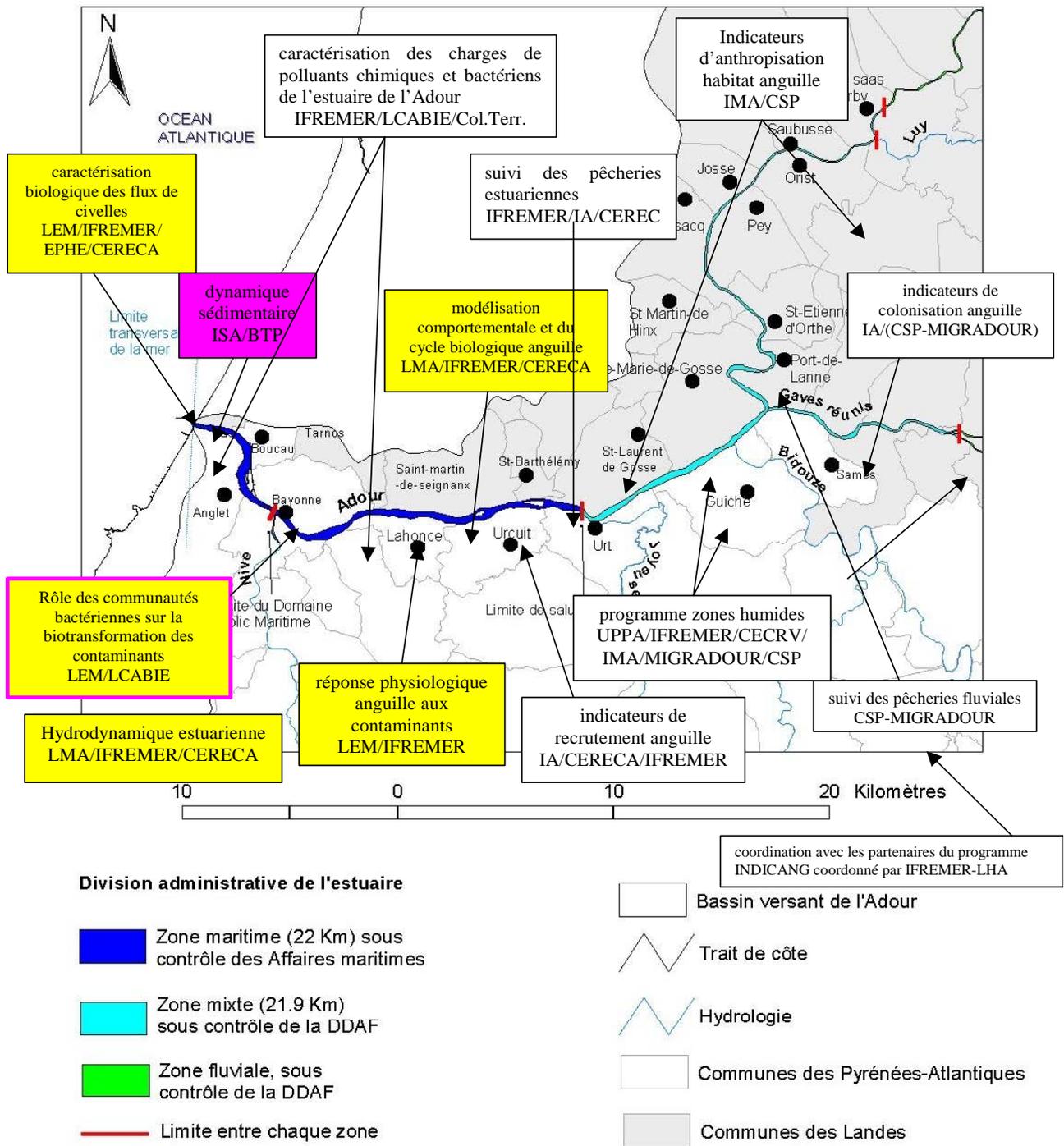
L'anguille, actuellement considérée comme une espèce en danger par l'U.E., constitue un objet de recherche biologique particulièrement pertinent. C'est une espèce d'intérêt patrimonial majeur qui constitue un excellent bioindicateur de la qualité des milieux.

Elle est au centre des préoccupations actuelles des structures administratives, institutionnelles et gestionnaires que cela soit au Pays Basque (cas de l'Adour), en Aquitaine (cas des pêcheries estuariennes, activité halieutique majeure pour cette région) ou au sein de l'Arc Atlantique (cadre du projet INDICANG).

Les travaux ici proposés sont donc bien connectés aux préoccupations des gestionnaires et des utilisateurs de ces milieux et de cette ressource halieutique, même s'ils abordent des questions assez fondamentales.

La carte du bassin de l'Adour montre comment s'imbrique ce type de recherche avec ceux existants ou projetés.

⁸⁵ Dynamique des Ressources Aquatiques en Environnement Sensible



Carte donnant un aperçu de la synergie des travaux consacrés à l'anguille et à son habitat. **En jaune** figurent les actions qui sont spécialement concernées par l'axe de recherche proposé à l'appel d'offres du Conseil des élus du Pays Basque par le GDR IFREMER/UPPA-CNRS. **En magenta** les actions proposées dans le cadre de la proposition LEM-ISABTP. La jonction entre ces deux axes de recherche est assurée fonctionnellement par les travaux portant sur le rôle des communautés bactériennes assurés par le LEM (inclus dans la proposition ISA-BTP et LEM) et sur la biodisponibilité et spéciation des métaux lourds assurés par le LCABIE (inclus dans la proposition GDR IFREMER-UPPA-CNRS).

L'ensemble de ces travaux est associé aux suivis récurrents effectués par les organismes scientifiques et techniques (IFREMER, CSP), les structures techniques (IMA, MIGRADOIR et CERECA) sur la ressource anguille ou plus généralement sur les amphihalins. Suivis et travaux qui sont portés à la connaissance des administrations, Collectivités Territoriales, Agence de l'Eau, Institution Adour, usagers et administrations dans le cadre des Comités de Gestion des Poissons Migrateurs (COGEPOMI) par l'IFREMER et le CSP (dans le cadre de leurs fonctions institutionnelles portant sur la fourniture d'avis). Les autres travaux listés sont effectués dans le cadre du GISECOBAG ou dans le cadre des réseaux nationaux de suivis de la qualité des milieux (RNO, REMI) ou sont proposés aux programmes Objectif 2 (programme zones humides) ou INTERREGIII (programme INDICANG).

Résultats attendus :

Flux, accumulation et biotransformation des contaminants au sein de différents maillons de la chaîne trophique des communautés estuariennes ; impact de cette contamination sur la physiologie de l'animal et prise en compte de celui-ci dans la dynamique de l'espèce.

Il s'agit d'étudier l'apport et le devenir des métaux lourds utilisés dans la fabrication de contaminants : pesticides, herbicides, fongicides ou désinfectants ainsi que la dynamique de leur flux dans la colonne d'eau. Les aspects concernant leur sédimentation et leur biotransformation sont traités parallèlement par l'ISA-BTP et le LEM dans le cadre de la proposition coordonnée par l'ISA-BTP. La spéciation, la biodisponibilité des contaminants métalliques ainsi que leur bioaccumulation au sein d'un des maillons terminaux de la chaîne alimentaire aquatique : l'anguille, seront étudiés. La réponse physiologique des individus à ces contaminants sera analysée.

L'échelle d'étude est l'Adour (partie estuarienne et bassin inférieur), mais les travaux entrepris seront replacés dans un cadre plus large et constitué par l'aire de répartition de l'anguille grâce à l'étude de certains marqueurs isotopiques sur les pièces calcifiées ou de marqueurs biochimiques (analyse génétique) de différents tissus.

L'aspect dynamique est pris en compte par la mise en place d'un modèle conceptuel comme ceux développés sur l'anchois ou sur les salmonidés. Pour l'anguille, sa conception a plus un but exploratoire qu'opérationnel dans un premier temps, compte-tenu du manque de connaissances sur la cinétique de développement de cette population aux divers stades de son cycle biologique.

**Principales coopérations scientifiques du Laboratoire Halieutique d'Aquitaine
(1996-2005) développées et/ou gérées sous ma responsabilité**

Projets	Partenaires* (en gras : coordinateur)	Cadres de financement
Filière pêche en Aquitaine et au nord de l'Espagne	IFREMER Agrégé de géographie Bayonne + échange de données avec AZTI (E) et UPV (E)	FEDER (Objectif 2), CLPM, OP Bascopêche et OP Bidassoa, FIOM, Ifremer
Estimations de la mortalité par pêche (F) et naturelle (M) à partir des méthodes directes d'évaluation de l'abondance chez les petits pélagiques. Précision de ces estimateurs.	IFREMER UPPA (Université de Pau et des Pays de l'Adour) AZTI (E) IEO (E)	Programme européen DG XIV, participation des organismes partenaires
Evaluation de la biomasse d'anchois dans le golfe de Gascogne - BIOMAN 99	IFREMER AZTI (E)	Fonds commun de coopération Aquitaine / Euskadi / Navarre, participation des organismes partenaires / CNPMM
Petite pêche côtière et estuarienne depuis la Loire au Portugal	IFREMER (La Rochelle coordinateur – LHA responsable partie estuarienne) CRTS Géolittomer CEMAGREF AZTI (E) IEO (E) UPV (E) – Département économie IPIMAR (P)	Programme européen DG XIV, participation de tous les organismes partenaires : PECOSUD
Evaluation de la biomasse d'anchois (<i>Engraulis encrasicolus</i>) dans le golfe de Gascogne en 2000-2001	IFREMER AZTI (E)	Cofinancement Union européenne et FEDER (Fonds Interreg IIC), participation des organismes partenaires / CNPMM
Petite pêche en Aquitaine	IFREMER CRTS Géolittomer (UMR du CNRS)	Fonds Pesca, Ifremer, Géolittomer
Infestation parasitaire de l'anguille par <i>Anguillicola crassus</i>	MIGRADOUR IFREMER GDSAA (Groupe de Défense Sanitaire Aquacole d'Aquitaine)	Conseil supérieur de la pêche Ministère de l'environnement Agence de l'eau Adour Garonne IFREMER

Impact de la pratique du tamis poussé en zone maritime de l'Adour	IFREMER EPHE/CNRS Perpignan Laboratoire de Statistiques appliquées - Université de Grenoble Laboratoire Math. Appliquées UPPA	PESCA Ministère de l'agriculture et de la pêche DRAF Aquitaine IFREMER
Campagne d'échantillonnage de la civelle dans l'estuaire de l'Adour 1- Comportement en fonction des facteurs environnementaux et biologie de la civelle	Institution Adour IFREMER (coordinateur scientifique) EPHE/CNRS Perpignan UPPA/Laboratoire Ecologie Moléculaire	Région Aquitaine Conseil général des Landes et des Pyrénées-Atlantiques Agence de l'Eau Adour - Garonne Institution Adour IFREMER
2- Estimation des flux de civelles	Institution Adour IFREMER (coordinateur scientifique) Laboratoire de statistiques appliquées Université de Grenoble Laboratoire de statistiques appliquées - Université de Pau Laboratoire de Génie Mathématiques et Modélisation (INSA Toulouse)	Région Aquitaine Conseil général des Landes et des Pyrénées-Atlantiques Ministère de l'Agriculture et de la pêche FEDER
<i>Dynamique et comportement des flux migratoires de poissons amphihalins : application à la civelle et aux grands migrateurs (saumons, truite de mer) :</i> 1- Observations par acoustique de la remontée des poissons migrateurs (civelles, saumons, aloses...) dans l'estuaire de l'Adour à l'aide d'un sondeur bi-fréquence 50 et 120 kHz 2- Mesures in situ de l'index de réflexion acoustique (TS) de saumons atlantiques dans l'estuaire de l'Adour en conjuguant l'observation par acoustique au marquage sonique et évaluation de l'abondance de saumons qui remontent l'Adour	Institution Adour IFREMER LHA et IFREMER TMSI CREMA l'Houmeau INRA St-Pée sur Nivelle	PESCA DIREN Aquitaine Institution Adour CG 64 Agence de l'Eau AIDSA CSP IFREMER INRA CNRS
Modélisation du stade larvaire de l'anchois du golfe de Gascogne : Estimation de la probabilité d'entrée dans le stade juvénile	Université de Pau et des Pays de l'Adour - LMA IFREMER-LHA	DG XIV – contrat 95/C76/15 UPPA- LMA IFREMER
Adaptation et application d'un modèle de simulation hydrodynamique mono et bidimensionnel à l'estuaire de l'Adour	Institution Adour IFREMER LHA et DEL-AO Laboratoire de Mathématiques Appliquées – Université de Pau	Institution Adour Ministère de l'Agriculture et de la pêche Agence de l'Eau

	DDE Service et Sondage de Bayonne	IFREMER
Evaluation des prises de salmonidés en zone côtière du Pays Basque et des Landes	Conseil Général 64 IFREMER	Conseil Général 64 ; Agence de l'Eau DIREN Aquitaine IFREMER
Modélisation des flux de civelles et historique des captures	IFREMER UPPA CSP CEMAGREF	UE (DGXIV) IFREMER CSP CEMAGREF ; UPPA
Programme INDICANG : Mise en place d'un réseau d'indicateurs d'abondance et de colonisation dans la partie centrale de l'aire de colonisation de l'anguille européenne	IFREMER UPPA CEMAGREF CSP Institution Adour Université La Rochelle- LBEM LOGRAMI MIGADO A.A.P.P.E.D Gironde Conseil Général Gironde CMNM-CSIC (Espagne) AZTI (Espagne) Deputacion Foral Gipuzkoa (Espagne) EKOLUR (Espagne) CIIMAR (Portugal) WRT (UK)	Fonds européen (FEDER) programme INTERREGIII B Agence de l'Eau CR Pays de Loire CR Aquitaine CG 44 CG 64 CG 40 CG 33 CG 65 DIREN Gouvernement autonome du Pays Basque Participation des partenaires
Evaluation par acoustique de la productivité d'un récif artificiel implanté sur la côte des Landes	IFREMER TMSI Brest et LHA Association Landes Récif CERCA/ADERA	Fonds IFOP CR Aquitaine ; CG Landes IFREMER
GDR Adour : Etude de l'impact de l'anthropisation des écosystèmes estuariens et côtiers de la zone basco-landaise.	IFREMER – LHA UPPA- LMA ; UPPA- LEM ; UPPA- LCABIE ; UPPA -CREG	IFREMER-DS (contrat d'incitation) Contrats et participation des partenaires (CEPB – CG 64 et Région Aquitaine)

* E : Espagne – P : Portugal

Organismes espagnols : UPV : Universidad del Pais Vasco

AZTI : Instituto Tecnológico Pesquero y Alimentario IEO : Instituto Español de Oceanografía

UPPA : Université de Pau et des Pays de l'Adour (LMA : Laboratoire de Mathématiques Appliquées ; LEM : Laboratoire d'Ecologie Moléculaire ; LCABIE : Laboratoire de Chimie Analytique Bioinorganique de l'Environnement ; CREG : Centre de Recherche en Economie et Gestion) CEMAGREF : Centre du Machinisme Agricole du Génie Rural et des Eaux et Forêts CSP : Conseil Supérieur de la Pêche ; WRT : ; CIIMAR : ; CMNN-CSIC : Museum National de Madrid ;

DIREN : Direction Régionale à l'Environnement INRA : Institut National pour la Recherche Agronomique CNRS : Centre National pour la Recherche Scientifique

Formation à la recherche : encadrement, enseignement.

La liste qui suit, ne concerne véritablement que les encadrements pour lesquels j'ai assuré soit une entière maîtrise de stage soit une réelle co-maîtrise de stage. Il ne sera fait mention ici que de l'encadrement exercé pour des stages de niveau Bac + 5 au moins. Les encadrements d'étudiants en licence ou maîtrise ne sont pas mentionnés.

Encadrement de thèses

1981 – 1984 : Thèse de troisième cycle Didier Fasencieux (Université de Bretagne Occidentale) Brest

Spécialité : Océanographie

Mention : Biologie

Sujet : Variabilité inter-annuelle de la croissance du saumon atlantique de l'Elorn.

Soutenue le 20 juin 1984 devant la commission d'examen : Prof. J. Lahaye (UBO-Brest) ; Prof. A. Lucas (UBO Brest) ; M. Thibault (INRA-Rennes) et P. Prouzet (IFREMER)

Obtenu avec la mention THFJ

1983 – 1986 : Thèse de Doctorat d'Université de Hélène de Pontual (Université de Paris VI)

Spécialité : Océanologie

Sujet : Essais de discrimination des stocks de saumons atlantiques (*Salmo salar* L.) par reconnaissance de la forme de leurs écailles.

Soutenue le 15 juin 1986 devant la commission d'examen : Prof. P. Bougis (Paris VI) ; P. Nival (Paris VI) ; Ph. Gros (IFREMER) ; P. Prouzet (IFREMER) et J.-P. Crettez (Paris VI).

Obtenu avec la mention THFJ

1986 – 1990 : Thèse de Doctorat d'Université de Hervé Troadec (Université de Paris VII)

Spécialité : Biomathématiques

Sujet : Reconnaissance de structures sur des pièces calcifiées par imagerie numérique dans un but de suivi d'un stock halieutique.

Soutenue le 15 juillet 1990 devant la commission d'examen : Prof. A.J. Valleron (URBB) ; Prof. J.P. Rigaut (URBB) ; P. Prouzet (IFREMER) ; A. Hillion (ENSTBr) ; M. Conan (ORSTOM) et M. Meunier (Paris VI).

Obtenu avec la mention THFJ

1990 – 1994 : Thèse de Doctorat de l'Institut National Polytechnique de Toulouse de F.-X. Cuende (Université Paul Sabatier –Toulouse)

Spécialité : Sciences Agronomiques (mention Ichtyologie appliquée)

Sujet : Contributions à l'étude de la pêche professionnelle du saumon (*Salmo salar* L.) dans le bassin de l'Adour (France) :

- Histoire et actualité de la pêche professionnelle
- Evolution des caractéristiques démographiques et pondérales des stocks capturés
- Relations entre les captures et l'hydroclimat.

Soutenue le 24 novembre 1994 devant la commission d'examen : Prof. A. Belaud (INPT) ; J. Badia (INRA) ; M. Jarry (CNRS) ; P. Elie (CEMAGREF) ; Prof. J. Moreau (INPT) et P. Prouzet (IFREMER)

Obtenu avec la mention THFJ

1995 – 1998 : Thèse de Doctorat d'Université de Marie-Noëlle de Casamajor (Université de Pau et des Pays de l'Adour)

Spécialité : Biologie

Sujet : Comportement migratoire de la civelle d'anguille (*Anguilla anguilla* L.) dans l'estuaire de l'Adour en fonction de la variabilité des conditions environnementales.

Soutenue le 14 décembre 1998 devant la commission d'examen : Prof. C. Mouchès (UPPA) ; Prof. M. Jarry (UPPA) ; P. Prouzet (IFREMER) ; Prof. A. Belaud (ENSAT) ; J. Badia (INRA) ; Prof. B. Truong-Van (UPPA) ; R. Lecomte-Finiger (CNRS-EPHE) et P. Elie (CEMAGREF).

Obtenu avec la mention TH FJ.

1995 – 1998 : Thèse de Doctorat d'Université (Ecole doctorale des Sciences Exactes et de leurs applications) de Noëlle Bru (Université de Pau et des Pays de l'Adour)

Spécialité : Mathématiques Appliquées

Sujet : Etude de quelques méthodes d'estimation non paramétriques de courbes : Application à l'évaluation des flux de civelles d'anguille.

Soutenue le 15 décembre 1998 devant la commission d'examen : Prof. C. Thomas (Université des Sciences Sociales Toulouse) ; Prof. B. Truong-Van (Université de Pau et des Pays de l'Adour) ; P. Prouzet (IFREMER) ; S. Dossou-Gbete (UPPA) ; O. Clément (INRA St-Pée) ; M. Goulard (INRA Toulouse).

Obtenu avec la mention TH.

1999 – 2002 : Thèse de Doctorat d'Université (Ecole doctorale des Sciences Exactes et de leurs applications) de Olivier Pardo (Université de Pau et des Pays de l'Adour)

Spécialité : Mathématiques Appliquées

Sujet : Contribution à l'étude et à la modélisation d'un modèle de convection-diffusion dégénéré.

Soutenue le 16 décembre 2002 devant la commission d'examen : Prof. O. Arino (Université de Pau et des Pays de l'Adour) ; Prof. C. Lobry (INRA-ENSAM –Montpellier) ; Prof. M. Langlais (Université V. Ségalen Bordeaux II) ; Prof. M. Amara (UPPA) ; M. Adimy (UPPA) et P. Prouzet (IFREMER).

Obtenu avec la mention TH.

Encadrements de Mémoires de DEA⁸⁶

1981 – Mémoire de DEA de l'Université Pierre et Marie Curie Paris VI de Christophe Herbinger .

Sujet : Influence des facteurs climatiques (température et débit) sur la croissance des jeunes saumons atlantiques (*Salmo salar* L.) des populations naturelles de la rivière Elorn. 36 pages.

Encadrements de Mémoires de DESS

1997 – Mémoire de DESS « Dynamique des Ecosystèmes Aquatiques », UPPA de Florence Sanchez.

Sujet : Essai d'utilisation de l'acoustique pour évaluer les densités de civelles dans l'estuaire de l'Adour, 40 pages + annexes.

1998 – Mémoire de DESS « Dynamique des Ecosystèmes Aquatiques », UPPA de Sabine Malvezin.

Sujet : Essai d'utilisation de l'acoustique pour l'étude du comportement et de la capturabilité des poissons dans la partie estuarienne de l'Adour, 25 pages + annexes.

⁸⁶ L'encadrement des DEA a été arrêté relativement tôt compte-tenu de la difficulté à trouver la continuité de la formation en thèse.

1999 - Mémoire de DESS " Dynamique des Ecosystèmes Aquatiques ", UPPA de Laurent Irubetagoiena.

Sujet: L'anchois du golfe de Gascogne – Campagne de Pêche Française en 1998 – Précision du schéma de migration de l'anchois dans le golfe de Gascogne, 65 pages + annexes.

2000 - . Mémoire de DESS " Dynamique des Ecosystèmes Aquatiques " de l'UPPA de Muriel Lissardy .

Sujet: Relation entre les captures d'anchois par marée dans le golfe de Gascogne et l'estimation de la biomasse par la méthode de production journalière d'œufs : utilisation dans la prévision de l'abondance du stock, 29 pages + annexes.

2001 - . Mémoire de DESS " Dynamique des Ecosystèmes Aquatiques ", UPPA de Nicolas Susperreguy .

Sujet: Mise au point d'une méthode d'estimation de l'abondance de Salmonidés migrateurs *Salmo salar* et *Salmo trutta* en migration dans l'estuaire de l'Adour par sondage acoustique, 27 pages + annexes.

2002 - Mémoire de DESS de « Dynamique des Ecosystèmes Aquatiques », UPPA de Simala Souvannavong.

Sujet: Variabilité des caractéristiques des captures d'alose vraie (*Alosa alosa*, L. 1758) dans l'estuaire de l'Adour., 39 pages + annexes.

2003 – Mémoire de DESS « Ingénierie Mathématique et Outils Informatiques », de l'Université de Pau et des Pays de l'Adour de thomas Poloni.

Sujet: Mise en place d'une chaîne de traitements statistiques permettant l'évaluation de la biomasse journalière de civelles dans l'estuaire de l'Adour, 39 pages + annexes.

2003 - Mémoire de DESS de « Dynamique des Ecosystèmes Aquatiques », UPPA de Bénédicte Durozoi.

Sujet: Calibration du modèle hydrodynamique bidimensionnel. Etude du comportement transversal des civelles (*Anguilla anguilla* L.) dans l'estuaire de l'Adour, 31 pages + annexes.

2004 – Mémoire de DESS « Dynamique des Ecosystèmes Aquatiques », UPPA de Jean-Charles Bouvet.

Sujet: Etude de la variabilité du flux migratoire de civelles dans l'estuaire de l'Adour par l'analyse des captures professionnelles et des conditions hydrauliques, 28 pages + annexes.

Encadrements de Mémoires d'élèves ingénieurs.

1999 - Mémoire de fin d'études pour l'obtention du diplôme d'ingénieur ENSIA de Mazoyer Valérie.

Sujet: Action des facteurs hydroclimatiques sur le comportement migratoire de la civelle dans l'estuaire de l'Adour, 82 pages + annexes.

2002 - Mémoire de fin d'études pour l'obtention du diplôme d'ingénieurs de l'ESA d'Angers de Astrid Gadet .

Sujet: Rôle de l'hydrodynamisme estuarien sur le comportement migratoire de la civelle d'anguille (*Anguilla anguilla*) dans l'Adour, ...pages + annexes.

2003 - Mémoire de fin d'étude ENITA Bordeaux, Options : Production animale, aquaculture, aviculture de Céline D'Hardivillé.

Sujet: Liens entre taux d'exploitation des civelles d'anguille (*Anguilla anguilla* L. 1758) et paramètres hydroclimatiques sur l'estuaire de l'Adour, 45 pages + annexes.

Enseignement Supérieur.

Il s'agit d'interventions ponctuelles faites à la demande de responsables de formation universitaire ou d'écoles d'ingénieurs. Dans cette rubrique, on peut signaler essentiellement les cours dispensés dans le cadre du DESS « Dynamique des Ecosystèmes Aquatiques » : 10 heures de cours annuellement dispensés depuis 1999 et 3 heures de cours dispensés en 2002 et 2003 à l'ENITA Bordeaux.

Vulgarisation scientifique et transfert vers les utilisateurs.

Dans cette rubrique, nous classerons les activités d'expertises, d'avis et celles relevant soit de commandes institutionnelles (contrats d'études permettant la formulation d'un avis circonstancié) soit de réponses à des appels d'offres (contrats européens par exemple).

Compte-tenu de la fonction institutionnelle de l'IFREMER pour l'élaboration d'avis concernant l'exploitation des ressources renouvelables ou non des espaces maritimes, un temps important de mon activité lui a été consacré et il n'est bien entendu pas possible de détailler très finement cette fonction. Seule une idée du volume et de la nature des avis élaborés au cours de ces dernières années sera donnée.

Expertises

Nationales - Elles concernent essentiellement deux groupes d'espèces sur lesquelles j'ai développé des travaux de recherche : les poissons amphihalins (en particulier saumons et anguilles) et les petits pélagiques (essentiellement anchois). Ces expertises effectuées pour le compte des administrations gestionnaires (DPMA, DIREN, DRAM) en tant que « responsable ressource » de l'IFREMER pour les poissons amphihalins (officiellement depuis 1986⁸⁷) et « petits pélagiques » (de 1988 à 2000). Ces expertises ont donné lieu à des rapports de contrat (cf. bibliographie) et ont permis de mieux étayer certains avis délivrés dans le cadre des Comités de Gestion des Poissons Migrateurs (COGEPOMI), dans le cadre des Commissions spécialisées du Comité National des Pêches Maritimes et des Elevages Marins (CNPMM) ou délivrés par l'Institut en réponse aux demandes des Ministères chargés de l'Environnement ou de l'Agriculture et de la Pêche.

Autres cadres :

- Expertise effectuée pour l'IRD sur le programme d'étude développé par les équipes de l'IRD sur le Siné Saloum au Sénégal .

- Expertise effectuée à la demande du Préfet de Région d'Aquitaine sur l'impact des dragages dans la Gironde sur l'Esturgeon.

- Expertise effectuée pour l'Académie des Sciences sur l'exploitation et la surexploitation des ressources marines vivantes (sous-chapitre 6.7 : « Les pêches et ressources estuariennes et continentales : Importance, évolution et contraintes anthropiques. Un cas particulier, l'anguille »).

Internationales ou Outre-Mer

Cadre du Conseil International pour l'Exploration de la Mer (CIEM) ou de l'Union Européenne :

Elles concernent principalement des travaux effectués dans le cadre du CIEM et découlent de mes responsabilités en tant que membre du Comité des Ressources Vivantes du CIEM, membre (de 1988 à 2000) du groupe de travail sur l'évaluation des stocks de chinchards, maquereaux, sardine et anchois et membre du groupe de travail conjoint sur l'anguille du CIEM et du CECPI (depuis 2001). A ce titre, je participe annuellement à des réunions de groupe de travail ou de réunions statutaires et contribue à l'élaboration de rapports de synthèses sur l'état des ressources évaluées⁸⁸. Ces rapports servent à étayer les avis fournis par le CIEM suite à une commande de l'Union Européenne qui les utilise pour élaborer ces propositions concernant la gestion des pêches.

⁸⁷ Raison de mon affectation à la Station INRA de Saint-Pée sur Nivelle pour la mise en place d'un programme « pêcheries estuariennes » à la demande de la Direction des Pêches Maritimes.

⁸⁸ Non cités dans la liste des travaux.

De manière ponctuelle, des expertises ont été faites dans le cadre de groupes ad'hoc à la demande de l'Union européenne. Dans ce cadre nous pouvons retenir :

- Expertise effectuée dans le cadre de l'action COST46 MARICULTURE pour le compte de la commission des Communautés Européennes : Final report of COST Project 46/4 on « Ocean Ranching of Atlantic Salmon ».
- Expertise effectuée pour le Conseil Scientifique Technique et Economique des Pêches de l'Union Européenne concernant l'état de la population d'anchois du golfe de Gascogne et la simulation des différentes mesures de gestion sur l'économie de la filière.
- Expertise effectuée pour l'Union Européenne dans le cadre du Groupe « GEEL » (Glass Eel Monitoring).

Cadre de la FAO (Food and Agriculture Organization):

Cette expertise effectuée pour le compte du FIRI avait pour but la mise en place dans le nord de la Tunisie d'un projet d'exploitation et de gestion de la ressource en anguille européenne (*Anguilla anguilla* L.) dans le cadre d'une exploitation durable (cf Bibliographie). Elle doit contribuer à dresser le contour d'un projet de coopération technique entre la Tunisie et la FAO à partir de 2004 et ce jusqu'en 2007 (cf. liste des travaux dans le § rapports scientifiques et techniques, de contrats et d'expertises : N° 33 à 35).

Outre mer :

Deux expertises ont été effectuées pour le compte de la Province Nord de Nouvelle-Calédonie (cf. liste des travaux dans le § rapports scientifiques et techniques, de contrats et d'expertises : N° 30 à 32). Elles avaient pour but d'évaluer succinctement la ressource en anguille et de définir les bases techniques pour la mise en place d'une petite filière de production à partir de la pêche effectuée par certains membres de tribus kanaques. En 2004, un embryon de filière est lancé.

Contrats d'études⁸⁹

Ils proviennent de commandes émanant d'appels d'offres⁹⁰ de :

-l'Europe (DG XIV, INTERREG IIC, INTERREGIII B).

Anchois DG XIV ; Anguille DG XIV ; Embouche Thon rouge INTERREGIIC ; INDICANG INTERREGIIB.

programmes européens régionalisés (PESCA, Objectif 2, coopération Interfrontalière, IFOP)

Anchois (BIOMAN) ; Statpêche ; Palangre Thon rouge ; Programme civelle Adour ; Récifs artificiels.

Collectivités Territoriales, Structures Institutionnelles et Services de l'Etat.

Impact tamis poussé ; Pêches salmonidés en zone côtière ; Programme amphihalins Adour ; Captures séquentielles.

Organisations de colloques ou d'assises de la pêche; édition d'ouvrages de vulgarisation scientifique .

(co) Organisation du Colloque golfe de Gascogne et (co) édition des Actes du Colloque .
Organisation du Colloque de l'AGLIA (partie scientifique et technique)

⁸⁹ Voir également rubrique Coordination de la recherche où figurent le titre et les détails des contrats de recherche finalisés ou prospectifs.

⁹⁰ Je ne citerai ici que ceux que j'ai coordonné seul ou en partenariat (à titre scientifique ou administratif) depuis 1987 (date de ma venue en Aquitaine).

(co) Organisation des premières Assises de la Pêche professionnelle des Estuaires, des rivières et des Lacs.

(co) Organisation des journées du Pôle DRAES en 1999.

(co) Organisation du séminaire INDICANG à Rochefort en 2004.

(co) Edition de l'ouvrage de synthèse sur le Saumon Atlantique

Participation à des chapitres d'ouvrages scientifiques ou de vulgarisation scientifique.

[Clément, 1996 #10] ; [Harache, 1989 #2] ; [Pennell, 1998 #12] ; [Davaine, 1994 #4] ; [Chevassus, 1988 #10] ; [Dumas, 1994 #5] ; [Guéguen, 1994 #6] ; [Prouzet, 2003 #15] ; [Prouzet, 1994 #9] ; [Prouzet, 1980 #4] ; [Tane, 1984 #7]

Avis

Ils concernent principalement la gestion des pêcheries de poissons amphihalins, et d'anchois, mais aussi l'impact de certains usages sur le devenir des ressources ichtyologiques estuariennes et amphihalines. Ces avis s'adressent aux autorités et aux Services de l'Etat (Préfets de Région, Préfets de département, Services des Ministères de l'Environnement et du Développement durable, Services du Ministère de l'Agriculture, de la Pêche et de l'Aquaculture). Ils sont donnés par oral (cadre de réunion de CLPM, du CNPMM, du COGEPOMI ou des Services de l'Etat) ou par écrit soit directement soit *via* la Direction du Centre administratif (Centre de Nantes pour le Laboratoire Ressources Halieutiques d'Aquitaine) soit *via* la Présidence de l'IFREMER (pour des avis de portée nationale).

Exemple du volume et de la nature des avis élaborés durant la période 2001-2003.

2001 –

Mission à l'Agence de l'Eau Pau : discussion sur l'Outil d'Evaluation des poissons migrateurs de l'Adour le 6 février 2001.

Mission à Nantes IFREMER (DRV/RH) : réunion avec le CIPE sur le comportement des civelles en estuaire ouvert. Description des programmes IFREMER-LHA les 8 et 9 février 2001.

Mission à Bordeaux au Conseil Régional d'Aquitaine : réunion technique sur le programme de comportement des salmonidés migrateurs en estuaire de l'Adour avec CNRS et INRA le 14 février 2001.

Mission à Aire sur Adour à la mairie : réunion avec l'Agence de l'Eau et l'Institution Adour sur l'état d'avancement des travaux du programme amphihalin Adour le 22 février 2001.

Mission à Bayonne CG 64 : réunion du COGEPOMI Adour – présentation du bilan du plan de gestion et perspectives le 5 avril 2001.

Mission à Sainte-Marie de Gosse : Réunion CIPE – exposé des travaux IFREMER sur programmes amphihalins le 17 mai 2001.

Mission à Capbreton : Réunion avec armateurs des fileyeurs échantillonneurs pour exposé des résultats obtenus sur le projet « Prises de salmonidés en zone côtière » le 21 mai 2001.

Mission à Sainte-Marie de Gosse : réunion CIPE pour exposé des travaux IFREMER sur pêcherie Adour le 11 juin 2001.

Mission à Paris – CNPMM : Commission CIPE – position IFREMER sur amphihalins le 12 juin 2001.

Mission à Mont-de-Marsan : Réunion avec Institution Adour pour faire le point sur les travaux concernant les poissons migrateurs amphihalins le 14 juin 2001.

Mission à Bayonne – Conseil Général : réunion COGEPOMI Adour – points sur travaux concernant les migrateurs amphihalins le 5 juillet 2001.

Mission à Copenhague – CIEM : réunion du groupe de travail sur l'évaluation des stocks de maquereaux, sardine, chinchards et anchois – élaboration du rapport du groupe de travail – du 6 au 15 septembre 2001.

Mission à Paris au CNPMM – Commission anchois-sardine. Point sur les travaux du groupe de travail concernant l'anchois le 19 septembre 2001.

Mission au Verdon : Réunion du CRPM d'Aquitaine sur programme civelle IFREMER le 6 novembre 2001.

Mission à Pau – Agence de l'Eau : Groupe technique saumon du COGEPOMI Adour (résumés des principaux résultats obtenus dans le programme de restauration du saumon de l'Adour et des Gaves) le 13 décembre 2001.

Mission à Bordeaux – DIREN : COGEPOMI Gironde – réunion plénière – intervention sur position des experts européens sur problème anguille, le 20 décembre 2001.

Mission à Sainte-Marie de Gosse : réunion du CIPE – Adour. Exposé sur problème anguille et mise en place groupe technique saumon le 21 décembre 2001.

2002 –

Réunion de travail sur les modalités de restriction de l'effort de pêche (jours de relève) avec le CIPE – Adour le 7 janvier 2002 à Bidart.

Groupe de travail Anguille du COGEPOMI à la DIREN Aquitaine le 14 janvier.

Groupe de travail sur l'alose au siège de l'Institution Adour le 19 février à Mont-de Marsan.

Discussion sur les pêches estuariennes et sur l'impact de la dégradation de l'environnement avec le WWF à Bidart le 20 février.

Exposé sur l'état de la ressource et sa régulation au CNPMM-commission anchois à Paris le 27 février.

Séminaire : Rencontres Anguilles en Loire à la DIREN Pays de Loire 19 mars à Angers.

Réunion de présentation du programme INTERREGIII au Conseil Régional des Pays de la Loire le 24 juin à Nantes.

Groupe technique anguille à la DIREN Aquitaine à Bordeaux le 9 juillet.

Participation au Groupe de Travail sur l'anguille européenne CIEM/CECPI au Centre IFREMER de Nantes du 2 au 6 septembre

Réunion mixte administration-profession-recherche sur anguille organisée par l'IFREMER et le CIPE à Nantes le 17 septembre.

Groupe technique anguille COGEPOMI à Bayonne le 1er octobre

Groupe technique saumon et anguille COGEPOMI à Pau le 3 octobre

Colloque de l'AGLIA - Participation à une table ronde sur les relations entre scientifiques et professionnels du 9 au 11 octobre aux Sables d'Olonne

Réunion technique sur l'anguille – point sur l'état de la ressource . Assemblée Générale de l'A.A.P.P. E.D. Adour et côtiers le 31 octobre à Saubusse.

Groupe technique salmonidés migrateurs du COGEPOMI Adour à Bidart le 7 novembre.

Présentation de la version finale d'INDICANG - discussion sur l'implication de l'Agence de l'Eau Adour-Garonne le 4 décembre à Pau

Groupe technique anguille du COGEPOMI Adour le 5 décembre à Mont de Marsan

Groupe technique anguille du COGEPOMI Adour à Bidart le 17 décembre.

Réunion de présentation de la méthode d'estimation des flux de civelles aux professionnels de l'A.A.P.P.E.D.D. de la Gironde à Libourne le 29 novembre.

2003 –

Présentation du programme INDICANG au siège de l'Agence de l'Eau à Toulouse le 7 janvier

Réunion du groupe technique saumon du COGEPOMI pour le calcul du nombre de saumons échappés à Pau le 14 janvier

Réunion sur les Récifs artificiels administration – ALR- Collectivités Territoriales à Saint-Paul les Dax le 17 janvier.

Réunion plénière du COGEPOMI -Adour à Bayonne le 6 février

Comité de Pilotage du programme INDICANG au Conseil Général de Gironde à Bordeaux le 10 février.
Réunion sur le dossier Palourde au CLPM d'Arcachon le 1^{er} mars.
Réunion commission bande côtière du CLPM de Bayonne à Ciboure le 4 avril.
Réunion CNPMEM-CIPE- Commission Poisson migrateurs à Paris le 11 juin.
Réunion à la Mairie de Guétary sur le renouvellement du cantonnement le 19 juin.
Réunion du Groupe technique saumon du COGEPOMI Adour à Mt-de-Marsan-DDAF Landes le 16 septembre.
Réunion du Groupe technique saumon COGEPOMI Adour à Mt-de-Marsan-DDAFF des Landes le 23 septembre.
Assemblée générale des pêcheurs professionnels de l' AAPPEDD Adour et côtiers le 18 novembre à Saubusse.
Réunion CNPMEM-CIPE-Commission poisson migrateur à Paris le 2 décembre.

Références bibliographiques complémentaires.

- Anonyme 1998.** Infestation parasitaire de l'anguille sur le bassin de l'Adour et sur certains cours d'eau côtiers des Landes et des Pyrénées Atlantiques. *Rapport-Migradour-IFREMER-GDS Landes*.
- Anonymous 2003.** Report of the ICES/EIFAC Working Group on Eels.. 2-6 September 2002 Nantes, France. *ICES CM 2003/ACFM*: 06, 87 pages.
- Anonymous 2004.** Report of the ICES/EIFAC Working Group on Eels. 7-11 October 2003 – Sukarrieta, Spain. *ICES CM 2004/ACFM*: 09, 207 pages.
- Adam G. 1997.** L'anguille européenne (*Anguilla anguilla*): dynamique de la sous-population du lac de Grand-Lieu en relation avec les facteurs environnementaux et anthropiques. *Thèse de Doctorat à l'Université Paul Sabatier, Toulouse II, spécialité hydrobiologie*, 353 pages.
- Allen K.R., 1969.** Limitations on production in salmonid populations in streams. In Symposium on salmon and trout in streams, Northcote T.G., Ed, H.R. MacMillan *Lectures in Fisheries. Univ. British Columbia, Vancouver*, 3 – 18.
- Arnaud P.M. et Ch. C. Emig, 1986.** La population unité fonctionnelle de la biocénose. *Actes du Colloque Biologie des Populations, Lyon 4 – 6 septembre 1986*, 69 – 72.
- Autem M., E. Mathieu et F. Bonhomme, 1986.** Entre l'individu et l'espèce toute entière, les panmixons existent-ils ? Les problèmes de l'analyse de l'organisation des pools de gènes et d'individus. *Actes du Colloque Biologie des Populations, Lyon 4 – 6 septembre 1986*, 286 – 293.
- Avise J.C., G.S. Helfman, N.C. Saunders and L.S. Hales, 1986.** Mitochondrial DNA differentiation in North Atlantic eels: population genetic consequences of an unusual life history pattern. *Proceedings of the National Academy of Science of the USA*, 83: 4350-4354.
- Avise J.C., W.S. Nelson, J. Arnold, R.K. Koehn, G.C. Williams and V. Thorsteinsson 1990.** The evolutionary genetic status of Icelandic eels. *Evolution*, 44(5) : 1254 – 1262.
- Bakun A., 1989.** L'océan et la variabilité des populations marines. In L'Homme et les Ressources Halieutiques, J.-P. Troadec (Ed), *Edition IFREMER*, 155 – 188.
- Barbault R., 1986.** Peut-on parler encore de sélection –r et de sélection –K. *Actes du Colloque Biologie des Populations, Lyon 4 – 6 septembre 1986*, 11 – 17.
- Barse, A. M. and D. H. Secor, 1999.** An exotic nematode parasite of the American eel. *Fisheries* 24(2) : 6-10.
- Beall E., 1994.** Le Saumon atlantique : les phases de la reproduction. In Le saumon Atlantique J.-C. Gueguen et P. Prouzet, *Edition IFREMER*, 123 – 140.
- Beaumont M.A., 1999.** Detecting population expansion and decline using microsatellites. *Genetics*, 153, 2013-2029.
- Bertin L., 1951** Les anguilles 2ème édition, *Payot (Ed)*, Paris, 191 pages.
- Boëtius J., 1980.** *Anguilla anguilla*. A presentation of old and new data of total numbers of vertebrae with special reference to the occurrence of *Anguilla rostrata* in Europe. *Dana*, 1: 93-112.
- Boëtius I. and J. Boëtius, 1980.** Experimental maturation of female silver eels, *Anguilla anguilla*. Estimates of fecundity and energy reserves for migration and spawning. *Dana*, 1: 1-28.
- Boëtius J. and E.F. Harding, 1985.** A re-examination of Johannes Schmidt's Atlantic eel investigations. *Dana* 4: 129-162.
- Borja A., Ad. Uriarte, V. Valencia, L. Motos and An. Uriarte, 1996.** Relationships between anchovy (*Engraulis encrasicolus*) recruitment and environment in the Bay of Biscay. In The European anchovy and its environment. I. *Palomera and P. Rubies (Ed)*. *Sci. Mar.*, 60, 179 – 192.

- Briand C., D. Fatin, G. Fontenelle and E. Feunteun, 2000.** Effect of re-opening of a migratory axis for eel at a watershed scale (Vilaine river, Southern Brittany). *American Fisheries Society Symposium*
- Bru N, M.Lejeune et Prouzet P. , 2004.** Estimations journalière et saisonnière de l'abondance d'un flux de civelles en estuaire ouvert : Application à l'Adour. (Poster) *IXème Colloque International d'Océanographie du golfe de Gascogne*.
- Casselman J. M., L.A. Marcogliese and P.V. Hodson, 1997.** Recruitment index for the upper Saint Lawrence River and Lake Ontario eel stock: a re-examination of eel passage at the R.H. Saunders hydroelectric generating station at Cornwall, Ontario, 1974-1995 : 161 – 169. In Peterson, R.H. (Ed.). The American eel in eastern Canada: stock status and management strategies. *Proceedings of Eel Workshop, January 13 – 14, 1997, Québec City, QC. Canadian Technical Report of Fisheries and Aquatic Sciences*, 2196.
- Chapman D.W., 1966.** Food and space as regulators of salmonid populations in streams. *Amer. Natur.*, **100**, 345 – 357.
- Chapman D.W. and T.C. Bjornn, 1969.** Distribution of salmonids in streams with special reference to food and feeding. Symposium on salmon and trout in streams, *H.R. MacMillan Lectures in Fisheries, Univ. British Columbia*, 313 – 329.
- Chaput G. , A. Locke and D. Cairns, 1997.** Status of American eel (*Anguilla rostrata*) from the southern Gulf of Saint Lawrence, 69 – 93. In Peterson, R.H. (Ed.). The American eel in eastern Canada: stock status and management strategies. *Proceedings of Eel Workshop, January 13 – 14, 1997, Québec City, QC. Canadian Technical Report of Fisheries and Aquatic Sciences*, 2196.
- Cury P. and C. Roy, 1989.** Optimal environmental window and pelagic fish recruitment success in upwelling areas. *Can. J. Fish. Aquat. Sci.*, **46**, 670 – 680.
- Cushing D.H., 1975.** The natural mortality of the plaice *J. Cons. Int. Explor. Mer*, **36**, 150 – 157.
- Dannewitz J., G.E. Maes, L. Johansson, H. Wickström, F. Volckaert and T. Järvi, 2005.** Panmixia in the European eel : a matter of time.. *Proc. R. Soc. B*, **272** : 1129 – 1137.
- de Casamajor, M.-N., N. Bru et P. Prouzet, 1999.** Influence de la luminosité nocturne et de la turbidité sur le comportement vertical de migration de la civelle d'anguille (*Anguilla anguilla* L.) dans l'estuaire de l'Adour. *Bull. Fr. Piscic.*, **355**: 327 - 347.
- de Casamajor, M.-N., P. Prouzet et P. Lazure, 2000.** Identification des flux de civelles (*Anguilla anguilla*) à partir des relations d'allométrie en fonction des conditions hydroclimatiques de l'estuaire de l'Adour. *Aquat. Living Resourc.*, **13**: 411 - 420.
- de Casamajor, M.-N., R. Lecomte-Finiger et P. Prouzet, 2001.** Détermination de l'état d'amaigrissement des civelles (*Anguilla anguilla*) en migration en zones côtière et estuarienne. *C.R. Acad. Sciences de la Vie*, **324**: 345 - 353.
- de Casamajor, M.-N., R. Lecomte-Finiger et P. Prouzet, 2003.** Caractéristiques biologiques des civelles (*Anguilla anguilla*) lors de la transition en estuaire. *Bull. Fr. Piscic.*, **368**:109 - 124.
- Dekker W., 2000.** Impact of yellow eel exploitation on spawner production in Lake IJsselmeer, The Netherlands. *Dana* 12: 17-32.
- De Vries T.J. and W.G. Pearcy, 1982.** Fish debris in sediments of the upwelling zone off central Peru : a late Quaternary record. *Deep-Sea Res.*, **28**, 1A : 87 – 109.
- Dönni W., Maier K. J. and Vicenti H., 2001.** Bestandsentwicklung des Aals (*Anguilla anguilla*) im Hochrhein. *Mitt. Zur Fischerei, Buwal*, Bern, 27, 99 pp. In ICES, 2003.
- Duplessy J.-C., 1999.** Climate and the Gulf Stream. *Nature*, 402, 593 – 595.
- Feunteun E., P. Lafaille, T. Robinet, C. Briand, A. Baisez, Olivier J.-M. and A. Acou, 2003.** A review of upstream migration and movements in inland waters by anguillid eels : toward a general theory. In: Aida K., Tsukamoto K. and Yamauchi K., Eds. *Advances in eel biology*. Tokyo, Springer – Verlag, 485 p.
- Feunteun E., 2001** Movements in inland habitats : adaptive value for anguillid eels. *Advances in eel biology*, Tokyo 28-30 septembre 2001.

- Fries, L.T., D.J. Williams and S.K. Johnson, 1996.** Occurrence of *Anguillicola crassus*, an exotic parasitic swim bladder nematode of eels, in the southeastern United States. *Transactions of the American Fisheries Society*. **125** : 794 – 797.
- Jacquard P., 1986.** Démarches et niveaux de variabilité en biologie des populations végétales : évaluation et prospective. *Actes du Colloque Biologie des Populations, Lyon 4 – 6 septembre 1986*, 47 – 55.
- Gaignon J.L., 1994.** Le Saumon Atlantique : L'élevage intensif des juvéniles en eau douce. In *Le saumon Atlantique J.-C. Gueguen et P. Prouzet, Edition IFREMER*, 219 – 238.
- Goemans G. and Belpaire C., 2002.** New Belgian standard for fish and fisheries products leads to catch and release obligation for eel (*Anguilla anguilla*) for fishermen in Flanders. *Workshop on PCBs in Brno (Tchech republic)*, 7 – 10 may 2002.
- Govony J.J., D.E. Hoss and A.J. Chester, 1983.** Comparative feeding of three species of larval fishes in the northern Gulf of Mexico : *Brevoortia patronus*, *Leiostmus xanthurus* and *Micropogonia undulatus*. *Mar. Ecol. Prog. Ser.*, **13**, 198 – 199.
- Gosset C, F. Travade, C. Durif, J. Rives et C. Garaicoechea, 2000.** Etude des dispositifs de dévalaison pour l'anguille argentée : Test de deux exutoires de dévalaison à la centrale hydroélectrique de Halsou (Nive- 64). *Rapport de contrat INRA/EDF*, 35 pages + annexes.
- Heland M. et J. Dumas, 1994.** Le saumon atlantique : Ecologie et comportement des juvéniles. In *Le saumon Atlantique J.-C. Gueguen et P. Prouzet, Edition IFREMER*, 29 – 46.
- Hjort J., 1914.** Fluctuations in the great fisheries of northern Europe. *Rapp. P.-v. Réunion. Cons. Int. Explor. Mer*, **19**, 1 – 228.
- Hjort J., 1926.** Fluctuations in the year classes of important food fishes. *J. Cons. Int. Explor. Mer*, **1**, 2 – 38.
- Ibbotson A., J. Smith, P. Scarlett and M. Aprahamian, 2002.** Colonization of freshwater habitats by the European eel, *Anguilla anguilla*. *Freshwater Biology*, **47**: 1696 – 1706.
- Kalleberg H., 1958.** Observations in a stream tank of territoriality and competition in juvenile salmon and trout (*Salmo salar* L. and *Salmo trutta* L.), **39**, 55 – 88.
- Keenleyside M.H.A. and F.T. Yamamoto, 1962.** Territorial behaviour of juvenile atlantic salmon (*Salmo salar* L.). *Behaviour*, **19**, 139 – 169.
- Kennedy C.R. and D.J. Fitch, 1990.** Colonization, larval survival and epidemiology of the nematode *Anguillicola crassus*, parasitic in the eel, *Anguilla anguilla*, in Britain. *Journal of Fish Biology*, **36**, 117- 131.
- Kleckner R.C., J.D. McCleave and G.S. Wippelhauser, 1983.** Spawning of American eel, *Anguilla rostrata*, relative to thermal fronts in the Sargasso Sea. *Environmental Biology of Fishes*, **9**(3/4): 289-293.
- Kleckner R.C. and J.D. McCleave, 1985.** Spatial and temporal distribution of American eel larvae in relation to North Atlantic Ocean current system. *Dana*, **4**: 67-92.
- Langon M. et J.Dartiguelongue , 1997.** La dévalaison des anguilles (*Anguilla anguilla*) argentées. Test de deux exutoires de dévalaison à la centrale hydroélectrique E.D.F. d'Halsou (Nive-64). *Rapp. SCEAA, Toulouse*, 100 p. + tableaux.
- Larkin P.A., 1973.** Some observations on models of the stock and recruitment relationships for fishes. In *Fish Stocks and Recruitment*. (Ed) B.B. Parrish. *Rapports et Procès-Verbaux des Réunions*, **164**, 316 – 324.
- Johnson L., 1981.** The thermodynamic origin of ecosystems. *Can. J. Fish. Aquat. Sci.*, **38**, 571 – 580.
- Larkin P.A. and Hourston A.S., 1964.** A model for simulation of the population biology of Pacific salmon. *J. Fish. Res. Bd Can.*, **21** (5), 1245 – 1265.
- Lasker R., 1975.** Field criteria for survival of anchovy larvae : the relation between inshore chlorophyll maximum layers and successful first feeding. *Fish. Bull. (US)*, **73**, 453 – 462.
- Mills D., 1989.** Ecology and management of Atlantic Salmon. *Chapman & Hall, New – York*, 351 p.
- Lasker R., 1981.** The role of a stable ocean in larval fish survival and subsequent recruitment. In R. Lasker (ed) *Marine fish larvae : morphology, ecology and relation to fisheries*. *Univ. Washington Press, Seattle, WA* : 80 – 87.

- Léauté J.-P. (coordinateur), 2002.** Caractéristiques des petites pêches côtières et estuariennes de la côte atlantique du sud de l'Europe – Projet PECOSUDE. *Contrat DG FISH-99/024* – Juin 2002, Rapport final – Synthèse, 93 pages.
- Lissardy M., M.-N. de Casamajor, F. Sanchez, P. Prouzet, G. Morandeau et F.-X. Cuende, 2004.** Caractérisation et abondance des captures professionnelles estuariennes dans le bassin de l'Adour en 2003. *Rapport IFREMER-CERECA effectué pour le COGEPOMI Adour*, 34 pages + annexes.
- Le Cren E.D., 1970.** The population dynamics of young trout (*Salmo trutta*) in relation to density and territorial behaviour. *ICES Stock and Recruitment Committee*, **11**, 12p.
- Lobon-Cervia J., C.G. Utrilla and P.A. Rincon 1995.** Variation in the population dynamics of the European eel *Anguilla anguilla* (L.) along the course of a Cantabrian river. *Ecology of Freshwater Fish*. **4**: 17-27.
- McCarthy, T.K. and Cullen P., 2000.** Eel fishing in the River Shannon: Eel population changes, fishery management options and fishery conservation issues. A synthesis report on the River Shannon eel Management Programme 1992-2000. *Electricity Supply Board*, Dublin. 21pp.
- Mac Fadden J.T., 1969.** Dynamics and regulation of salmonid populations in streams. Symposium on salmon and trout in streams, *H.R. MacMillan Lectures in Fisheries, Univ. British Columbia*.
- Maes G.E. and F.A.M. Volckaert, 2002.** Clinal genetic variation and isolation by distance in the European eel *Anguilla anguilla* (L.). *Biol. J. Limn. Soc.*, **77**, 509-521.
- Matthews, M, Evans, D., Rosell, R. Moriarty, C., and Marsh I., 2001.** The Erne eel enhancement programme, *Final Report. Northern Regional Fisheries Board, Ballyshannon, Co Donegal, Ireland. EU Peace and reconciliation Project No EU15*.
- Mills D. and Piggins D., 1988.** Atlantic Salmon : Planning for the future. *Croom Helm Ltd, London*, 587p.
- Möbius K., 1877** (cité par Arnaud et Emig). Die Auster und die Austerwirtschaft. Berlin, Wiegandt, Hempel et Parey, 126 pages.
- Möller H., S. Holst, H. Lüchtenberg and F. Peterson, 1991.** Infection of eel *Anguilla anguilla* from the river Elbe estuary with two nematodes, *Anguillicola crassus* and *Pseudoterranova decipiens*. *Diseases of Aquatic Organisms* **20** : 163 – 170.
- Moriarty C [ed.], 1997.** The European eel fishery in 1993 and 1994: First Report of a working group funded by the European Union Concerted Action AIR A94-1939. *Fisheries Bulletin* (Dublin) **14**, 52 pp.
- Moriarty, C., 2001.** Maintenance and development of the Corrib Catchment eel fishery. *A report commissioned by the Western Regional Eel Fisherman's Association*. 34pp.
- Motos L., 1994.** Estimacion de la biomasa desovante de la poblacion de anchoa de Golfo de Vizcaya, *Engraulis encrasicolus*, a partir de su produccion de huevos. Bases metodologicas y aplicacion. *Ph. D. Thesis, Univ. Pais Vasco*.
- Nilo P. et R. Fortin, 2001.** Synthèse des connaissances et établissement d'une programmation de recherche sur l'anguille d'Amérique (*Anguilla rostrata*). Univ. Du Québec à Montréal, *Dépt Sciences Biologiques pour la Société de la faune et des parcs du Québec, Direction de la recherche sur la faune*, Québec, 298 p.
- O' Connell C.P. and L.R. Raymond, 1970.** The effect of food density on survival and growth of early post-yolk-sac larvae of the northern anchovy, *Engraulis mordax* Girard in the laboratory. *J. Exp. Mar. Biol. Ecol.*, **5**, 187 – 197.
- O' Connell C.P., 1976.** Histological criteria for diagnosing the starving condition in early post-yolk -sac larvae of the northern anchovy, *Engraulis mordax* Girard. *J. Exp. Mar. Biol. Ecol.*, **25**, 285- 312.
- O' Connell C.P., 1980.** Percentage of starving northern anchovy, *Engraulis mordax*, larvae in the sea as estimated by histological methods. *Fish Bull. (U.S.)*, **78**, 475 – 478.
- Ooi, H.-K., W.-S Wang, H.-Y. Chang, C.-H. Wu, C.-C. Lin and M.-T. Hsieh, 1996.** An epizootic of anguillicolosis in cultured American eels. In Taiwan. *Journal of Aquatic Animal Health*, **8** (2) : 163 – 166.

- McCleave J.D., R.C. Kleckner and M. Castonguay, 1987.** Reproductive sympatry of American and European eels and implications for migration and taxonomy. *American Fisheries Society Symposium*, 1: 286-297.
- Paulik G.J., 1973.** Studies of the possible form of the stock and recruitment curve. In Fish Stocks and Recruitment. (Ed) B.B. Parrish. *Rapports et Procès-Verbaux des Réunions*, **164**, 302 – 315.
- Peters G. and F. Hartmann, 1986.** *Anguillicola*, a parasite nematode of the swimbladder spreading among eel populations in Europe. *Diseases of Aquatic Organisms* **1**: 229-230.
- Picard J., 1985.** Réflexions sur les écosystèmes marins benthiques : hiérarchisation, dynamique spatio – temporelle. *Téthys*, **11** (3/4), 230 – 242.
- Prignon C., Micha J.C. and Gillet A., 1998.** Biological and environmental characteristics of fish passage at the tailfer dam on the Meuse river, Belgium. In Jungwirth, M. Schmutz S. and Weiss S. ,eds) (1998). Fish migration and fish bypasses. *Fishing News Books*, 69 – 84 – Tumpenny, A. W. H.
- Prouzet P. (coordinateur) 2002.** Historique des captures de civelles, intensité de leur exploitation, variation de leur capturabilité par la pêche professionnelle maritime et indices de colonisation sur le bassin versant de l'Adour - *Projet EC/DG FISH 99/023* –Septembre 2002, 147 pages + annexes.
- Prouzet P. 2003.** Les pêches et ressources estuariennes et continentales : Importance, évolution et contraintes anthropiques. Un cas particulier, l'anguille. In Exploitation et surexploitation des ressources marines vivantes. *RST* **17**, 6.7, 233-248.
- Prouzet P., 2004.** INDICANG: un projet pour synthétiser nos connaissances sur l'anguille et sur la qualité de ses habitats par la mise en réseau d'opérations de suivis régionaux à une échelle de dimension européenne. *Chroniques Européennes*, **54** : 50-51.
- Richkus W.A. and K.G. Whalen, 1999.** American Eel (*Anguilla rostrata*). *Scoping study report*. EPR, Palo Alto, California TR- 111873.
- Ricker W.E., 1954.** Stock and recruitment. *J. Fish. Res. Bd Can.*, **11**, 559 – 623.
- Ricker W.E., 1975.** Computation and interpretation of Biological Statistics of Fish Populations. *Bulletin of the Fisheries Research Board of Canada*, **191**, 382 pages.
- Robins C.R., D.M. Cohen and C.H. Robins, 1979.** The eels, *Anguilla* and *Histobranchus*, photographed on the floor of the deep Atlantic in the Bahamas. *Bulletin of Marine Science*, **29**: 401-45.
- Rommel S.A. and J.D. Mc Cleave, 1973.** Sensitivity of American eels (*Anguilla rostrata*) and Atlantic salmon (*Salmo salar*) to weak electric and magnetic fields. *Journal of Fisheries Research Board of Canada* **30**: 657-663.
- Rommel S.A. and A.B. Statsko, 1973.** Electronavigation by eels. *Sea Frontiers*, **19**: 219-223.
- Rothschild B.J., 1989.** La variabilité des écosystèmes halieutiques : au-delà de la relation recrutement – stock. In L'Homme et les Ressources Halieutiques, J.-P. Troadec (Ed), Edition IFREMER, 131 – 153.
- Slaney P.A. and T.G. Northcote, 1974.** Effects of prey abundance on density and territorial behaviour of young rainbow trout (*Salmo gairdneri*) in laboratory stream channels. *J. Fish. Res. Board Can.*, **31**, 1201 – 1209.
- Schaffer W.M. and P.F. Elson, 1975.** The adaptative significance of variations in life history among local populations of Atlantic salmon in North America. *Ecology*, **56** (3), 577 – 590.
- Schmidt J., 1906.** Contributions to the life-history of the eel (*Anguilla vulgaris*, Flem.). *Rapports et Procès verbaux des Réunions du Conseil Permanent et International pour l'Exploration de la Mer*. **5**(4) : 137 – 264.
- Schmidt J., 1922.** The breeding places of the eel. *Philosophical Transactions of the Royal Society of London*. Series B, **385**(211): 179 – 208.
- Schmidt J., 1925.** The breeding places of the eel. *Annual report of the Board of Regents of the Smithsonian Institution*, report for 1924: 279-316.
- Schoth M. and F.-W. Tesch, 1982.** Spatial distribution of 0-group eel larvae (*Anguilla* sp.) in the Sargasso Sea. *Helgoländer Meeresuntersuchungen*, **35**: 309-320.

- Solbrig O.T., 1977.** Population biology : an Overview. In Populations Biology and Evolution. F. Wörhmann and V. Loesche (Eds), Springer-Verlag, Heidelberg, 5 – 15.
- Soutar A. and J.D. Isaacs, 1974.** Abundance of pelagic fish during the 19th and 20th centuries as recorded in anaerobic sediment off the Californias. *Fish. Bull. (U.S.)*, **72**, 257 – 273.
- Smith M.W. and J. . Saunders, 1955.** The American eel in certain freshwaters of the maritime provinces of Canada. *Journal of Fisheries Research Board of Canada*, **12(2)**: 238 – 269.
- Stoecker D.K. and J.J. Govony, 1984.** Food selection by young larval gulf menhaden (*Brevortia patronus*). *Mar. Biol.*, **80**, 299 – 306.
- Svedäng H., 1999.** Vital population statistics of the exploited eel stock on the Swedish west coast. *Fisheries research*, **40** : 251 – 265.
- Symons P.E.K., 1971.** Behavioural adjustment of population density to available food by juvenile atlantic salmon. *J. Anim. Ecol.*, **40**, 569 – 587.
- Symons P.E.K. and Heland M., 1978.** Stream habitats and behavioural interactions of underyearling and yearling atlantic salmon (*Salmo salar*). *J. Fish. Res. Bd. Can.*, **35**, 175 – 187.
- Tesch F.-W., 1977.** The Eel. *London Chapman et Hall*.
- Tesch F.-W. and G. Wegner, 1990.** The distribution of small larvae of *Anguilla sp.* Related to hydrographic conditions 1981 between Bermuda and Puerto Rico. *Internationale Revue der gesamten Hydrobiologie*, **6**: 845-858.
- Teyssier F., Gayou F., Filszinger P., Galiay E., Lemoine A., Taillebois L., 2002.** Plan de gestion des poissons migrateurs amphihalins Garonne – Dordogne – Charente - Leyre - Seudre. Situations et propositions. *Rapport CSP, Groupe anguille*, 43 pages.
- Theilacker G.H., 1986.** Starvation-induced mortality of young sea-caught jack mackerel, *Trachurus symmetricus*, determined with histological and morphological methods. *Fish. Bull. (U.S.)*, **84**, 1- 17.
- Thorpe J.E., 1988.** Salmon migration. *Sci. Prog. Oxf.*, **72**, 345 – 370.
- Winn H.E., W.A. Richkus and L.K. Winn, 1975.** Sexual dimorphism and natural movements of the American eel (*Anguilla rostrata*) in Rhode Island streams and estuaries. *Helgoländer Wissenschaftliche Meeresuntersuchungen*, **27**: 156-166.
- Wirth T. and L. Bernatchez, 2001. Genetic evidence against panmixia in the European eel. *Nature*, **409**, 1037 – 1039.
- Wirth T. and L. Bernatchez, 2003.** Decline of North Atlantic eels: a fatal synergy? *Proc. R. Soc. Lond.* **270**, 681-688.
- Yamamoto K. and Y. Yamauchi, 1974.** Sexual maturation of Japanese eel and production of eel larvae in the aquarium. *Nature*, **251**: 220-222.

Annexes : exemple de développement de modèles sous MathCad ©

Annexe 1 : Modèle stochastique du cycle biologique du saumon atlantique et visualisation de sa relation Stock – Recrutement.

Introduction du nombre de trajectoires

nbre := 500

Tableau des paramètres démographiques : P

$$P := \begin{pmatrix} 0.96 & 0.76 \\ 71.75 & 7.3 \\ 5.7 & 2.88 \\ 0.84 & 0.63 \\ 0.007 & 0.003 \\ 53.41 & 12.32 \\ 3.46 & 1.62 \\ 0.64 & 0.41 \\ 0.031 & 0.03 \end{pmatrix}$$

Survie de l'oeuf au tacon 0+ : loi lognormale S1 et sig1 avec recalcul des moyennes et écart types

$$P_{1,1} = 0.96$$

$$P_{1,2} = 0.76$$

$$\mu := \ln \left[\frac{P_{1,1}}{\sqrt{\left(\frac{P_{1,2} \cdot P_{1,2}}{P_{1,1} \cdot P_{1,1}} \right) + 1}} \right]$$

$$\text{sig1} := 2 \ln \left[\sqrt{\left(\frac{P_{1,2} \cdot P_{1,2}}{P_{1,1} \cdot P_{1,1}} \right) + 1} \right]$$

$$S1 := (\text{anorm1}(\text{nbre}, \mu, \sqrt{\text{sig1}}))$$

	0
0	0.867
1	0.101
2	0.582
3	2.162
4	1.973
5	1.295
6	2.635
7	0.524
8	0.717
9	0.469
10	1.362
11	0.673
12	0.628
13	1.049
14	1.47
15	2.181

moyenne(S1) = 0.989

écartype(S1) = 0.858

max(S1) = 9.883

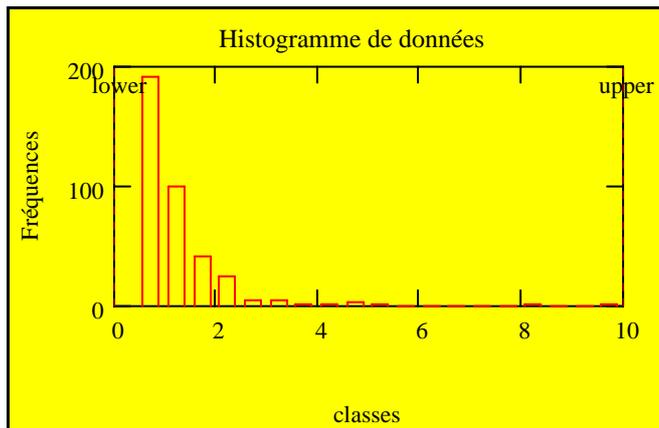
médiane(S1) = 0.787

Entrez le nombre de classes de l'intervalle :

nclasse1 := 20

Loi de fréquence sur l'intervalle :

$f := \text{hist}(\text{int1}, S1)$

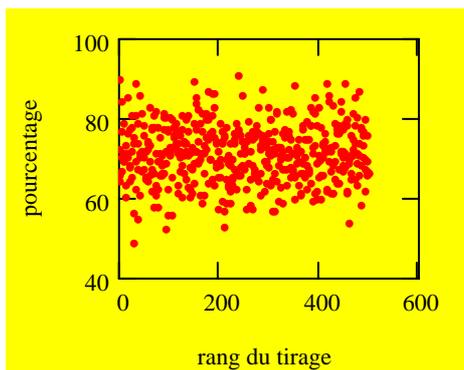


Proportion de tacons 0+ du mode haut P : loi normale Pmh et sigmh

$$P_{2,1} = 71.75$$

$$P_{2,2} = 7.3$$

$$\text{Pmh} := \text{anorm}(\text{nbre}, P_{2,1}, P_{2,2})$$



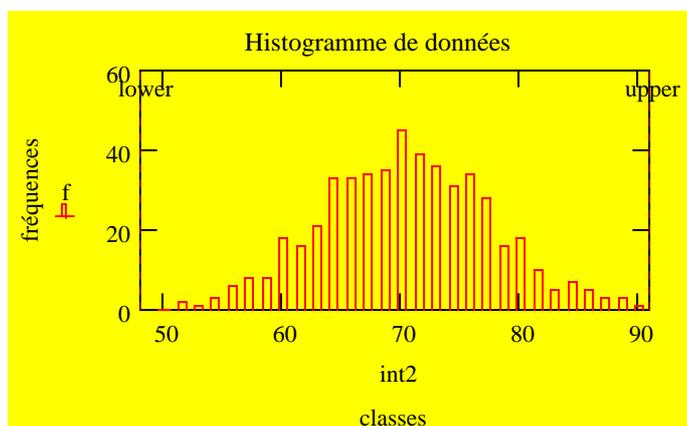
moyenne(Pmh) = 71.244

écartype (Pmh) = 7.166

Entrez le nombre de classes de l'intervalle :

nclasse2 := 30

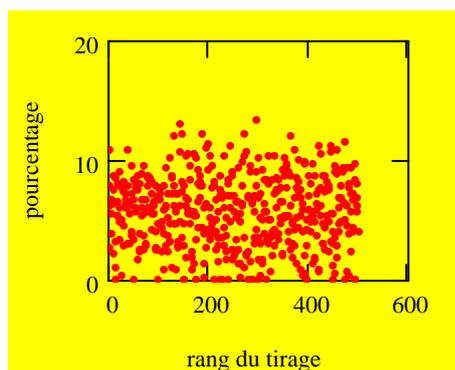
Loi de fréquence sur l'intervalle : $f_{\text{av}} := \text{hist}(\text{int2}, \text{Pmh})$



Retour adultes 1.1+ ; Rmt1cast : loi normale Rmt1cast et sig1cast

$$P_{3,1} = 5.7 \quad P_{3,2} = 2.88$$

$$\text{Rmtcast1} := \text{anorm}(\text{nbre}, P_{3,1}, P_{3,2})$$

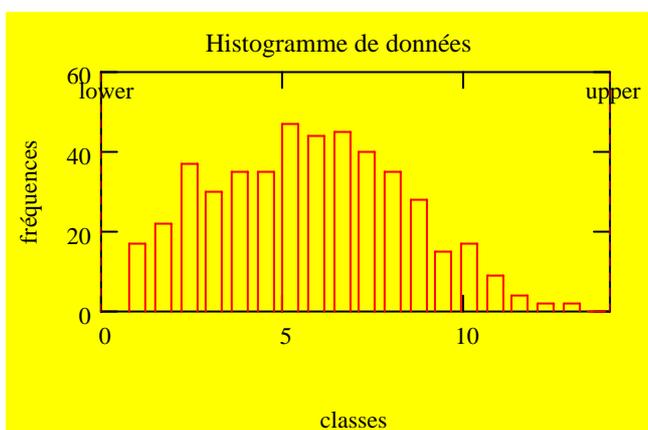


moyenne(Rmt1cast) = 5.687

écartype(Rmt1cast) = 2.93

Entrez le nombre de classes de l'intervalle : `nclasse3 := 20`

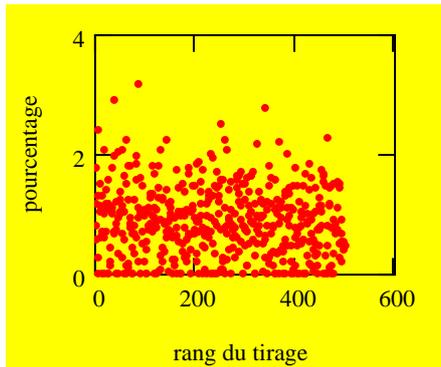
Loi de fréquence sur l'intervalle : `fw := hist(int3, Rmt1cast)`



Retour adultes 1.2 ; Rmt12H : loi normale Rmt12H et sig12H

$$P_{4,1} = 0.84 \quad P_{4,2} = 0.63$$

$RmtH12 := \text{anorm}(\text{nbre}, P_{4,1}, P_{4,2})$

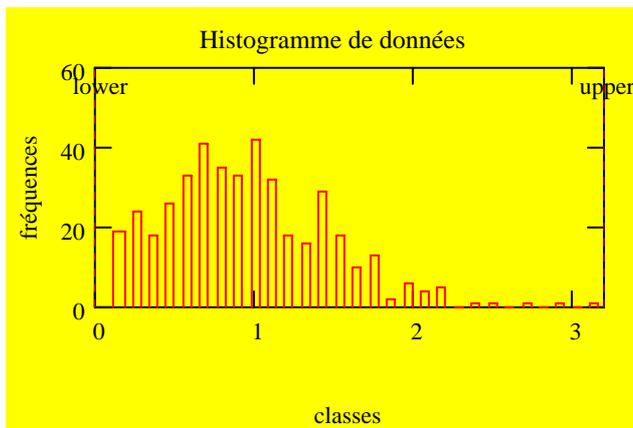


$\text{moyenne}(Rmt12H) = 0.874$

$\text{écartype}(Rmt12H) = 0.583$

Entrez le nombre de classes de l'intervalle : `nclasse4 := 30`

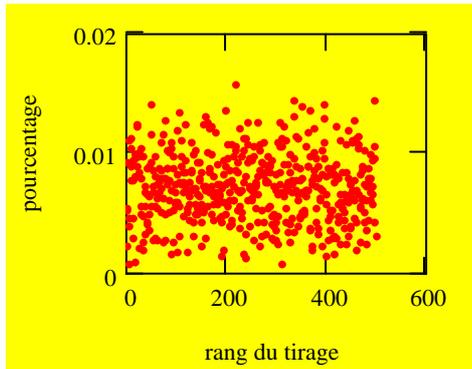
Loi de fréquence sur l'intervalle : $f_w := \text{hist}(\text{int4}, Rmt12H)$



Retour adultes 1.3 ; $Rmt13H$: loi normale $Rmt13H$ et $\text{sig}13H$

$$P_{5,1} = 7 \times 10^{-3} \quad P_{5,2} = 3 \times 10^{-3}$$

$RmtH13 := \text{anorm}(\text{nbre}, P_{5,1}, P_{5,2})$



$$\text{moyenne}(\text{Rmt13H}) = 7.139 \times 10^{-3}$$

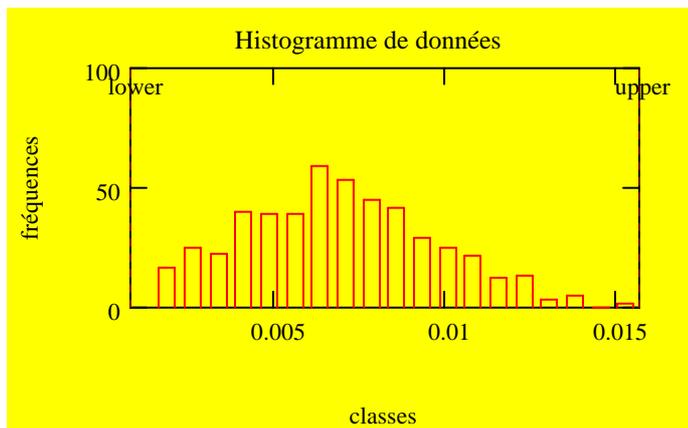
$$\text{écartype}(\text{Rmt13H}) = 2.845 \times 10^{-3}$$

Entrez le nombre de classes de l'intervalle :

nclasse5 := 20

Loi de fréquence sur l'intervalle :

$$f_{\omega} := \text{hist}(\text{int5}, \text{Rmt13H})$$

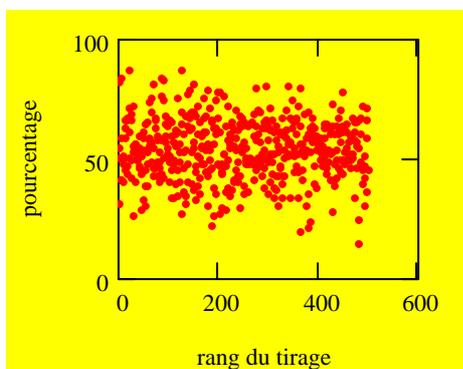


Survie des tacons du mode bas au tacons de 1an+ : loi normale S2 et sigmS2

$$P_{6,1} = 53.41$$

$$P_{6,2} = 12.32$$

$$S2 := \text{anorm}(\text{nbre}, P_{6,1}, P_{6,2})$$

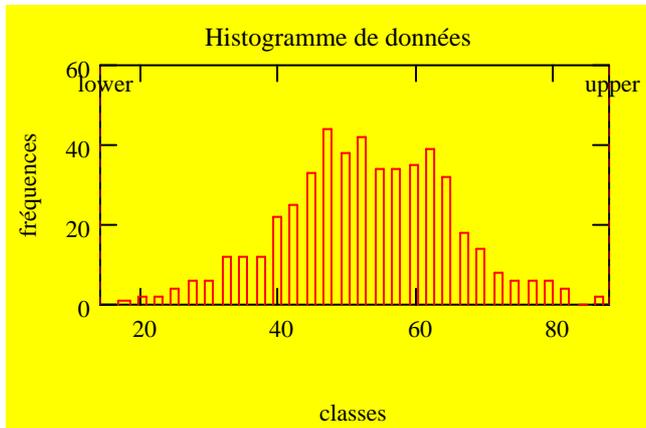


$$\text{moyenne}(S2) = 54.035$$

$$\text{écartype}(S2) = 12.269$$

Entrez le nombre de classes de l'intervalle : `nclasse6 := 30`

Loi de fréquence sur l'intervalle : `fvw := hist(int6, S2)`

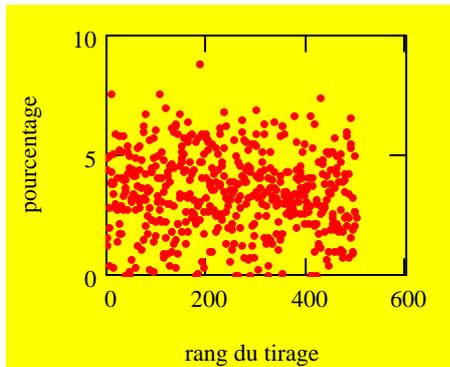


Retour adultes 2.1+ ; Rmt2cast : loi normale Rmt2cast et sig2cast

$$P_{7,1} = 3.46$$

$$P_{7,2} = 1.62$$

$$\text{Rmtcast2} := \text{anorm}(\text{nbre}, P_{7,1}, P_{7,2})$$

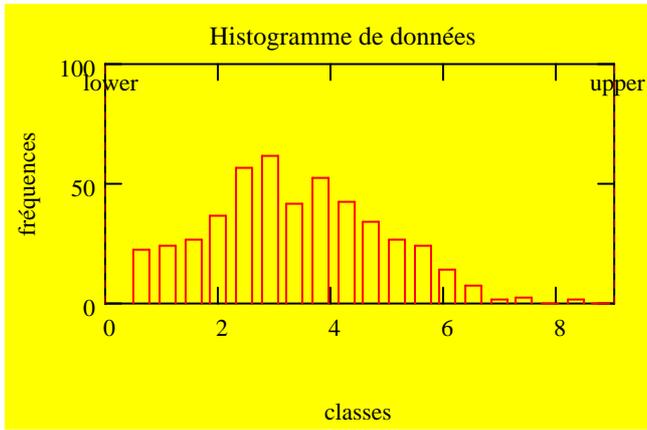


$$\text{moyenne}(\text{Rmt2cast}) = 3.378$$

$$\text{écartype}(\text{Rmt2cast}) = 1.661$$

Entrez le nombre de classes de l'intervalle : `nclasse7 := 20`

Loi de fréquence sur l'intervalle : `fvw := hist(int7, Rmt2cast)`

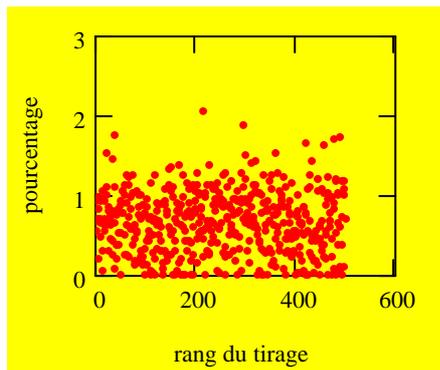


Retour adultes 2.2 ; Rmt22H : loi normale Rmt22H et sig22H

$$P_{8,1} = 0.64$$

$$P_{8,2} = 0.41$$

$$\text{RmtH22} := \text{anorm}(\text{nbre}, P_{8,1}, P_{8,2})$$

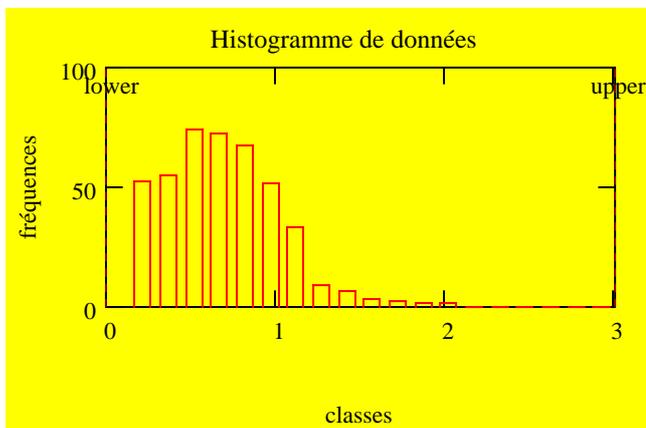


$$\text{moyenne}(\text{Rmt22H}) = 0.663$$

$$\text{écartype}(\text{Rmt22H}) = 0.385$$

Entrez le nombre de classes de l'intervalle : `nclasse8 := 20`

Loi de fréquence sur l'intervalle : `f := hist(int8, Rmt22H)`

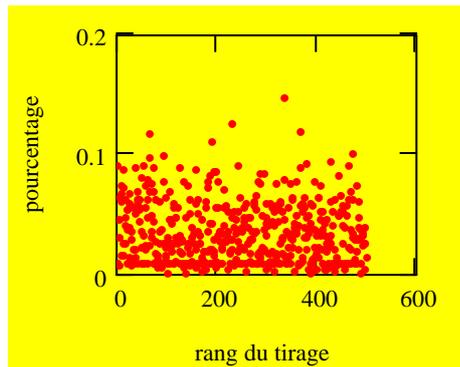


Retour adultes 2.3 Rmt23H : loi normale Rmt23H et sig23H

$$P_{9,1} = 0.031$$

$$P_{9,2} = 0.03$$

$$\text{RmtH23} := \text{anorm}(\text{nbre}, P_{9,1}, P_{9,2})$$



$$\text{moyenne}(\text{Rmt23H}) = 0.035$$

$$\text{écartype}(\text{Rmt23H}) = 0.025$$

Entrez le nombre de classes de l'intervalle : `nclasse9 := 20`

Loi de fréquence sur l'intervalle : `fh := hist(int9, Rmt23H)`

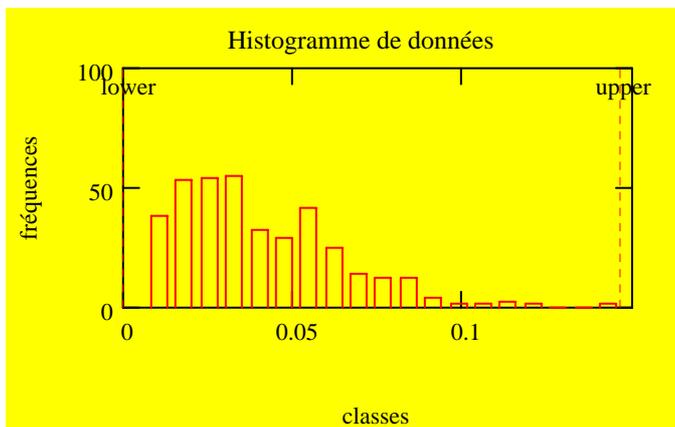


Tableau des paramètres d'exploitation et de fécondité : F

Taux d'exploitation en mer $F_{1,1} = 0.25$

Taux d'exploitation des castillons en rivière $F_{2,1} = 0.1$

Taux d'exploitation des saumons de plusieurs hivers de mer en rivière :

$$F_{3,1} = 0.03$$

Fécondité relative des castillons femelles $F_{4,1} = 1.661 \times 10^3$

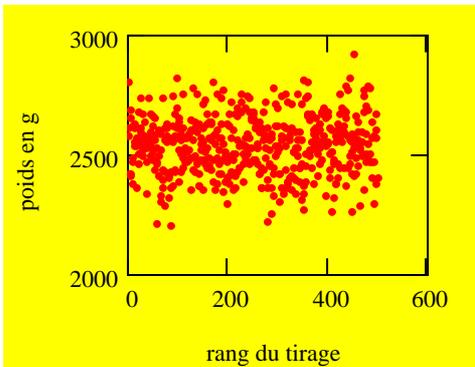
Fécondité relative des saumons de 2 hivers de mer $F_{5,1} = 1.74 \times 10^3$

Fécondité relative des saumons de 3 hivers de mer $F_{6,1} = 1.752 \times 10^3$

$F_{1,1}$	0.25	0
$F_{2,1}$	0.10	0
$F_{3,1}$	0.03	0
$F_{4,1}$	1661	0
$F_{5,1}$	1740	0
$F_{6,1}$	1752	0
$F_{7,1}$	2528	116
$F_{7,2}$	4884	296
$F_{8,1}$	7278	548
$F_{8,2}$	56.22	6.4
$F_{9,1}$	88.6	4.2
$F_{9,2}$	88.6	4.2

Poids moyen des castillons P_{mcast} et écart type : $F_{7,1} = 2.528 \times 10^3$ $F_{7,2} = 116$

$$P_{mcast} := \text{anorm}(\text{nbre}, F_{7,1}, F_{7,2})$$

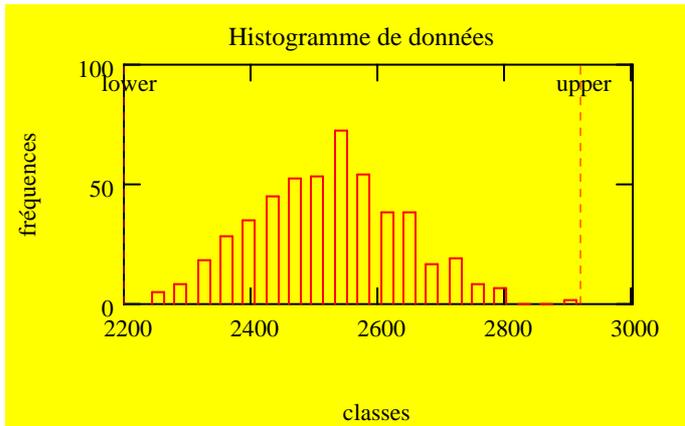


$$\text{moyenne}(P_{mcast}) = 2.539 \times 10^3$$

$$\text{écartype}(P_{mcast}) = 118.634$$

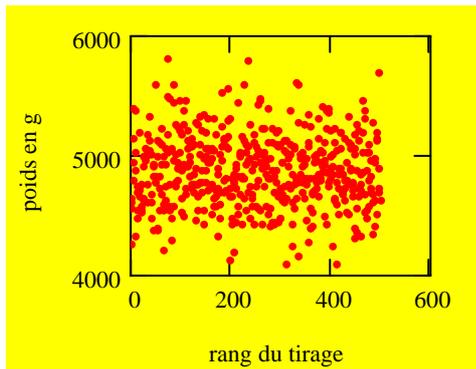
Entrez le nombre de classes de l'intervalle : $n_{classe10} := 20$

Loi de fréquence sur l'intervalle $f_{\omega} := \text{hist}(\text{int10}, \text{Pmcast})$



Poids moyen des 2 hivers de mer **Pm2H** et écart type : $F_{8,1} = 4.884 \times 10^3$ $F_{8,2} = 296$

$\text{Pm2H} := \text{anorm}(\text{nbre}, F_{8,1}, F_{8,2})$

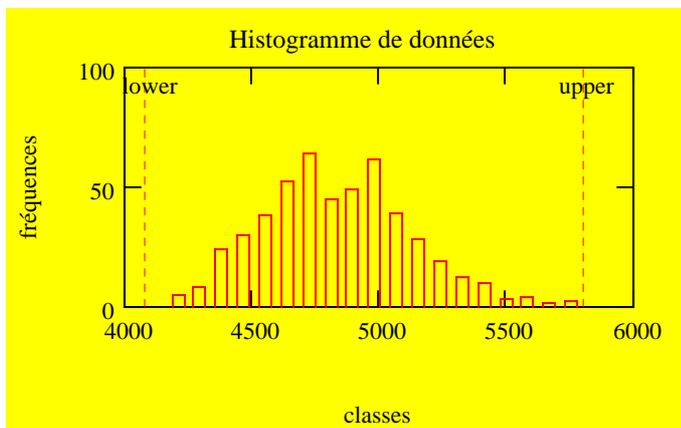


moyenne(Pm2H) = 4.87×10^3

écartype (Pm2H) = 295.953

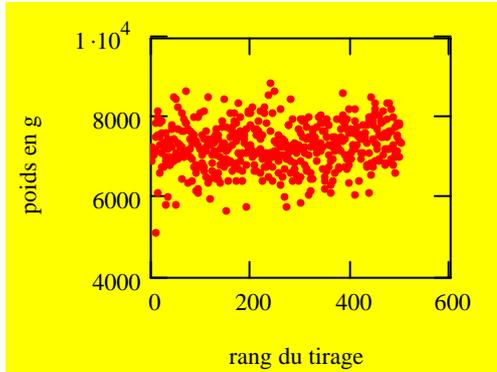
Entrez le nombre de classes de l'intervalle : `nclasse11 := 20`

Loi de fréquence sur l'intervalle : $f_{\omega} := \text{hist}(\text{int11}, \text{Pm2H})$



Poids moyen des 3 hivers de mer Pm3H et écartype : $F_{9,1} = 7.278 \times 10^3$ $F_{9,2} = 548$

`Pm3H := anorm(nbre, F9,1, F9,2)`

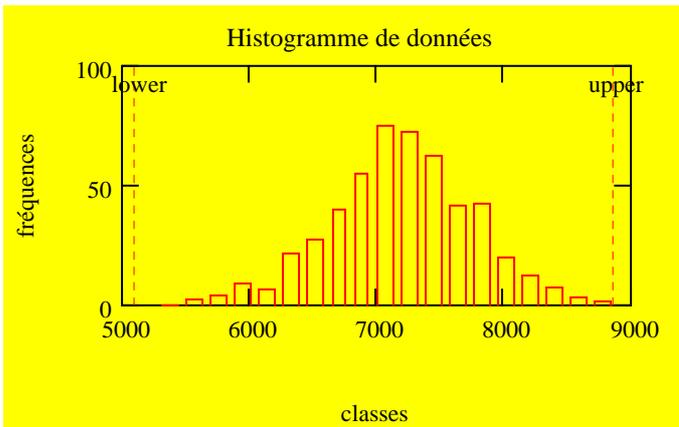


`moyenne(Pm3H) = 7.292 × 103`

`écartype (Pm3H) = 559.382`

Entrez le nombre de classes de l'intervalle : `nclasse12 := 20`

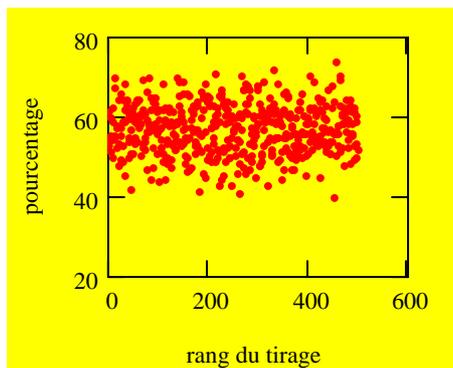
Loi de fréquence sur l'intervalle : `fvv := hist(int12, Pm3H)`



% de femelles chez les castillons `pcentcast` $F_{10,1} = 56.22$ $F_{10,2} = 6.4$

:

`pcentcast := anorm(nbre, F10,1, F10,2)`

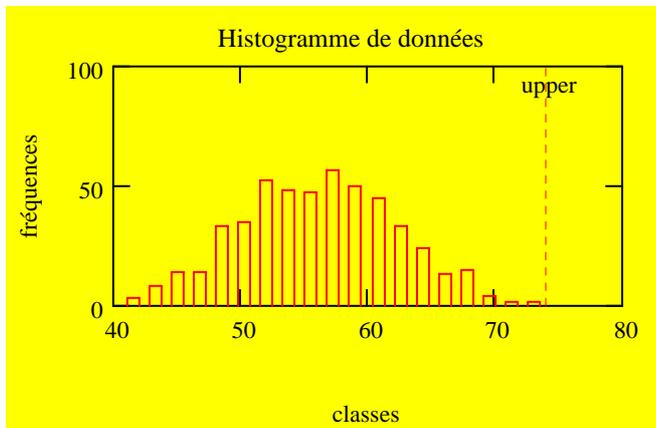


`moyenne(pcentcast) = 56.926`

`écartype (pcentcast) = 6.169`

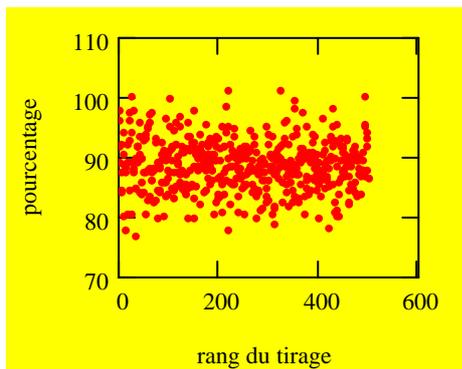
Entrez le nombre de classes de l'intervalle : `nclasse13 := 20`

Loi de fréquence sur l'intervalle : `f_w := hist(int13, pcentcast)`



% de femelles chez les 2 hivers de mer
`pcent2H := anorm(nbre, F11,1, F11,2)`

$$F_{11,1} = 88.6 \quad F_{11,2} = 4.2$$

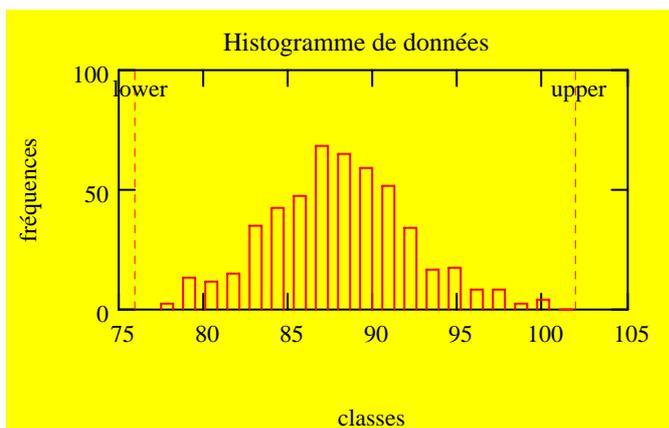


$$\text{moyenne}(\text{pcent2H}) = 88.645$$

$$\text{écartype}(\text{pcent2H}) = 4.243$$

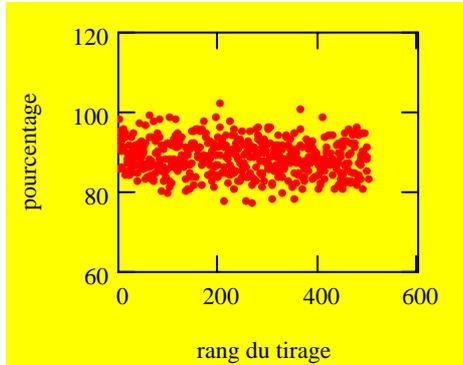
Entrez le nombre de classes de l'intervalle : `nclasse14 := 20`

Loi de fréquence sur l'intervalle : `f_w := hist(int14, pcent2H)`



% de femelles chez les 3 hiviers de mer $pcent3H$: $F_{12,1} = 88.6$ $F_{12,2} = 4.2$

$pcent3H := \text{anorm}(\text{nbre}, F_{12,1}, F_{12,2})$

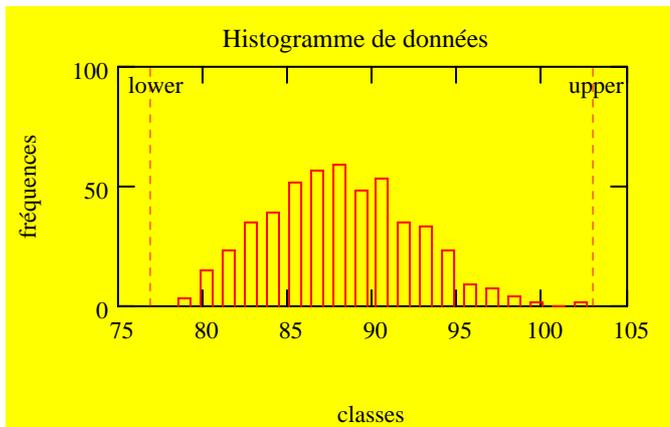


$\text{moyenne}(pcent3H) = 88.632$

$\text{écartype}(pcent3H) = 4.315$

Entrez le nombre de classes de l'intervalle : $nclasse15 := 20$

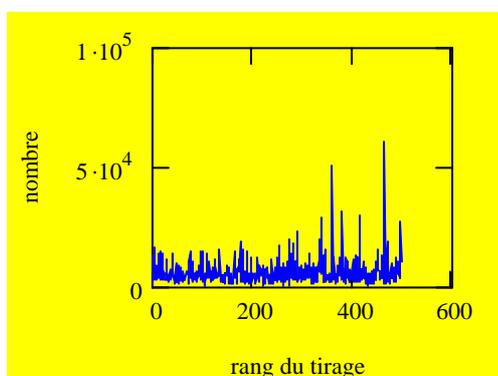
Loi de fréquence sur l'intervalle : $f_{\omega} := \text{hist}(\text{int15}, pcent3H)$



Paramètres d'initialisation du modèle I : $I := (612000 \ 35 \ \text{nbre})$

Nombre d'oeufs au départ $I_{1,1} = 6.12 \times 10^5$
 Nombre d'années de simulation $I_{1,2} = 35$
 Nombre d'itérations par année $I_{1,3} = 500$

estimation du nombre de tacons pour la première année $Tac0_j := I_{1,1} \cdot (S1_j \cdot 0.01)$

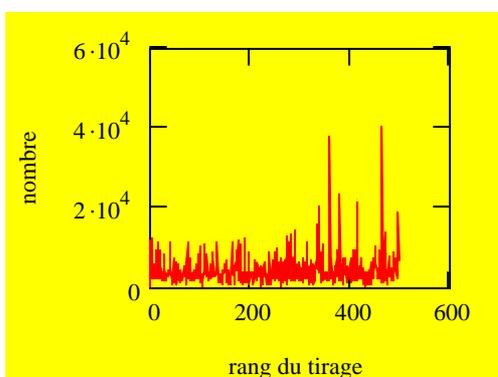


$$(\text{moyenne}(Tac0)) = 6.053 \times 10^3$$

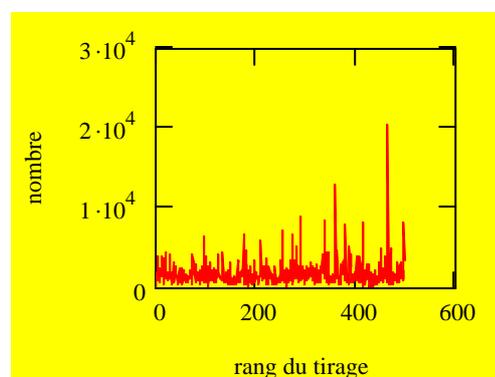
estimations du nombre de tacons du mode haut et bas : $Pmb_j := 100 - Pmh_j$

$$TacG_j := Tac0_j \cdot (Pmh_j \cdot 0.01)$$

$$TacP_j := Tac0_j \cdot (Pmb_j \cdot 0.01)$$

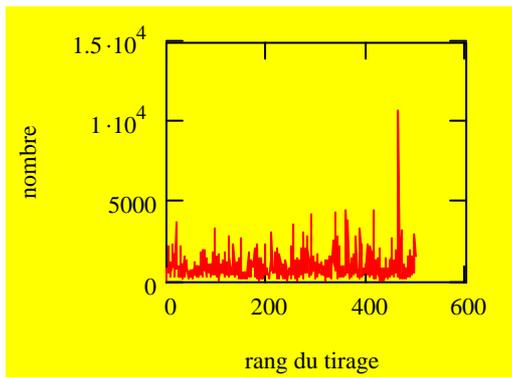


$$\text{moyenne}(TacG) = 4.319 \times 10^3$$



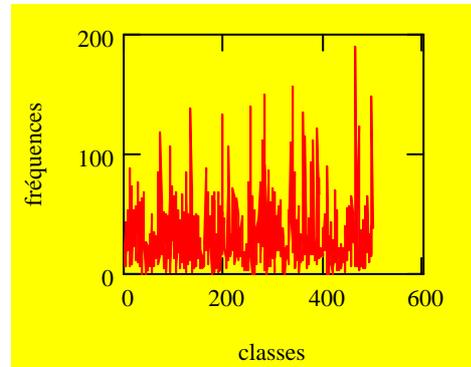
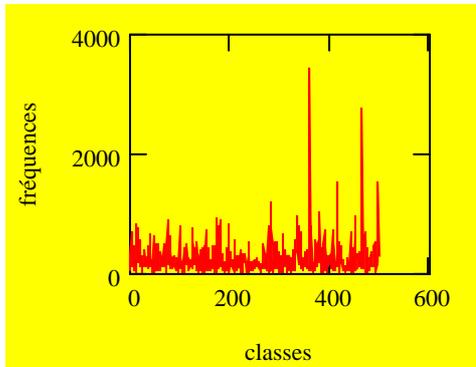
$$\text{moyenne}(TacP) = 1.734 \times 10^3$$

estimation du nombre de tacons 1+ provenant du mode bas $Tac1plus_j := TacP_j \cdot (S2_j \cdot 0.01)$



moyenne(Tac1plus) = 925.308

estimations du nombre de castillons sur la côte

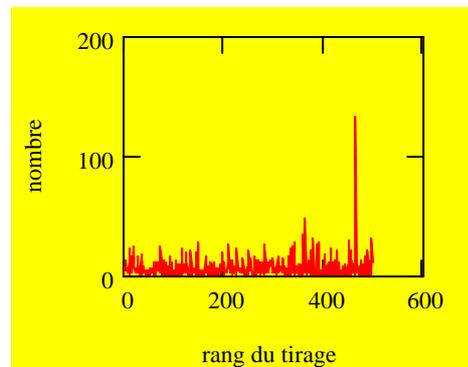
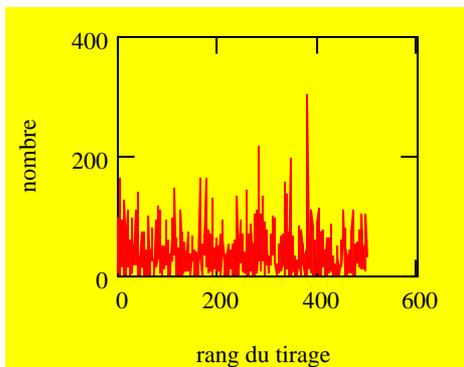


moyenne(cast1) = 245.641 nbre individus

moyenne(cast2) = 30.096 nbre individus

moyenne(proeufs11) = 3.956×10^5 nbre d'oeufs moyenne(proeufs21) = 4.895×10^4 nbre d'oeufs

estimations du nombre de saumons de 2 hivers de mer sur la côte

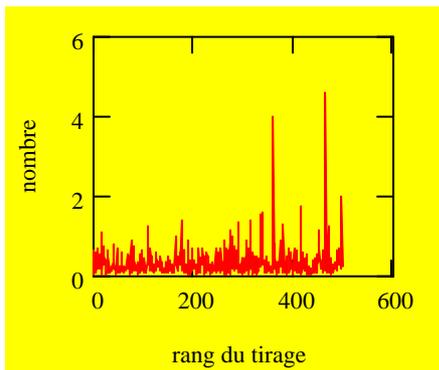


moyenne(S12H) = 35.803 nbre d'individus

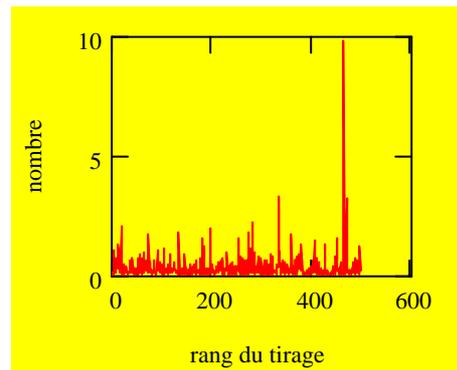
moyenne(S22H) = 6.255 nbre d'individus

moyenne(proeufs12) = 1.958×10^5 nbre d'oeufs moyenne(proeufs22) = 3.408×10^4 nbre d'oeufs

estimations du nombre de saumons de 3 hivers de mer sur la côte



moyenne(S13H) = 0.316 nbre d'individus

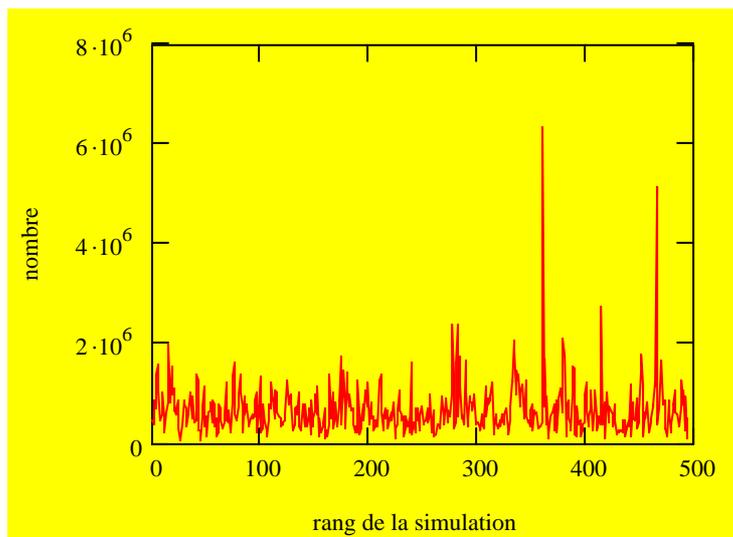


moyenne(S23H) = 0.326 nbre d'individus

moyenne(proeufs13) = 2.622×10^3 nbre d'oeufs

moyenne(proeufs23) = 2.688×10^3 nbre d'oeufs

Initialisation par un nombre d'oeufs moyen issus de *nbre* trajectoires sur une année



totaloeufs = 6.759×10^5

sigoeufs = 5.168×10^5

Valeur de la surface de production en m² de radiers ou équivalents

Sprod := 1000000

Sterr0 et Sterr1 sont les surfaces territoriales unitaires des Tacons de l'année et de 1 an + avec un chevauchement de 35%

Sterr0 := 4.1642

Sterr1 := 14.0513

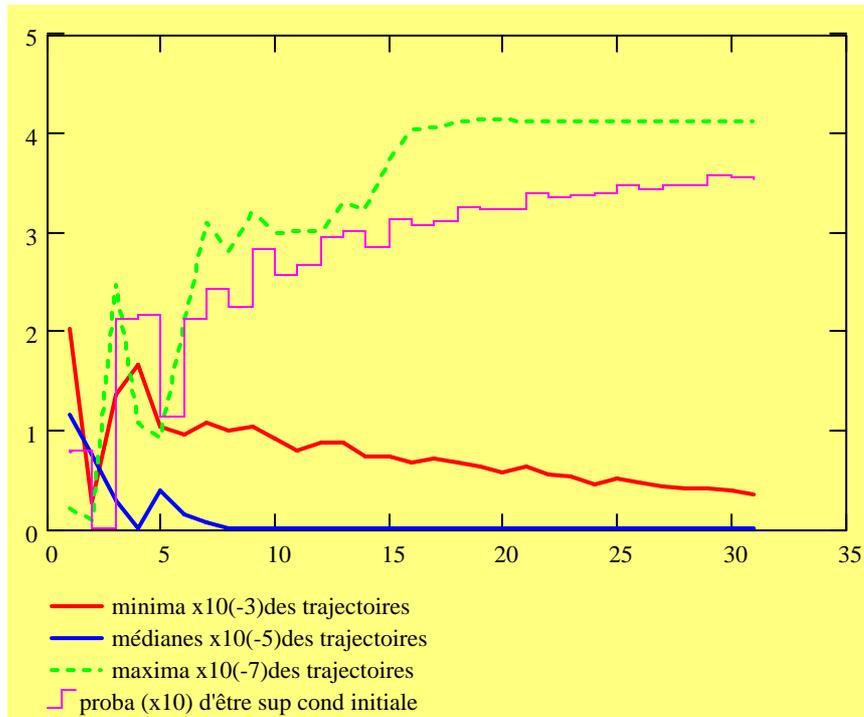
Sous-programme d'estimation des trajectoires sur nsimu années

	0	1	2	3
0	0	0	0	4.914·10 ⁵
1	0	0	0	7.576·10 ⁴
2	0	0	0	2.851·10 ⁵
3	0	0	0	5.792·10 ⁵
4	0	0	0	1.221·10 ⁶
5	0	0	0	6.32·10 ⁵
6	0	0	0	8.56·10 ⁵
7	0	0	0	2.189·10 ⁵
8	0	0	0	3.411·10 ⁵
9	0	0	0	9.272·10 ⁴
10	0	0	0	7.997·10 ⁵

trace de l'évolution médiane de la production sur la période défini par nsimu nombre d'années de simulation

indiquer le point de départ de la simulation pour enlever l'effet amorce

pdepart := 5



Discrétisation des productions par type de géniteurs et établissement de la relation stock recrutement stochastique

matx =

	0	1	2	3	4
0	0	0	0	$4.914 \cdot 10^5$	$1.663 \cdot 10^5$
1	0	0	0	$7.576 \cdot 10^4$	$3.827 \cdot 10^4$
2	0	0	0	$2.851 \cdot 10^5$	$2.951 \cdot 10^5$
3	0	0	0	$5.792 \cdot 10^5$	$5.987 \cdot 10^5$
4	0	0	0	$1.221 \cdot 10^6$	$7.356 \cdot 10^4$
5	0	0	0	$6.32 \cdot 10^5$	$1.68 \cdot 10^5$
6	0	0	0	$8.56 \cdot 10^5$	$9.845 \cdot 10^5$
7	0	0	0	$2.189 \cdot 10^5$	$3.559 \cdot 10^5$

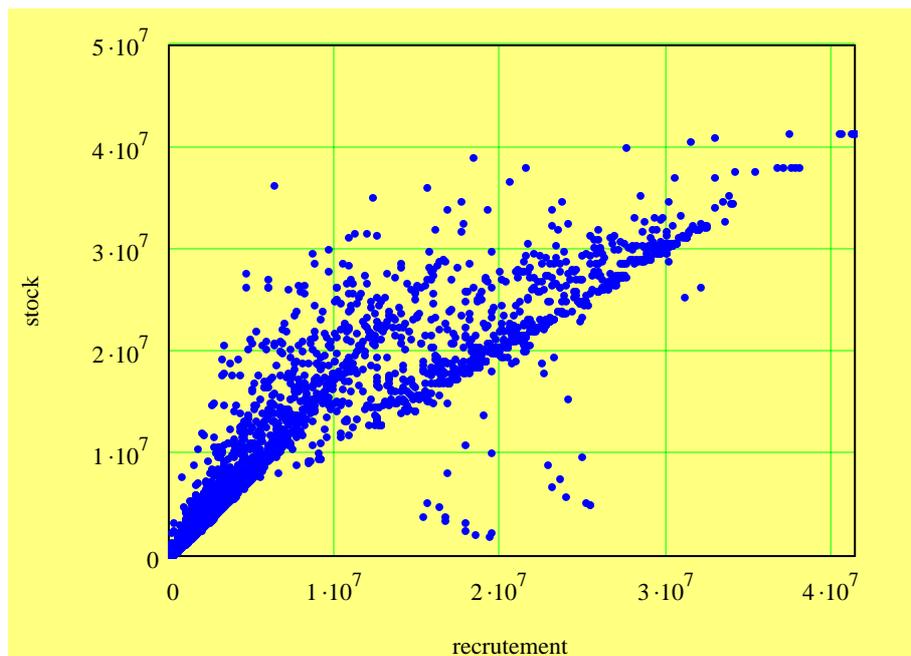
mattac2 =

	0	1	2	3	4	5
0	0	624.077	0	0	453.729	153.53
1	0	122.541	0	0	13.736	6.939
2	0	895.259	0	0	377.567	390.814
3	0	816.849	0	0	699.947	723.522
4	0	856.008	0	0	$1.547 \cdot 10^3$	93.158
5	0	$2.441 \cdot 10^3$	0	0	$2.283 \cdot 10^3$	606.917
6	0	$1.717 \cdot 10^3$	0	0	$2.175 \cdot 10^3$	$2.501 \cdot 10^3$
7	0	620.815	0	0	201.042	326.925
8	0	731.017	0	0	368.941	277.244
9	0	322.245	0	0	44.206	58.659
10	0	$1.356 \cdot 10^3$	0	0	$1.604 \cdot 10^3$	$1.29 \cdot 10^3$
11	0	565.65	0	0	370.525	183.37
12	0	$1.043 \cdot 10^3$	0	0	0.658	231.63
13	0	$1.121 \cdot 10^3$	0	0	451.516	153.021
14	0	$2.509 \cdot 10^3$	0	0	383.078	$1.419 \cdot 10^3$
15	0	$1.97 \cdot 10^3$	0	0	$4.139 \cdot 10^3$	$2.205 \cdot 10^3$

Etablissement de la base de données pour la relation stock-recrutement stochastique : modèle de Ricker

	0	1	2	3	4	5
0	0	$6.906 \cdot 10^5$	0	0	$5.021 \cdot 10^5$	$1.699 \cdot 10^5$
1	0	$1.198 \cdot 10^5$	0	0	$1.343 \cdot 10^4$	$6.784 \cdot 10^3$
2	0	$6.109 \cdot 10^5$	0	0	$2.577 \cdot 10^5$	$2.667 \cdot 10^5$
3	0	$1.217 \cdot 10^6$	0	0	$1.042 \cdot 10^6$	$1.078 \cdot 10^6$
4	0	$1.343 \cdot 10^6$	0	0	$2.426 \cdot 10^6$	$1.461 \cdot 10^5$
5	0	$8.429 \cdot 10^5$	0	0	$7.882 \cdot 10^5$	$2.096 \cdot 10^5$
6	0	$1.933 \cdot 10^6$	0	0	$2.447 \cdot 10^6$	$2.815 \cdot 10^6$
matrecrue = 7	0	$6.018 \cdot 10^5$	0	0	$1.949 \cdot 10^5$	$3.169 \cdot 10^5$
8	0	$6.388 \cdot 10^5$	0	0	$3.224 \cdot 10^5$	$2.423 \cdot 10^5$
9	0	$2.308 \cdot 10^5$	0	0	$3.167 \cdot 10^4$	$4.202 \cdot 10^4$
10	0	$1.491 \cdot 10^6$	0	0	$1.764 \cdot 10^6$	$1.419 \cdot 10^6$
11	0	$6.904 \cdot 10^5$	0	0	$4.522 \cdot 10^5$	$2.238 \cdot 10^5$
12	0	$2.201 \cdot 10^5$	0	0	138.919	$4.887 \cdot 10^4$
13	0	$3.885 \cdot 10^5$	0	0	$1.564 \cdot 10^5$	$5.301 \cdot 10^4$
14	0	$6.253 \cdot 10^5$	0	0	$9.546 \cdot 10^4$	$3.536 \cdot 10^5$
15	0	$2.197 \cdot 10^6$	0	0	$4.615 \cdot 10^6$	$2.459 \cdot 10^6$

estimation des paramètres du modèle de Ricker à partir des données générées par le modèle du cycle du saumon nivelle.



Estimation des paramètres moyens de la courbe de Ricker

Formulation retenue : $\text{Recrue} = \text{Parent} \cdot \exp^{(\text{pr}/\text{pm} \cdot (1 - \text{Parent}/\text{pr}))}$

Le premier élément contient la fonction représentant l'approximation des données. Les autres contiennent les dérivées partielles :

$$F(x, a) := \begin{bmatrix} x \cdot \exp\left[\frac{a_1}{a_2} \left(1 - \frac{x}{a_1}\right)\right] \\ \frac{x}{a_2} \cdot \exp\left[\frac{a_1}{a_2} \left(1 - \frac{x}{a_1}\right)\right] \\ -a_1 \cdot \frac{x}{(a_2)^2} \cdot \left(1 - \frac{x}{a_1}\right) \cdot \exp\left[\frac{a_1}{a_2} \left(1 - \frac{x}{a_1}\right)\right] \end{bmatrix}$$

Ce vecteur contient des valeurs d'estimation initiales pour les paramètres a_1 et a_2 .

$$vg := \begin{pmatrix} 2000000 \\ 3555000 \end{pmatrix}$$

$P := \text{ajustgen}(vx, vy, vg, F)$

Ce vecteur contient des valeurs optimales pour les paramètres a_1 et a_2 , calculées par ajustgen.

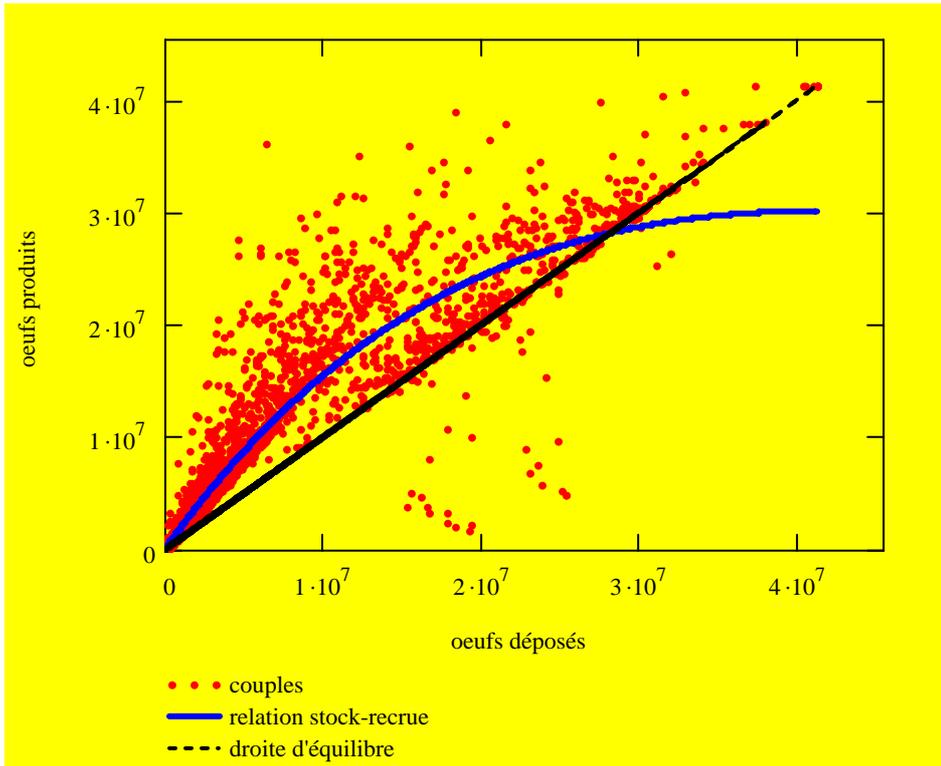
$$P = \begin{pmatrix} 2.824 \times 10^7 \\ 4.181 \times 10^7 \end{pmatrix}$$

calcul des valeurs estimées par le modèle

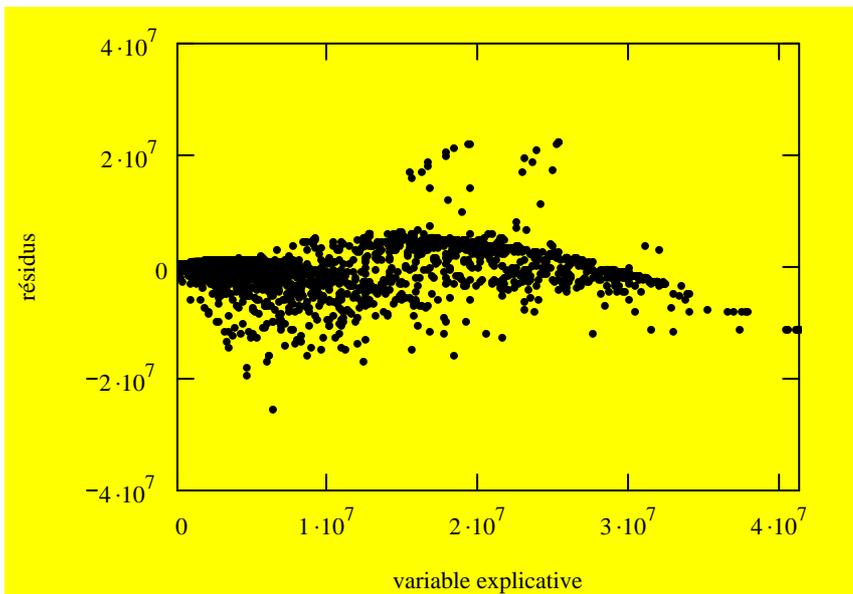
$$\text{corr}(g, vy) = 0.969 \quad \text{SSE} = 4.011 \times 10^{16}$$

Ecart moyen : $\text{SSE}/(m-2)$

$$E_{cm} := \frac{\text{SSE}}{m-2} \quad \sqrt{E_{cm}} = 1.724 \times 10^6$$



Visualisation des résidus en fonction de la variable explicative



Module de calcul du gain maximum : tangente à la courbe parallèle à la droite d'équilibre

Fonction : $f(x) := x \exp \left[\frac{P_1}{P_2} \cdot \left(1 - \frac{x}{P_1} \right) \right]$

calcul de la dérivée première $f'(x) := \frac{d}{dx} f(x)$

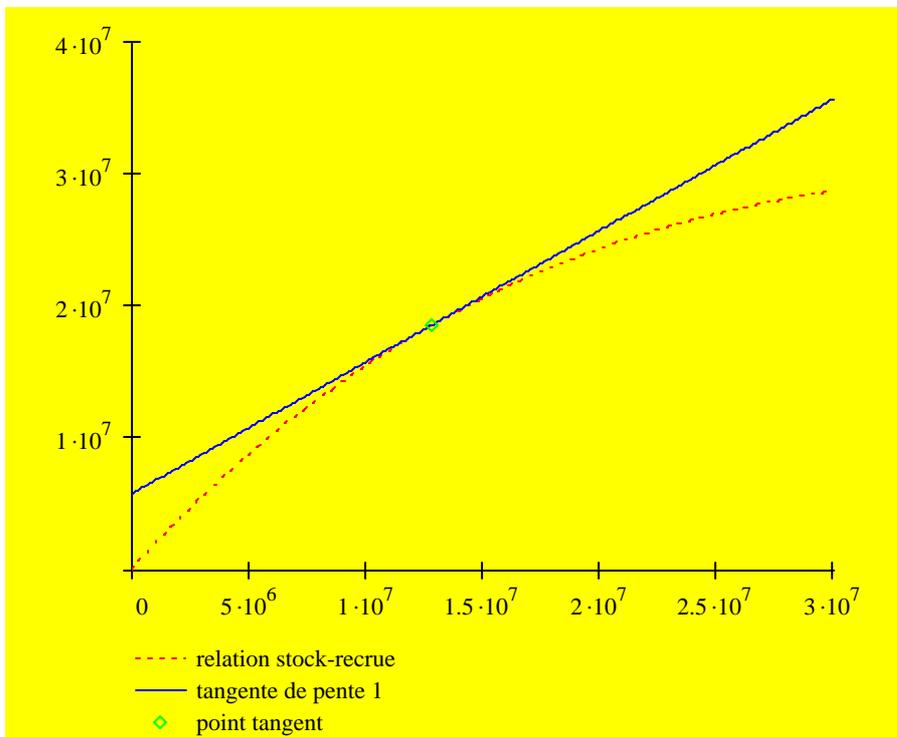
Tangente : $y(a, x) := f'(a) \cdot (x - a) + f(a)$

entrée d'un nombre arbitraire $x := 1$

Soit $f(x) = x \exp \left[\frac{P_1}{P_2} \cdot \left(1 - \frac{x}{P_1} \right) \right]$ $\frac{d}{dx} f(x) = 1$

vec := Trouver(x)

Solution : $vec = 1.287 \times 10^7$



valeur x :

$a = 1.287 \times 10^7$

pente de la tangente :

$f'(a) = 1$

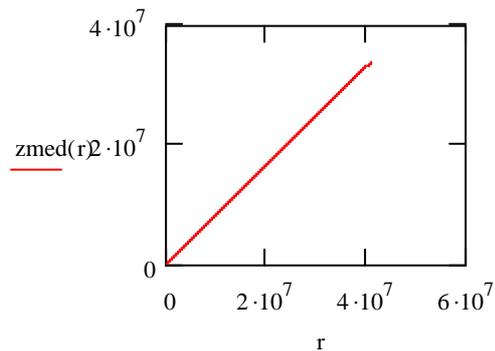
Calcul de la coordonnée correspondant au point tangent $f(vec) = 1.859 \times 10^7$

gain maximal $\text{gain} := f(\text{vec}) - \text{vec}$ $\text{gain} = 5.72 \times 10^6$

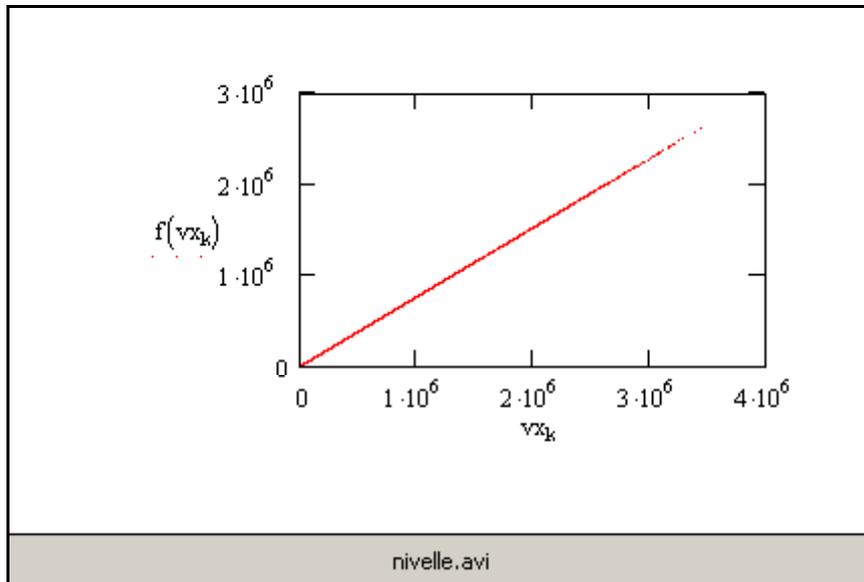
taux d'exploitation optimal $\text{txopt} := \frac{\text{gain} \cdot 100}{f(\text{vec})}$ $\text{txopt} = 30.774$

Visualisation de la variabilité de la courbe de Ricker

$$\text{Tinit} := \begin{pmatrix} 2555000 \\ 4500000 \end{pmatrix}$$



$$f(vx) := vx \cdot \exp \left[\frac{\text{matval}_{\text{FRAME}, 1} \left(1 - \frac{vx}{\text{matval}_{\text{FRAME}, 1}} \right)}{\text{matval}_{\text{FRAME}, 2}} \right]$$



Annexe 2 : Estimation de la biomasse saisonnière des flux de civelles à partir d'un modèle composite et d'une méthode de ré-échantillonnage (Bootstrap)

Importation du fichier de données de captures journalières

donnee :=



▼ visualisation données

	0	1	2	3	4
0	"JOURS"	"Lune"	"MareeCod"	"TurbCod"	"DebCod"
1	"11/01/1999"	"DQ"	1	1	1
2	"11/02/1999"	"NL"	1	1	1
3	"11/03/1999"	"NL"	1	1	1
4	"11/04/1999"	"NL"	2	1	1
5	"11/05/1999"	"NL"	2	1	1
6	"11/06/1999"	"NL"	2	1	1
7	"11/07/1999"	"NL"	3	1	1
8	"11/08/1999"	"NL"	3	1	1
9	"11/09/1999"	"NL"	2	1	1
10	"11/10/1999"	"NL"	2	1	1
11	"11/11/1999"	"NL"	2	1	1
12	"11/12/1999"	"PQ"	2	1	1
13	"11/13/1999"	"PQ"	1	1	1
14	"11/14/1999"	"PQ"	1	1	1
15	"11/15/1999"	"PQ"	1	2	2

▲ visualisation données

Génération d'un ensemble de trajectoires de biomasses journalières pour la saison de pêche.

Introduction du nombre de trajectoires

1000

Génération du vecteur de nombres aléatoires suivant une loi Lognormale

Règles d'affectation de la valeur du taux médian et de son espace interquartile :

Si le débit est supérieur à 600 mcube par seconde et si le coefficient de marée est inférieur à 60, la biomasse journalière n'est pas calculée.

Si la capture journalière est inférieure à 20 kg par jour, la biomasse journalière n'est pas calculée.

Autrement, on utilise les valeurs médianes des taux d'exploitation en fonction des valeurs des codes des débits, marée, lune et turbidité

Génération du vecteur de valeurs aléatoires : Vectalea

▼ Valtepl aléatoires

```

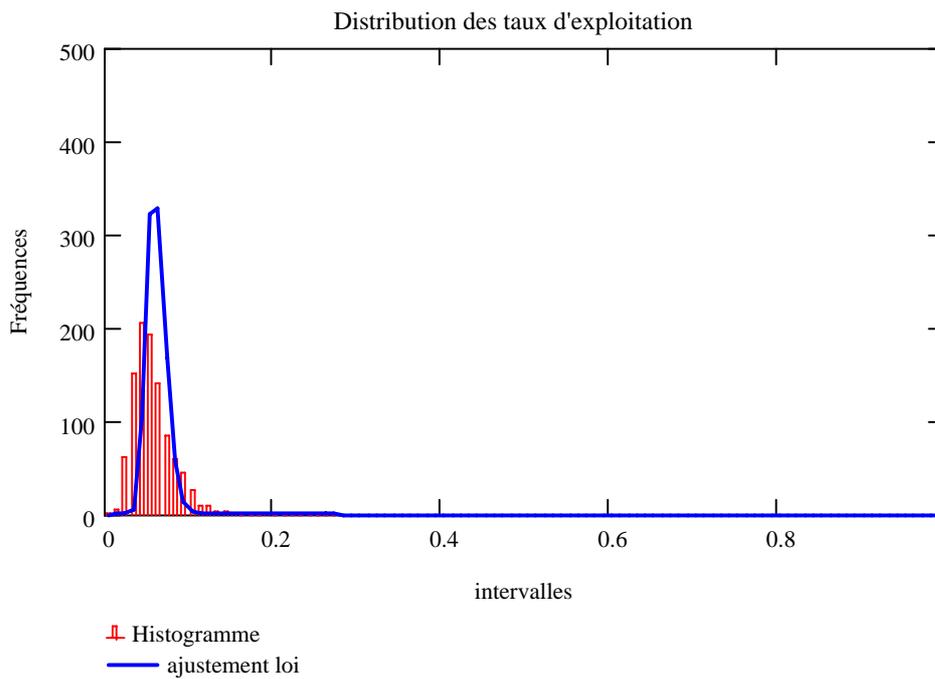
Vectalea(njours , ntraj, Texplmedian, sigmed) :=
  for j ∈ 0.. njours - 1
  |
  | mu1_j ← ln [
  |   Texplmedian_j
  |   /
  |   sqrt( ( sigmed_j · sigmed_j
  |     /
  |     Texplmedian_j · Texplmedian_j ) + 1 )
  |
  | sig1_j ← 2 · ln [
  |   ( sigmed_j · sigmed_j
  |     /
  |     Texplmedian_j · Texplmedian_j ) + 1
  |
  | nums ← anorml( ntraj, mu1_j, sqrt(sig1_j) )
  | M^{j} ← nums
  |
  | M
  
```

Vectalea := Vectalea(njours , ntraj, Texplmedian, sigmed)

	0	1	2	3	4	5	6	7	8	
0	0.155	0.073	0.045	0.029	0.047	0.056	0.057	0.055	0.025	
1	0.161	0.027	0.038	0.044	0.061	0.069	0.077	0.113	0.062	
2	0.091	0.062	0.038	0.043	0.051	0.1	0.042	0.077	0.046	
3	0.288	0.039	0.074	0.051	0.073	0.063	0.065	0.074	0.072	
4	0.162	0.101	0.051	0.058	0.072	0.066	0.052	0.046	0.062	
Vectalea =	5	0.238	0.047	0.039	0.051	0.096	0.063	0.049	0.062	0.063
	6	0.328	0.033	0.057	0.036	0.069	0.031	0.057	0.043	0.064
	7	0.283	0.051	0.048	0.059	0.093	0.06	0.063	0.072	0.033
	8	0.171	0.041	0.042	0.079	0.067	0.049	0.084	0.072	0.091
	9	0.291	0.067	0.036	0.036	0.042	0.048	0.08	0.086	0.043
	10	0.08	0.04	0.067	0.066	0.081	0.038	0.036	0.067	0.069
	11	0.086	0.035	0.038	0.068	0.088	0.03	0.037	0.084	0.047
	12	0.232	0.05	0.071	0.078	0.049	0.04	0.068	0.089	0.056

Introduction du choix du rang du vecteur aléatoire à visualiser

99



Estimations de la matrice des biomasses saisonnières sur ntraj trajectoires

```

Bio(ntraj, njours, Vectalea, captures, debit, maree) :=
  for j ∈ 0.. njours - 1
    for i ∈ 0.. ntraj - 1
      Biomassei,j ← capturesj if capturesj < 20
      Biomassei,j ← capturesj if debitj > 600 ∧ mareej ≤ 60
      Biomassei,j ←  $\frac{\text{captures}_j}{\text{Vectalea}_{1,j}}$  otherwise
  Biomasse
  
```

Estimbio := Bio(ntraj, njours, Vectalea, captures, debit, maree)

Testimbio := Estimbio^T

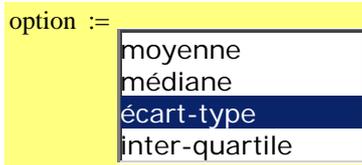
Testimbio =

	0	1	2	3	4	5
0	6.39	6.39	6.39	6.39	6.39	6.39
1	15.07	15.07	15.07	15.07	15.07	15.07
2	849.955	1.016·10 ³	1.027·10 ³	521.457	757.195	1.002·10 ³
3	2.057·10 ³	1.357·10 ³	1.386·10 ³	1.18·10 ³	1.036·10 ³	1.182·10 ³
4	1.565·10 ³	1.209·10 ³	1.442·10 ³	1.009·10 ³	1.027·10 ³	766.876
5	1.639·10 ³	1.341·10 ³	924.284	1.465·10 ³	1.39·10 ³	1.477·10 ³
6	1.279·10 ³	955.857	1.74·10 ³	1.125·10 ³	1.422·10 ³	1.504·10 ³
7	929.739	448.991	658.769	681.187	1.108·10 ³	820.358
8	1.432·10 ³	579.06	770.403	499.236	578.919	571.172
9	369.439	283.665	300.692	207.1	429.826	511.142
10	0.89	0.89	0.89	0.89	0.89	0.89
11	18.07	18.07	18.07	18.07	18.07	18.07
12	137.941	147.397	185.774	221.634	78.924	118.711
13	105.997	210.298	112.305	130.744	194.551	142.094
14	16.79	16.79	16.79	16.79	16.79	16.79
15	405.859	713.396	450.82	240.724	771.079	430.952

Estimbio =

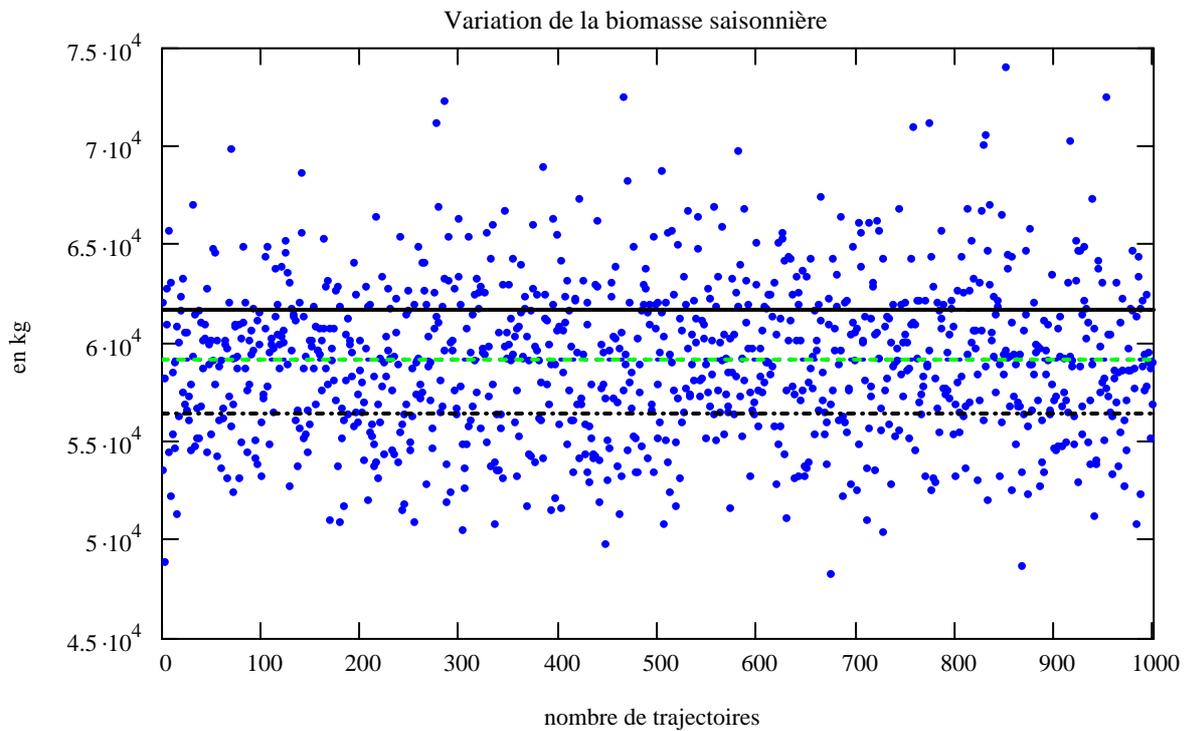
	0	1	2	3	4	5
0	6.39	15.07	849.955	2.057·10 ³	1.565·10 ³	1.639·10 ³
1	6.39	15.07	1.016·10 ³	1.357·10 ³	1.209·10 ³	1.341·10 ³
2	6.39	15.07	1.027·10 ³	1.386·10 ³	1.442·10 ³	924.284
3	6.39	15.07	521.457	1.18·10 ³	1.009·10 ³	1.465·10 ³
4	6.39	15.07	757.195	1.036·10 ³	1.027·10 ³	1.39·10 ³
5	6.39	15.07	1.002·10 ³	1.182·10 ³	766.876	1.477·10 ³
6	6.39	15.07	680.98	1.658·10 ³	1.068·10 ³	3.01·10 ³
7	6.39	15.07	800.424	1.016·10 ³	795.55	1.542·10 ³
8	6.39	15.07	915.669	757.755	1.105·10 ³	1.903·10 ³
9	6.39	15.07	1.082·10 ³	1.672·10 ³	1.757·10 ³	1.914·10 ³
10	6.39	15.07	576.045	908.78	912.787	2.426·10 ³
11	6.39	15.07	1.021·10 ³	877.683	833.116	3.114·10 ³
12	6.39	15.07	546.386	761.618	1.519·10 ³	2.291·10 ³
13	6.39	15.07	754.715	1.031·10 ³	1.11·10 ³	906.772
14	6.39	15.07	1.714·10 ³	1.452·10 ³	1.357·10 ³	2.342·10 ³
15	6.39	15.07	597.532	868.241	1.516·10 ³	2.01·10 ³

Calcul du vecteur somme des biomasses et de ses caractéristiques



Résultat :

$\text{contrôle}(\text{somme}, q2, q3q1, \text{option}) = 3.896 \times 10^3$



- • • variation biomasse saisonnière
- • • • moyenne des estimations
- — — médiane des estimations
- - - - premier quartile
- — — troisième quartile

Calcul de la trajectoire moyenne et médiane des biomasses

calcul des vecteurs journaliers

$$\text{Vecmoyen}(\text{Estimbio}, \text{njours}) := \left| \begin{array}{l} \text{for } i \in 0.. \text{njours} - 1 \\ \text{vecmo}_i \leftarrow \text{moyenne}(\text{Estimbio}^{(i)}) \\ \text{vecmo} \end{array} \right.$$

$$\text{vecmo} := \text{Vecmoyen}(\text{Estimbio}, \text{njours})$$

$$\text{Vecmedian}(\text{Estimbio}, \text{ntraj}, \text{njours}) := \left| \begin{array}{l} \text{for } i \in 0.. \text{njours} - 1 \\ \left| \begin{array}{l} \text{triEstimbio} \leftarrow \text{tri}(\text{Estimbio}^{(i)}) \\ \text{vecmed}_i \leftarrow \text{triEstimbio} \\ \text{trunc}\left(\frac{\text{ntraj}}{2}\right) \end{array} \right. \\ \text{vecmed} \end{array} \right.$$

$$\text{vecmedian} := \text{Vecmedian}(\text{Estimbio}, \text{ntraj}, \text{njours})$$

$$\text{Vecartype}(\text{Estimbio}, \text{njours}) := \left| \begin{array}{l} \text{for } i \in 0.. \text{njours} - 1 \\ \text{ecart1}_i \leftarrow \text{écartype}(\text{Estimbio}^{(i)}) \\ \text{ecart1} \end{array} \right.$$

$$\text{vececart} := \text{Vecartype}(\text{Estimbio}, \text{njours})$$

$$\text{Vmoymoins}(\text{njours}, \text{ntraj}, \text{vecmo}, \text{vececart}) := \left| \begin{array}{l} \text{for } i \in 0.. \text{njours} - 1 \\ \text{moymoins}_i \leftarrow \text{vecmo}_i - 1.98 \cdot \frac{\text{vececart}_i}{\sqrt{\text{ntraj}}} \\ \text{moymoins} \end{array} \right.$$

$$\text{vmoymoins} := \text{Vmoymoins}(\text{njours}, \text{ntraj}, \text{vecmo}, \text{vececart})$$

$$\text{Vmoyplus}(\text{njours}, \text{ntraj}, \text{vecmo}, \text{vececart}) := \left| \begin{array}{l} \text{for } i \in 0.. \text{njours} - 1 \\ \text{moyplus}_i \leftarrow \text{vecmo}_i + 1.98 \cdot \frac{\text{vececart}_i}{\sqrt{\text{ntraj}}} \\ \text{moyplus} \end{array} \right.$$

$$\text{vmoyplus} := \text{Vmoyplus}(\text{njours}, \text{ntraj}, \text{vecmo}, \text{vececart})$$

$$\text{Vespinter}(\text{Estimbio}, \text{ntraj}, \text{njours}) := \left| \begin{array}{l} \text{for } i \in 0.. \text{njours} - 1 \\ \text{triEstimbio} \leftarrow \text{tri}(\text{Estimbio}^{(i)}) \\ \text{q1}_i \leftarrow \text{triEstimbio} \left(\text{trunc} \left(\frac{\text{ntraj}}{4} \right) \right) \\ \text{q3}_i \leftarrow \text{triEstimbio} \left(\text{trunc} \left[\frac{3(\text{ntraj})}{4} \right] \right) \\ \text{espa}_i \leftarrow \text{q3}_i - \text{q1}_i \\ \text{espa} \end{array} \right.$$

$$\text{espace} := \text{Vespinter}(\text{Estimbio}, \text{ntraj}, \text{njours})$$

$$\text{Vmedmoins}(\text{njours}, \text{ntraj}, \text{vecmedian}, \text{espace}) := \left| \begin{array}{l} \text{for } i \in 0.. \text{njours} - 1 \\ \text{medmoins}_i \leftarrow \text{vecmedian}_i - 1.98 \cdot \frac{\text{espace}_i}{\sqrt{\text{ntraj}}} \\ \text{medmoins} \end{array} \right.$$

$$\text{vmedmoins} := \text{Vmedmoins}(\text{njours}, \text{ntraj}, \text{vecmedian}, \text{espace})$$

$$\text{Vmedplus}(\text{njours}, \text{ntraj}, \text{vecmedian}, \text{espace}) := \left| \begin{array}{l} \text{for } i \in 0.. \text{njours} - 1 \\ \text{medplus}_i \leftarrow \text{vecmedian}_i + 1.98 \cdot \frac{\text{espace}_i}{\sqrt{\text{ntraj}}} \\ \text{medplus} \end{array} \right.$$

$$\text{vmedplus} := \text{Vmedplus}(\text{njours}, \text{ntraj}, \text{vecmedian}, \text{espace})$$

