



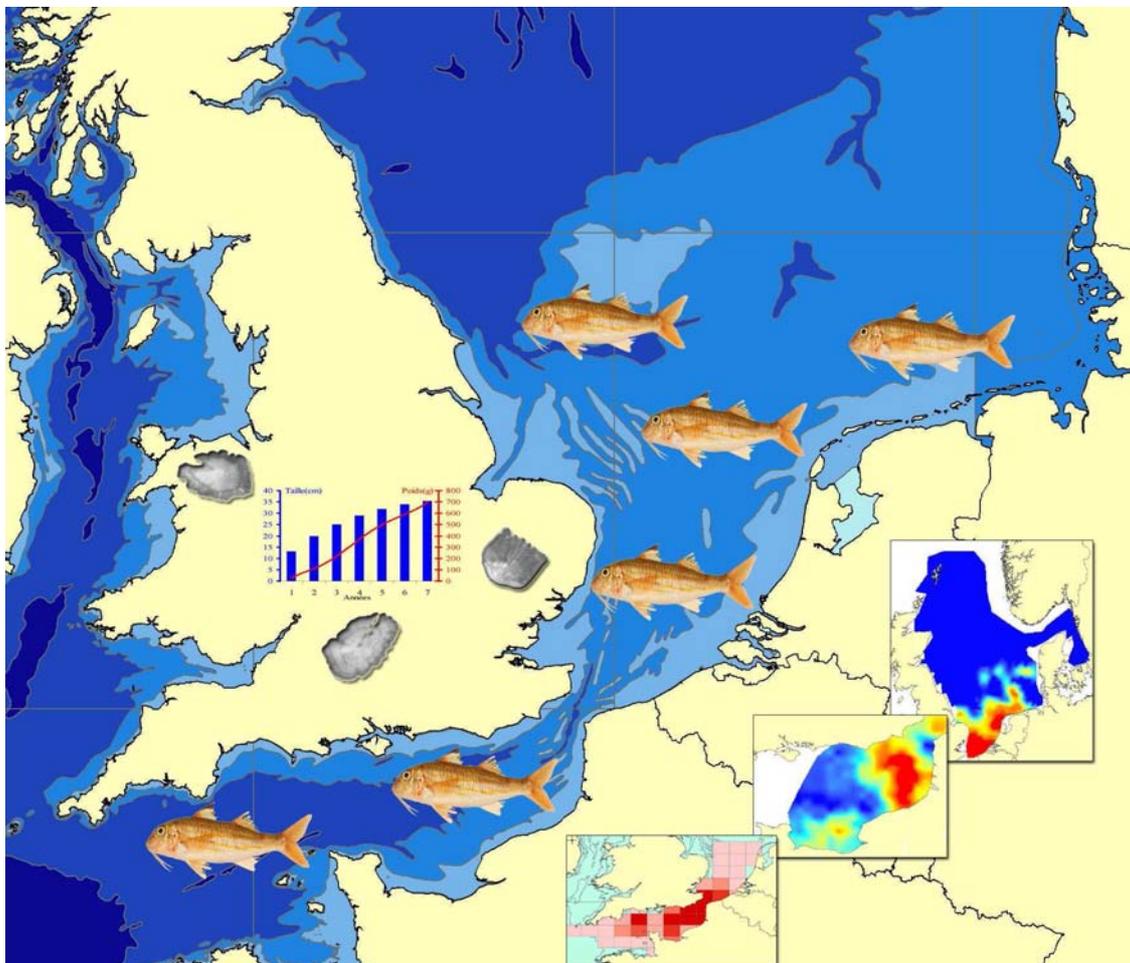
Le rouget barbet de roche *Mullus surmuletus* (L. 1758) en Manche orientale et mer du Nord.

K. Mahé¹, A. Destombes², F. Coppin¹, P. Koubbi³, S. Vaz¹, D. Le Roy¹, A. Carpentier¹

1. Laboratoire Ressources Halieutiques, IFREMER - Centre Manche-Mer du Nord, 150 Quai Gambetta BP 699 62321 Boulogne/mer

2. CRPMEM Nord/Pas de Calais/Picardie, 16, rue du Commandant Charcot 62200 Boulogne/mer

3. Laboratoire d'Ichtyo-écologie Marine, ULCO, Quai Masset - Bassin Napoléon B.P. 120 62327 Boulogne/ mer



Le rouget barbet de roche
***Mullus surmuletus* (L. 1758)**
en Manche orientale et mer du Nord.

2005

Ce rapport doit être cité de la façon suivante :

Mahé, K., Destombes, A., Coppin, F., Koubbi, P., Vaz, S., Le Roy, D. & Carpentier, A., 2005. Le rouget barbet de roche *Mullus surmuletus* (L. 1758) en Manche orientale et mer du Nord. Rapport de Contrat IFREMER/CRPMEM Nord-Pas-de-Calais, 187p.

Cette étude bénéficie du soutien financier de :

- La Région Nord-Pas de Calais



- Le Conseil Régional de Picardie



- Le Comité Régional des Pêches Maritimes et des Elevages Marins Nord - Pas de Calais - Picardie



- L'IFOP (Instrument Financier d'Orientation de la Pêche)



Remerciements

Cette étude a pu être menée grâce à de nombreuses collaborations et nous remercions vivement :

- Monsieur Pierre-Georges Dachicourt, Président du Comité National des Pêches Maritimes et des Elevages Marins, à l'origine de cette étude ;
- Madame Delphine Ronçin, du Comité Régional des Pêches Maritimes et des Elevages Marins, Nord - Pas de Calais - Picardie pour le montage financier de l'étude ;
- Monsieur Bruno Defives, Chargé de mission Agriculture et Pêche à la Direction de l'Action Economique du Conseil Régional Nord-Pas de Calais, qui a soutenu cette étude ;
- Mr. Gérard Rougemont du Centre National du Traitement des Statistiques des pêches maritimes (CNTS) et Mr. Bertrand Masclez de la Chambre de Commerce et d'Industrie de Boulogne sur mer qui nous ont fourni toutes les données demandées et avec une grande rapidité ;
- Mr. Michel Desprez du Critt Estran à Dieppe pour nous avoir transmis toutes ses données disponibles concernant le rouget barbet, recueillies dans le cadre du GIS (Groupement d'Intérêt Scientifique) « Impacts des extractions de granulats marins au large de Dieppe » ;
- plusieurs patrons de pêche de chalutiers étaplois, en particulier Mrs. Gérard, Patrice et Pascal Wacogne, patrons de l'Arc en Ciel I, Mr. Olivier Le Prêtre, patron du Marmouset II et Mr. Sébastien Le Prêtre, patron du Mercator, qui nous ont aidé tout au long de l'étude en nous prodiguant leurs avis ;
- Mlle Corinne Martin, maître de conférence à la Canterbury Christ Church Université (GB) pour sa collaboration dans l'élaboration du modèle d'habitat développé pour le Détroit du Pas-de-Calais dans le cadre du projet Interreg IIIA CHARM, et étendu à l'ensemble de la Manche orientale ;
- le Conseil International pour l'Exploration de la Mer (CIEM) et le Système d'Informations Scientifiques pour la Mer (SISMER) de nous avoir mis à disposition leurs données ;
- les équipages de l'armement Génavir des navires océanographiques Gwen Drez et Thalassa de l'Ifremer ;
- et enfin, les membres de l'Ifremer qui nous ont transmis des données, en particulier au laboratoire Ressources Halieutiques de Port en Bessin Mmes. Marie Laure Cochard et Jocelyne Morin et les personnes de l'Ifremer qui ont participé aux échantillonnages en criée à Boulogne sur mer.

Sommaire

| | |
|--|------------|
| Introduction générale | p1 |
| PARTIE I : Synthèse bibliographique | p3 |
| I. Historique | p4 |
| II. Taxonomie | p4 |
| II. 1. Classification binomiale | p4 |
| II. 2. Classification hiérarchique | p4 |
| III. Diagnose | p5 |
| III. 1. Caractéristiques du rouget barbet de roche | p5 |
| III. 2. Différences avec le rouget barbet de vase <i>Mullus barbatus</i> | p6 |
| IV. Dénomination | p7 |
| V. Répartition spatiale | p7 |
| VI. Cycle de vie | p9 |
| VI. 1. Vie pélagique | p9 |
| VI. 2. Vie benthique | p10 |
| VII. Croissance | p10 |
| VIII. Reproduction | p11 |
| IX. Alimentation | p12 |
| PARTIE II : Etude de la biologie | p15 |
| Introduction | p16 |
| I. Prélèvements | p16 |
| II. Traitements Statistiques | p17 |
| III. Biométrie | p18 |
| III. 1. Relation Longueur totale/Longueur standard | p18 |
| III. 2. Relation Taille/Poids totale | p19 |
| III. 3. Influence de la saisonnalité et du sexe | p20 |
| IV. Croissance | p21 |
| IV. 1. Introduction | p22 |
| IV. 2. Description et fonction des pièces calcifiées | p23 |
| IV. 2. A) Les otolithes | p23 |
| IV. 2. B) Les écailles | p24 |
| IV. 3. Les pièces calcifiées chez le rouget barbet | p25 |
| IV. 3. A) Les otolithes | p25 |
| IV. 3. B) Les écailles | p26 |
| IV. 4. Méthodes d'étude | p27 |
| IV. 4. A) Prélèvements | p27 |
| IV. 4. B) Traitement en laboratoire | p28 |
| IV. 4. B) α . Préparation et lecture des otolithes | p28 |
| IV. 4. B) β . Préparation et lecture des écailles | p29 |
| IV. 4. C) Procédure d'estimation de l'âge individuel | p30 |
| IV. 4. D) Validation de l'estimation de l'âge | p30 |

| | |
|--|-----|
| IV. 4. E) Paramètres de croissance | p31 |
| IV. 4. F) Taux de croissance | p33 |
| IV. 5. Résultats | p33 |
| IV. 5. A) Allongement marginal et périodicité de formation des anneaux | p33 |
| IV. 5. B) Croissance linéaire et pondérale | p34 |
| IV. 5. C) Taux de croissance annuel | p35 |
| IV. 5. D) Influence du sexe sur la croissance | p35 |
| IV. 5. E) Comparaison otolithe/écaille pour l'analyse de la croissance | p36 |
| V. Reproduction | p37 |
| V. 1. Matériel biologique | p37 |
| V. 2. Méthodes d'étude | p38 |
| V. 2. A) L'identification de la maturité | p38 |
| V. 2. B) Le rapport gonado-somatique (RGS) | p39 |
| V. 3. Analyse de la reproduction | p39 |
| V. 3. A) Sex-Ratio | p39 |
| V. 3. B) Evolution mensuelle de la fréquence des stades de maturité sexuelle | p40 |
| V. 3. C) Evolution mensuelle de RGS | p42 |
| VI. Etat de condition | p43 |
| VI. 1. Principe | p43 |
| VI. 2. Les indices biométriques | p43 |
| VI. 3. Analyses de la condition du poisson | p44 |
| VII. Synthèse des résultats | p46 |

PARTIE III : Analyse de la répartition spatiale en Manche orientale et mer du Nord p47

| | |
|--|-----|
| Introduction | p48 |
| I. Méthodes d'étude | p48 |
| I. 1. Protocole des campagnes et collecte des données | p48 |
| I. 2. Traitement statistique préalable des données | p50 |
| I. 3. Modélisation géostatistique | p50 |
| II. Analyse de la distribution spatiale | p52 |
| II. 1. La Manche orientale | p52 |
| II. 2. Les principaux estuaires français de Manche orientale | p57 |
| II. 2. A) La Seine | p57 |
| II. 2. B) La Somme | p57 |
| II. 3. La mer du Nord | p59 |
| II. 3. A) Au premier trimestre | p59 |
| II. 3. B) Au troisième trimestre | p64 |
| II. 3. C) Au deuxième trimestre | p69 |
| II. 3. D) Au quatrième trimestre | p70 |
| III. Synthèse des résultats | p71 |

PARTIE IV : Habitat du rouget barbet en Manche orientale p72

| | |
|--|-----|
| I. Comportement alimentaire du rouget barbet | p73 |
| I. 1. Caractérisation des zones d'étude | p73 |
| I. 1. A) Le sédiment | p73 |

| | |
|--|------|
| I. 1. B) Le benthos | p74 |
| I. 2. Echantillonnage des ressources halieutiques | p76 |
| I. 3. Distribution | p77 |
| I. 4. Relations trophiques | p78 |
| I. 5. Synthèse des résultats | p80 |
| II. Modélisation de l’habitat optimal en Manche orientale | p81 |
| II. 1. Principe de la modélisation par régression quantile des habitats | p81 |
| II. 2. Descriptions des facteurs environnementaux utilisés | p83 |
| II. 2. A) La profondeur | p83 |
| II. 2. B) Le type de sédiment de fond | p84 |
| II. 2. C) La tension de cisaillement sur le fond | p84 |
| II. 2. D) La température et la salinité de l’eau | p85 |
| II. 3. Habitat optimum en Manche orientale | p86 |
| II. 3. A) Le modèle d’habitat sélectionné | p86 |
| II. 3. B) Vérification de l’ajustement du modèle | p89 |
| II. 3. C) Spatialisation du modèle | p89 |
| II. 3. D) Validation du modèle | p90 |
| II. 4. Synthèse des résultats | p91 |
| | |
| PARTIE V : Préparation et Analyses des données françaises pour l’évaluation de stock en Manche et mer du Nord | p92 |
| | |
| I. Identification de stock | p93 |
| I. 1. Principe de la morphométrie géométrique | p93 |
| I. 2. Matériel et méthode | p95 |
| I. 2. A) Origine des poissons | p95 |
| I. 2. B) Définition des points homologues | p96 |
| I. 2. C) Analyse d’images | p96 |
| I. 2. D) Traitement des données | p97 |
| I. 2. D) α . Allométries | p97 |
| I. 2. D) β . Analyses mutivariées | p97 |
| I. 3. Résultats | p98 |
| I. 3. A) Allométries | p98 |
| I. 3. B) Indice de condition K | p100 |
| I. 3. C) Analyses multivariées | p100 |
| I. 4. Analyses | p102 |
| II. Contexte européen | p103 |
| III. Principes généraux de l’évaluation de stock | p104 |
| IV. Synthèse des données françaises | p106 |
| IV. 1. Les captures | p106 |
| IV. 2. Les mensurations | p107 |
| IV. 3. Les clés taille/âge | p108 |
| IV. 4. Les clés taille/poids | p109 |
| IV. 5. Maturité sexuelle aux âges | p109 |
| IV. 6. Les campagnes à la mer | p110 |
| V. Analyse des données françaises | p111 |
| V. 1. Aspects multi-spécifiques | p111 |
| V. 2. Aspects économiques | p118 |
| V. 3. Les flottilles | p119 |
| V. 4. Les débarquements | p122 |

| | |
|--|------|
| V. 5. Captures par unité d'effort et structures démographiques | p128 |
| V. 6. Bilan des données pour l'évaluation se stock | p130 |
| V. 7. Intérêt de la taille marchande | p132 |
| Discussion | p134 |
| Conclusion | p153 |
| Références bibliographiques | p154 |
| Annexes | p163 |

Introduction générale

Les rougets sont parmi les poissons les plus anciennement connus et appréciés. Les Grecs et les Latins nous ont laissé dans leur littérature des pages célèbres dans lesquelles ils vantent les qualités et les belles couleurs de leurs *Trigles* et de leurs *Mulles*. De même, la chair de ce poisson est très appréciée depuis la plus haute antiquité :

on rapporte que, chez les Romains, un beau poisson valait plus cher que l'homme qui l'avait pêché ! Par ailleurs, lors des festins, on présentait parfois un rouget barbet dans un vase, afin d'amuser les convives par ses changements de couleur (Bloch, 1793).

Le rouget barbet de roche (*Mullus surmuletus*) est un poisson benthique c'est à dire vivant à proximité du fond. Il est présent géographiquement dans l'océan Atlantique depuis les côtes de Norvège jusqu'aux côtes ouest africaines (Whitehead *et al.*, 1986) et dans tout le bassin méditerranéen.

Les statistiques mondiales des pêches (FAO) de 1950 à nos jours montrent que les captures mondiales sont passées de 800 tonnes à 14 500 tonnes en 50 ans (Fig. 1). Cependant, cette augmentation n'a pas été constante. Elle est essentiellement observée de 1981 (2 879 t) à 1992 (14 001 t). Enfin, depuis 1991, la production mondiale se stabilise entre 13 et 15 milliers de tonnes.

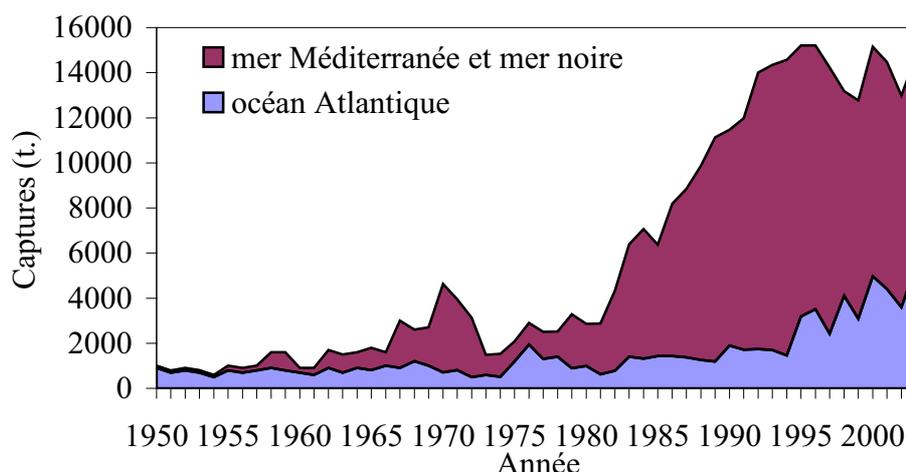


Figure 1 : Statistiques mondiales des pêches de rougets barbets de roche de 1950 à 2003 (source : FAO).

De 1950 à 1965, la majeure partie des pêches mondiales de rougets barbets était réalisée dans l'océan Atlantique par les Espagnols. Depuis, la tendance s'est inversée et la mer Méditerranée est devenue le premier bassin mondiale de captures de rougets barbets de roche avec la Libye (4 000 t en 2003), la Tunisie (1 948 t en 2003) et la Turquie (1 050 t en 2003). Pour l'océan Atlantique aux captures réalisées par les Espagnols depuis 1950 se sont rajoutées les captures françaises en 1975 (Fig. 2). A cette date, la pêche du rouget barbet se faisait sur les côtes espagnoles et dans le golfe de Gascogne. A partir de 1990, la forte augmentation des captures est due essentiellement à la France mais aussi à d'autres pays plus nordiques comme le Royaume-Uni et les Pays Bas. Cela marque le début de l'exploitation du rouget barbet en Manche et mer du Nord.

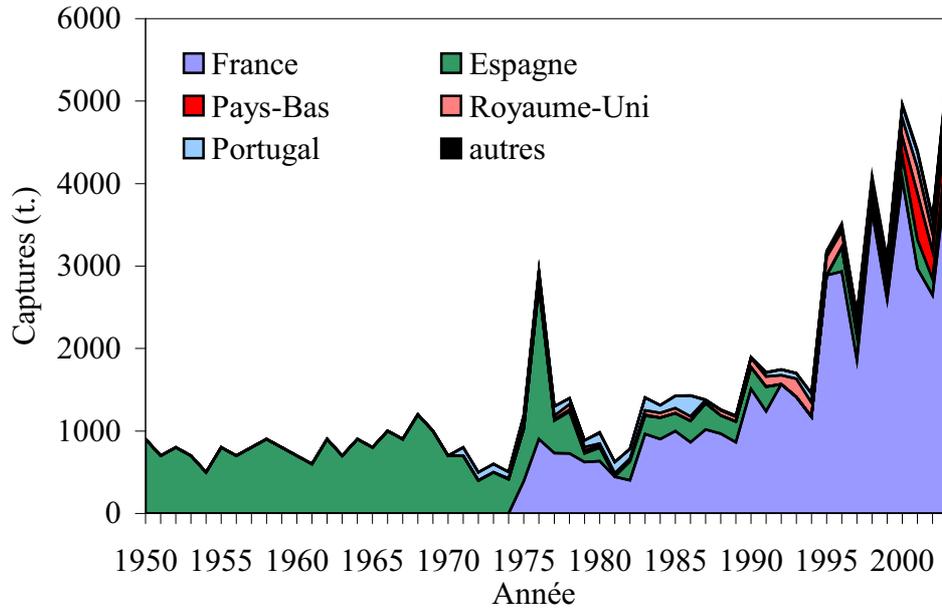


Figure 2 : Statistiques des pêches des rougets barbets de roche de 1950 à 2003 pour l’océan Atlantique (source : FAO ; autres : Belgique, Danemark, Iles anglo-normandes et de Man, Irlande).

En 1998, les chalutiers boulonnais ont débarqué à Boulogne sur mer 60% des prises nationales en rougets barbets de roche (1 975 t., source : *Ofimer*). De plus, selon les années, 60 à 80% des débarquements français proviennent de la Manche orientale. Pourtant, cette espèce en Manche et mer du Nord n’a été que très peu étudiée. Seuls des travaux multispécifiques sur les flottilles artisanales (Ulrich, 2000), des résultats de campagnes d’évaluations des ressources (Carpentier & Coppin, 2000), et des ouvrages de synthèse (Dunn, 1999; Forest, 2001 ; Suquet & Ruyet, 2001) ont abordé cette espèce dans cette zone géographique. A l’inverse, cette espèce a été souvent étudiée dans le bassin méditerranéen, et sur la côte atlantique en particulier le golfe de Gascogne qui sont des zones d’exploitation plus anciennes que la Manche et la mer du Nord pour le rouget barbet.

Cette étude a été mise en place entre les professionnels de la pêche et les scientifiques de l’Ifremer dans un souci commun de connaissances et de compréhension de cette espèce en Manche et mer du Nord, de façon à optimiser l’évaluation de cette ressource à un niveau régional, national puis européen pour une exploitation durable de ce poisson.

Ce travail se compose en cinq parties avec tout d’abord une synthèse des connaissances sur le rouget barbet de roche. La deuxième partie décrit sa biologie, et en particulier sa croissance et sa reproduction en Manche et mer du Nord. Puis sont étudiées d’une part sa répartition spatiale et d’autre part, ses interactions avec son environnement qui caractérise son habitat. La cinquième partie est une préparation et une analyse de toutes les données françaises en Manche et mer du Nord pour une évaluation de stock.

PARTIE I :

Synthèse bibliographique

I. Historique

Les rougets sont parmi les poissons les plus anciennement connus et appréciés. Les Grecs et les latins ont laissé dans leur littérature des pages célèbres dans lesquelles ils vantent les qualités et les belles couleurs de leurs *Trigles* et de leurs *Mulles*.

Le premier auteur qui ait observé les rougets au point de vue scientifique paraît être Salviani (1554). Cet auteur remarqua le premier qu'il existait différentes « sortes » de rougets qu'il nomma *Mullus major* et *Mullus minor*. Il faudra attendre 1758, avec le traité intitulé «*Systema naturae* » du naturaliste suédois Carl von Linné (1707-1778), pour que les rougets soient différenciés en deux espèces distinctes que sont le rouget barbet de roche *Mullus surmuletus* et le rouget barbet de vase *Mullus barbatus*. Cependant, ce n'est qu'à la fin du XVIII^e siècle que le monde scientifique, dans sa totalité, reconnaît l'existence de ces deux espèces avec des diagnoses précises¹ (Lacépède, 1798).

II. Taxonomie²

II. A. Classification binomiale

Depuis le *Systema naturae* (Linné, 1758), chaque espèce vivante ou fossile est définie par un nom scientifique. Il est toujours en latin³ et donc identique dans tous les pays. Cette classification est dite « binominale » car ce nom scientifique est composé du nom du genre suivi du nom de l'espèce. Le rouget barbet de roche a pour nom scientifique *Mullus surmuletus* -Linné, 1758. Il n'existe qu'une classification mais celle-ci a évolué au cours des siècles et souvent le nom scientifique est suivi d'une parenthèse où se trouvent le nom de l'auteur et la date de publication de la description de l'organisme type.

II. B. Classification hiérarchique

Les espèces sont regroupées de façon hiérarchique en genres, les genres en familles, les familles en ordres, les ordres en classes, les classes en embranchements, et les embranchements en règnes. Cette classification se veut le reflet du degré de parenté entre espèces. Les espèces du même genre sont plus apparentées que les espèces de la même famille. La place du rouget barbet de roche dans cette classification est :

| | |
|-----------------------------|---|
| Règne : | Animal |
| Embranchement: | <i>Chordata</i> (Chordés) |
| Sous-embranchement : | <i>Vertebrata</i> (Vertébrés) |
| Super-classe : | <i>Pisces</i> (Poissons) |
| Classe : | <i>Osteichtii</i> (Osteichtyens ⁴) |
| Sous-classe : | <i>Actinopterygi</i> (Actinoptérigiens ⁵) |
| Infra-classe : | <i>Teleostei</i> (Téléostéens ⁶) |

¹ La Diagnose est l'ensemble des caractères propres à une espèce permettant son identification.

² La taxonomie est la science de la classification.

³ Le nom de l'espèce en latin est toujours en italique avec une majuscule pour le genre.

⁴ Les Osteichtyens sont les poissons osseux qui s'opposent aux poissons cartilagineux (raies et requins).

⁵ Les Actinoptérigiens ont des nageoires soutenues par des rayons articulés et parallèles, membraneux, osseux, pouvant se plier car contrôlés par des muscles.

⁶ Les Téléostéens ont un corps recouvert d'écaillés et une queue homocerque, c'est à dire à peu près symétrique.

| | |
|---------------------|--|
| Ordre : | <i>Percomorphi</i> (Perciformes ⁷) |
| Sous-ordre : | <i>Percodei</i> (Percoidés ⁸) |
| Famille : | <i>Mullidae</i> (Mullidés ⁹) |
| Genre : | <i>Mullus</i> |
| Espèce : | <i>surmuletus</i> |

Cette classification est décrite dans le catalogue des poissons de l'Atlantique Nord-Est et de la Méditerranée (Whitehead *et al.*, 1986).

III. Diagnose

III. 1. Caractéristiques du rouget barbet de roche

Cette espèce est caractérisée par une tête haute et courte avec deux longs barbillons sous le menton. La bouche n'atteint pas le niveau antérieur du bord de l'œil. La mâchoire supérieure est sans dent contrairement à la voûte de la bouche (palatin et vomer¹⁰). Sous l'orbite de l'œil, deux grandes écailles (écailles suborbitaires) sont présentes (Fig.1 : (1)). La première nageoire dorsale montre des points ou rayures foncés (Fig.1 : (2)). La coloration du dos et des flancs va de rougeâtre à rouge écarlate. Trois bandes jaunes horizontales sont visibles au niveau inférieur des flancs (Fig. 1 : (3) et Fig. 2) (Fage, 1909 ; Desbrosses, 1935 et 1936 ; Bougis, 1952 ; Quéro 1984 ; Hureau, 1986 ; Bauchot, 1987 ; Quéro & Vayne, 1997).

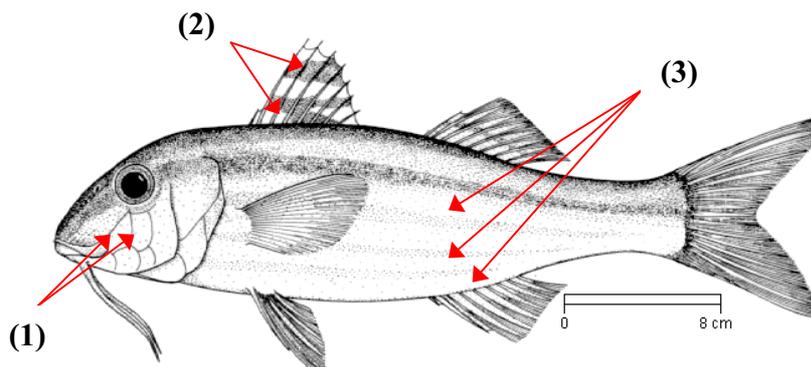


Figure 1 : Schéma d'un rouget barbet de roche (Bauchot, 1987).

⁷ Les Perciformes ou perches de mer ont des rayons épineux.

⁸ Les Percoidés ont des nageoires pelviennes développées.

⁹ Les Mullidés ont de longs barbillons mentonniers.

¹⁰ Le palatin et le vomer sont respectivement l'os latéral et l'os médian de la voûte du palais portant souvent les dents.



Figure 2 : Photographie d'un rouget barbet de roche (Lousy, 2002).

III. 2. Différences avec le rouget barbet de vase *Mullus barbatus* (Linné, 1758)

Il ne faut pas confondre le rouget barbet de roche (*Mullus surmuletus*) avec le rouget barbet de vase (*Mullus barbatus*), qui depuis les travaux de Lacépède (1798) de Couch (1864) et de Fage (1909) sont bien différenciés. En effet, certains auteurs déclaraient que ces deux espèces distinctives n'étaient qu'une seule et même espèce (Brünnich, 1768), ou que le *Mullus surmuletus* était la femelle de *Mullus barbatus* (Gronovius, 1780).

Les études réalisées par Cammarata *et al.* (1991) et Vitturi *et al.* (1992) montrent que les deux espèces sont génétiquement proches. Il existe trois critères principaux de différenciation entre ces deux espèces (Mamuris *et al.*, 1998) : chez *Mullus barbatus*, le profil antérieur de la tête est presque vertical (Fig.3 (1)), avec absence de bandes jaunes sur les flancs (Fig.3 (2) et Fig.4) et de points ou rayures foncés sur la première nageoire dorsale (Fig. 3 (3)) et présence de 3 écailles sous l'œil (Fig.3 (4)) (Fage, 1909 ; Quéro 1984 ; Hureau, 1986 ; Bauchot, 1987 ; Quéro & Vayne, 1997).

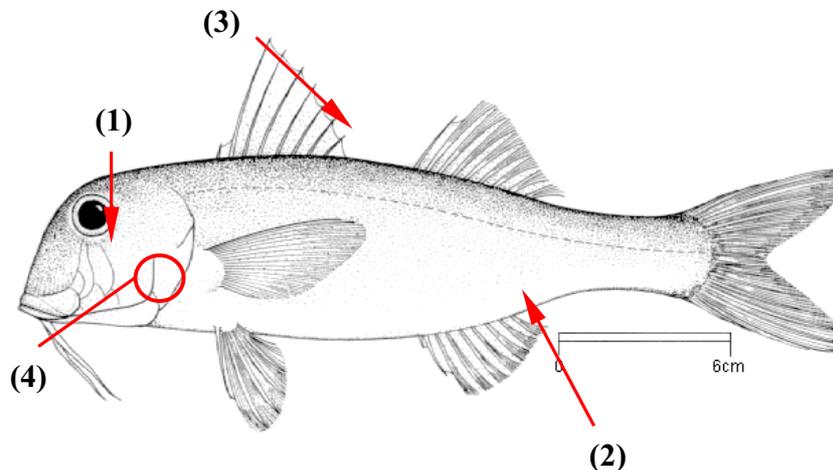


Figure 3 : Schéma d'un Rouget Barbet de vase (Bauchot, 1987).



Figure 4 : Photographie d'un rouget barbet de vase (Eschmeyer, 2001).

IV. Dénomination

Le nom scientifique permet de reconnaître l'espèce. Cependant, il n'est utilisé que par la communauté scientifique. Ainsi, il y a un nom vernaculaire voire plusieurs selon les pays pour son appellation usuelle. Le rouget barbet de roche¹¹ est un des noms vernaculaires français mais il en existe d'autres :

- France : Rouget de roche, Rouget-barbet, Barbarin (Boulogne-sur-mer)
- Allemagne : Meerbarbe, Streifenbarbe
- Danemark : Stribet mulle
- Espagne : Moll de roca, Red mullet, Roger, Salmonete¹¹, Salmonete de roca
- Norvège : Mulle
- Pays-Bas : Koning van de poon, Mul
- Royaume-Uni : Red mullet, Striped red mullet, Surmullet¹¹

V. Répartition spatiale

Le rouget barbet de roche est rencontré le long des côtes européennes (Fig. 5) depuis le sud de la Norvège (Wheeler, 1978) et le nord de l'Ecosse (Gordon, 1981) incluant les îles Féroé (Blacker, 1977) jusqu'au détroit de Gibraltar, mais également dans la partie nord de l'Afrique de l'Ouest, dans le bassin méditerranéen et en mer Noire (Fage, 1909 ; Quéro 1984 ; Hureau, 1986 ; Bauchot, 1987 ; Quéro & Vayne, 1997). Il serait peu fréquent en Norvège, en Irlande, sur les côtes nord de l'Angleterre et ouest de l'Ecosse (Pethon, 1979 ; Minchin & Molloy, 1980 ; Davis & Edward, 1988 ; Gibson & Robb, 1997).

¹¹ Ce sont les noms utilisés par la FAO (Food and Agriculture Organization).

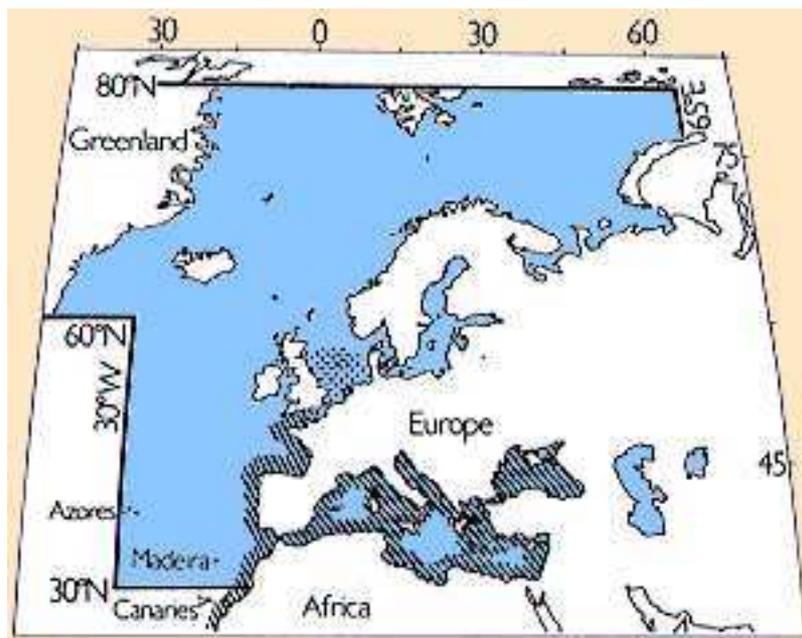


Figure 5 : Carte de répartition du rouget barbet de roche (Whitehead *et al.*, 1986).

En Manche, de fortes concentrations de ce poisson ont été observées dans la fosse centrale de la Manche occidentale durant l'hiver, par l'analyse des débarquements commerciaux britanniques (Dunn, 1999 ; Delpech & Coppin *in Forest*, 2001). Les résultats des campagnes scientifiques CGFS (Channel Ground Fish Survey), réalisées chaque année par l'Ifremer en Manche orientale depuis 1988, ont montré que les jeunes individus se rencontrent près des côtes, alors que les adultes se situent plus au large dans la partie orientale (Carpentier & Coppin, 1999 ; Delpech & Coppin *in Forest*, 2001). Enfin, des nourriceries seraient signalées en baie de Saint-Brieuc et sur les côtes malouines (Morizur *et al.*, 1996).

Le rouget barbet de roche est un poisson benthique¹² (Fig. 2) et de nature grégaire¹³. Cette espèce fréquente les fonds sableux, graveleux et rocheux (Hureau, 1986 ; Lombarte & Aguirre, 1997 ; Quéro & Vayne, 1997). Dans le golfe de Gascogne, ce poisson serait également présent sur des fonds coquilliers, dans les herbiers de zostères et les chenaux rocheux (Quéro & Vayne, 1997).

Son maximum d'abondance se situe dans des eaux ayant une profondeur n'excédant pas 100 mètres (Hureau, 1986 ; Tsimenides *et al.*, 1991 ; Lombarte & Aguirre, 1997 ; Quéro & Vayne, 1997). Cependant, des grands individus ont déjà été observés sur le talus continental, dans le golfe de Gascogne, entre 200 et 400 mètres de profondeur (Quéro & Vayne, 1997). Desbrosses (1933) a constaté que dans le golfe de Gascogne, la distribution bathymétrique dépendrait plus de la taille du poisson que de son âge. Machias *et al.* (1998) ont montré qu'il y avait une relation positive significative pour les quatre saisons entre la bathymétrie et la longueur totale des rougets barbets.

¹² Un animal est dit benthique lorsque celui-ci vit sur le fond ou à proximité.

¹³ Un poisson est dit grégaire lorsque celui-ci vit à proximité de ses congénères (vivant en bancs).

VI. Cycle de vie

VI. 1. Vie pélagique¹⁴

Une femelle pondrait entre 10 000 et 44 000 œufs (N'Da & Deniel, 1993). Les œufs de petite taille, entre 0,80 et 0,95 mm de diamètre, sont pélagiques (Meek, 1916 ; Wirszubski, 1953 ; Jones, 1972 ; Quéro & Vayne, 1997). Heincke et Ehrenbaum (1900) ont observé en mer du Nord, sur les côtes allemandes, près de l'île de Helgoland, du 23 au 28 juin 1899, des œufs de rougets barbets. La période de ponte en mer du Nord se ferait en juin et juillet (Heincke & Ehrenbaum) alors qu'en Manche, au large de Plymouth, elle se déroulerait de mai à juillet (Clark, 1920). L'incubation se déroulerait normalement dans des eaux de 9°C à 18°C et l'éclosion interviendrait vers 8 jours à 9°C et vers 3 jours à 18°C. A 19°C, 4 jours après l'éclosion, la larve mesurant entre 2 et 8 mm (Meek, 1916), pélagique comme l'œuf, présente une coloration bleue sur le dos et grise sur le ventre (Raffaele, 1888 ; Heincke & Ehrenbaum, 1900 ; Russel, 1976). A ce stade, la larve a consommé toutes ses réserves vitellines et la bouche s'est ouverte. Puis, elle arrive à la côte dès le mois d'août pour le Golfe de Gascogne et vers septembre-octobre en Méditerranée.

Les descriptions des œufs et des larves récoltés en milieu naturel sont réalisées essentiellement par Raffaele (1888), Holt (1899), Lo Bianco (1908), Montalenti (1937), Aboussouan (1964), Russel (1976), Halbeisen (1988) et N'Da (1992), et en laboratoire par Menu et Girin (1979) et Devauchelle (1980) et (Suquet & Person-Le Ruyet, 2001). Les essais de reproduction du rouget barbet en captivité réalisés à l'Ifremer de Brest (Suquet & Person-Le Ruyet, 2001) ne montrent pas de difficultés majeurs. En laboratoire, la croissance des larves a pu être suivie (Menu, 1977). Ainsi, une larve de 20 jours mesure en moyenne 5.71mm (Menu, 1977). Les principaux stades du développement larvaire du rouget barbet de roche sont illustrés en Figure 6.

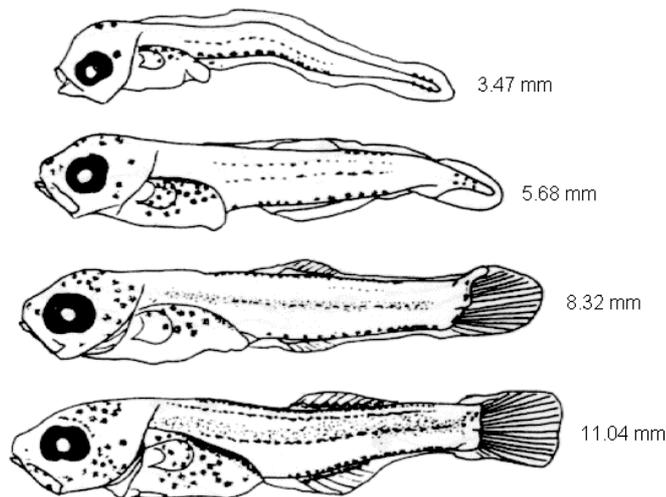


Figure 6 : Schéma des stades larvaires du rouget barbet de roche (Halbeisen, 1988).

Ce stade pélagique transitoire à liséré bleu est sans doute un trait général dans la famille des Mullidés (Bougis, 1952). Parr (1930) a décrit ce phénomène chez le barbarai rouge (*Upeneus maculatus* ; Bloch, 1793) qui est un Mullidé des Bahamas.

¹⁴ Un animal est dit pélagique lorsque celui-ci vit entre deux eaux.

VI. 2. Vie benthique

Le passage de la vie pélagique à la vie benthique s'accompagne d'une transformation pigmentaire avec une perte de cette coloration bleue (Fig. 7) pour prendre la coloration de l'adulte et les deux barbillons apparaissent (Meek, 1916 ; Bougis, 1952 ; N'Da, 1992 ; Quéro & Vayne, 1997).



Figure 7 : Photographie de juvéniles de rouget barbet de roche dans le Golfe du Lion (Louisy, 2002).

Les juvéniles commencent leur vie benthique près de la côte depuis des profondeurs de 15 à 20 mètres, jusqu'à l'extrême bord car, par mer calme, ils ont déjà été observés par moins de 50 centimètres d'eau (Bougis, 1952). Dans le golfe de Gascogne, les juvéniles qui commencent à fréquenter le fond, mesurent entre 4,5 et 5,5 cm pour un poids compris entre 0,9 et 1,6g. (N'Da, 1992) confirmant les résultats de Desbrosses (1933). Au premier hiver, les juvéniles migrent de leurs zones de nurseries vers des eaux plus profondes où ils passeront leur vie d'adulte (Lo Bianco, 1909 ; Desbrosses, 1935 ; Bougis, 1952).

VII. Croissance

La croissance du rouget barbet en Manche et mer du Nord n'est pas connue. Des études antérieures réalisées dans l'Atlantique Nord-Est montrent que pour un âge donné, la femelle est plus lourde et plus grande que le mâle (Desbrosses, 1935 ; Bougis, 1952 ; Hashem, 1973 ; Gharbi & Ktari, 1979 ; Andaloro & Giarritta, 1985, N'Da, 1992 ; Reñones *et al*, 1995). La Figure 8 montre les courbes de croissance en longueur (Fig.7 A.) et en poids (Fig.7 B.) obtenues par N'Da (1992) dans le nord du golfe de Gascogne.

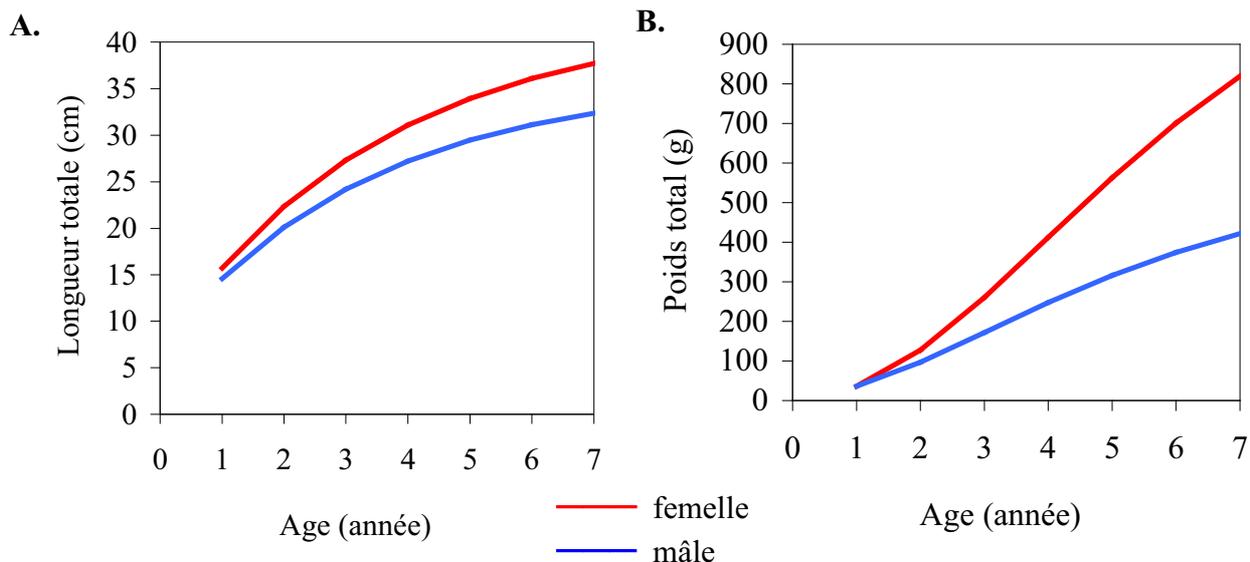


Figure 7 : Courbes de croissance des rougets barbets de roche en longueur (A) et en poids (B) dans le nord du golfe de Gascogne (N'Da, 1992).

La croissance est rapide durant les 2 premières années et relativement similaire entre les deux sexes. N'Da (1992) a observé dans le golfe de Gascogne qu'un jeune rouget barbet entre juillet et septembre, si les conditions climatiques et trophiques sont favorables, peut voir sa longueur totale tripler en 3 mois. Dès l'âge de 3 ans, la différence de croissance s'accroît jusqu'à 5 ans où elle se stabilise avec en moyenne des femelles qui mesurent 6 cm de plus que les mâles (N'Da, 1992). En Atlantique Nord-Est, Dunn (1999) a calculé à partir des données de Desbrosses (1933) une taille maximale de 37,6 cm pour les femelles et de 32,0 cm pour les mâles. En Méditerranée, Machias *et al.* (1998) ont estimé la longueur maximale 35,4 cm sans avoir distingué les mâles des femelles. Enfin, Desbrosses (1933) a estimé l'âge maximum à 11 ans.

VIII. Reproduction

En Méditerranée, Gharbi & Ktari (1981) et Reñones *et al* (1995) ont étudié l'âge de première maturité sexuelle. Ces études ont montré des résultats similaires avec 15 cm pour les mâles et 17 cm pour les femelles. De plus, à partir de 19 cm, tous les rougets barbets de roche sont matures. Dans l'océan Atlantique Nord-Est, Desbrosses (1935) a obtenu des résultats légèrement supérieurs avec un âge de première maturité sexuelle qui se situe à 16,5 cm et 18 cm respectivement pour les mâles et les femelles.

Le rouget barbet de roche pond à la fin du printemps. La période de ponte est comprise entre le mois d'avril et le mois de juillet (Tab. 1). En Atlantique, les pics de pontes sont observés au mois de juin.

| Auteurs | Période ponte | Zone d'étude |
|-----------------------|---------------|------------------------|
| Desbrosses (1935) | mai-juin | Atlantique Nord-Est |
| Poll (1947) | mai-juillet | Mer du Nord |
| Bougis (1952) | mai-juin | Méditerranée (France) |
| Lalami (1971) | mai-juillet | Méditerranée (Algérie) |
| Hashem (1973) | avril-mai | Méditerranée (Egypte) |
| Gharbi & Ktari (1981) | avril-juin | Méditerranée (Tunisie) |
| N'Da (1992) | mai-juin | Golfe de Gascogne |
| Dunn (1999) | mai-juillet | Manche ouest |

Tableau 1 : Périodes de ponte du rouget barbet de roche sur différentes zones de son aire de répartition géographique.

IX. Alimentation

Le rouget barbet de roche est un poisson carnivore (Labropoulou & Eleftheriou, 1997) et euryphage¹⁵ dont les proies principales sont endogées¹⁶ ou épigées¹⁷.

Les larves sont planctophages¹⁸. Les jeunes, inférieurs à 8 cm, n'ont pas un comportement très éloigné de celui des larves car leur nourriture est essentiellement composée de copépodes calanoïdes et de mysidacés soit des proies pélagiques (Wirszubski, 1953 ; N'Da, 1992). Des rougets barbets de 5 cm se nourrissent entre 8h et 23h avec un pic constaté de 12h à 20h (La Rosa *et al.*, 1997). Les juvéniles qui ont migré vers le fond, se nourrissent préférentiellement de petits invertébrés benthiques (crustacés, mollusques bivalves, échinodermes, céphalopodes, annélides polychètes¹⁹) et de quelques petits poissons (gobies, blennies, callionymes, ...) (Fage, 1909 ; Bougis, 1952 ; Sorbe, 1972 ; Bauchot, 1978 ; Quiniou, 1978 ; Gharbi & Ktari, 1979 ; Quéro 1984 ; Golani & Galil, 1991 ; N'Da, 1992 ; Golani, 1994 ; Labropoulou *et al.*, 1997 ; Lombarte & Aguirre, 1997 ; Quéro & Vayne, 1997 ; Machias & Labropoulou, 2002). Les crustacés sont les proies dominantes dans l'alimentation des rougets barbets de roche jusqu'à 16 cm (Sorbe, 1972 ; Labropoulou *et al.*, 1997). Les annélides polychètes sont trouvés en plus grand nombre dans les contenus stomacaux des adultes que chez les jeunes individus (N'Da, 1992). Les rougets barbets de roche en grandissant fouilleraient de plus en plus le sédiment avec leurs barbillons mentonniers (Fig. 8 ; N'Da, 1992 ; McCormick, 1995 ; Quéro & Vayne, 1997).

¹⁵ Un animal est dit euryphage quand il peut changer aisément de régime alimentaire.

¹⁶ Une proie est dite endogée, lorsqu'elle vit dans le sol.

¹⁷ Une proie est dite épigée, lorsqu'elle vit à la surface du sol.

¹⁸ Un animal est dit planctophage lorsqu'il se nourrit de plancton, c'est à dire des organismes pélagiques qui se laissent porter par le courant.

¹⁹ Les annélides polychètes sont des vers annelés possédant des soies.

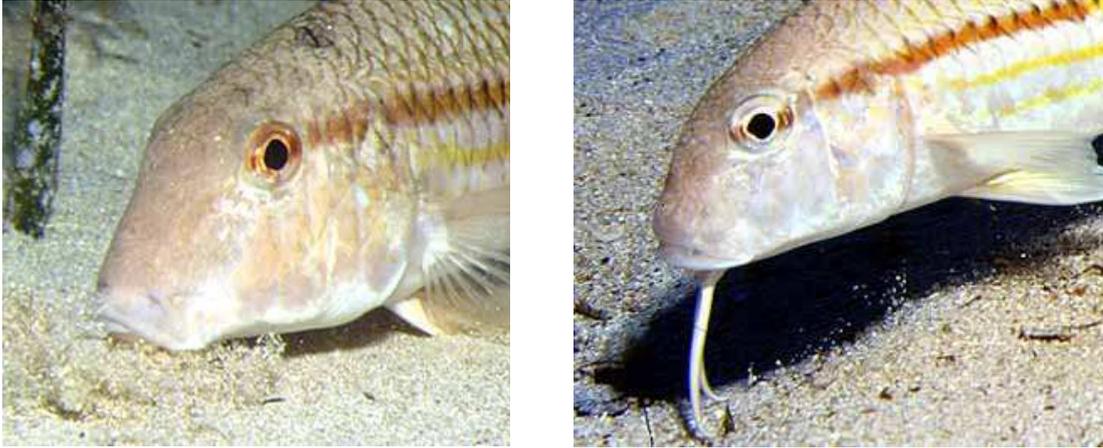


Figure 8 : Photographie des barbillons mentonniers du rouget barbet de roche (Eschmeyer, 2001).

En effet, ces derniers, organes à la fois tactiles et gustatifs, participent activement à la recherche de proies (Roule & Verrier, 1927). Davis et Miller (1967) lient le développement des barbillons à un mécanisme compensatoire de recherche de nourriture dans des milieux présentant une mauvaise visibilité. Cette particularité anatomique donne au rouget barbet de roche, un comportement de prédation mixte : chasseur à vue (crustacés et poissons), brouteur et fouisseur (bivalves et vers). Enfin, la muqueuse de la bouche serait pourvue de bourgeons gustatifs semblables aux barbillons de l'animal, et permettrait un tri sélectif des proies au niveau de la cavité buccale (N'Da, 1992). La présence de sédiments dans les estomacs et la nature des proies ingérées montreraient l'étroite liaison entre l'animal et le fond (Dauvin, 1988).

PARTIE II :
Etude de la biologie

Introduction

Lorsqu'une espèce est étudiée, la première étape est de connaître son cycle de vie. La synthèse bibliographique montre que cette espèce a été étudiée principalement en mer Méditerranée et en océan Atlantique particulièrement dans le golfe de Gascogne. A l'inverse, la biologie de cette espèce en Manche et mer du Nord est très peu connue. Ce chapitre présente une analyse de la croissance, de la reproduction et de l'état de condition du rouget barbet dans ce secteur géographique. Ces données sont essentielles d'une part pour comprendre la répartition de cette espèce et définir les conditions environnementales les plus favorables à son installation et d'autre part pour réaliser une pré-évaluation du stock de rouget barbet dans cette zone.

I. Prélèvements

Des prélèvements mensuels de rougets de différentes tailles ont été effectués à la criée de Boulogne sur mer de février 2004 à mai 2005 (Tab. 2).

| année | mois | jour | nombre de poissons |
|----------|-----------|------|--------------------|
| 2004 | février | 5 | 40 |
| | | 20 | 20 |
| | mars | 5 | 110 |
| | avril | 2 | 98 |
| | mai | 7 | 59 |
| | juin | 11 | 125 |
| | juillet | 2 | 99 |
| | août | 6 | 105 |
| | septembre | 3 | 120 |
| | octobre | 13 | 51 |
| | | 27 | 50 |
| | novembre | 24 | 78 |
| décembre | 10 | 146 | |
| 2005 | janvier | 29 | 129 |
| | avril | 15 | 124 |
| | mai | 20 | 47 |

Tableau 2 : Nombre de poissons échantillonnés à la criée de Boulogne sur mer.

1401 individus ont été analysés. Pour chaque poisson, lorsque cela était possible, les mesures suivantes ont été effectuées :

- Lt (mm) : longueur totale
- Ls (mm) : longueur standard²⁰
- W (g) : le poids total
- Wgonade (g) : le poids des gonades²¹
- Le sexe

²⁰ La longueur standard est la mesure de l'extrémité du museau jusqu'à l'insertion de la nageoire caudale c'est à dire la longueur totale à laquelle est soustraite la longueur de la queue.

²¹ Les gonades sont les appareils reproducteurs formés par les ovaires pour les femelles et par les testicules pour les mâles.

- Le stade de maturité sexuelle
- Prélèvements des otolithes et de quelques écailles

II. Traitements Statistiques

Les traitements statistiques sont utilisés pour pouvoir comparer les échantillons entre eux. Lorsque deux ou plusieurs échantillons de rougets sont comparés par rapport à leurs longueurs ou poids, les statistiques permettent de quantifier les différences qui peuvent exister entre ces échantillons. Dans un échantillon global, il est possible de tester statistiquement l'influence d'un paramètre sur une variable. Les paramètres peuvent être le sexe ou l'âge du poisson, la saisonnalité... Les variables peuvent être l'âge, le poids, la taille du poisson mais aussi des indices calculés à partir de ces mesures. Il est possible de tester une relation entre deux variables²² en séparant l'échantillon global en plusieurs sous-échantillons. Pour analyser la relation entre deux variables, il est nécessaire d'utiliser un résidu normalisé²³ selon la formule suivante :

$$\text{Résidu} = \frac{X_{th} - X_{obs}}{X_{th}}$$

- { X_{th} : la variable obtenue par le calcul de la relation effectuée sur l'échantillon global
- { X_{obs} : la variable mesurée pour chaque individu

Ainsi, chaque sous-échantillon est formé de n individus donc de n données (variable ou résidu). Pour chaque sous-échantillon, on vérifie premièrement la normalité de la distribution des données, soit au moyen d'un test de Kolmogorov-Smirnov, soit d'une manière graphique. Puis, selon les cas, il est nécessaire de tester l'égalité des variances²⁴ au moyen du test de Bartlett ou d'une manière graphique. Si les données sont distribuées normalement, on applique l'ANOVA (Analyse de variance) qui est un test paramétrique pour comparer les moyennes de chacun de ces sous-échantillons. En revanche, si les données ne sont pas distribuées normalement, on doit appliquer un test de Kruskal-Wallis non-paramétrique.

L'Anova et le test de Kruskal-Wallis permettent de comparer l'hétérogénéité²⁵ de plusieurs sous échantillons. Si l'hétérogénéité est avérée, un test de comparaison multiple (test non paramétrique : Student-Newman-Keuls ; test paramétrique : Least Significant Difference) est utilisé. Ce test cherche à vérifier si les données de deux sous-échantillons classés par ordre croissant occupent des positions équivalentes dans ce classement. Si c'est le cas, les distributions sont similaires.

²² Les relations analysées dans cette étude sont les relations taille/poids et taille/âge.

²³ La normalisation du résidu permet de comparer des données très éloignées sur l'échelle d'une variable (exemple des poissons de 2 et 30 cm).

²⁴ La variance d'une série statistique, notée v est la moyenne des carrés des écarts à la moyenne.

²⁵ L'hétérogénéité signifie qu'il existe une différence statistiquement significative entre les sous échantillons.

Ces analyses statistiques peuvent être illustrées à l'aide de graphiques appelés boîtes de Tukey (Box-Plot ou diagramme en boîte, Tukey, 1977). Ces graphiques donnent la valeur centrale ou médiane et la dispersion des données (Fig. 9)

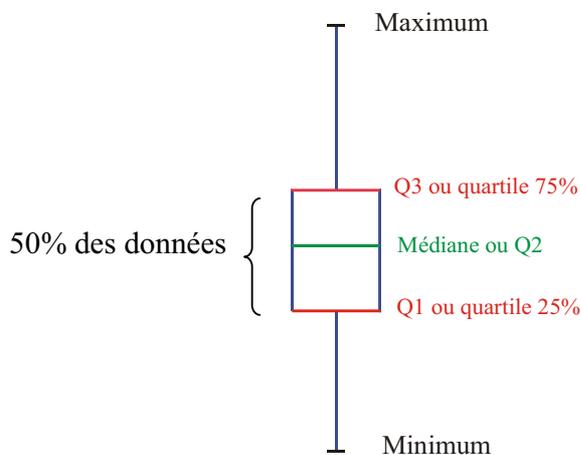


Figure 9 : Diagramme en boîte ou box-plot (Tukey, 1977).

Les box-plots sont présentés avec une lettre. La présence d'une lettre commune entre deux ou plusieurs sous-échantillons signifie que les sous-échantillons ne sont pas significativement différents au seuil de 5% ($P=0,05$).

III. Biométrie

III. 1. Relation Longueur totale/Longueur standard

Les mensurations sont effectuées généralement à partir de la longueur totale (Lt) ou de la longueur standard (Ls). La relation entre les deux types de mesures pour le rouget barbet montre que les deux longueurs sont fortement corrélées et suivent une relation linéaire (Fig. 10).

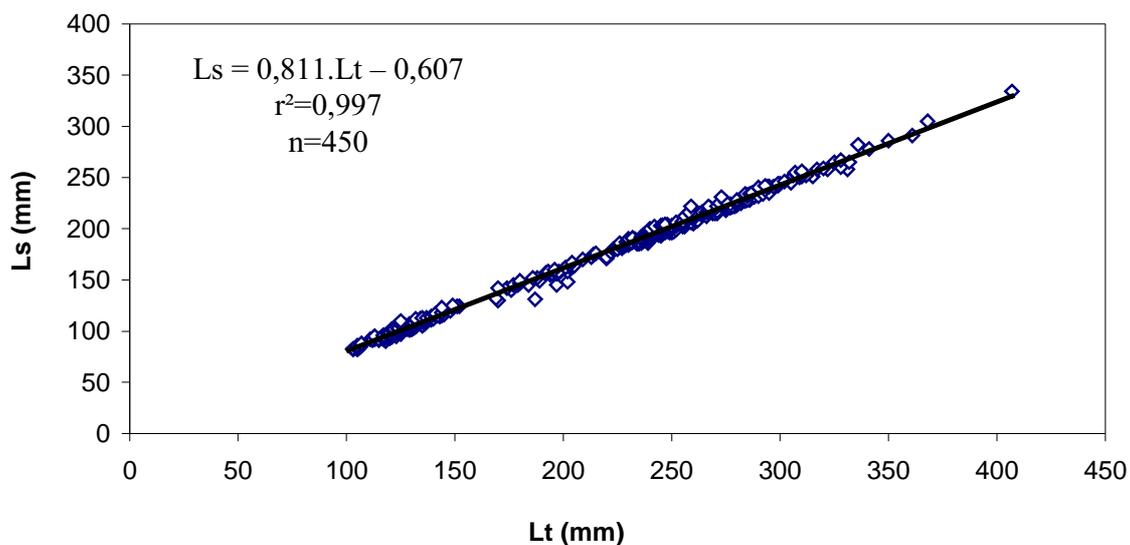


Figure 10 : Relation entre Lt et Ls avec le coefficient de corrélation ²⁶(r²) et le nombre d'individus (n).

III. 2. Relation Taille/Poids totale

Pendant toute la vie du poisson, sa longueur et son poids sont fortement corrélés. La relation entre la taille et le poids d'un poisson se traduit par la formule de type :

$$W = a \cdot Lt^b$$

- W : poids frais du poisson (g)
- Lt : longueur totale (mm)
- a : constante
- b : coefficient d'allométrie²⁷

Le coefficient b est caractéristique de l'espèce et de la phase de développement (Mayrat, 1970). Il est isométrique²⁸ c'est à dire égal à 3 ou alors il présente une allométrie soit minorante (b<3), soit majorante (b>3) (Teissier, 1948).

Pour augmenter la précision de cette relation, il est nécessaire de recueillir un nombre suffisant de données expérimentales. Les 1401 données récoltées à partir des échantillons obtenus à la criée de Boulogne sur mer sont complétées par des données acquises lors de la campagne scientifique en Manche orientale (CGFS) en octobre 2001, 2002, 2003 (Fig. 11, Annexe 1).

²⁶ Coefficient de corrélation : Plus il est proche de 1, plus les deux paramètres sont corrélés.

²⁷ Allométrie : croissance d'un individu, d'un organe, par rapport à la croissance totale et de type non proportionnel.

²⁸ Isométrique : les gains de poids et de longueur sont proportionnels.

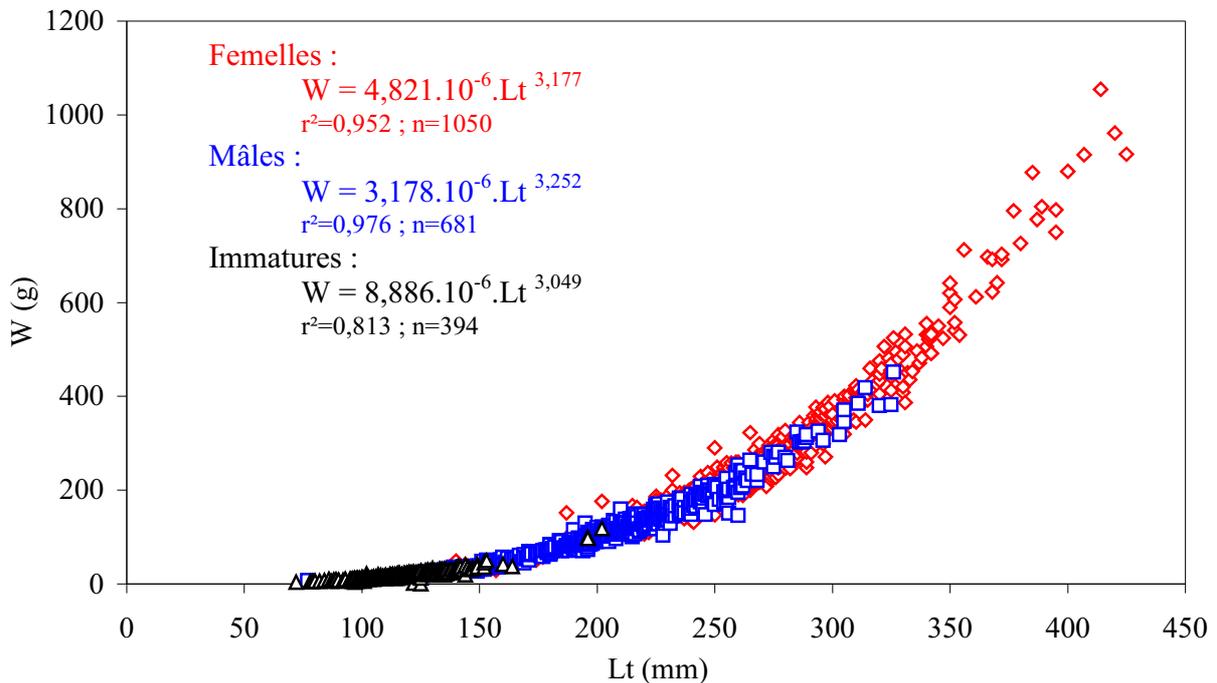


Figure 11 : Relation taille/poids selon le sexe pour la totalité de l'échantillon.

La relation taille/poids comprenant la totalité de l'échantillon, soit 2127 individus, est la suivante :

$$W = 4,754.10^{-6} . Lt^{3,178} \text{ avec } r^2=0,973$$

Le coefficient de corrélation étant proche de 1, le poids est donc fortement corrélé à la taille. Le coefficient d'allométrie de 3,178 indique une allométrie majorante. De ce fait, le rouget barbet présente une croissance pondérale supérieure à sa croissance en taille. Ceci se vérifie pour les immatures, les femelles et les mâles pris indépendamment (Fig. 10). Cependant, au début de sa vie, le rouget barbet a des croissances en taille et en poids presque proportionnelles ($b=3,050$, Fig. 10). Enfin, pour une taille donnée, les femelles sont plus lourdes que les mâles. Ceci corrobore les études antérieures (Fage, 1909 ; Desbrosses, 1935 ; Bougis, 1952 ; Andaloro & Giarritta, 1985).

III. 3. Influence de la saisonnalité et du sexe

Il est possible de séparer l'échantillon total ($n= 2127$ individus) par trimestre. En 2001, 2002 et 2003, les données ont été acquises durant la campagne scientifique effectuée chaque année en Manche orientale alors que les mesures de 2004 et 2005 ont été effectuées sous la criée de Boulogne sur mer. L'analyse par trimestre montre qu'il y a des différences significatives d'une part entre les trimestres d'une même année et d'autre part entre les années pour un même trimestre (Fig. 12, Annexe 2). Le facteur année ne montre pas de tendance observable. A l'inverse, le facteur trimestre montre une diminution significative au seuil de 5%, au cours de

l'année du résidu qui s'explique par des individus plus lourds à une taille donnée, en fin d'année qu'en début d'année.

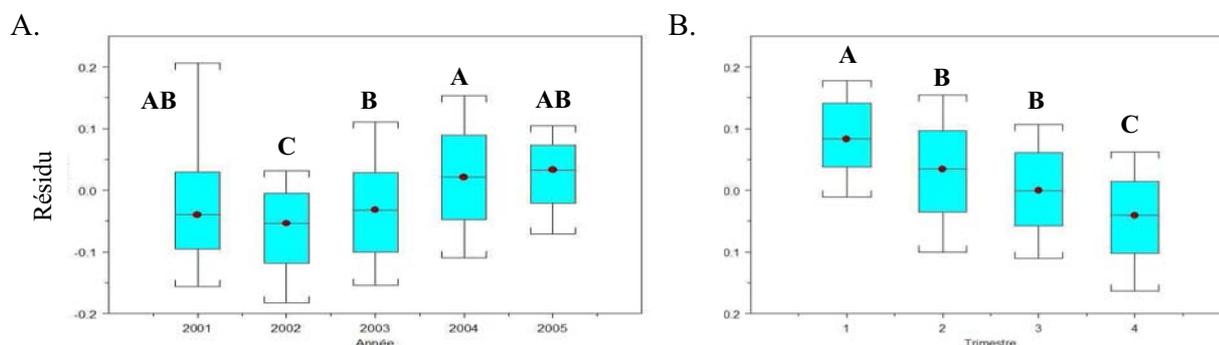


Figure 12 : Résidus des relations taille/poids par année (A) et par trimestre (B).

De même, l'analyse des relations taille/poids selon le sexe montre des différences significatives entre d'une part, les mâles et d'autres part, les femelles et les immatures (Fig. 13 ; Annexe 2). Les femelles et les immatures grossissent plus que les mâles. Ainsi, pour une taille donnée, un individu mature du sexe masculin est moins lourd qu'une femelle.

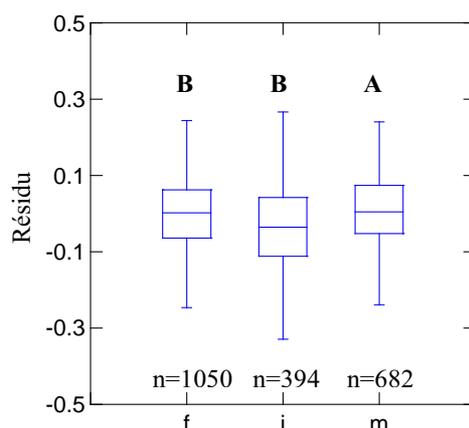


Figure 13 : Résidus des relations taille/poids par sexe (f : femelle ; i : immature ; m : mâle).

IV. Croissance

IV. 1. Introduction

L'estimation de l'âge et de la croissance est indispensable à l'étude de la biologie et de la dynamique des populations de poissons (Daget & Le Guen, 1975a, 1975b ; Laurec & Le Guen, 1981 ; Meunier, 1988). L'étude de la croissance chez les poissons téléostéens peut être réalisée selon trois approches différentes :

- l'étude des données de fréquence de tailles
- l'examen des pièces calcifiées
- les mesures directes par les techniques de marquage

L'examen des pièces calcifiées est la méthode la plus utilisée. Les pièces calcifiées peuvent potentiellement grandir pendant toute la vie du poisson et se comportent comme des enregistreurs permanents dont la définition varie d'une pièce à l'autre en fonction de son processus spécifique de biominéralisation et de son rôle fonctionnel propre. Trois principaux types de pièces se sont avérés porteurs d'information : la scalimétrie, qui traite des écailles, l'otolithométrie, des otolithes et la squelettochronologie, des os (Fig. 14).

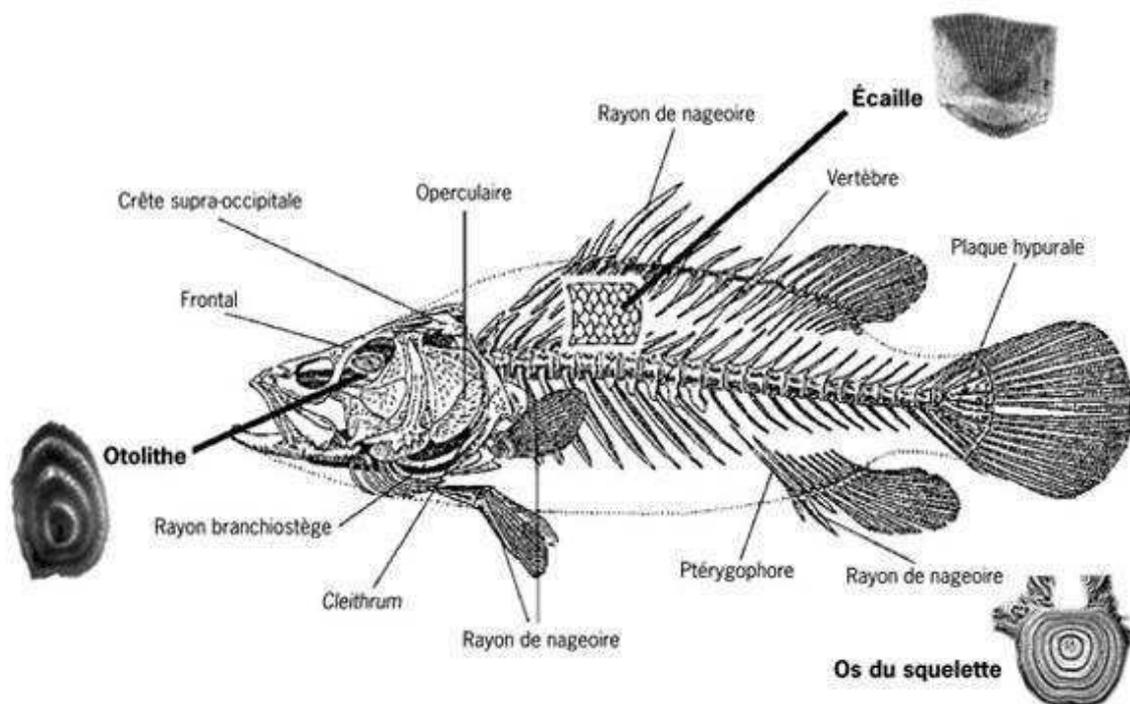


Figure 14 : Les différentes pièces calcifiées utilisées pour l'étude de la croissance (in Panfili *et al.*, 2002).

Leeuwenhoek (1696), puis Réaumur (1716) ont été les premiers à émettre l'hypothèse que les crêtes concentriques de la surface des écailles correspondaient aux différentes étapes de la croissance du poisson. Étant donné la difficulté d'analyser les écailles chez certaines espèces ou l'absence de celles-ci chez d'autres espèces, les scientifiques se sont orientés vers d'autres pièces calcifiées. Ainsi, l'analyse des otolithes s'est développée à la fin du XIX^e siècle à partir des travaux de Reibisch (1899).

Chez le rouget barbet de roche, la croissance a été étudiée à partir des écailles (Desbrosses, 1935 ; Bougis, 1952, Hashem, 1973a, 1973b ; Gharbi, 1980) et des otolithes (Wirszubski, 1953 ; Haidar, 1970 ; N'Da, 1992 ; Jabeur, 1999). Selon les auteurs, l'estimation de

l'âge semble plus facile et plus fiable en utilisant les écailles pour les uns et les otolithes pour les autres. Dans cette étude, nous avons déterminé les paramètres de croissance à partir des otolithes mais aussi réalisé une étude comparative de la lecture de l'âge à partir des otolithes et des écailles.

IV. 2. Description et fonction des pièces calcifiées

IV. 2. A) Les otolithes

Un otolithe, du grec *otos* - oreille et *lithos* - pierre, est une concrétion calcaire présente dans l'oreille interne des poissons osseux. En effet, les Sélaciens, ou poissons cartilagineux, comme les raies et les requins, en sont dépourvus. Les otolithes sont des récepteurs entrant dans les processus acoustiques et dans la perception spatiale du poisson (Schuijf, 1981 ; Fay, 1984 ; Gauldie, 1988 ; Rogers & Cox, 1988 ; Aguirre & Lombarte, 1999). Chaque poisson possède 3 paires d'otolithes : les *lapilli*, les *astericus* et les *sagittae* (Fig. 15).

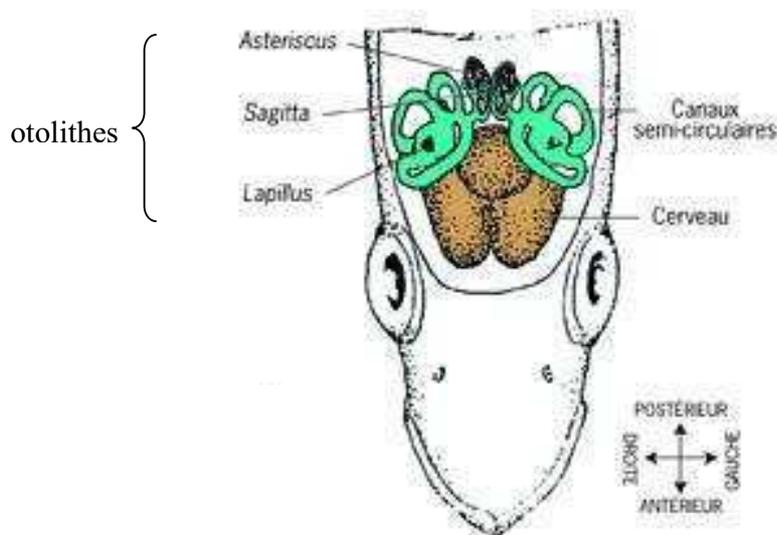


Figure 15 : Position des otolithes à l'intérieur de l'oreille interne des poissons téléostéens (in Panfili *et al.*, 2002).

Les otolithes sont spécifiques à chaque espèce et chez un individu, les trois paires d'otolithes sont différentes de par leur morphologie et leur taille. Pour l'estimation de l'âge, les *sagittae* sont souvent utilisées, car elles sont généralement les plus grandes. La *sagitta* de chaque espèce a une forme et un taux de croissance propres qui la caractérisent (Platt & Popper, 1981 ; Nolf, 1985 ; Wilson, 1985 ; Aguirre & Lombarte, 1999). Elle est composée essentiellement de carbonate de calcium et des zones différentes de calcification sont observables. En effet, le taux de calcium disponible dans le milieu marin influe sur la formation des cristaux calciques, plus importante en période estivale en raison d'une nourriture plus abondante et riche en calcium qui accélère les dépôts cristallins ainsi que la croissance de l'individu.

Durant les saisons automnale et hivernale, le faible apport de cristaux entraîne la formation d'une couche translucide contenant principalement du matériau organique lui donnant

un aspect hyalin²⁹. Cette couche est appelée « zone de croissance lente » (ZCL). A partir du printemps, de nombreux cristaux de carbonate de calcium viennent se déposer et créent une zone blanche opaque, nommée « zone de croissance rapide » (ZCR), et se poursuivra durant l'été. Chaque année apparaissent donc deux zones de croissance distinctes, ce qui permet l'estimation de l'âge du poisson en comptant, par convention, les ZCL (Fig. 16 ; Baillon, 1991 ; Ombredane & Baglinière, 1991 ; Carpentier & Coppin, 1999 ; Panfili *et al.*, 2002).

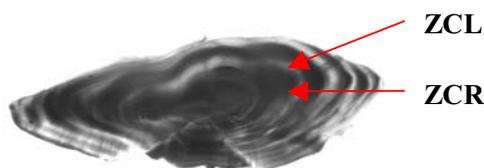


Figure 16 : Photographie d'une coupe d'otolithe de merlan, observée sous loupe binoculaire en lumière transmise, illustrant l'alternance des zones de croissance rapide (ZCR) et des zones de croissance lente (ZCL).

IV. 2. B) Les écailles

Les écailles font partie du squelette superficiel des poissons. Il en existe trois grands types : les écailles placoïdes, rhomboïdes et élasmoïdes (Ombredane & Baglinière, 1991). Les écailles élasmoïdes s'observent les téléostéens (comme le rouget barbet). Elles sont de deux sortes : cycloïdes, ovales ou rondes, aux bords lisses, et cténoïdes, propres aux formes évoluées, pourvues de rangées de spinules ou *ctenii* sur la partie postérieure (Fig. 17).

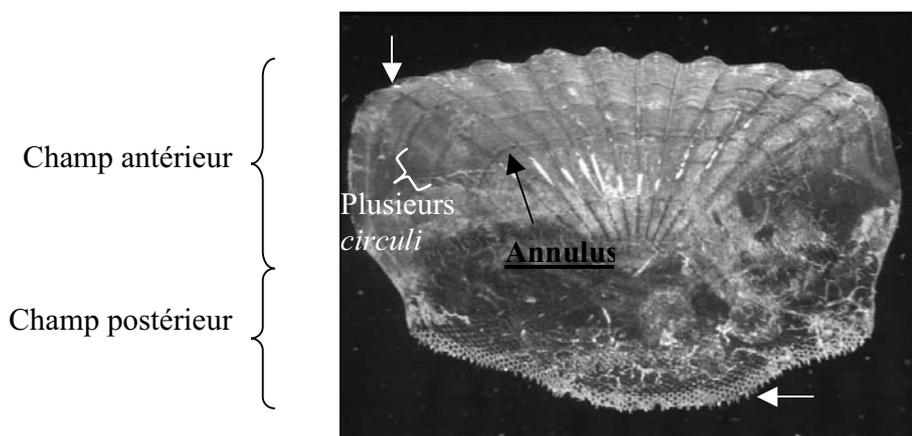


Figure 17 : Photographie d'écaille cténoïde de grisét.

Les écailles élasmoïdes sont en nombre constant durant toute la vie du poisson et leur taille augmente au cours de la croissance de l'individu (Ombredane & Baglinière, 1991). La

²⁹ Hyalin : qui a la transparence du verre.

minéralisation des écailles et la mise en dépôts périodiques de calcium montrent que la croissance de l'écaille se fait selon un cycle saisonnier lié aux conditions environnementales, et un cycle circadien³⁰ (Ottaway, 1978). Ainsi, la surface de la couche superficielle de l'écaille présente principalement des sillons radiaires ou *radii* (ou stries) mais surtout des crêtes concentriques appelées *circuli* (Fig. 17) (Bertin, 1958). Une croissance rapide du poisson se traduit donc par une zone où les *circuli* sont largement espacés et une croissance lente par une zone où ils sont très rapprochés (Everson, 1980 ; Jearld, 1983). En fait, la baisse saisonnière de la température provoque un ralentissement de la croissance du poisson, ce qui se traduit par un resserrement des *circuli* sur l'écaille, formant ainsi une marque annuelle appelée *annulus* (Fig. 17). Le dénombrement de ces *annuli* permet alors d'estimer l'âge de l'individu concerné.

IV. 3. Les pièces calcifiées chez le rouget barbet

IV. 3. A) Les otolithes

Les sagittae des rougets barbets sont des otolithes de forme elliptique, forme classique chez les Perciformes, arrondie sur le bord postérieur et effilée antérieurement (Fig. 18). Elles ont des bords lisses et sont médio-latéralement plates. Leur face interne est convexe et porte un sillon antéro-postérieur (le *sulcus acusticus*), et leur face externe est concave (N'Da, 1992 ; Aguirre & Lombarte, 1999).

Dans la partie antérieure de l'otolithe, une différence bien définie dans le *rostrum* (Fig. 18. 1) et l'*antirostrum* (Fig. 18. 2) délimite l'ostiole *excisura* (Fig. 18. 3). Le *sulcus acusticus* (Fig. 18. 4) est de type homosulcoïde (Schwarzahans, 1980) c'est à dire qu'il n'a pas d'ostiole *colliculum* (Fig. 18. 5) (Aguirre & Lombarte, 1999).

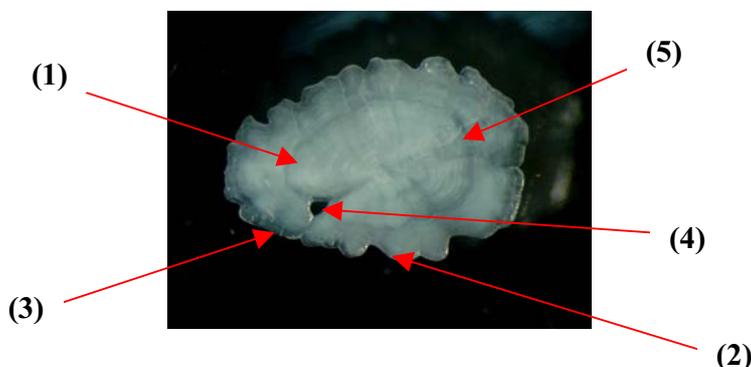


Figure 18 : Photographie d'un otolithe de rouget barbet observé sous loupe binoculaire en lumière réfléchie.

³⁰ Cycle circadien : cycle périodique de 24 heures.

Aguirre et Lombarte (1999) ont montré qu'il n'y avait pas de différences significatives entre les parties droite et gauche, comme cela a pu être mis en évidence chez d'autres poissons (Nolf, 1985 ; Secor & Dean, 1989 ; Lombarte, 1992 ; Arellano *et al.*, 1995 ; Reñones *et al.*, 1995).

IV. 3. B) Les écailles

N'Da (1992) a analysé la croissance du rouget barbet en étudiant les écailles de type cténoïdes (Fig. 19).



Figure 19 : Photographie d'une écaille cténoïde de rouget barbet observée dans une goutte d'eau entre deux lames, à la loupe binoculaire en lumière transmise.

Le prélèvement des écailles s'effectue sous les nageoires pectorales, cela pour trois raisons :

1. les écailles grandissent en fonction de la partie du corps qu'elles recouvrent, et la croissance de cette partie peut-être différente de celle de l'ensemble du corps de l'animal. De ce fait, l'échantillonnage des écailles à différents endroits peut donc constituer une source d'erreur dans l'estimation de l'âge (Bougis, 1952 ; N'Da, 1992).
2. les écailles se détachent facilement du poisson lors de la pêche, et les nageoires pectorales formant une protection, elles sont souvent encore présentes dans cette zone, après la pêche.
3. les écailles de régénération sont fréquentes (les écailles se détachent facilement) et cette zone d'échantillonnage permet de limiter l'occurrence d'écailles régénérées illisibles. En effet, ce phénomène de régénérescence des écailles peut être source d'erreur dans la lecture et conduire à une structure démographique biaisée, comme dans le sens d'un rajeunissement.

IV. 4. Méthodes d'étude

IV. 4. A) Prélèvements

Parmi les prélèvements mensuels effectués sous la criée de Boulogne sur mer de février à décembre 2004, 382 individus ont pu être utilisés pour étudier la croissance (Tab. 3).

| Mois | Analyse des otolithes | Analyse des écailles |
|-------------|------------------------------|-----------------------------|
| février | 39 | 22 |
| mars | 37 | 19 |
| avril | 41 | 29 |
| mai | 40 | 10 |
| juin | 34 | 15 |
| juillet | 43 | 10 |
| août | 25 | 17 |
| septembre | 31 | 30 |
| octobre | 27 | 15 |
| novembre | 33 | 12 |
| décembre | 32 | 12 |

Tableau 3 : Nombre de poissons échantillonnés pour l'étude de la croissance.

Sur chaque poisson, une dizaine d'écailles situées derrière la nageoire pectorale ont été prélevées. Pour le prélèvement des otolithes, deux méthodes ont été employées. La première a consisté à couper dans la longueur du poisson, au milieu de la tête de manière la plus nette possible et à récupérer les otolithes à l'intérieur de chaque partie coupée (Fig. 20. A.). La deuxième technique consiste à couper en biais de l'arrière de la tête jusqu'au dessous des yeux puis d'enlever le cerveau avec une pince fine et de prélever les otolithes (Fig. 20. B).

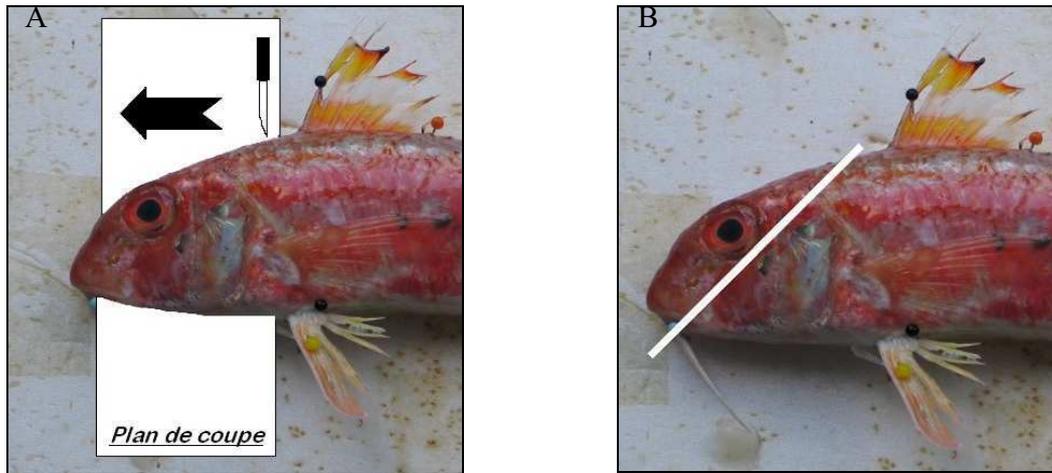


Figure 20 : Les différentes techniques pour prélever les otolithes sur un rouget barbet.

Les otolithes sont ensuite nettoyés à l'aide d'une éponge humide afin d'enlever le sang et les tissus mous, puis sont conservés dans des piluliers. Les écailles sont immergées dans une solution alcoolisée, le temps de prélever les otolithes, puis sont essuyées une à une afin d'éviter que de la matière organique restante n'altère leur stockage. Les écailles et les otolithes d'un même individu sont regroupés dans le même pilulier.

IV. 4. B) Traitement en laboratoire

IV. 4. B) α . Préparation et lecture des otolithes

Les otolithes sont placés dans une goutte d'eau alcoolisée à 5% dans un verre de montre et les lectures s'effectuent sous une loupe binoculaire. Cette dernière est reliée par une caméra à un moniteur vidéo et à un ordinateur. Ceci permet de prendre des photographies, de les stocker et de les analyser à l'aide du logiciel TNPC (Traitement Numérique des Pièces Calcifiées ; Troadec, 1997), développé par l'ifremer.

Pour les lectures d'otolithes, trois techniques ont été choisies afin d'obtenir une estimation la plus précise possible de l'âge du poisson : en lumière réfléchie, en lumière transmise et en lumière réfléchie après le brûlage des otolithes (Fig. 21).



Figure 21: Photographie d'un otolithe de rouget barbet de groupe d'âge 1 observé en lumière réfléchie (A), en lumière transmise (B) et en lumière réfléchie après brûlage (C)

En **lumière réfléchi**e (lumière arrivant sur le dessus de la pièce calcaire), les zones opaques de croissance rapide (ZCR), apparaissent blanches, alors que les zones translucides de croissance lente (ZCL), sont sombres (Fig. 21. A).

En **lumière transmise** (lumière venant par le dessous) les contrastes lumineux de ces deux zones s'inversent : les ZCR en sombre et les ZCL en clair (Fig. 21. B).

En **lumière réfléchi après le brûlage des otolithes**, les ZCL, qui contiennent essentiellement du matériel organique, cuisent et deviennent marron foncé (Fig. 21. C), alors que les ZCR, riches en calcaire, brunissent légèrement. Il est à noter qu'une petite plaque électrique de cuisson a été utilisée pour le brûlage des otolithes, qui se réalise habituellement au bec bunsen. La plaque électrique permet une cuisson plus précise et moins forte, ce qui est beaucoup mieux pour des otolithes fragiles, comme ceux des rougets barbets de roche, et permet de traiter plusieurs échantillons en même temps. Cette technique avait été mise au point au laboratoire Ifremer de Boulogne sur mer pour le grondin rouge.

A chaque technique employée correspond une image sauvegardée pour chaque otolithe traité. Des exemples d'observation d'otolithes avec les différentes techniques utilisées sont donnés en Annexe 3 pour comparaison entre les groupes d'âge 0, 1 et 2.

Une quatrième technique a été tentée : l'inclusion des otolithes sous résine, suivie de leur coupe à la tronçonneuse basse vitesse Buehler ISOMET® (Low speed saw), machine de précision permettant d'obtenir de fines coupes dont la surface est exempte de toute déformation ou dommage. Une vingtaine de paires d'otolithes (un otolithe brûlé et un autre non brûlé) a été utilisée pour effectuer des essais qui n'ont pas été satisfaisants. De meilleurs résultats peuvent être obtenus avec cette technique en travaillant les otolithes un par un, en les plaçant individuellement, ce qui est un travail très long, incompatible avec le traitement de centaines d'individus par trimestre, dans le cadre d'une évaluation pluriannuelle du ou des stocks de cette espèce.

La technique qui donne les meilleurs résultats visuels, et qui est également facile en pratique, est la lecture d'otolithes en lumière réfléchi lorsque ceux-ci sont brûlés. En effet, la lecture en lumière réfléchi est plus aisée qu'en lumière transmise et le brûlage permet une accentuation des zones de croissance lente qui, par convention, sont comptées pour l'estimation de l'âge du poisson. Enfin, chaque otolithe a été lu par trois personnes différentes de façon à limiter les biais dus au lecteur.

IV. 4. B) β. Préparation et lecture des écailles

Les écailles sont placées dans une solution aqueuse puis entre deux lamelles de verre avec une goutte d'eau pour pouvoir être lues à l'aide d'une loupe binoculaire qui est reliée au même système que celui utilisé pour les otolithes. Plusieurs essais ont été réalisés de façon à optimiser leur lecture. Ainsi, la méthode de brûlage rend la lecture des écailles difficile. Enfin, des tests ont été réalisés en utilisant d'une part, la lumière réfléchi et d'autre part, la lumière transmise. La lumière réfléchi ne permet pas de distinguer les anneaux sur l'écaille. A l'inverse, la lumière

transmise sur fond noir en faisant varier l'ouverture du statif diascope³¹ montre de très bons résultats (Fig. 22).

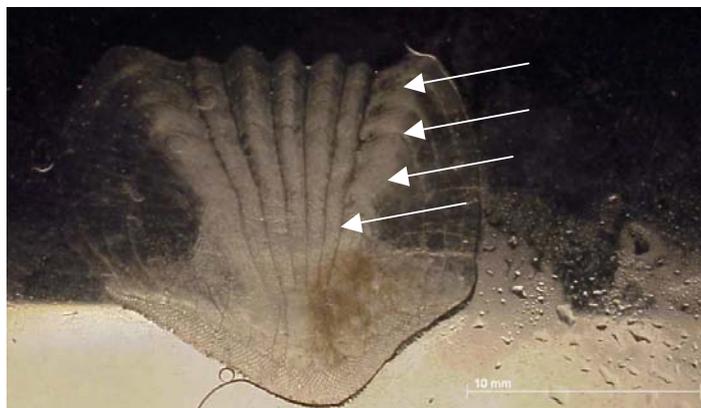


Figure 22 : Photographie d'une écaille de rouget barbet de groupe d'âge 4 observée en lumière transmise sur fond noir (les groupes d'âges sont représentés par les flèches).

Cette technique a été utilisée sur une ou plusieurs écailles d'un même poisson, lorsque cela était nécessaire. Enfin, chaque écaille a été lue par trois personnes de façon à limiter les biais dus au lecteur.

IV. 4. C) Procédure d'estimation de l'âge individuel

Le premier janvier est désigné comme la date d'anniversaire de référence dans l'hémisphère Nord pour l'estimation des groupes d'âges. Lorsque les otolithes ont été prélevés sur des poissons pêchés dans la première moitié de l'année (janvier à juin), le groupe d'âge de ces poissons correspond au nombre de zones hyalines présentes soit le nombre d'hiver. L'hiver sur l'otolithe correspond à la zone de croissance lente (ZCL). Lorsque les poissons ont été prélevés lors du second semestre de l'année, leur groupe d'âge correspond au nombre de zones hyalines complètement formées. Ainsi, si le bord de l'otolithe est une zone hyaline, elle ne sera pas comptabilisée.

IV. 4. D) Validation de l'estimation de l'âge

La plupart des poissons de milieu tempéré et boréal forment un seul anneau pendant l'hiver (Gueguen, 1969). La périodicité d'apparition des anneaux de croissance sur les otolithes a été vérifiée en calculant l'accroissement entre la dernière et l'avant-dernière strie ou l'allongement marginal (A.M.) :

$$A.M. = \frac{R - r_n}{r_n - r_{n-1}}$$

³¹ Le statif de diascope est un iris placé entre l'écaille et la source de lumière transmise. Il permet de faire varier l'intensité de la source de lumière transmise.

$$\left\{ \begin{array}{l} R : \text{rayon de l'otolithe} \\ r_n : \text{rayon du dernier anneau} \\ r_{n-1} : \text{rayon de l'avant dernier anneau} \\ r - r_n : \text{accroissement (ou allongement marginal)} \\ r_n - r_{n-1} : \text{accroissement entre le dernier et l'avant dernier anneau} \end{array} \right.$$

L'évolution mensuelle de ce rapport permet de fixer la saison d'apparition des anneaux et d'en connaître la périodicité.

IV. 4. E) Paramètres de croissance

De nombreux modèles mathématiques traduisant la croissance en longueur des poissons d'une population en fonction de leur âge existent à ce jour. Le modèle le plus couramment employé pour l'étude des populations de poissons est le modèle de Von Bertalanffy (1938) :

$$\text{Croissance en taille : } L_t = L_\infty (1 - e^{-K(t-t_0)})$$

$$\text{Croissance en poids : } W_t = W_\infty (1 - e^{-K(t-t_0)})^3 \text{ avec } W_\infty = a L_\infty^b \text{ (Ricker, 1975)}$$

$$\left\{ \begin{array}{l} K : \text{coefficient de croissance déterminant la vitesse à laquelle le poisson atteint sa taille maximale.} \\ L_t : \text{longueur à l'instant } t. \\ L_\infty, W_\infty : \text{longueur et poids maximaux ou asymptotiques.} \\ t_0 : \text{âge théorique où la taille et le poids sont nuls.} \end{array} \right.$$

La valeur de t_0 n'a pas de signification biologique (Knight, 1968). La détermination des paramètres du modèle (L_∞ , K et t_0) a été réalisée à partir des logiciels Repa et Croissan développés par l'Ifremer, ainsi que par deux méthodes graphiques :

➤ méthode de Lockwood (1974)

Cette méthode exploite le fait qu'il existe une relation linéaire entre le taux d'accroissement en longueur et la taille du poisson. La droite obtenue coupe l'axe des abscisses au point L_∞ (Fig. 23).

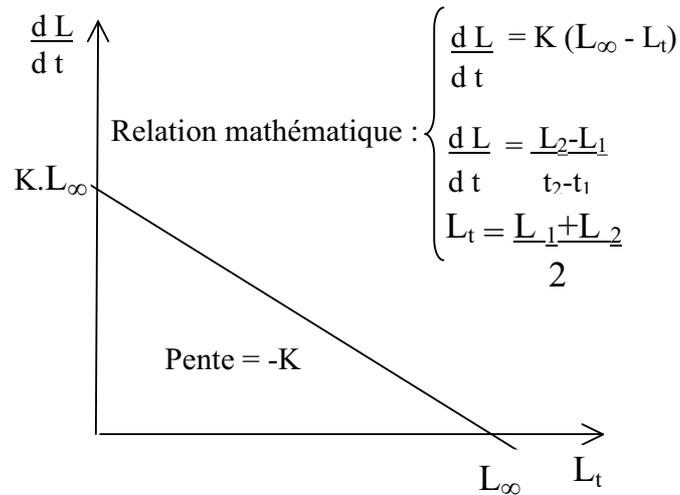


Figure 23 : Diagramme de Lockwood.

➤ méthode de Ford-Walford (Walford, 1946)

Lorsque les intervalles entre les mesures sont tous égaux, nous pouvons utiliser la méthode de Walford en développant l'équation de Von Bertalanffy à l'instant $t+1$. La courbe $L_{t+1} = f(L_t)$ coupe la bissectrice des axes au point $L_t = L_{t+1} = L_{\infty}$ (Fig. 24).

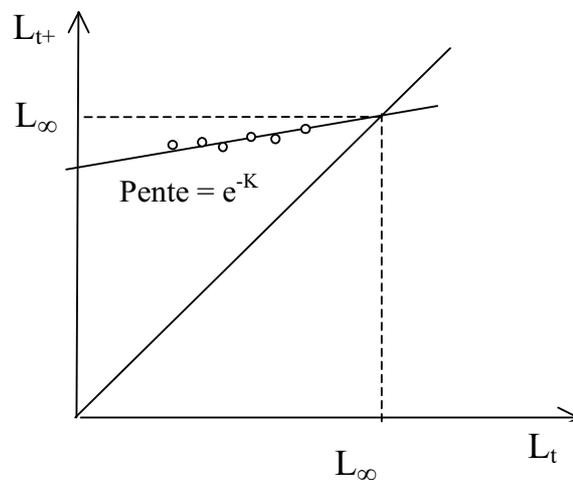


Figure 24 : Droite de Ford-Walford.

La valeur de t_0 , quant à elle, s'estime à partir de la transformation logarithmique de l'équation de Von Bertalanffy :

$$\frac{L_{\infty} - L_t}{L_{\infty}} = e^{-K(t - t_0)} \quad \text{d'où} \quad \ln \left\{ \frac{L_{\infty} - L_t}{L_{\infty}} \right\} = -K(t - t_0)$$

Lorsque $L_t = 0$, le temps $t_0 = t$.

IV. 4. F) Taux de croissance

Le taux de croissance relatif (Cr) permet d'évaluer l'augmentation en longueur ou en poids du poisson pendant une unité de temps. Selon Winberg (1960), le taux d'accroissement pondéral s'écrit :

$$Cr = \frac{(Wf-Wi)/I}{(Wf+Wi)/2} *100$$

- Wf : poids moyen final.
- Wi : poids moyen initial
- I : intervalle de temps entre les deux observations.

IV. 5. Résultats

IV. 5. A) Allongement marginal et périodicité de formation des anneaux

La périodicité de l'apparition des anneaux sur les otolithes de rougets barbets a été vérifiée à partir d'un échantillon de 93 poissons dont 84 femelles. Les variations de l'allongement marginal de l'otolithe en fonction du temps chez les femelles et les mâles sont comparables (Fig. 25). Ainsi, à partir de mai jusqu'à fin décembre, il y a une période active d'allongement au cours de laquelle la distance entre le dernier anneau hivernal et le bord de l'otolithe s'accroît. A l'inverse, de janvier à mai, l'allongement marginal est ralenti. Ces observations confirment l'identification des anneaux hyalins comme marques hivernales et leur utilisation possible comme marques annuelles, dans la détermination de l'âge.

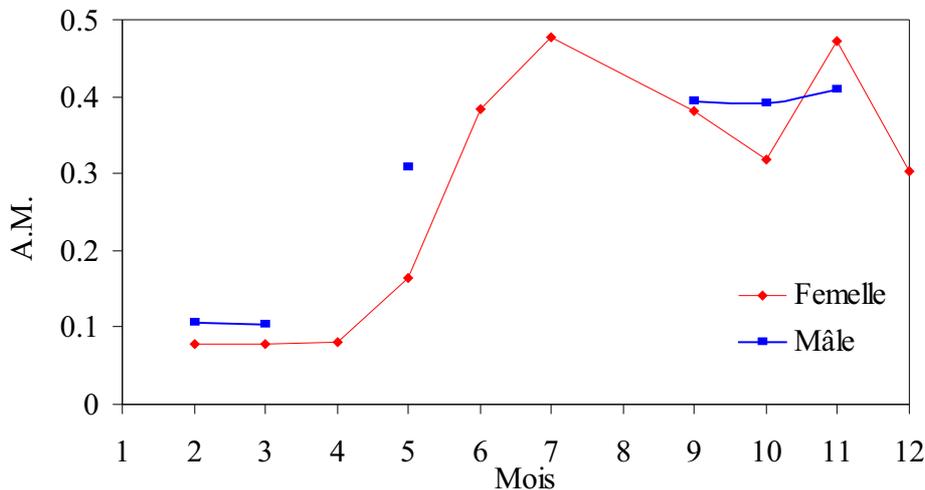


Figure 25 : Allongement Marginal (A.M.) des otolithes par mois en 2004.

IV. 5. B) Croissance linéaire et pondérale

Les âges, obtenus par la lecture des otolithes, sont représentés dans l'annexe 4, en fonction des longueurs (mesurées au millimètre). Les paramètres de croissance linéaire (Fig. 26. A) et pondérale (Fig. 26. B.) ont été calculés pour l'ensemble des 382 lectures d'otolithes de rouget barbet. Lors de cette étude, la taille maximale observée est de 425 mm pour un individu de 7 ans (âge maximum observé) et le poids maximum observé est de 1055 g pour un individu de 6 ans. Dans le golfe de Gascogne, au large de Brest, des rougets barbets de 11 ans ont été mesurés (Desbrosses, 1933) mesurant 47,66 cm pour un poids de 1573,51 g.

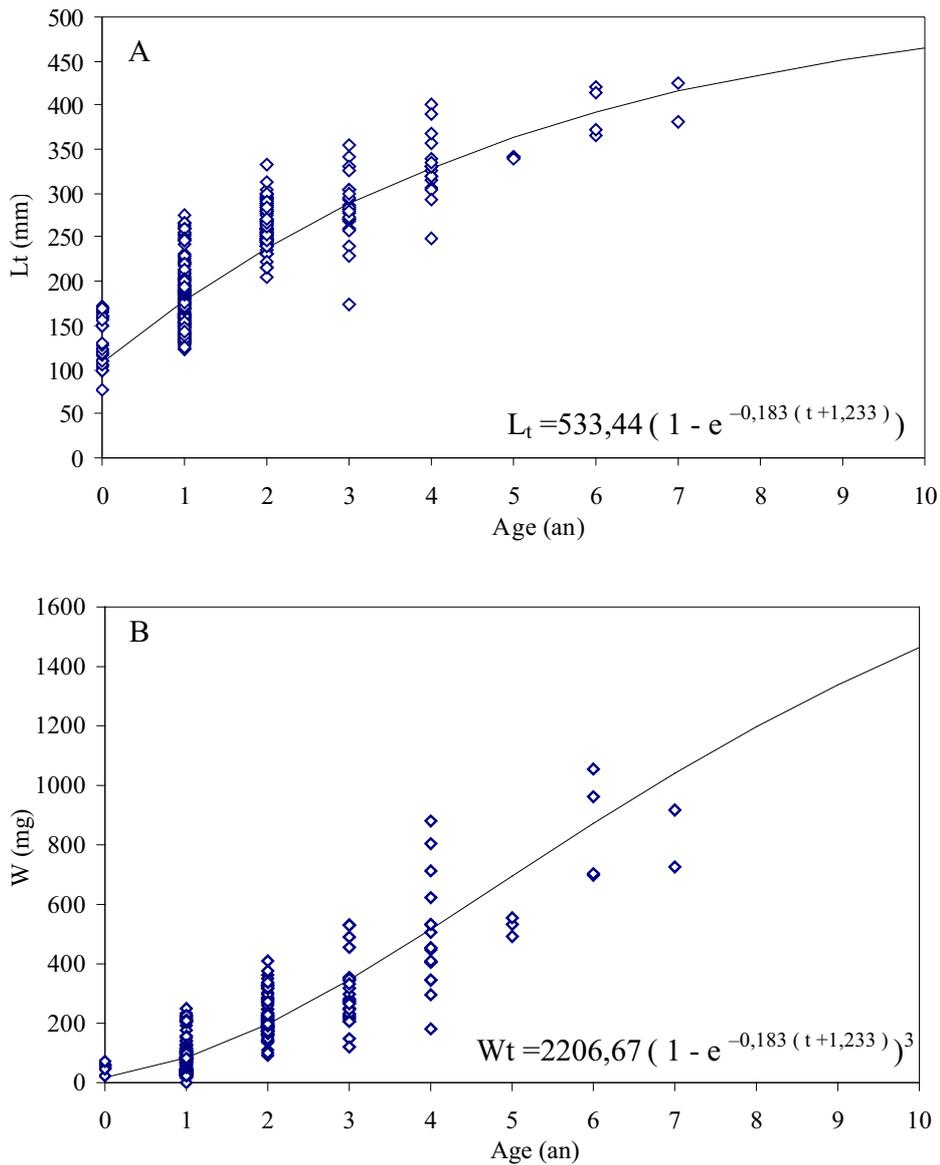


Figure 26 : Courbe de croissance linéaire (A) et pondérale (B) selon le modèle de Von Bertalanffy.

IV. 5. C) Taux de croissance annuel

L'analyse du taux d'accroissement entre les groupe d'âge permet d'obtenir le taux d'accroissement annuel. Celui-ci a été calculé pour l'ensemble de l'échantillon et par sexe lorsque le nombre d'individus était suffisant ($n > 10$; Tab. 4). Le taux d'accroissement annuel diminue au cours de la vie du poisson. Le taux d'accroissement d'un poisson d'1 an à 2 ans par rapport à celui d'un poisson de 3 ans à 4 ans est plus important de 4 fois en taille et de 2 fois en poids. A un âge donné, les observations montrent qu'une femelle est toujours plus grosse et plus grande qu'un mâle. De plus, le taux d'accroissement annuel, qu'il soit pondéral ou linéaire, est toujours supérieur pour les femelles que pour les mâles.

| | | Groupe d'âge | 1 | 2 | 3 | 4 |
|----------------------|----------|--------------|--------|--------|--------|--------|
| Croissance linéaire | total | Lt moyenne | 177.87 | 260.89 | 287.04 | 314.18 |
| | | Cr | 37.84% | 9.55% | 9.03% | |
| | femelles | Lt moyenne | 185.74 | 273.27 | 302.43 | 331.75 |
| | | Cr | 38.14% | 10.13% | 9.25% | |
| | mâles | Lt moyenne | 173.71 | 248.30 | | |
| | | Cr | 35.35% | | | |
| Croissance pondérale | total | W moyen | 75.39 | 215.56 | 297.53 | 490.00 |
| | | Cr | 96.35% | 31.95% | 48.88% | |
| | femelles | W moyen | 79.24 | 227.65 | 321.15 | 499.00 |
| | | Cr | 96.72% | 34.08% | 49.25% | |
| | mâles | W moyen | 64.04 | 165.25 | | |
| | | Cr | 88.28% | | | |

Tableau 4 : Variations du taux d'accroissement (Cr) linéaire (Lt : longueur totale) et pondéral (W : poids) en fonction de l'âge et du sexe. Il n'est présenté que les données où les groupes d'âges sont formés de plus de 10 individus.

IV. 5. D) Influence du sexe sur la croissance

L'analyse des résidus montre qu'au seuil de 5%, la relation taille/âge ($P=0,007$; Fig. 27. A) et la relation poids/âge ($P=0,000$; Fig. 27. B) sont significativement différentes entre les mâles et les femelles. Ceci traduit un dimorphisme sexuel.

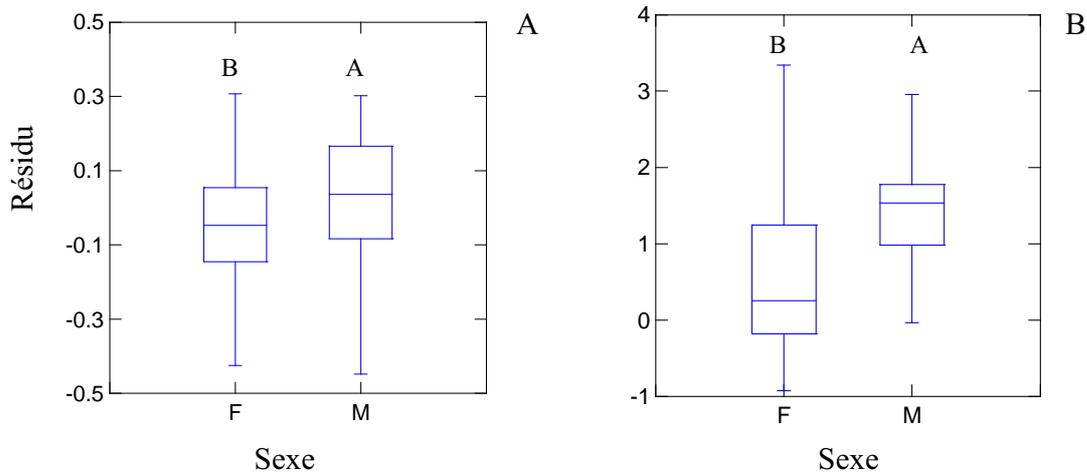


Figure 27 : Résidus des relations taille/âge (A) et poids/âge par sexe (B) (femelles : n=232 ; mâles : n=120).

L'analyse des résidus montre des valeurs plus fortes pour les mâles que pour les femelles. De ce fait, à un âge donné, les femelles sont plus grandes et plus lourdes que les mâles.

IV. 5. E) Comparaison otolithe/écaille pour l'analyse de la croissance

L'âge d'un même groupe de poissons constitué de 191 individus a été estimé à la fois par les otolithes et par les écailles. Les courbes taille/âge ainsi obtenues sont significativement différentes au seuil de 5% ($P=0,047$; Fig. 28). Cependant, cette différence s'explique par les individus situés aux extrémités de l'échelle des âges, c'est à dire qu'ils appartiennent aux groupes d'âge G0 et G5+.

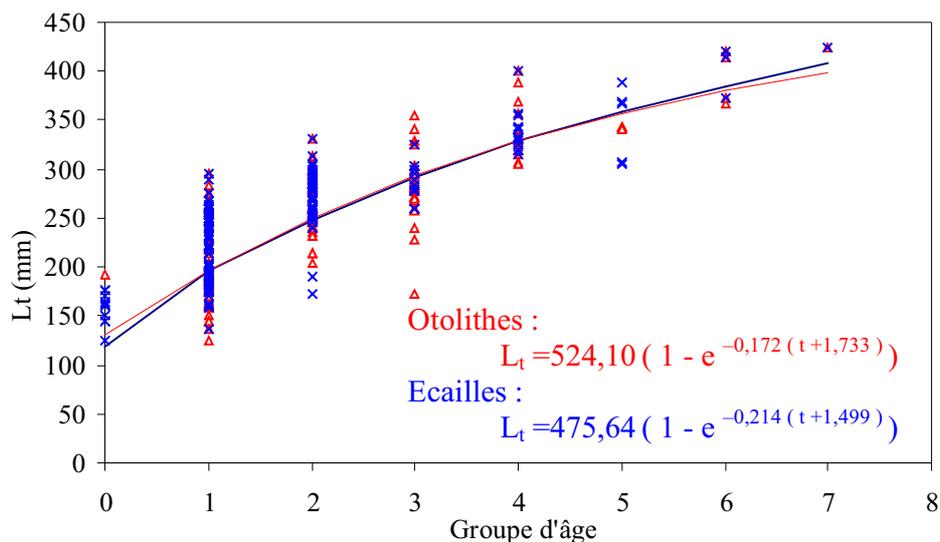


Figure 28 : Courbe de croissance linéaire selon le modèle de Von Bertalanffy obtenues par l'analyse des otolithes et des écailles.

De plus, comme la comparaison des lectures à partir des écailles et des otolithes se fait sur le même lot de poissons, si la relation taille/âge ne montre pas de différence significative entre les deux modes de lecture, alors il en va de même pour la relation poids/âge.

V. Reproduction

V. 1. Matériel biologique

Parmi les prélèvements mensuels effectués sous la criée de Boulogne sur mer, 816 individus ont pu être utilisés pour étudier la reproduction (Tab. 5).

| Année | Mois | Jour | Nombre de poissons |
|--------------|-------------|-------------|---------------------------|
| 2004 | février | 5 | 40 |
| | | 20 | 20 |
| | mars | 5 | 110 |
| | avril | 2 | 98 |
| | mai | 7 | 32 |
| | juin | 11 | 25 |
| | juillet | 2 | 96 |
| | août | 6 | 0 |
| | septembre | 3 | 111 |
| | octobre | 13 | 30 |
| | | 27 | 0 |
| | novembre | 24 | 36 |
| | décembre | 10 | 22 |
| 2005 | janvier | 29 | 25 |
| | avril | 15 | 124 |
| | mai | 20 | 47 |

Tableau 5 : Nombre de poissons échantillonnés pour l'étude de la reproduction.

V. 2. Méthodes d'étude

V. 2. A) Identification de la maturité

L'identification du stade de maturité sexuelle a été réalisée à l'échelle macroscopique³². Les femelles de rouget barbet présentent des ovaires de nature fusiformes et de section ovale. Au cours du cycle sexuel, les ovaires se modifient dans leur aspect extérieur mais aussi en volume et en poids. De ce fait, il est possible de suivre leur évolution au cours du cycle en utilisant une échelle de développement (Tab.6).

| Stade de maturité | Ovogenèse | Caractéristiques des ovaires |
|--------------------------|---|---|
| I | immatures | ovaires fins ; blancs translucides à rosés ; se différencient difficilement des testicules. |
| II | immatures en développement, adultes en repos sexuel | ovaires peu volumineux ; coloration rosâtre à rouge ; vascularisation intense chez les immatures en développement. |
| III | vitellogenèse | ovaires volumineux ; coloration rosâtre à jaune pâle, richement vascularisés. Les ovocytes présentent un aspect granuleux. |
| IV | ponte | ovaires très volumineux, occupant toute la cavité abdominale ; coloration jaune pâle ; très vascularisés. Des ovules donnent à l'ensemble un aspect moucheté. La paroi ovarienne est relativement fine et transparente. Une pression sur le ventre libère des ovules. |
| V | post-ponte | ovaires flasques, rose foncé à rouge. La paroi ovarienne est devenue très épaisse. |

Tableau 6: Echelle macroscopique de la maturité sexuelle chez les femelles de rouget barbet (N'Da & Deniel, 1993).

Ce suivi peut être réalisé de la même façon sur les testicules qui sont multilobés, de forme allongée et peu vascularisés à leur surface. Cependant, l'échelle de maturité sexuelle des mâles ne comporte que 4 stades (Tab. 7).

³² Echelle macroscopique : à l'œil nu

| Stade de maturité | Spermatogenèse | Caractéristiques des testicules |
|--------------------------|---|---|
| I | immatures | testicules de petite taille, translucides, se différenciant difficilement des ovaires des femelles immatures. |
| II | immatures en développement, adultes en repos sexuel | testicules volumineux et lobés ; coloration blanchâtre du spermiducte. |
| III | émission | testicules très volumineux, très lobés et de couleur blanchâtre. Le sperme s'écoule sous la pression sur le ventre du poisson. |
| IV | post-émission | testicules volumineux et lobés comme au stade II. La pression sur le ventre ne libère plus de sperme. Persistances de larges bandes blanchâtres dans le spermiducte |

Tableau 7 : Echelle macroscopique de la maturité sexuelle chez les mâles de rouget barbet (N'Da & Deniel, 1993).

V. 2. B) Le rapport gonado-somatique (RGS)

Au cours du cycle sexuel, les variations pondérales des ovaires et des testicules peuvent être suivies par l'indice gonado-somatique selon la formule suivante :

$$\text{RGS} = (\text{Wg}/\text{W}) * 100$$

$\left\{ \begin{array}{l} \text{Wg} : \text{poids des gonades (g)} \\ \text{W} : \text{poids frais (g)} \end{array} \right.$

Le suivi mensuel de ce rapport gonado-somatique permet de connaître les périodes d'activité sexuelle des poissons ainsi les périodes de reproduction.

V. 3. Analyse de la reproduction

V. 3. A) Sex-Ratio

Le sex-ratio désigne la proportion entre les mâles et les femelles des poissons échantillonnés. Il peut s'exprimer par le pourcentage du nombre de mâles ou de femelles par rapport à la population échantillonnée (c'est à dire le taux de masculinité ou de féminité de la population considérée) ou par le nombre de femelles sur le nombre de mâles (ou inversement) de la population considérée.

Dans cette étude, l'identification du sexe a été réalisée sur 1389 individus. Ces poissons sont répartis de la façon suivante :

- 240 immatures
- 400 mâles
- 749 femelles

La féminité de la population est très importante avec 65% de la population contre 35% de masculinité (Tab. 8). L'échantillonnage mensuel réalisé au hasard, montre que le nombre de femelles est toujours plus important que celui des mâles sauf aux mois d'août et de septembre 2004.

| Année | Mois | Nombre de poissons | | | | Sex-Ratio (%) | |
|-------|-------|--------------------|-----------|-------|-------|---------------|-------------|
| | | Femelles | immatures | Mâles | Total | Féminité | Masculinité |
| 2004 | 2 | 47 | 1 | 12 | 60 | 79.66% | 20.34% |
| | 3 | 60 | 1 | 49 | 110 | 55.05% | 44.95% |
| | 4 | 53 | 5 | 40 | 98 | 56.99% | 43.01% |
| | 5 | 32 | 5 | 16 | 53 | 66.67% | 33.33% |
| | 6 | 46 | 60 | 19 | 125 | 70.77% | 29.23% |
| | 7 | 77 | 0 | 16 | 93 | 82.80% | 17.20% |
| | 8 | 45 | 5 | 55 | 105 | 45.00% | 55.00% |
| | 9 | 46 | 2 | 72 | 120 | 38.98% | 61.02% |
| | 10 | 45 | 50 | 6 | 101 | 88.24% | 11.76% |
| | 11 | 47 | 0 | 31 | 78 | 60.26% | 39.74% |
| | 12 | 53 | 89 | 4 | 146 | 92.98% | 7.02% |
| | Total | | 551 | 218 | 320 | 1089 | 63.26% |
| 2005 | 1 | 68 | 22 | 39 | 129 | 63.55% | 36.45% |
| | 4 | 99 | 0 | 25 | 124 | 79.84% | 20.16% |
| | 5 | 31 | 0 | 16 | 47 | 65.96% | 34.04% |
| | Total | 198 | 22 | 80 | 300 | 71.22% | 28.78% |
| Total | | 749 | 240 | 400 | 1389 | 65.19% | 34.81% |

Tableau 8 : Féminité et masculinité mensuelles observées avec pour chaque mois, le nombre d'immatures, de femelles et de mâles.

Ce travail devrait être réalisé à nouveau sur un échantillon plus important pour confirmer ces résultats.

V. 3. B) Evolution mensuelle de la fréquence des stades de maturité sexuelle

Les stades de maturité sexuelle ont été étudiés de mai 2004 à mai 2005. L'évolution mensuelle de la fréquence des 5 stades macroscopiques chez les femelles est décrite dans le tableau 9 (A). De mai à juillet, les stades 3 (vitellogenèse) et 4 (ponte) sont fortement représentés et donc cette période représente la période de reproduction des rouget barbets en Manche orientale et mer du Nord. Après, la période de reproduction, on observe une période de post-ponte qui caractérise les mois d'août et de septembre. Enfin, les autres mois de l'année, les femelles sont soit en développement pour devenir matures, soit en repos sexuel lorsqu'elles sont matures à l'exception du mois de décembre qui pourrait être une période de deuxième ponte annuelle tardive.

L'évolution mensuelle des 4 stades macroscopiques chez les mâles montre s'ils sont fortement actifs durant la période d'activité sexuelle des femelles (mai à juillet), leur activité est observable dans une moindre mesure tout au long de l'année (Stade 3 ; Tab. 9. B). De plus, le stade 4 représentant la phase de post-émission a une importance relative de novembre à mai donc il est possible de considérer que le pic d'activité sexuelle des mâles se situe de mai à septembre ou octobre donc là encore cela pourrait laisser à penser à une deuxième ponte tardive dans l'année.

A

| Année | Mois | Stades macroscopiques (%) | | | | | Nombre total |
|-------|-----------|---------------------------|-------|------|------|------|--------------|
| | | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | |
| 2004 | mai | 25.0 | 25.0 | 25.0 | 25.0 | | 32 |
| | Juin | 43.5 | | 32.6 | 23.9 | | 46 |
| | juillet | 6.6 | 5.3 | 1.3 | 86.8 | | 76 |
| | août | | 86.7 | | | 13.3 | 45 |
| | septembre | 4.3 | 63.0 | 6.5 | | 26.1 | 46 |
| | octobre | | 97.8 | 2.2 | | | 45 |
| | novembre | | 100.0 | | | | 47 |
| | décembre | 3.8 | 58.5 | | 37.7 | | 53 |
| 2005 | janvier | 25.0 | 75.0 | | | | 68 |
| | avril | | 100.0 | | | | 99 |
| | mai | | 16.1 | 48.4 | 35.5 | | 31 |

B

| Année | Mois | Stades macroscopiques (%) | | | | Nombre total |
|-------|-----------|---------------------------|------|------|------|--------------|
| | | 1 | 2 | 3 | 4 | |
| 2004 | mai | 62.5 | 25.0 | 12.5 | | 16 |
| | Juin | 89.5 | | 10.5 | | 19 |
| | juillet | 73.3 | | 20.0 | 6.7 | 15 |
| | août | 52.7 | 36.4 | 10.9 | | 55 |
| | septembre | 9.7 | 66.7 | 22.2 | 1.4 | 72 |
| | octobre | | 33.3 | 66.7 | | 6 |
| | novembre | | | 6.5 | 93.5 | 31 |
| | décembre | 25.0 | | 25.0 | 50.0 | 4 |
| 2005 | janvier | 38.5 | 2.6 | 5.1 | 53.8 | 39 |
| | avril | | | 12.0 | 88.0 | 25 |
| | mai | | 18.8 | 68.8 | 12.5 | 16 |

Tableau 9 : Evolution mensuelle des stades macroscopiques de la maturité sexuelle chez les femelles (A) et les mâles (B) avec le nombre d'observations réalisées chaque mois.

V. 3. C) Evolution mensuelle de RGS

Le suivi mensuel du rapport gonado-somatique (RGS) n'est réalisé que chez les femelles car les données recueillies pour les mâles ne sont pas suffisantes pour l'analyse. L'évolution mensuelle du RGS montre des différences significatives entre les mois étudiés (Fig. 29).

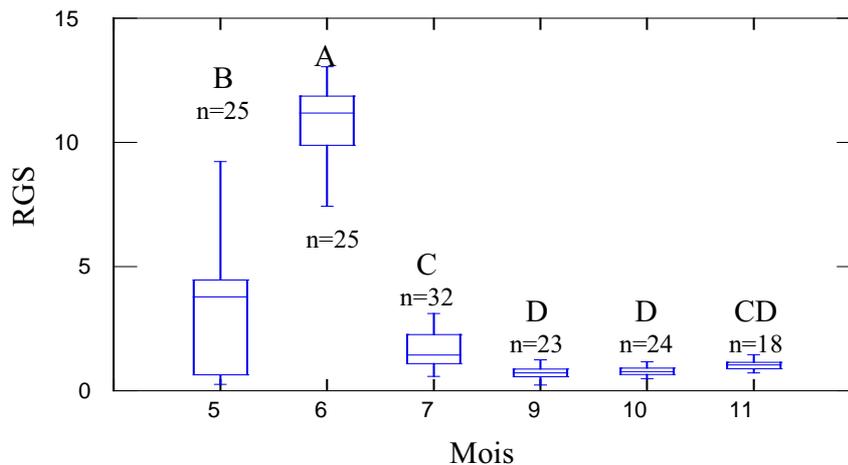


Figure 29 : Rapport Gonado-Somatique (RGS) des femelles par mois en 2004.

La valeur la plus élevée est mesurée au mois de juin et elle est significativement différente de toutes les autres (Annexe 1). Le rapport gonado-somatique des femelles en mai est lui aussi très élevé, ainsi que celui de juillet mais dans une moindre mesure.

VI. Etat de condition

VI. 1. Principe

Les conditions environnementales, en particulier le facteur température (Planes *et al.*, 1997), ainsi que la qualité et la quantité de nourriture (Gibson, 1994), influencent directement la croissance des poissons. Les habitats de bonne qualité permettent une croissance et une survie optimales des espèces présentes (Gibson, 1994). En écologie halieutique, les indices de condition sont utilisés pour apprécier la qualité de ces habitats. Ainsi, depuis Shelbourne (1957), l'emploi de ces indices ne cesse de s'accroître dans les publications scientifiques. Les indices de conditions sont de deux types selon l'échelle de temps qui caractérise la réponse des organismes à la qualité du milieu. De ce fait, il existe les indices histologiques (Theilacker, 1978), biochimiques (Bergeron & Boulhic, 1994) et lipidiques (Amara *et al.*, 2000) qui exposent la réponse à court terme des organismes. Les indices de type morphométrique (Ehrlich *et al.*, 1976) sont les seuls à exprimer la réponse à long terme.

VI. 2. Les indices biométriques

Selon les indices biométriques (Ehrlich *et al.*, 1976) qui utilisent la relation existant entre la taille et le poids, plus un poisson pour une taille donnée est gros, meilleure est sa condition. La relation qui lie la taille au poids d'un individu est de type isométrique, c'est à dire qu'elle relie des grandeurs mesurées non proportionnelles et se traduit par une formule de type : $W = K Lt^b$ (Ricker, 1975). Fulton (1911) a développé à partir de la relation taille/poids, chez les poissons, un indice tel que :

$$K = (x \cdot W) / Lt^b$$

- W : poids frais, exprimé en g.
- Lt : longueur totale, en mm, entre l'extrémité du museau et la naissance des rayons de la nageoire caudale.
- x : constante arbitraire variant avec l'échelle de mesure.
- b : coefficient d'allométrie considéré comme égal à 3.

VI. 3. Analyses de la condition du poisson

Lors des 3 campagnes CGFS en 2001, 2002 et 2003 réalisées au mois d'octobre, l'analyse de la condition des immatures, des femelles et des mâles montre des différences significatives (Fig. 30, Annexe 2). La condition des femelles est toujours supérieure à celle des mâles et il n'y a qu'en 2003 que la différence n'est pas significative. Ainsi, le sexe influence la condition du poisson. De plus, les immatures se distinguent des adultes avec des indices de condition très faibles par rapport aux femelles et aux mâles. Les immatures sont aussi la sous-population à présenter les plus fortes variations d'un poisson à l'autre. Enfin, ces analyses montrent que la condition des femelles et des mâles pris séparément, ne présente pas de différences significatives d'une année à l'autre au mois d'octobre.

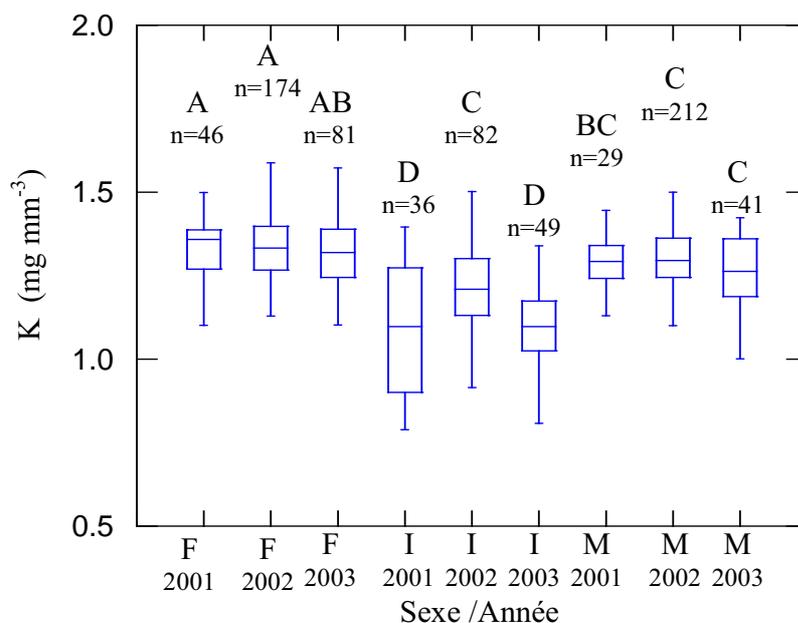
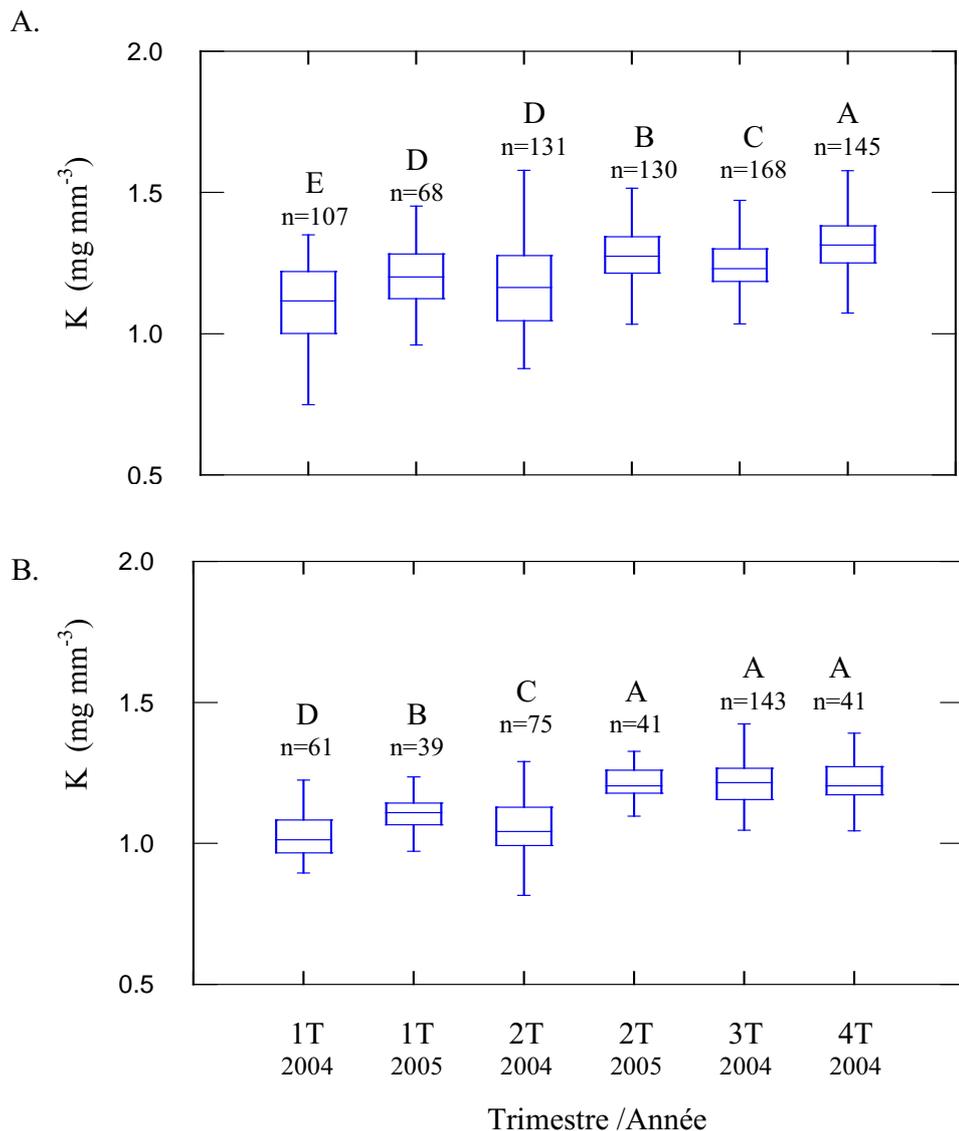


Figure 30 : Indice de condition K selon le sexe (F : femelle ; I : immature ; M : mâles) durant les campagnes CGFS en 2001, 2002 et 2003.

L'échantillonnage à la criée en 2004 et 2005 a permis d'analyser la condition d'une part des femelles (Fig. 31 A) et d'autre part des mâles (Fig. 31 B) par trimestre. Dans les deux cas, l'évolution de K montre des différences significatives (Annexe 2).



L'évolution en 2004 de la condition des mâles et des femelles observe la même tendance avec une progression continue de la condition du poisson du premier au quatrième trimestre. Les deux premiers trimestres de 2005 corroborent cette analyse. Globalement de l'hiver à l'automne suivant, l'indice K augmente d'une part pour les femelles mais aussi pour les mâles. Enfin, pour un même trimestre (ici, trimestres 1 et 2), de 2004 à 2005, l'indice de condition des mâles et des femelles augmente de façon significative.

VII. Synthèse des résultats

L'étude de la croissance du rouget barbet en Manche orientale et mer du Nord montre que les juvéniles ont une croissance rapide en début de vie et lorsqu'ils ont atteint leur maturité sexuelle, les mâles grandissent et grossissent moins vite que les femelles. En vieillissant, le rouget barbet voit son taux de croissance annuel diminué. De même, au cours d'une année, les rougets barbets d'une taille donnée sont plus lourds en début d'année qu'en fin d'année. En Manche Ouest et en mer du Nord, le rouget barbet peut atteindre jusqu'à 53 centimètres et pesé 2.2 kg.

L'évolution mensuelle du stade de maturité sexuelle chez les femelles et les mâles a permis de mettre en évidence une période de reproduction qui se situe de mai à août avec un pic en juin. D'après cette étude, il pourrait y avoir une deuxième ponte annuelle plus tardive mais d'autres analyses devraient être effectuées pour pouvoir vérifier cette hypothèse.

PARTIE III :

**Analyse de la répartition spatiale
en Manche orientale et mer du Nord**

Introduction

L'analyse des structures spatiales est de première importance car la plupart des phénomènes naturels sont affectés par des processus ayant une composante géographique générant des structures spatialement reconnaissables, telles des taches ou des gradients qui peuvent être analysés. Les données écologiques peuvent inclure plusieurs types de structures spatiales se produisant à différentes échelles tels les gradients à grande échelle, la fragmentation à des échelles moyennes et locales et les fluctuations aléatoires ou bruit à plus petite échelle (Fortin & Dale, 2005).

Développées à l'origine pour l'industrie minière, les géostatistiques ont d'abord été utilisées pour répondre aux besoins de la prédiction spatiale des ressources géologiques dans une zone en deux ou trois dimensions. Cette dernière particularité a fait rapidement connaître cette technique en océanographie (Fortin & Dale, 2005) mais il fallut plus longtemps pour qu'elle soit utilisée en écologie (Rossi *et al.*, 1992). Un grand nombre de poissons démersaux et benthiques affichent une distribution particulière et des types d'agrégations à l'échelle annuelle associés avec des habitats particuliers ou des phases de leur cycle de vie (Mello & Rose, 2005). Les géostatistiques sont particulièrement adaptées aux espèces marines qui ont des comportements grégaires mais variables au cours de l'année et une connaissance partielle de leur fonctionnement peut être suffisante pour un tel dessin. Les structures spatiales, en particulier la distribution des espèces marines, peuvent être identifiées et décrites quantitativement en utilisant les géostatistiques (Petitgas, 1993 et 2001, Mello & Rose, 2005) .

Cette étude utilise les méthodes géostatistiques pour quantifier les patterns de distributions du rouget barbet en Manche orientale et Mer du Nord respectivement à partir de données des campagnes scientifiques CGFS et IBTS³³. La Manche occidentale n'est pas analysée car il n'y a pas de campagne scientifique réalisée dans cette zone géographique.

I. Méthodes d'étude

I. 1. Protocole des campagnes et collecte des données

Les campagnes à la mer réalisées dans le cadre du programme IBTS, ont pour objectif premier le calcul annuel des indices d'abondance des espèces principales de poissons commerciaux exploitées en mer du Nord. La zone d'étude regroupe les secteurs IVa sud, IVb, IVc et IIIa définies par le Conseil International pour l'Exploration de la Mer (CIEM). Les analyses ainsi contribuent en grande partie à la mise en place des mesures de gestion durable des ressources halieutiques élaborées dans le cadre de la Politique Commune des Pêches, notamment pour la fixation des contingentements de capture qui sont définis chaque année. Les premières campagnes ont été mises en place dans les années 60 par les Pays-Bas. Depuis 1976, La France participe à ce programme en collaboration avec six autres riverains de la mer du Nord.

Afin de permettre la cohérence des résultats obtenus d'une année à l'autre, une méthodologie rigoureuse a été définie au niveau international. Cette zone d'étude, divisée en rectangles de 30' de latitude sur 1° de longitude comprend la mer du Nord, le Skaggerak et le Kattegat. Ces rectangles ont cependant été regroupés en 9 zones (Fig. 32) en fonction de la

³³ IBTS : International Bottom Trawl Survey, campagne scientifique en mer du Nord.

distribution des espèces de poissons. De plus, pour assurer une bonne couverture de l'ensemble, compte tenu des phénomènes de micro-dispersion, chaque rectangle est chaluté au moins deux fois par deux navires différents (Fig. 33).

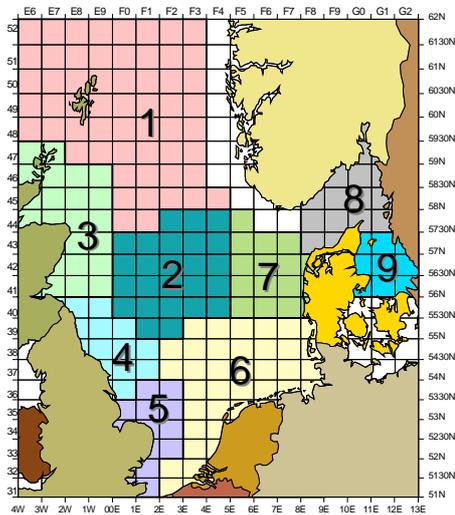


Figure 32 : Zone couverte par l'ensemble des navires, et stratification utilisée pour les prélèvements d'otolithes.

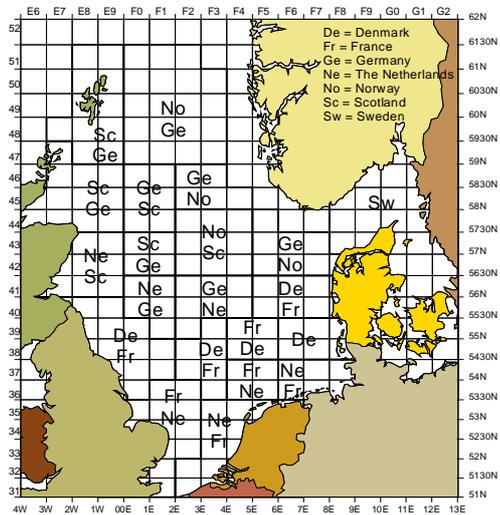


Figure 33 : Répartition des zones entre les navires participants (Exemple pour la campagne IBTS 2002.)

La France a fait adopter un modèle unique de chalut, mis au point par le laboratoire de Boulogne sur mer : le chalut de fond à grande ouverture verticale GOV 36/47 avec un maillage de 10 mm de côté pour la capture des jeunes individus. La durée de chalutage est fixée à 30 minutes, ce laps de temps faisant partie de la plage des estimations de durée optimale. Les traînes de pêche sont choisies à partir de plans de pêche de professionnels ou trouvées par prospection. La méthode de pêche est standardisée : les stations sont répétées chaque année aux mêmes positions et avec le même engin, avec le N/O Thalassa (70m).

Depuis 1988, sur le modèle des campagnes IBTS mais avec un échantillonnage plus fin, la France effectue aussi des campagnes CGFS en Manche orientale chaque année pendant le mois d'octobre à bord du navire océanographique Gwen Drez (25m). Elles couvrent la Manche orientale et le sud de la Mer du Nord, correspondant aux secteurs VIIId et IVc sud du CIEM (Fig. 34).

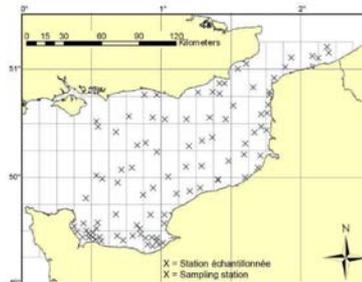


Figure 34 : Données CGFS disponibles pour la période 1988-2004.

La zone étudiée est divisée en rectangles de 15' de latitude sur 15' de longitude et le plan d'échantillonnage est de type systématique. L'engin de pêche utilisé est un chalut de fond à grande ouverture verticale. Un ou deux chalutages sont effectués à l'intérieur de chaque rectangle

de la grille CGFS. La méthode de pêche est aussi standardisée : les stations sont répétées chaque année aux mêmes positions et avec le même engin, avec enregistrement depuis 1997 de la température et la salinité de surface et de fond par une sonde fixée sur la corde de dos du chalut.

Pour chaque campagne et à chaque station, toutes les espèces halieutiques capturées sont triées, pesées puis comptées et mesurées. Pour la CGFS, les données utilisées couvrent la période de 1988 à 2004. En mer du Nord, le premier et le troisième trimestres sont les deux périodes de l'année qui présentent les séries historiques les plus importantes et qui sont encore suivis à ce jour. A l'inverse, le second et le quatrième trimestre n'ont été suivi que de 1991 à 1997. Ainsi, les quatre trimestres ont été analysés mais seuls le premier le troisième trimestres ont cartographiés. Les analyses de la distribution spatiale en Manche orientale et en mer du Nord ont été réalisées en séparant les immatures, c'est à dire les rougets barbets n'ayant pas encore atteint leur maturité sexuelle (inférieurs à 16 cm), des matures, poissons ayant la capacité de se reproduire.

L'embouchure des deux grands fleuves françaises de la Manche orientale fait aussi l'objet d'un suivi scientifique. Les campagnes de chalutage réalisées aux abords de la Seine (d'Antifer à Ouistreham) et la Somme (baie d'Authie à Dieppe) suivent un protocole standardisé avec des traits de 15 min, réalisés à l'aide d'un chalut à perche. Les campagnes annuelles en baie de Seine et en baie de Somme ont lieu en septembre et octobre respectivement depuis 1995 et de 1980 à 1983 puis de 1987 à 2005. Pour l'analyse de ces campagnes, les immatures et les matures n'ont pas été distingués.

I. 2. Traitement statistique préalable des données

Les méthodes statistiques en écologie nécessitent un examen attentif de la distribution des données car les variables écologiques (les descripteurs) ne sont pas toujours réparties uniformément. Bien que la plupart des méthodes ne nécessitent pas une normalité stricte, elles donnent de meilleurs résultats si la distribution des données est aussi proche que possible de la normalité. De plus, la distribution statistique des données doit être examinée pour déterminer si les hypothèses sur lesquelles sont basées les géostatistiques sont vérifiées (Rossi *et al.*, 1992). La normalité de la distribution statistique des données environnementales et biologiques a été testée en utilisant des histogrammes, le coefficient d'asymétrie et le test de kurtosis. Les données ont été transformées quand l'asymétrie dépassait $|1|$ et/ou quand le kurtosis excédait 1 et quand une fonction de normalisation améliorant la distribution de la donnée pouvait être trouvée. L'abondance de rougets barbets a été mesurée en unités basées sur les conventions analytiques et qui sont sans rapport avec les processus naturels qui la génèrent. Par conséquent, n'importe quelle échelle transformée est aussi appropriée que celle sur laquelle les données ont été enregistrées à l'origine. Les données biologiques des espèces ont été exprimées en densité (nombre.km⁻²) et nécessitaient toujours d'être transformées en utilisant la transformation $\log_{10}(x+1)$ (où x est la valeur d'abondance de l'espèce).

I. 3. Modélisation géostatistique

L'analyse de la structure spatiale est de première importance puisque la plupart de phénomènes naturels sont affectés par des processus qui ont une composante spatiale générant des motifs reconnaissables tels que des zones d'agrégation ou des gradients. Ces structures spatialisées, en particulier celles propres à la distribution des espèces halieutiques peuvent être identifiées et décrites quantitativement en utilisant les géostatistiques. Les géostatistiques regroupent une série de méthodes pour l'analyse des données géoréférencées et permettent

l'estimation des valeurs d'une variable étudiée (densité de rougets barbets) en des localisations non échantillonnées à partir de points de données plus ou moins clairsemés.

Le variogramme (Fig. 35), est une fonction qui mesure la relation entre des paires d'observations séparées par une certaine distance.

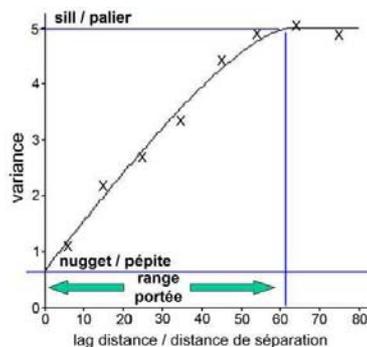


Figure 35 : Le semi-variogramme.

Il résume la façon dont la variance d'une variable change quand la distance et la direction séparant deux points quelconques varient. Pour des données possédant une structure spatiale, la variance est moindre pour une petite distance de séparation et s'accroît avec une plus grande distance (accroissement monotonique). Le variogramme peut atteindre une variance maximale et s'y stabiliser. Cette limite supérieure, le palier de variance, évalue la variance maximale du jeu de données. La distance de séparation à laquelle le palier est atteint (la portée) marque la limite de la dépendance spatiale c'est à dire qu'il décrit l'étendue de la structure spatiale observée. Le variogramme a souvent une interception positive sur l'axe des ordonnées appelée « pépite ». Ceci découle d'erreurs de mesure mais aussi principalement de variations se produisant à une échelle plus petite que l'intervalle d'échantillonnage. Certains variogrammes sont totalement plats, correspondant à des effets de pures pépites : ils dénotent l'absence de dépendance spatiale dans la donnée.

Baucoup de variogrammes ont des formes simples qui peuvent être décrites par un nombre limité de modèles autorisés. Ces modèles doivent être capables de décrire les principales caractéristiques du variogramme, c'est à dire la pépite, la forme de l'accroissement monotonique et le palier. La méthode communément utilisée pour ajuster les modèles est une procédure statistique d'approximation. Le modèle choisi doit être celui ayant le meilleur ajustement statistique et visuel. Les paramètres du modèle précisent les variances de pépite et de palier et un paramètre de distance (la portée). A partir de ce dernier, l'étendue de la variation d'une variable donnée peut être déterminée, comparée avec d'autres et peut être utilisée pour déterminer la limite de la dépendance spatiale de cette variable.

La méthode de prédiction incarnée par les géostatistiques et pour laquelle les paramètres du variogramme sont essentiels, est appelée krigeage. Le krigeage produit des valeurs estimées optimales et objectives en prenant en compte la façon dont une variable varie dans l'espace pour prédire sa valeur en des localisations non échantillonnées et qui peuvent être utilisées pour la cartographie. C'est une méthode de moyenne pondérée basée sur le modèle du variogramme de la variation spatiale. Enfin, l'erreur d'estimation est calculée et minimisée, tandis que les méthodes classiques sont basées sur des fonctions mathématiques arbitraires et ne fournissent aucune mesure d'erreurs. Le krigeage ordinaire est la méthode la plus commune et peut être utilisé pour produire un large champ de valeurs estimées ponctuellement ou par blocs et l'erreur d'estimation

correspondante, pour la cartographie. Les poids sont dérivés à partir du modèle de variogramme de façon à minimiser l'erreur d'estimation. Généralement, les poids des observations proches de la valeur à estimer sont importants et décroissent avec l'accroissement de la distance. Les quatre ou cinq observations les plus proches de la position de la valeur à estimer peuvent contribuer jusqu'à 80% du poids total et les dix plus proches pratiquement pour le reste. De plus, les observations regroupées portent moins de poids qu'une observation isolée à la même distance. Enfin, certaines observations peuvent faire écran entre la position à estimer et d'autres observations plus distantes. Ces effets sont souhaitables et démontrent que le krigeage est local. Les estimations krigées peuvent être utilisées pour cartographier une variable donnée de façon à interpréter la structure spatiale décrite par le variogramme. Dans cette étude, la variation spatiale des densités de rougets barbets et des données environnementales (température et salinité) est analysée en utilisant Genstat, un logiciel de statistiques génériques qui inclut les principaux outils géostatistiques. Il calcule les variogrammes et les ajuste avec les différents modèles mathématiques autorisés et les utilise pour calculer les estimations krigées sur une grille régulière et fine.

II. Analyse de la distribution spatiale

II. 1. La Manche orientale

La distribution annuelle du rouget barbet en Manche orientale, au mois d'octobre, est analysée de 1988 à 2004. La figure 36 montre les indices annuels d'abondance ainsi que la carte d'abondance moyenne (les cartes d'écart type sont en annexe 5) sur cette période. Les figures 37, 38 et 39 montrent quant à elles les cartes d'abondance pour chaque année pour les immatures (<16 cm ; Fig. 37), les matures (≥ 16 cm ; Fig. 38) et la totalité des rougets barbets (Fig. 39).

L'abondance annuelle moyenne d'immatures de 1988 à 2004 montre 3 pics (1989, 1997 et 1998 ; Fig. 36. A et 37). A l'inverse, aucun rouget barbet immature n'a été observé pendant la campagne de 1988. De même, l'abondance annuelle moyenne de matures montre une période de forte abondance de 1995 à 1998 et un pic en 2003. (Fig. 36. B et 38). De plus, de 1988 à 2004 des rougets barbets matures ont été observés chaque année. Les années 1997 et 2003 montrent des pics d'abondance des immatures et des matures, ce qui n'est pas le cas de l'année 1989. D'autre part, la forte abondance d'immatures en 1997 a entraîné une forte abondance de matures, l'année suivante. Ce phénomène n'est pas observé pour le pic d'immatures de 2003. Ceci peut être mis en relation avec la suppression de la taille minimale de capture (16 cm) en 2000.

Au mois d'octobre, la distribution des rougets barbets est localisée à l'est de la Manche orientale (Fig. 36. C et 39). Ainsi, les intervalles de confiance³⁴ sont très importants lors des pics d'abondance. Ceci traduit pour une année donnée des valeurs très fortes d'abondance s'opposant à des valeurs très faibles voire nulles. A l'ouest, seule la baie de Seine présente une abondance relative de rougets barbets. Les cartes annuelles d'abondance (Fig. 37, 38 et 39) montrent que la répartition des immatures est plus localisée que celle des matures.

³⁴ Intervalle de confiance ou estimation par intervalle : c'est un intervalle de valeurs possibles, compatibles avec les observations, défini par un seuil de confiance par exemple 95 % (seuil=0.95).

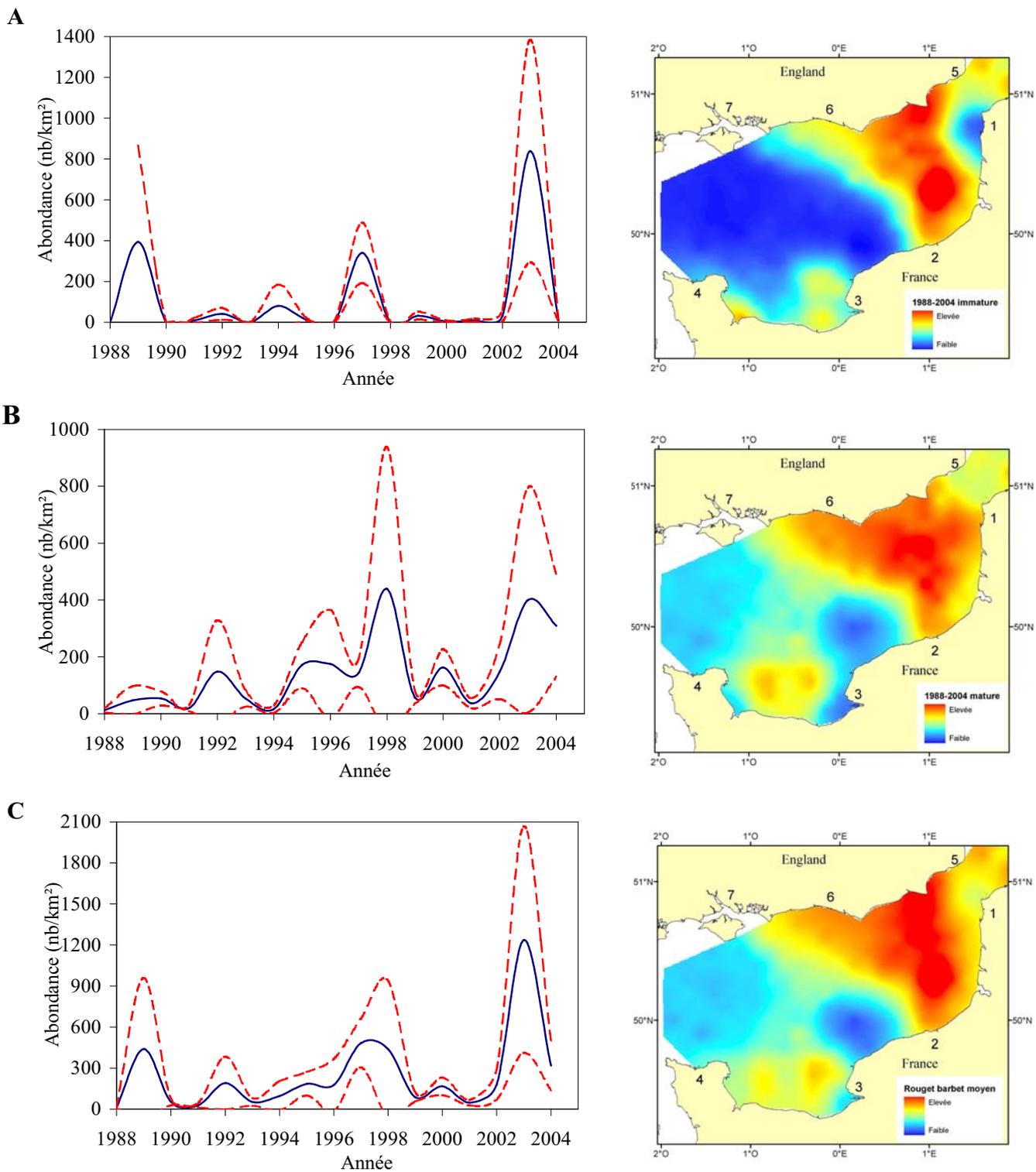


Figure 36 : Abondance annuelle moyenne (—) avec l'intervalle de confiance à 95% (— —) - carte d'abondance moyenne de rougets barbets (A : les immatures ; B : les matures ; C : la totalité) de 1988 à 2004 (1 : Boulogne, 2 : Dieppe, 3 : Le Havre, 4 : Cherbourg, 5 : Douvres, 6 : Brighton, 7 : Portsmouth).

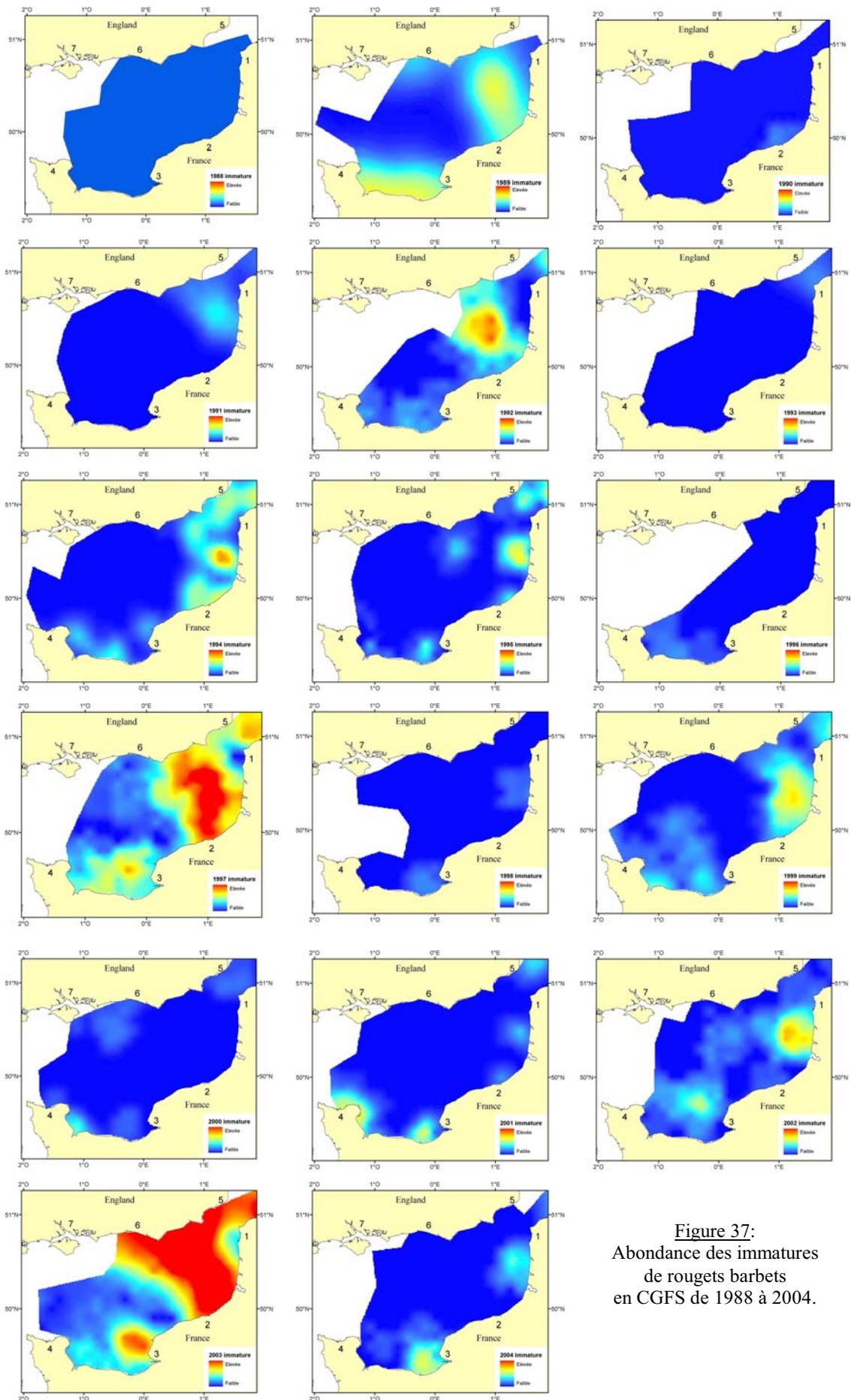


Figure 37:
Abondance des immatures
de rougets barbets
en CGFS de 1988 à 2004.

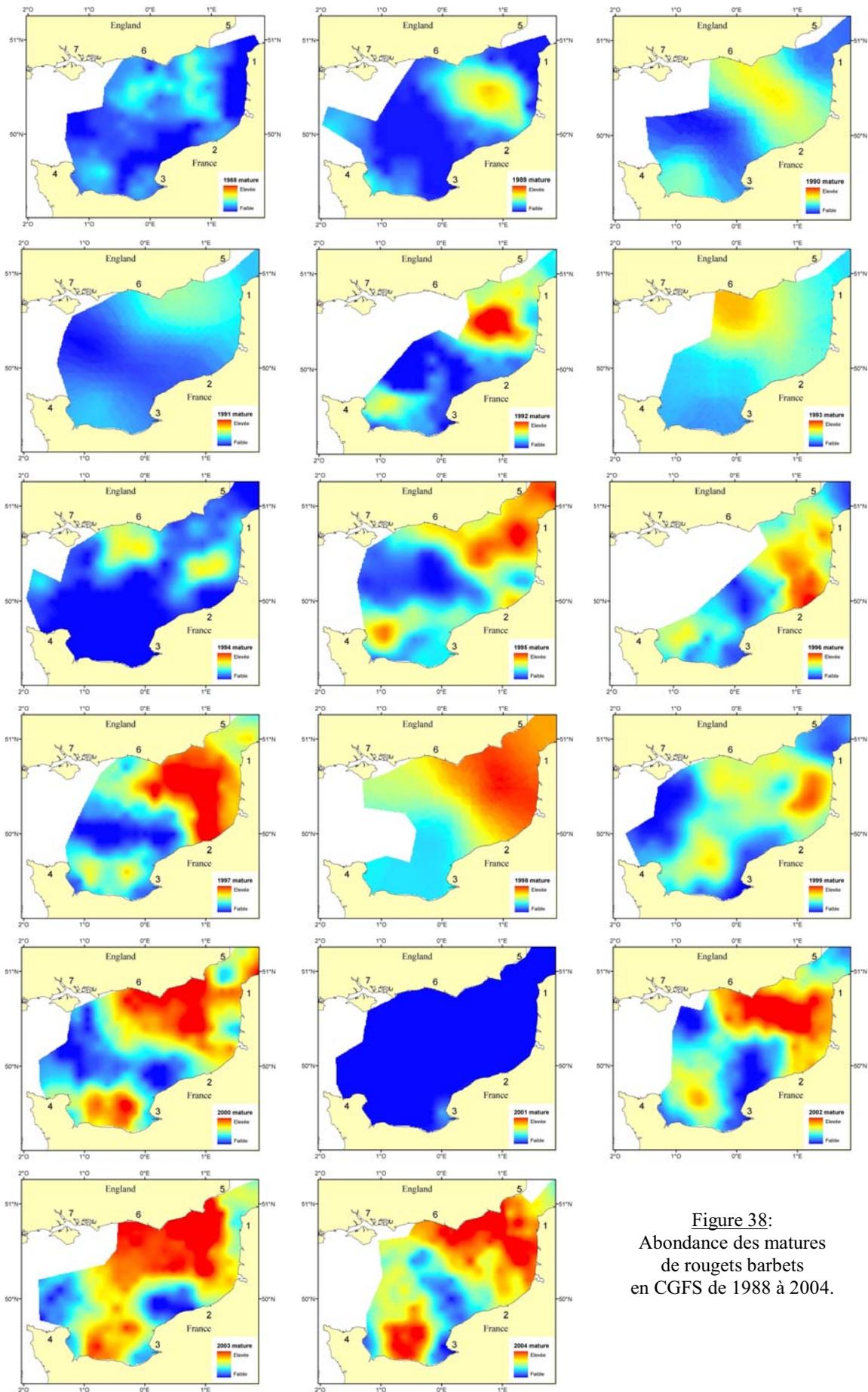


Figure 38:
Abondance des matures
de rougets barbets
en CGFS de 1988 à 2004.

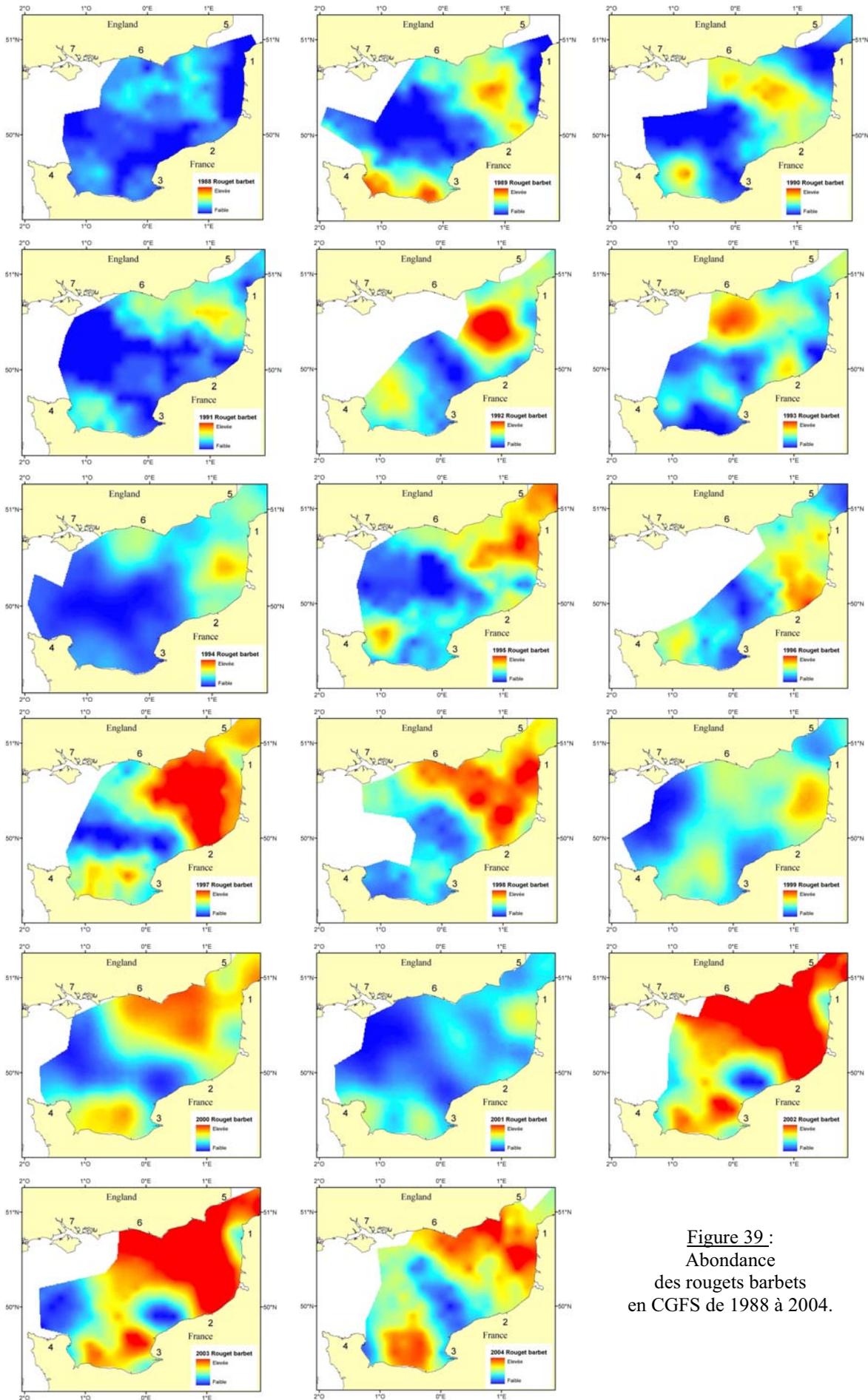


Figure 39 :
Abondance
des rougets barbets
en CGFS de 1988 à 2004.

II. 2. Les principaux estuaires français de Manche orientale

II. 2. A) La Seine

Une campagne scientifique annuelle est réalisée en baie de Seine, d'Antifer au Nord à Oustreham au Sud depuis 1995. Depuis 1995, 578 stations ont été échantillonnées (Fig. 40). Seules les stations du large ont montré une présence de rougets barbets (inférieurs à 20 cm). Chaque année, les campagnes se sont déroulées du mois de septembre au mois de décembre.

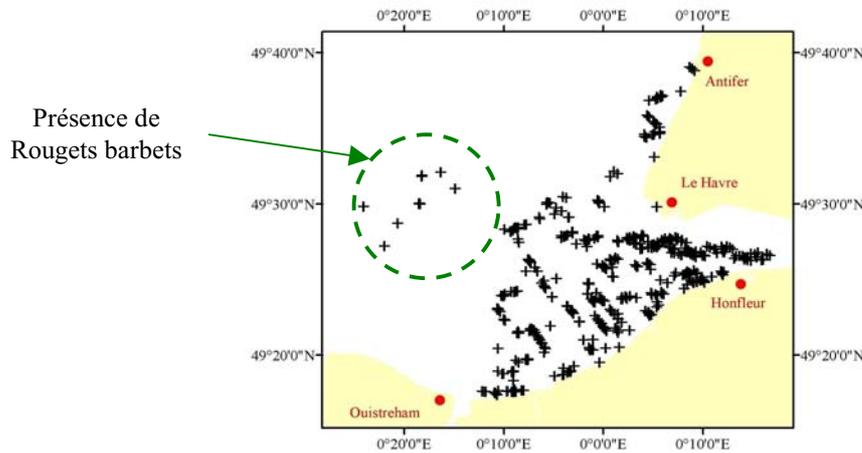


Figure 40 : Position des stations échantillonnées depuis 1995 lors de la campagne baie de Seine.

II. 2. B) La Somme

Une campagne scientifique est réalisée chaque année aux mois de septembre et d'octobre, depuis la baie d'Authie au nord, jusqu'à Dieppe au sud (Fig. 41). Elle a commencé en 1980 pendant 4 années puis a repris en 1987 (Fig. 42).

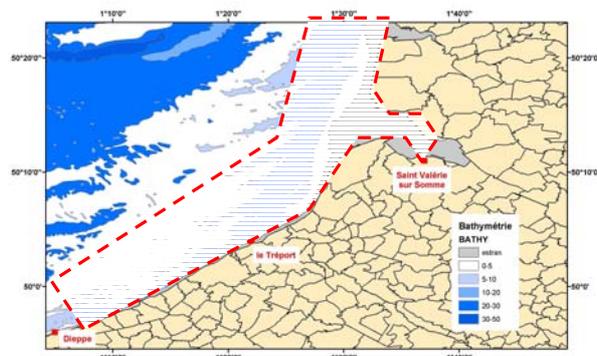


Figure 41 : Localisation de la campagne scientifique appelée « Baie de Somme » depuis 1980.

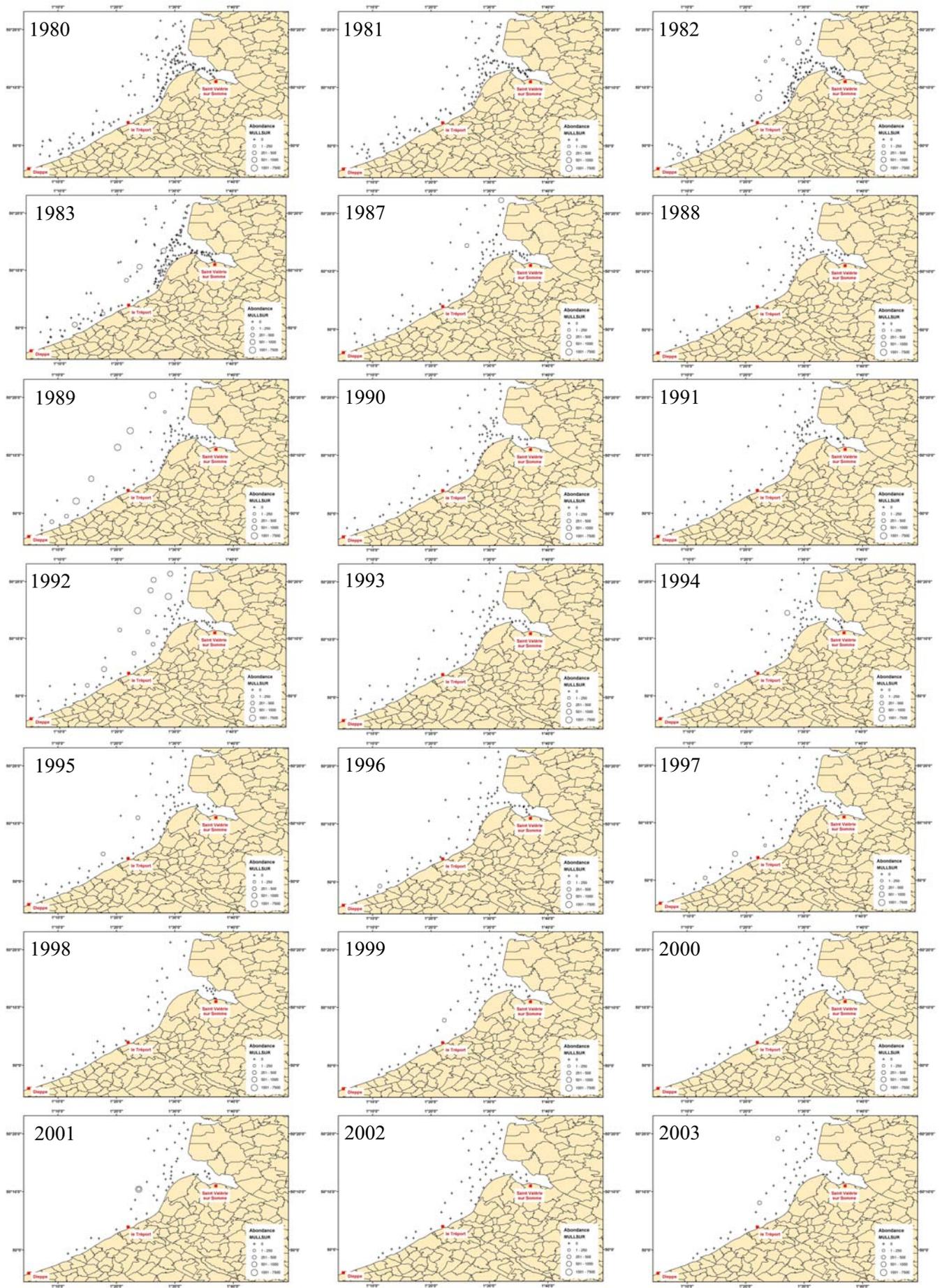


Figure 42 : Abondance de rougets barbets pendant la campagne scientifique de baie de Somme depuis 1980.

Les captures sont constituées de poissons immatures et matures. A l'intérieur de l'estuaire de Somme, aucun rouget barbet n'a été observé durant l'ensemble des missions (Fig. 42). Ce sont les stations les plus au large qui présentent des densités fortes de rougets barbets.

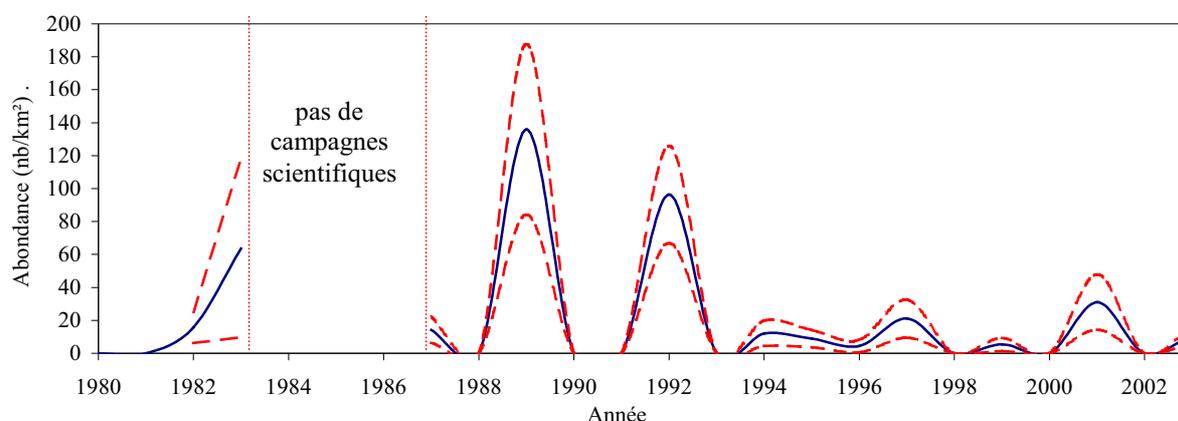


Figure 43 : Abondance annuelle moyenne (—) de 1980 à 2003 avec intervalle de confiance à 95% (---).

Les pics d'abondance de rougets barbets (Fig. 42 et 43) sont observés en 1983, 1989, 1992 et 2001.

II. 3. La mer du Nord

Depuis son commencement, la campagne IBTS se déroule au premier trimestre. En 1991, l'Europe a décidé d'étendre cette campagne scientifique au deuxième, troisième et quatrième trimestre. Enfin, en 1997, les échantillonnages réalisés au deuxième et au quatrième trimestre ont pris fin. Ainsi, le premier et le troisième trimestre sont les deux périodes de l'année qui présentent les séries historiques les plus importantes et qui sont encore suivis à ce jour. A l'inverse, le second et le quatrième trimestre n'ont été suivi que de 1991 à 1997.

II. 3. A) Au premier trimestre

Les densités de rougets barbets en mer du Nord sont analysées chaque année au premier trimestre (Fig. 44, 45, 46 et 47). Lors des campagnes de 1983 à 1989 et de 1991, 1993 et 1994, aucun rouget barbet n'a été observé. De plus, chaque année, en moyenne 389 stations sont échantillonnées et en 1990, 1992 et de 1995 à 1998, le nombre de stations révélant la présence de rougets barbets était inférieur à 6. Pour ces raisons, les cartes annuelles d'abondance n'ont été réalisées que sur la période de 1998 à 2005 (Fig. 45, 46 et 47). Les abondances de rougets barbets en mer du Nord au premier trimestre de 1998 à 2005, sont relativement faibles avec en moyenne 4,267 et 1,519 individus/km² respectivement pour les immatures et les matures. La plus forte abondance d'immatures est observée en 2004 et à l'inverse, aucun immature n'a été observé en 1999 (Fig. 45). De plus, le pic d'abondance d'immatures en 1998 a eu un impact sur plusieurs années car il a été suivi d'une période de forte abondance de rougets barbets matures de 1998 à 2002.

Au premier trimestre, la distribution des rougets barbets est très localisée avec deux zones de forte concentration qui sont situées d'une part à l'ouest de la mer du Nord, sur les côtes anglaises et écossaises et d'autre part à l'entrée de la mer Baltique (Skagerrak). Les répartitions des rougets barbets matures et immatures sont très semblables.

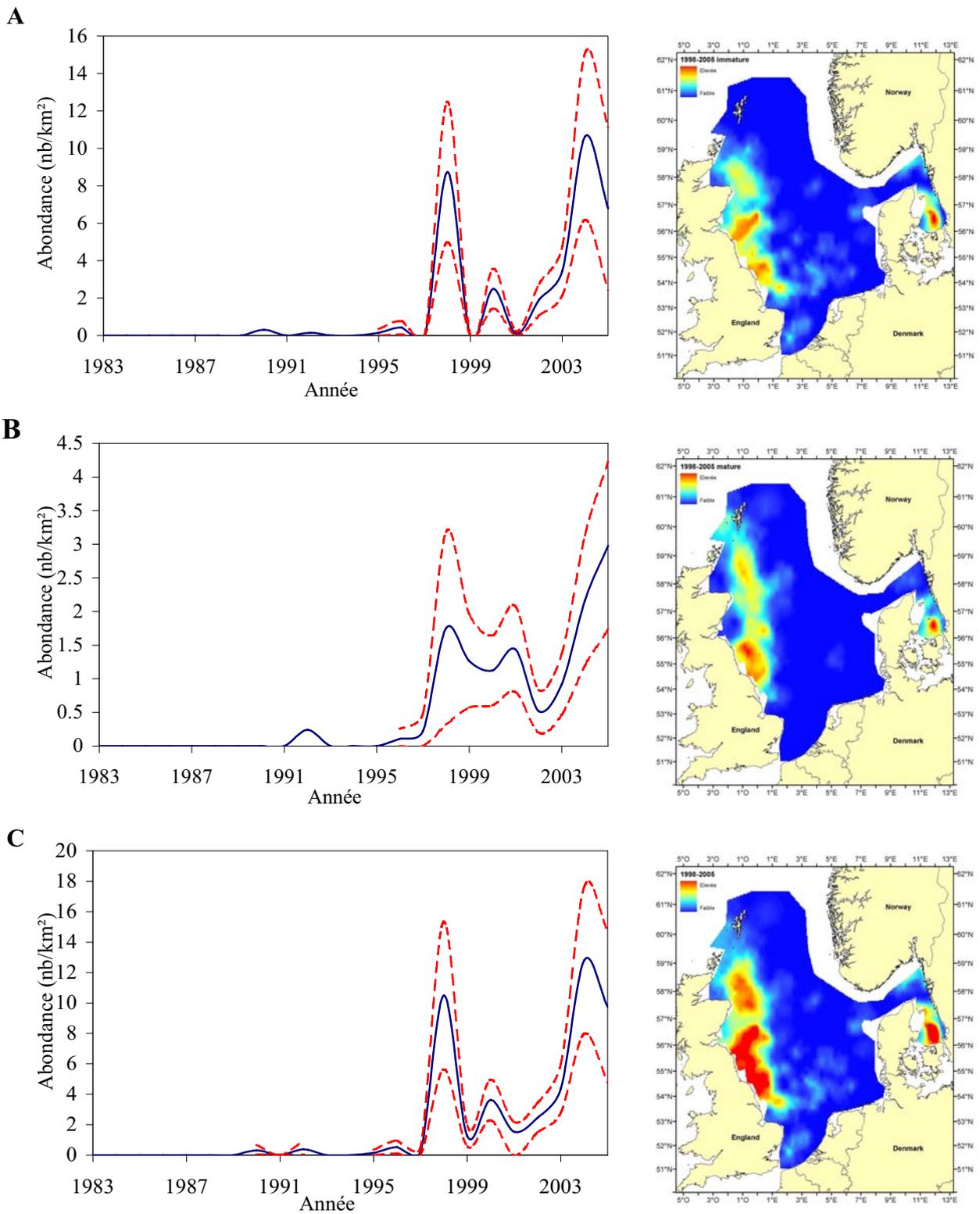


Figure 44 : Abondance annuelle moyenne au 1^{er} trimestre (—) avec l'intervalle de confiance à 95% (— —) de 1983 à 2005 _ carte d'abondance moyenne de rougets barbets (A : les immatures ; B : les matures ; C : la totalité) de 1998 à 2005.

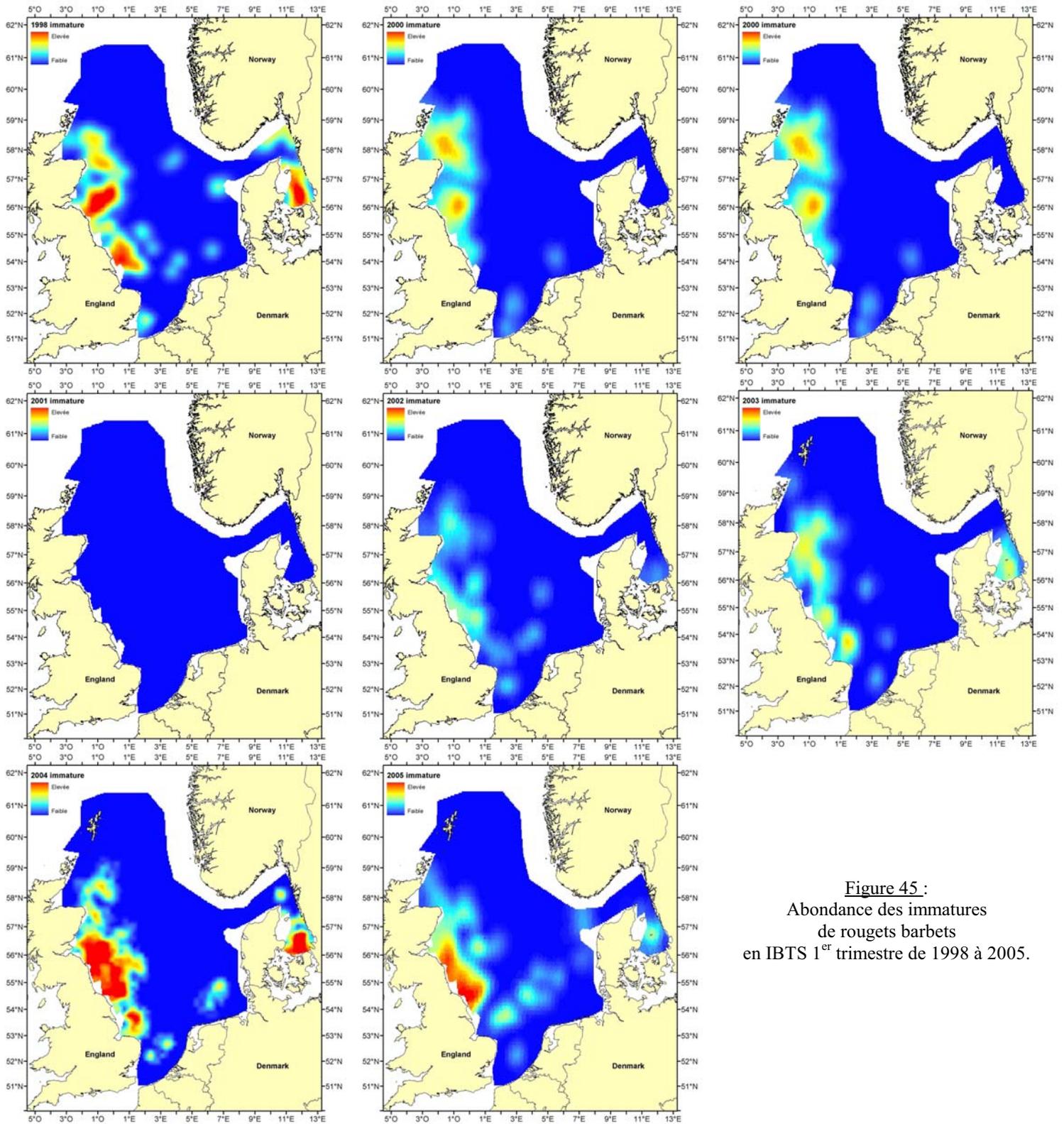


Figure 45 :
Abondance des immatures
de rougets barbets
en IBTS 1^{er} trimestre de 1998 à 2005.

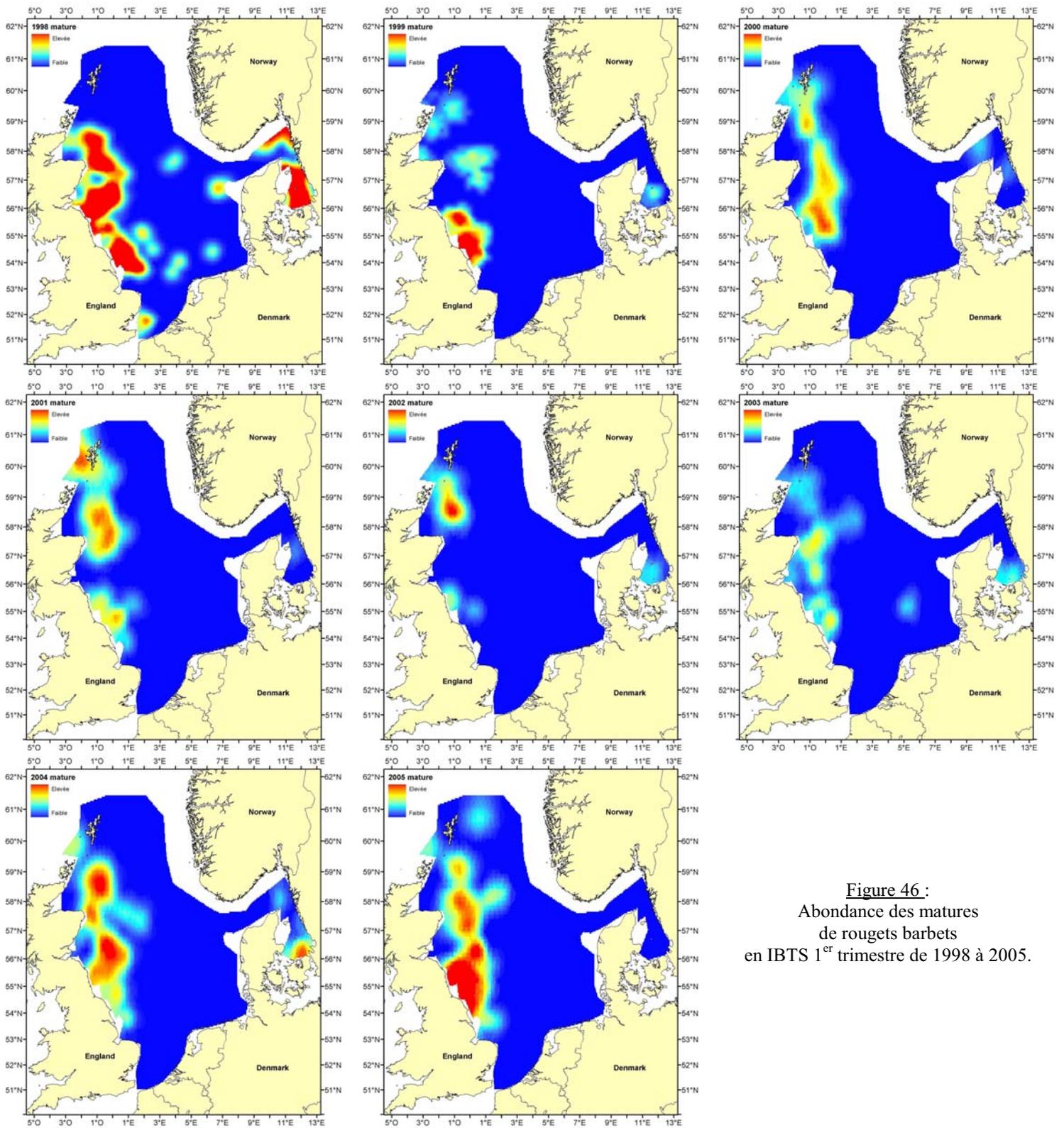


Figure 46 :
Abondance des matures
de rougets barbets
en IBTS 1^{er} trimestre de 1998 à 2005.

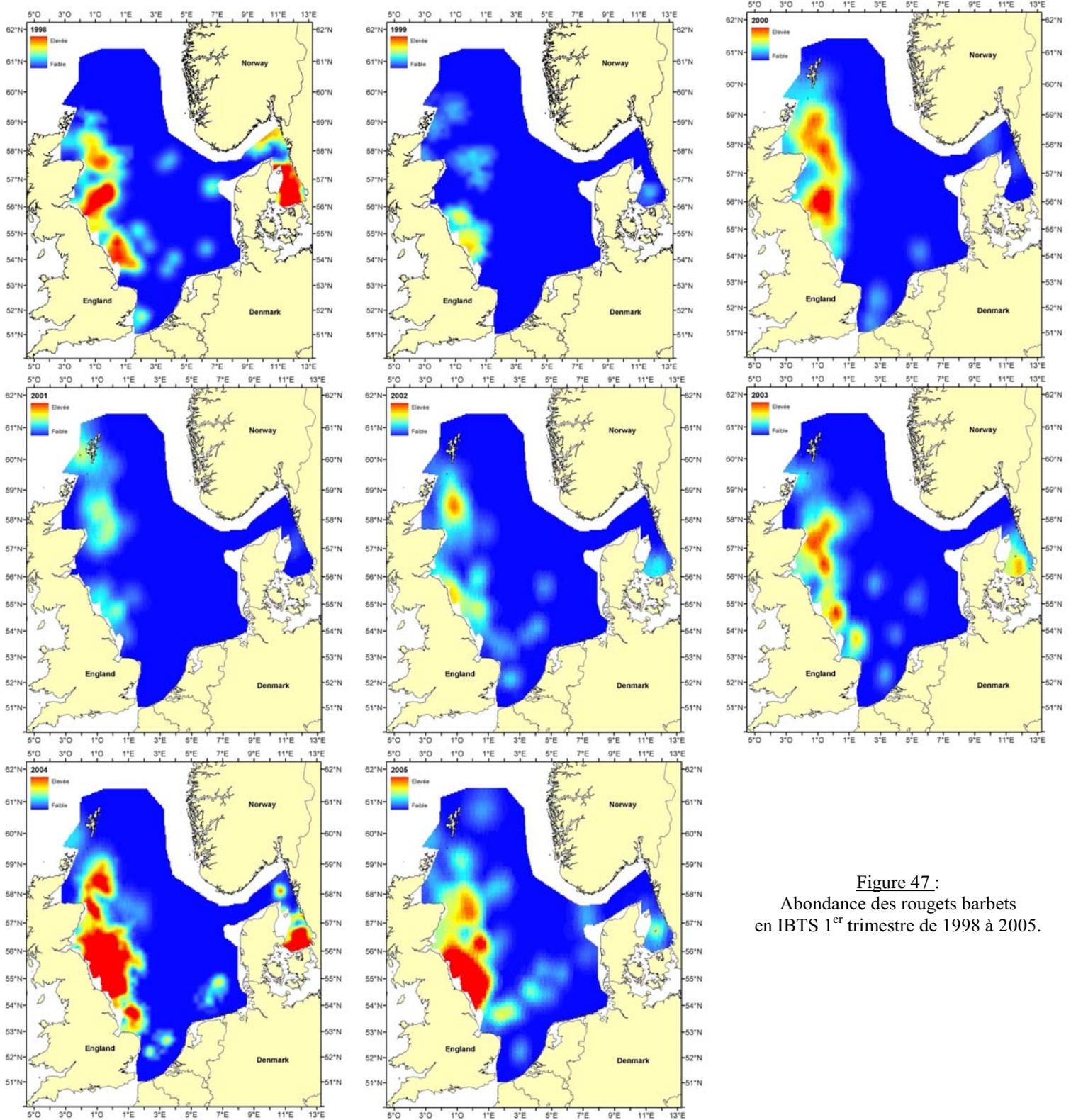


Figure 47 :
Abondance des rougets barbets
en IBTS 1^{er} trimestre de 1998 à 2005.

II. 3. B) Au troisième trimestre

Les densités de rougets barbets en mer du Nord sont analysées chaque année depuis 1991 au troisième trimestre (Fig. 48, 49, 50 et 51). La présence d'immatures au troisième trimestre est très fluctuante d'une année à l'autre avec des années où leur abondance est nulle (1991, 1993 et 1995 ; Fig. 48) voir quasi-nulle (1996, 1998, 2000 et 2001 ; Fig. 48) et à l'inverse des années comme en 2003 où l'abondance moyenne observée en mer du Nord est de 17,25 individus/km². Pour les matures, leur présence est observée chaque année. De plus, leurs abondances, comprises entre 4,23 individus/km² en 1997 à 22.87 individus/km² en 2000 (Fig. 48), sont beaucoup plus importantes que celles observées au premier trimestre (Fig. 44). Lorsque nous étudions la totalité des rougets barbets en mer du Nord, leur abondance est relativement stable de 1995 à 2003 avec une densité annuelle moyenne de l'ordre de 19 individus/km². Cette relative stabilité s'explique par une alternance de fortes abondances des immatures et des matures. Enfin, en 2004, le nombre observé d'individus, diminuant par rapport à 2002 et 2003 du fait des immatures, est similaire aux valeurs observées en 1994, 1996 et 2001.

Au troisième trimestre, la distribution des rougets barbets est très localisée au sud de la mer du Nord, entre le 51^{ième} et le 55^{ième} parallèle nord. Dans cette zone géographique, les immatures et les matures se différencient avec des zones de fortes abondances respectivement entre le 53^{ième} et le 55^{ième} parallèle nord et entre le 51^{ième} et le 53^{ième} parallèle nord.

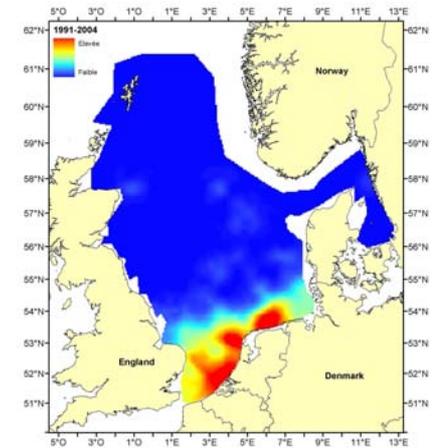
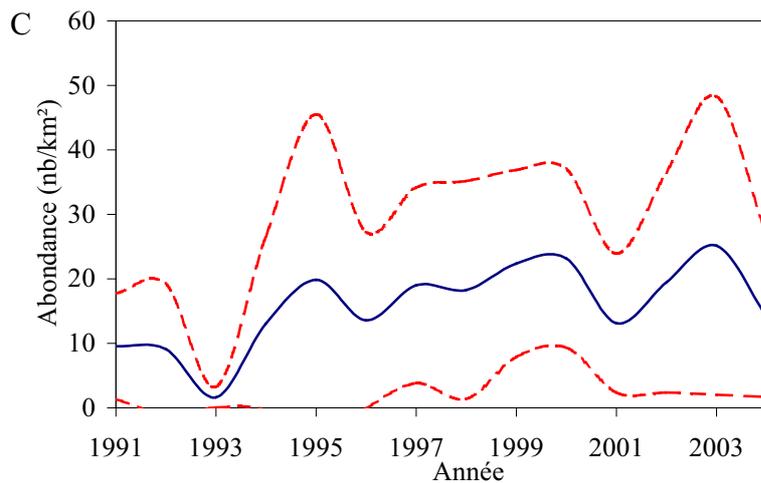
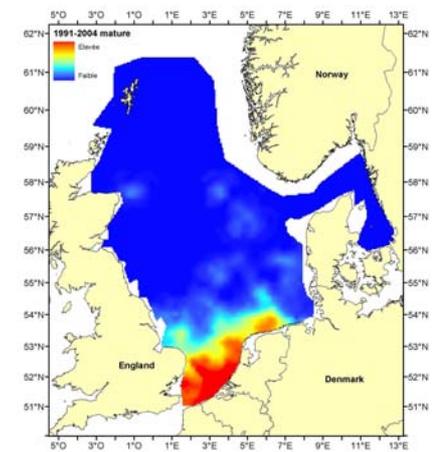
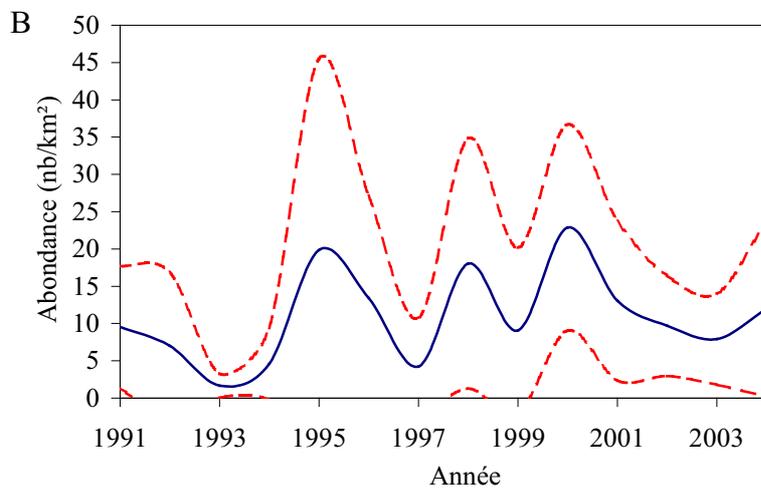
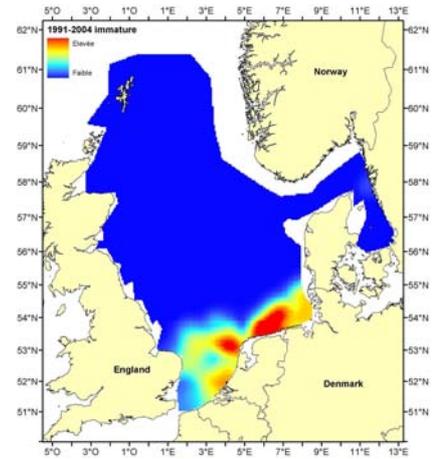
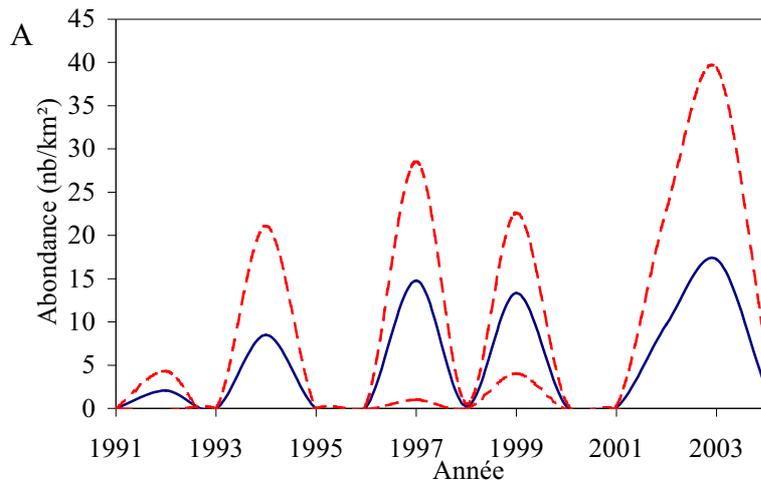
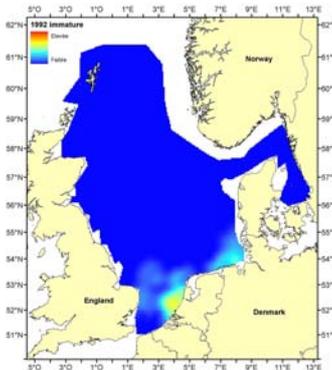
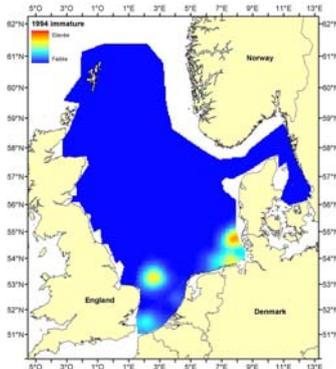


Figure 48 : Abondance annuelle moyenne au 3^{ème} trimestre (—) avec l'intervalle de confiance à 95% (---) de 1991 à 2004 _ carte d'abondance moyenne de rougets barbets (A : les immatures ; B : les matures ; C : la totalité) de 1991 à 2004.

En 1991 :
présence de
rouget barbet
sur 0 station

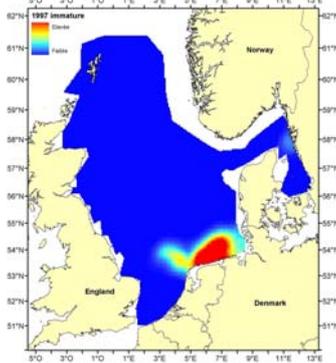


En 1993 :
présence de
rouget barbet
sur 0 station

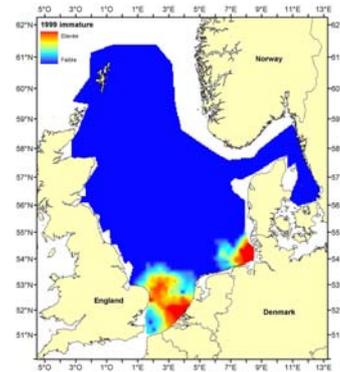


En 1995 :
présence de
rouget barbet
sur 0 station

En 1996 :
présence de
rouget barbet
sur 1 station



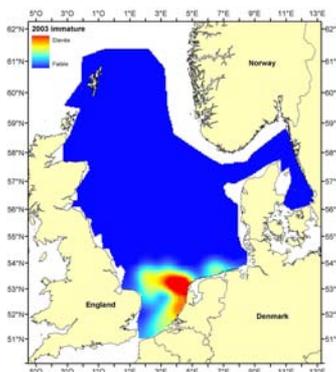
En 1998 :
présence de
rouget barbet
sur 3 stations



En 2000 :
présence de
rouget barbet
sur 2 stations

En 2001 :
présence de
rouget barbet
sur 1 station

En 2002 :
présence de
rouget barbet
sur 5 stations



En 2004 :
présence de
rouget barbet
sur 1 station

Figure 49 :
Abondance des immatures
de rougets barbets
en IBTS 3^{ème} trimestre
de 1991 à 2004.

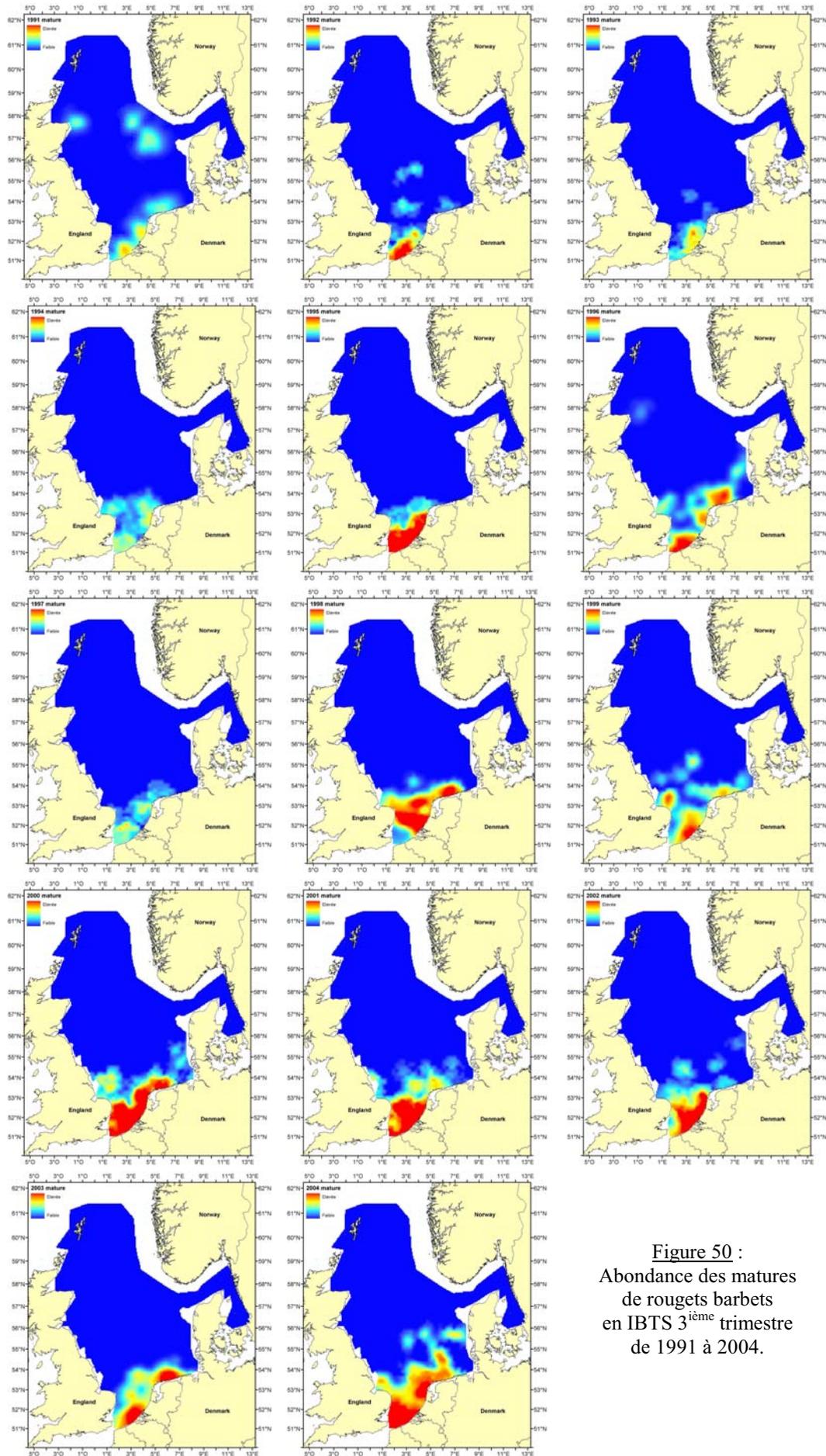
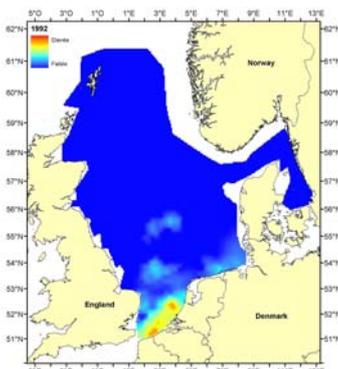
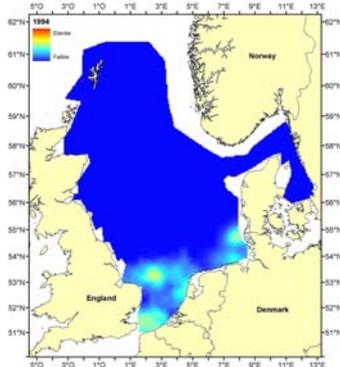


Figure 50 :
 Abondance des matures
 de rougets barbets
 en IBTS 3^{ème} trimestre
 de 1991 à 2004.

En 1991 :
Absence de
rougets barbets
immatures

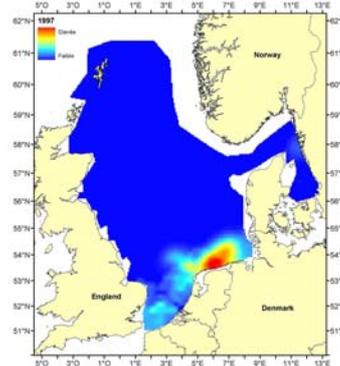


En 1993 :
Absence de
rougets barbets
immatures

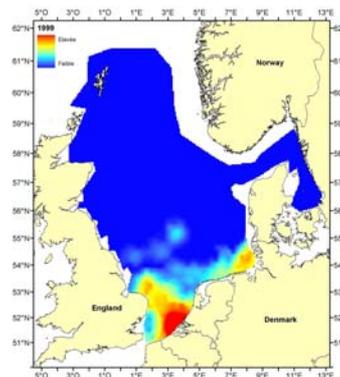


En 1995 :
Absence de
rougets barbets
immatures

En 1996 :
Trop faible présence
de rougets barbets
immatures



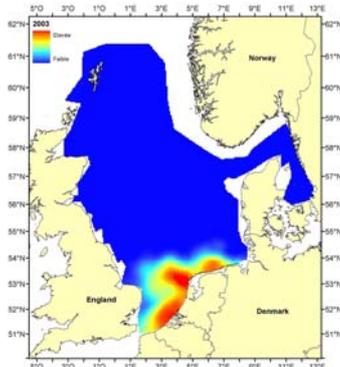
En 1998 :
Trop faible présence
de rougets barbets
immatures



En 2000 :
Trop faible présence
de rougets barbets
immatures

En 2001 :
Trop faible présence
de rougets barbets
immatures

En 2002 :
Trop faible présence
de rougets barbets
immatures



En 2004 :
Trop faible présence
de rougets barbets
immatures

Figure 51 :
Abondance des rougets barbets
en IBTS 3^{ème} trimestre
de 1991 à 2004.

II. 3. C) Au deuxième trimestre

La Campagne IBTS au second trimestre a commencé en 1991 et elle s'est arrêté en 1997. De 1991 à 1995, la couverture spatiale et le nombre de traits de chalut échantillonnés (Annexe 6) est semblable à ce qui est réalisé pour le premier et le troisième trimestre avec en moyenne 272 traits par an. En 1996 et en 1997, l'échantillonnage a été moins important avec 125 traits réalisés chaque année et une couverture spatiale plus faible ne prenant pas en compte le sud de la mer du Nord (Annexe 6).

Nous n'analysons ici que les données de 1991 à 1995 qui peuvent être comparées à celles des premier et troisième trimestre. Ces données ont été acquises de mi-avril à mi-juin. En mer du Nord, pendant cette période, seul un trait de chalut en 1996 a montré la présence d'immatures de rougets barbets. En ce qui concerne les matures, le nombre de traits de chalut montrant leur présence est en moyenne de 11 par an. Leur abondance moyenne annuelle est similaire à celle observée au premier trimestre (Fig. 52. A) mais leur répartition géographique est elle équivalente à celle observée au troisième trimestre (Fig. 52. B).

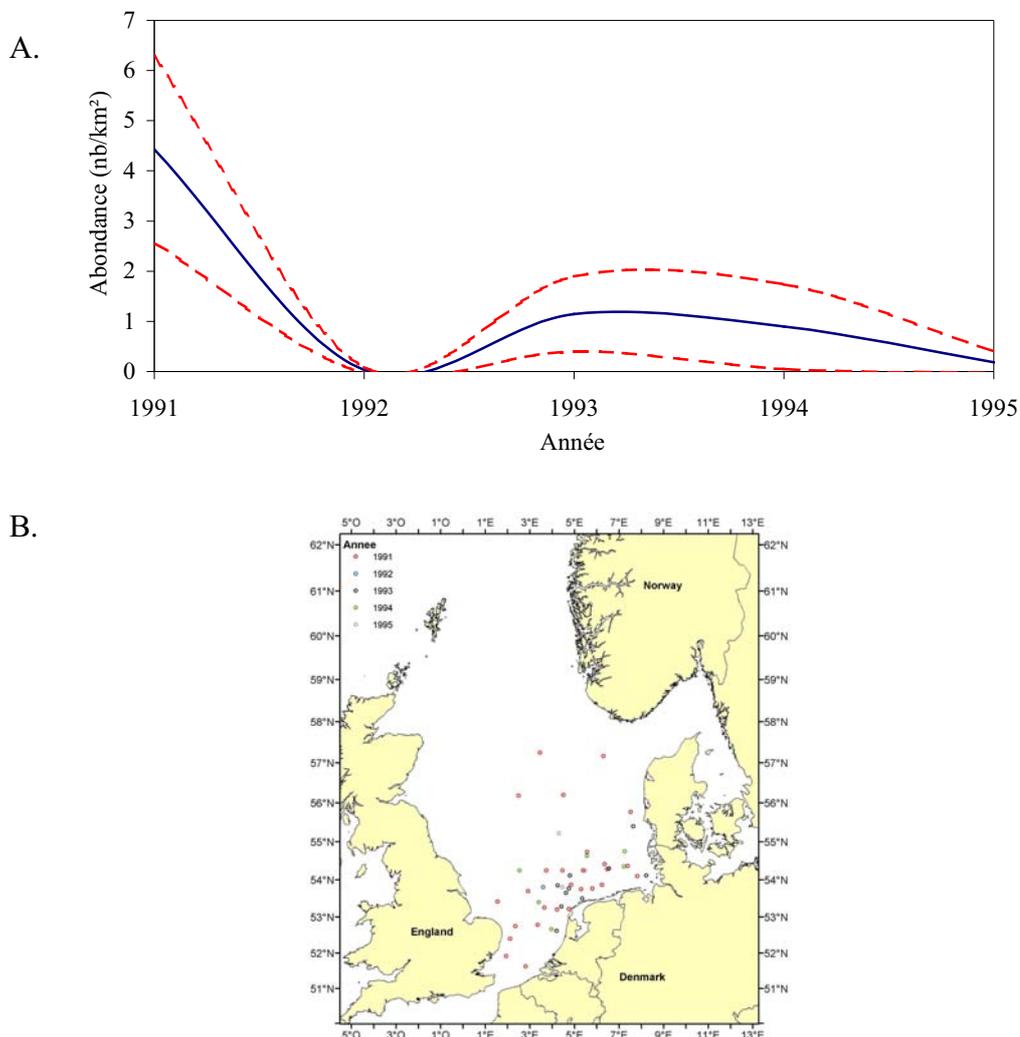


Figure 52 : Abondance annuelle moyenne au 2^{ème} trimestre (—) des matures avec l'intervalle de confiance à 95% (— —) _ carte des traits présentant des rougets barbets matures au 2^{ème} trimestre de 1991 à 1995.

II. 3. D) Au quatrième trimestre

La Campagne IBTS au quatrième trimestre s'est déroulée de 1991 à 1996 avec en moyenne 256 traits de chalut réalisés chaque année (Annexe 6). L'échantillonnage annuel est moindre que celui réalisé au premier et au troisième trimestre. Cette différence s'explique par un effort d'échantillonnage plus faible au sud de la mer du Nord.

Les immatures sont présents dans 15 stations en moyenne par an avec des abondances moyennes annuelles pouvant atteindre 95.9 individus par km² en 1994 (Fig. 53. A). Les immatures sont présents sur les mêmes zones géographiques (Fig. 53. B) que les immatures au 3^{ième} trimestre. Les matures sont quant à eux peu présents avec seulement 1 station et 7 stations respectivement en 1995 et 1996.

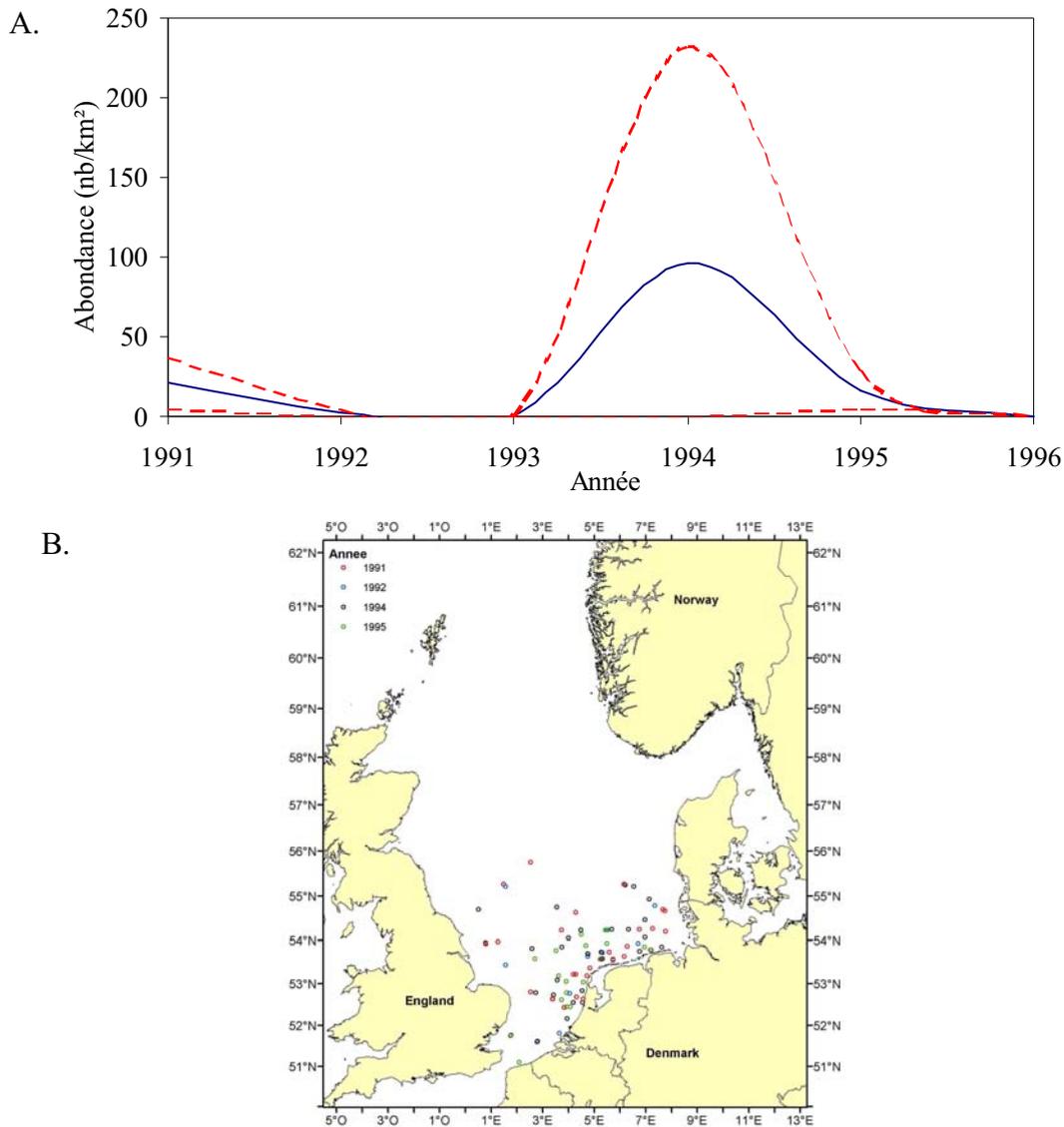


Figure 53 : Abondance annuelle moyenne au 4^{ième} trimestre (—) des immatures avec l'intervalle de confiance à 95% (---)- carte des traits présentant des rougets barbets immatures au 4^{ième} trimestre de 1991 à 1996.

III. Synthèse des résultats

L'analyse de l'abondance du rouget barbet en Manche orientale de 1988 à 2004 montre des fluctuations très fortes d'une année à l'autre. Sur cette période, trois années (1989, 1997 et 2003) sont marquées par des pics d'abondance d'immatures. Pour les poissons matures, les densités élevées caractérisent la période de 1995 à 1998 et en 2003. Au mois d'octobre, la distribution du rouget barbet est très localisée à l'est de la Manche orientale. De plus, l'étude de la baie Seine et de la baie de Somme en fin d'année montre la présence très faible voir l'absence de cette espèce aux abords des milieux estuariens.

En mer du Nord, l'analyse du rouget barbet a pu être menée sur les quatre trimestres de l'année. Ainsi, l'abondance du rouget barbet caractérise essentiellement le troisième trimestre et le quatrième trimestre seulement pour l'année 1994. L'abondance du rouget barbet en mer du Nord montre la même tendance que celle observée en Manche orientale à savoir des fluctuations très marquées d'une année à l'autre. Au troisième trimestre, les années de fortes abondances sont d'une part pour les immatures, 1994, 1997, 1999 et 2003 et d'autre part pour les matures, 1995, 1998 et 2000. Ainsi, pour une année donnée, lorsqu'il y a beaucoup d'immatures au troisième trimestre en mer du Nord, l'année suivante est caractérisée par beaucoup de matures au troisième trimestre. Ce phénomène n'est pas aussi clairement identifié pour la Manche orientale. Enfin, la distribution du rouget barbet en mer du Nord est localisée au sud du 55^{ème} parallèle Nord c'est à dire du sud des côtes danoises à la France, sauf au premier trimestre où seulement une faible présence de rougets barbets est identifiée sur la côte Est du Royaume-Uni et au Skagerrak.

PARTIE IV :

Habitat du rouget barbet en Manche orientale

I. Comportement alimentaire du rouget barbet

Un GIS (Groupement d'Intérêt Scientifique) "Impacts des extractions de granulats marins au large de Dieppe" assure le suivi scientifique d'un site positionné sur un ancien cordon littoral de galets à 3 milles au nord-est de Dieppe. Depuis 2004, le GIS tente d'identifier l'impact direct de l'activité de dragage sur les poissons et leurs liens trophiques avec la macrofaune benthique présente. Bien que cette étude soit menée sur une zone très restreinte, elle fournit des informations sur l'alimentation de cette espèce en Manche orientale ainsi que sur ses relations avec les peuplements benthiques et le sédiment.

I. 1. Caractérisation des zones d'étude

Une campagne a été réalisée en avril 2005 par le laboratoire de géomorphologie de l'université de Rouen avec pour objectif d'identifier le type de sédiment et le benthos présents dans chaque zone. L'échantillonnage a été réalisé sur 5 stations (Fig. 54) à l'aide d'une benne mini-Hamon qui prélève le sédiment sur une surface de 0.1 m² et sur une épaisseur d'environ 20 cm. A chaque station ont été effectués deux prélèvements pour étudier la macrofaune et un prélèvement pour le sédiment.

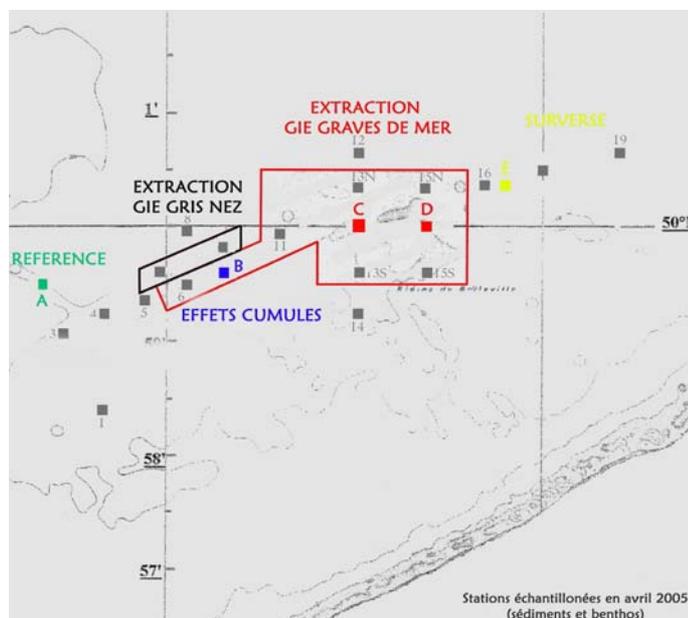


Figure 54 : Localisation des stations de prélèvement de sédiment et de benthos (A à E).

I. 1. A) Le sédiment

L'étude du sédiment a montré que la composition granulométrique est différente d'une zone à l'autre (Tab. 10).

| | | Stations | | | | | Diamètre des particules (mm) |
|--------------|---------------------|--------------------|-------------------|-------------------|-------------------|---------------------|------------------------------|
| | | A | B | C | D | E | |
| Sédiment (%) | Galets | 2 | 33 | 31 | 81 | 0.5 | >22 |
| | Graviers | 36 | 15 | 11 | 14 | 9 | 2 à 22 |
| | Sables grossiers | 60 | 42 | 47 | 2 | 54 | 0.5 à 2 |
| | Sables fins-sablons | 2 | 9 | 11 | 2.3 | 34 | 0.05 à 0.5 |
| | Vases | 0.1 | 0.4 | 0.1 | 0.1 | 2.2 | 0 à 0.05 |
| | Topographie | Sables coquilliers | Crêtes et sillons | Crêtes et sillons | Crêtes et sillons | Placage sableux fin | |
| | Nature du fond | Homogène | Hétérogène | Hétérogène | Hétérogène | Homogène | |

Tableau 10 : Caractéristiques granulométriques des stations échantillonnées.

La station A, représentant la zone de référence, est composée essentiellement de sables grossiers (60%) et de graviers (36%). La nature du fond est homogène et présente des sables fortement coquilliers. Les stations B, C et D, comprises dans la zone d'extraction du « GIE Graves de mer », témoignent de l'hétérogénéité des fonds qui sont caractérisés par une alternance de crêtes de galets (D ; 81% de galets) et de sillons présentant un sédiment hétérogène de sables, graviers et galets (B et C). La station E, échantillonnée dans la zone de dépôt de la surverse, montre la granulométrie la plus fine avec une teneur élevée en sables fins, sablons et vases par rapport aux autres stations.

I. 1. B) Le benthos

L'étude de la macrofaune a permis de recenser 63 espèces différentes. Le groupe taxinomique le plus représenté est celui des annélides avec 40 espèces et 76,7% du nombre de spécimens échantillonnés. Les deux autres groupes qui constituent la macrofaune sont d'une part les mollusques (gastéropodes³⁵ et bivalves³⁶) et d'autre part les crustacés (amphipodes³⁷ et décapodes³⁸). La richesse spécifique d'une station est comprise entre 4 pour la station E et 35 pour la station A (Tab. 11). La station C (galets du site d'extraction) présente également un grand nombre d'espèces mais surtout les densités les plus fortes avec 3015 individus.m⁻², contre 960 individus.m⁻² pour le peuplement des sables grossiers de la station de référence (station A). Les stations B et D sont elles aussi comprises dans la zone d'extraction mais elles présentent des communautés benthiques beaucoup moins riches que la station C. elles sont respectivement caractéristiques des sables fins de surverse et d'un sédiment hétérogène envasé. Enfin, la station E située dans la zone de dépôt présente une macrofaune très pauvre avec seulement 4 espèces pour une abondance minimale de 25 individus.m⁻².

³⁵ Mollusques rampants sur un large pied ventral, souvent pourvus d'une coquille dorsale spiralée.

³⁶ Mollusques dont la coquille est composée de 2 valves.

³⁷ Crustacés de petite taille, à corps comprimé latéralement.

³⁸ Crustacés possédant 10 pattes.

| milieu caractéristique | groupe taxinomique | espèce | stations | | | | |
|------------------------|-------------------------|-----------------------------------|-----------------------------|----|----|----|---|
| | | | A | B | C | D | E |
| sables grossiers | Gastéropodes | <i>Lunatia alderi</i> | 5 | | | 15 | |
| | Bivalves | <i>Glycymeris glycymeris</i> | 20 | 5 | | | |
| | | <i>Dosinia exoleta</i> | 5 | | | | |
| | | <i>Parvicardium sp</i> | 5 | | | | |
| | Annélides | <i>Eusyllis bloemstrandii</i> | 275 | | | | |
| | | <i>Harmothoe ljunghmani</i> | 95 | | | | |
| | | <i>Sphaerosyllis hystrix</i> | 75 | 5 | 30 | | |
| | | <i>Exogone hebes</i> | 65 | | 60 | 5 | |
| | | <i>Eulalia tripunctata</i> | 55 | | | | |
| | | <i>Mystides elongata</i> | 45 | | | | |
| | | <i>Staurocephalus kefersteini</i> | 40 | | | | |
| | | <i>Polycirrus medusa</i> | 25 | 5 | 5 | | |
| | | <i>Syllis amica</i> | 20 | | 5 | | |
| | | <i>Glycera sp</i> | 20 | | | | 5 |
| | | <i>Nereis pelagica</i> | 20 | | | | |
| | | <i>Trypanosyllis coeliaca</i> | 20 | | | | |
| | | <i>Pionosyllis sp</i> | 20 | | | | |
| | | <i>Aonides paucibranchiata</i> | 15 | | | | |
| | | <i>Lacidonia miranda</i> | 10 | | | | |
| | | <i>Praegeria remota</i> | 10 | | | | |
| | | <i>Syllis hyalina</i> | 10 | | | | |
| | | <i>Autolytus sp</i> | 10 | | | 15 | |
| | | <i>Pterosyllis formosa</i> | 5 | | | | |
| | | <i>Lumbrinereis impatiens</i> | 5 | 25 | | | |
| | | <i>Sphaerosyllis bulbosa</i> | 5 | | | | |
| | | <i>Notomastus latericeus</i> | | 5 | | | |
| | | <i>Syllis cornuta</i> | | 5 | | | |
| | | <i>Kefersteinia cirrata</i> | | | | 35 | |
| | | <i>Heterocirrus bioculatus</i> | | | | 10 | |
| | | <i>Odontosyllis gibba</i> | | | | 40 | |
| | | <i>Polydora sp</i> | | | | 55 | |
| | | <i>Eulalia sanguinea</i> | | | | 15 | |
| | | <i>Pholoe baltica</i> | | | | 5 | |
| | | <i>Harmothoe reticulata</i> | | | | 10 | |
| | | Amphipodes | <i>Corophium sextonae</i> | | | 40 | |
| | | | <i>Gammaropsis maculata</i> | | | 5 | |
| | <i>Iphimedia obtusa</i> | | | | 5 | | |
| | Echinodermes | <i>Amphipholis squamata</i> | 50 | | 10 | | |
| | | <i>Echinocyamus pusillus</i> | 10 | | 5 | | |
| | Divers | <i>Amphioxus lanceolatus</i> | 10 | 5 | | | |

| milieu caractéristique | groupe taxinomique | espèce | stations | | | | |
|------------------------------------|--------------------|------------------------------------|----------|-----|------|----|----|
| | | | A | B | C | D | E |
| galets | Gastéropodes | <i>Crepidula fornicata</i> | | | 380 | | |
| | Bivalves | <i>Mytilus edulis</i> | | | 5 | | |
| | Annélides | <i>Pomatoceros triqueter</i> | 5 | | 1960 | 5 | |
| | | <i>Serpula vermicularis</i> | | | 10 | | |
| | | <i>Sabellaria spinulosa</i> | | | 10 | | |
| | | <i>Lepidonotus squamatus</i> | | | 5 | | |
| | Amphipodes | <i>Pseudoprotella phasma</i> | | | 5 | | |
| | | <i>Ceradocus semiserratus</i> | | | | 5 | |
| | Décapodes | <i>Pisidia longicornis</i> | | | 280 | | |
| | | <i>Galathea intermedia</i> | | | 5 | | |
| sables fins | Bivalves | <i>Ensis arcuatus</i> | | 5 | | | |
| | | <i>Moerella pygmaea</i> | | 35 | | | |
| | | <i>Spisula elliptica</i> | | | | | 5 |
| | Annélides | <i>Nephtys cirrosa</i> | | 20 | | | 10 |
| | | <i>Ophelia limacina</i> | | 10 | 5 | | 5 |
| | | <i>Spiophanes bombyx</i> | | 15 | | | |
| | Amphipodes | <i>Bathyporeia guilliamsoniana</i> | | 25 | | | |
| hétérogène envasé | Annélides | <i>Terebella lapidaria</i> | 5 | | | | |
| | | <i>Malmgrenia arenicolae</i> | | | | 5 | |
| | | <i>Phyllodoce groenlandica</i> | | | | 25 | |
| | | <i>Ampharete grubei</i> | | | | 5 | |
| | Amphipodes | <i>Apseudes latreillei</i> | | | | 5 | |
| | Décapodes | <i>Pagurus bernhardus</i> | | | | 5 | |
| | Divers | <i>Phoronis sp</i> | | 5 | | | |
| Richesse spécifique | | | 35 | 14 | 33 | 13 | 4 |
| Densité (ind/m²) | | | 960 | 170 | 3015 | 75 | 25 |

Tableau 11 : Abondance (ind.m²) du benthos pour les 5 stations échantillonnées.

I. 2. Echantillonnage des ressources halieutiques

Depuis le mois de juillet 2004, une fois par mois, une campagne scientifique est réalisée à l'aide d'un chalutier professionnel de Dieppe, "le Colbert". Pour cela, les scientifiques ont mis au point une stratégie d'échantillonnage sur plusieurs zones du secteur d'extraction (Fig. 55) :

- 4 traits dans les zones d'extraction
- 2 traits dans la zone orientale de surverse des sables
- 1 trait dans une zone d'effets cumulés (ancienne zone d'extraction soumise à la surverse liée aux dragages du site Gris Nez
- 1 trait dans la zone de recolonisation (partie occidentale de l'ancien périmètre d'extraction)
- 1 trait dans la zone de référence située en-dehors du périmètre d'impact des dragages

L'échantillonnage est réalisé avec un chalut de fond à panneaux et la durée de chaque chalutage dure 15 minutes.

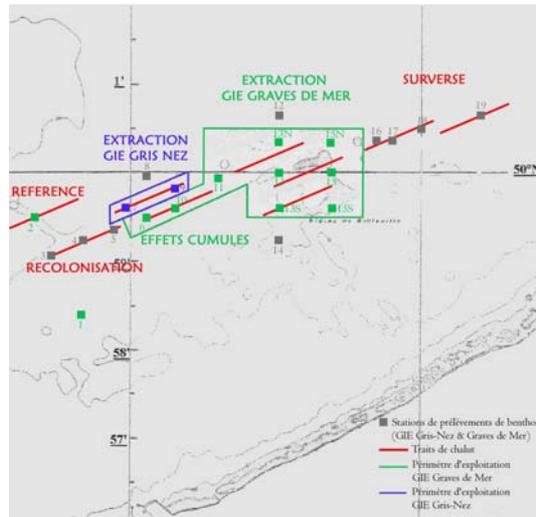


Figure 55 : Localisation des traits de chalut pour le suivi d'impact halieutique des dragages.

A chaque station, tous les poissons sont identifiés et mesurés puis chaque espèce est pesée dans sa totalité.

Les cinq groupes de poissons majoritaires sont :

- le rouget barbet
- les grondins : grondin perlon, rouge et camard
- les raies : raie bouclée, lisse et douce
- la plie
- le cabillaud

Pour chacun de ces groupes, les tractus digestifs d'au minimum 5 à 10 individus sont conservés dans de l'eau de mer formolée (4%) et colorée pour être analysés ultérieurement au laboratoire.

I. 3. Distribution

Les 5 campagnes scientifiques réalisées en 2004 montrent que le rouget barbet est présent sur tous les sites (Fig. 56). Cependant, le rouget barbet est moins abondant sur les secteurs d'extraction (28 individus recensés) que sur le site de référence ou de recolonisation (55 individus recensés). Ce phénomène est encore plus marqué pour les sites de dépôts de dragage (12 individus recensés).

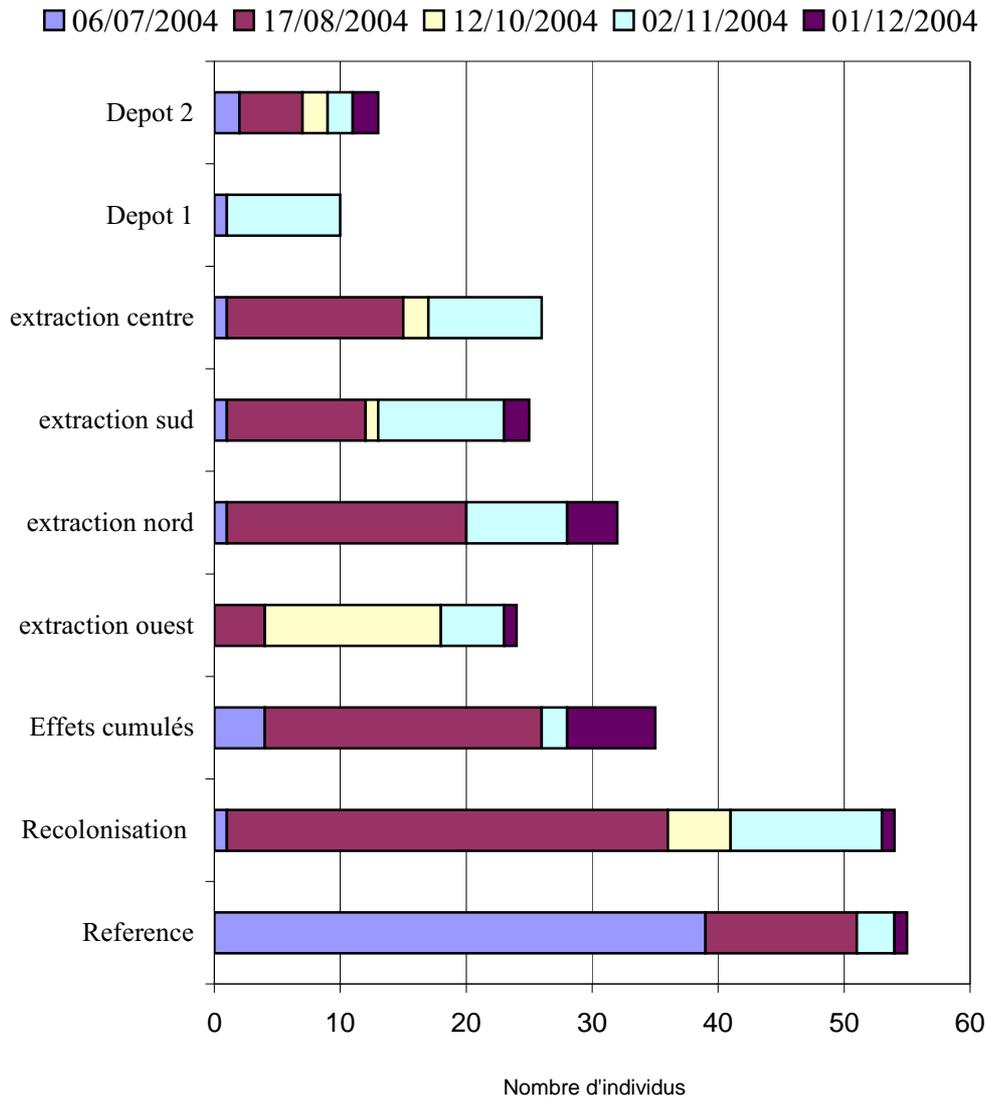
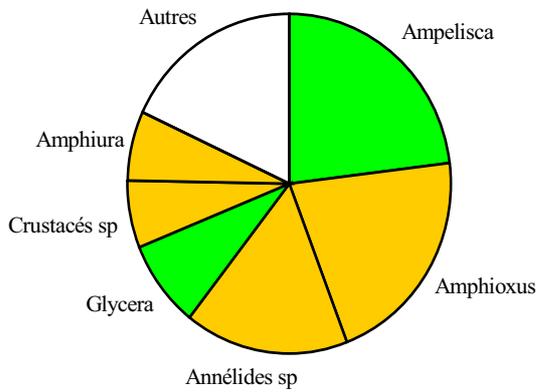


Figure 56: Abondance cumulée du rouget barbet pour les sites d'étude du GIS granulats.

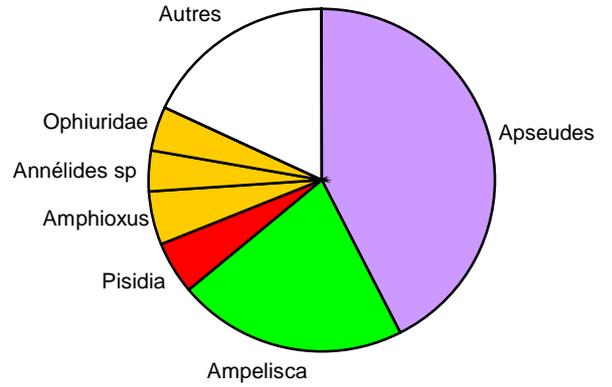
I. 4. Relations trophiques

76 individus, mesurant entre 16 et 25 cm avec une taille modale de 18-19 cm, ont été prélevés pour l'analyse du tractus digestif. Les proies identifiées représentent 32 espèces (Annexe 7) et les proies préférentielles sont différentes selon le secteur étudié (Fig. 57).

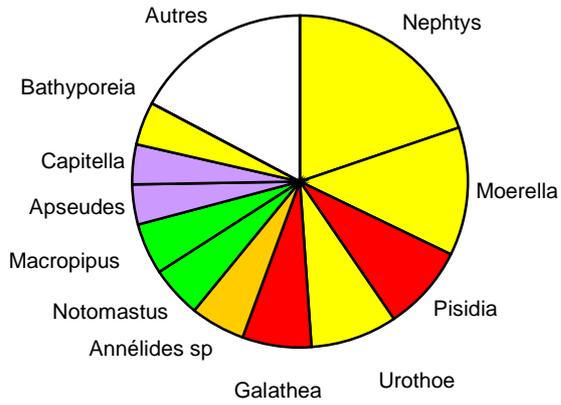
Site de Référence



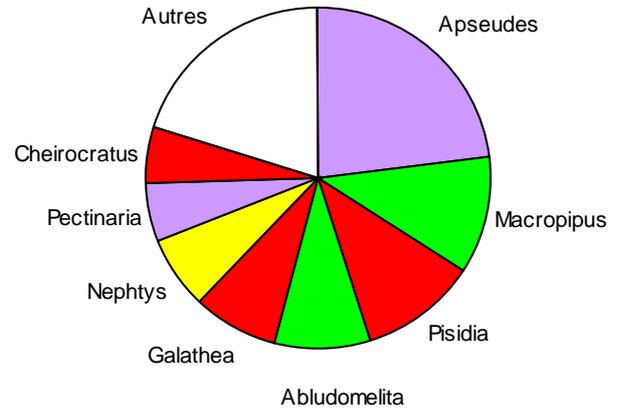
Site Recolonisation



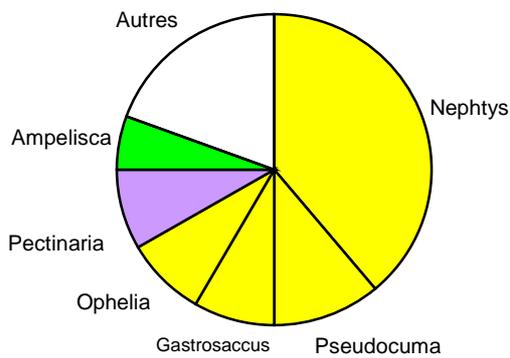
Site effets cumulés



Site d'extraction



Site de dépôt



Milieu caractéristique :

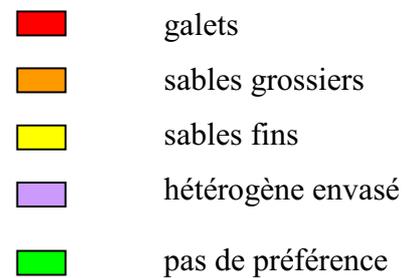


Figure 57 : Importance relative des proies préférentielles du rouget barbet sur les 5 sites d'étude avec l'indication de la nature du fond qui les caractérise.

Dans le secteur de référence, les proies préférentielles sont représentées d'une part par un petit crustacé amphipode (*Ampelisca spinipes*) et d'autre part par un céphalochordé (*Branchiostoma lanceolatum* appelé aussi *Amphioxus*) qui est caractéristique des sables grossiers. Le cortège d'annélides, également caractéristiques des sables grossiers, présents en grand nombre dans le sédiment (Tab. 11), représentent 16% des proies du rouget barbet (Fig. 57).

Dans la zone de recolonisation, l'amphipode *Ampelisca spinipes* demeure une proie préférentielle, contrairement aux espèces inféodées aux sables grossiers. La proie la plus importante avec 43% du nombre total de proies identifiées, est un crustacé de très petite taille (*Apseudes latreillii*) qui colonise les sables fins envasés piégés dans les anciens sillons d'extraction.

Cette proie est présente dans la zone de dragage mais elle ne représente plus que 23% de l'alimentation du rouget barbet. D'autres proies sont caractéristiques des sables fins envasés comme l'annélide *Pectinaria koreni* (6%, Fig. 57). Cependant l'alimentation du rouget barbet montre une grande diversité de proies caractéristiques de différents sédiments. Son alimentation reflète l'hétérogénéité du sédiment présent (Tab. 11) :

- les crabes *Pisidia longicornis* (11%) et *Galathea intermedia* (8%) caractéristiques des galets
- l'annélide *Nephtys cirrosa* (7%) caractéristique des sables fins

Dans le secteur des dépôts, ce sont des espèces inféodées aux sables fins qui constituent l'essentiel de l'alimentation du rouget barbet (77% dont 39% par *Nephtys cirrosa*, 8,3% par un autre annélide appelé *Ophelia limacina* et dont 19% par deux crustacés que sont le Cumacé *Pseudocuma* et le Mysidacé *Gastrosaccus*). Enfin, la proie *Pectinaria koreni* est révélatrice de l'envasement local des fonds (Tab. 11).

Comme dans le secteur de dragage, l'alimentation du rouget barbet dans le secteur d'effets cumulés reflète bien l'hétérogénéité du sédiment. Le cortège de proies présente des espèces caractéristiques de différents types de sédiment. Cependant, les espèces inféodées aux sables fins représentent la majeure partie des individus ingérés par le rouget barbet (47,1%) ce qui traduit l'influence prépondérante du phénomène de surverse dans ce secteur.

I. 5. Synthèse des résultats

Le rouget barbet présent sur l'ensemble des sites montre qu'il ne semble pas être caractéristique d'un type de sédiment. De plus, lorsqu'un site présente un sédiment hétérogène, l'alimentation du rouget barbet se diversifie elle aussi. Ainsi, les proies du rouget barbet sont toujours représentées essentiellement par des annélides, des crustacés et dans une moindre importance par les mollusques comme décrit dans la littérature (Fage, 1909 ; Bougis, 1952 ; Sorbe, 1972 ; Bauchot, 1978 ; Quiniou, 1978 ; Gharbi & Ktari, 1979 ; Quéro 1984 ; Golani & Galil, 1991 ; N'Da, 1992 ; Golani, 1994 ; Labropoulou *et al.*, 1997 ; Lombarte & Aguirre, 1997 ; Quéro & Vayne, 1997 ; Machias & Labropoulou, 2002).

Dans les secteurs de dragage et d'effets cumulés, la part des espèces inféodées aux sables fins et envasés dans l'alimentation du rouget barbet est supérieure à celle de la composition du sédiment. Ainsi, les rougets barbets, mesurant entre 16 et 24 cm, se nourrissent dans les creux de sillons où le sédiment présente des particules plus fines que sur les crêtes. Cette étude montre une préférence du rouget barbet pour le sédiment fin. Cependant, pour des adultes de plus grande taille, l'alimentation peut être différente (N'Da, 1992). Enfin, cette étude montre que le rouget barbet est d'une part un chasseur à vue (crustacés) et d'autre part, un brouteur et fouisseur (mollusques et annélides). Ceci corrobore

les études antérieures réalisées sur d'autres sites géographiques comme le golfe de Gascogne et la mer Méditerranée.

L'impact de l'exploitation ou des dépôts de dragages est, dans cette étude, apparemment négatif sur l'abondance du rouget barbet. Ce dernier semble cependant capable :

- de diversifier son alimentation dans un environnement sédimentaire plus hétérogène et de l'adapter aux proies benthiques disponibles.
- de recoloniser des sites impactés après cessation d'activité à des niveaux d'abondances équivalents à ceux du site de référence.

Néanmoins, cette étude étant menée sur une zone d'étendue très limitée, ses résultats ne peuvent en aucun cas s'appliquer à des sites d'extractions de plus grande échelle et d'autres observations sont nécessaires pour confirmer ces premières conclusions.

II. Modélisation de l'habitat optimal en Manche orientale

L'ensemble de ce chapitre est extrait de l'atlas des habitats³⁹ des ressources marines de la Manche orientale réalisé en 2005 (Carpentier *et al.*, 2005).

II. 1. Principe de la modélisation par régression quantile des habitats

Les modèles prédictifs de distribution du rouget barbet ou modèle d'habitat, peuvent être construits de différentes façons et avec des niveaux de complexité variable. L'approche la plus simple en l'absence de données quantitatives est la connaissance à dire d'expert des limites de tolérance d'une espèce en terme de conditions environnementales : ces limites peuvent alors être utilisées pour définir les zones dans lesquelles les conditions environnementales requises sont rencontrées et ainsi en déduire les endroits où une espèce peut potentiellement survivre. A l'opposé, lorsque des observations quantitatives sont disponibles (typiquement l'abondance d'une espèce), certains modèles statistiques peuvent être ajustés aux données et utilisés pour estimer la réponse de l'abondance de la population à des facteurs environnementaux multiples. L'objectivité de cette dernière approche est dans bien des cas préférable car les modèles peuvent être soumis à la rigueur de tests statistiques bien établis. Etant parvenu à estimer la réponse d'une espèce donnée à une série de facteurs environnementaux, que ce soit par dire d'expert ou par l'ajustement de modèles statistiques, des cartes de distribution de l'espèce, définissant ainsi son habitat, peuvent être construites dans un SIG à partir des prédictions obtenues en couplant des cartes numériques des facteurs environnementaux concernés à la réponse estimée de cette espèce à ces mêmes facteurs.

Bien que la méthode utilisée pour développer le modèle d'habitat optimal du rouget barbet tende à être assez complexe, les concepts sous-jacents sont assez simples à comprendre. Un de ces concepts est la loi des facteurs limitant, qui définit comment l'environnement impose la limite maximale de distribution des populations au travers d'interactions avec des processus essentiels du vivant, tels que la croissance, la survie et la reproduction. Le modèle d'habitat du rouget barbet a été construit par régression quantile, une méthode statistique qui a l'avantage de permettre d'estimer la limite maximale imposée par l'environnement sur la réponse et l'habitat d'une espèce. La régression quantile appartient à la famille statistique des régressions, incluant les régressions linéaires simples et multiples. Ces méthodes permettent d'estimer comment l'abondance d'une espèce répond au changement

³⁹ L'habitat est le lieu regroupant l'ensemble des conditions environnementales dans lequel un organisme, une population ou une communauté peut survivre et se maintenir à l'état spontané.

d'un ou plusieurs facteurs environnementaux. La figure 58 illustre la réponse hypothétique de l'abondance d'une espèce ou d'une population à un facteur environnemental mesuré.

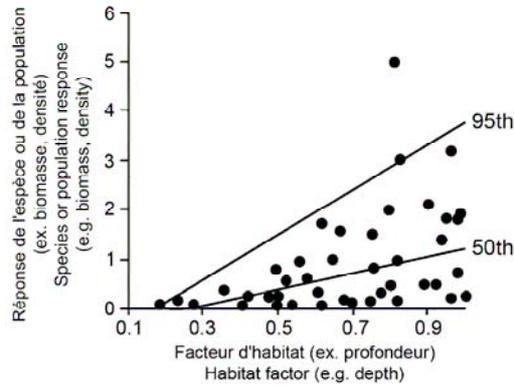


Figure 58 : Réponse simulée d'une espèce à un seul facteur limitant et régressions pour les 50^{ème} et 95^{ème} quantiles.

La ligne désignée par “50th” est caractéristique d'un modèle linéaire simple qui estime la réponse d'une espèce en terme d'abondance moyenne. Par contraste, la ligne au-dessus (“95th”) représente un modèle de régression du 95^{ème} quantile, c'est-à-dire ajusté aux limites supérieures de l'abondance de l'espèce, illustrant là où la limite maximale imposée par l'environnement sur la réponse en terme d'abondance est la mieux estimée. Un des principaux avantages liés à l'utilisation de la régression quantile pour estimer l'effet limitant de l'habitat d'une espèce est que les modèles spatiaux produits par la suite via le SIG tendent à décrire la distribution potentielle de l'espèce plutôt que sa distribution réelle.

Le processus d'élaboration du modèle peut être décomposé en trois étapes : sélection du modèle, évaluation de l'ajustement du modèle et validation du modèle. La sélection du modèle implique l'identification des différents facteurs environnementaux mesurés qui contribuent effectivement à la réponse de l'espèce considérée (exprimée en nombre au km²). Les facteurs environnementaux ne contribuant pas de façon appréciable sont omis du modèle. Des régressions polynomiales sont aussi testées. Le résultat final de ce processus de sélection est un modèle de régression quantile, généralement pour un quantile compris entre le 80^{ème} et le 95^{ème}, offrant la meilleure estimation possible des variations de l'abondance des espèces en fonction d'un sous-groupe de facteurs environnementaux contribuant de façon effective. L'ajustement du modèle aux données d'origine est ensuite évalué. Ceci fournit une mesure objective permettant de comparer les résultats de modèles alternatifs. L'étape finale consiste en un test de validation, qui compare des données d'abondance inutilisées pour le développement du modèle à celles prédites par le modèle ; le résultat de cette comparaison étant une évaluation du pouvoir prédictif du modèle. Le modèle statistique obtenu consiste en une équation décrivant la réponse de l'abondance maximale du rouget barbet à un sous-ensemble de ces cinq facteurs environnementaux contribuant de façon appréciable à cette réponse. Cette équation est ensuite utilisée afin de prédire l'abondance maximale du rouget barbet à partir des cartes numériques des facteurs environnementaux concernés produisant ainsi une carte d'habitat potentiel ou optimal. L'hypothèse de la procédure de modélisation est que les captures sont directement liées à l'habitat optimal, et donc que des captures plus élevées correspondent à une qualité d'habitat supérieure. La méthode de sélection, d'ajustement et de validation du modèle sera décrite en détail dans Vaz *et al.* (in prep.)

II. 2. Descriptions des facteurs environnementaux utilisés

Cinq facteurs environnementaux prédictifs ont été utilisés pour modéliser l'habitat optimal du rouget barbet :

- la profondeur de pêche
- le type de sédiment de fond
- la tension de cisaillement sur le fond
- la température de surface
- la salinité de surface

La profondeur, la température et la salinité ont été mesurées in situ aux stations échantillonnées pendant la campagne CGFS, tandis que le type de sédiment de fond et la tension de cisaillement sur le fond ont été extraits de cartes numériques.

II. 2. A) La profondeur

La profondeur (bathymétrie avec niveau moyen d'eau), plutôt que la bathymétrie seule, est utilisée. Ce choix de la profondeur est plus pertinent que la bathymétrie seule d'un point de vue écologique. Les données de bathymétrie « vraie » (ou niveau zéro, ou marée basse, correspondant à un coefficient de marée de 120) ont été dérivées des cartes marines du Service Hydrographique et Océanographique de la Marine (SHOM) et ont été obtenues sous forme d'un maillage régulier (une grille de points) à mailles carrées de 1,8 km de côté pour une surface correspondant à la Manche orientale. Cette grille bathymétrique de niveau zéro est « imaginaire » car elle signifierait que la marée basse a lieu dans toute la zone d'étude au même moment. Le calcul du niveau moyen de la mer (ou mi marée, correspondant à un coefficient de marée de 70) a été basé sur le travail de Le Roy et Simon (2003). L'élévation du niveau moyen de la mer a été estimée grâce au modèle hydrodynamique MARS 3D de l'IFREMER. Le modèle est élaboré sur la base d'un maillage régulier (une grille de points) à mailles carrées de 4 km de côté. Le choix de la taille des mailles de calcul et du nombre de couches sur le plan horizontal relève d'un compromis entre l'échelle des processus étudiés et les temps de calcul engendrés pour un si vaste domaine. Le modèle MARS 3D résout les équations dites équations de Saint-Venant permettant d'estimer le courant moyen et la position de la surface libre de la mer.

La grille de calcul est emboîtée dans une série de grilles de plus grande emprise pour pouvoir renseigner aux limites marines les grandeurs inconnues. La grille de points fournie a ensuite été interpolée pour créer une couche continue de taille de cellule de 1 km². Ensuite les deux couches de niveau zéro (bathymétrie) et de niveau moyen d'eau ont ensuite été utilisées pour créer la carte de profondeur, c'est à dire de bathymétrie avec niveau moyen d'eau (Fig. 59).

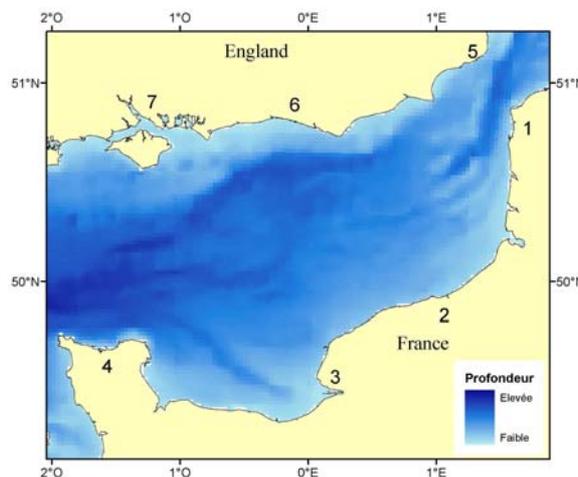


Figure 59 : Carte de la profondeur en Manche orientale.

II. 2. B) Le type de sédiment de fond

La carte des types de sédiment de fond utilisée, est dérivée de la carte dite “de Larsonneur” (Larsonneur *et al.*, 1979) : “Les sédiments superficiels de la Manche, 1 /500 000” (de 48.5° N à 51.2° N et de 6° O à 1.75° E). L’élaboration de la carte de Larsonneur repose sur l’ensemble des résultats acquis jusqu’en 1977. Une dizaine de laboratoires ont apporté leur contribution à ce travail de synthèse. Au total, la carte obtenue se base sur l’étude d’environ 12 000 échantillons auxquels s’ajoutent les informations tirées des publications britanniques concentrées pour l’essentiel sur la frange côtière et les renseignements extraits des cartes marines, des carottages de roche et des profils sismiques pour déterminer la présence et l’extension des affleurements rocheux. Dans la carte de Larsonneur, la méthode cartographique adoptée consiste à représenter chaque station par un type de sédiment défini d’après sa granulométrie et sa teneur en calcaire. Quatre catégories de dépôts ont été retenues : cailloutis, graviers, sables, vase, selon des critères granulométriques. Cette carte a été reprise mais en la reclassifiant en cinq catégories basées sur la granulométrie (cailloutis, graviers, sables grossiers, sables fins et vase, Fig. 60). Ce choix de reclassifier est basé sur le fait que l’utilisation d’un trop grand nombre de catégories de sédiment, pouvait diminuer la qualité de la modélisation (par exemple, certaines catégories de sédiments pouvaient être sous-représentées).

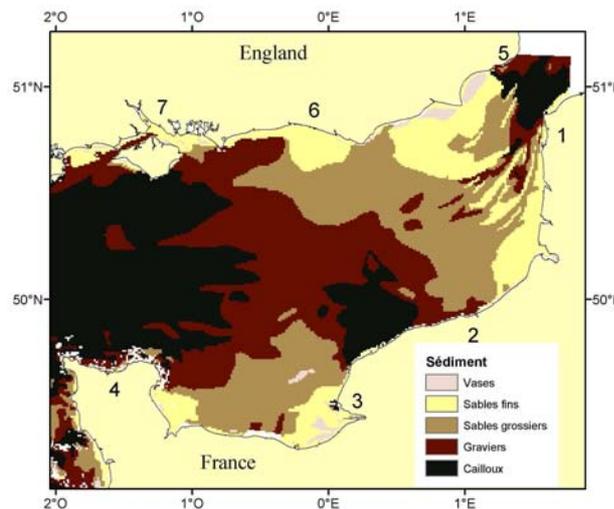


Figure 60 : Carte des sédiments de fond en Manche orientale (Larsonneur *et al.*, 1979).

II. 2. C) La tension de cisaillement sur le fond

La tension de cisaillement sur le fond a été estimée grâce à un modèle hydrodynamique 2D du plateau continental européen nord-ouest (de 48,1° N à 62,4° N et de 11,8° O à 12,8° E ; Aldridge & Davies, 1993). Ce modèle a été développé à l’origine par le Proudman Oceanographic Laboratory (POL) pour prédire le courant moyen de marée M2 sur le fond (en $m \cdot sec^{-1}$) à une résolution de 1/8° de longitude par 1/12° de latitude (environ 8 km). La tension de cisaillement sur le fond ($N \cdot m^{-2}$), qui est une mesure du frottement de l’eau sur le fond résultant de la marée semi-diurne M2, a ensuite été calculée en utilisant une équation quadratique où la tension dépend à la fois du courant elliptique maximal prédit et d’un coefficient de friction sur le fond approprié (dans ce cas, la valeur de 0,0025 a été adoptée). La tension de cisaillement sur le fond a été fournie sous forme de grille régulière d’une résolution de 1/8° de longitude par 1/12° de latitude. La grille de points a ensuite été interpolée pour créer une carte avec une résolution de 1 km² (Fig. 61).

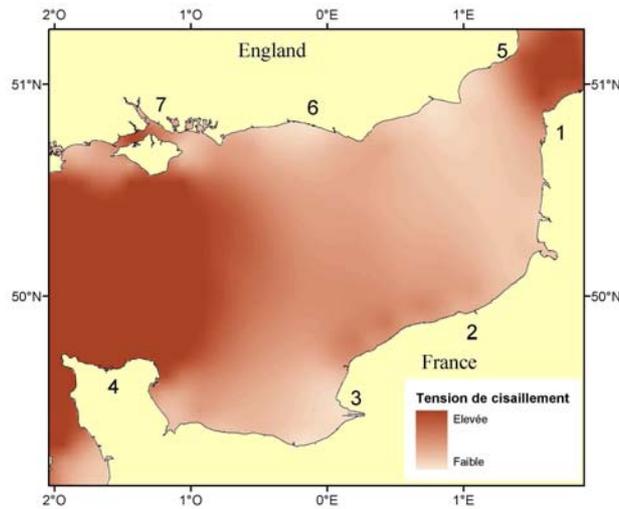


Figure 61 : Carte de la tension de cisaillement sur le fond en Manche orientale.

II. 2. D) La température et la salinité de l'eau

Depuis 1997, lors de la campagne CGFS, les températures (Fig. 62) et les salinités de surface (Fig. 63) sont mesurées. Ainsi, les cartes ont été réalisées à partir de toutes les données de 1997 à 2004 selon le même processus de modélisation géostatistique décrit et appliqué dans la partie III.

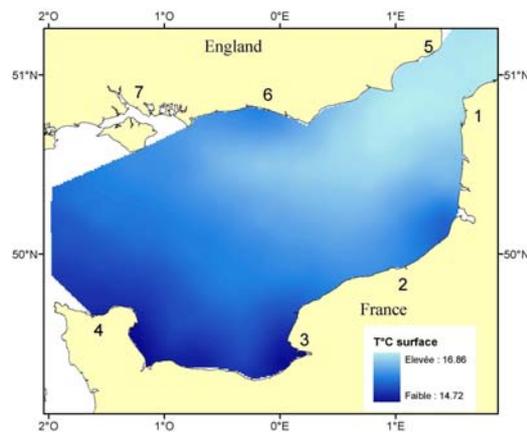


Figure 62 : Carte de la température de surface en Manche orientale.

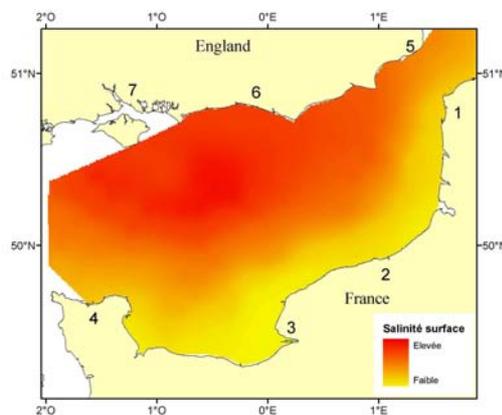


Figure 63 : Carte de la salinité de surface en Manche orientale.

II. 3. Habitat optimum en Manche orientale

II. 3. A) Le modèle d'habitat sélectionné

Le modèle d'habitat optimal du rouget barbet en octobre en Manche orientale a été développé sur la base de 623 observations (de 1997 à 2003) et a nécessité l'inclusion de tous les paramètres décrits ci-dessus ainsi qu'un certain nombre d'interactions qui se sont révélées significatives (Tab. 12). Le choix du quantile au cours de la sélection s'est porté sur le 90^{ième} quantile qui s'est révélé le meilleur descripteur de l'abondance optimale.

| | | | | | |
|--------------------|-------------------|----------------|--------------------|-----------------|--------------------|
| Profondeur | + | | | | |
| Tension | | - | | | |
| Température | | | + | | |
| Salinité | | | | -2 | |
| Sédiments | var | | + | | C-G-V-SG-SF |
| | Profondeur | Tension | Température | Salinité | Sédiments |

Tableau 12: Modèle d'habitat optimal du rouget barbet : les paramètres et leurs effets.

□ Effet de chaque paramètre sur l'abondance optimale du rouget barbet ; (+) affinité positive ; (-) affinité négative ; (2) relation quadratique ; (var) affinité variable ; type de sédiments classés par ordre d'affinité : (C) cailloutis, (G) gravier, (V) vases, (SG) sable grossier, (SF) sable fin ; en gris les interactions significatives intégrées au modèle.

De façon à clarifier la relation entre l'espèce et chaque variable, les changements de l'abondance optimale prédite (les sorties du modèle) en fonction des variables explicatives ont été représentés graphiquement (Fig. 64). Le modèle contenant plus de deux variables environnementales continues, les résultats ne peuvent être représentés simultanément sur un graphique en deux dimensions. Les sorties du modèle ont donc été générées pour chaque paramètre en fixant toutes les autres variables à leur valeurs moyennes. En revanche, le type de sédiment étant modélisé sous la forme de variables binaires, chaque type de sédiment intervient sur le résultat. Ainsi, les sorties générées pour chaque variable continue sont différentes pour chaque type sédimentaire. L'ordonnée à l'origine des lignes ou courbes sera affectée en fonction de l'affinité de l'espèce pour un type sédimentaire donné. De plus, due à l'interaction entre les sédiments et la profondeur ou la salinité, les lignes et courbes pourront avoir différentes pentes ou rayons de courbure reflétant l'effet de ces interactions.

Cette espèce semble préférer des profondeurs ou des températures élevées (Fig. 64. A et B) mais pas d'importantes tensions de cisaillement (forts courants de marée) (Fig. 64. C). L'affinité de cette espèce pour la salinité est plus complexe et est décrite par une courbe concave (correspondant à une régression quadratique). Cette espèce semble mieux tolérer de faibles et fortes salinités (correspondant peut-être aux habitats des juvéniles et des adultes respectivement) et est peu rencontrée dans les zones de transitions entre les conditions côtière et océanique aux salinités intermédiaires (Fig. 64. D). Enfin, les types de sédiments sont par ordre d'affinité croissante, les cailloutis, les graviers, les vases, le sable grossier et le sable fin marquant la préférence de cette espèce pour les sédiments sableux.

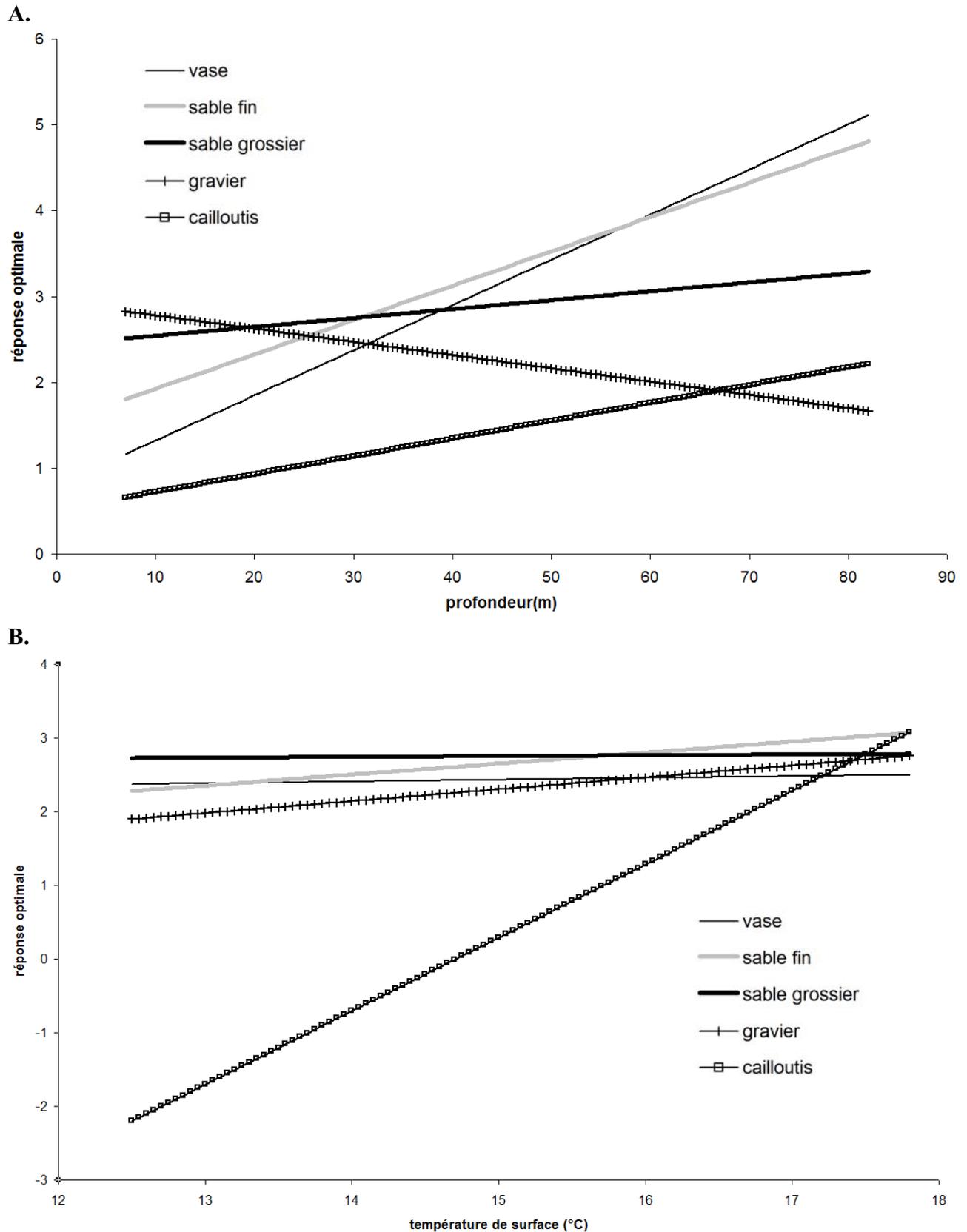


Figure 64 : Changements de l'abondance optimale prédite (les sorties du modèle) en fonction des variables explicatives que sont la profondeur (A), la température de surface (B), la tension de cisaillement (C) et la salinité de surface (D).

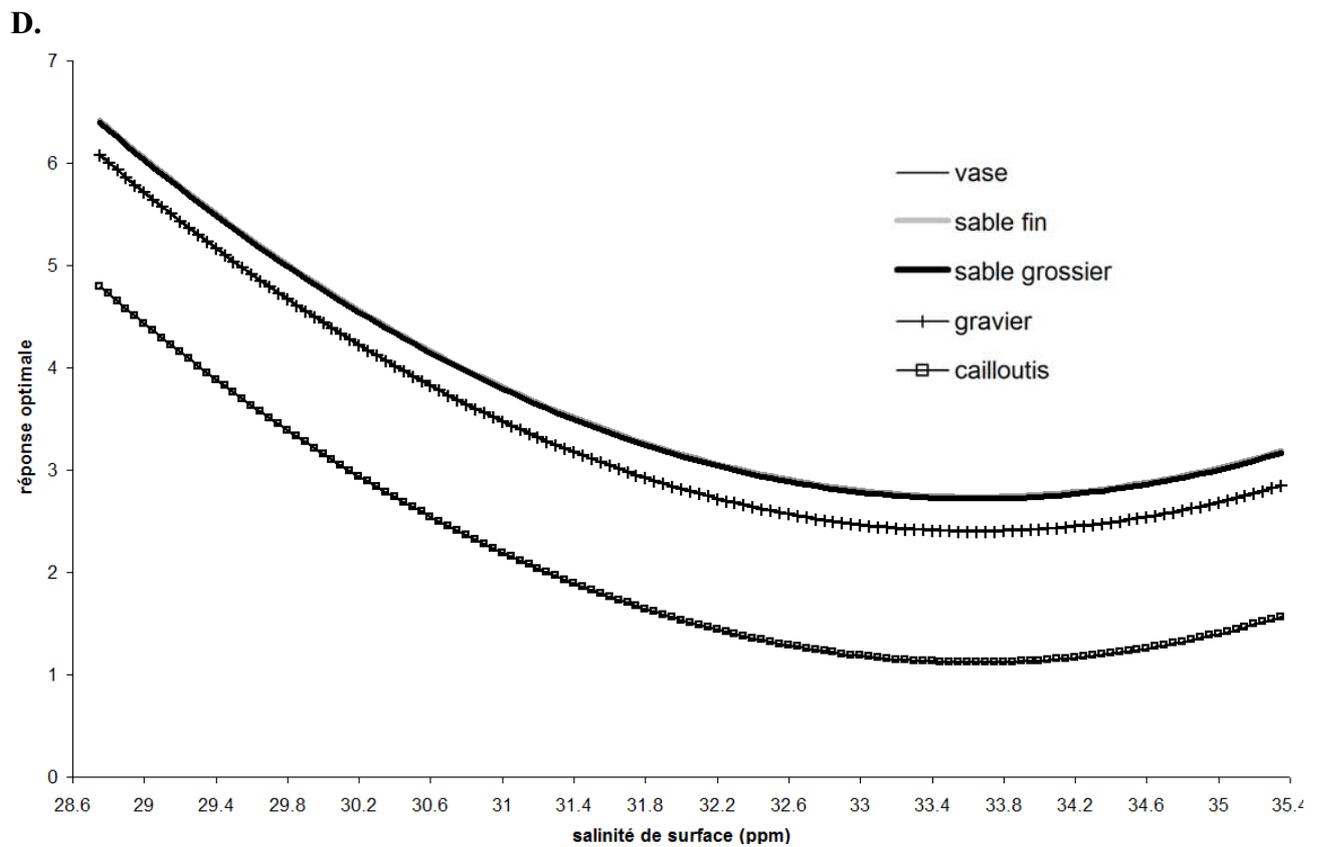
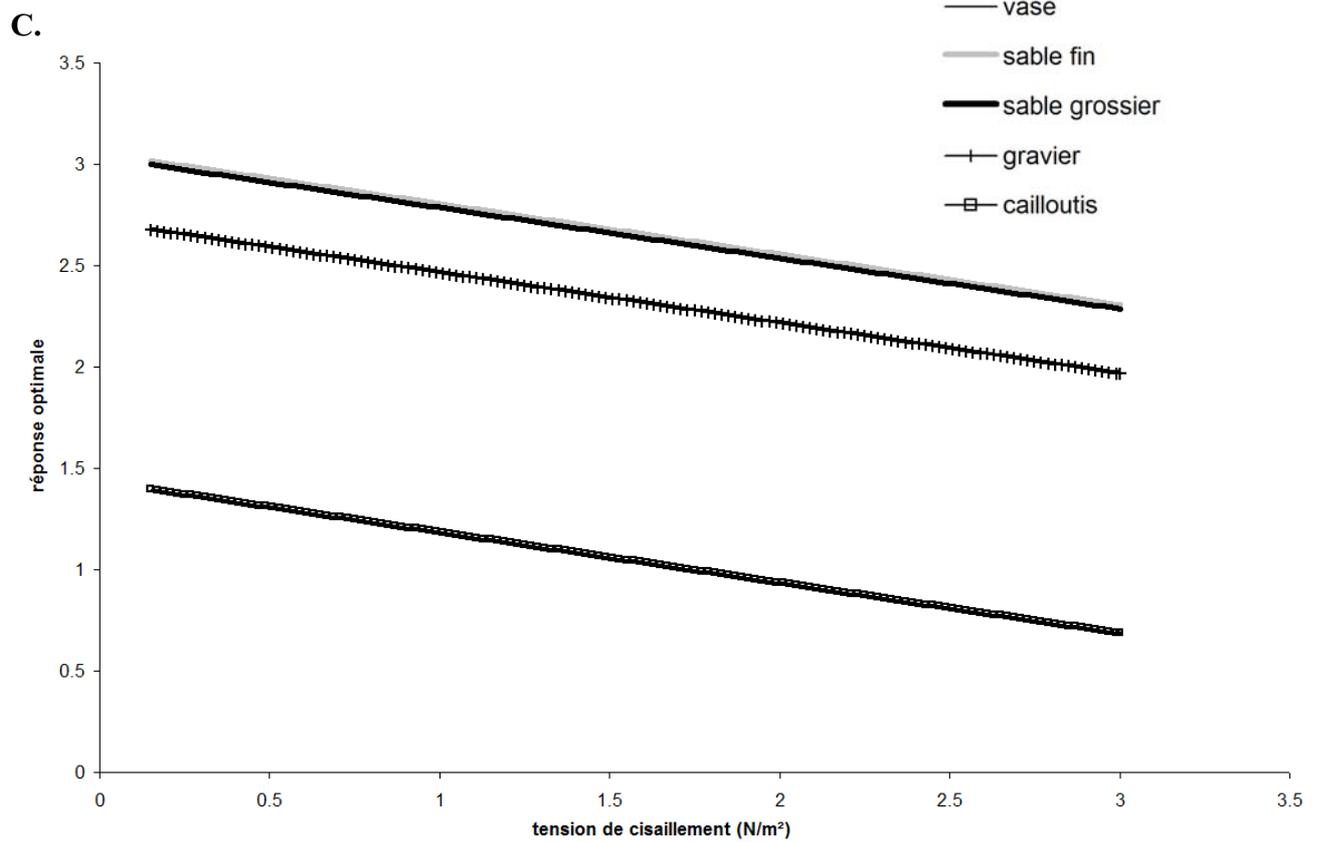


Figure 64 : Changements de l'abondance optimale prédite (les sorties du modèle) en fonction des variables explicatives que sont la profondeur (A), la température de surface (B), la tension de cisaillement (C) et la salinité de surface (D).

L'interaction entre la salinité et la profondeur est importante et négative. Ainsi, l'affinité du rouget barbet diminuera pour un habitat à l'environnement profond et de forte salinité (typiquement le milieu océanique du centre de la Manche) à cette période de l'année.

Les interactions entre le type de sédiment et la profondeur (Fig. 64. A) ou la température (Fig. 64. B) résultent en des pentes différentes pour chaque type de sédiment. Ainsi l'affinité de l'espèce pour des températures élevées se confirme sur tous les types de sédiments en particulier les cailloutis. Ce type de fond en principe peu propice à cette espèce pourrait donc devenir acceptable si les températures sont suffisamment élevées. En revanche, l'affinité du rouget barbet pour les profondeurs élevées se confirme sur tous les types de sédiments sauf les graviers.

II. 3. B) Vérification de l'ajustement du modèle

Le critère d'information d'Akaike (Akaike's Information Criterion ; AIC) a été calculé pour le modèle sélectionné pour obtenir une mesure de l'ajustement du modèle tout en pénalisant sa complexité (nécessitant un grand nombre de prédicteurs). L'AIC a permis de comparer le modèle sélectionné à différents modèles alternatifs au même quantile (90^{ème}), certains plus simple, d'autre plus complexe que le modèle choisi : (i) un modèle contenant toutes les variables explicatives, leurs termes quadratiques et toutes les interactions, qu'ils soient significatifs ou non, (ii) un modèle ne contenant que les variables explicatives et les interactions significatives, (iii) un modèle ne contenant que les variables explicatives et leurs termes quadratiques significatifs et (iv) un modèle ne contenant que les variables explicatives significatives (Tab. 13).

| Modèle testé | s | i | ii | iii | iv |
|--------------|------|------|------|------|------|
| Valeur d'AIC | 5579 | 5556 | 5595 | 5652 | 5651 |

Tableau 13: Ajustement du modèle d'habitat optimal sélectionné pour le rouget barbet.

(s) Modèle sélectionné comparé à d'autres (i) modèle contenant toutes les variables explicatives, leurs termes quadratiques et toutes les interactions, (ii) modèle ne contenant que les variables explicatives et les interactions significatives, (iii) modèle ne contenant que les variables explicatives et leurs termes quadratiques significatifs et (iv) modèle ne contenant que les variables explicatives significatives.

L'AIC la plus petite indique le meilleur ajustement en pénalisant les modèles les plus complexes qui nécessitent un trop grand nombre de paramètres. Le modèle sélectionné a un ajustement inférieur au modèle maximal (i) mais cette différence de valeur d'AIC est inférieure à 1%. Dans tous les autres cas, le modèle sélectionné se montre toujours supérieur aux modèles alternatifs.

II. 3. C) Spatialisation du modèle

Le résultat de la procédure de modélisation est une équation qui a été utilisée par la calculatrice raster de ArcMap pour recoder les cartes numériques des facteurs environnementaux (voir ci-dessus) en abondance optimale de l'espèce pour générer une carte d'habitat (Fig. 65). L'habitat optimal de cette espèce est divisé en deux grandes zones distinctes : la principale au sud du détroit du Pas-de-Calais, des côtes anglaises à Dieppe, et la seconde dans la baie de Seine à l'exclusion des zones estuariennes.

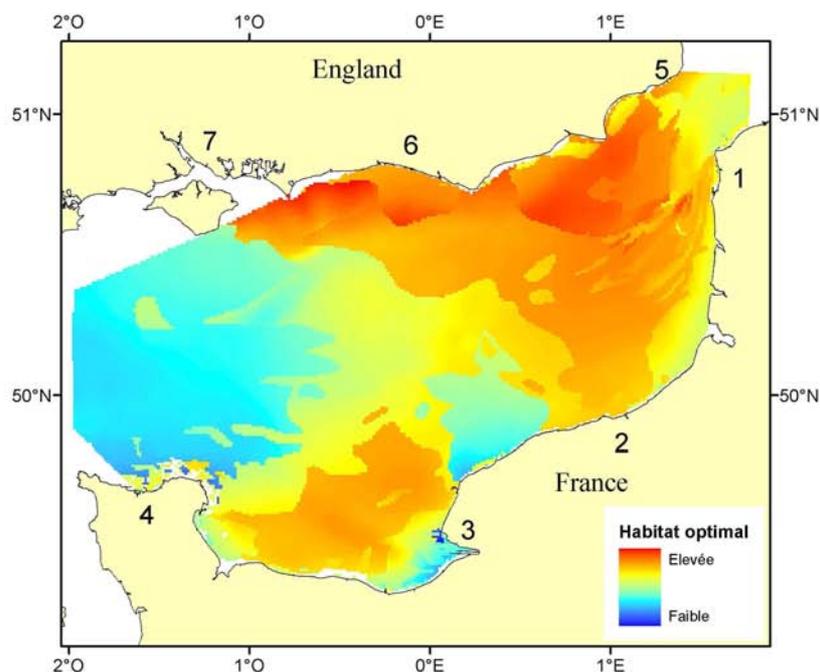


Figure 65 : Modèle d'habitat optimum du rouget barbet en octobre en Manche orientale.

La carte de l'habitat optimum du rouget barbet en Manche orientale est très similaire à celle de l'abondance moyenne observée (Partie III, Fig. 36). L'habitat optimum du rouget barbet en octobre est caractérisé par des sédiments essentiellement composés par les sables fins et les sables grossiers, par une faible tension de cisaillement sur le fond et par des températures élevées comprises entre 16 et 17°C.

II. 3. D) Validation du modèle

Les résultats du modèle ont été validés en utilisant deux jeux de données externes indépendants et à l'aide de tests comparant les abondances prédites aux abondances observées. Le premier jeu de données de validation comprend les données de campagnes antérieures à 1997 pour lesquelles les données environnementales sont manquantes et qui n'ont donc pas été utilisées pour développer le modèle (632 observations). Les données prédites aux exactes positions de ces observations sont extraites directement de la carte d'habitat. A partir de ces données prédites et observées, 600 jeux de données ont été générés par bootstrapping (ré-échantillonnées avec remplacement). Le second jeu de données de validation est constitué des observations de 2004 pour lesquelles un jeu complet de données environnementales est disponible (86 observations). Les densités prédites pour 2004 ont donc été obtenues en utilisant les données environnementales collectées en 2004 comme entrées du modèle d'habitat optimal. Comme précédemment, 600 jeux de données ont été générés par bootstrapping (re-échantillonnées avec remplacement). Ayant généré ces deux jeux de données de validation, deux tests de validation basés sur l'approche de Eastwood *et al.* (2003) ont été utilisés : classification correcte et corrélation de Spearman.

La classification correcte représente la proportion de valeurs observées qui sont inférieures aux prédictions. Ainsi, pour un modèle d'habitat développé sur le 90^{ème} quantile, au moins 90% des valeurs observées devraient être inférieures aux prédictions pour indiquer une classification correcte. Ce test ayant été répété 600 fois, la moyenne de réussite du test a pu être calculée. Le modèle est donc validé si la probabilité de réussite du test est supérieure au quantile sélectionné (ici 90). Le coefficient de corrélation de Spearman (r_s) a été calculé sur les 600 jeux de données générés par bootstrapping ainsi que les valeurs p associées. Pour

que ce test soit valide, il faut que la corrélation entre les valeurs observées et prédites soient positives et significatives ($p < 0,05$; Tab. 14).

| | Quantile | CC | r_s | p-val |
|-------------|----------|----|--------|---------|
| 2004 | 90 | - | 0,4673 | < 0,000 |
| Inutilisées | 90 | + | 0,3555 | < 0,000 |

Tableau 14 : Résultats de validation du modèle d'habitat optimal du rouget barbet.

Test de Classification Correcte (CC); + indique que les données de validation tombent dans la fourchette prédite par le modèle; coefficient de corrélation de Spearman (r_s) et son niveau de significativité (p-val)

Quelles que soient les données de validation utilisées, le modèle est valide par les tests de corrélation de Spearman qui confirment que les données observées et prédites ont toujours une corrélation positive et significative. En revanche, seul un jeu de données de validation a passé avec succès le test de classification correcte. Ce jeu de données était néanmoins le plus important (632 observations contre 86) et vient confirmer la validité du modèle. En revanche, les données issues des observations in situ en 2004 ne passent pas avec succès le test de classification correcte, reflétant le risque qu'il peut y avoir à appliquer des prédicteurs environnementaux qui sortent des intervalles utilisés lors de l'élaboration du modèle. En effet, les données 2004 prises isolément peuvent constituer une année particulière, peu caractéristique des conditions environnementales ou de la distribution de rouget barbet habituelles dans la zone. Avec trois tests passés avec succès sur les quatre proposés, le modèle d'habitat optimal du rouget barbet est validé.

II. 4. Synthèse des résultats

Ce modèle spatialisé a permis de prédire l'affinité du rouget barbet en fonction de l'habitat et définir l'habitat optimal de cette espèce en le localisant géographiquement. La qualité de ce modèle et son adéquation à la distribution observée pour cette espèce révèlent la forte relation entre l'habitat physique et l'abondance de cette espèce très inféodée au fond marin. La protection à méso-échelle de l'habitat de cette espèce est donc essentielle à la pérennisation de sa population.

En revanche, le découplage et la modélisation distincte des populations adultes et juvéniles permettraient de mieux élucider les relations complexes de cette espèce avec la salinité et l'effet de l'interaction de certains paramètres sur son abondance. Cette approche permettrait également de préciser clairement les nourriceries en les distinguant de l'habitat des adultes.

PARTIE V :
**Préparation et analyses des données françaises pour la
pré-évaluation de stock en Manche et mer du Nord**

I. Identification de stock

Le stock est une unité de gestion qui est associée à une population qui est une unité biologique (Laurec & Le Guen, 1981). Une population de rouget barbet, dans un cas idéal, est l'ensemble de rougets barbets vivant dans un écosystème déterminé et possédant des caractères communs transmissibles par hérédité (Daget & Le Guen, 1975). De plus, cette notion de population respecte deux exigences à savoir :

- ✓ l'isolement
- ✓ l'homogénéité

Ce paragraphe est une première approche réalisée par l'analyse de la morphométrie géométrique, de ces deux notions qui peuvent exister entre deux secteurs géographiques que sont d'une part, le golfe de Gascogne et d'autre part, la Manche orientale et le sud de la mer du Nord. Cette étude morphométrique a donc pour but de vérifier si les rougets barbets de ces deux secteurs sont différents, et s'il faut considérer un seul stock « Atlantique-Manche-Mer du Nord » ou 2 stocks bien séparés, information essentielle pour l'évaluation de cette ressource.

I. 1. Principe de la morphométrie géométrique

La morphométrie est l'analyse morphologique de l'organisme par des mesures, c'est l'étude de la forme et de la structure externe des êtres vivants. Ces études sont utilisées pour la reconnaissance des espèces, de leur systématique (classification), de leur phylogénie (liens de parenté) ou pour l'identification de stocks ou populations interconnectées spatialement ou non en raison de leurs habitats (Baumgartner, 1992). Cependant, pour une même espèce, la morphométrie n'est pas qu'un indicateur du stock mais est également un indicateur du stade de développement, du dimorphisme sexuel (différence mâle et femelle) et de la condition des individus.

On peut noter chez certains poissons des différences de proportions des éléments du corps suivant les stades de développement. Ainsi, on pourra noter à un âge donné des femelles plus grosses que les mâles, ce qui a des conséquences d'un point de vue de la stratégie démographique de l'espèce.

La condition dépend soit du statut sexuel (en maturation, en reproduction, en repos) soit des conditions nutritives (jeun ou période de croissance) ou de stress (maladies, perturbations,...).

Il existe 2 types de méthodes que sont la morphométrie classique et la morphométrie dite géométrique :

- la morphométrie classique est la prise de mesures traditionnelles en ichthyologie. Ces mesures sont souvent restreintes à la longueur totale (Lt ; du museau à l'extrémité de la nageoire caudale) et à la longueur standard (Ls ; du museau à la base de la nageoire caudale). D'autres mesures caractérisent également les espèces comme la longueur préanale (du museau à l'anus), la hauteur de la tête, ... Ces mesures sont classées en trois grandes catégories : celles dans l'axe du corps (Ls, Lt, ...), celles dans la hauteur du corps et d'autres plus spécifiques à des régions du corps du poisson ou à ses nageoires (Fig. 66).

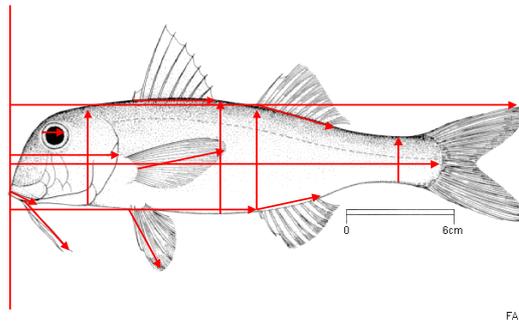


Figure 66 : Mensurations classiques effectuées sur un rouget barbet.

Les Lt ou Ls sont utilisées pour définir les classes de tailles des poissons en rapport avec leur classe d'âge (voir Partie II). Rapportées au poids total de l'individu, on peut ainsi caractériser les relations taille/poids et définir des critères de condition K (voir Partie II, chapitre 6).

L'analyse des tailles permet aussi de définir s'il y a un dimorphisme sexuel associé à la taille. Ce dimorphisme peut être lié à des stratégies démographiques des espèces : femelles plus grandes, plus fécondes, par exemple.

Ces mesures classiques ne sont pas équilibrées suivant les régions du corps (Fig. 66). Ainsi certains points du poisson comme le museau et les extrémités du corps sont souvent utilisés. Les mesures classiques favorisent les grandes mesures (Lt, Ls, ...) et non les mesures localisées sur une région du corps. Enfin, elles ne permettent pas de reconstruire en 2 ou 3D l'armature du corps du poisson.

- Si la morphométrie classique a des avantages par sa simplicité de prise de mesures, elle ne permet pas de reconstruire la forme de l'animal. Le développement de la photographie numérique et des logiciels d'analyses d'images permet l'utilisation d'autres techniques comme la morphométrie géométrique. La morphométrie géométrique a pour principe de dessiner une image en fil de fer de la silhouette du poisson à l'aide d'un ordinateur suivant différents axes. Cela permet de créer une armature entre différents points ou sommets. La morphométrie géométrique effectue des mesures obliques et locales, et non des mesures globales, comme le fait la morphométrie classique. La morphométrie géométrique permet ainsi de reconstruire la forme de l'animal.

Cette méthode se base sur le positionnement de points « homologues » que l'on peut placer facilement sur tous les individus. Ces points correspondent, par exemple, à l'insertion des nageoires, au museau, ...

La première opération consiste à pointer et afficher les sommets sur la photographie numérique du poisson. La seconde consiste à tracer des segments, et la troisième à calculer les distances entre certains de ces sommets. D'après Strauss et Bookstein (1982), trois types d'armatures sont possibles (Fig. 67):

- la triangulation qui représente la forme sous l'aspect de triangles juxtaposés ne se recouvrant pas. Si on a n points, on obtiendra alors $2n-3$ distances différentes.
- le modèle Truss consistant en des parallépipèdes avec leurs diagonales par région du corps. On obtient ainsi des triangles qui se recourent les uns avec les autres dans chaque région du corps. Dans une région du corps, chaque triangle entre trois sommets recouvre partiellement deux autres triangles. Le nombre de distances est $5n/2-4$.

- le modèle redondant avec une armature où chaque point est relié à tous les autres points. Il y a un recouvrement important des triangles entre eux. Le nombre de distances est de $3(n-2)$.

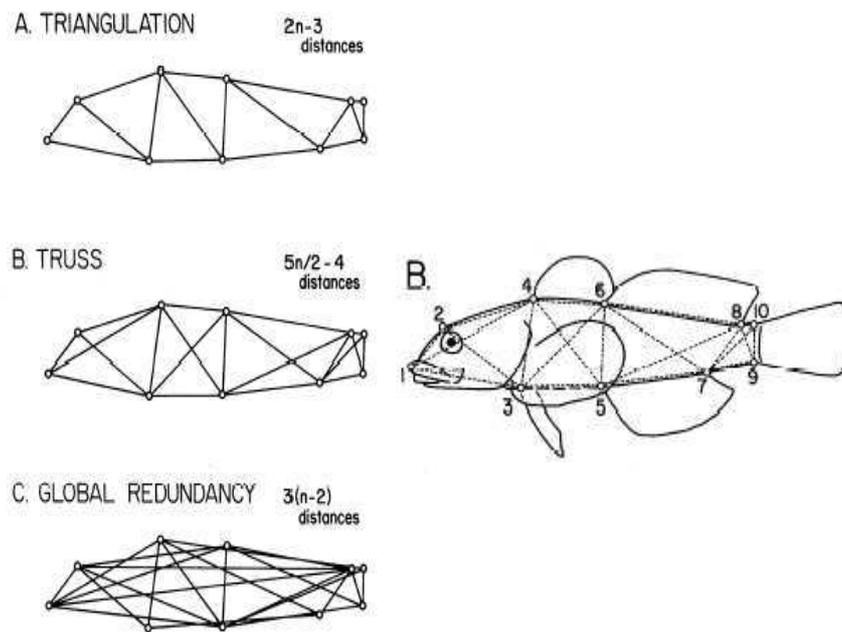


Figure 67 : Armatures en fil de fer possibles à partir de 10 points homologues (Strauss & Bookstein, 1982).

Le modèle Truss a été choisi ici car il favorise un recouvrement limité des triangles entre eux avec un nombre raisonnable de distances. Dans la triangulation, les petites erreurs de mesure se propagent rendant la technique moins précise. Pour le modèle redondant, cela génère beaucoup de mesures et nécessite statistiquement un trop grand nombre d'échantillons (Strauss & Bookstein, 1982). Cette reconstruction provient des coordonnées cartésiennes des points de repères et accorde des compensations pour les erreurs de mesures.

I. 2. Matériel et méthode

I. 2. A) Origine des poissons

Les poissons pour cette étude morphométrique proviennent des campagnes EVHOE (EValuation des ressources Halieutiques de l'Ouest Europe) du golfe de Gascogne et CGFS (Channel Ground Fish Survey) en Manche orientale (Tab. 15). Toutes les photographies n'ont pas été retenues pour l'analyse. Les critères de rejet des photos sont les suivants :

- mesures impossibles à prendre en raison de photographies floues ou de faible luminosité non compensable par l'analyse d'image,
- poissons mal positionnés, tordus, disséqués, ou bouche grande ouverte,
- échelle manquante en horizontale et verticale ou illisible,
- nageoires dorsales ou anales mal positionnées pour la prise de photo.

185 photos sur 244 ont été retenues car répondant aux critères de qualité pour l'analyse d'image et l'analyse numérique. 128 poissons proviennent des campagnes CGFS et 57 des campagnes EVHOE pour les années 2001 à 2003.

| Campagne scientifique | Année | Nombre d'individus photographiés | Nombre d'individus retenus pour l'étude |
|-----------------------|-------|----------------------------------|---|
| CGFS | 2001 | 41 | 17 |
| | 2002 | 55 | 50 |
| | 2003 | 74 | 61 |
| EVHOE | 2002 | 16 | 0 |
| | 2003 | 58 | 57 |
| Total | | 244 | 185 |

Tableau 15 : nombre de poissons retenus pour l'étude.

I. 2. B) Définition des points homologues

Le rouget barbet se caractérise par la présence de : deux nageoires dorsales, une nageoire anale, une paire de nageoires pelviennes et une paire de nageoires pectorales. Ces caractéristiques permettent d'identifier 10 sommets situés sur le contour de l'animal. Les points composant cette armature ont été déterminés à partir de la publication de Strauss et Fuiman (1984), repris par Koubbi et Costes (2000) sur les poissons antarctiques et adaptés aux besoins de cette étude sur le rouget barbet (Fig. 68).

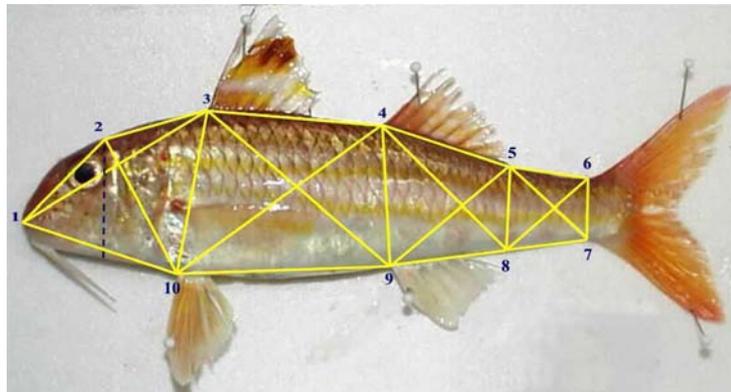


Figure 68 : Morphométrie géométrique selon le modèle TRUSS (d'après Strauss & Bookstein, 1982) appliquée à un rouget barbet avec la présence de 10 points homologues⁴⁰.

I. 2. C) Analyse d'images

Pour les photos, les poissons ont été étalés tête à gauche, nageoires déployées. Une échelle avec repères horizontal et vertical a été placée afin de calibrer les mesures sur les photographies.

Le logiciel d'analyse d'image est Optimas 6. Ce logiciel a été configuré par Coste (2000) pour permettre le pointage des points homologues, calculer les distances entre ces

⁴⁰ Les points homologues choisis sont : 1) museau, 2) dessus de l'œil (ligne pointillée bleue), 3) début de la nageoire dorsale 1, 4) début de la nageoire dorsale 2, 5) fin de la nageoire dorsale 2, 6) point dorsal de la hauteur minimale du pédoncule caudal, 7) point ventral de la hauteur minimale du pédoncule caudal, 8) fin de la nageoire anale, 9) début de la nageoire anale et 10) début de la nageoire pelvienne.

points selon le modèle Truss et exporter les mesures sous le logiciel de calcul Excel. Préalablement aux mesures, chaque image doit être calibrée en X et Y pour mesurer les distances en mm.

I. 2. D) Traitement des données

I. 2. D) α . Allométries

Des allométries (relations linéaires entre deux paramètres) sont calculées entre les 21 distances entre points homologues et la longueur totale. Des comparaisons sont effectuées avec le logiciel Statgraphics entre les campagnes EVHOE (Golfe de Gascogne) et CGFS (Manche Orientale).

I. 2. D) β . Analyses mutivariées

Les 21 distances prises sur les 185 poissons ont fait l'objet d'analyses multivariées afin d'étudier s'il existe des différences morphométriques entre :

- les secteurs Manche Orientale et Golfe de Gascogne,
- les sexes,
- la condition des individus estimée par le facteur K.

Ces paramètres ont servi de variables explicatives.

Les analyses statistiques multivariées effectuées sont des ordinations. Il s'agit d'analyses permettant de combiner des informations de plusieurs tableaux. Dans cette étude, deux tableaux ont été utilisés :

- un jeu de données principales qui est l'ensemble des mesures par segment pour chaque individu, chaque case du tableau est une mesure en mm ; les variables (distance entre points homologues) ont chacune une distribution normale comme le montrent la kurtose et le coefficient d'asymétrie⁴¹ et n'ont donc pas été transformées.
- un jeu de variables explicatives, nominales (campagne scientifique, sexe) ou quantitatives (indice de condition K).

L'ACP (Analyse en Composantes Principales) est une analyse de gradient indirect basée sur un modèle de réponse linéaire (Leps & Smilauer, 1999 ; ter Braak & Smilauer, 1998). L'analyse effectuée est basée sur des mesures de covariance entre les variables (ici les distances entre les points homologues). Cela permet de savoir quels sont les segments du corps qui varient de la même manière. Les variables explicatives n'interviennent pas dans l'ordination mais sont superposées à posteriori sur celles-ci pour permettre une interprétation indirecte du jeu de données principales (Legendre & Legendre, 1998).

Dans la littérature (Strauss & Bookstein, 1982 ; Strauss & Fuiman, 1984), les analyses allométriques et l'ACP montrent que ces distances sont liées à la longueur totale des individus. Cette forte corrélation empêche d'étudier précisément les différences morphométriques. C'est pour cela que des analyses partielles de redondance (RDA) ont été réalisées. Dans une analyse partielle, il est parfois nécessaire d'extraire la variation expliquée par un jeu de données explicatives pour analyser la variance restante. La variance expliquée par une covariable (c'est à dire la variable dont l'effet doit être retiré), ici la longueur totale, est extraite avant que la RDA soit faite (Leps & Smilauer, 1999). Ces covariables sont souvent des variables explicatives dont l'effet important mais de moindre intérêt, masque l'information essentielle.

⁴¹ La kurtose et le coefficient d'asymétrie sont décrits dans la Partie III, chapitre 1, paragraphe 2.

La RDA est une extension des régressions multiples à la modélisation des données multivariées (Legendre & Legendre, 1998). Cette technique prend en compte simultanément la relation linéaire entre le jeu de données principales et les variables explicatives. C'est une version contrainte de l'ACP en ce sens que les axes de l'ordination sont forcés d'être des combinaisons linéaires des variables explicatives (Maddy & Brew, 1995). Dans cette analyse, il est nécessaire de tester et d'extraire les variables explicatives influençant le jeu de données principales. La RDA a été utilisée en combinaison avec des tests de permutation de Monte Carlo pour explorer les relations multilinéaires entre la morphométrie et les variables explicatives.

Dans ces tests, la distribution de référence est simulée par permutations répétées des observations. Ainsi, les variables explicatives sont mélangées et assignées de façon aléatoire au jeu de données principales. Un test F est calculé sur les données initiales et est comparé avec ceux obtenus sur les données permutées. Si la variable testée est significative, elle est ajoutée au modèle et la variance associée est retirée de la procédure. Les variables d'intérêts sont ajoutées successivement au modèle selon un ordre décroissant de contribution et de significativité par une procédure de sélection ascendante pas à pas (Stepwise Forward Selection).

I. 3. Résultats

185 poissons ont été retenus pour cette étude comprenant 42 immatures, 81 femelles et 62 mâles (Tab. 16). Le nombre d'individus étudiés lors de la campagne 2001 est plus faible que les autres années et les femelles en plus grand nombre.

| Campagne | Immatures | Femelles | Males | Total |
|-----------------|------------------|-----------------|--------------|--------------|
| CGFS2001 | 2 | 14 | 1 | 17 |
| CGFS2002 | 0 | 20 | 30 | 50 |
| CGFS2003 | 16 | 28 | 17 | 61 |
| EVHOE2003 | 24 | 19 | 14 | 57 |
| Total | 42 | 81 | 62 | 185 |

Tableau 16 : Nombre d'échantillonnés utilisés par campagne scientifique et selon le stade de maturité sexuelle et le sexe.

I. 3. A) Allométries

Les résultats des allométries entre les 21 distances et les longueurs totales sont donnés dans le tableau 17. Les probabilités issues des comparaisons des pentes entre les modèles linéaires entre les deux zones sont données. Quand la probabilité liée au test est inférieure à 0,05, les pentes sont alors significativement différentes montrant des différences d'allométries sur ces segments.

La figure 69 indique les segments où des différences de pentes ont été observées. Ces segments sont situés sur toutes les régions du poisson mais excluent la partie thoracique. Les mesures liées à la partie thoracique sont influencées par la zone abdominale qui est associée aux conditions nutritionnelles.

| Distance | Golfe de Gascogne | Manche Orientale | R ² ajusté % | Comparaison des pentes des modèles – p - |
|-----------------|---------------------------------|----------------------------------|-------------------------|--|
| D 1 – 2 | D 1-2 = 2,94916 + 0,162189*LT | D 1-2 = 2,85997 + 0,149506*LT | 94,42 | 0,031 |
| D 1 – 3 | D 1-3 = 5,84192 + 0,29456*LT | D 1-3 = 1,24221 + 0,299957*LT | 96,60 | 0,054 |
| D 1 – 10 | D 10-1 = 0,72641 + 0,257524*LT | D 10-1 = 2,24952 + 0,229968*LT | 95,34 | 0,001 |
| D 2 – 10 | D 2-10 = -2,88615 + 0,243114*LT | D 2-10 = -0,875129 + 0,221508*LT | 96,97 | 0,001 |
| D 2 – 3 | D 2-3 = 2,93996 + 0,141864*LT | D 2-3 = -2,44253 + 0,16391*LT | 92,93 | 0,001 |
| D 3 – 10 | D 3-10 = -1,90067 + 0,246944*LT | D 3-10 = -0,21511 + 0,231551*LT | 95,97 | 0,047 |
| D 3 – 4 | D 3-4 = -0,375529 + 0,24345*LT | D 3-4 = -2,62131 + 0,248371*LT | 96,00 | 0,537 |
| D 3 – 9 | D 3-9 = -2,65109 + 0,360012*LT | D 3-9 = -3,55569 + 0,346334*LT | 97,67 | 0,111 |
| D 4 – 10 | D 4-10 = 0,702849 + 0,353581*LT | D 4-10 = -1,40915 + 0,3513*LT | 96,26 | 0,835 |
| D 4 – 5 | D 4-5 = -0,96306 + 0,188061*LT | D 4-5 = -0,102013 + 0,173207*LT | 94,09 | 0,036 |
| D 4 – 8 | D 4-8 = -1,59342 + 0,26106*LT | D 4-8 = -1,81431 + 0,245369*LT | 97,43 | 0,015 |
| D 4 – 9 | D 4-9 = -3,29227 + 0,228186*LT | D 4-9 = -1,69976 + 0,208124*LT | 95,84 | 0,004 |
| D 5 – 6 | D 5-6 = 0,421101 + 0,113487*LT | D 5-6 = 1,57907 + 0,108226*LT | 86,65 | 0,447 |
| D 5 – 7 | D 5-7 = -0,169662 + 0,156337*LT | D 5-7 = 0,439527 + 0,148648*LT | 92,77 | 0,251 |
| D 5 – 8 | D 5-8 = -2,11241 + 0,135527*LT | D 5-8 = -0,894163 + 0,125023*LT | 94,67 | 0,031 |
| D 5 – 9 | D 5-9 = -1,91011 + 0,234247*LT | D 5-9 = 0,74729 + 0,210072*LT | 96,59 | 0,000 |
| D 6 – 7 | D 6-7 = -1,73901 + 0,0964099*LT | D 6-7 = -0,29409 + 0,0861649*LT | 95,23 | 0,001 |
| D 6 – 8 | D 6-8 = -2,24735 + 0,159457*LT | D 6-8 = 2,05462 + 0,140234*LT | 93,95 | 0,002 |
| D 7 – 8 | D 7-8 = -0,1795 + 0,105858*LT | D 7-8 = 2,89737 + 0,0936494*LT | 86,10 | 0,059 |
| D 8 – 9 | D 8-9 = 1,19008 + 0,16171*LT | D 8-9 = 0,924268 + 0,149674*LT | 93,17 | 0,065 |
| D 9 – 10 | D 9-10 = 2,51137 + 0,292166*LT | D 9-10 = -1,95854 + 0,295721*LT | 95,09 | 0,734 |

Tableau 17 : Comparaison des modèles de régression linéaire entre les 21 distances du modèle truss et la longueur totale.

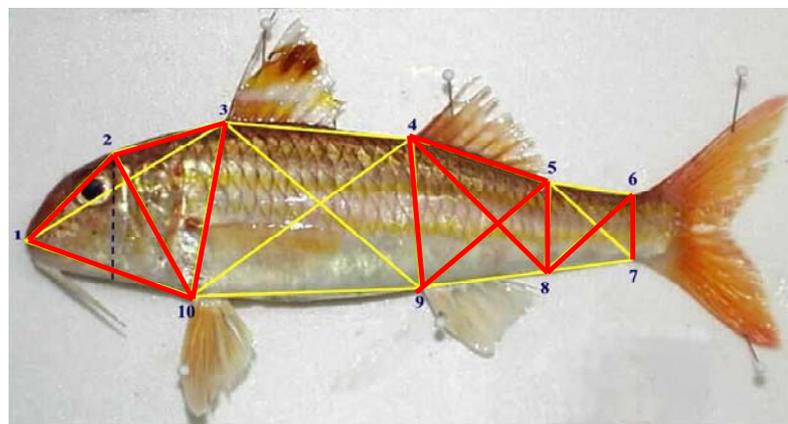


Figure 69 : Segments montrant des différences significatives d'allométries avec la longueur totale entre les rougets barbets de Manche Orientale et du Golfe de Gascogne.

I. 3. B) Indice de condition K

L'analyse de l'indice de condition K selon la campagne scientifique étudiée et le stade de maturité sexuelle est présentée en figure 70 (Annexe 2). Les seules différences observées sont entre les individus sexuellement immatures et les matures, selon l'année de la CGFS. Il n'y a pas de différences significatives de condition au niveau de chaque sexe entre les campagnes EVHOE et CGFS.

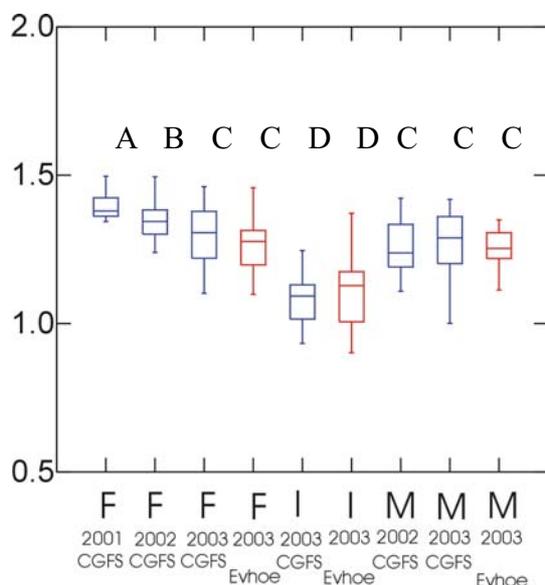


Figure 70 : Indice de condition K suivant les campagnes CGFS et EVHOE et le sexe (Male, Femelle ou Immature)⁴².

I. 3. C) Analyses multivariées

L'analyse en Composantes Principales sur la morphométrie (Fig. 71) indique que la première composante principale (premier axe) est liée aux longueurs totales. Cette composante représente 97% de l'information totale du nuage de point montrant qu'il y a une très forte corrélation entre les différentes distances entre les points homologues et la taille du corps, le poids du corps étant également lié à la taille des individus. L'indice K est également très corrélé à la taille mais est un peu décalé de l'axe 1. La variable supplémentaire concernant la Manche montre qu'il existe des différences entre les poissons du Golfe de Gascogne et ceux de la Manche Orientale mais cette différence est peu marquée par cette analyse.

⁴² Ce graphique appelé Box-Plot est expliqué dans la Partie II, chapitre 2.

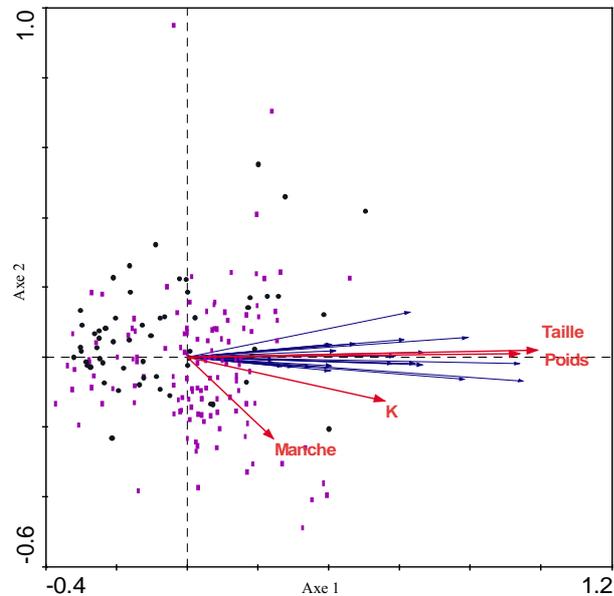


Figure 71: Analyse en Composantes Principales sur la morphométrie des rougets barbets de Manche orientale (carrés violets) et du golfe de Gascogne (ronds noirs) intégrant les différentes distances entre les points homologues (flèches bleues) et les variables explicatives supplémentaires (flèches rouges).

Les trop fortes corrélations avec la taille des poissons masquent les réelles différences morphologiques entre sexes et secteurs géographiques. Une RDA partielle a donc été effectuée (Fig. 72). Cette analyse sépare les poissons du golfe de Gascogne (EVHOE) de ceux de Manche orientale (CGFS) comme l'indiquent le vecteur « Manche » et ceux des diverses campagnes ou la répartition des poissons (points) selon leur provenance. Cependant, pour la Manche orientale, les poissons de 2001 sont très nettement séparés de ceux de 2002 et de 2003.

La taille et l'orientation des vecteurs concernant le sexe montrent qu'il existe un léger dimorphisme sexuel lié à la morphologie mais que la différence morphologique est plus nette quand on compare des individus matures par rapport à des individus immatures.

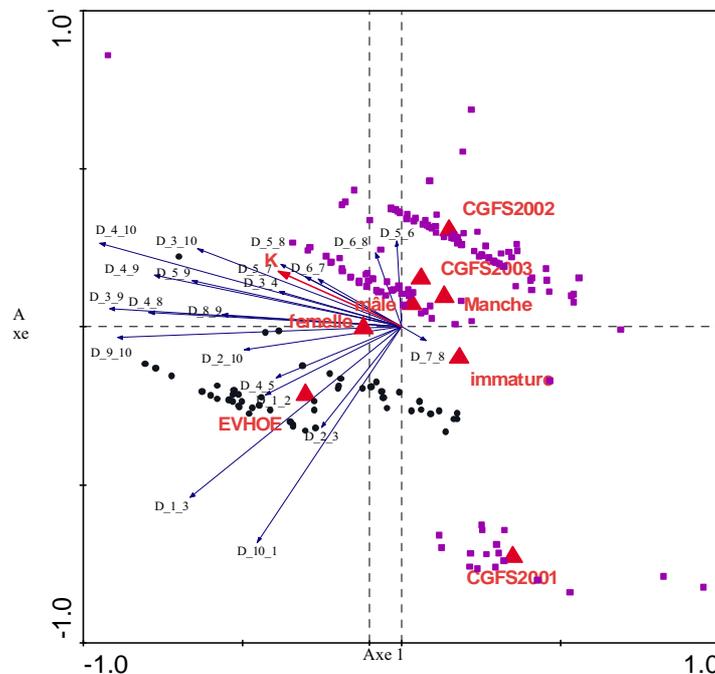


Figure 72: Analyse Partielle de Redondance sur la morphométrie des rougets barbets de Manche orientale (carrés violets) et du golfe de Gascogne (ronds noirs) intégrant les différentes distances entre les points homologues (flèches bleues) et les variables explicatives supplémentaires (flèches rouges).

Les différences morphométriques entre les secteurs semblent être liées à des différences morphologiques au niveau de la tête et de la dorsale 2 (Fig. 73) comme indiqués par les vecteurs du quart bas gauche de la RDA.

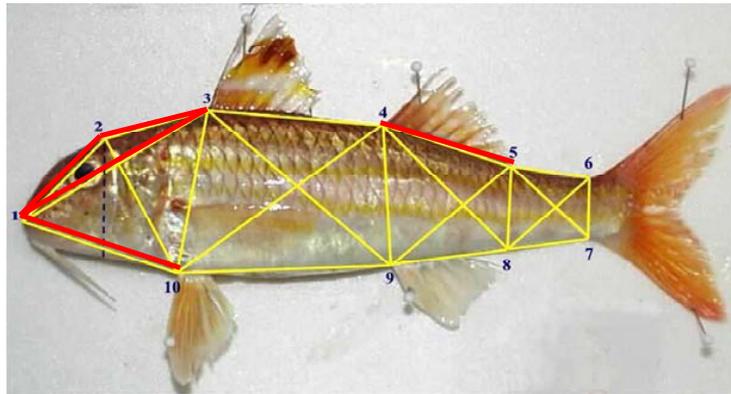


Figure 73 : Segments (en rouge) indiquant des différences morphométriques entre la Manche orientale et le golfe de Gascogne.

Les vecteurs autour de la partie négative de l'axe 1 et du quart haut gauche de la RDA (Fig. 10) correspondent aux segments du corps au niveau du tronc, à la région délimitée à l'arrière par la fin des nageoires dorsales 2 et anale et à la hauteur de la partie caudale. La RDA indique que ces mesures seraient influencées par l'indice de condition K et légèrement par le sexe, plus particulièrement pour les femelles. L'influence du sexe semble limitée car les femelles ne sont pas gravides⁴³ et la morphologie de l'abdomen non influencée par le volume occupé par les gonades. A la saison de reproduction, on trouverait certainement des différences liées à l'état sexuel.

I. 4. Synthèse des résultats

Les différences morphologiques peuvent être le témoin de populations ou stocks différents mais sont aussi liées au sexe ou à des différences de condition de l'individu. Ces études effectuées en automne où les poissons n'étaient pas en reproduction ont pour avantage de montrer qu'il existe au moins deux types morphologiques chez le rouget barbet : l'un en Manche orientale, l'autre dans le golfe de Gascogne et un troisième type correspondant à celui des campagnes CGFS de 2001. L'échantillonnage restreint en 2001 ne permet pas de conclure sur la réalité de ce type qui pourrait être lié à des poissons venant d'autres secteurs, et incite à ne pas tenir compte des résultats de cette année là.

Les différences entre les poissons de Manche et du golfe de Gascogne en 2003 (seule année où la comparaison est possible) correspondent à des mesures liées à la tête et la dorsale 2. Ces mesures sont des mesures robustes car celles liées à la tête sont supposées être moins sensibles à court-terme à la condition nutritive des poissons. Les mesures liées au corps sont par contre corrélées soit au sexe soit à l'indice de condition. Il est difficile de faire la part de ce qui est lié à ces facteurs par rapport à l'influence géographique qui semble être minime pour ces parties du corps.

Les mesures de la partie caudale mériteraient d'être approfondies car les points utilisés correspondent à la hauteur minimale de cette région, ce qui peut être difficile à estimer par un observateur.

⁴³ Des femelles gravides sont à des stades de maturité sexuelle III et IV, voir Partie II, tableau 6.

Ces types morphologiques doivent être comparés avec des individus d'autres secteurs sur l'ensemble de la zone de répartition de l'espèce.

La morphométrie géométrique est donc une première étape importante pour déterminer des différences entre secteurs géographiques et donc entre stocks car elle a mis en évidence la pertinence de considérer dans un premier temps un stock Atlantique et un stock en Manche-Mer du Nord. Le chapitre V s'est donc appuyé sur ce constat pour évaluer la ressource de Manche-Mer du Nord. Cette différenciation de stocks devrait cependant être renforcée par des études génétiques qui permettraient aussi de savoir si ces deux stocks présentent certaines interconnexions entre eux, pouvant créer des sous-populations hybrides.

II. Contexte européen

La gestion durable des ressources est l'objectif principal de la politique des pêches en Europe et donc en France. Au niveau international différents instruments de gestions (limitation de l'effort de pêche, T.A.C.⁴⁴ ...) ont été mis en place par l'Union Européenne à partir de 1983 dans le cadre de la Politique Commune des Pêches (PCP) afin de maintenir un niveau de ressource halieutique exploitable. Pour évaluer l'état de santé des populations de poissons exploitées, les scientifiques des pêches utilisent des méthodes directes basées sur des données récoltées en mer au cours de campagnes scientifiques et des méthodes indirectes faisant appel au traitement des informations issues des statistiques des pêches et des paramètres biologiques. Ces évaluations sont élaborées au sein d'organisations internationales telles que le Conseil International pour l'Exploration de la Mer (CIEM) dans le cadre de groupes de travail qui fournissent, des avis sur l'état des différents stocks halieutiques exploités dans les eaux européennes. Ces avis sont ensuite évalués par le Comité Scientifique Technique et Economique des Pêches (CSTEP), organe de la commission européenne qui propose aux ministres de la pêche les mesures de réglementation (Fig. 74).

⁴⁴ T.A.C. Total admissible de capture

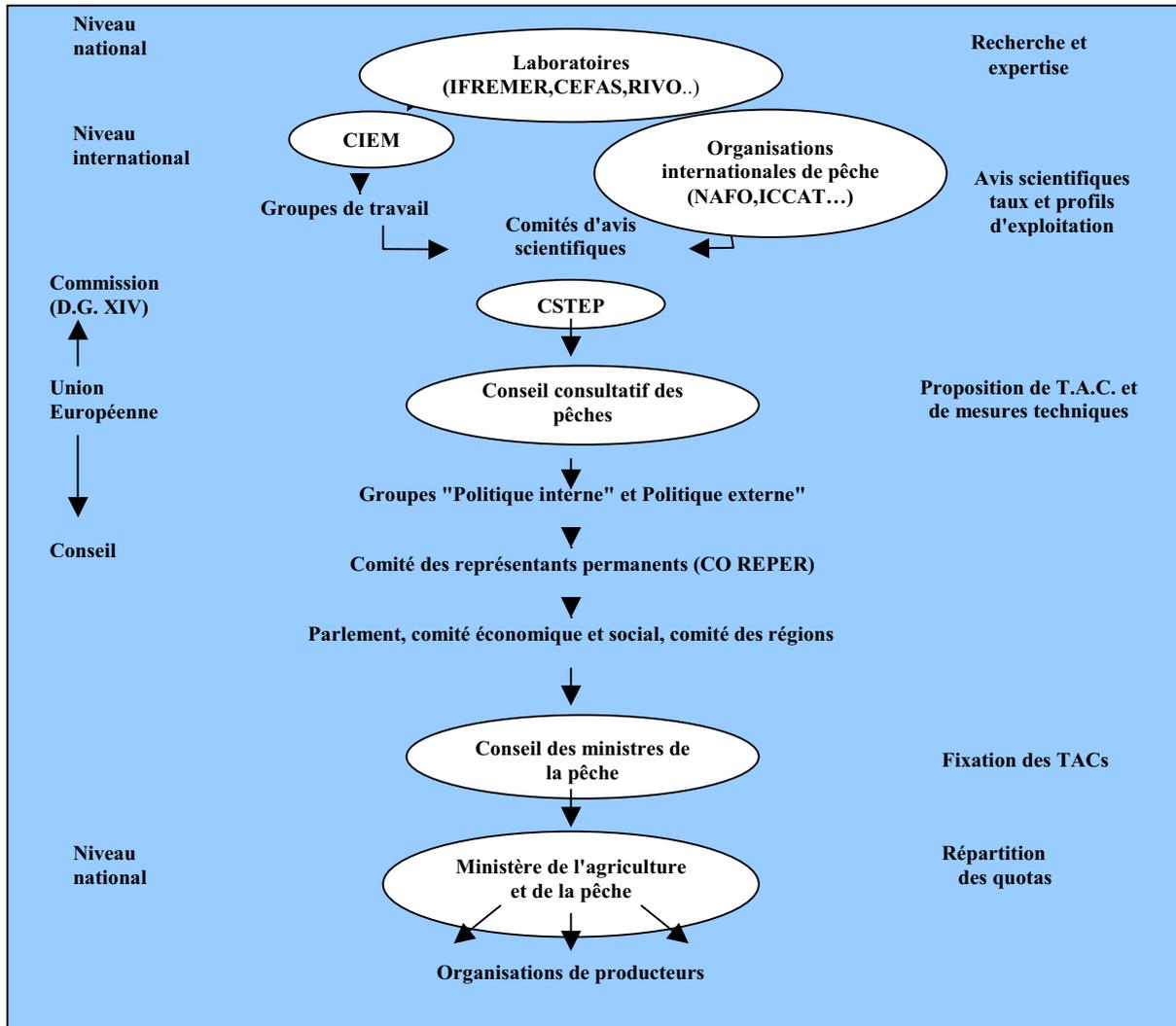
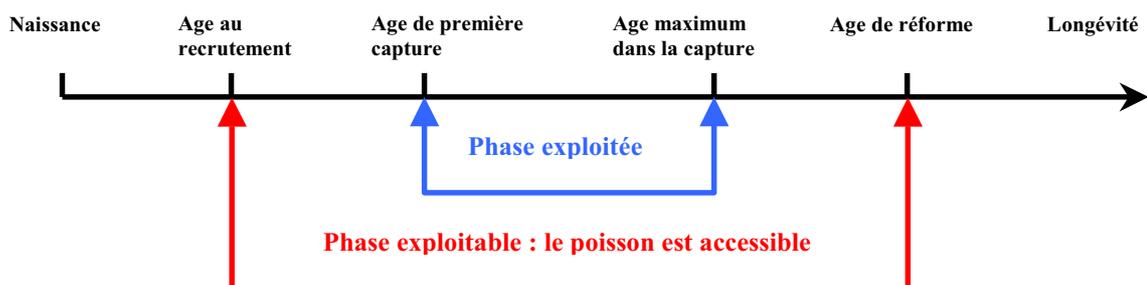


Figure 74 : Schéma général de l'évaluation de stock avec prise de décision des TACs et Quotas.

III. Principes généraux de l'évaluation de stock

Un stock de poisson peut se définir comme un groupe d'individus d'une même espèce évoluant dans un espace délimité. Il fluctue en fonction des naissances, des décès et de la croissance des poissons qui le composent. Ces évolutions sont en partie dues à des phénomènes naturels propres à toute espèce vivante, mais pour la plupart des stocks européens, la pêche reste le facteur d'influence majeur (Anonyme, 2002).

L'exploitation d'une population passe par plusieurs phases (Fig. 75), la phase durant laquelle le poisson peut être capturé (phase exploitable) et celle durant laquelle il est réellement exploité (phase exploitée). On cherchera à comprendre la phase exploitée.



- Age de recrutement : âge à partir duquel le poisson est accessible à la pêche.
- Age de première capture : âge à partir duquel le poisson est réellement exploité.
- Age maximum dans la capture : âge théorique au delà duquel le poisson n'est plus pêché.
- Age de réforme : âge théorique au delà duquel le poisson n'est plus accessible à la pêche.

Figure 75 : Schéma des phases de l'exploitation d'une population.

Pour pouvoir évaluer l'état de santé d'un stock, les paramètres qui influencent son augmentation tels que le recrutement et la croissance mais aussi sa diminution telles que la mortalité naturelle et la mortalité par pêche (Fig. 76) doivent être estimés.

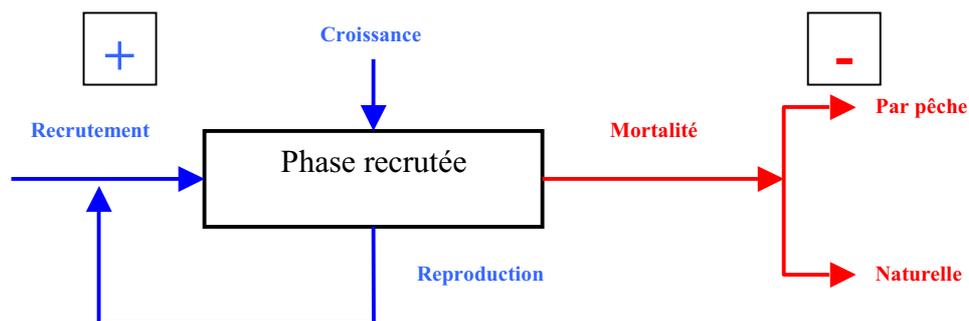


Figure 76 : Schéma des paramètres influençant l'état de santé d'un stock.

Les analyses séquentielles de captures aux âges ou analyses de cohorte⁴⁵ sont les plus communément utilisées en évaluation de stocks halieutiques exploités. Elles ont deux objectifs majeurs :

- le premier est d'estimer les effectifs du stock à chaque âge en retraçant les variations d'abondance, de biomasse ou de recrutement du stock,
- le second objectif vise à faire des projections des états futurs du stock ou des diagnostics sur sa capacité à répondre à l'exploitation.

On s'intéresse pour cela aux variations des coefficients instantanés de mortalité par pêche pour lesquelles on a besoin de connaître l'effort de pêche. Pour retracer l'évolution de la pêcherie à travers les cohortes, il faut disposer de séries historiques de captures aux âges les plus longues possibles (Mesnil, 1988). Les pêcheurs étant soumis le plus souvent à une réglementation fixant l'utilisation d'un maillage réglementaire, l'analyse seule de leurs captures n'est pas un bon indicateur du recrutement : c'est pourquoi il est nécessaire d'obtenir des indices d'abondances fournis par les campagnes expérimentales de chalutage dont les procédures sont standardisées en terme d'effort d'échantillonnage et d'engins.

L'évaluation des stocks se décompose en quatre étapes :

- recueillir et analyser les informations,
- établir un diagnostic,
- prévoir sur la base de situations simulées les scénarii de gestion,
- émettre un avis sur l'état des stocks et ses évolutions possibles.

Les avis scientifiques quantifient, pour chaque scénario examiné, les risques de non renouvellement du stock, les chances de production et de rendement maximal. Ils proposent

⁴⁵ Ensemble d'individus nés à l'issue d'une même saison de reproduction, une année donnée

des scénarii qui permettent la pérennité des stocks à un niveau autorisant une exploitation durable. Pour cela, la mortalité par pêche et la biomasse des poissons en âge de se reproduire (biomasse de géniteurs) ne doivent pas dépasser une limite au delà de laquelle il existe une très forte probabilité que le stock soit réduit. Compte tenu des diverses incertitudes, un niveau de précaution est défini afin d'éviter tout risque de dépassement des limites supportables pour le stock (mortalité par pêche et biomasse de précaution). Au vu des résultats donnés par l'analyse, un diagnostic de l'état de la ressource et des propositions de gestion pourront être proposées. Les diagnostics peuvent être de plusieurs natures suivant le niveau d'exploitation (Tab. 18).

| Diagnostic | Effets sur la ressource | Propositions |
|------------------------------|--|---|
| $B > B_{pa}$ $F < F_{pa}$ | Pleine capacité reproductive | Maintenir la pression de pêche actuelle |
| $F > F_{pa}$ | Surpêche | Réduire la pression de pêche au dessous de F_{pa} |
| $B < B_{pa}$ | Réduction de la capacité reproductrice du stock | Réduire la pression de pêche afin de rétablir au plus vite la biomasse de géniteurs |

Légende : B = Biomasse observée de géniteurs

B_{pa} = Biomasse de précaution

F = Mortalité observée par pêche

F_{pa} = Mortalité par pêche de précaution

Tableau 18 : Diagnostics sur le niveau d'exploitation, effets et propositions.

Dans le dernier cas, quand les mesures de réduction de la pression de pêche ne sont pas rapidement efficaces pour relever la biomasse de géniteurs, il faut alors recommander des plans de restauration.

IV. Synthèse des données françaises

Pour connaître l'évolution des structures démographiques et de la croissance d'une population plusieurs sources d'informations sont indispensables.

IV. 1. Les captures

Les captures se composent des débarquements des bateaux de pêche et des rejets. Les débarquements sont fournis par le système national des statistiques des pêches. Ils sont issus de deux sources : les livres de bord (log-book) et les ventes en criées. Les livres de bord fournissent les caractéristiques de la marée⁴⁶ (secteur, navire, port d'attache...), les captures globales par espèce et l'effort de pêche. Les ventes en criée fournissent pour chaque espèce, les proportions des différentes catégories commerciales et le prix de vente.

Les rejets des principales espèces commerciales font actuellement l'objet d'un suivi dans le cadre d'un contrat entre l'Union Européenne et les états membres (DCR : Data Collection Régulation). Le rouget barbet, espèce commerciale à forte valeur ajoutée, ne fait pas l'objet de rejet, ce qui nous a été confirmé par les professionnels. De plus, il existe une catégorie consacrée aux rougets barbets abîmés lors de la pêche et il faut signaler que la taille marchande fixée à 16 centimètres a été supprimée en 2000.

Les données de débarquement du rouget barbet sont utilisables depuis le 1^{er} janvier 1985. Ces informations sont disponibles au sein de bases de données gérées par l'IFREMER dont le format évolué plusieurs fois au cours du temps. Pour la période 1985 à 1998, un seul fichier traite des caractéristiques de la marée. Il contient pour chaque navire, le secteur

⁴⁶ marée : période allant du moment où le navire quitte le port pour se rendre sur le lieu de pêche jusqu'au retour au port.

fréquenté, l'engin utilisé, les quantités et valeurs totales débarquées par catégorie commerciale. Pour cette période, un autre type d'extraction est utilisé pour les données d'effort de pêche. Il contient les caractéristiques techniques, le temps de pêche et le secteur affectés à chaque navire. Pour la période 1999 à 2004, les informations concernant les caractéristiques de la marée contiennent également les données d'effort mais sont séparées des ventes. Les ventes sont reliées à chaque marée par un champ commun aux deux sources d'informations.

Les captures par trimestre sont calculées à partir des poids vifs observés dans les statistiques de pêche par secteur et par engin. L'effort est calculé à partir du temps de pêche pour chaque secteur par engin. L'espèce n'intervient pas dans le calcul de l'effort de pêche. En effet, la capture réalisée au cours d'une marée n'étant pas mono-spécifique, il est impossible d'affecter un effort particulier à une espèce.

Concernant les ventes en criée, nous avons vérifié l'adéquation entre les catégories commerciales observées dans les statistiques de pêche et les carnets des ventes fournis par les pêcheurs. Les données étant issues du réseau inter-criée, nous avons pu constater que les sous catégories utilisées à la criée de Boulogne sur mer étaient regroupées pour la période allant de 2000 à 2004. Nous avons donc eu recours aux données de la chambre de commerce et d'industrie de Boulogne sur mer pour le calcul des proportions relatives des catégories de tri effectives, 71 % des apports de Manche Est et Sud mer du Nord étant débarqués dans ce port. De plus, notre échantillonnage en taille tient compte dans sa stratification de ces catégories.

IV. 2. Les mensurations

De même que pour les rejets, les mensurations par catégorie commerciale font l'objet d'un suivi dans le cadre de la DCR. Avant de commencer toute action d'échantillonnage en taille des débarquements pour une espèce donnée, il faut en définir une planification. Pour cela on s'intéresse à la structure des apports pour répondre aux questions suivantes pour le stock étudié:

- ✓ quelles sont les principales flottilles concernées par l'exploitation ?
- ✓ quels sont les principaux ports de débarquement ?
- ✓ quelles sont les pratiques commerciales (tri par catégorie...)?

Une fois connues les réponses à ces questions, la stratégie d'échantillonnage peut être mise en place. Le rouget barbet étant débarqué pour la Manche Est et le Sud de la mer du Nord essentiellement en criée de Boulogne sur mer (Fig. 77), les mensurations ont été effectuées dans ce port. Celles-ci ont été complétées par les mensurations réalisées par les observateurs embarqués dans le cadre de l'étude de l'observation des captures en mer sur les bateaux professionnels.

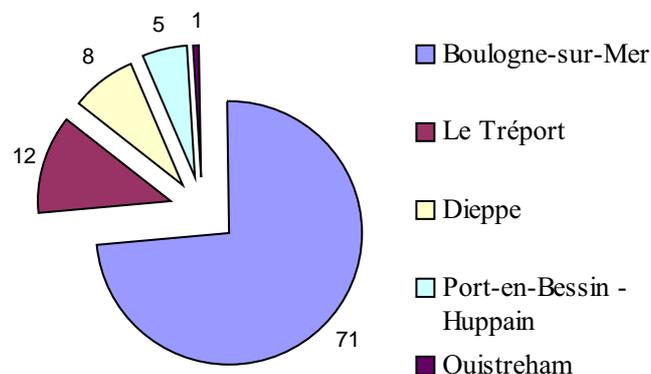


Figure 77 : Débarquements en 2004 pour les principaux ports de Manche orientale et sud mer du Nord.

Toutes les catégories utilisées par les pêcheurs (appellations locales : correspond au nombre minimum et maximum d'individus au kilogramme) ont été échantillonnées (Tab. 19) en fonction de leur disponibilité saisonnière. Ces catégories sont classées différemment suivant le lieu de vente et sont regroupées au sein de catégories standardisées par le réseau inter-criées. L'échantillonnage a eu lieu par trimestre afin de mesurer la variation intra-annuelle de croissance. La connaissance des captures et de la répartition en taille par catégorie commerciale permet d'établir, dans un premier temps, la structure en taille.

| Criée de Boulogne | Réseau inter-criées | Appellation locale (nb mini ; maxi, au kg) | Catégories officielles |
|-------------------|---------------------|---|------------------------|
| 10 | 10 | 1/2 | 10 |
| 21 | 21 | 2/3 | 10 |
| 22 | 22 | 3/5 | 20 |
| 31 | 31 | 5/6 | 30 |
| 32 | 31 | 6/10 | 40 |
| 34 | 31 | 6/8 | 40 |
| 35 | 31 | 8/10 | 40 |
| 33 | 32 | friture | 50 |

Tableau 19 : Les différentes appellations des catégories commerciales de rouget barbet.

Concernant la Manche-Est, des mensurations par catégorie ont été réalisées en 1994 et 1995 dans le cadre d'un contrat européen sur les espèces non soumises à quota puis à partir de 2002 dans le cadre de cette étude (voir Partie II). Nous avons aussi complété ces informations par celles issues des marées d'observations de captures en mer. Les mensurations n'étant pas disponibles sur la totalité de la période étudiée, les unités échantillonnées en 1994 ont été appliquées aux années 1985 à 1993, celles de 1995 aux années 1996 à 1999. La taille marchande ayant été supprimée en 2000, les mensurations effectuées entre 2002 et 2004 ont été utilisées pour compléter les années 2000 et 2001. De plus, pour les trimestres qui n'ont pu être échantillonnés une année, nous avons utilisé les mensurations d'un autre trimestre en respectant la règle suivante : le deuxième trimestre complète le troisième, le premier complète le quatrième et inversement. Afin de respecter par cela les périodes de croissance lente et de croissance rapide. Il n'y a pas de mensurations pour la Manche Ouest.

IV. 3. Les clés taille/âge

La structure démographique en âge des captures constitue une des principales sources d'informations indispensables à l'analyse des fluctuations temporelles de la population exploitée servant de base à l'évaluation du niveau futur du stock. Le rapport entre la taille et l'âge des poissons doit fournir une indication de la croissance au cours de l'année et ainsi être reliée aux mensurations. C'est pourquoi une clé taille/âge est réalisée chaque trimestre et prend en compte toutes les tailles observées. Les facteurs de croissance étant variables chaque année (disponibilité de la nourriture, environnement...), des clés taille/âge doivent être renouvelées tous les ans.

Comme pour les mensurations, aucune information n'est disponible sur l'âge en Manche Ouest. Pour la Manche Est et le sud de la mer du Nord, nous disposons de clés taille/âge par trimestre et par sexe depuis 2004 (taille en millimètre ; voir Partie II). Pour l'évaluation, une clé cumulée par trimestre regroupée au cm inférieur sur la base des données collectées en 2004 en laboratoire ou lors de la CGFS a été utilisée. Nous avons vérifié que toutes les classes de taille observées dans les mensurations étaient renseignées dans les clés taille/âge en croisant les deux sources d'informations. En cas de taille manquante, nous avons utilisé les paramètres obtenus par la courbe de croissance pour calculer un âge théorique suivant l'équation de Von Bertalanffy :

$$L_t = L_\infty (1 - e^{-K(t-t_0)})$$



Transformation pour le calcul de l'âge théorique



$$t = 1/K \cdot \text{Log}(L_\infty / (1 - (L_t / L_\infty)) \cdot L_\infty)$$

- ⎧ K : coefficient de croissance,
- ⎧ Lt : longueur calculée à l'instant t,
- ⎧ L_∞ : longueur théorique maximale,
- ⎧ t₀ : âge théorique où la taille et le poids sont nuls.

Les clés par trimestre une fois complétées permettent le calcul de la proportion d'individus d'un âge donné à une taille donnée qui sera appliqué à l'ensemble de la série étudiée.

IV. 4. Les clés taille/poids

Les relations taille/poids sont indispensables pour calculer le poids moyen par taille puis par âge, indicateur de la croissance en biomasse des individus. De même que pour la taille et l'âge, elle est calculée pour chaque trimestre à partir d'un échantillon représentatif⁴⁷ de poissons sur lequel on prélève le poids individuel.

Les relations taille/poids utilisées pour le calcul des poids moyens par classe de taille ont été obtenues à partir des poids individuels prélevés en 2004 par trimestre (voir Partie II) en laboratoire. Les poids moyens par classe de taille ont été obtenus par application de ces relations par trimestre sur les tailles observées dans les mensurations. Cette information va permettre de calculer la somme des produits (SOP) des nombres d'individus par taille (N_t) par le poids moyen (\overline{W}_t) :

$$SOP_t = \sum_t (N_t \cdot \overline{W}_t)$$

Puis de la même manière connaissant pour une taille donnée la proportion de poissons à chaque âge, ce calcul a été effectué par classe d'âge. Le résultat de ces sommes est comparé aux débarquements (Annexe 8).

IV. 5. Maturité sexuelle aux âges

Afin d'exploiter le stock dans les limites de précaution, la mortalité par pêche doit être en deçà d'une valeur seuil pour laquelle le niveau de biomasse des géniteurs est acceptable. Pour connaître ce niveau on a besoin en plus des captures aux âges d'évaluer la proportion des individus matures à chaque âge. Pour cela on détermine le sexe et le stade de maturité sexuelle sur un échantillon de poissons mesurés individuellement. Le nombre d'individus matures par classe de taille couplé à une clé taille/âge permet la réalisation d'une matrice de maturité aux âges.

Nous avons utilisé les données collectées en 2004 (voir Partie II) pour le calcul de la matrice de maturité aux âges (Tab. 20). Ce vecteur est appliqué à l'ensemble de la série étudiée.

⁴⁷ Echantillon représentatif : fraction d'individus ayant les mêmes propriétés que la population.

| | | | | | | | |
|---------------|--------|--------|-----|-----|-----|-----|-----|
| Groupe d'age | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 |
| % de maturité | 54.167 | 65.468 | 100 | 100 | 100 | 100 | 100 |

Tableau 20 : Pourcentage de maturité aux âges.

IV. 6. Les campagnes à la mer

A partir des données biologiques (voir Partie II) collectées lors des campagnes scientifiques, un indice d'abondance moyen par âge, par heure de chalutage et par année est calculé. Il est utilisé pour évaluer le recrutement pour vérifier les tendances observées à partir des données de captures.

Les indices de CGFS ont été utilisés sur toute la série disponible depuis 1988. Les indices d'abondances par heure de chalutage sont calculés chaque année suivant un algorithme (Fig. 13).

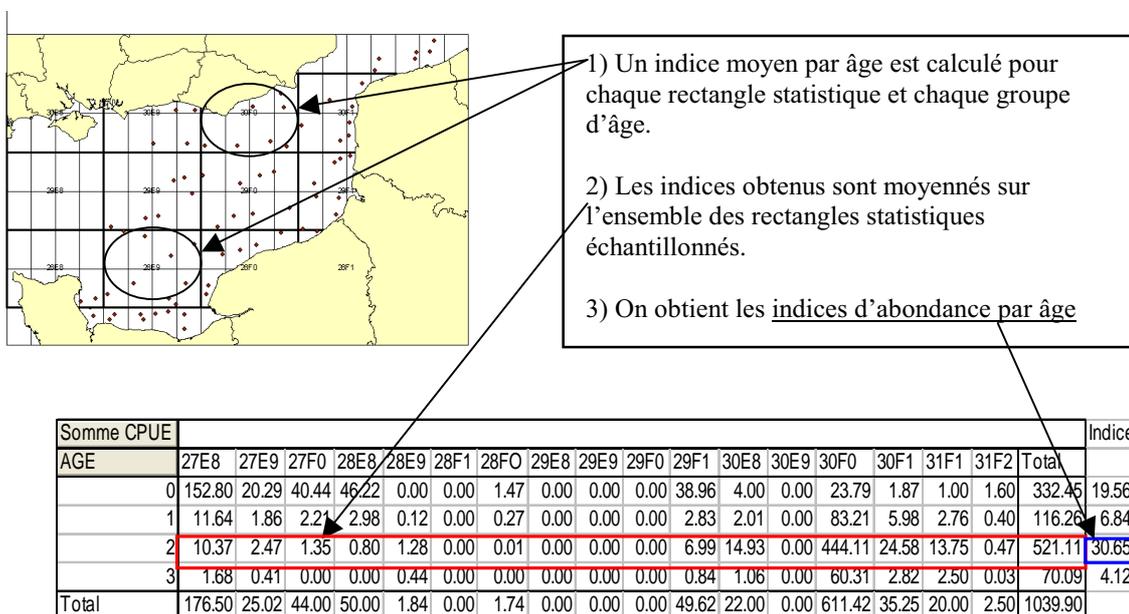


Figure 78 : Présentation de la méthode du calcul de l'indice d'abondance lors des campagnes CGFS.

V. Analyse des données françaises

Cette analyse fait un bilan de l'exploitation française de rougets barbets. Elle ne prend pas en compte dans le cadre de cette étude toutes les composantes de la pêcherie au niveau européen et donc ne saurait être utilisée pour tirer des conclusions sur l'état du stock ou pour faire des prévisions dans un but de gestion. De plus, bien qu'ayant été appliquées à l'ensemble de la série, les données de croissance utilisées ne sont disponibles que pour la fin de série temporelle et donc ne tiennent pas compte des variations inter-annuelles qui peuvent sensiblement modifier les structures démographiques aux âges donnés, essentielles pour les modèles d'analyse de population. Toutefois, ces résultats vont servir de support à la mise en place du groupe de travail du CIEM sur les nouvelles espèces dont fait partie le rouget barbet. Enfin, cette espèce n'étant pas encore évaluée, les valeurs limites de biomasse et de mortalité par pêche n'ont pas été fixées et donc il est d'autant plus difficile d'en définir le niveau d'exploitation.

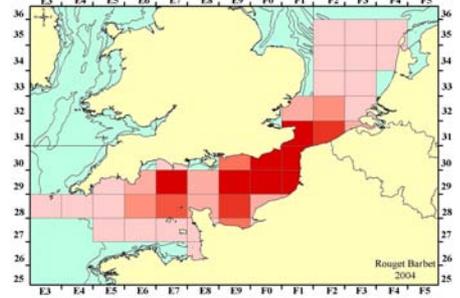
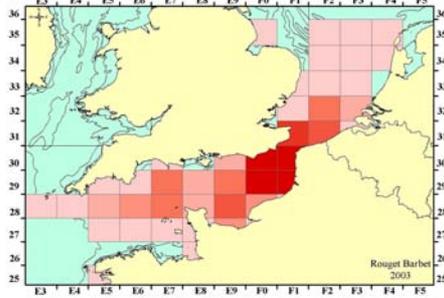
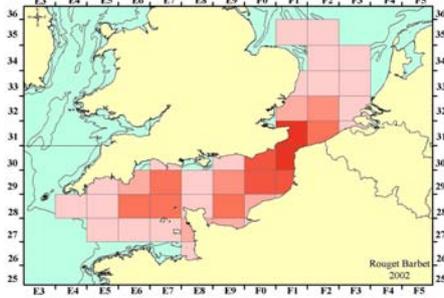
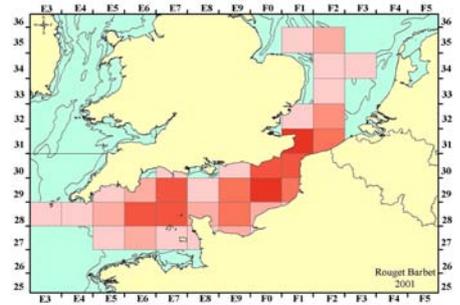
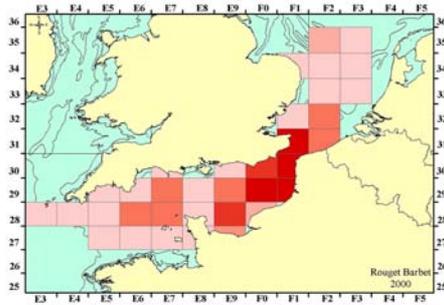
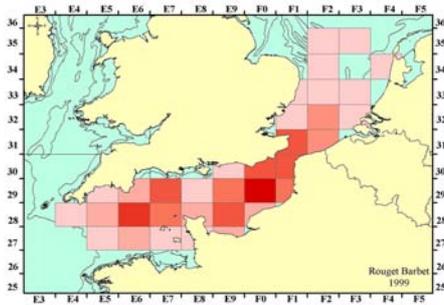
V. 1. Aspects multi-spécifiques

Les débarquements annuels de 1999 à 2004 des 4 principales espèces pêchées en Manche et mer du Nord (Fig. 79) montrent que le rouget barbet, le merlan, l'encornet⁴⁸ et le cabillaud sont des espèces cibles pour la pêche, excepté, peut être pour le cabillaud qui a fait l'objet de restriction ces dernières années. L'évolution de la répartition des captures montre que le rouget barbet est pêché dans les mêmes secteurs géographiques que l'encornet. De plus, même si les secteurs géographiques annuels de captures de merlan et de cabillaud sont plus vastes que ceux du rouget barbet, il n'en reste pas moins qu'il existe une superposition des zones de captures et donc une possible compétition entre espèces.

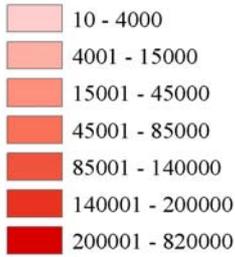
Comme pour l'analyse des débarquements annuels de 1999 à 2004, nous avons étudié la répartition de ces captures au cours de l'année 2004 (Fig. 80, 81, 82, 83). La période de fortes captures durant cette année, pour le rouget barbet est de juillet à fin janvier (Fig. 80). Pour l'encornet, cette période se situe de janvier à février et de novembre à décembre (Fig. 81). Les captures de merlan sont effectuées dans des proportions similaires tout au long de l'année (Fig. 82). Enfin, le cabillaud est pêché essentiellement d'octobre à décembre (Fig. 83).

Ainsi, en Manche et mer du Nord, le rouget barbet est capturé dans les mêmes secteurs géographiques que l'encornet, le merlan et le cabillaud et les fortes captures de ces espèces se réalisent en partie sur les mêmes mois de l'année. Etant donné qu'il peut exister des relations trophiques entre ces espèces, c'est à dire des relations de proies/prédateurs, il est important dans l'évaluation du rouget de barbet de tenir compte de ces autres espèces commerciales.

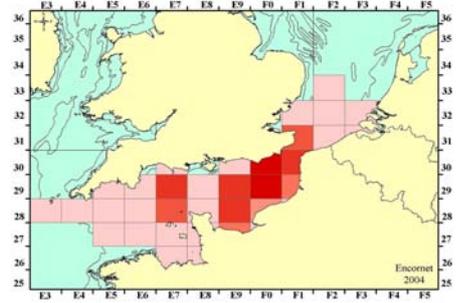
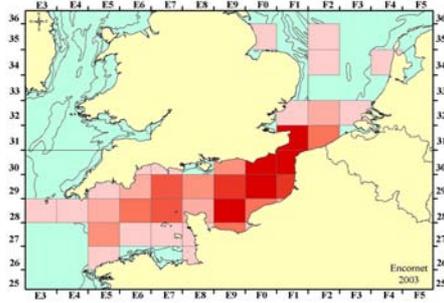
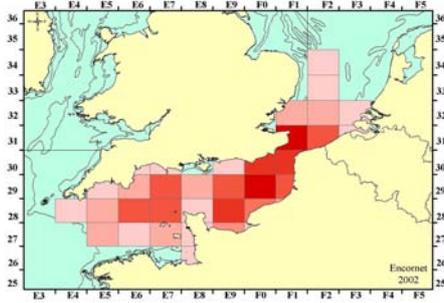
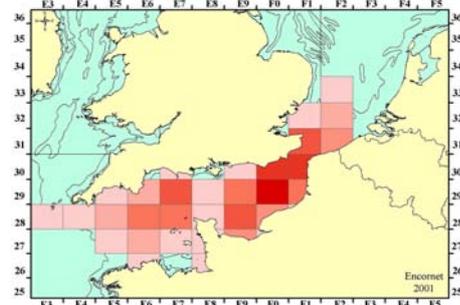
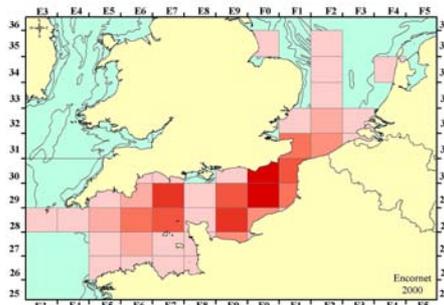
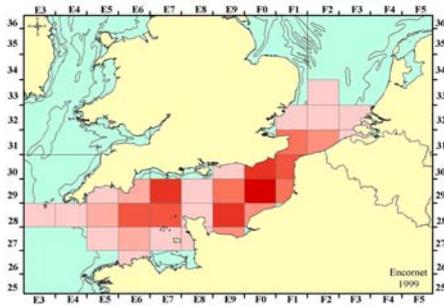
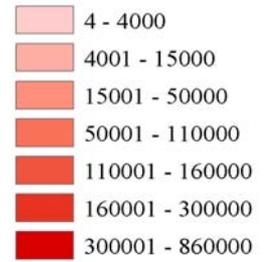
⁴⁸ Encornet : terme générique regroupant l'encornet *Loligo vulgaris* et l'encornet veiné *Loligo forbesi*, non différenciés dans les débarquements



Rouget Barbet



Encornet



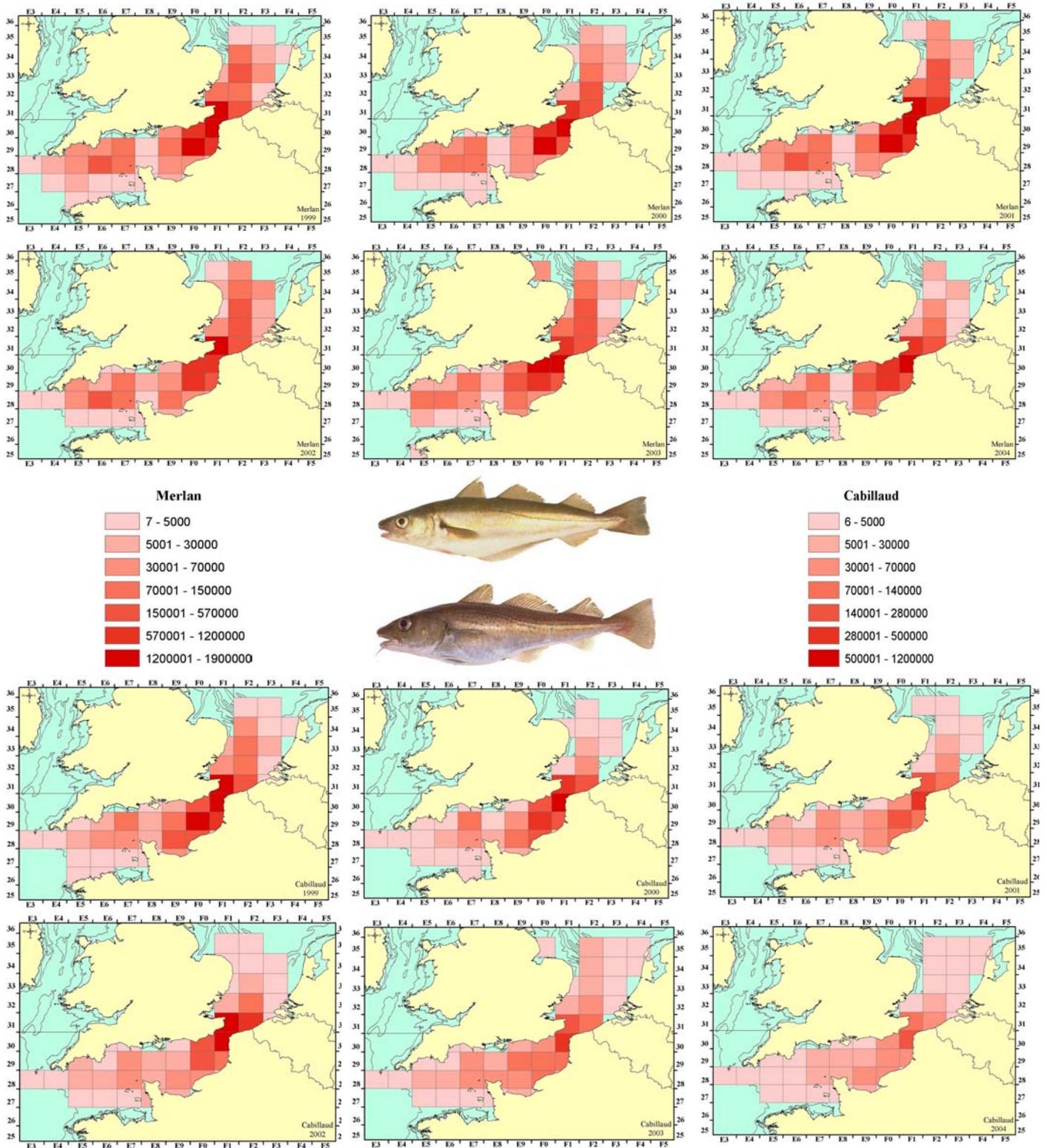
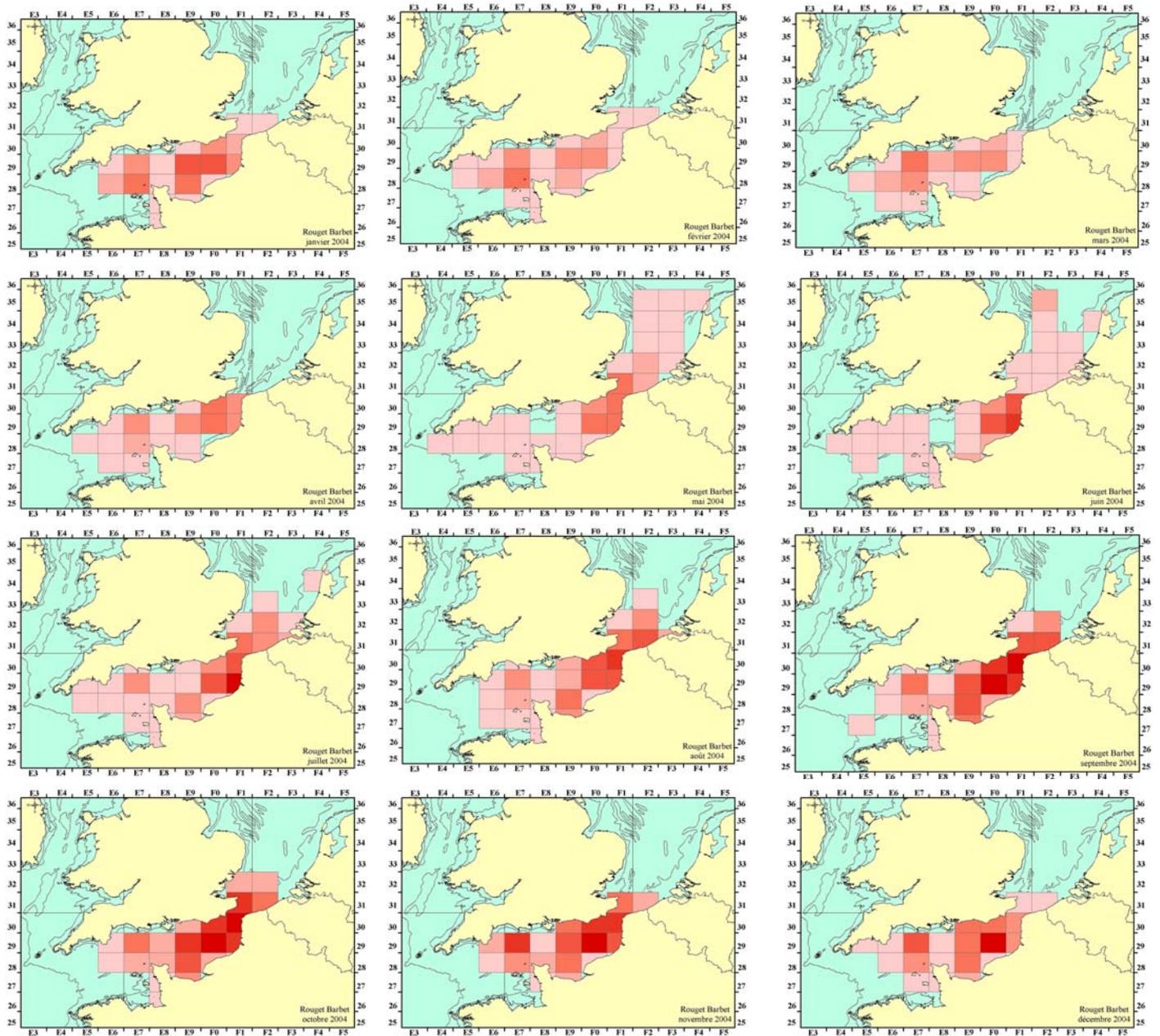


Figure 79: Débarquements annuels de 1999 à 2004 pour la Manche et mer du Nord par carré statistique pour le rouget barbet, l'encornet, le merlan et le cabillaud (source : CRTS).



Rouget Barbet

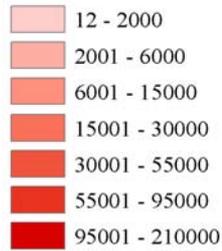
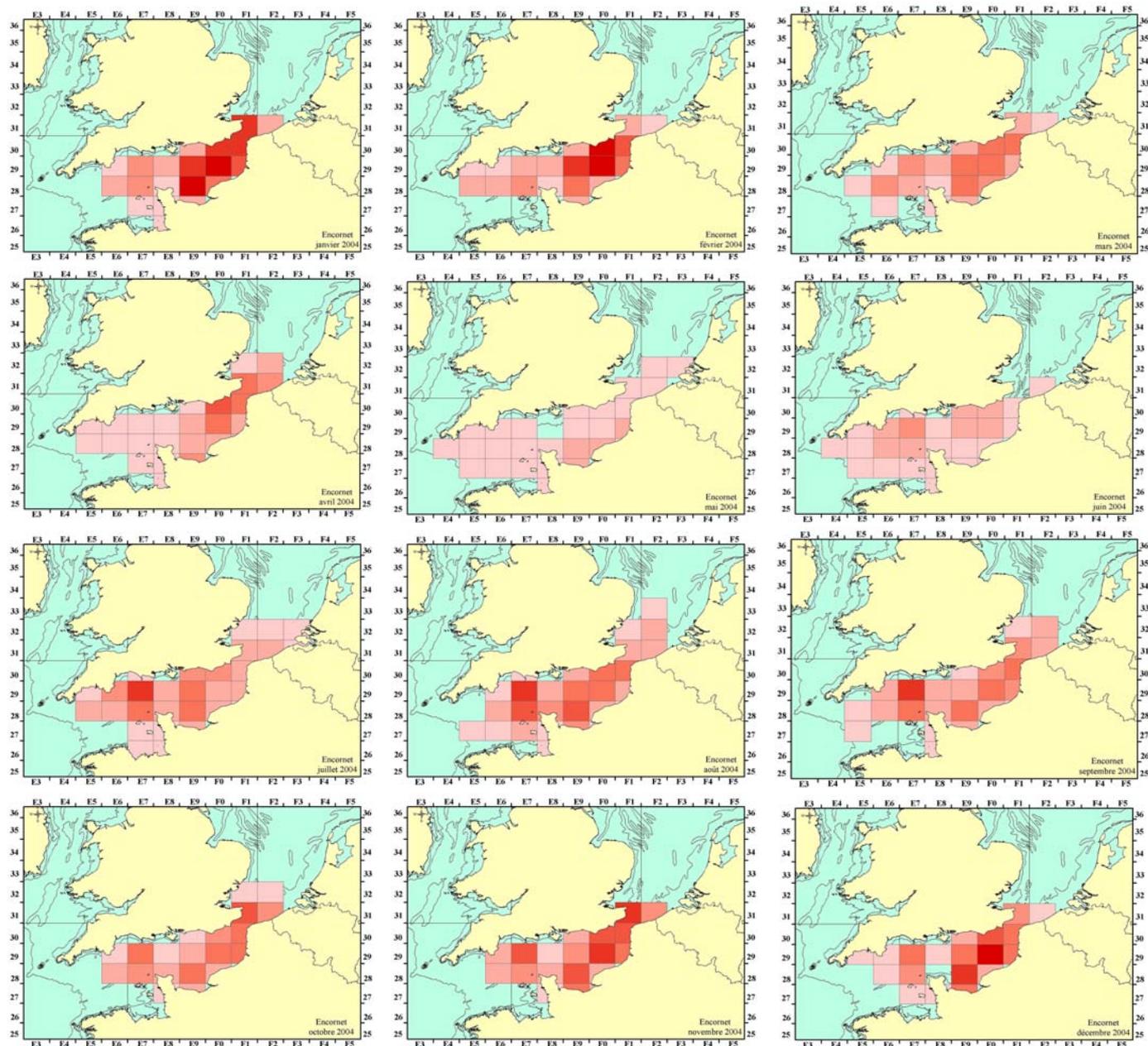


Figure 80 : Captures de rougets barbets en 2004 par mois et par rectangle statistique en Manche et mer du Nord (source : CRTS).



Encornet

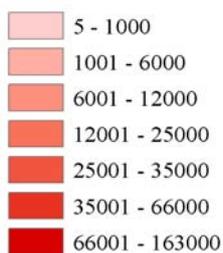
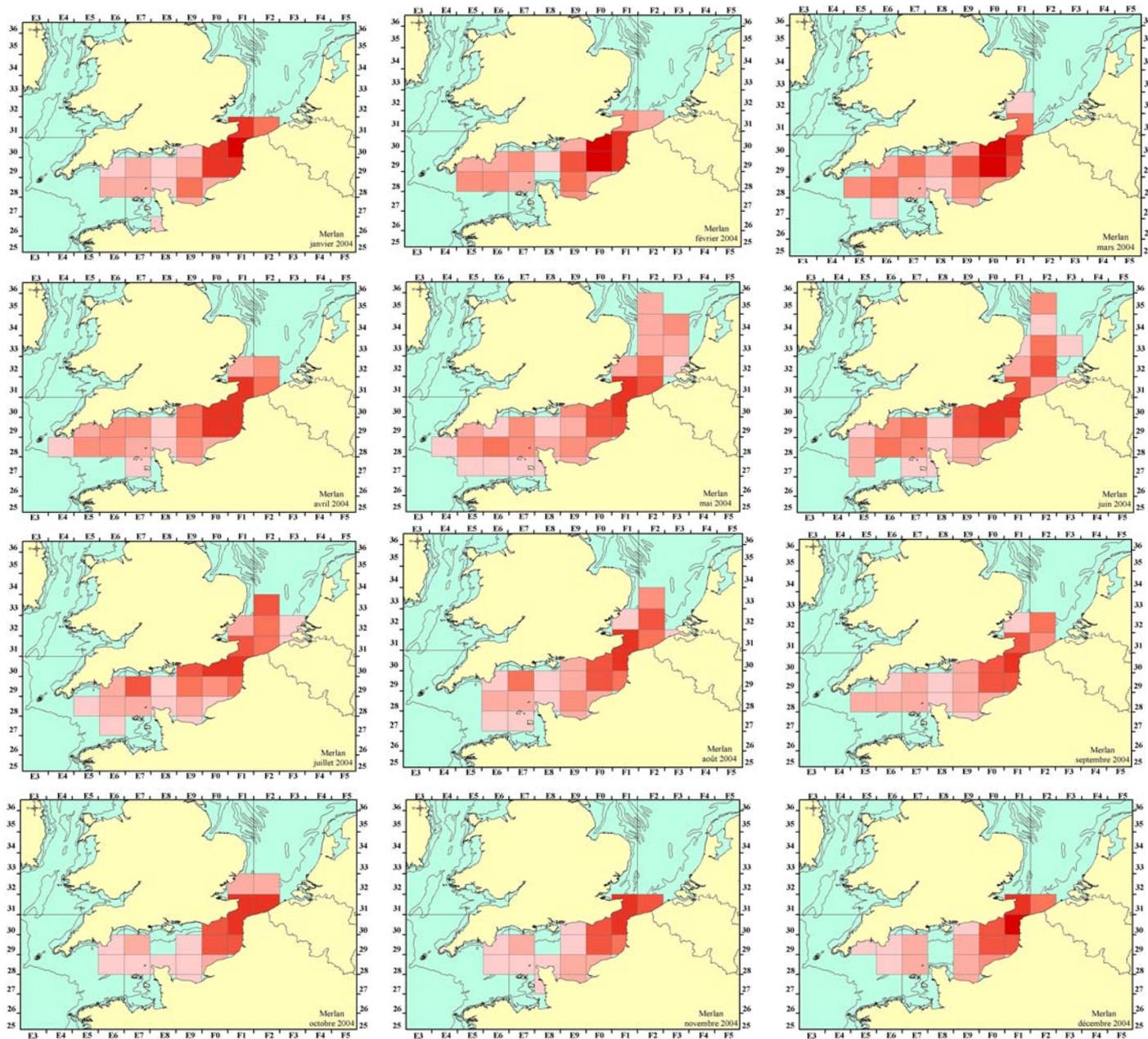


Figure 81 : Captures d'encornets en 2004 par mois et par rectangle statistique en Manche et mer du Nord (source : CRTS).



Merlan

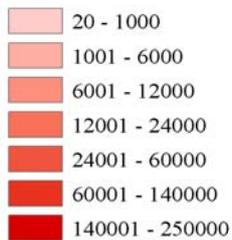
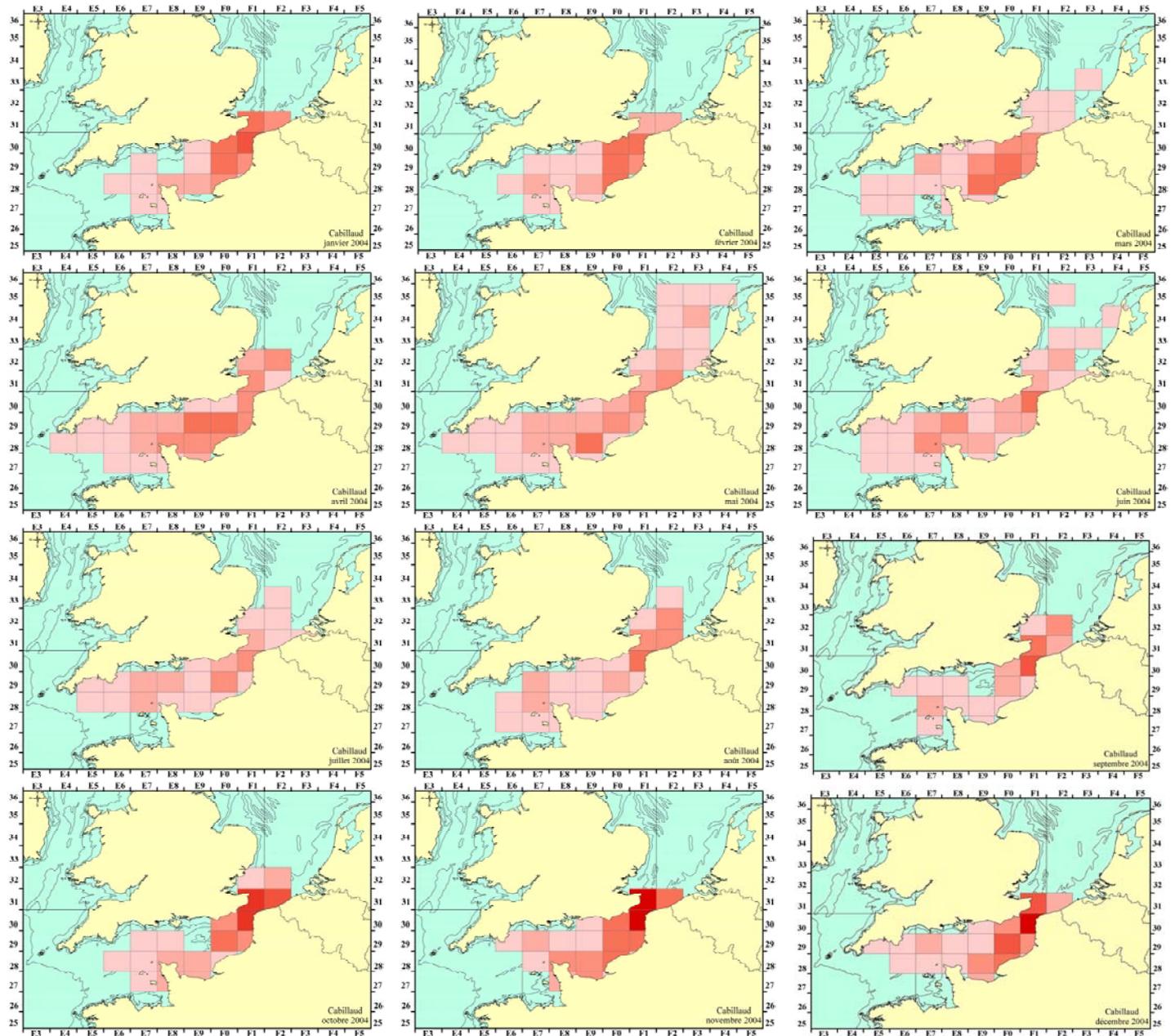


Figure 82 : Captures de merlans en 2004 par mois et par rectangle statistique en Manche et mer du Nord (source : CRTS).



Cabillaud

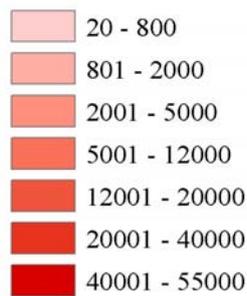


Figure 83 : Captures de cabillauds en 2004 par mois et par rectangle statistique en Manche et mer du Nord (source : CRTS).

V. 2. Aspects économiques

Les variations du prix moyen du rouget barbet sur la zone depuis 1994 où l'exploitation s'est sensiblement développée, suivent une tendance opposée à celle des débarquements jusqu'à 2002. Ensuite le prix moyen semble se stabiliser à un des niveaux les plus faibles depuis 1985 (environ 5 €) lié à une forte augmentation des captures en 2004 (Fig. 84 ; Annexe 9).

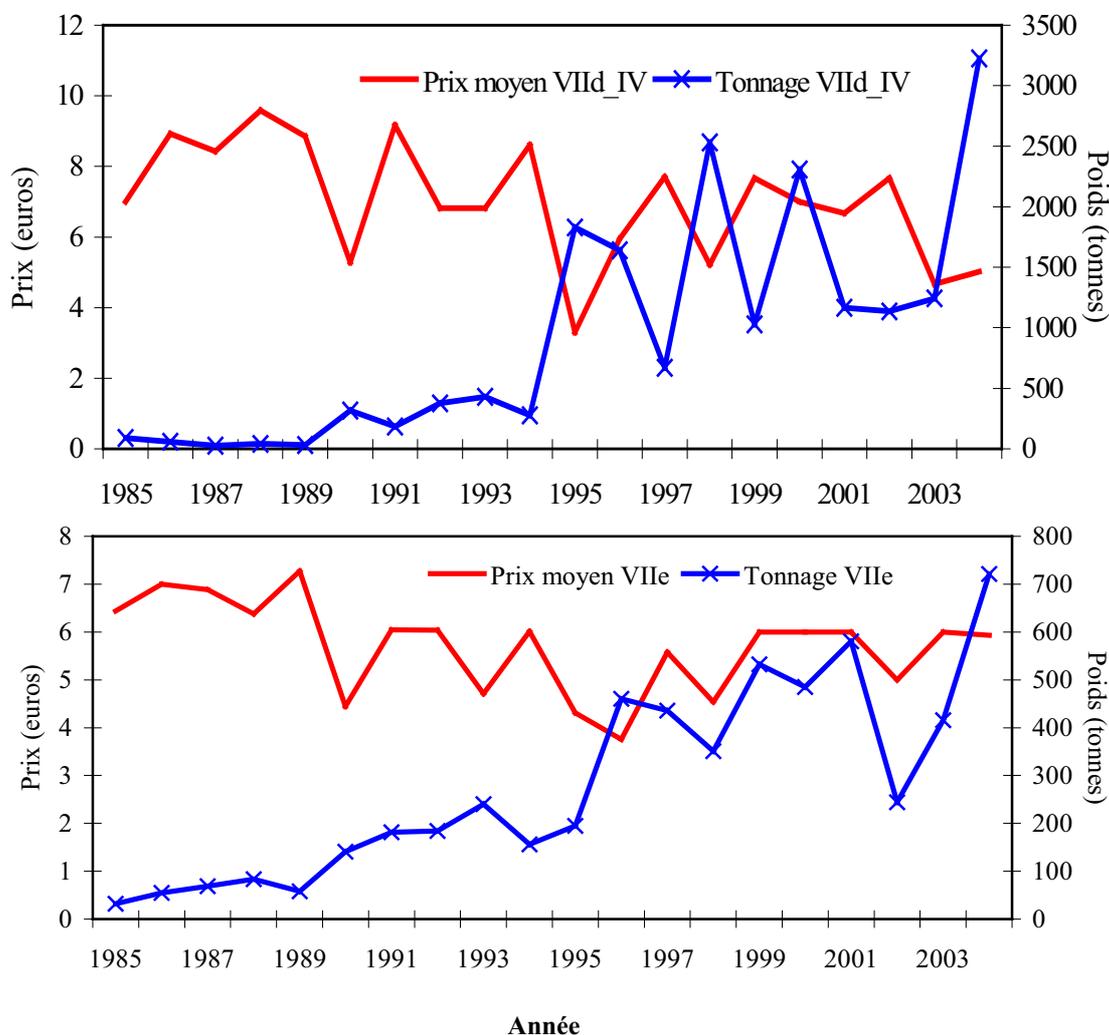


Figure 84 : Variation du prix moyen annuel en fonction des débarquements pour les secteurs VIIId-IV (Manche orientale-mer du Nord) et le secteur VIIe (Manche occidentale).

Ces variations sont principalement dues à une forte proportion des catégories 40 et 50 (Tab. 19 p108) à partir de 2002 dans les apports les années de forte abondance. En effet, il s'agit des catégories regroupant des petits individus dont le prix moyen est le plus bas et qui contribuent donc à infléchir le prix moyen global (Fig. 85).

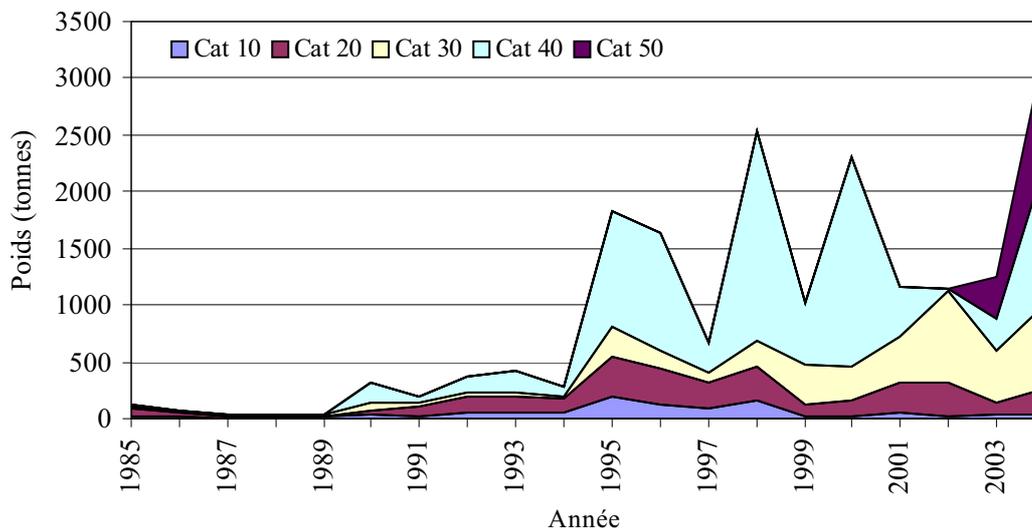


Figure 85 : Débarquements par catégories commerciales des chalutiers français en Manche-Est et sud mer du Nord.

En Manche Ouest, on ne constate pas d'inversion de phase entre prix moyen et capture (Fig. 86). Le volume total des captures est cependant inférieur à celui de la Manche-Est. Il est à noter que le rouget barbet n'est peut-être pas autant la cible des navires de pêche en Manche Ouest qu'en Manche Est et sud mer du Nord car il existe d'autres espèces à forte valeur ajoutée et les stratégies de pêche sont différentes.

La catégorie 50, c'est à dire les plus petites tailles, apparaît faiblement à partir de 1999 puis plus fortement au cours des 2 dernières années. Elle n'est pas répertoriée dans les données de débarquement dans les années antérieures en raison d'une taille marchande fixée à 16 cm (supprimée en 2000).

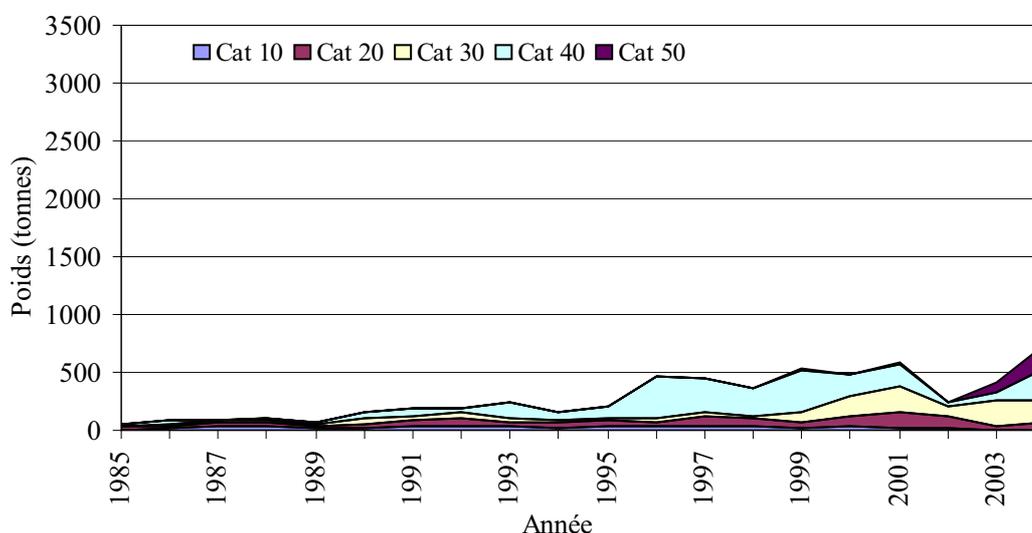


Figure 86 : Débarquements par catégories commerciales des chalutiers français en Manche-Ouest.

V. 3. Les flottilles

Le rouget barbet en Manche et sud mer du Nord fait l'objet d'une exploitation quasiment exclusive (de 82 à 99% tous secteurs confondus) au chalutage de fond à panneaux tracté par un seul navire (Fig. 87). En Manche-Est et sud mer du Nord, les métiers complémentaires sont essentiellement représentés par le divers chalutage alors qu'en Manche Ouest, ce sont les divers métiers et les métiers du filet (Annexe 10). Les captures de rougets

barbets réalisées par ces métiers complémentaires sont accessoires⁴⁹ : elles ne font pas l'objet d'une pêche ayant pour cible cette espèce. Pour l'évaluation, il est nécessaire de pouvoir s'appuyer sur des flottilles représentatives de la pêche de rougets barbets dans chaque secteur, pour lesquelles il existe une relation forte entre captures et effort. Elles sont appelées flottilles de référence. Dans le cas de la Manche et de la mer du Nord où la France est le pays qui exploite le plus le rouget barbet, le choix des flottilles pratiquant le chalutage de fond à panneaux est donc évident.

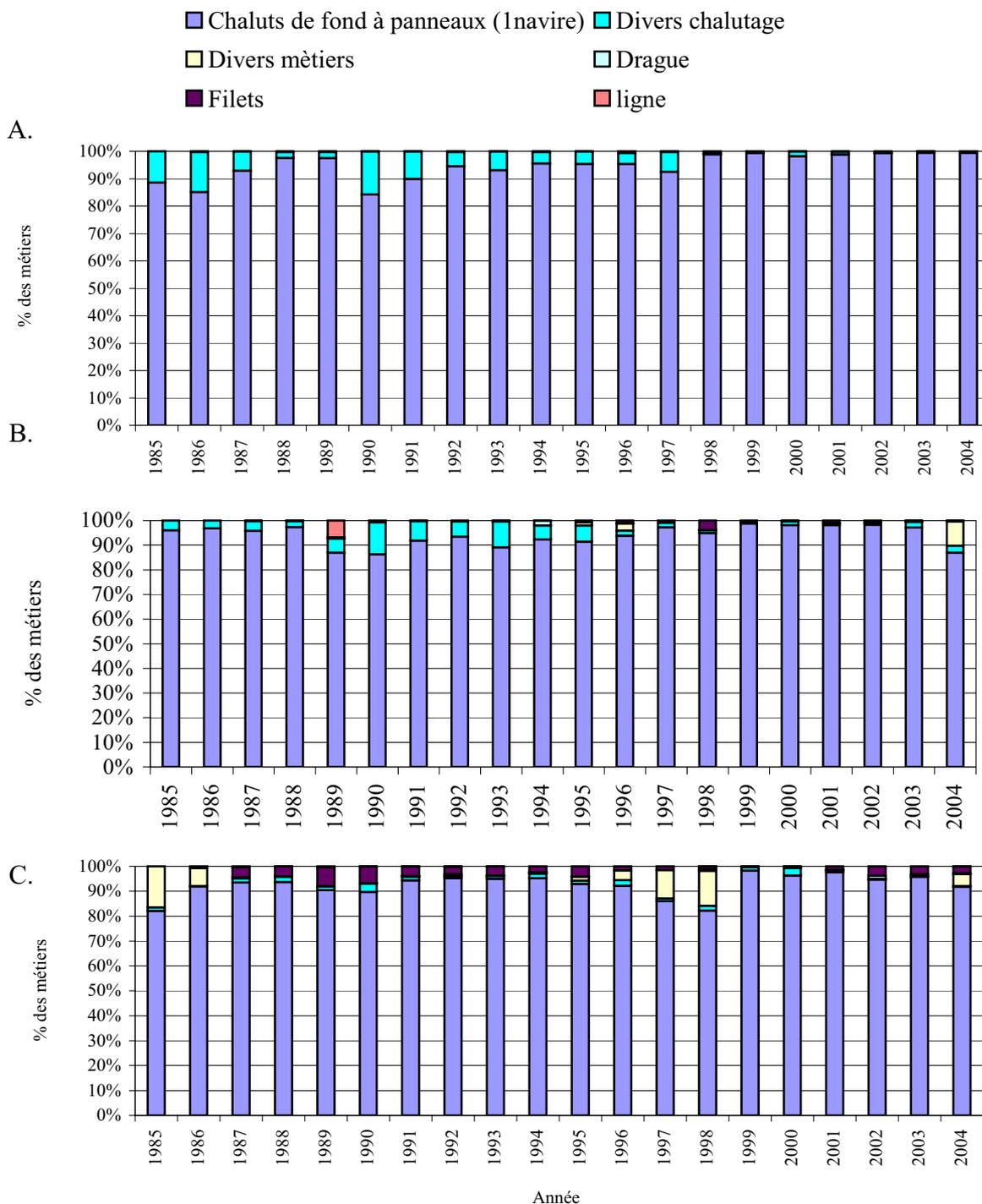


Figure 87 : Proportions relatives des captures par métier pour le IVb, IVc (A), le VIIId (B) et le VIIe (C).

⁴⁹ Espèce accessoire (by-catch) : espèce non ciblée.

Les chalutiers composant la pêcherie de rougets barbets ont respectivement une longueur et une puissance moyennes annuelles d'environ 20 mètres et 400 kilowatts. Ces grandeurs sont stables au cours du temps (Fig. 88 et 89, Annexes 11 et 12). Parmi cette flottille, 71% des navires qui pêchent au sud de la mer du Nord fréquentent aussi la Manche Est. Il s'agit essentiellement des unités de pêche côtière les plus puissantes basées à Boulogne sur mer et pouvant remonter jusqu'au sud de la mer du Nord du fait de leur proximité avec cette zone. Seuls 24% des navires pêchant en Manche Ouest ont fréquenté la Manche Est. Ce sont les navires dont le quartier maritime est limitrophe des 2 zones (Cherbourg). Ils sont accompagnés par quelques unités du quartier de Boulogne sur mer fréquentant les trois secteurs (3% de la flotte).

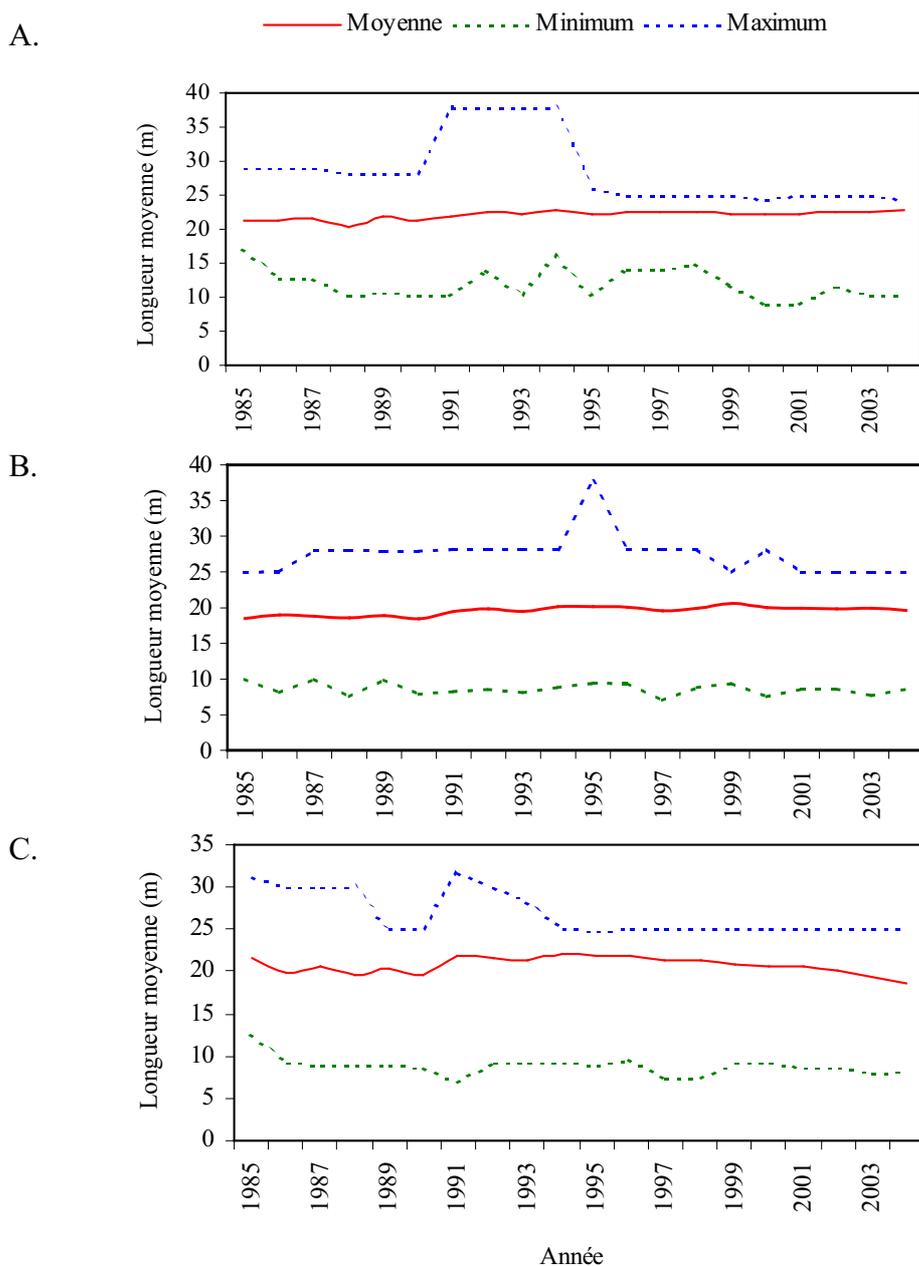


Figure 88 : Longueur moyenne des navires de références pour le IVb, IVc (A), VIId (B) et VIIe (C).

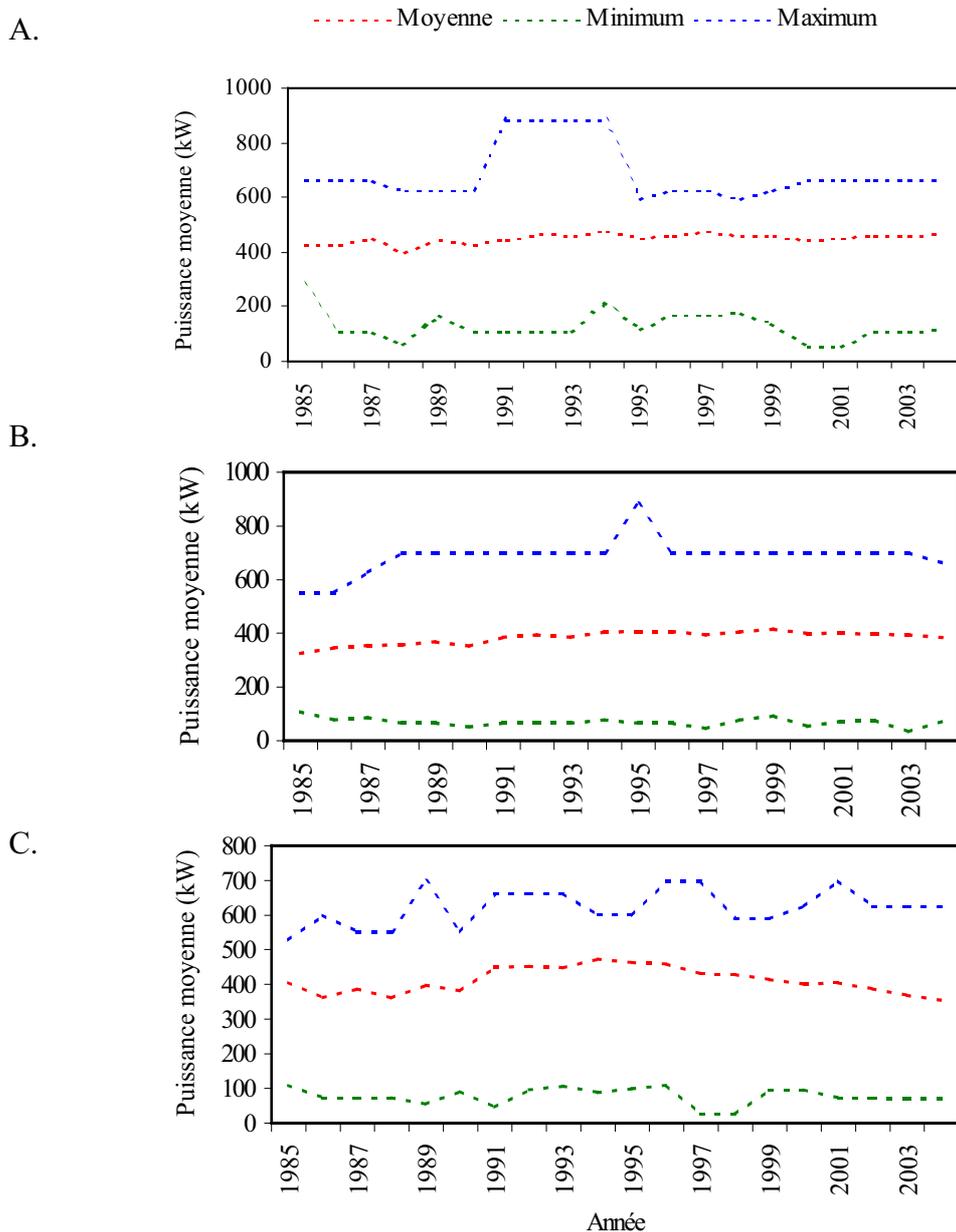


Figure 89 : Puissance moyenne des navires de références pour le IVb, IVc (A), VIId (B) et VIIe (C).

La flottille de référence est donc représentée par les unités de pêche pratiquant le chalutage de fond à panneaux dont la longueur est inférieure à 40 mètres. Cette définition est en adéquation avec celle du chalutage côtier français définie dans le cadre du groupe de travail ACFM (Advisory Committee on Fishery Management) sur les pêcheries mixtes.

V. 4. Les débarquements

L'exploitation de rougets barbets en mer du Nord se limite au sud de la zone, la quasi totalité de la capture étant réalisée dans la division CIEM IVc (98% en moyenne sur la série) et plus particulièrement dans le IVc4, c'est à dire le sud du IVc (Fig. 90, 91, 92, 93, 94 ; Annexe 13).

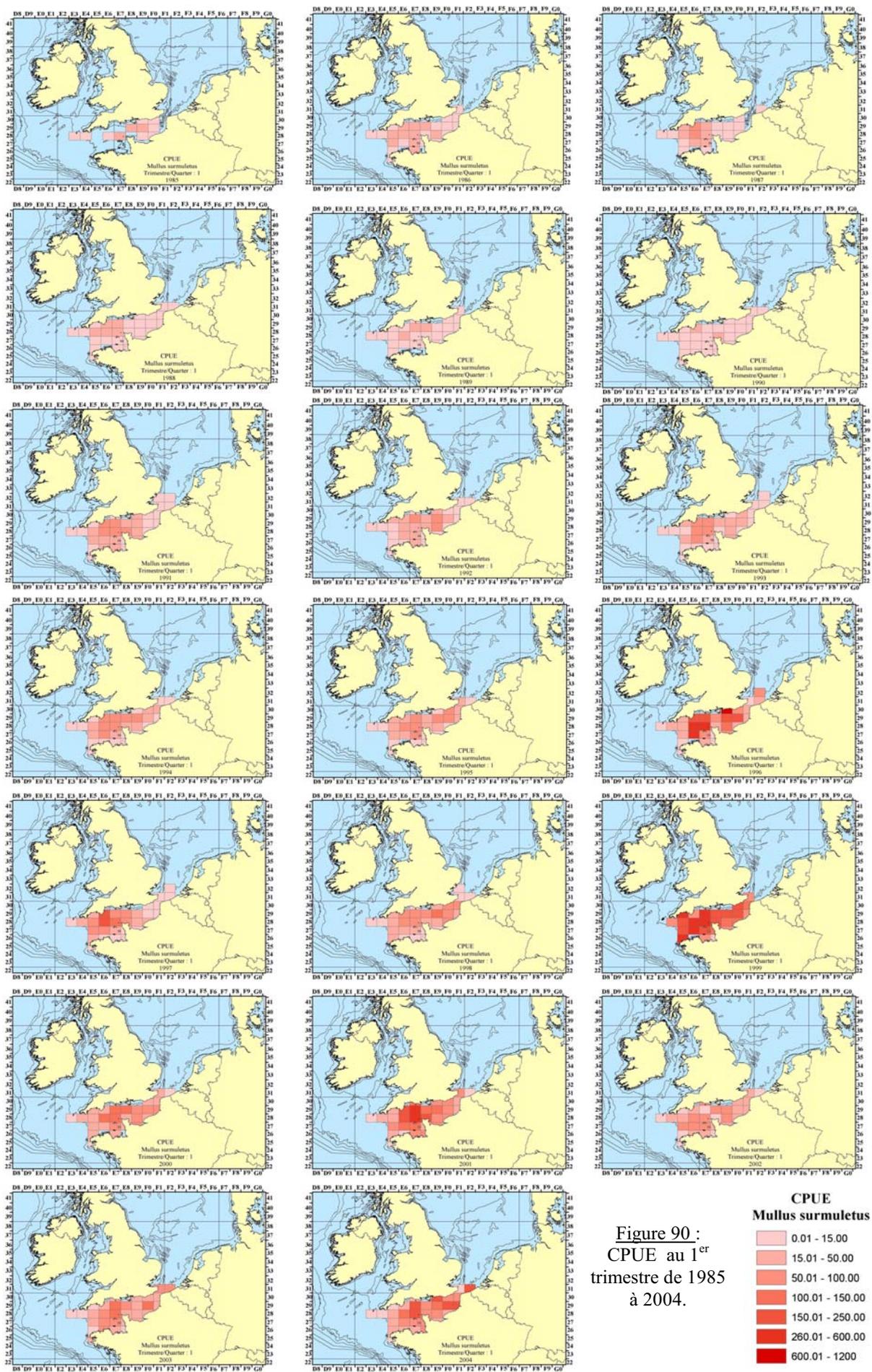


Figure 90 :
CPUE au 1^{er}
trimestre de 1985
à 2004.

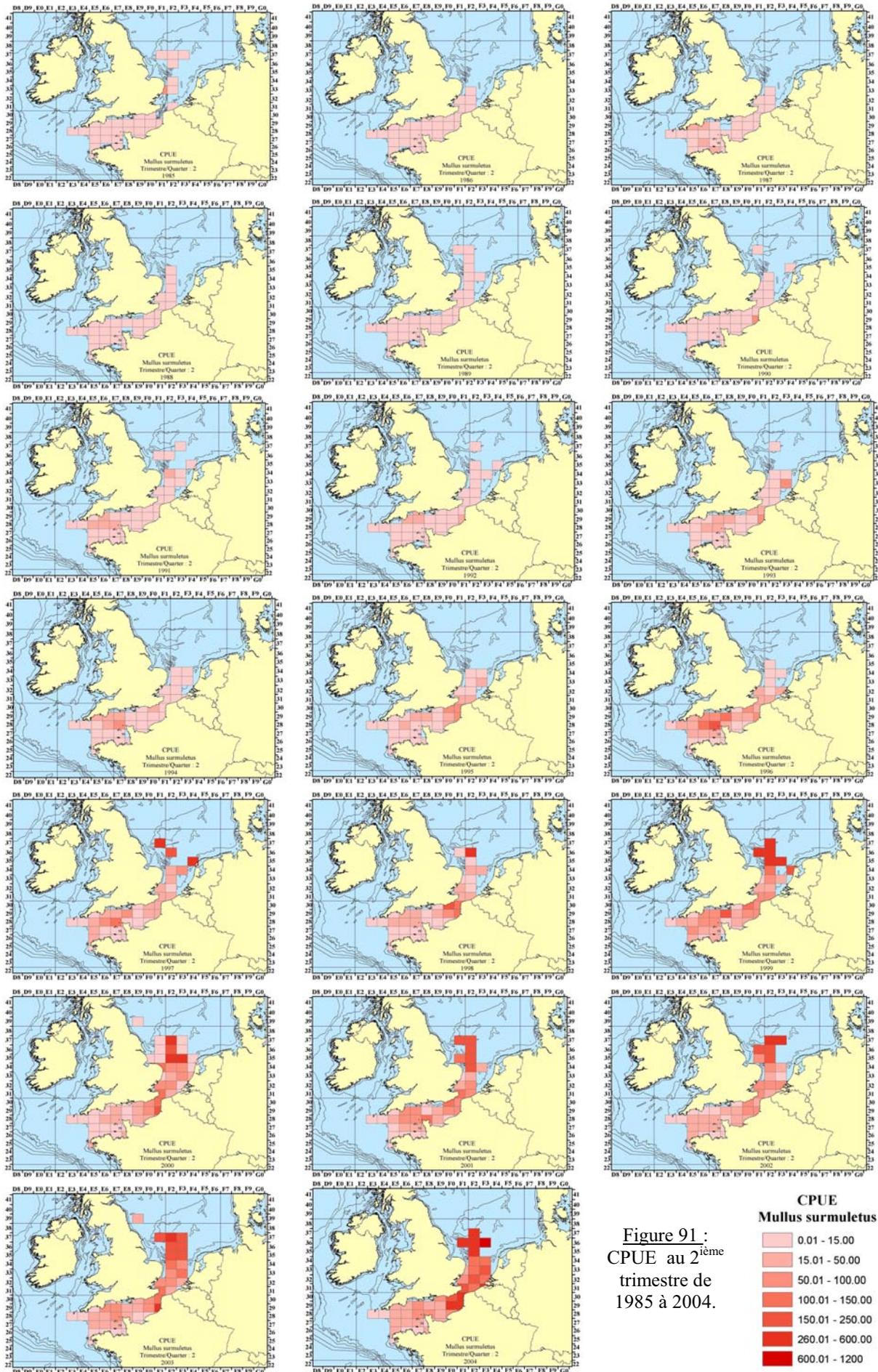


Figure 91 :
CPUE au 2^{ème}
trimestre de
1985 à 2004.

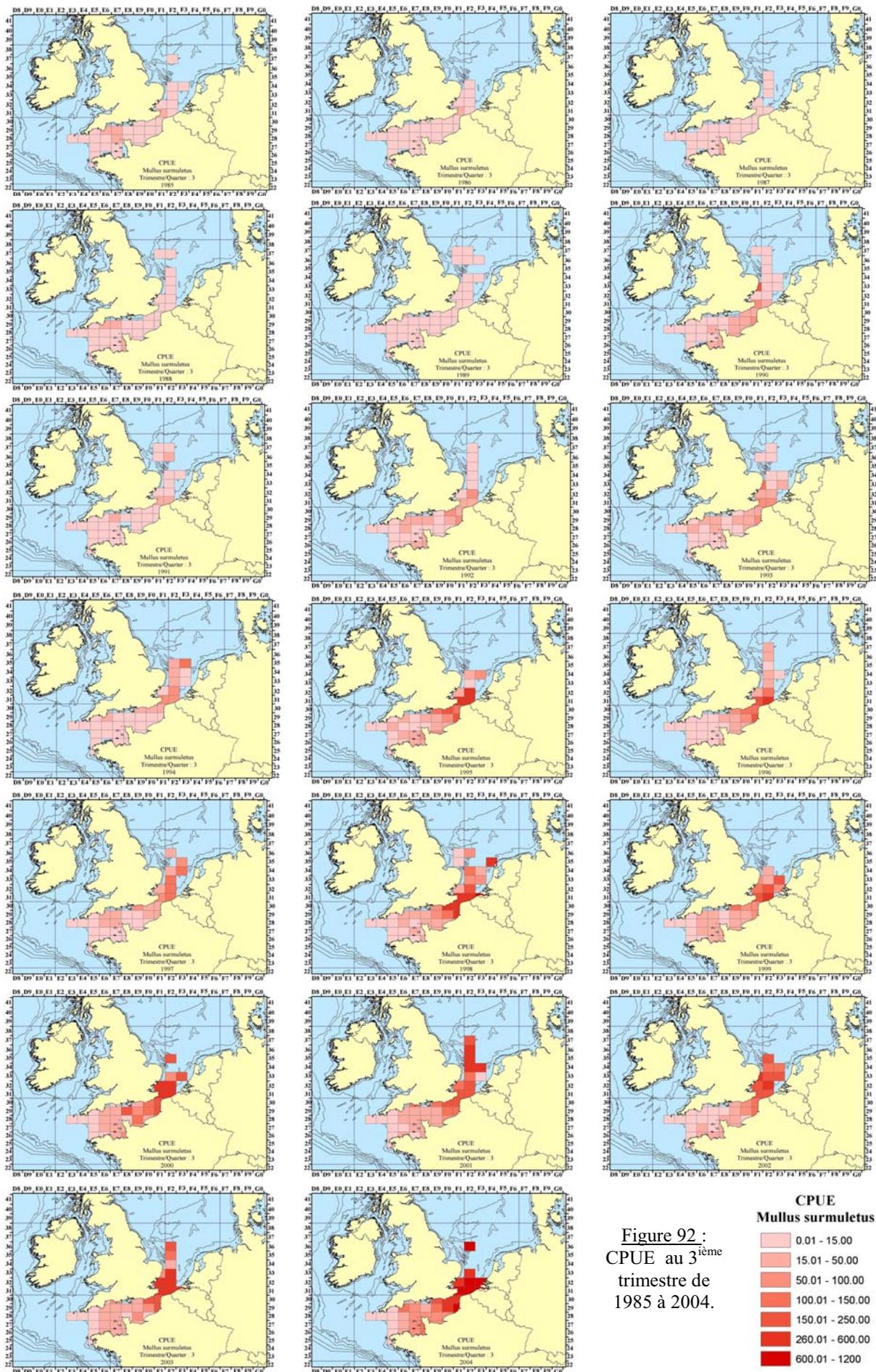


Figure 92 :
CPUE au 3^{ème}
trimestre de
1985 à 2004.

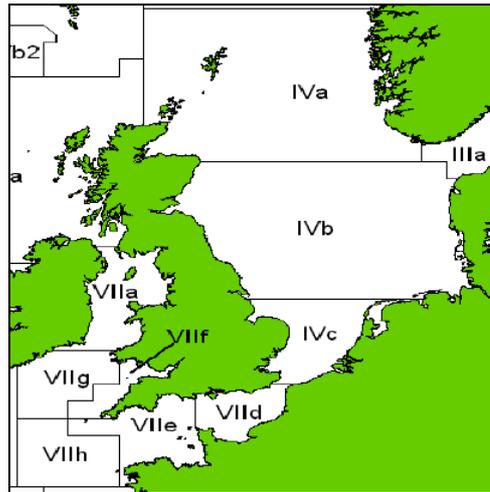


Figure 94 : Sous découpage du CIEM en Manche et mer du Nord.

La distribution géographique des captures par unité d'effort (CPUE) montre un continuum entre le sud de la mer du Nord et la Manche orientale et la Manche occidentale. Les cartes de CPUE par trimestre montrent des différences d'une part dans la répartition géographique et d'autre part dans les densités. Le rouget barbet est exploité toute l'année en Manche. Pour la mer du Nord, le premier trimestre montre peu de pêche de rouget barbet. Ce trimestre est la période de l'année où le rouget barbet est le plus faiblement exploité. A l'inverse, les trois autres trimestres font apparaître des CPUE élevées surtout en Manche Est et au sud de la mer du Nord (de 1° Ouest à 5° Est ; de 49°30' à 53°30' Nord). La zone la plus dense pour la capture du rouget barbet est le détroit du Pas de Calais et à sa proximité.

Une fois cumulées à celles de la Manche orientale, les captures réalisées dans le secteur IV n'influencent que très peu la tendance observée dans le VIIId qui représente à lui seul pour le chalutage de fond plus de 53% des apports sur l'ensemble des trois zones, jusqu'à 75 % les années de forte abondance. Pour la suite de cette étude, nous avons donc décidé de cumuler les captures du IV et du VIIId. Toutefois, la décision d'évaluer au niveau international un seul stock pour ces deux secteurs ne peut être prise qu'en connaissance de toutes ses composantes et doit faire l'objet d'études biologiques plus approfondies telles que par exemple des campagnes de marquages, des études génétiques et morphométriques...

Le profil des captures en Manche Ouest est beaucoup moins marqué en terme de variations inter-annuelles que pour la Manche Est, la variance des CPUE étant dix fois plus élevée dans cette zone. Alors que le niveau de capture s'est élevé considérablement dans le VIIId à partir de 1994, il a peu progressé dans le VIIe (Fig. 95, Annexe 14).

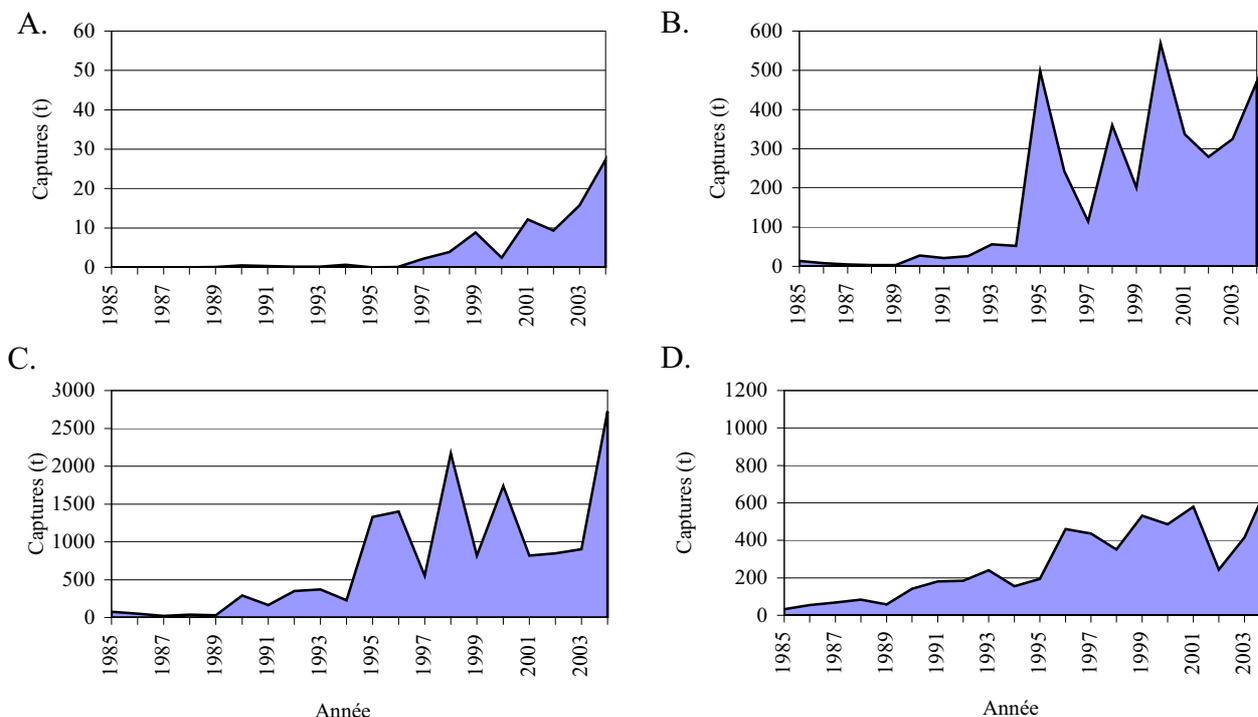


Figure 95 : Evolution des captures au chalut de fond pour le IVb (A), le IVc (B), le VIId (C) et le VIIe (D).

Les fortes variations inter-annuelles observées en Manche Est, comme nous avons pu le voir précédemment (Fig. 96, Annexe 15), sont dues aux apports des catégories 40 et 50 notamment en 1995, 1996, 1998, 2000 et 2004. La catégorie 40 contribue en effet à 83% de la variabilité des captures par an, la catégorie 50 n'ayant pas été reprise dans le calcul du fait de son absence antérieurement à 1999.

V. 5. Captures par unité d'effort et structures démographiques

Les variations des captures par unité d'effort en Manche Est et sud mer du Nord ne sont pas corrélées à celles de Manche Ouest. En Manche Est, à l'exception de 1989, les indices observés lors de la campagne CGFS anticipent bien les variations de biomasses (Fig. 96).

En effet, les indices élevés du groupe 1+ (Groupe d'âge ≥ 1) enregistrés en 1997 et 1998, précèdent une bonne série de CPUE de 1998 à 2000 (Fig. 96). Cet étalement est dû à l'existence d'une taille marchande fixée par la taille de première maturité sexuelle (16cm) durant cette période, permettant de préserver un bon niveau de recrutement les deux premières années de la cohorte 1996. De la même manière, le bon indice de groupe 1+ observé en 2003, précède une CPUE forte en 2004. Toutefois, à l'inverse de la période précédente, le bon indice de groupe 0 enregistré en 2003 au cours de la CGFS a presque totalement disparu en 2004. On peut supposer que la suppression de la taille marchande en 2000 en est à l'origine. En effet, la figure 17 montre l'apparition significative de la catégorie 50 dans les captures au cours des années 2003 et 2004 (Annexe 16).

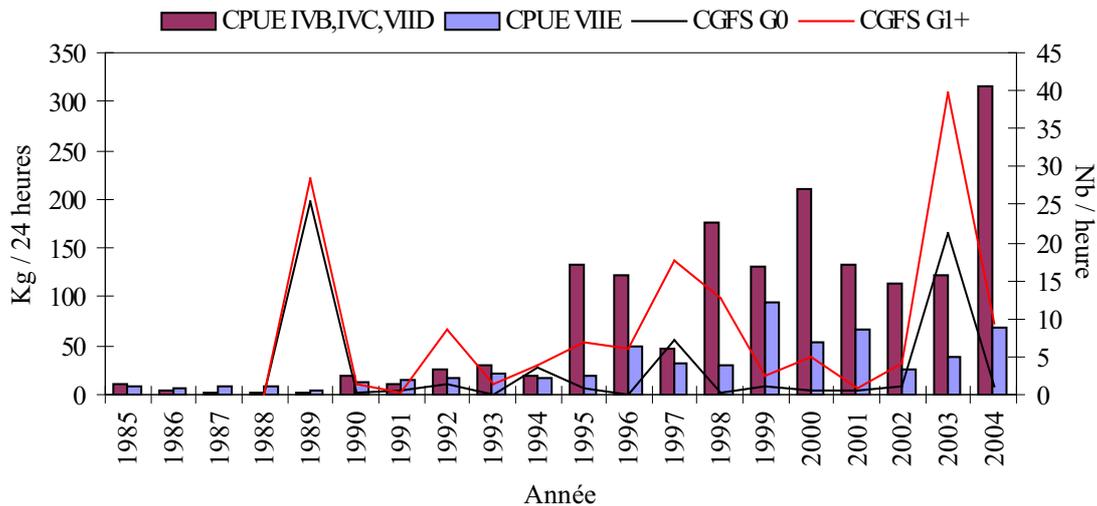
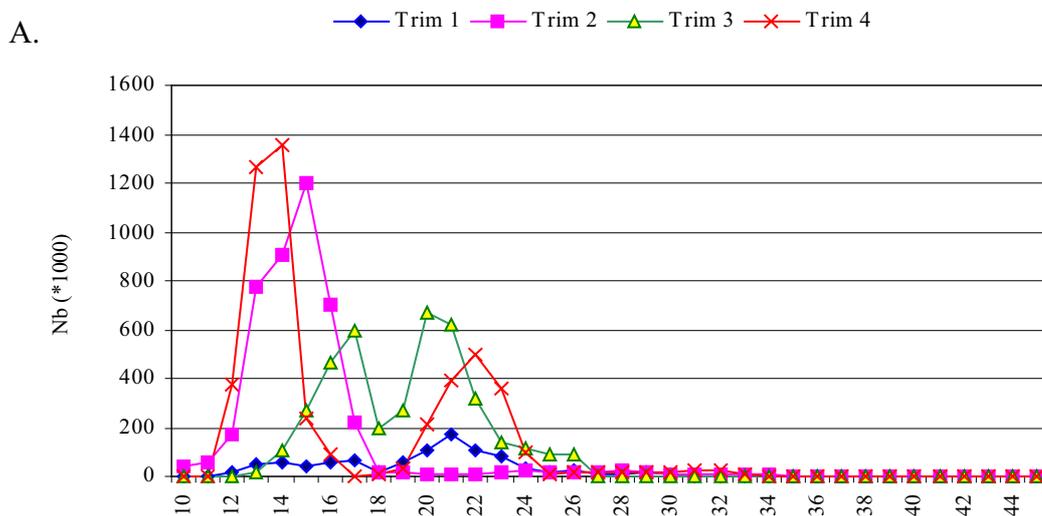


Figure 96 : Variation des captures par unité d'effort et des indices d'abondance CGFS.

L'analyse cartographique des campagnes IBTS et CGFS montre une distribution concentrée au sud de la mer du Nord et de la Manche orientale au deuxième, troisième et quatrième trimestre. Ces observations sont confirmées par l'analyse trimestrielle des structures en taille. En effet, on remarquera les faibles captures réalisées au premier trimestre, période où le rouget barbet est peu présent dans la zone d'exploitation des flottilles ciblant cette espèce. Les poissons dont la taille est inférieure à 17 cm représentent respectivement 57 % du nombre d'individus total en 2003 et 46% en 2004 (Fig. 97), tous trimestres confondus. Dans les captures commerciales, cette classe d'individus est représentée par la catégorie 50. Elle est exploitée en 2003 au second (47%) et quatrième trimestre (40%), et en 2004 au second (39%) et au troisième (38%) trimestre.



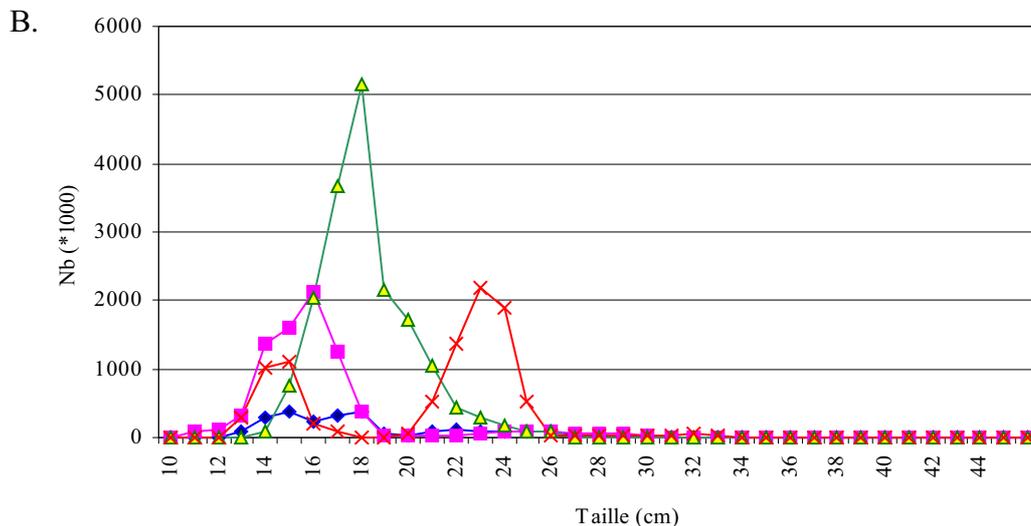


Figure 97 : Structure en taille des débarquements de rouget barbet par trimestre en Manche Est et sud mer du Nord en 2003 et 2004

Comme rappelé précédemment, la structure en âge obtenue a été calculée avec une clé trimestrielle moyenne pour l'ensemble de la série, c'est pourquoi les individus dont le groupe d'âge est supérieur ou égal au groupe 2 ont été regroupés (groupes peu marqués et faiblement représentés individuellement dans la structure des apports). A partir de 2002, on peut observer que les individus inférieurs à 17cm représentent en nombre l'équivalent de la totalité du groupe 0 et environ la moitié du groupe 1 (Fig. 98, Annexe 17).

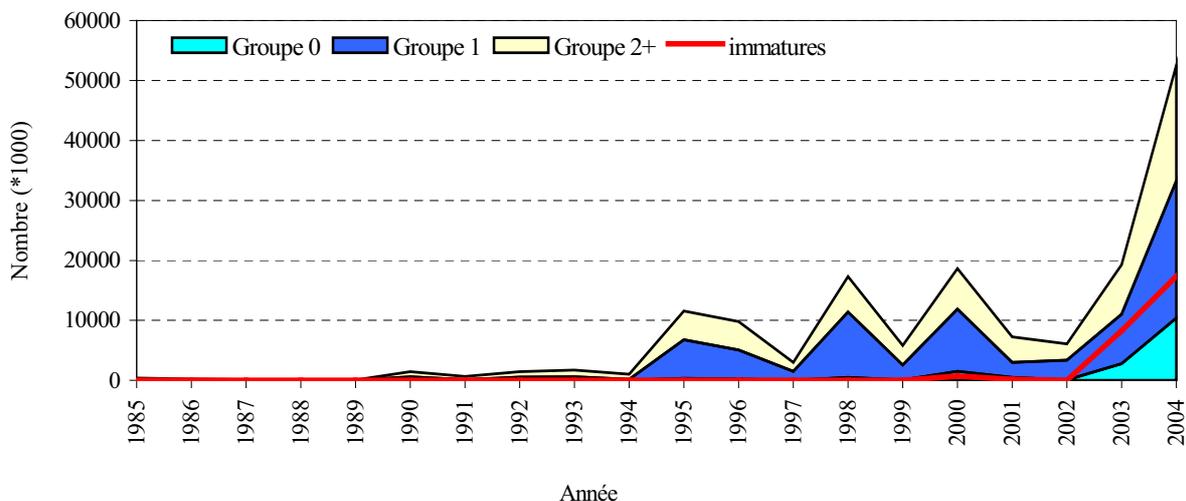


Figure 98 : Structure en âge des débarquements de rouget barbet par trimestre en Manche Est et sud mer du Nord en 2003 et 2004.

V. 6. Bilan des données pour l'évaluation de stock

Pour réaliser l'évaluation d'un stock, il est nécessaire d'avoir les paramètres suivants :

- ✓ les captures de tous les pays concernés,
- ✓ les mensurations en taille des poissons,
- ✓ les clés taille/âge et taille/poids,
- ✓ la maturité sexuelle aux âges,
- ✓ la mortalité naturelle,
- ✓ les indices de campagnes à la mer.

De plus, tous ces paramètres évolutifs doivent être connus pour chaque année et sur toute la série temporelle d'exploitation de ce stock.

Pour le rouget barbet, les tableaux 21 et 22 présentent une synthèse des données nécessaires pour l'évaluation du rouget barbet en Manche Est et en mer du Nord.

| Année | Captures (tonnes) Manche Est : VIIId | | Captures (tonnes) Mer du Nord : IV | | Campagnes en mer : Manche Est VIIId | Campagnes en mer : mer du Nord IV | | | |
|-------|--------------------------------------|-------------|------------------------------------|-------------|-------------------------------------|-----------------------------------|---------|---------|---------|
| | France | Autres pays | France | Autres pays | CGFS | IBTS Q1 | IBTS Q2 | IBTS Q3 | IBTS Q4 |
| 1985 | 128.7 | | 16.3 | | - | 0 | - | - | - |
| 1986 | 77.5 | | 9.8 | | - | 0 | - | - | - |
| 1987 | 31.4 | | 5.3 | | - | 0 | - | - | - |
| 1988 | 41.4 | | 3.5 | | 49 | 0 | - | - | - |
| 1989 | 38.0 | | 3.9 | | 1717 | 0 | - | - | - |
| 1990 | 372.2 | | 33.9 | | 220 | 16 | - | - | - |
| 1991 | 202.9 | | 24.0 | | 132 | 0 | 224 | 124 | 208 |
| 1992 | 403.3 | | 27.7 | | 768 | 16 | 254 | 252 | 32 |
| 1993 | 479.5 | | 60.7 | | 200 | 0 | 88 | 68 | 0 |
| 1994 | 300.5 | * | 54.9 | * | 604 | 0 | 522 | 488 | 2316 |
| 1995 | 1976.4 | | 521.5 | | 1049 | 6 | 1396 | 1396 | 582 |
| 1996 | 1745.2 | | 254.6 | | 758 | 22 | 396 | 394 | 2 |
| 1997 | 694.0 | | 126.4 | | 2589 | 10 | 1428 | 1386 | 868 |
| 1998 | 2652.4 | | 367.3 | | 2568 | 616 | 650 | 650 | 367 |
| 1999 | 1038.9 | | 211.1 | | 582 | 56 | 456 | 456 | - |
| 2000 | 2354.5 | | 582.0 | | 1092 | 164 | 364 | 364 | - |
| 2001 | 1185.5 | | 353.6 | | 319 | 80 | 332 | 332 | - |
| 2002 | 1151.9 | | 290.9 | | 116 | 118 | 606 | 606 | - |
| 2003 | 1282.9 | | 342.7 | | 6695 | 230 | 1036 | 1036 | 0 |
| 2004 | 3685.7 | | 500.4 | | 1681 | 588 | 468 | 468 | 0 |

Tableau 21 : Synthèse des données de captures et des campagnes à la mer de 1985 à 2004 pour l'évaluation du rouget barbet en Manche Est et en mer du Nord. * : données nécessaires et non disponibles actuellement.

Etant donné le manque de données qui sont nécessaires à l'étude de stock du rouget barbet en Manche Est et mer du Nord, nous ne pouvons pas réaliser, à l'heure actuelle, une évaluation de ce stock. Le cas de la Manche ouest qui a été étudié, montre un manque de données encore plus important. Les résultats présentés doivent donc être considérés comme une évaluation partielle être utilisés avec une grande prudence.

| Année | Taille | Poids | Age | Maturité sexuelle |
|-------|--------|-------|--------------|-------------------|
| 1985 | | | | |
| 1986 | - | - | - | - |
| 1987 | - | - | - | - |
| 1988 | - | - | - | - |
| 1989 | - | - | - | - |
| 1990 | - | - | - | - |
| 1991 | - | - | - | - |
| 1992 | - | - | - | - |
| 1993 | - | - | - | - |
| 1994 | 181 | | | |
| 1995 | 246 | | | |
| 1996 | | | | |
| 1997 | | | | |
| 1998 | * | | | |
| 1999 | | | | |
| 2000 | | | | |
| 2001 | | | | |
| 2002 | 65 | | | |
| 2003 | 147 | | | |
| 2004 | 142 | 1401 | 372(o)192(e) | 620 |
| 2005 | 536 | 301 | 301 | 196 |

Tableau 22 : Synthèse du nombre d'individus qui ont été analysés pour leur taille, leur poids, leur âge (o : otolithes ; e : écailles) et leur stade de maturité de 1985 à 2004 pour l'évaluation du rouget barbet en Manche Est et en mer du Nord. * : données nécessaires et non disponibles actuellement.

V. 7. Intérêt de la taille marchande

Une projection économique de la restauration de la taille de première capture à 16 cm a été réalisée. Ainsi, en 2004, les débarquements français de la catégorie « friture » se sont élevés à 808994 kg pour un total de 25 641 648 individus. Ce sont des petits rougets barbets immatures pesant en moyenne 31,55g et mesurant 14.6 cm. Le prix moyen de vente de cette catégorie durant les trois dernières années en criée étant de 2,24 €, la recette des ventes en 2004 de la friture s'élève environ à 1.8 million d'euros (1 812 148 €).

Si ces rougets barbets avaient grandi pendant un an, ils mesureraient 20,8 cm pour un poids de 92,84g. Ces individus seraient vendus sous la catégorie 40 à 5.24 € le kilogramme au lieu de 2.24 €. Cependant, en considérant que pendant une année de vie, un pourcentage de mortalité totale (naturelle + par pêche), il est donc possible de réaliser une projection des recettes tenant compte des différentes variations du coefficient de mortalité (Tab. 23).

| Taux de mortalité (%) | Tonnage (kg) | Recettes (€) | augmentation de la recette par rapport à la friture (%) |
|-----------------------|--------------|--------------|---|
| 20 | 1904456 | 9979352 | 551 |
| 30 | 1666399 | 8731933 | 482 |
| 40 | 1428342 | 7484514 | 413 |
| 50 | 1190285 | 6237095 | 344 |
| 60 | 952228 | 4989676 | 275 |
| 70 | 714171 | 3742257 | 207 |
| 80 | 476114 | 2494838 | 138 |
| 85 | 357086 | 1871129 | 103 |

Tableau 23 : Augmentation des recettes selon le taux de mortalité.

Le rouget barbet immature triple son poids en 1 an, passant de la catégorie 50 (2,24€/kg) à la catégorie 40 (5,24€/kg). Si on considère une mortalité en 1 an de 20%, les 800 tonnes évaluées de juvéniles Catégorie 50 se transforment en 1900 tonnes de rougets barbets de catégorie 40 pour une augmentation des gains de +551%.

Il faudrait une mortalité de 85% pour ne pas avoir d'augmentation de recette, ni de perte, mais avec quand même un énorme intérêt : le rouget barbet se serait reproduit au moins 1 fois avant d'être pêché.

La remise en vigueur de la taille marchande à 16 cm est donc indispensable pour deux raisons :

- ✓ La préservation de la ressource
- ✓ La rentabilité des flottilles

Discussion

Les seules données disponibles sur la biologie du rouget barbet de roche proviennent d'études réalisées en mer Méditerranée et dans le golfe de Gascogne. De ce fait, le premier objectif de cette étude était de connaître la biologie de cette espèce en Manche et mer du Nord. Dans ce but, 1401 poissons ont été échantillonnés individuellement et les résultats montrent que la croissance du rouget barbet en Manche-sud mer du Nord est supérieure à celles observées en mer Méditerranée et dans le golfe de Gascogne (Fig. 1).

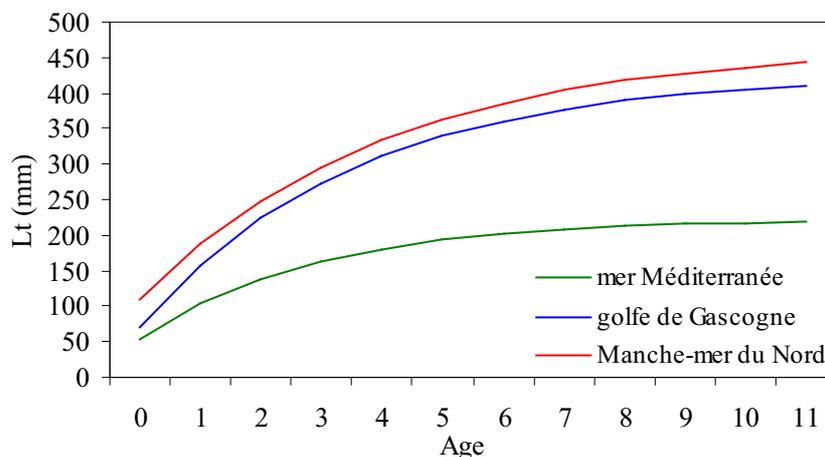


Figure 1 : Croissance en taille pour les rougets barbets femelles de Méditerranée (Jabeur, 1999), du golfe de Gascogne (N'Da, 1992) et de Manche-sud mer du Nord.

Il est à noter qu'il y a un gradient positif de la croissance du sud vers le nord, c'est à dire que pour un âge donné, les poissons les plus grands sont au nord (Manche-mer du Nord) et à l'inverse, les plus petits sont au sud (Méditerranée, Jabeur, 1999 ; Hashem, 1973b). De plus, une grande différence de croissance est observable entre l'océan Atlantique et la Méditerranée, ce qui pourrait laisser penser qu'il y a bien des groupes distincts d'une part en mer Méditerranée et d'autre part, dans l'Atlantique Nord. Ceci a déjà été observé chez d'autres espèces comme le bar commun (*Dicentrarchus labrax*). Cette différence de taille pourrait être due à la combinaison des conditions environnementales avec la disponibilité des ressources trophiques.

Le taux de croissance n'est pas constant durant la vie du poisson. Le rouget barbet a une croissance très importante durant sa première année puis la vitesse de croissance diminue lorsque l'âge augmente (Daget, 1972). De plus, selon le sexe, la croissance est différente avec des femelles plus lourdes que les mâles de même taille et pour un âge donné, les femelles sont plus grandes que les mâles. Ceci corrobore les études antérieures déjà réalisées sur le rouget barbet de roche (Desbrosses, 1933 ; Hashem, 1973b ; N'Da, 1992 ; Jabeur, 1999).

La taille de première maturité sexuelle en Manche et mer du Nord est de 169 mm pour les femelles et de 164 mm pour les mâles, c'est à dire que tous les poissons ayant une taille inférieure à celles-ci ne sont pas matures et donc ne peuvent pas encore se reproduire. Dans l'estuaire du Blavet au nord du golfe de Gascogne, la taille observée de première maturité est bien supérieure avec 200 mm pour les femelles et 180 mm pour les mâles (N'Da, 1992). Si les individus matures observés au nord du golfe de Gascogne avaient au moins deux ans, cette étude montre qu'en Manche et sud mer du Nord, le rouget barbet atteint sa maturité sexuelle lors de sa première ou deuxième année de vie. Au nord-ouest de la mer Méditerranée, la première maturité sexuelle a été observée chez des individus d'un an qui mesuraient 168 mm (femelles) et 150 mm (mâles) (Renones *et al.*, 1995). Les valeurs élevées en taille et en âge de

première maturité sexuelle observées en Bretagne sud (N'Da, 1992) peuvent être expliquées par un écosystème estuarien qui présente des conditions environnementales très différentes de systèmes marins ouverts comme la mer Méditerranée ou la Manche.

Lorsque les rougets barbets ont atteint leur maturité sexuelle, ils se reproduisent en période estivale de mai à juillet avec un pic marqué en juin. Cette période de ponte est la même que celle observée pour d'autres sites étudiés comme la Mer du Nord (Poll, 1947), l'Atlantique nord (Desbrosses, 1935), le golfe de Gascogne (N'Da, 1992) et le bassin méditerranéen (Bougis, 1952 ; Lalami, 1971 ; Hashem, 1973, Gharbi & Ktari, 1981, Renones *et al.*, 1995). Cette période de ponte est limitée à 3 mois car les femelles ne sont actives que pendant ce temps alors que les mâles montrent une activité sexuelle possible tout au long de l'année. Ceci avait déjà été démontré par Gharbi (1980) dans les eaux tunisiennes.

Le deuxième objectif de cette étude est d'étudier la distribution du rouget barbet en Manche et mer du Nord afin de confirmer et de mieux comprendre ces déplacements et quelles en sont les causes. Les fluctuations de distribution du rouget barbet en Manche orientale et mer du Nord sont souvent trop rapidement expliquées par le phénomène de réchauffement climatique signalé depuis quelques années par le monde scientifique mais relayé souvent de manière alarmante par les médias en quête d'audience et privilégiant des scénarios catastrophes. Il est donc important de faire sur ce point, une synthèse non exhaustive car le sujet est très vaste, mais s'appuyant sur un certain nombre de publications scientifiques ou d'ouvrages permettant d'alimenter la réflexion sur ce thème.

Dans une approche globale, l'Institut Français de l'Environnement a publié dans son numéro 102 d'avril 2005 un article de synthèse sur les indices du réchauffement climatique au niveau atmosphérique, les informations provenant essentiellement du Groupe Intergouvernemental sur l'Evolution du Climat (GIEC) et de Météo France. Son auteur, Ba Mohamedou, indique que la température moyenne annuelle du globe a augmenté de 0.6°C au XX^e siècle, "avec de fortes disparités régionales". Dans cet article, il est noté qu'on ne dispose "d'observations de températures directes et fiables" que depuis une centaine d'années, et que sur cette période, 1998 a été l'année la plus chaude avec 0.59°C au dessus de la normale : il faut préciser que la "normale climatique" est calculée en faisant une moyenne sur une période de 30 ans. L'auteur précise aussi que 1998 semble être l'année la plus chaude depuis mille ans. La température aurait donc augmenté de 0.6°C en 100 ans, mais avec une accélération durant ces 25 dernières années au rythme de 1.7°C par siècle. Il est indiqué que sur des périodes plus anciennes, on ne dispose pas de mesures directes mais uniquement d'estimations, et qu'à l'échelle historique, le climat a connu des variations naturelles importantes, avec une petite période glaciaire de 1350 à 1850 environ suivie d'un réchauffement aux origines naturelles. Cette variabilité naturelle est due principalement à la position astronomique de la Terre par rapport au soleil avec des cycles de variation de 100 000 ans pour l'orbite terrestre et 41 000 ans pour l'axe des pôles, mais aussi à l'activité solaire et le nombre de tâches avec des cycles identifiés de 11 ans superposés à des périodes plus longues (200-300 ans). L'auteur met l'accent sur l'effet de serre¹, phénomène naturel qui permet à la Terre de conserver une température moyenne de 15°C. Celui-ci est accentué par les gaz à effet de serre qui ont une durée de vie dans l'atmosphère beaucoup plus importante que les aérosols qui, eux, peuvent entraîner un refroidissement, les gouttelettes ou particules en suspension dans l'air réfléchissant les rayonnements du soleil. L'augmentation des gaz à effet de serre aura ainsi pour Ba M., un impact majeur dans le réchauffement au cours du XXI^e siècle et la température moyenne de l'atmosphère pourrait augmenter en 2100 de 1.4 à 5.8°C. Des

¹ Phénomène par lequel le rayonnement infrarouge émis par la surface de la Terre est absorbé par l'atmosphère.

informations complémentaires peuvent être trouvées sur le site <http://www.ipcc.ch>, et notamment 40 scénarios correspondant chacun à un projet "plausible" (sic).

Il est aussi intéressant de consulter un ouvrage paru en 2004, intitulé "Quel temps! Chronique de la météo de 1900 à nos jours", et rédigé par Guillaume Séchet, prévisionniste et journaliste. L'intérêt de ce livre est qu'on y trouve détaillées, année après année, les conditions climatiques qui régnaient en France, coupures de presse à l'appui. On y recense au cours du siècle, de nombreuses années de canicule, de sécheresse, d'inondations, d'hivers rudes ou doux, plusieurs tempêtes du siècle, etc... Un exemple parmi les nombreux faits relatés : l'année 1900 où on relève un "véritable ouragan" sur toute la France, un mois de juillet le plus chaud depuis 1859 avec 40°C à Paris, des inondations catastrophiques en septembre et un mois d'octobre à 26°C dans la capitale. Le 1^{er} trimestre de l'année 1901 sera ensuite marqué par 3 vagues de froid (jusqu'à -20°C). L'auteur termine ses écrits par le changement climatique : il indique que "la moyenne annuelle des températures, en France et dans le monde" accuse une hausse de plus en plus sensible surtout depuis le début des années 1990". Mais il soulève 4 points importants : - les mesures climatiques disponibles ne sont pas assez nombreuses, et trop récentes, d'où un manque de recul ; - difficulté de mesurer réellement l'impact du réchauffement lié à l'effet de serre car les stations météo sont souvent situées dans des villes qui se sont étendues au fil des années, augmentant l'effet de "chaleur urbaine" ; - état des connaissances limité sur la capacité d'absorption de l'environnement, en particulier les mers et océans, qui pourraient tempérer un "emballement climatique" ; - la fonte des glaces du Pôle Nord pourrait modifier la trajectoire du Gulf Stream, et provoquer une baisse des températures en Europe occidentale. G. Séchet conclut que tous les scénarios restent possibles mais que le risque de connaître des bouleversements climatiques dans les années à venir existe.

Il apparaît ainsi que dans la littérature scientifique et la littérature "grise", les informations sont à utiliser avec une certaine prudence ou avec réserve, en raison des limites des données utilisées ou existantes, de leur fiabilité, de leur traitement, de la difficulté à évaluer les évolutions possibles et les impacts, sachant que la réflexion s'appuie surtout sur des modèles prédictifs dont les tendances générales peuvent se modifier, ou s'infléchir très rapidement, l'Homme étant incapable d'augurer avec exactitude le temps qu'il fera dans le futur, même à très court terme. Il faut savoir cependant qu'une polémique existe au sein de la communauté scientifique quant à la réalité du réchauffement climatique et à ses conséquences, et que certains travaux sont remis en cause, comme dans le livre "Ecologiquement incorrect" (2004) de Eric Joly, journaliste politique et économique, engagé dans la défense de l'environnement et pour une écologie débarrassée de toute idéologie politique, et qui dénonce une certaine dérive du système. Dans son chapitre sur le réchauffement climatique, il critique d'ailleurs le travail du GIEC cité plus haut, et rappelle un commentaire relevé à l'exposition "Climax" en 2003 à la Cité des Sciences à Paris : "on ne peut prévoir mais on peut imaginer".

L'impact de ces changements climatiques sur les mers et océans est plus difficile à appréhender en raison du nombre de données disponibles plus faible mais aussi de la complexité à appréhender le fonctionnement du milieu marin et sa capacité à absorber ou tempérer, ou modifier au niveau du globe des variations du climat, qui surviennent depuis des milliers d'années. Dans le journal du CIEM n°41 de septembre 2004, le Docteur Turrel et ses collaborateurs, du FRS Marine Laboratory d'Aberdeen (Ecosse) réagissent suite au film catastrophe "The day after tomorrow" basé sur l'arrêt du courant nord-atlantique entraînant un chaos climatique dans l'hémisphère nord. Il souligne la confusion (ou amalgame) faite entre le Gulf Stream et le courant Nord-Atlantique et fait le point sur ce sujet en s'interrogeant sur l'avenir : réchauffement ou refroidissement ? Concernant le Gulf Stream, la circulation des

eaux de surface dans l'Atlantique nord se fait de 2 façons : un gyre d'eaux chaudes et assez salées dans le sud tournant dans le sens des aiguilles d'une montre (gyre sub-tropical), et un gyre plus frais au nord, tournant dans le sens inverse (gyre sub-polaire). Le mouvement des masses d'eaux autour du gyre sub-tropical est dû aux vents soufflant à ces latitudes. Le gyre tourne dans le sens des aiguilles d'une montre, et les eaux qui montent vers le nord le long des côtes américaines constituent le Gulf Stream. Les meilleures prédictions sur le réchauffement climatique indiquent que même si les vents sur l'Atlantique doivent changer légèrement, ils souffleront toujours. Pour l'auteur, la Terre tournera toujours (il l'espère), et il y aura toujours un Gulf Stream, au moins pour la prochaine centaine d'années, qui pourra bouger sensiblement, et augmenter ou se réduire un peu mais il ne s'arrêtera pas.

Le Gulf Stream quitte ensuite les côtes US et commence à baisser en température, en perdant de sa chaleur dans l'atmosphère, et en se mélangeant de plus en plus avec les eaux froides du nord provenant du gyre sub-polaire. La plus grande partie des eaux du Gulf Stream remontant vers le nord redescend ensuite, par un mouvement circulaire, vers le sud et ne traverse jamais l'Atlantique. La masse d'eau qui s'éloigne des côtes se sépare en 2 parties, l'une continuant vers le sud, et l'autre allant vers le nord en direction de l'Europe pour se

diviser encore vers deux directions, le sud vers le golfe de Gascogne, et le nord, l'article précisant que 10-20% de la masse d'eau arrive au niveau de l'Ecosse. Ce courant sinueux allant de la queue du Gulf Stream jusqu'aux côtes européennes est appelé courant Nord-Atlantique (Fig. 2). Sa mouvance est due en partie aux vents, mais aussi en partie à la différence de densité entre les eaux chaudes du sud et les eaux

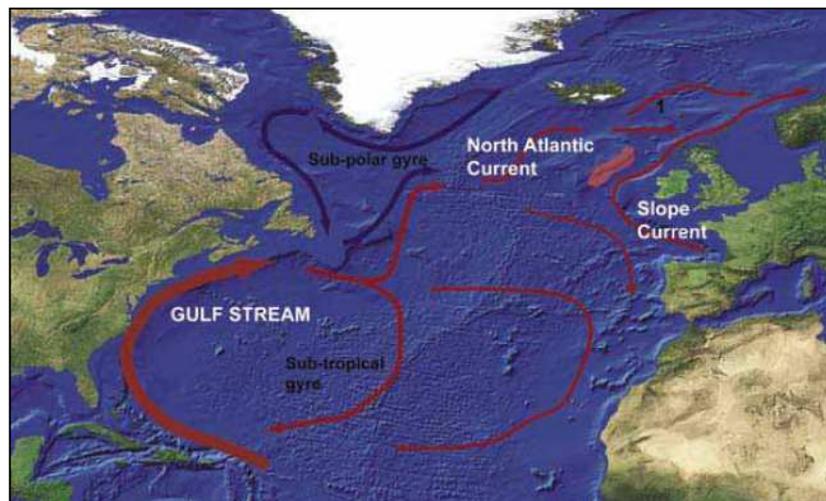


Figure 2 : Circulation du Gulf Stream et du courant Nord-Atlantique.

fraîches du nord. Les auteurs citent les prédictions du GIEC indiquant que les vents d'ouest vont encore souffler à travers l'Atlantique, que les eaux du nord resteront plus fraîches que les eaux du sud, et que par conséquent, le courant Nord-Atlantique n'est pas actuellement en train de ralentir. Il est précisé pour être complet qu'une partie des masses d'eaux du golfe de Gascogne rejoint le courant côtier (slope current) qui transporte des eaux chaudes et plus salées vers le nord, vers l'Ecosse, et que dans ce courant, ont été identifiés de nombreux changements au niveau des communautés de plancton, avec un mouvement vers le nord d'espèces sub-tropicales et un retrait vers le sud d'espèces boréales.

A la question "Est-ce que le Gulf Stream réchauffe le nord de l'Europe ?", les auteurs répondent "oui et non". Une partie de la chaleur dégagée dans l'air par le Gulf Stream lui-même peut éventuellement atteindre l'Europe en traversant l'Atlantique par les régimes atmosphériques, mais ces régimes reprennent aussi de la chaleur des zones de l'Atlantique nord chauffées par le courant Nord-Atlantique. Ils indiquent que le Gulf Stream n'est pas un "système de chauffage central" pour le nord de l'Europe déversant de l'eau chaude directement sur nos côtes, mais qu'il transmet un peu de sa chaleur au courant Nord-Atlantique. Ce dernier amène des eaux de surface salées et chaudes entre le Groenland et l'Ecosse, en passant d'un

côté entre l'Ecosse et les îles Féroé, et de l'autre entre les Féroé et l'Islande, pour se rejoindre en mer de Norvège et se diriger vers les côtes norvégiennes. En fait, ces eaux chaudes venant de l'Atlantique empêchent la mer de Norvège d'être prise par les glaces l'hiver, et maintiennent la navigation ouverte vers Murmansk. Cependant, ces eaux de surface perdent de la chaleur et se transforment en eaux froides mais toujours salées, deviennent donc plus denses et coulent vers le fond, créant une lente colonne d'eaux dites profondes qui pompe la chaleur et la salinité des eaux de surface dans les mers nordiques. La formation de ces masses d'eaux a diminué ces dernières décades, si ce n'est stoppé. Les auteurs écrivent que les raisons de cette réduction sont probablement dues au réchauffement global et que les scientifiques du CIEM ont vu dans leurs séries de données des changements plus importants ces derniers temps. Ils disent que le principal message à délivrer au public est que "le changement climatique est une réalité, et que le changement global est le principal aspect de ce changement" (sic), que le réchauffement global a déjà commencé à modifier le système climatique complexe liant l'océan et l'atmosphère, et les écosystèmes terrestres et marins ont commencé à répondre à ces changements en intégrant différents aspects encore plus complexes du changement climatique. Dans leur épilogue, ils nous informent cependant que des signes laissent penser que la formation de ces "masses d'eaux profondes" a repris et que leur débit a commencé à ré-augmenter, montrant que nous sommes en présence d'un système complexe dû à des changements climatiques dynamiques et actifs, mais qu'on ne peut pas parler à l'heure actuelle d'un retour à un état "stable".

Pour la mer du Nord, Perry L. Allison et ses collaborateurs ont publié en 2005 dans la revue « Science » un article montrant que la distribution des espèces en mer du Nord s'est modifiée face à l'élévation de la température de l'eau. Ils écrivent que les eaux de mer du Nord se sont réchauffées de 0.6°C en moyenne entre 1962 et 2001 en se basant sur une moyenne calculée sur ces 40 années, et de 1.05°C entre 1977 et 2001, période correspondant à leurs séries de données de campagnes. Ils se sont intéressés à la répartition de 36 espèces de poissons, commerciales ou non, par rapport aux évolutions de température de l'eau. Le rouget barbet n'est pas repris dans leur étude. Ils montrent que sur une quinzaine d'espèces, certaines d'entre elles peuvent monter plus nord, sur des distances évaluées entre 48 et 403 km. Ils indiquent que le gradient de température de la mer du Nord est quelque peu étrange : la température de l'eau devient plus froide plus on monte en latitude dans le sud de la mer du Nord mais devient ensuite légèrement plus chaude en montant encore plus nord, où les eaux plus chaudes du courant Nord-Atlantique pénètrent dans cette région. Ils pensent d'ailleurs que ces eaux chaudes pourraient être une des causes de la descente plus sud vers des eaux plus froides du tacaud norvégien, centré d'habitude dans le nord de la mer du Nord. Comme leur étude est basée sur le positionnement des espèces par rapport à la latitude, ils indiquent que certaines espèces face au réchauffement des eaux doivent bouger vers des zones plus profondes tout en restant à la même latitude, ce qui ne met pas en évidence leurs déplacements, qui resteraient très locaux. Ils auraient souhaité pouvoir séparer l'impact de la pêche de celui du climat dans l'étude de la distribution mais la pression de pêche n'a pu être intégrée dans leurs analyses car ces données n'existent pas à la même échelle ni sur le même laps de temps pour la mer du Nord, mais il est précisé que sur les 25 dernières années, la distribution de l'effort de pêche est restée relativement constante mais que l'effort lui-même a diminué légèrement : pour les auteurs, la pêche n'explique pas tout du comportement des espèces même si l'exploitation est forte dans le sud de la mer du Nord. Sur terre, une étude réalisée sur 99 espèces d'oiseaux, de papillons et de végétaux a montré un déplacement vers le nord de 0.6 km et en altitude de 0.6 m. Pour 6 espèces de poissons (tacaud, merlan bleu, petite vive, tacaud norvégien, arnoglosse et plie cynoglosse), le déplacement a été en moyenne de 2.2 km par an, distance plus importante qui ne semble pas surprenante vu que les espèces marines ont à faire face à moins de contraintes dans leurs allées et venues. Leur étude

démontre ainsi l'impact du changement climatique sur les espèces marines, selon leurs résultats, et que celui-ci pourrait être plus prononcé dans le futur : en effet, ils écrivent que les prévisions donnent une augmentation de la température en mer du Nord de 0.5 à 1°C d'ici 2020, puis de 1 à 2.5°C jusqu'en 2050, et de 1.5 à 4°C pour 2080, prévoyant la disparition de certaines espèces (merlan bleu, sébaste) de cette région maritime. Ils tempèrent cependant ensuite ce diagnostic alarmiste en rappelant que de pareils changements dépendront aussi des prédateurs et des proies face à cette élévation de température, et à la disponibilité de leur habitat préférentiel. Ils concluent que de pareils changements "pourraient avoir des effets imprévisibles dans un écosystème toujours sous forte pression anthropique" (sic). Concrètement, le fonctionnement de l'écosystème "mer du Nord" est tellement complexe, que les mouvements de répartition géographique de certaines espèces doivent être étudiés avec beaucoup de prudence, et prendre en compte de nombreux facteurs non disponibles pour cette étude, comme l'impact de la pêche qui peut diminuer la biomasse de certains prédateurs, laissant la place à des espèces opportunistes, aux relations proies-prédateurs, en étant vigilant sur les méthodologies utilisées pour récolter ces données au fil des ans, sur de si longues périodes (un décalage d'un mois, et parfois moins, peut modifier certains résultats), etc..., autant d'incertitudes qui doivent amener à des diagnostics réservés, surtout quand ils s'appuient sur des tendances à très long terme du réchauffement climatique.

En Manche Ouest, Hawkins et ses collaborateurs (2003) basés à Plymouth (UK) ont présenté au Journal « The Science of the Total Environment » un article sur les changements environnementaux observés depuis 100 ans et intitulé "Detection of environmental change in a marine ecosystem-evidence from the western English Channel". Les auteurs montrent les fluctuations naturelles historiques, prévoyant les effets du futur changement climatique. Ils résument leur article en indiquant que, des années 20 aux années 50, dans leur secteur, donc en Manche occidentale, il y a eu une période de réchauffement de la mer, avec une augmentation de l'abondance des poissons, du plancton et des organismes intertidaux qui sont typiquement communs des eaux chaudes du sud de la Grande Bretagne. Après 1962, la mer s'est refroidie et les espèces de mer froide du Nord sont devenues plus abondantes. Depuis les années 80, la température de surface au niveau régional a de nouveau augmenté et l'abondance des espèces de mer chaude avec. Ils se sont appuyés sur les données de température de l'eau de mer relevées dans le secteur de Plymouth, et depuis la dernière moitié du XIX^{ème} siècle. Ils indiquent que les températures annuelles moyennes de surface en Manche occidentale ont subi d'importantes fluctuations au cours du XX^{ème} siècle mais qu'une tendance a pu être dégagée : élévation des températures pendant la première moitié du siècle, suivie par une baisse dans le milieu des années 50, puis une hausse au cours de la période 1958-1961. Ensuite, déclin marqué à partir de 1962, avec par la suite une période plus froide. Du début des années 60 jusque 1990, les températures ont augmenté légèrement ; il y a eu une hausse substantielle de 1°C durant la décade suivante, allant au delà des prévisions sur 100 ans, les auteurs "suggérant que le réchauffement global a commencé". Ils écrivent qu'il y a une forte corrélation avec les tendances de température relevées dans le nord du Golfe de Gascogne, qui est une zone ayant un impact sur le climat britannique, et une importante source d'eaux entrant dans la Manche, apportant avec elles du plancton et des espèces d'eaux chaudes. Dans la dernière moitié du siècle, il y aurait une bonne corrélation entre l'intensité de la NAO et les températures de surface de la Manche, montrant que la NAO influence fortement le régime thermique (Sims *et al.*, 1975). De surcroît, les températures en Manche occidentale, pour la période 1925-1974 montrent un cycle synchronisé avec le cycle solaire de 11 années (Southward *et al.*, 1975). Les données observées font penser qu'il existe un lien entre l'activité solaire et la température de surface, bien que cette relation ne soit plus apparente par la suite (Southward, 1980). Les auteurs considèrent que les changements au niveau du plancton au cours des 100 dernières années sont compliqués à interpréter et

difficiles à mettre en relation directement avec les facteurs environnementaux comme la température de surface et la salinité. Les auteurs avancent l'hypothèse que ces changements peuvent être dus à l'influence des interactions écologiques de densité-dépendance comme les rapports proies-prédateurs, la compétition, à l'intérieur de l'écosystème pélagique. Des changements sont notés concernant les espèces pélagiques, indiquant des captures importantes de hareng (espèces d'"eaux froides") avant la période de réchauffement au cours des années 20, et des baisses de capture de sardines (espèce d'"eaux chaudes") à la même période. Il est cependant précisé que lors de la période froide dans les années 60 et 70, le hareng était absent de cette zone, avec cependant comme cause possible la surexploitation de cette espèce. Les fluctuations d'abondance ou de présence du hareng, de la sardine, du maquereau et du chinchard sont évoquées comme pouvant être liées aux variations climatiques mais aussi à la pression de la pêche. Leur raisonnement étant basé sur les données de débarquements de Plymouth (UK), il n'est cependant pas précisé si l'évolution de la flottille de ce port ou des engins de capture au cours du siècle ont été pris en compte. Même constat pour les espèces de fond, tout en soulignant que les effets du climat sont plus difficiles à détecter à cause de la complexité des interactions biotiques qui déterminent la composition des communautés de ces espèces démersales. Il est écrit aussi que selon des scénarii prédictifs sur le réchauffement, la température de la mer pourrait augmenter de 1.4 à 5.8°C sur les 100 prochaines années et que les changements pourraient avoir des conséquences significatives sur le fonctionnement de l'écosystème et sur les communautés côtières. Ils concluent cependant que les analyses des données à long terme de la variabilité biologique en Manche occidentale montrent qu'il y a des changements dus au climat mais aussi que les perturbations anthropiques peuvent avoir un impact majeur sur l'écosystème, comme la pêche. Les auteurs terminent en disant que les travaux de recherche "à long terme" (sic) ont repris devant Plymouth pour pouvoir comprendre les mécanismes des changements dans les écosystèmes marins, et dissocier la variabilité naturelle, des impacts anthropiques.

Dans le sud de la mer du Nord, les influences des masses d'eaux sur la distribution des espèces ont été étudiées avec l'avancée des eaux de la Manche vers le nord sous l'action des courants mais en s'intéressant aussi aux effets des vents dominants. En effet, A. Corten et G. van de Kamp ont publié en 1996 dans le *Journal of Marine Science* du CIEM un article sur les variations d'abondance d'espèces dites "du sud" dans le sud de la mer du Nord en relation avec l'hydrographie et le vent (*Variation in the abundance of southern fish species in the southern North Sea in relation to hydrography and wind*). Ces auteurs se sont posés la question de savoir si cette augmentation de l'abondance ces dernières années est le signe d'une tendance à long terme ou si cela est dû à des fluctuations aléatoires. Ils rappellent que le sud de la mer du Nord est une zone de transition entre les eaux relativement chaudes et salées de la Manche et les eaux plus froides et moins salées du centre de la mer du Nord. Ils se sont appuyés sur les données du 1^{er} trimestre provenant des captures lors des campagnes scientifiques IBTS (*International Bottom Trawl Survey*), et principalement sur les espèces suivantes : la sardine, le chinchard, la petite vive, le maquereau, le grondin perlon, l'anchois, le tacaud, le petit tacaud, le Saint Pierre, le bar, le griset et le rouget barbet. Ces poissons sont classés comme espèces "du sud" car elles répondent à 1 ou aux 2 critères suivants : - abondance plus élevée en été qu'en hiver, indiquant une migration saisonnière de la Manche vers le sud de la mer du Nord ; - répartition restreinte au sud de la mer du Nord, indiquant une préférence pour les températures relativement plus élevées.

Les résultats montrent une augmentation de ces espèces à la fin des années 80 et au début des années 90 mais ils soulignent que cette présence "temporaire" (sic) dans cette zone n'est pas un phénomène nouveau. Deux auteurs en 1953 (Aurich) et 1978 (Postuma) ont décrit des périodes d'augmentation de l'abondance de l'anchois et de la sardine pendant les

périodes 1948-1952 et 1958-1960. Corten et ses collaborateurs décrivent les changements d'abondance de ces espèces dans le sud de la mer du Nord entre 1970 et 1994, en les comparant aux séries de données hydrologiques. La plupart de ces espèces sont relativement abondantes au milieu des années 70 et au début des années 90, ou pendant ces deux périodes. Entre deux, il y a une longue période de relativement faible abondance pour toutes ces espèces. Parallèlement, l'évolution de la température et de la salinité a été étudiée sur 6 points de référence : les écarts de température pour février ont été calculés à ces points puis moyennés pour produire un indice annuel pour le sud de la mer du Nord. Les auteurs parlent alors d'écart de température par rapport à la moyenne, sur une période de 25 ans. On relève 2 périodes de températures élevées : 1973-1975 et 1988-1994, avec en 1990 l'écart positif le plus fort. Entre deux, il y a une longue période d'écarts négatifs, donc des températures plus froides, avec des minima en 1979 et 1986. La salinité suit ces mêmes évolutions avec des pics positifs aux périodes 1972-1975 et 1989-1993. Ils considèrent que la relation étroite entre la température et la salinité dans le sud de la mer du Nord laisse suggérer que ces deux paramètres sont le signe de l'afflux des eaux relativement chaudes et salées de l'Atlantique par le Déroit du Pas-de-Calais, et ils indiquent que cet afflux a été particulièrement marqué en 1972-1976 et 1989-1993. D'après leur article, l'afflux de l'Atlantique est dû en partie aux courants mais aussi aux vents. Salomon et Bretton (1993) ont montré que le débit de l'afflux à travers le Déroit est principalement fonction des régimes de vent nord/sud. Corten et van de Kamp ont donc étudié les variations des vents aux Pays-Bas, considérant que les conditions de vents dans leur pays étaient représentatives des conditions rencontrées en Manche et dans le sud de la mer du Nord, en ignorant cependant l'impact éventuel des vents d'ouest. Ils ont ainsi montré au 1^{er} trimestre que les régimes de vents du sud avaient été plus soutenus en 1974-1977 et en 1988-1990, en précisant que "apparemment, les années avec de forts vents du sud pendant l'hiver coïncident grossièrement avec les années d'augmentation de température et salinité. Ils concluent qu'il y a une relation entre l'abondance d'espèces "du sud" et les température et salinité durant le 1^{er} trimestre, et avec les régimes de vent du sud à la même période. Par conséquent, l'abondance de ces espèces est probablement affectée par les variations de l'afflux des eaux de l'Atlantique dues au vent, et une augmentation de cet afflux pendant l'hiver peut être bénéfique à ces espèces pour plusieurs raisons : plus faible mortalité pour les espèces résidentes, les espèces migratrices peuvent quitter le secteur plus tard, et la période de ponte peut être prolongée. Ils terminent cependant leur article en indiquant qu'on ne peut pas conclure à l'existence d'une tendance climatique à long terme sur la base de leurs observations, tellement la tendance peut être masquée par les variabilités à moyen terme.

Beare et ses collaborateurs ont publié un article en 2004 dans le *Marine Ecology Progress Series* titré "Long-term increases in prevalence of North Sea fishes having southern biogeographic affinities", sur la présence accrue en mer du Nord d'espèces dites du sud. Ils citent le papier de Corten et van de Kamp (1996) décrit précédemment en rappelant qu'il informe d'une augmentation de la fréquentation de ces espèces en mer du Nord à deux périodes, au milieu des années 70 et en 1990 et d'une coïncidence avec des anomalies de température, corrélées à des vents du sud poussant les eaux de l'Atlantique à travers le Déroit du Pas-de-Calais. Le but des auteurs est de vérifier si les augmentations notées par Corten et van de Kamp au début des années 90 dans le sud de la mer du Nord sont aussi détectées dans le nord de la mer du Nord, et si oui ou non elles sont une tendance systématique sur le long terme. Ils montrent que les espèces ciblées par Corten *et al.*, dont le rouget barbet, ont la même évolution à long terme, à savoir une augmentation de l'abondance depuis 1990, mais montrent aussi un pic d'abondance au milieu des années 50. Pour ces scientifiques, l'approche est complexe et il est difficile de généraliser en raison des variations inter-annuelles et de la saisonnalité. Si on focalise sur le rouget barbet, ils déclarent qu'il a tendance à se grouper le long des côtes nord-est de la Grande-Bretagne au 1^{er} trimestre, alors qu'il semble migrer vers

le sud-est de la mer du Nord au 3^e trimestre. Dans leur discussion, il est indiqué que la plupart des espèces dites "du sud" ont montré une augmentation d'abondance soudaine, presque exponentielle, depuis le milieu des années 90 et que d'autre part, les espèces décrites ont des pics d'abondance différents, par leur spatialisation et leur saisonnalité. Les auteurs notent que les changements apparaissent être une tendance à long terme systématique, en contradiction avec les conclusions de Corten et van de Kamp, et que les principales augmentations touchent entre autre le rouget barbet. Ils écrivent que les données de campagnes IBTS qui couvrent toute la mer du Nord laissent suggérer que le rouget barbet est concentré dans différentes zones selon un cycle saisonnier, que le rouget barbet est présent dans le nord de l'Ecosse au 1^e trimestre et absent au 3^e trimestre, car il se situe dans le sud de la mer du Nord. Ils pensent que ce poisson migre au nord en hiver, et au sud en été, en raison du gradient de température saisonnier et les eaux réchauffées en hiver au nord de l'Ecosse par le courant Nord-Atlantique. Il est dit que le maquereau et le chinchard sont connus pour faire de longues migrations saisonnières et qu'il pourrait en être de même pour l'anchois, la sardine et le rouget barbet. L'autre hypothèse avancée par les auteurs est que ces poissons entrent dans le nord de la mer du Nord par la côte nord de l'Ecosse et dans le sud par la Manche au cours du 3^e trimestre, ce qui voudrait dire de fortes captures le long de la côte ouest écossaise et en Manche les mois précédents. Ces informations non précisées, et les données sur la Manche non disponibles pendant l'étude, n'ont donc pas été vérifiées. Ils indiquent cependant qu'il est clair que les élévations de température ont probablement un lien avec les augmentations d'abondances des espèces étudiées. Les données utilisées proviennent de campagnes du FRS et des campagnes IBTS et que l'interprétation des données des deux campagnes est gênée par des échantillonnages dans le temps et l'espace différents car la saisonnalité, la profondeur, les horaires, le type de chalut et le bateau utilisé peuvent biaiser les résultats des campagnes. Ils concluent finalement qu'il y a des changements sur les poissons en mer du Nord dus peut-être aux changements climatiques, mais qu'ils ne peuvent pas être associés directement à la température, car les ceux-ci sont complexes et peuvent probablement être dus aussi à n'importe quel autre facteur naturel (météo) ou aux pressions anthropiques (pêche).

Doug Beare et ses collaborateurs ont fait aussi paraître en 2005 dans le Journal of Sea Research un autre article s'appuyant sur leur publication de 2004 (d'où certaines redondances) et reprenant plus en détail leurs observations sur la migration du rouget barbet vers le nord de la mer du Nord à la fin de l'hiver. Ils rappellent que cette espèce n'a pratiquement jamais été enregistrée le long des côtes d'Ecosse, de 1925 à 1994, sauf dans les années 40, et a commencé à apparaître dans les données en janvier 1995 sur les côtes est et ouest écossaises, pour ensuite augmenter. Les auteurs précisent à nouveau que tous les rougets barbets capturés depuis 1995 ont été pris durant le 1^{er} trimestre de l'année en dépit d'un échantillonnage intensif au 3^e trimestre. Comme cette observation les laisse perplexes et, dans l'attente d'une autre explication, ils posent comme hypothèse que les rougets barbets présents dans le nord de la mer du Nord au 1^e trimestre sont en réalité une partie de la population du sud de la mer du Nord qui augmente et qui migre vers le nord où la température de l'eau est plus élevée durant l'hiver. Entre 1925 et 2003, aucun rouget n'a été recensé dans la zone Forties (Fig. 3). Dans les 5 autres zones, des abondances ont été relevées dans les dernières années 90 avec des captures fluctuant de 0 à entre 1 et 64 individus par 10 heures de chalutage, ce qui représente quand même des

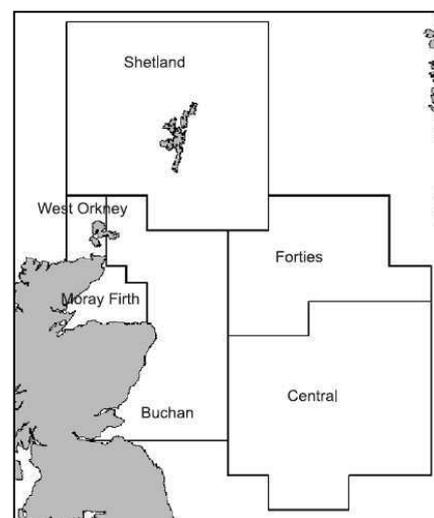


Figure 3 : Zonage du nord de la mer du Nord.

résultats très faibles (Fig. 3). Dans la zone Buchan, il y a quand même eu quelques rougets barbets capturés entre 1947 et 1954. Malgré le faible nombre d'individus capturés, les auteurs signalent aussi que ces individus étaient tous relativement grands (20-30 cm ; données non montrées) comparé aux individus recensés récemment (12-22 cm), et que cela serait dû à la croissance parce que les modes des données de fréquence de taille augmentent au fil des années, spécialement entre 1998 et 1999. De plus, aucun rouget barbet n'a été recensé au 3^e trimestre au cours de leurs campagnes en dépit d'un échantillonnage plus soutenu à cette période de l'année, et que très peu ont été enregistrés aux trimestres 2 et 4. Ils admettent cependant que leur échantillonnage est dans l'ensemble inégal. Cette information est importante quant aux résultats présentés : l'apparition de quelques individus dans les captures et les différences de taille citées plus haut pourraient être dues à des chalutages pas toujours réalisés exactement aux mêmes positions, ce qui pourrait biaiser les résultats, sachant que le rouget barbet est très inféodé à la nature du fond et sensible aussi à la bathymétrie. D'autre part, il y a quand même eu capture de quelques rougets barbets dans les années 50, puis à partir des années 95, avec un maximum de 6 individus observés par heure de chalutage. Ces très faibles résultats couplés à un échantillonnage qualifié d'inégal par leurs auteurs laissent cependant perplexes quant aux enseignements à en tirer.

Dans leur discussion, ils notent d'ailleurs : "l'une des restrictions dans l'interprétation des données est l'inconstance de la méthode d'échantillonnage", déjà abordée dans leur article de 2004. Ils argumentent que les bateaux et engins de pêche utilisés autrefois pouvaient peut être ne pas être adaptés pour pêcher le rouget barbet malgré les quelques individus pris dans les années 50 (Gibson & Robb, 1997). Ils avancent aussi l'hypothèse qu'il y ait certainement un lien entre les températures de surface élevées et la présence de rougets barbets autour des côtes écossaises et indiquent que les températures de surface moyenne au 1^{er} trimestre pour les 6 zones montrent sur le long terme des tendances similaires depuis 1925 : c'est à dire typiquement une baisse vers la fin des années 70 et au début des années 80, suivie par une "nette hausse" dans les années 90.

Les graphes présentés par zone (et à des échelles différentes) permettent cependant de relativiser cette interprétation : en effet, on observe une hausse de la tendance calculée à partir des données de températures entre 0.5 et 1°C, pour une température moyenne globale sur tout le secteur d'environ 6.5 à 7.5°C, avec quand même des variations importantes selon les

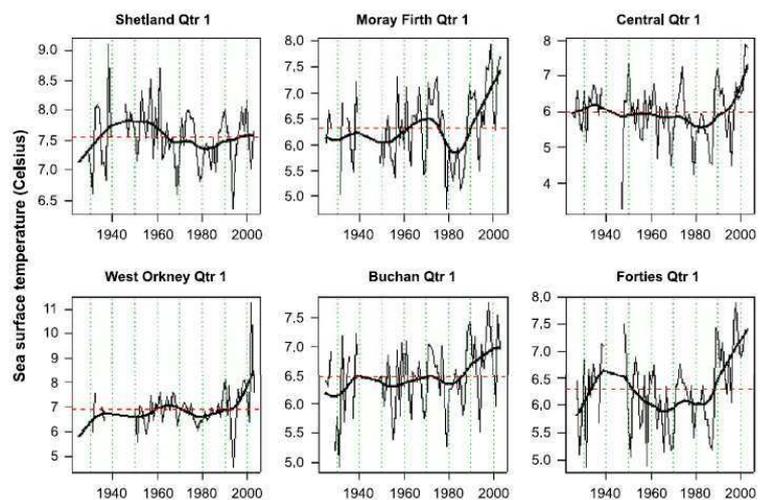


Figure 4 : Evolution de la température annuelle moyenne de surface (°C) de 1920 à 2004 au nord de la mer du Nord au premier trimestre par secteur géographique (voir Fig. 4).

années pouvant aller de -2 à +1°C (Fig. 4). Pour les années anciennes, les auteurs précisent que malheureusement les

données de température de surface sont éparpillées entre 1925 et 1949 et qu'elles ne sont pas toujours valables en particulier de 1939 à 1945. Pour les quelques rougets barbets répertoriés dans la zone Buchan entre 1947 et 1954, ils ne peuvent pas dire avec assurance si les températures de surface étaient particulièrement chaudes durant cette période mais considèrent que, après 1960, les températures moyennes ont chuté à tous les trimestres,

coïncidant avec une presque totale absence de rougets barbets dans les prises des campagnes de chalutage pendant environ 35 ans, et que depuis 1995, la température de surface a augmenté régulièrement et l'abondance de rouget barbet aussi. D'autre part, tous les rougets barbets répertoriés depuis les années 1990 ont été capturés exclusivement durant le 1^{er} trimestre alors qu'aucun n'a été capturé au 3^e trimestre en dépit de nombreux chalutages. Ils considèrent que si les rougets barbets demeuraient sur les fonds écossais, se reproduisaient, grandissaient sur ces fonds, ils devraient être capturés au 3^e trimestre et être, probablement, plus grands que ceux du 1^{er} trimestre de la même année. Et pourtant, ils n'en ont pas trouvé au 3^e trimestre. Ils émettent ainsi l'hypothèse que le rouget barbet migre en mer du Nord du sud vers le nord durant l'hiver pour échapper aux basses températures, parce que la mer du Nord est plus chaude dans le nord durant l'hiver que dans le sud en raison de l'influence du courant nord-atlantique qui vient lécher la pointe nord de l'Ecosse. Ils concluent que l'augmentation de l'abondance du rouget barbet notée au cours de leurs campagnes scientifiques durant le 1^{er} trimestre peut, pour cette raison, simplement être le résultat d'une plus large population résidente dans le sud de la mer du Nord migrant ou "s'étendant" vers le nord durant l'hiver, population "qui a probablement augmenté en raison de la hausse des températures", cette dernière hypothèse n'étant pas étudiée ni abordée scientifiquement par les auteurs. Cet article s'appuie donc sur un très faible nombre de données sur le rouget barbet de roche récoltées lors de campagnes scientifiques dont la méthode d'échantillonnage est jugée inconstante ou inégale par les auteurs, abordant l'évolution des températures sans démontrer de corrélation forte avec l'abondance de cette espèce, concluant sur des hypothèses ou supputations apportant plus de questions que de réponses sur la migration du rouget barbet en mer du Nord, thème affiché en titre de cet article.

L'explication s'appuyant sur l'influence du courant nord-atlantique venant lécher la pointe nord de l'Ecosse est bien illustrée dans le document du CIEM "Report of the Study Group on Regional Scale Ecology of Small Pelagic Fish (SGRESP) dont la réunion s'est tenue en février-mars 2005 à Plymouth (UK). Le schéma (Fig. 5) montre la circulation générale des masses d'eau en mer du Nord, l'impact des eaux de l'Atlantique par le nord-ouest, les eaux de la Manche par le sud-ouest, avec l'influence de la Baltique vers le nord-est. Dans le chapitre traitant des stocks de harengs face à une influence potentielle de l'environnement, il est indiqué que Corten en 2001 a suggéré que les nombreuses fluctuations récentes concernant la distribution du hareng de mer du Nord étaient dues à la diminution des stocks, aux changements dans la production de zooplancton et à la variabilité de l'influence de l'Atlantique, à travers le courant "Fair Isle", qui longe la côte nord-est écossaise.

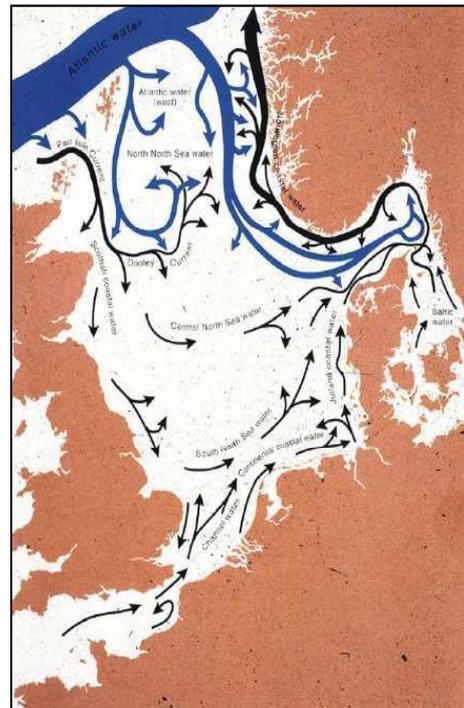


Figure 5 : Circulation générale des masses d'eau dans la mer du Nord.

Dans cette zone, il semblerait qu'il y ait bien une corrélation entre les fluctuations de distribution de cette espèce avec l'abondance du zooplancton liée à l'oscillation nord-atlantique (NAO)². Ce rapport indique aussi que cette production de zooplancton peut perturber l'évolution de biomasse d'autres espèces mais que la gestion des interactions entre espèces est très difficile à étudier. Il est donc tout à fait possible que les quelques rougets barbets décrits dans l'article de Beare *et al.* en 2005 subissent aussi ces oscillations nord-atlantiques des masses d'eaux.

L'évolution d'une part du cortège d'espèces et d'autre part de l'abondance de chacune de ces espèces en Manche et mer du Nord est expliquée dans un premier temps par celle de la température. Ainsi, nous avons voulu analyser toutes les données disponibles de température qui ont été récoltées au cours du XX^{ème} siècle en Manche Est et en mer du Nord (Fig. 6). Le Système d'Informations Scientifiques pour la MER (SISMER) nous a fourni toutes les données acquises par l'ensemble des pays qui ont travaillé dans ces secteurs géographiques, de 1900 à 2004, le nombre de stations échantillonnées étant de 24457 pour la Manche Est et de 639892 pour la mer du Nord. Ces nombres sont très élevés, cependant le nombre annuel de stations échantillonnées est très fluctuant au cours du XX^{ème} siècle (moyenne annuelle de stations échantillonnées \pm écart-type : 305.71 ± 1337.59 en Manche Est, 6529.51 ± 5634.43 en mer du Nord). De plus, si le nombre de stations varie d'une année à l'autre, alors l'étendue de la zone d'étude peut elle aussi montrer des fluctuations annuelles. De ce fait, les températures annuelles moyennes observées peuvent être biaisées et difficilement comparables. Enfin, si les techniques de mesure de la température ont fortement évolué au cours du XX^{ème} siècle, il est difficile de comparer par exemple des valeurs observées en 1920 à celles de 1995. Pour toutes ces raisons, les graphiques qui représentent l'évolution de la température annuelle de 1900 à 2004 par trimestre en mer du Nord (Fig. 7) peuvent nous renseigner uniquement sur les grandes tendances observables durant cette période.

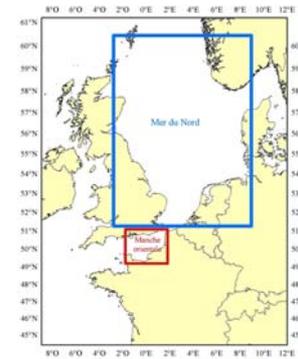


Figure 6 : Zone de collectes des données de température.

Pour le cas de la Manche Est, le nombre faible de données disponibles et la forte différence d'échantillonnage d'une année à l'autre ne permettent pas d'utiliser les données. L'évolution de la température de fond en mer du Nord pour le premier (Fig. 7. A) et le quatrième trimestre (Fig. 7. D) c'est à dire d'octobre à mars, ne montre pas de tendance. A l'inverse, depuis une vingtaine d'année, les températures de fond observées d'avril à septembre (2^{ème} et 3^{ème} trimestre) augmentent. Cette tendance observée à savoir des étés plus chauds depuis 1995 est vraisemblablement l'une des raisons qui expliquerait que le rouget barbet est beaucoup plus abondant depuis ces années là en Manche et en mer du Nord. La hausse de la température durant la période estivale a pu permettre au rouget barbet dit « espèce d'eau chaude ou du sud » de s'étendre de la Manche occidentale à la Manche orientale et au sud de la mer du Nord, où il trouve depuis quelques années des conditions plus favorables pour se reproduire et se développer.

² North Atlantic Oscillation (NAO) : l'indice hivernal NAO quantifie les changements atmosphériques entre les régions de hautes pressions sur les Açores, et les basses pressions sur l'Islande entre décembre et avril. Une phase positive (hautes pressions au dessus des Açores et basses pressions au dessus de l'Islande) oriente le climat de l'ouest vers le nord, donnant des années chaudes et humides en Europe du Nord. Au contraire, un indice négatif (hautes pressions sur l'Islande, basses pressions sur les Açores) oriente le climat de l'ouest davantage au sud vers la Méditerranée, donnant des années froides et sèches en Europe du Nord (Fromentin et Planque, 1996).

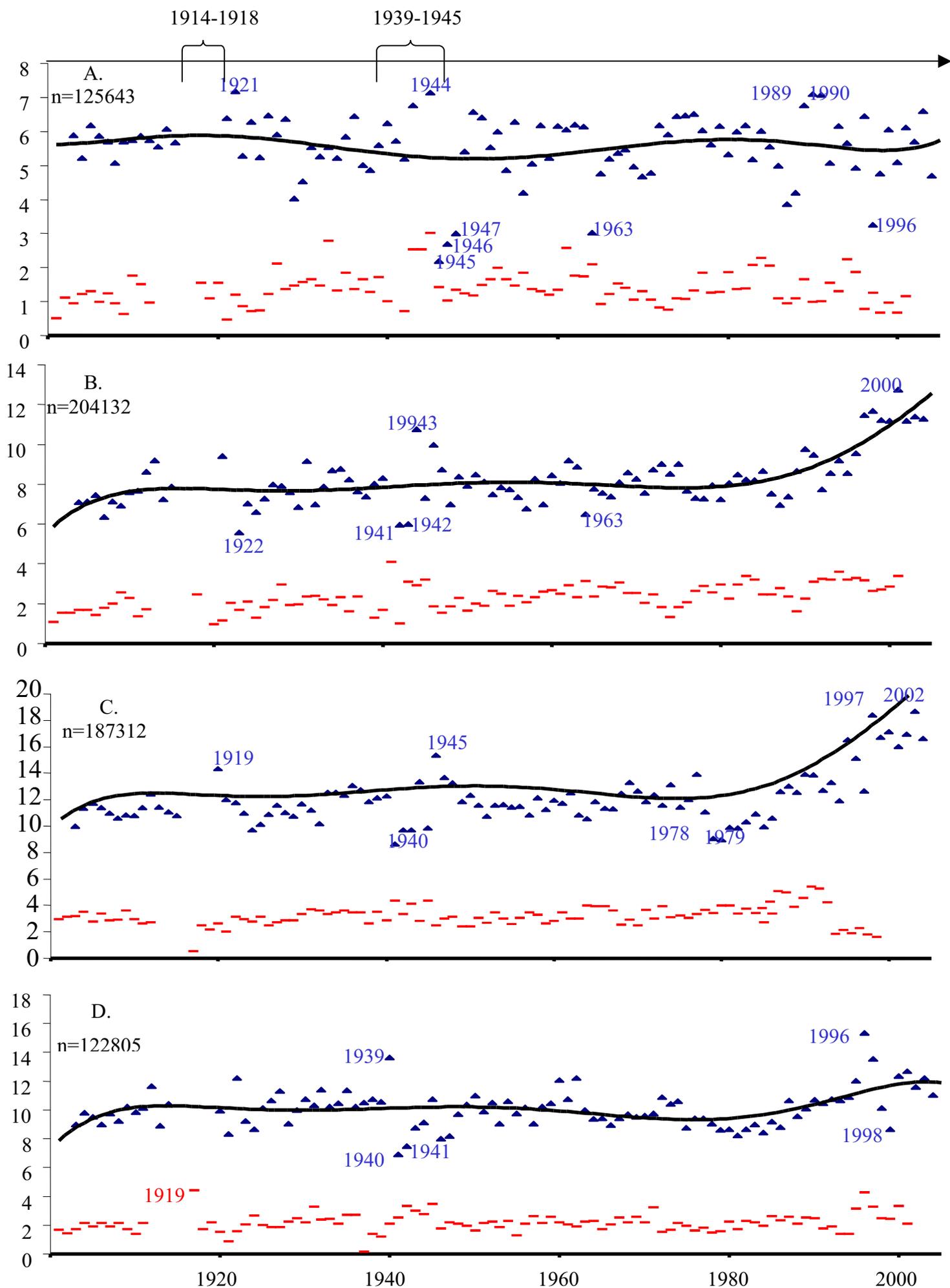


Figure 7 : Evolution de la température de fond annuelle (▲ moyenne, - - - écart-type) par trimestre (1 : A, 2 : B, 3 : C et 4 : D ; n=nombre total d'observations) en mer du Nord de 1900 à 2004.

Ces étés plus chauds ne suffisent pas à expliquer son abondance actuelle dans ces zones géographiques (Hawing *et al.*, 2003 ; Beare *et al.*, 2004). Le modèle d'habitat optimum réalisé en octobre en Manche orientale a permis de montrer que cet habitat présente des températures élevées mais aussi d'un fond caractérisé par un sédiment composé essentiellement de sables, avec une faible tension de cisaillement à sa surface. De plus, dans ce modèle, nous n'avons pas pu prendre en compte les phénomènes de densité-dépendance qui sont très importants dans tout écosystème. Les captures d'espèces qui sont ciblées par les bateaux professionnels (leurs captures peuvent être un bon indicateur de leur présence) montrent que le rouget barbet est pêché en grande partie dans les mêmes secteurs géographiques et aux mêmes périodes que le merlan, l'encornet et le cabillaud. Pour ces trois espèces, il existe des phénomènes de densité-dépendance avec le rouget barbet tels que la prédation et la compétition alimentaire (Fig. 8).

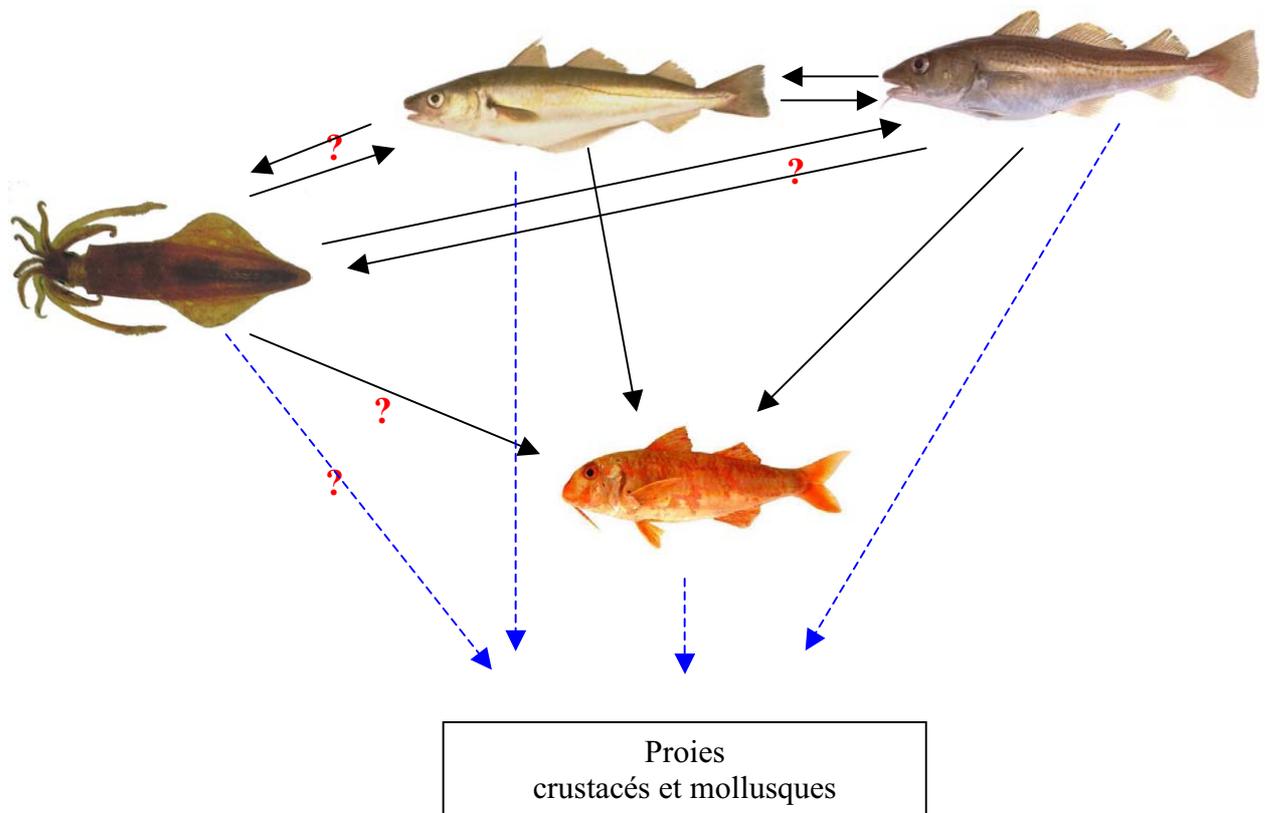


Figure 8 : Schéma des phénomènes de densité-dépendance (— : prédation ; - - - : compétition alimentaire) pouvant exister entre le rouget barbet, l'encornet, le merlan et le cabillaud (source : www.fishbase.org).

De ce fait, comme le stock de cabillaud en Manche et mer du Nord tend à diminuer depuis quelques années alors l'intensité de ces phénomènes existant entre le cabillaud et le rouget barbet diminue aussi (prédation et compétition alimentaire). Ainsi, cela peut être une des raisons expliquant l'abondance de rouget barbet dans ces secteurs géographiques.

Dans un souci d'optimiser les connaissances en Manche orientale et mer du Nord du rouget barbet, nous avons analysé sa distribution spatiale au cours de l'année d'une part avec les indices d'abondance obtenus par les campagnes scientifiques et d'autre part avec les captures des bateaux professionnels. Tous les résultats montrent que le rouget barbet se déplace au cours de l'année et que le détroit du Pas de Calais semble être une zone importante d'échange entre la Manche orientale et le sud de la mer du Nord. Dans un premier temps,

nous avons demandé à plusieurs patrons de pêche de nous indiquer où ils recherchent cette espèce au cours de l'année car ils suivent ses déplacements au cours des saisons (Fig. 9).

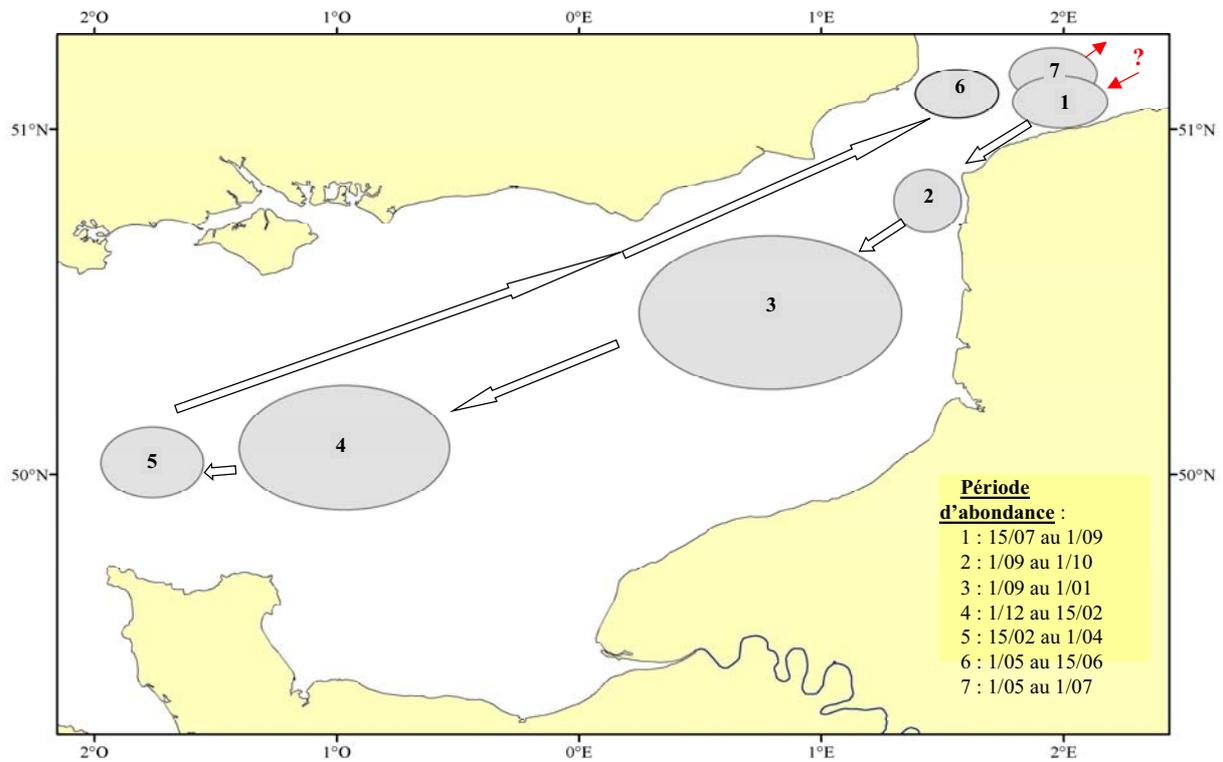


Figure 9 : Evolution de la zone de pêche au cours de l'année des chalutiers boulonnais qui ciblent le rouget barbet (informations données par des patrons de pêche).

Ces données corroborées et complétées par nos analyses, nous ont permis d'établir une hypothèse quant aux déplacements du rouget barbet au cours de l'année en Manche orientale et mer du Nord (Fig. 10).

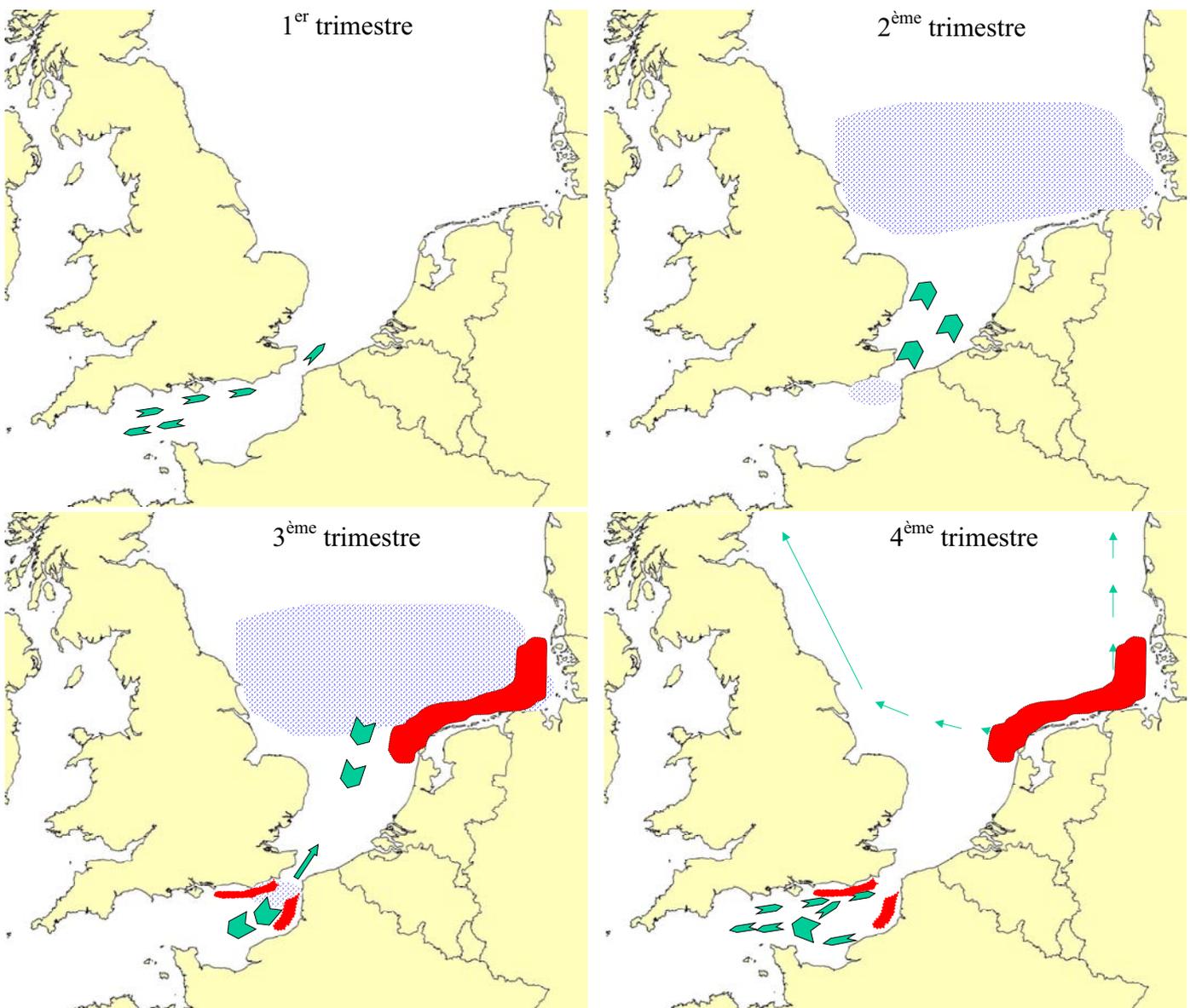
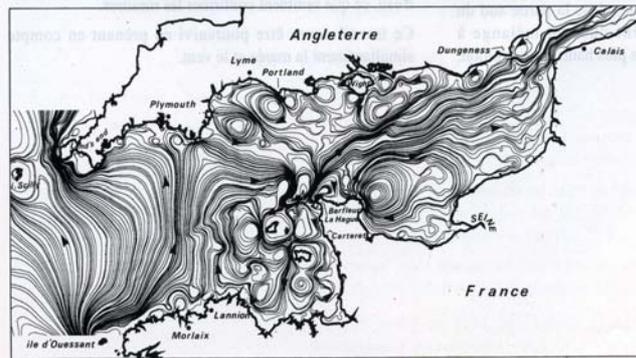


Figure 10 : Hypothèse de la distribution et des déplacements au cours de l'année du rouget barbet en Manche orientale et sud mer du Nord (→ : présence et sens de déplacement ; zone bleue : frayères ; zone rouge : nourriceries).

Ainsi, il apparaît qu'il n'est pas concevable d'étudier le rouget barbet en Manche orientale ou dans le sud de la mer du Nord séparément car l'ensemble de ces deux zones forme un continuum pour cette espèce. Au deuxième trimestre, période de reproduction, les adultes sont présents dans le sud de la mer du Nord et au Nord-Est de la Manche orientale. Ainsi, ces secteurs caractérisent les frayères, zones de reproduction des poissons. Il est à noter que le détroit du Pas de Calais présentant des conditions hydrodynamiques (courant, tension de cisaillement) très fortes, ne semble être qu'une zone de passage. Après la ponte, les œufs puis les larves se déplacent au grès des courants, déplacements simulés en particulier par le modèle hydrodynamique de Salomon (Fig. 11 ; Salomon & Breton ; 1991).

A.



B.

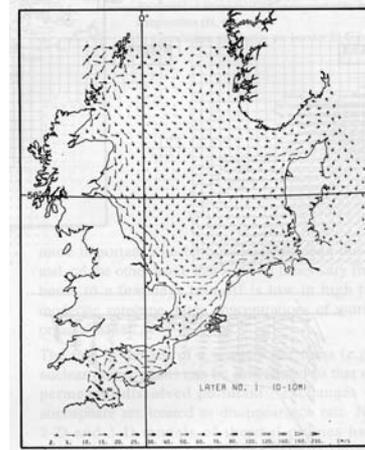


Figure 11 : Courants résiduels de marée (A. d'après Salomon & Breton ; 1991; B. d'après Mauvais, 1991).

De ce fait, les nurseries, zones de croissance des juvéniles, sont d'une part au Nord-Est de la Manche orientale sur les côtes françaises et anglaises et d'autre part, au Sud-Est de la mer du Nord sur les côtes néerlandaises et allemandes. Cette dernière nursery est observée certaines années, durant les campagnes scientifiques IBTS réalisées au troisième trimestre et déjà identifiée en 1899 par Heincke et Ehrenbaum (publié en 1900). Ainsi, il est possible que cette nursery ne soit observable que certaines années lorsque les conditions climatiques et hydrodynamiques le permettent. A l'inverse, les nurseries de Manche orientale semblent être pérennes. Les différentes nurseries identifiées sont caractérisées par des milieux côtiers présentant une faible bathymétrie. Ceci avait déjà été observé pour cette espèce dans le golfe de Gascogne (Desbrosses, 1933 ; N'Da, 1992) et en Méditerranée (Bougis, 1952). Ensuite au premier hiver, les juvéniles migrent vers des eaux plus profondes (Lo Bianco, 1908 ; Desbrosses, 1933 ; Bougis, 1952). Aux troisième et quatrième trimestres, les juvéniles ainsi que les adultes migrent de l'est vers l'ouest pour atteindre vers la fin de l'année la pointe du Cotentin et continuer vers l'ouest, car il est fort probable qu'il y ait des échanges dans ce secteur avec la Manche occidentale mais le manque d'informations ne permet pas de confirmer cette hypothèse. On peut penser cependant, que le rouget barbet retourne dans les eaux plus profondes de la Manche Ouest, plus tempérées que les eaux côtières en hiver. Au vu de la carte de la circulation des masses d'eaux en Mer du Nord (Fig. 5), la nursery du Sud de la mer du Nord pourrait contribuer à la faible présence des rougets barbets dans le Skagerrak et sur les côtes anglaises et écossaises que nous avons observée au premier trimestre lors des campagnes IBTS. Au début de l'année, les rougets barbets sont présents essentiellement à l'Ouest de la Manche orientale et nous observons une migration de ces poissons vers le détroit du Pas du Calais en passant plus au nord que lors du déplacement inverse au troisième trimestre. Si les migrations sont dues souvent aux conditions environnementales, elles peuvent aussi être le fait d'interactions avec d'autres espèces, selon les patrons de pêche qui nous ont signalé que les migrations du rouget barbet du nord vers le sud et inversement étaient causées respectivement par le hareng et le chinchard le forçant à se déplacer. Lors de cette étude, nous n'avons pu vérifier cette théorie mais néanmoins il serait intéressant de l'approfondir par d'autres analyses. On peut penser que le hareng et le chinchard ne "chassent" pas le rouget barbet mais que l'arrivée du hareng et du chinchard soit liée respectivement à des baisses ou hausses de température qui influent sur le déplacement du rouget barbet.

Le dernier objectif de cette étude est de synthétiser l'ensemble des données nécessaires à l'évaluation du stock de rouget barbet en Manche et mer du Nord dans le but d'une exploitation durable de cette ressource qui est essentielle pour les chalutiers de Manche. Ainsi, nous avons acquis toutes les données françaises de capture depuis 1985 qui représentent la majeure partie des données européennes.

Cette étude a permis aussi d'obtenir les premières données biologiques sur cette espèce en Manche et mer du Nord (relations taille/poids et taille/âge, maturité sexuelle aux âges, etc...).

Enfin, nous avons regroupé toutes les données de campagnes scientifiques françaises dans ces secteurs géographiques. Toutes ces données sont nécessaires à l'évaluation de stock et une étude sur l'identification du ou des stocks par analyse morphométrique a permis de différencier les rougets barbets de Manche orientale-mer du Nord de ceux du golfe de Gascogne. Cependant, il serait nécessaire de compléter ces analyses par des études génétiques pour compléter ces résultats à partir d'échantillons provenant de toutes les zones du golfe de Gascogne à la mer du Nord. De plus, pour la Manche occidentale, il n'existe pas de données biologiques disponibles ni de campagnes scientifiques sur toute cette zone, empêchant toute évaluation de stock dans ce secteur.

Pour la Manche orientale et la mer du Nord, nous avons analysées les données mais pour réaliser une évaluation de ce stock ou de ces stocks, il est nécessaire d'acquérir toutes les données européennes et de réaliser un suivi des données biologiques car il peut exister des différences inter et intra annuelles imposant un suivi trimestriel chaque année.

La principale décision à prendre au niveau européen, serait de réinstaurer la taille marchande minimale à 16 cm représentant l'âge de première maturité sexuelle (c'est-à-dire que tout poisson pêché en dessous de cette taille n'est pas en état de se reproduire). Une projection économique a permis de montrer que cette limitation peut aussi augmenter considérablement les gains à court terme des flottilles exploitantes.

Conclusion

Cette étude sur le rouget barbet de roche demandée par le Comité Régional des Pêches maritimes et des élevages marins du Nord-Pas de Calais-Picardie démontre l'intérêt essentiel de renforcer les collaborations entre les professionnels et les scientifiques de la pêche pour une meilleure connaissance de la ressource.

Etudier cette espèce a demandé de récolter, de synthétiser puis d'analyser un grand nombre d'informations très diverses. Ce travail a aussi mis en évidence les données manquantes ou les programmes scientifiques à mettre en place pour améliorer les évaluations et diagnostics de cette ressource, à savoir essentiellement de mener des campagnes scientifiques en Manche Est et Ouest en automne et au printemps pour prendre en compte les échanges saisonniers.

Cette étude sera un atout indéniable dans la mise en place du groupe de travail du CIEM sur les nouvelles espèces (ICES New Species WG) et placera la France en position de leader pour cet atelier international.

Enfin, ce document montre bien la complexité d'une telle étude et l'importance des connaissances biologiques pour l'évaluation d'un stock. Il est cependant important de replacer chaque espèce dans son écosystème et de prendre en compte les relations inter spécifiques et les composantes environnementales qui peuvent influencer sur l'état de la ressource pour une gestion durable des pêches maritimes.

Références bibliographiques

Aboussouan, A., 1964. Contribution à l'étude des œufs et des larves pélagiques des Téléostéens dans le golfe de Marseille. *Rev. Trav. St. Mar. End. Bull.*, 32 Fasc. 48p.

Aguirre, H., & Lombarte, A., 1999. Ecomorphological comparisons of *sagittae* in *Mullus barbatus* and *M. surmuletus*. *J. Fish Bio.*, **55** : 105-114.

Aldridge, J.N. & Davies, A.M., 1993. A high-resolution three-dimensional hydrodynamic tidal model of the Eastern Irish Sea. *Journal of Physical Oceanography*, **23** (2): 207-224

Amara, R., Lagardère, F., Desaunay, Y. & Marchand, J., 2000. Metamorphosis and estuarine colonisation in the common sole, *Solea solea* (L.) : implications for recruitment regulation. *Océanologica Acta*, 53p.

Andaloro, F. & Giarritta, S.P., 1985. Contribution to the knowledge of the age and growth of striped mullet, *Mullus barbatus* (L. 1758) and red mullet, *Mullus surmuletus* (L. 1758) in the Sicilian Channel. *General Fisheries Council For The Mediterranean. Report Of The Second Technical Consultation On Stock Assessment In The Central Mediterranean*, Mazara Del Vallo, Italy, **336** : 89-92.

Anonyme, 2002. Gardons la pêche : regards sur la ressource pour une activité maîtrisée, eds. *Ifremer*, 2nd éd., 111p.

Arellano, R.V., Hamerlynck, O., Vinex, M., Mees, J., Hostens, K. & Gijssels, W., 1995. Changes in the ratio of the *sulcus acusticus* area to the Sagitta area of *Pomatoschistus minutus* and *P. lozanoi* (Pisces, Gobiidae). *Marine Biology*, **122** : 355-360.

Ba, M., 2005. Les indices du réchauffement climatique. *Les données de l'environnement. Air. Institut Français de l'Environnement. Avril 2005* : 4 p.

Baillon, N., 1981. Otolithométrie : revue et problèmes : 21-52. In: Tissus durs et âge individuel des vertébrés, eds. Baglinière, Conand & Meunier. *ORSTOM & INRA eds.*, Paris.

Bauchot, M.L., 1987. Poissons osseux : 891-1421. In W. Fischer, M.L. Bauchot et M. Schneider (eds). *Fiches FAO d'identification pour les besoins de la pêche* (rev.1). Méditerranée et mer Noire. Zone de pêche 37. Vol. II. Commission des Communautés Européennes, FAO, Rome.

Baumgartner J.V., 1992. Spatial variation of morphology in a freshwater population of the threespine, Spickliback : *Gasterosteus aculeatus*. *Can. J. Zool.*, **70** : 1140-1148.

Beare, D.J., Burns, F., Greig, A., Jones, E.G., Peach, K., Kienzle, M., McKenzie, E. & Reid, D.G., 2004. Long-term increases in prevalence of North Sea fishes having southern biogeographic affinities. *Marine Ecology Progress Series*, **284** : 269-278.

Beare, D.J., Burns, F., Jones, E., Peach, K. & Reid, D., 2005. Red mullet migration into the northern North Sea during late winter. *Journal of Sea Research*, **53** : 205-212

- Bergeron, J.P. & Boulhic, M. 1994. Rapport ARN/ADN et évaluation de l'état nutritionnel et de la croissance des larves de poissons marins : un essai de mise au point expérimentale chez la sole (*Solea solea* L.), *ICES Journal of Marine Science*, **51** : 181-190.
- Bertin, L., 1958. Ecailles et sclérifications dermiques (482-504), et Denticules cutanées et dents (505-531) in P.P. Grassé eds, 1958. *Traité de zoologie, Agnathes et Poissons : anatomie, éthologie, systématique. Tome XIII, 1^{er} fasc. Masson et Cie Ed.*, 924p.
- Blacker, R.W., 1977. English observations on rare fish in 1975. *Annales Biologiques*, **32**: 184-185.
- Bloch, M.E., 1793. Naturgeschichte der ausländischen Fische. Berlin. *Naturg. Ausl. Fische*. 1-144.
- Bougis, P., 1952. Recherches biométriques sur les rougets (*Mullus barbatus* L. et *Mullus surmuletus* L.). *Archives de Zoologie Expérimentale et Générale*, **89(2)**: 57-174.
- Brünnich, 1768. Ichthyologica Massiliensis. Copenhague, 72p.
- Cammarata, M., Parrinello, N. & Arculeo, M., 1991. Biochemical taxonomic differentiation between *Mullus barbatus* and *Mullus surmuletus* (Pisces, *Mullidae*). *Comp. Biochem. Physiol.*, **99B** : 719-722.
- Carpentier, A. & Coppin, F., 1999. Campagnes expérimentales de chalutage en Manche orientale, *Vol. II, Les campagnes C.G.F.S. 1997 et 1998, IFREMER / Contrat BioECO n°96/040*, 174p.
- Carpentier, A., Vaz, S., Martin, C.S., Coppin, F., Dauvin, J.C., Desroy, N., Dewarumez, J.M., Eastwood, P.D., Ernande, B., Harrop, S., Kemp, Z., Koubbi, P., Leader-Williams, N., Lefèbvre, A., Lemoine, M., Loots, C., Meaden, G.J., Ryan, N. & Walkey, M., 2005. Eastern Channel Habitat Atlas for Marine Resource Management (CHARM), Atlas des Habitats des Ressources Marines de la Manche Orientale, *INTERREG IIIA*, 225 p.
- Clark, R.S., 1920. The pelagic young and early bottom stages of Teleosteans. *Journal of the Marine Biologic association*, **7(2)** : 209-210.
- Corten, A. & van de Kamp, G., 1996. Variation in the abundance of southern fish species in the southern North Sea in relation to hydrography and wind. *ICES Journal of Marine Science*, **53** : 1113-1119.
- Coste, G., 2000. Outils d'analyse morphométrique appliqués aux larves et aux adultes de poissons. *Rapport de Maîtrise de productique, Institut Universitaire Professionnalisé du Littoral de Calais*.
- Couch, J., 1864. History of the Fishes of the British Islands. *Groombridge & sons eds., London*, **5(1)** : 245p.
- Daget, J., 1972. Lois de croissance linéaire et pondérale. Mortalité, structures démographiques. *Doc. Sc. Centre de Pointe Noire, Orstom, nouvelle série*. **28** : 21-57.
- Daget, J. & Le Guen, J.C., 1975a. Les critères d'âge chez les poissons : 253-289. *In* : Lamotte & Bourlière : *Problème d'écologie. La démographie des populations de vertébrés*. Ed. Masson et Cie, Paris, 443p.
- Daget, J. & Le Guen, J.C., 1975b. Dynamique des populations exploitées de poissons : 395-443. *In* : Lamotte & Bourlière : *Problème d'écologie. La démographie des populations de vertébrés*. Ed. Masson et Cie, Paris, 443p.

- Dauvin, J.C., 1988. Rôle du macrobenthos dans l'alimentation des Poissons démersaux vivant sur les fonds de sédiments fins de la Manche occidentale. *Cah. Biol. Mar.*, 29 : 445-467.
- Davis, B.J. & Miller, R.J., 1967. Brain patterns in minnows of the genus *Hybopsis* in relation to feeding habits and habitat. *Copeia*, 1-39.
- Davis, P.S. & Edward, A.J., 1988. New records of fishes from the northeast coast of England, with notes on the rediscovery of part of the type collection of marine fishes from the Dove Marine Laboratory, Cullercoats. *Trans. Nat. Hist. Soc. Northumbria*, 55 : 39-46.
- Desbrosses, P., 1933. Contribution à la biologie du rouget-barbet en Atlantique Nord. *Rev. Trav. Off. Pêches marit.*, 6(3) : 249-270.
- Desbrosses, P., 1935. Contribution à la connaissance de la biologie du rouget barbet en Atlantique Nord (III). *Mullus barbatus* (rond) *surmuletus* (Fage). Mode septentrional Fage. *Rev. Trav. Off. Pêch. marit.*, 8(4) : 351-376.
- Desbrosses, P., 1936. Contribution à la connaissance de la biologie du rouget barbet en Atlantique nord (IV). *Rev. Trav. Inst. (Scient. Tech.) Pêch. Marit.*, 92: 329-399.
- Desprez, M ; Dugue, G. & Tetillon, N., 2005. Suivi de l'impact de l'extraction de granulats marins au large de Dieppe. *Rapport annuel 2004, Contrat GIE Graves de Mer*. 32p.
- Devauchelle, N., 1980. Etude expérimentale de la reproduction, les œufs et les larves de Bar, Daurade, Mulet, Rouget, Sole et Turbot. *Thèse Doctorat 3^e cycle, Univ. Bretagne occidentale* : 194p.
- Dunn, M.R., 1999. The exploitation of selected non-quota species in the English Channel. *Lowestoft*: 323p.
- Eastwood, P.D., Meaden, G.J., Carpentier, A. & Rogers, S.I., 2003. Estimating limits to the spatial extent and suitability of sole (*Solea solea*) nursery grounds in the Dover Strait. *Journal of Sea Research*, 50: 151-165
- Ehrlich, K.F., Blaxter, J.H.S. & Pemberton, R., 1976. Morphological and histological changes during the growth and starvation of herring and plaice. *Comparative Biochemistry and Physiology*, 35 : 105-118.
- Eschmeyer, W.N., eds., 2001. Catalog of fishes. Updated database version of november 2001. Catalog databases as made available to www.FishBase.org in November 2001.
- Everson, I., 1980. Méthodes de détermination de l'âge chez les poissons antarctiques. *Cybium*, 3^e série, 11 : 41-59.
- Fage, L., 1909. Etude de la variation chez le Rouget (*Mullus barbatus* L., *M. surmuletus* L.)." *Archives de Zoologie Expérimentale et Générale*, 1(5) : 55p.
- Fay, R., 1984. The goldfish ear codes the axis of acoustic particle motion in three dimensions. *Science*, 225 : 951-954.
- Forest, A., 2001. Ressources halieutiques hors quotas du Nord Est Atlantique : bilan des connaissances et analyse de scénarios d'évolution de la gestion. IFREMER. *Contrat IFREMER/MAPA - Réf. 99-11-03-01. Rapport final*.
- Fortin, M.J. & Dale, M., 2005. Spatial Analysis: A guide for Ecologists. *Cambridge University Press*.
- Fulton, T.W., 1911. *The Sovereignty of the Sea*. London, Edinburgh.

- Gauldie, R.W., 1988. Function, form and time-keeping properties of fish otoliths. *Comparative Biochemistry and Physiology*, **91** : 395-402.
- Gharbi, H., 1980. Les rougets dans le Golfe de Gabès. *Rapp. Doc. Inst. Natn. Scient. Techn. Océanogr. Pêche, Salammbô, numero spécial*, **80** : 13-16.
- Gharbi, H. & Ktari, M.H., 1979. Diet of red mullets (*Mullus barbatus*- Linnaeus, 1758 and *Mullus surmuletus*- Linnaeus, 1758) in the Tunis Gulf. *Bull. Inst. Natl. Sci. Tech. Oceanogr. Pêche Tunisia*, **6(1-4)**: 41-52.
- Gibson, R.N., 1994. Impact of habitat quality and quantity on the recruitment of juvenile flatfishes. *Netherlands Journal of Sea Research*, **32** : 191-206.
- Gibson, R.N. & Robb, L., 1997. Occurrence of juvenile red mullet (*Mullus surmuletus*) on the west coast of Scotland. *Journal of the Marine Biological Association of the United Kingdom*, **77(3)**: 911-912.
- Golani, D., 1994. Niche separation between colonizing and indigenous goatfish (Mullidae) along the Mediterranean Coast of Israel. *J. Fish Biol.*, **45**: 503-513.
- Golani, D. & Galil, B., 1991. Trophic relationships of colonizing and indigenous goatfish (Mullidae) in the eastern Mediterranean with special emphasis on decapod crustaceans. *Hydrobiologia*, **218**: 27-33.
- Gordon, J.D.M., 1981. The fish populations of the west of Scotland shelf. Part II. *Oceanography and Marine Biology. Annual Review*, 19: 405-441.
- Gronovius, L.T., 1780. *Systema Ichthyologicum*. Ed. Gray, 108p.
- Gueguen, J., 1969. Croissance de la Daurade *Pagellus centrodentus*. Delaroche. *Rev. Trav. Inst. Scient. Techn. Pêche marit.*, **18(3)** : 251-254.
- Haidar, Z., 1970. L'écologie du rouget (*M. barbatus* L.) en Adriatique orientale. *Acta adriat.*, **14(1)** : 1-94.
- Halbeisen, H.-W., 1988. Bestimmungsschlüssel für Fischlarven der Nordsee und angrenzender Gebiete. *Institut für Meereskunde, Dusternbrooker Weg 20, Kiel, Germany*.
- Hashem M.T., 1973a. Some biological studies on the goat fish (*M. surmuletus* L.) in the Egyptian Mediterranean waters. *Bull. Inst. Oceanogr. Fish.*, **13** : 78p.
- Hashem M. T., 1973b. Age growth and maturity of the goat fish (*Mullus barbatus* L.) in Abukir-Rosetta region during 1969-1970. *Bull. Inst. Oceanogr. Fish. Cairo*, **3** : 163-182.
- Hawkings, S.J., Southward, A.J. & Genner, M.J., 2003. Detection of environmental change in a marine ecosystem-evidence from the western English Channel. *The Science of the Total Environment*, **310** : 245-256.
- Heincke & Ehrenbaum, 1900. Eier und Larven von Fischen der deutschen Bucht. *Wiss. Meeresunt. Helgoland.*, 279p.
- Hureau, J.C., 1986. Mullidae in Whitehead, P. J. P., Bauchot M.-L., Hureau, J.-C., Nielsen J. et E. Tortonese (1986). *Fishes of the North-eastern Atlantic and the Mediterranean*. Les Presses de l'Unesco. Vol. II : 877-882.
- ICES SGRESP Report. 2005. Report of the Study Group on Regional Scale Ecology of Small Pelagic Fish (SGRESP). 28 February - 2 March. ICES Living Resources Committee. *ICES CM 2005/G:06*.
- Jabeur, C., 1999. La pêche dans le Golfe de Gabès : interactions techniques entre les métiers

- et exploitation partagée du rouget rouge (*Mullus surmuletus* L., 1758). Thèse de 3^{ème} cycle. Brest, Université de Bretagne Occidentale (UBO), 164p.
- Jearld, A., 1983. Age determination. In : *Fisheries Techniques Nielsen L. Ed. Nlacksburg*, 301-324.
- Jones, A., 1972. Marine Fish farming : an examination of the factors to be considered in the choice of species. *Lab. Leaflet*, **24** : 16p.
- Knight, W., 1968. Asymptotic growth : an example of non sens disguised as mathematics. *Journal of the Fisheries Research Board of Canada*, **25(6)** : 1303-1307.
- La Rosa, T., Lopiano, L., Sara, G. & Mazzola, A., 1997. Osservazioni sulla dieta di forme giovanili di *Mullus surmuletus* (Sicilia occidentale). *Biol. Mar. Medit.*, **4** : 530-532.
- Labropoulou, M. & Eleftheriou, A., 1997. The foraging ecology of two pairs of congeneric demersal fish species : importance of morphological characteristics in prey selection. *J. Fish Biol.*, **50** : 324-340.
- Labropoulou, M., Machias, A., Tsimenides, N. & Eleftheriou, A., 1997. Feeding habits and ontogenetic shift of the striped red mullet, *Mullus surmuletus* Linnaeus, 1758. *Fish. Res.* **31**: 257-267.
- Lacépède, 1798. Histoire Naturelle des Poissons. TIII, 391p.
- Lalami, Y., 1971. Contribution à l'étude systématique, biologique, écologique et statistique des poissons de la pêcherie d'Alger. *Pelagos, Bull. Inst. Océanogr. Alger*, **3(4)**: 1-150.
- Larsonneur, C., Vaslet, D. & Auffret, J.P., 1979. Les Sédiments Superficiels de la Manche, Carte Géologique de la Marge Continentale Française. *Bureau des Recherches Géologiques et Minières, Ministère de l'Industrie, Service Géologique National, Orléans, France*.
- Laurec A. & Le Guen, J.C., 1981. Dynamique des populations marines exploitées. Tome 1 : Concepts et modèles, *Rapports scientifiques et techniques CNEOX*, **45**.
- Le Roy, R. & Simon, B., 2003. Réalisation et validation d'un modèle de marée en Manche et dans le Golfe de Gascogne. *Rapport d'étude 02/03, septembre 2003, SHOM*, 88p.
- Leeuwenhoeck, A., 1696. Opera omnia, Lugduni Batavorum. *Epistola*, **107** : 191-192.
- Legendre, P. & Legendre, L., 1998. Numerical Ecology. *Elsevier, Amsterdam*.
- Leps, J. & Smilauer, P., 1999. Multivariate Analysis of Ecological Data. Faculty of Biological Sciences, *University of South Bohemia, Ceske Budejovice*.
- Linnaeus, C., 1758 Systema Naturae per Regna Tria Naturae secundum Classes, Ordinus, Genera, Species cum Characteribus, Differentiis Synonymis, *Locis. 10th ed., Vol. 1. Holmiae Salvii*, 824 p.
- Lo Bianco S., 1908. Sviluppo larvale, metamorfosi e biologica della triglia di fango (*Mullus barbatus* Lin.). *Mitt. Zool. Stn. Neapel*, **19**: 18p.
- Lockwood, S.J., 1974. The use of the Von Bertalanffy growth equation to describe the seasonal growth of fish. *Journal du Conseil International pour l'Exploration de la Mer*, **35** : 175-179.
- Lombarte, A., 1992. Changes in otolith area : sensory area ratio with body size and depth. *Env. Biol. Fish.*, **33** : 405-410.
- Lombarte, A. & Aguirre, H., 1997. Quantitative differences in the chemoreceptor systems in the barbels of two species of Mullidae (*Mullus surmuletus* and *Mullus barbatus*) with

- different bottom habitats. *Marine Ecology Progress Series*, **150**: 57-64.
- Louisy, P., 2002. Guide d'identification des poissons marins – Europe et Méditerranée. *Ed. Ulmer*, 430p.
- Machias, A. & Labropoulou, M., 2002. Intra-specific variation in resource use by red mullet, *Mullus barbatus*. *Estuarine, coastal and shelf science*, **55**: 565-578.
- Machias, A., Somarakis, S. & Tsimenides, N., 1998. Bathymetric distributions and movements of red mullet *Mullus surmuletus*. *Mar. Ecol. Prog. Ser.*, **166**: 247– 257
- Maddy, D. & Brew, J.S., 1995. Statistical modelling of quaternary science data. *Quaternary Research Association, Technical Guide*, **5**.
- Mamuris, Z., Apostolidis, A.P. & Triantaphyllidis, C., 1998. Genetic protein variation in red mullet (*Mullus barbatus*) and striped mullet (*M. surmuletus*) populations from the Mediterranean sea. *Mar. Biol.*, **130** : 353-360.
- Mauvais, J.L., 1991. The role of hydrodynamics in environmental studies. The case of tidal seas. *Oceanologica Acta. Actes du Colloque international sur l'environnement des mers épicontinentales, Lille, 20-22 mars 1990*. **11** : 29-46.
- Mayrat, A., 1970. Allométrie et taxonomie. *Revue de statistique appliquée*, **XVIII(4)** : 47-58.
- McCormick, M.I., 1995. Fish feeding on mobile benthic invertebrates: influence of spatial variability in habitat associations. *Marine Biology*, **121**: 627-637.
- Meek, A., 1916. The migrations of fish. *Edward Arnold & Co. eds., London*, 427p.
- Mello, L.G.S. & Rose, G.A., 2005. Using geostatistics to quantify seasonal distribution and aggregation patterns of fishes: an example of Atlantic Cod (*Gadus morhua*). *Can. J. Fish. Aquat. Sci.*, **62** : 59-670.
- Menu, B. & Girin, M., 1979. Spawning, Incubation and Larval Development of the Red Mullet (*Mullus surmuletus*) in the Laboratory. *Vie Milieu Ab Biol. Mar. Oceanogr.*, **28(3)**: 517-530.
- Mesnil, B., 1988. Logiciels pour l'évaluation des stocks de poissons. ANACO : logiciel d'analyse des données de capture par class d'âge sur IBM PC et compatibles. *FAO Doc. Tech. Pêches*, **101 (3)** : 78p.
- Meunier, F.J., 1988. Détermination de l'âge individuel chez les ostéichthyens à l'aide de la squeletteochronologie. *Acta Oecologica Oecol. Gener.*, **9(3)** : 299-329.
- Minchin, D. & Molloy, J., 1980. Notes on some fishes taken in Irish waters during 1978. *Ir. Nat. J.*, **3** : 93-97.
- Montalenti, G., 1937. Mullidae. *Fauna Flora Golfo Napoli, Monogr.*, **38**: 391-398.
- Morizur, Y., Pouvreau, S. & Guenole, A., 1996. Les rejets dans la pêche artisanale française de Manche occidentale. *Editions IFREMER, Brest*, 127p.
- N'Da, K., 1992. Biologie du rouget de roche *Mullus surmuletus* (Poisson Mullidae) dans le Nord du golfe de Gascogne : reproducteurs, larves et juvéniles. Thèse de 3^{ième} cycle. Brest, Université de Bretagne Occidentale (UBO), 177p.
- N'Da, K. & Deniel, C., 1993. Sexual cycle and seasonal changes in the ovary of the red mullet, *Mullus surmuletus*, from the southern coast of Brittany. *J. Fish Biol.*, **43(2)** : 229-244.
- Nolf, D., 1985. *Otolothi piscium*. In : *Handbook of Paleoichthyology*, **X**, Schultze, L. & Kuhn, O. eds, Stuttgart : Gustav Fischer Verlag, 1-26.

- Ombredane, D. & Baglinière, J.L., 1991. Les écailles et leurs utilisations en écologie halieutique. In: *Tissus durs et âge individuel des vertébrés*, eds. Baglinière, Conand & Meunier, ORSTOM & INRA éditions, Paris, 151-152.
- Ottaway, E.M., 1978. Rhythmic growth activity in fish scales. *J. Fish. Biol.*, **12** : 615-623.
- Panfili, J., De Pontual, H., Troadec, H. & Wright, P.J., 2002. Manuel de sclérochronologie des poissons. *Coéditions IFREMER-IRD*, 464p.
- Parr, A.E., 1930. Teleostean shore et shallow-water fishes from the Bahamas and Turk-Island. *Bull. Bingham Ocean. Coll.*, **3** : 4p.
- Perry, L.A., Low, J.P., Ellis, R.J. & Reynolds, D.J., 2005. Climate change and distribution shifts in marine fishes. *Science*, **308** : 1912-1915.
- Pethon, P., 1979. Rare marine fishes from southeastern Norwegian waters in the years 1970-1978. *Fauna*, **32** : 145-151.
- Petitgas, P., 1993. Geostatistics for fish stock assessment : a review and acoustic application. *ICES J. Mar. Sci.*, **50** : 285-298.
- Petitgas, P., 2001. Geostatistics in fisheries survey design and stock assessment: models, variances and applications. *Fish and Fisheries*, **2** : 231-249.
- Planes, S., Hertel, O. & Jouvenel, J.Y., 1997. Analysis of condition and swimming performance in juveniles of white sea bream, *Diplodus vulgaris*. **77** : 913-916.
- Platt, C. & Popper, A.N., 1981. Fine structure and function of the ear : In : *W.N. Tavolga, A.N. Popper & Fay R.R. eds. Hearing and sound communication in Fishes*, Springer Verlag, New York., 3-38.
- Poll, M., 1947. Poissons marins in Faune de Belgique. *Bruxelles*, 452 p.
- Quéro, J.C., 1984. Les poissons de mer des pêches françaises, *Jacques Granger Ed.*, 394p.
- Quéro, J.C. & Vayne, J.J., 1997. Les poissons de mer des pêches françaises. *IFREMER, Ed. Delachaux & Niestlé*, 304p.
- Quiniou, L., 1978. Les poissons démersaux de la baie de Douarnenez. Alimentation et Ecologie. *Thèse. Brest, Université de Bretagne Occidentale*, 222p.
- Raffaele, F., 1888. Le uova galleggianti e le larve dei Teleostei nel golfo di Napoli. *Mitt. Zool. Stn. Neapel*, **8**: 1-85.
- Réaumur, 1716. Observation sur la matière qui colore les perles fausses et sur quelques autres matières animales d'une autre couleur, à l'occasion de quoi on essaie d'expliquer la formation des écailles des poissons. *Histoire de l'Académie Royale des Sciences, Paris*, 1718p.
- Reibisch, J., 1899. Ueber die Einzahl bei Pleuronectes platessa und die Altersbestimmung dieser Form aus den Otolithen. *Wissenschaftliche Meeresuntersuchungen*, **4** : 233-248.
- Reñones, O., Massuti, E. & Morales-Nin, B., 1995. Life history of the red mullet *Mullus surmuletus* from the bottom-trawl fishery off the Island of Majorca (North-west Mediterranean). *Mar. Biol.*, **123(3)** : 411-419.
- Ricker, W.E. 1975. Computation and interpretation of the biological statistics of fish populations. *Bulletin of the Fisheries Research Board of Canada*, **191** : 1-382.
- Rogers, P.H. & Cox, M., 1988. Underwater sound as a biological stimulus. In : *Sensory Biology of Aquatic Animals*, Atema, J., Fay R., Popper, A.N. & Tavolga W.N. eds, New York : Springer Verlag, 131-149.

- Rossi, R.E., Mulla, D.J., Journel, A.G. & Franz, E.H., 1992. Geostatistical tools for modeling and interpreting ecological spatial dependence. *Ecological Monographs*, **62(2)** : 277-314.
- Roule, L. & Verrier, M.L., 1927. Etude sur les barbillons des rougets barbets (*G. Mullus*). *Ann. S. Oceano. Salammbô*, **3** : 16p.
- Russell, F.S., 1976. Mullidae. The eggs and planktonic stages of British Marine Fishes, *Academic Press*, 202-206.
- Salomon, J.C. & Breton, M., 1991. Courants résiduels de marée dans la Manche. *Oceanologica Acta. Actes du Colloque international sur l'environnement des mers épicontinentales, Lille, 20-22 mars 1990*. **11** : 47-53.
- Salviani, E., 1554. *Aquatilium animalium Historiae, Roma*, 235p.
- Schuijf, A., 1981. Models of acoustic localisation. In : *Hearing and sound Communication in Fishes, Tavolga, W.N., Popper, A.N. & Fay R.R. eds, New York : Springer Verlag*, 267-310.
- Schwarzahns, W., 1980. Die tertiäre Teleosteer-Fauna Neuseelands, rekonstruiert anhand von otolither. *Berliner Geowissenschaftliche Abhandlungen*, **26** : 1-211.
- Séchet, G., 2004. Quel temps! Chronique de la météo de 1900 à nos jours. *Editions Hermé*, 255p.
- Secor, D.H. & Dean, J.M., 1989. Somatic growth on the otolith-fish size relationship in young pond-reared striped bass, *Morone saxatilis*. *Can. J. Fish. Aqua. Sci.*, **46** : 113-121.
- Shelbourne, J.E., 1957. The feeding and condition of plaice larvae in good and bad plankton patches. *Journal of the Marine Biological Association of the United Kingdom*, **36** : 539-552.
- Sorbe, J.C., 1972. Ecologie et Ethologie alimentaire de l'Ichtyofaune chalutable du plateau continental Sud-Gascogne. *Thèse. Aix-Marseille, Université d'Aix-Marseille*, 125p.
- Strauss, R.E. & Bookstein, F.L., 1982. The TRUSS : body form reconstructions in morphometrics. *Syst. Zool.*, **31(2)** : 113-135.
- Strauss, R.E. & Fuiman, L.A., 1984. Quantitative comparisons of body form and allometry in larval and adult pacific sculpins (Teleostei : Cottidae). *Can. J. Zool.*, **63** : 1582-1589.
- Suquet, M. & Person-Le Ruyet, J., 2001. Les rougets barbets (*Mullus barbatus*, *Mullus surmuletus*). Biologie, pêche, marché et potentiel aquacole. *Ifremer eds.*, 47p.
- Teissier, G., 1948. La relation d'allométrie. Sa signification statistique et biologique. *Biometrics*, **4** : 14-53.
- ter Braak, C.J.F. & Smilauer, P., 2002. CANOCO reference manual and CanoDraw for windows User's guide : Software for canonical community ordination (version 4.5). *Microcomputer Power (Ithaca, NY, USA)*, 500p.
- Theilbacker, G.H., 1978. Effects of starvation on the histological and morphological characteristics of jack mackerel *Trachurus symmetricus* larvae. *Fishery Bulletin U.S.*, **76(2)** : 403-414.
- Trodec, H., 1997. TNPC (Traitement Numérique de Pièces Calcifiées).v.2. *Manuel d'utilisation. Février 1997. Ifremer-Orstom, centre de Brest, LASAA*.
- Tsimenides, N., Tserpes, G., Machias, A. & Kallianiotis, A., 1991. Distribution of fishes on the Cretan shelf. *J. Fish Biol.*, **39** : 661-672.
- Tukey, J.W., 1977. *Exploratory Data Analysis*. Reading, MA : Addison-Wesley.

- Turrell, W.R., Hansen, B. & Østerhus, S., 2004. The "Day After Tomorrow" or "The Week After Next?". *Newsletter. Issue N°41. September 2004. International Council for the Exploration of the Sea*, 7-11.
- Vaz, S., Martin, C.S., Ernande, B., Eastwood, P.D., Coppin, F., Harrop, S., Meaden, G.J. & Carpentier., A., 2005. Modelling Fish Habitat Suitability in the Eastern English Channel. *ICES CM 2005/O:23*.
- Vaz, S., Martin, C.S., Eastwood, P.D., Ernande, B., Carpentier, C., Meaden, G.J. & Coppin, F., Modelling species distributions using regression quantiles, *in prep*.
- Vitturi, R., Catalano, E. & Barbieri, R., 1992. Karyological and molecular characterization of *Mullus surmuletus* and *Mullus barbatus* (Pisces, Mullidae), *Cytologia*. **57** : 65-74.
- Von Bertalanffy, 1938. A quantitative theory of organic growth (inquires on growth Laws II), *Human Biology*, **10(2)** : 181-213.
- Walford, L.A., 1946. A new graphic method of describing the growth of animals. *Biology Bulletin Woods Hole*, **90(2)** : 141-147.
- Wheeler, A., 1978. Key to the fishes of the British Isles and northern Europe: a guide to the identification of more than 350 species. *Frederick Warne Ltd, London*.
- Whitehead, P.J.P., Bauchot, M.L., Hureau, J.C., Nielson, J. & Tortonese, T., 1986. Fishes of the North-eastern Atlantic and the Mediterranean. UNESCO, Paris., Vol.I-III : 1473p.
- Wilson, R.R., 1985. Depth-related changes in sagitta morphology in six macrourid fishes of the Pacific and Atlantic Oceans. *Copeia*, **4** : 1011-1017.
- Winberg, G.G., 1960. Rate of the metabolism and food requirements of fishes. *J. Fish. Res. Bd. Canada*, **194** : 202p.
- Wirszubski, A., 1953. On the biology and biotope of the red Mullet. *Bull. Sea. Fish. Sth*, **1-20** : 1-32.

Annexes

- Annexe 1 : Relations taille/poids lors de l'échantillonnage en criée en 2004 et 2005 et lors des campagnes scientifiques en Manche orientale (CGFS) en 2001, 2002 et 2003
- Annexe 2 : Matrice de probabilité de comparaison des paires
- Annexe 3 : Observations à la loupe binoculaire (grossissement *10) d'otolithes de rouget barbet de groupe d'âge 0, 1 et 2 selon les 3 techniques utilisées
- Annexe 4 : Clé taille âge du Rouget barbet en 2004 par sexe
- Annexe 5 : Ecart-type des moyennes d'abondance de rougets barbets
- Annexe 6 : Plan d'échantillonnage de la campagne IBTS en mer du Nord pour le deuxième et le quatrième trimestres.
- Annexe 7 : Importance relative des proies (nombre moyen par estomac) dans l'alimentation du rouget barbet par site d'étude avec l'indication de la nature du fond qui les caractérisent.
- Annexe 8 : Poids moyen (en g) par classe de taille et par trimestre.
- Annexe 9 : Prix moyen (€) du rouget barbet par secteur géographique et par an.
- Annexe 10 : Liste de référence des métiers.
- Annexe 11 : Longueur moyenne (m) des navires de référence par secteur géographique.
- Annexe 12 : Puissance moyenne (kW) des navires de référence par secteur géographique.
- Annexe 13 : Bilan des captures annuelles (tonnes) pour le chalut de fond et la totalité des métiers par secteur géographique.
- Annexe 14 : Proportions des captures annuelles par secteur géographique.
- Annexe 15 : Proportions des catégories commerciales dans les captures annuelles (tonnes) par secteur géographique.
- Annexe 16 : Structures démographiques en taille des chalutiers de fond français en Manche est et sud mer du Nord de 1985 à 2004.
- Annexe 17 : Structures démographiques en âge du rouget barbet des chalutiers de fond français en Manche est et sud mer du Nord de 1985 à 2004 et par trimestre (Nb*1000).

Annexe 1 : Relations taille/poids lors de l'échantillonnage en criée en 2004 et 2005 et lors des campagnes scientifiques en Manche orientale (CGFS) en 2001, 2002 et 2003

Echantillonnage en criée en 2004 et 2005 :

Femelles :

$$W = 4.10^{-6} \cdot Lt^{3,1871}$$

$$r^2=0,9562 ; n=749$$

Mâles :

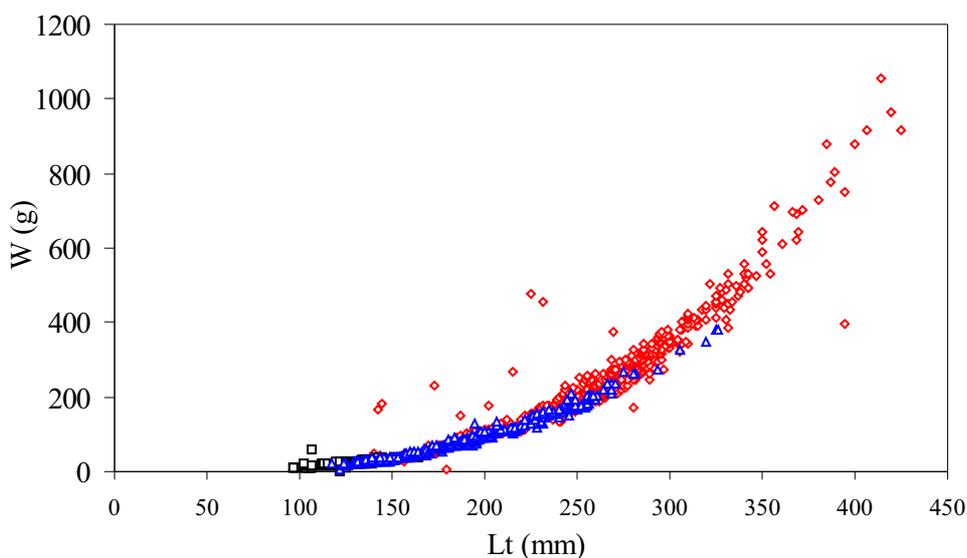
$$W = 3.10^{-6} \cdot Lt^{3,2312}$$

$$r^2=0,9736 ; n=228$$

Immatures :

$$W = 8.10^{-5} \cdot Lt^{3,2602}$$

$$r^2=0,573 ; n=400$$



Campagne scientifique en Manche orientale en 2001 :

Femelles :

$$W = 2.10^{-6} \cdot Lt^{3,3301}$$

$$r^2=0,9847 ; n=46$$

Mâles :

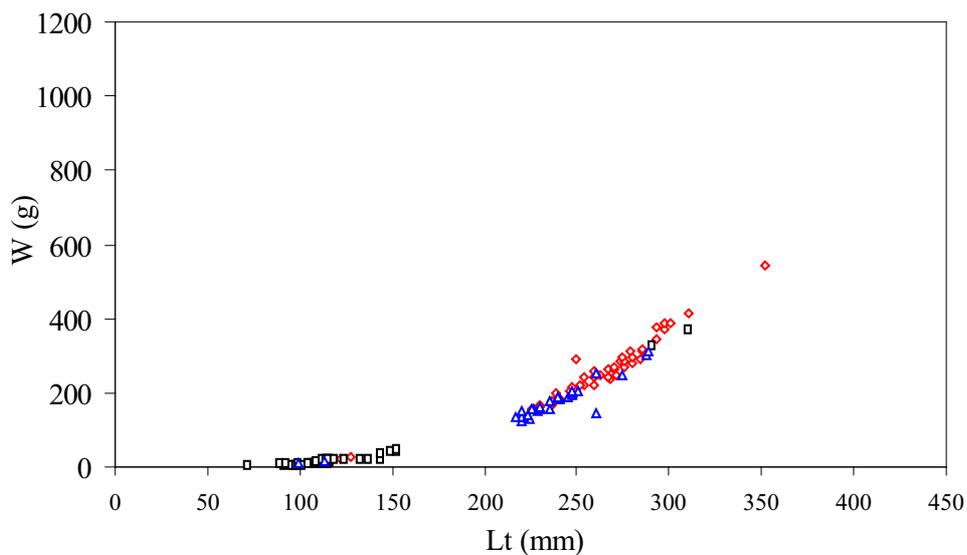
$$W = 1.10^{-6} \cdot Lt^{3,4211}$$

$$r^2=0,9867 ; n=36$$

Immatures :

$$W = 2.10^{-6} \cdot Lt^{3,3126}$$

$$r^2=0,6237 ; n=29$$



Campagne scientifique en Manche orientale en 2002 :

Femelles :

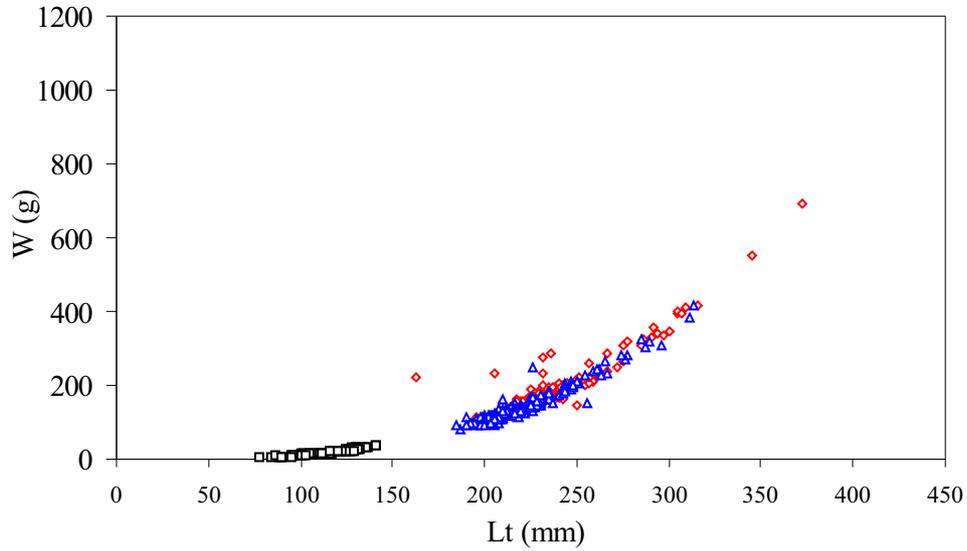
$$W = 9 \cdot 10^{-5} \cdot Lt^{2,6592}$$
$$r^2=0,7899 ; n=174$$

Mâles :

$$W = 2 \cdot 10^{-5} \cdot Lt^{2,9504}$$
$$r^2=0,9163 ; n=82$$

Immatures :

$$W = 3 \cdot 10^{-6} \cdot Lt^{3,2758}$$
$$r^2=0,9439 ; n=212$$



Campagne scientifique en Manche orientale en 2003 :

Femelles :

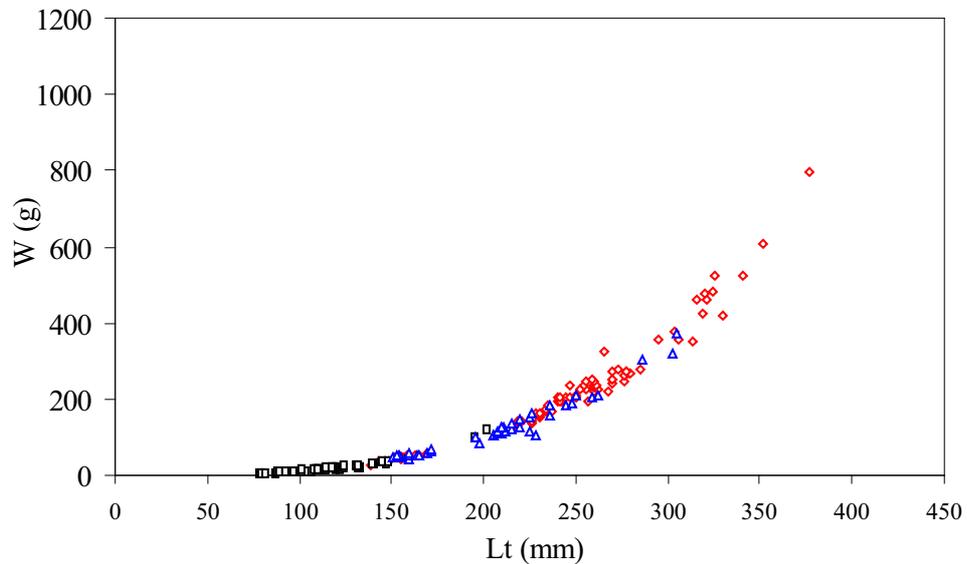
$$W = 6 \cdot 10^{-6} \cdot Lt^{3,1409}$$
$$r^2=0,9874 ; n=81$$

Mâles :

$$W = 2 \cdot 10^{-5} \cdot Lt^{2,9191}$$
$$r^2=0,9688 ; n=49$$

Immatures :

$$W = 8 \cdot 10^{-6} \cdot Lt^{3,0724}$$
$$r^2=0,9617 ; n=41$$



Annexe 2 : Matrice de probabilité de comparaison des paires

1 : Résidus des relations taille/poids par trimestre et par année.

| | 1T-2004 | 1T-2005 | 2T-2004 | 2T-2005 | 3T-2004 | 4T-2004 | CGFS 2001 | CGFS 2002 | CGFS 2003 |
|-----------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|-----------|-----------|-----------|
| 1T-2004 | 1.000 | | | | | | | | |
| 1T-2005 | 0.004 | 1.000 | | | | | | | |
| 2T-2004 | 0.000 | 0.098 | 1.000 | | | | | | |
| 2T-2005 | 0.000 | 0.012 | 0.227 | 1.000 | | | | | |
| 3T-2004 | 0.000 | 0.094 | 0.987 | 0.210 | 1.000 | | | | |
| 4T-2004 | 0.000 | 0.006 | 0.185 | 0.927 | 0.164 | 1.000 | | | |
| CGFS 2001 | 0.000 | 0.110 | 0.788 | 0.472 | 0.774 | 0.473 | 1.000 | | |
| CGFS 2002 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.012 | 0.000 | 0.001 | 0.003 | 1.000 | |
| CGFS 2003 | 0.000 | 0.014 | 0.256 | 0.948 | 0.238 | 0.986 | 0.509 | 0.010 | 1.000 |

2 : Résidus des relations taille/poids par sexe (F : femelle ; I : immature ; M : mâle).

| | F | I | M |
|---|-------|-------|-------|
| F | 1.000 | | |
| I | 0.341 | 1.000 | |
| M | 0.004 | 0.002 | 1.000 |

3 : Rapport Gonado-Somatique (RGS) des femelles par mois en 2004.

| | 5 | 6 | 7 | 9 | 10 | 11 |
|----|-------|-------|-------|-------|-------|----|
| 5 | 1 | | | | | |
| 6 | 0.000 | 1 | | | | |
| 7 | 0.000 | 0.000 | 1 | | | |
| 9 | 0.000 | 0.000 | 0.008 | 1 | | |
| 10 | 0.000 | 0.000 | 0.010 | 0.928 | 1 | |
| 11 | 0.000 | 0.000 | 0.084 | 0.482 | 0.531 | 1 |

4 : Indice de condition K selon le sexe (F : femelle ; I : immature ; M : mâles) durant les campagnes CGFS en 2001, 2002 et 2003.

| | | Femelles | | | Immatures | | | Mâles | | |
|-----------|------|----------|-------|-------|-----------|-------|-------|-------|-------|-------|
| | | 2001 | 2002 | 2003 | 2001 | 2002 | 2003 | 2001 | 2002 | 2003 |
| Femelles | 2001 | 1.000 | | | | | | | | |
| | 2002 | 0.982 | 1.000 | | | | | | | |
| | 2003 | 0.258 | 0.114 | 1.000 | | | | | | |
| Immatures | 2001 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 1.000 | | | | | |
| | 2002 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 1.000 | | | | |
| | 2003 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.586 | 0.000 | 1.000 | | | |
| Mâles | 2001 | 0.009 | 0.002 | 0.058 | 0.000 | 0.054 | 0.000 | 1.000 | | |
| | 2002 | 0.044 | 0.001 | 0.362 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.142 | 1.000 | |
| | 2003 | 0.001 | 0.000 | 0.011 | 0.000 | 0.079 | 0.000 | 0.741 | 0.030 | 1.000 |

5 : Indice de condition K des femelles en 2004 et 2005 par trimestre.

| | 1T 2004 | 1T 2005 | 2T 2004 | 2T 2005 | 3T 2004 | 4T 2004 |
|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|
| 1T 2004 | 1.000 | | | | | |
| 1T 2005 | 0.000 | 1.000 | | | | |
| 2T 2004 | 0.000 | 0.199 | 1.000 | | | |
| 2T 2005 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 1.000 | | |
| 3T 2004 | 0.000 | 0.019 | 0.000 | 0.033 | 1.000 | |
| 4T 2004 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.019 | 0.000 | 1.000 |

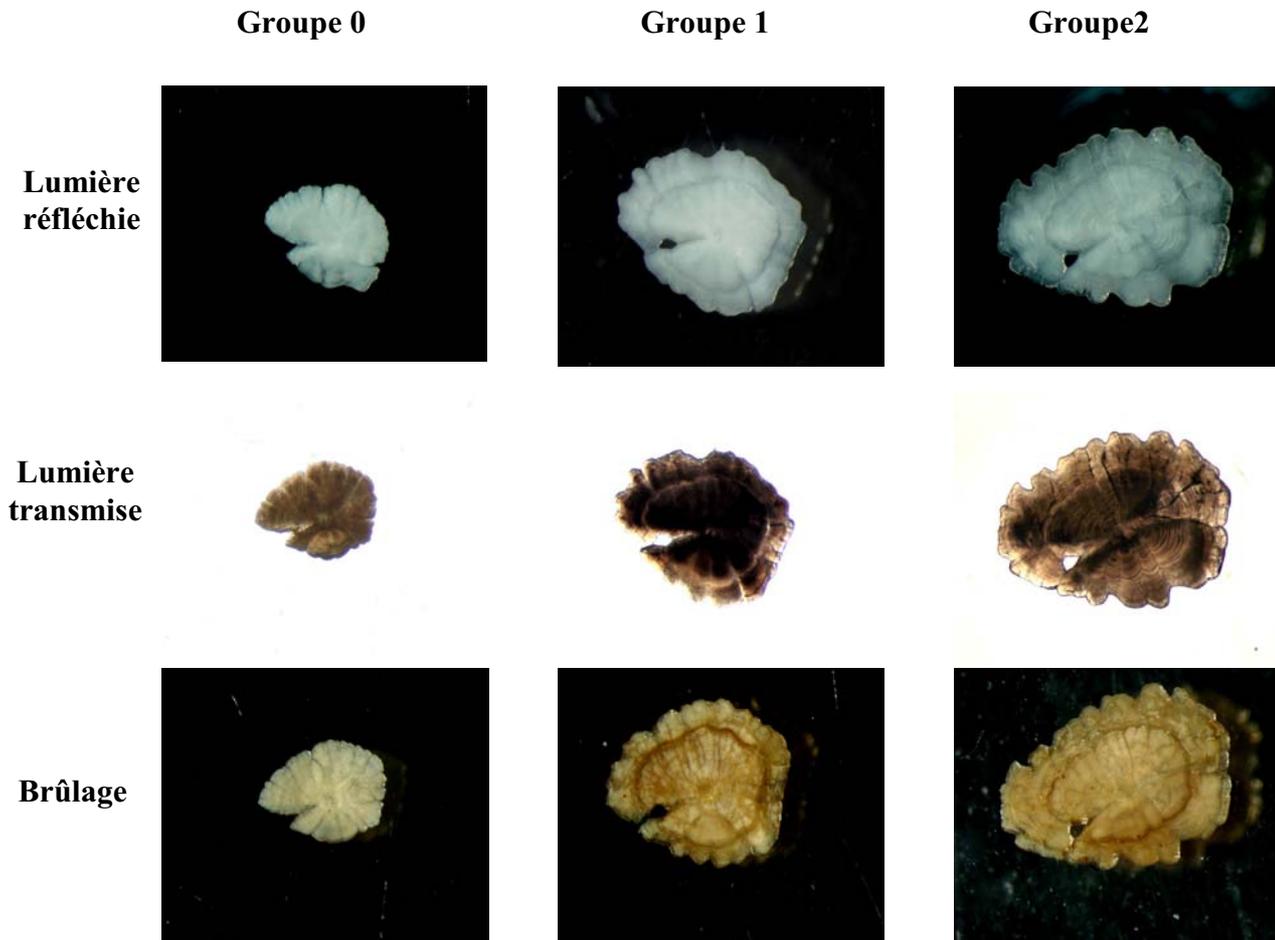
6 : Indice de condition K des mâles en 2004 et 2005 par trimestre.

| | 1T 2004 | 1T 2005 | 2T 2004 | 2T 2005 | 3T 2004 | 4T 2004 |
|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|
| 1T 2004 | 1.000 | | | | | |
| 1T 2005 | 0.000 | 1.000 | | | | |
| 2T 2004 | 0.025 | 0.028 | 1.000 | | | |
| 2T 2005 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 1.000 | | |
| 3T 2004 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.639 | 1.000 | |
| 4T 2004 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.815 | 0.859 | 1.000 |

7 : Indice de condition K des mâles, des femelles et des immatures selon l'année et la campagne scientifique.

| | F-CGFS 2001 | F-CGFS 2002 | F-CGFS 2003 | F-EHOE 2003 | I-CGFS 2003 | I-EHOE 2003 | M-CGFS 2002 | M-CGFS 2003 | M-EHOE 2003 |
|-------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|
| F-CGFS 2001 | 1 | | | | | | | | |
| F-CGFS 2002 | 0.905 | 1 | | | | | | | |
| F-CGFS 2003 | 0.022 | 0.015 | 1 | | | | | | |
| F-EHOE 2003 | 0.011 | 0.007 | 0.613 | 1 | | | | | |
| I-CGFS 2003 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | | | | |
| I-EHOE 2003 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0.623 | 1 | | | |
| M-CGFS 2002 | 0.001 | 0 | 0.206 | 0.533 | 0 | 0 | 1 | | |
| M-CGFS 2003 | 0.003 | 0.002 | 0.304 | 0.619 | 0 | 0 | 0.956 | 1 | |
| M-EHOE 2003 | 0.004 | 0.002 | 0.28 | 0.563 | 0 | 0 | 0.949 | 0.917 | 1 |

Annexe 3 : Observations à la loupe binoculaire (grossissement *10) d'otolithes de rouget barbet de groupe d'âge 0, 1 et 2 selon les 3 techniques utilisées



**Annexe 4 : Clé taille âge du Rouget barbet en 2004
par groupe d'âge, par mois (1-12) et par sexe (M-F)**

| Groupe 0 | | | | | | | |
|----------|---|---|---|---|---|----|---|
| | 6 | | 7 | | 8 | 12 | |
| longueur | M | F | M | F | M | F | M |
| 77 | | | | | 1 | | |
| 100 | | | | | | | 3 |
| 103 | | | | | | | 1 |
| 105 | | | | | | | 2 |
| 110 | | | | | | | 2 |
| 111 | | | | | | | 1 |
| 117 | | | | | | | 1 |
| 119 | 1 | | | | | | |
| 120 | | | | | | | 2 |
| 121 | | | | | | | 1 |
| 123 | | | | | | | 1 |
| 128 | | | | | | 1 | |
| 130 | | | | | | 1 | |
| 150 | | | 1 | 2 | | | |
| 156 | | | | 1 | | | |
| 158 | | | 1 | 1 | | | |
| 160 | | | | 4 | | | |
| 166 | | | | 1 | | | |
| 167 | | | | 1 | | | |
| 169 | | | | 1 | | | |
| 170 | | | 3 | 1 | | | |
| 171 | | | 1 | | | | |

| Groupe 1 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
|----------|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|----|---|----|---|----|--|
| longueur | 2 | | 3 | | 4 | | 5 | | 6 | | 7 | | 8 | | 9 | | 10 | | 11 | | 12 | |
| | F | M | F | M | F | M | F | M | F | M | F | M | F | M | F | M | F | M | F | M | F | |
| 124 | | | | | 1 | | | | 1 | | | | | | | | | | | | | |
| 125 | | | | | | | | | | 1 | | | | | | | | | | | | |
| 128 | | | | | | | 1 | | | | | | | | | | | | | | | |
| 130 | | | | | | | | | 1 | 2 | | | | | | | | | | | | |
| 132 | | | 1 | | | | | | | 2 | | | | | | | | | | | | |
| 133 | | | | | | | | | 1 | | | | | | | | | | | | | |
| 134 | | | | | | | | | | 2 | | | | | | | | | | | | |
| 135 | | | | | | 2 | | | 1 | | | | | | | | | | | | | |
| 136 | | | | | 2 | 1 | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 138 | | | | | | | 1 | | | 1 | | | | | | | | | | | | |
| 139 | | 1 | | | | | | | | 1 | | | | | | | | | | | | |
| 140 | | | 1 | | | | 1 | | | 1 | | | | | | | | | | | | |
| 141 | | | | | | | 2 | | | | | | | | | | | | | | | |
| 143 | | | | | | | | | | 2 | | | | | | | | | | | | |
| 144 | | | | 1 | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 145 | | | | 1 | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 146 | 1 | | | | | 1 | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 147 | | | 1 | | | | | | 1 | | | | | | | | | | | | | |
| 148 | 1 | | | | | | 1 | 1 | | | | | | | | | | | | | | |
| 149 | | | | 1 | | | 1 | 2 | | | | | | | | | | | | | | |
| 150 | | 1 | | | | | 1 | | | | | | | | | | | | | | | |
| 151 | | | 3 | | 1 | | | 1 | | | | | | | | | | | | | | |
| 152 | | | | | | 1 | | 1 | | | | | | | | | | | | | | |
| 154 | | | | | 1 | 1 | | 1 | | | | | | | | | | | | | | |
| 155 | | | 1 | | | | 2 | 1 | | | | | | | | | | | | | | |
| 157 | | 1 | 1 | | 1 | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 158 | 1 | 1 | | 2 | | 1 | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 159 | | | | 1 | | | 1 | | | | | | | | | | | | | | | |

Groupe 1

| longueur | 2 | | 3 | | 4 | | 5 | | 6 | | 7 | | 8 | | 9 | | 10 | | 11 | | 12 | |
|----------|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|----|---|----|---|----|---|
| | F | M | F | M | F | M | F | M | F | M | F | M | F | M | F | M | F | M | F | M | F | |
| 160 | | | | | | 1 | 2 | | | | | | | | | | | | | | | |
| 161 | 3 | | 1 | 2 | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 162 | | | | | 2 | 1 | 1 | | | | | | | | | | | | | | | |
| 164 | 1 | 1 | | | | | 1 | 1 | | | | | | | | | | | | | | |
| 165 | | | 1 | | | | 1 | | | | | | | | | | | | | | | |
| 167 | | | | | | | | | | | | 1 | | | | | | | | | | |
| 169 | 1 | | | | | | | 1 | | | | | | | | | | | | | | |
| 170 | | 1 | | | | | 1 | | | | 1 | | | | 1 | | | | | | | |
| 171 | | 1 | | | | | | | | | | | | | 1 | | | | | | | |
| 174 | | | | | | | | | | | | | | | | 1 | | | | | | |
| 175 | | | | | | | | | | | 1 | 1 | | | | 1 | | | | | | |
| 176 | | | | | | 1 | | | | | | | | | 1 | | | | | | | |
| 177 | | | | | | 1 | | | | | | | | | | 1 | | | | | | |
| 179 | | | | | | | | | | | 1 | | | | 1 | | | | | | | |
| 180 | | | | | | | | | | | 3 | | | | 1 | | | | | | | |
| 182 | | | | | | | | | | | | | | | 1 | | 1 | | | | | |
| 185 | | | | | | | | | | | 1 | | | | | | 2 | | | | | |
| 186 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | 1 | |
| 187 | | | | | | | | | | | | | | | 2 | | | | 1 | | | |
| 188 | | | | | | | | | | | | | | | 1 | 1 | | | | | | |
| 189 | | | | | | | | | | | | | | | | | 1 | | | | | |
| 190 | | | | | | | | | | | | 3 | 2 | | 1 | | | | | | 2 | |
| 191 | | | | | | | | | | | | | | | 1 | | | | | | 2 | |
| 192 | | | | | | | | | | | | 1 | | | | | | | | | | |
| 193 | | | | | | | | | | | | | | 1 | | 1 | | | | | 2 | |
| 195 | | | | | | | | | | | | 1 | 1 | | | | | | | | | |
| 196 | | | | | | | | | | | | 1 | 1 | | | | | | | | 1 | |
| 197 | | | | | | | | | | | | 1 | | | | | | | | | | |
| 198 | | | | | | | | | | | | | | | | | | 1 | | | | |
| 200 | | | | | | | | | | | | | 2 | | | | | | | | 2 | |
| 202 | | | | | | | | | | | | | 1 | | | | 1 | | | | 1 | |
| 203 | | | | | | | | | | | | | 1 | | | | | | | | 2 | |
| 205 | | | | | | | | | | | | | 1 | | | | 1 | | | | | |
| 207 | | | | | | | | | | | | | 1 | | | | | | | | | |
| 209 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | 1 | |
| 210 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | 1 | | |
| 212 | | | | | | | | | | | | | | | | | 1 | | | | | |
| 213 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | 1 | | |
| 214 | | | | | | | | | | | | 1 | | | | | | | | | | |
| 218 | | | | | | | | | | | | | 1 | | | | | | | | | |
| 221 | | | | | | | | | | | | | | 2 | | | 1 | | | | | |
| 222 | | | | | | | | | | | | | | 1 | | | 1 | | | | | |
| 225 | | | | | | | | | | | | | | | | | 1 | | | | | |
| 226 | | | | | | | | | | | | | | | | | 1 | | | | | |
| 228 | | | | | | | | | | | | | | | | | | 1 | | | | |
| 229 | | | | | | | | | | | | | 1 | | | | | | | | | |
| 231 | | | | | | | | | | | | | | | | | 1 | | | | | |
| 242 | | | | | | | | | | | | | | | | | 1 | | | | | |
| 246 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | 2 |
| 247 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | 1 |
| 248 | | | | | 1 | | | | | | | | | | | | 1 | | | | | 1 |
| 251 | | | | | | | | | | | | | | | | 1 | | | | | | |
| 253 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 254 | | | | | | | | | | | 1 | | | | | | | | | 1 | | |
| 255 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | 2 | | |
| 259 | | | | | | | | | | | 1 | | | | | | | | | | | 1 |
| 260 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | 1 |
| 261 | | | | | | | | | | | 1 | | | | | | | | | | | |
| 262 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | 1 | | |
| 264 | | | | | | | | | | | 1 | | | | | | | | | | | |
| 266 | | | | | | | | | | | 1 | | | | | | | | | | | |
| 267 | | | | | | | | | | | 1 | | | | | | | | | | | |
| 275 | | | | | | | | | | | 1 | | | | | | | | | | | 1 |

Groupe 2

| longueur | 2 | | 3 | | 4 | 5 | | 6 | 7 | 9 | 10 | | 11 | | 12 |
|----------|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|----|---|----|---|----|
| | F | M | F | M | F | M | F | F | F | F | M | F | M | F | |
| 204 | | | | 1 | | | | | | | | | | | |
| 215 | | | | | 1 | | 1 | | | | | | | | |
| 222 | | | | 1 | | | | | | | | | | | |
| 231 | | | | 1 | | | | | | | | | | | |
| 232 | | | | 2 | | | | | | | | | | | |
| 236 | 1 | | | | | | | | | | | | | | |
| 239 | | | | 2 | | | | | 1 | | | | | | |
| 240 | 1 | | | 1 | | | | | | | | | | | |
| 241 | | | | | | 1 | | | | | | | | | |
| 242 | | | | | | 1 | | | | | | | | | |
| 245 | 1 | 1 | | | | 1 | | | | | | | | | |
| 246 | | | | | | 1 | | | | | | 1 | | | |
| 247 | 1 | | | 2 | | 1 | | | | | | | | | |
| 248 | 1 | | | | | | | | | | | | | | |
| 249 | | | | 1 | | | | | | | | | | | |
| 250 | 4 | | | | | 2 | | | | | | | | | |
| 251 | | | | | | 1 | | | | | | | | | |
| 252 | 1 | | | 1 | | | | | 1 | | | | | | |
| 253 | 2 | | | | | 1 | | | | | | | | | |
| 254 | | 1 | | | | | | | | | | | | 1 | |
| 255 | | | | | | 1 | 1 | | 1 | | | | | | |
| 256 | | | | | | 1 | | | | | | | | | |
| 257 | | | | | | | | | 1 | | | | | | |
| 258 | 1 | | | | | | | | | | | | | | |
| 259 | | | | 1 | | | | | | | | | | 1 | |
| 260 | 1 | | | | | 3 | | | | | | | | | |
| 261 | 1 | | | | | | | 1 | | | | | | | |
| 262 | | | | | | | | | | | | | | 1 | |
| 265 | | | | | | | 1 | | | | | | | | |
| 267 | | | | | | 1 | | | 1 | | | | | | 1 |
| 268 | | | | | | 1 | | | 1 | 1 | | | | | |
| 269 | | | | | | | | | | | | 1 | | | |
| 270 | | | | | | | | | | | | 1 | | | |
| 271 | 1 | | | | | | | | | | | | | | |
| 272 | | | | | | | | | | | | | | | 1 |
| 276 | | | | | | 1 | | | | | | | | | |
| 277 | 1 | | | | | | | | | | | | | | |
| 278 | 1 | | | | | | | | | | | | | | |
| 279 | | | | | | | | | | | | 1 | | | 1 |
| 280 | | | | | | | 1 | | | | | 1 | | | |
| 281 | | | | | | | | | | | | | | | 1 |
| 284 | | | | | | | | | | | | 1 | | | |
| 285 | | | | | | | | | | | | 1 | | | 2 |
| 286 | | | | | | | | | | | | 2 | | | |
| 289 | | | | | | 1 | | | | 2 | | | | | |
| 290 | | | | | | | | | | | | | | | 1 |
| 291 | | | | | | | | | | 1 | | | | | |
| 292 | | | | | | | | | | 1 | | | | | |
| 294 | | | | | | | | | | | 1 | | | | |
| 295 | | | | | | | 1 | | | | | | | | |
| 296 | | | | | | | | | 1 | | | | | 1 | |
| 298 | | | | | | | | | | | | | | 1 | |
| 299 | | | | | | | | | | | | | | | 1 |
| 300 | | | | | | | | | | | 2 | | | | |
| 305 | | | | | | | | | | | | | | 1 | |
| 313 | | | | | | | | | | | | | | 1 | |
| 332 | | | | | | | | | | | | | | | 1 |

Groupe 3

| | 2 | 3 | | 4 | | 5 | 6 | 9 | 10 | 11 |
|----------|---|---|---|---|---|---|---|---|----|----|
| longueur | F | F | M | F | M | F | F | F | F | F |
| 173 | | | | 1 | | | | | | |
| 228 | | | 1 | | | | | | | |
| 240 | | | 1 | | | | | | | |
| 258 | | | | | 1 | | | | | |
| 260 | 1 | | | | | | | | | |
| 268 | | | 1 | | | | | | | |
| 270 | | | | 1 | | | | | | |
| 271 | 1 | | | | | | | | | |
| 272 | | | | 1 | | | | | | |
| 273 | | | | | | 1 | | | | |
| 277 | 1 | | | | | | | | | |
| 280 | | | | | | | | 1 | | |
| 282 | | 1 | | 1 | | | | | | |
| 284 | | | | | | 1 | | | | |
| 286 | 1 | | | | | | | | | |
| 294 | | | | | | 1 | | | | |
| 295 | | | | | | 1 | | | | |
| 300 | | | | | | | | | 1 | |
| 304 | | | | | | 1 | | 1 | | |
| 325 | | | | | | | | | | 1 |
| 330 | | | | | | | 1 | | | |
| 341 | | | | | | | 1 | | | |
| 354 | | | | | | | 1 | | | |

Groupe 4

| | 5 | 6 | 7 | 9 | | 11 |
|----------|---|---|---|---|---|----|
| longueur | F | F | F | F | M | F |
| 249 | | | 1 | | | |
| 293 | | | | | | 1 |
| 305 | | | | | 1 | |
| 307 | | | | 1 | | |
| 315 | | 1 | | | | |
| 320 | | 2 | | | | |
| 325 | | 1 | | | | |
| 330 | | | 1 | | | |
| 331 | | 2 | | | | |
| 334 | | | | 1 | | |
| 340 | 1 | | | | | |
| 356 | | 1 | | | | |
| 368 | | | | | | 1 |
| 389 | | | | | | 1 |
| 400 | | 1 | | | | |

Groupe 5

| | 5 | 6 |
|----------|---|---|
| longueur | F | F |
| 340 | | 1 |
| 342 | 2 | |

Groupe 6

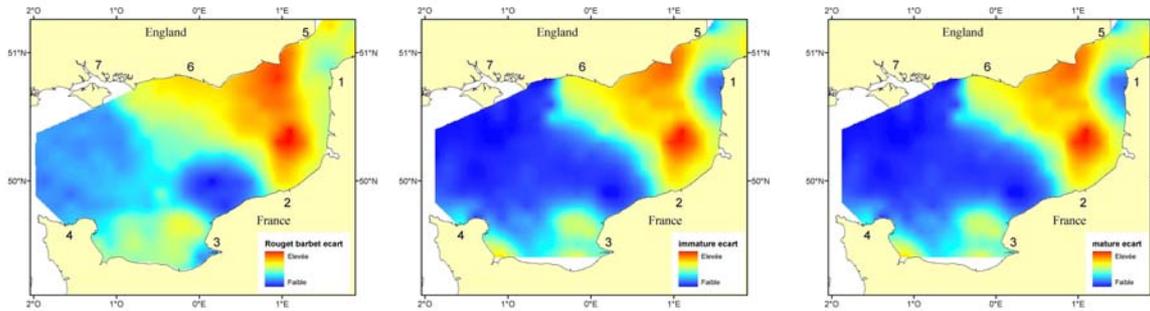
| | 5 | 6 | 9 |
|----------|---|---|---|
| longueur | F | F | F |
| 366 | | 1 | |
| 372 | | | 1 |
| 414 | | 1 | |
| 420 | 1 | | |

Groupe 7

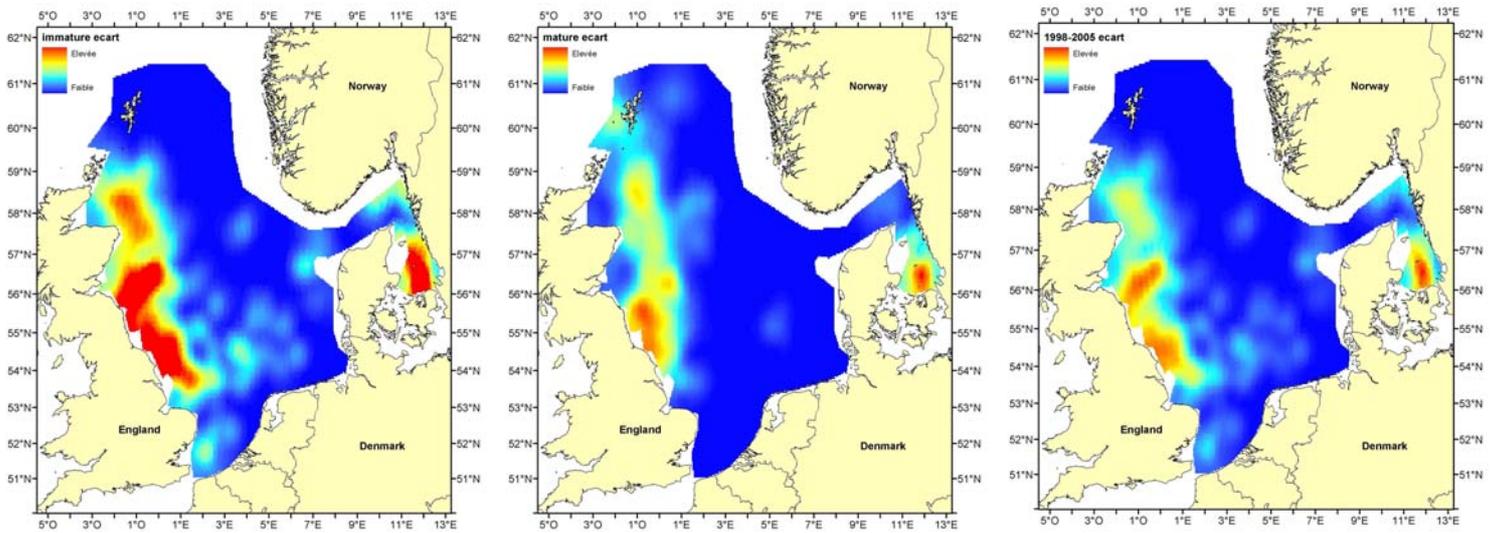
| | 6 | 9 |
|----------|---|---|
| longueur | F | F |
| 380 | 1 | |
| 425 | | 1 |

Annexe 5 : Ecart-type des moyennes d'abondance de rougets barbets

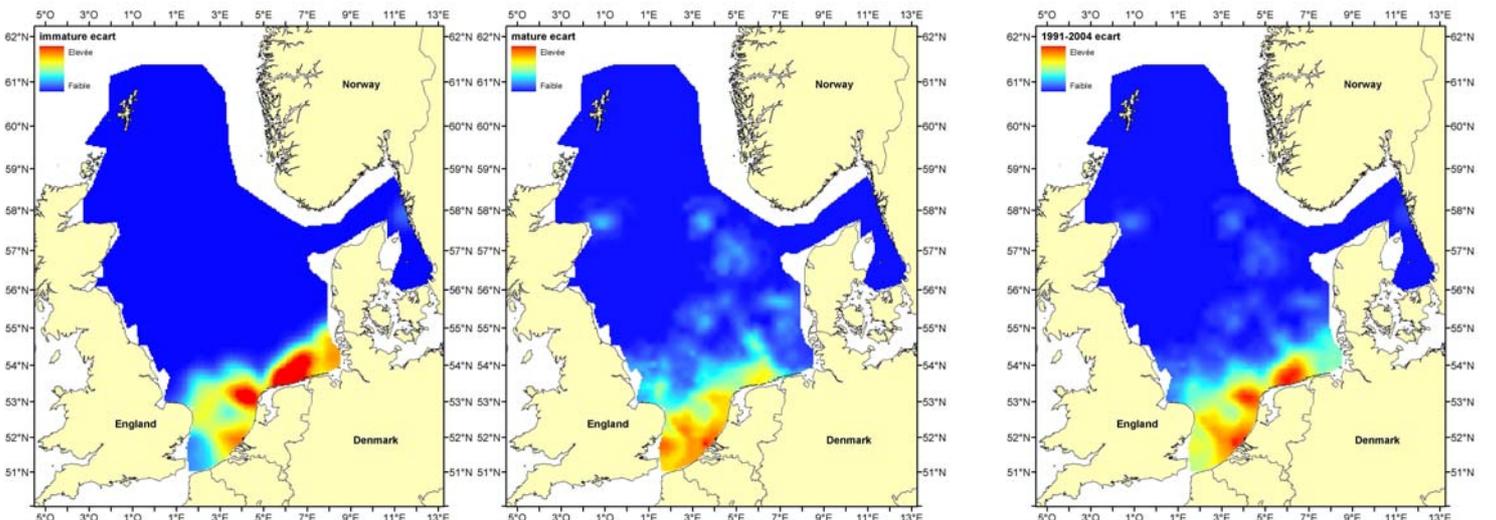
Campagne CGFS (1988-2004) :



Campagne IBTS 1^{er} trimestre (1998-2005) :

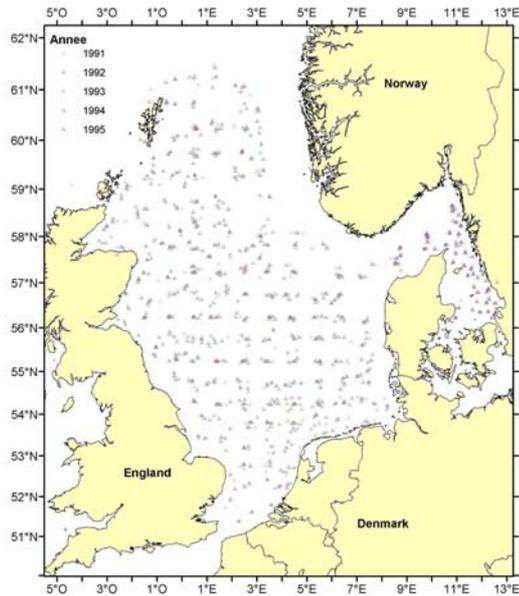


Campagne IBTS 3^{er} trimestre (1991-2004) :

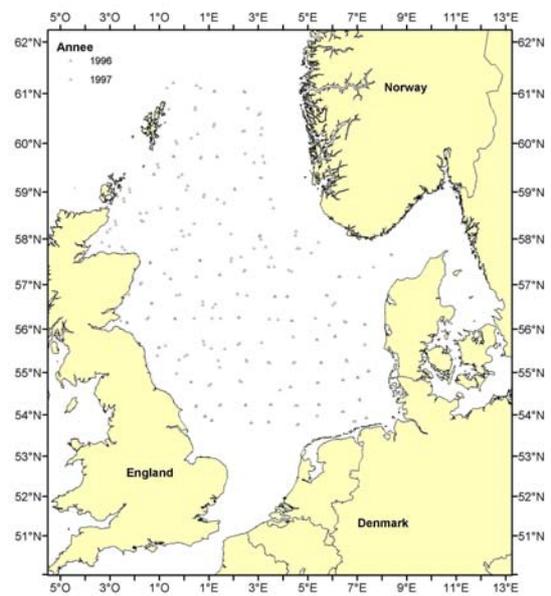


Annexe 6 : Plan d'échantillonnage de la campagne IBTS en mer du Nord pour le deuxième et le quatrième trimestres.

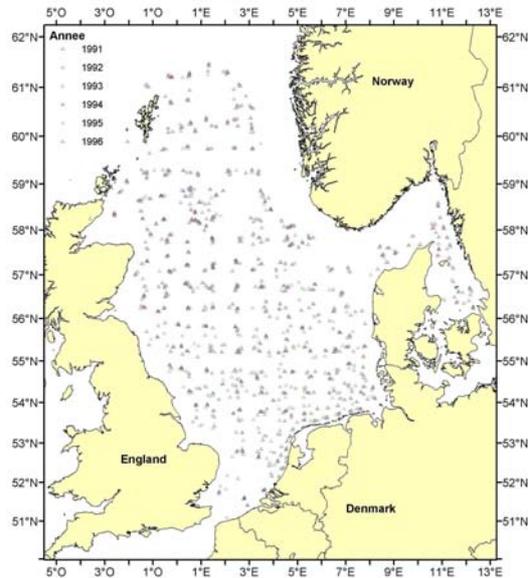
Positions des traits échantillonnées
au second trimestre
lors d'IBTS de 1991 à 1995.



Positions des traits échantillonnées
au second trimestre
lors d'IBTS en 1996 et en 1997.



Positions des traits échantillonnées au quatrième trimestre lors d'IBTS de 1991 à 1996.



Annexe 7 : Importance relative des proies (nombre moyen par estomac) dans l'alimentation du rouget barbet par site d'étude avec l'indication de la nature du fond qui les caractérisent.

| milieu caractéristique | groupe taxinomique | espèce | Sites d'études | | | | |
|----------------------------|----------------------------|---------------------------------|----------------|----------------|----------------|---------|----------|
| | | | Référence | Recolonisation | Effets cumulés | Dragage | Surverse |
| galets | Bivalves | <i>divers</i> | | 0.33 | | | |
| | Annélides | <i>divers</i> | 2.00 | 0.83 | 1.00 | 0.38 | |
| | Décapodes | <i>Upogebia deltaura</i> | 0.20 | | | 0.14 | |
| | Amphipodes | <i>Ampelisca typica</i> | 0.40 | | | 0.19 | |
| | | <i>Ampelisca spinipes</i> | 2.80 | 4.33 | 0.27 | 0.90 | 1.00 |
| | | <i>Ophiuridae</i> | | 0.83 | | | |
| | Crustacés | <i>divers</i> | 0.80 | 0.50 | 0.27 | 0.62 | |
| | Echinodermes | <i>Amphipholis squamata</i> | 0.20 | | 0.45 | 0.33 | |
| | | <i>Amphiura securigera</i> | 0.80 | | | | |
| | Divers | <i>Amphioxus sp</i> | 2.60 | 1.00 | 0.09 | 0.05 | |
| | Gastéropodes | <i>Crepidula fornicata</i> | | | 0.05 | | |
| | Amphipodes | <i>Abludomelita obtusata</i> | | 0.17 | 0.18 | | |
| | | <i>Cheirocratus sundevalli</i> | | | 0.09 | 1.57 | |
| | Décapodes | <i>Pisidia longicornis</i> | | 1.00 | 1.55 | 3.33 | |
| <i>Galathea intermedia</i> | | | 0.33 | 1.18 | 2.48 | | |
| sables fins | Bivalves | <i>Ensis sp</i> | | 0.17 | | | 0.50 |
| | | <i>Moerella pygmaea</i> | | 0.33 | 2.27 | 0.10 | 0.50 |
| | Annélides | <i>Nephtys cirrosa</i> | | 0.17 | 3.64 | 2.05 | 7.00 |
| | | <i>Ophelia borealis</i> | | | 0.18 | 0.14 | 1.50 |
| | Amphipodes | <i>Urothoe brevicornis</i> | | 0.33 | 1.55 | 0.48 | |
| | | <i>Urothoe sp</i> | | | | 0.62 | |
| | | <i>Bathyporeia sp</i> | | | 0.73 | 0.29 | |
| | Cumacés | <i>divers</i> | | | | | 1.00 |
| <i>Pseudocuma sp</i> | | | | | 0.10 | 2.00 | |
| Sables envasés | Gastéropodes | <i>divers</i> | | | | 0.19 | |
| | | <i>Rissoa parva</i> | | | | 0.10 | |
| | Annélides | <i>Capitella sp</i> | | | 0.73 | 0.10 | |
| | | <i>Pectinaria koreni</i> | | | 0.64 | 1.71 | 1.50 |
| | | <i>Eone nordmanni</i> | | | 0.36 | 0.57 | |
| | Crustacés | <i>Apseudes latreillii</i> | | 8.67 | 0.73 | 6.95 | |
| Divers | <i>Phoronis sp</i> | | | | | | |
| Indifférent | Gastéropodes | <i>Rissoa parva</i> | | | | 0.10 | |
| | Annélides | <i>Glycera lapidum</i> | 1.00 | 0.33 | 0.36 | 0.24 | 1.00 |
| | | <i>Lumbriconereis impatiens</i> | | | | 0.10 | |
| | | <i>Notomastus latericeus</i> | 0.60 | | 0.91 | 0.05 | |
| | | <i>Divers</i> | | | | | 0.50 |
| | Décapodes | <i>Processa sp</i> | | 0.17 | | 0.29 | |
| | | <i>Macropipus</i> | 0.20 | 0.50 | 0.91 | 3.38 | |
| | Amphipodes | <i>Abludomelita obtusata</i> | | | | 2.67 | |
| Crustacés | <i>Apseudes latreillii</i> | | 8.67 | 0.73 | 6.95 | | |
| Divers | <i>Phoronis sp</i> | | | | | | |

Annexe 8 : Poids moyen (g) par classe de taille et par trimestre.

| Taille (cm) | Trimestre | | | |
|-------------|-----------|-------|--------|--------|
| | 1 | 2 | 3 | 4 |
| 10 | | 7.1 | | |
| 11 | | 9.6 | | |
| 12 | 7.5 | 12.6 | | |
| 13 | 9.8 | 16.3 | 54.5 | |
| 14 | 12.5 | 20.5 | 66.6 | |
| 15 | 15.7 | 25.5 | 80.4 | |
| 16 | 19.4 | 31.3 | 95.9 | |
| 17 | 23.7 | 37.9 | 113.2 | |
| 18 | 28.6 | 45.4 | 132.2 | 59.4 |
| 19 | 34.3 | 53.8 | 153.2 | 70.2 |
| 20 | 40.6 | 63.2 | 176.2 | 82.3 |
| 21 | 47.7 | 73.7 | 201.3 | 95.6 |
| 22 | 55.7 | 85.4 | 228.5 | 110.4 |
| 23 | 64.5 | 98.2 | 258.0 | 126.6 |
| 24 | 74.2 | 112.3 | 289.7 | 144.3 |
| 25 | 85.0 | 127.8 | 323.8 | 163.7 |
| 26 | 96.8 | 144.6 | 360.4 | 184.8 |
| 27 | 109.6 | 162.8 | 399.4 | 207.6 |
| 28 | 123.7 | 182.6 | 441.1 | 232.2 |
| 29 | 138.9 | 204.0 | 485.3 | 258.7 |
| 30 | 155.4 | 227.0 | 532.3 | 287.2 |
| 31 | 173.2 | 251.7 | 582.1 | 317.8 |
| 32 | 192.4 | 278.2 | 634.8 | 350.5 |
| 33 | 213.1 | 306.6 | 690.3 | 385.4 |
| 34 | 235.2 | 336.8 | 748.8 | 422.5 |
| 35 | 258.9 | 369.1 | 810.4 | 462.0 |
| 36 | 284.2 | 403.3 | 875.1 | 504.0 |
| 37 | 311.2 | 439.7 | 943.0 | 548.4 |
| 38 | 339.9 | 478.3 | 1014.1 | 595.4 |
| 39 | 370.4 | 519.1 | 1088.6 | 645.1 |
| 40 | 402.8 | 562.3 | 1166.3 | 697.5 |
| 41 | 437.2 | 607.8 | 1247.6 | 752.6 |
| 42 | 473.5 | 655.8 | | 810.7 |
| 43 | 511.8 | 706.3 | | 871.7 |
| 44 | | | | 935.8 |
| 45 | | | | 1002.9 |

Annexe 9 : Prix moyen (€) du rouget barbet par secteur géographique et par an.

| Année | IVB | IVC | VIID | VIII E | VIID+IVB+IVC | Total |
|-------|-------|-------|------|--------|--------------|-------|
| 1985 | 7.09 | 7.61 | 6.29 | 6.44 | 7.00 | 6.86 |
| 1986 | - | 9.65 | 8.20 | 7.00 | 8.93 | 8.28 |
| 1987 | - | 9.87 | 6.97 | 6.89 | 8.42 | 7.91 |
| 1988 | 10.75 | 9.00 | 9.00 | 6.38 | 9.58 | 8.78 |
| 1989 | 8.84 | 9.19 | 8.54 | 7.27 | 8.85 | 8.46 |
| 1990 | 5.57 | 5.35 | 4.92 | 4.44 | 5.28 | 5.07 |
| 1991 | 10.54 | 10.06 | 6.93 | 6.04 | 9.18 | 8.37 |
| 1992 | 8.25 | 6.63 | 5.57 | 6.04 | 6.82 | 6.62 |
| 1993 | 7.97 | 7.00 | 5.46 | 4.71 | 6.81 | 6.29 |
| 1994 | 9.37 | 9.38 | 7.07 | 6.01 | 8.61 | 7.96 |
| 1995 | - | 3.38 | 3.23 | 4.31 | 3.30 | 3.64 |
| 1996 | 8.71 | 5.31 | 3.84 | 3.76 | 5.95 | 5.40 |
| 1997 | 10.04 | 7.63 | 5.45 | 5.58 | 7.71 | 7.17 |
| 1998 | 8.51 | 3.74 | 3.39 | 4.54 | 5.21 | 5.04 |
| 1999 | 10.00 | 7.00 | 6.00 | 6.00 | 7.67 | 7.25 |
| 2000 | 9.00 | 6.00 | 6.00 | 6.00 | 7.00 | 6.75 |
| 2001 | 8.00 | 6.00 | 6.00 | 6.00 | 6.67 | 6.50 |
| 2002 | 10.00 | 6.00 | 7.00 | 5.00 | 7.67 | 7.00 |
| 2003 | 2.00 | 5.00 | 7.00 | 6.00 | 4.67 | 5.00 |
| 2004 | | | | 5.93 | 5.02 | |

Annexe 10 : Liste de référence des métiers.

| | |
|---------------------------------------|--|
| Chaluts de fond à panneaux (1 navire) | Chaluts de fond à panneaux (1 navire) |
| Divers chalutage | Chalut + casiers Chalut + drague Chalut + filets Chalut + lignes ou palangres Chalut indéterminé (1 navire) Chaluts à perche (1 navire) Chaluts boeufs (non spécifiés) Chaluts boeufs de fond (2 navires) Chaluts boeufs de fond (maillage < 20 mm, 2 navires) Chaluts boeufs pélagiques (2 navires) Chaluts de fond (maillage < 20 mm, 1 navire) Chaluts indéterminés (1 ou 2 navires) Chaluts jumeaux à panneaux Chaluts pélagiques à panneaux (1 navire) Plusieurs chaluts (1 navire) Plusieurs chaluts boeufs (2 navires) |
| Divers métiers | Balais, fagots Casier à bouquets Casier à buccins Casier à grands crustacés Casier à seiche Lignes à main, lignes à cannes manœuvrées à la main (mitraille, palangrotte) Plusieurs engins indéfinis Plusieurs types de casiers Sennes manœuvrées par un bateau (sennes coulissantes, bolinche) |
| Drague | Tamis à civelle manœuvrés par un bateau [filet(s) avec largeur <= 1.20m] Divers dragues Drague + filets Drague + lignes ou palangres Dragues (non spécifiées) Dragues à armature à couteaux remorquée par un bateau Dragues à armature à dents remorquée par un bateau |
| Filets | Filets + casiers Filets + palangres Filets maillants (non spécifiés) Filets maillants calés (ancrés, filets maillants de fond à une nappe) Filets maillants dérivants Filets maillants et filets emmêlants (non spécifiés) Trémail (filets maillants de fond à plusieurs nappes) Divers palangres Ligne de traîne Palangres + casiers Palangres calées (palangres de fond) Palangres non spécifiées |

Annexe 11 : Longueur moyenne (m) des navires de référence par secteur géographique.

| Zone géographique : IVB-IVC | | | |
|-----------------------------|---------|---------|---------|
| an | Moyenne | Minimum | Maximum |
| 1985 | 21.21 | 17.20 | 29.00 |
| 1986 | 21.18 | 12.90 | 29.00 |
| 1987 | 21.58 | 12.87 | 29.00 |
| 1988 | 20.42 | 10.40 | 28.00 |
| 1989 | 21.73 | 10.50 | 28.00 |
| 1990 | 21.26 | 10.40 | 28.00 |
| 1991 | 21.79 | 10.40 | 37.74 |
| 1992 | 22.39 | 14.00 | 37.74 |
| 1993 | 22.19 | 10.40 | 37.74 |
| 1994 | 22.70 | 15.80 | 37.74 |
| 1995 | 22.29 | 10.40 | 26.05 |
| 1996 | 22.41 | 14.00 | 24.95 |
| 1997 | 22.58 | 14.00 | 24.95 |
| 1998 | 22.54 | 14.90 | 24.95 |
| 1999 | 22.27 | 11.94 | 24.95 |
| 2000 | 22.07 | 9.00 | 24.44 |
| 2001 | 22.06 | 9.00 | 24.95 |
| 2002 | 22.59 | 11.56 | 24.95 |
| 2003 | 22.50 | 10.40 | 24.95 |
| 2004 | 22.81 | 10.40 | 24.45 |

| Zone géographique : VIID | | | |
|--------------------------|---------|---------|---------|
| an | Moyenne | Minimum | Maximum |
| 1985 | 18.49 | 10.00 | 24.95 |
| 1986 | 19.00 | 8.09 | 25.00 |
| 1987 | 18.79 | 10.00 | 28.00 |
| 1988 | 18.58 | 7.52 | 28.00 |
| 1989 | 18.92 | 9.86 | 27.91 |
| 1990 | 18.42 | 7.90 | 27.91 |
| 1991 | 19.47 | 8.22 | 28.18 |
| 1992 | 19.83 | 8.56 | 28.18 |
| 1993 | 19.45 | 8.09 | 28.18 |
| 1994 | 20.12 | 8.80 | 28.18 |
| 1995 | 20.11 | 9.42 | 37.74 |
| 1996 | 20.07 | 9.36 | 28.18 |
| 1997 | 19.59 | 7.00 | 28.18 |
| 1998 | 19.92 | 8.80 | 28.18 |
| 1999 | 20.58 | 9.36 | 24.95 |
| 2000 | 20.01 | 7.54 | 28.18 |
| 2001 | 19.92 | 8.60 | 24.95 |
| 2002 | 19.84 | 8.60 | 24.95 |
| 2003 | 19.95 | 7.68 | 24.95 |
| 2004 | 19.60 | 8.60 | 24.95 |

| Zone géographique : VIIE | | | |
|--------------------------|---------|---------|---------|
| an | Moyenne | Minimum | Maximum |
| 1985 | 21.61 | 12.73 | 31.25 |
| 1986 | 19.83 | 9.26 | 30.00 |
| 1987 | 20.62 | 8.90 | 30.00 |
| 1988 | 19.52 | 8.90 | 30.00 |
| 1989 | 20.32 | 8.99 | 25.00 |
| 1990 | 19.62 | 8.60 | 25.00 |
| 1991 | 21.83 | 7.00 | 31.85 |
| 1992 | 21.50 | 9.20 | 30.00 |
| 1993 | 21.38 | 9.20 | 28.18 |
| 1994 | 22.17 | 9.20 | 24.98 |
| 1995 | 21.87 | 8.84 | 24.90 |
| 1996 | 21.89 | 9.72 | 24.95 |
| 1997 | 21.31 | 7.50 | 24.95 |
| 1998 | 21.33 | 7.50 | 24.95 |
| 1999 | 20.79 | 9.20 | 24.98 |
| 2000 | 20.70 | 9.20 | 24.98 |
| 2001 | 20.63 | 8.80 | 24.98 |
| 2002 | 20.01 | 8.80 | 24.98 |
| 2003 | 19.33 | 7.86 | 24.98 |
| 2004 | 18.72 | 8.28 | 24.98 |

Annexe 12 : Puissance moyenne (kW) des navires de référence par secteur géographique.

| Zone géographique : IVB-IVC | | | |
|-----------------------------|---------|---------|---------|
| an | Moyenne | Minimum | Maximum |
| 1985 | 431.41 | 280.00 | 662.00 |
| 1986 | 431.07 | 110.00 | 662.00 |
| 1987 | 456.72 | 110.00 | 662.00 |
| 1988 | 400.08 | 66.00 | 626.00 |
| 1989 | 449.01 | 175.00 | 626.00 |
| 1990 | 430.25 | 110.00 | 626.00 |
| 1991 | 446.03 | 110.00 | 883.00 |
| 1992 | 469.19 | 110.00 | 883.00 |
| 1993 | 458.21 | 110.00 | 883.00 |
| 1994 | 477.80 | 220.00 | 883.00 |
| 1995 | 450.21 | 117.00 | 590.50 |
| 1996 | 464.55 | 175.00 | 626.00 |
| 1997 | 477.05 | 175.00 | 626.00 |
| 1998 | 460.69 | 182.00 | 590.50 |
| 1999 | 464.33 | 141.00 | 626.00 |
| 2000 | 442.92 | 55.00 | 662.00 |
| 2001 | 453.92 | 55.00 | 662.00 |
| 2002 | 460.23 | 109.50 | 662.00 |
| 2003 | 463.03 | 109.50 | 662.00 |
| 2004 | 468.88 | 117.00 | 662.00 |

| Zone géographique : VIID | | | |
|--------------------------|---------|---------|---------|
| an | Moyenne | Minimum | Maximum |
| 1985 | 324.71 | 107.00 | 552.00 |
| 1986 | 345.92 | 77.00 | 552.00 |
| 1987 | 354.45 | 87.00 | 626.00 |
| 1988 | 355.91 | 66.00 | 699.00 |
| 1989 | 369.29 | 66.00 | 699.00 |
| 1990 | 352.74 | 51.00 | 699.00 |
| 1991 | 385.06 | 66.00 | 699.00 |
| 1992 | 394.83 | 66.00 | 699.00 |
| 1993 | 385.50 | 66.00 | 699.00 |
| 1994 | 405.47 | 78.00 | 699.00 |
| 1995 | 406.98 | 66.00 | 883.00 |
| 1996 | 406.31 | 66.00 | 699.00 |
| 1997 | 394.89 | 46.00 | 699.00 |
| 1998 | 405.34 | 78.00 | 699.00 |
| 1999 | 415.98 | 92.50 | 699.00 |
| 2000 | 399.67 | 53.00 | 699.00 |
| 2001 | 399.97 | 73.00 | 699.00 |
| 2002 | 395.50 | 76.00 | 699.00 |
| 2003 | 394.93 | 33.00 | 699.00 |
| 2004 | 383.18 | 73.00 | 662.00 |

| Zone géographique : VIIE | | | |
|--------------------------|---------|---------|---------|
| an | Moyenne | Minimum | Maximum |
| 1985 | 405.29 | 109.00 | 529.00 |
| 1986 | 361.91 | 73.00 | 599.00 |
| 1987 | 386.94 | 73.00 | 552.00 |
| 1988 | 361.20 | 73.00 | 552.00 |
| 1989 | 397.92 | 55.00 | 699.00 |
| 1990 | 381.93 | 92.00 | 552.00 |
| 1991 | 448.53 | 46.00 | 662.00 |
| 1992 | 452.58 | 96.00 | 662.00 |
| 1993 | 447.97 | 107.00 | 662.00 |
| 1994 | 472.68 | 88.00 | 599.00 |
| 1995 | 463.05 | 99.00 | 599.00 |
| 1996 | 459.03 | 109.00 | 699.00 |
| 1997 | 430.91 | 26.00 | 699.00 |
| 1998 | 428.10 | 26.00 | 590.00 |
| 1999 | 414.12 | 96.00 | 590.00 |
| 2000 | 401.25 | 96.00 | 626.00 |
| 2001 | 404.47 | 73.00 | 699.00 |
| 2002 | 387.14 | 73.00 | 626.00 |
| 2003 | 368.37 | 71.00 | 626.00 |
| 2004 | 354.45 | 71.00 | 626.00 |

Annexe 13 : Bilan des captures annuelles (tonnes) pour le chalut de fond et la totalité des métiers par secteur géographique.

| Année | IVB-IVC | | VIID | | VIIE | |
|-------|----------------|-------------|----------------|-------------|----------------|-------------|
| | chalut de fond | tout métier | chalut de fond | tout métier | chalut de fond | tout métier |
| 1985 | 14389.32 | 16251.81 | 108023.23 | 112399.33 | 59599.45 | 72562.56 |
| 1986 | 8356.29 | 9811.59 | 65468.54 | 67633.99 | 77667.59 | 84439.06 |
| 1987 | 4949.20 | 5328.52 | 24942.74 | 26036.81 | 93323.01 | 99860.30 |
| 1988 | 3406.18 | 3489.76 | 37829.42 | 37930.03 | 100098.72 | 106767.31 |
| 1989 | 3762.75 | 3857.19 | 29697.15 | 34127.99 | 65556.87 | 72422.85 |
| 1990 | 28568.72 | 33912.87 | 291870.44 | 338308.32 | 149607.89 | 166724.54 |
| 1991 | 21555.90 | 23964.94 | 164554.13 | 178965.16 | 186806.98 | 198064.66 |
| 1992 | 26223.83 | 27718.64 | 350950.04 | 375582.93 | 191092.30 | 200671.05 |
| 1993 | 56474.62 | 60658.90 | 373323.33 | 418792.72 | 248479.94 | 261638.21 |
| 1994 | 52478.09 | 54930.77 | 226739.23 | 245542.26 | 161700.54 | 169761.74 |
| 1995 | 497503.89 | 521521.97 | 1331220.38 | 1454843.30 | 198412.17 | 213336.35 |
| 1996 | 242748.85 | 254644.66 | 1399065.91 | 1490516.68 | 468061.51 | 507785.76 |
| 1997 | 116857.95 | 126368.95 | 552252.63 | 567591.20 | 440712.54 | 512439.16 |
| 1998 | 363395.45 | 367339.05 | 2169147.59 | 2285038.62 | 355102.64 | 431708.65 |
| 1999 | 209757.70 | 211099.70 | 817976.80 | 827773.40 | 533411.90 | 542728.00 |
| 2000 | 571918.60 | 582040.30 | 1740231.60 | 1772502.20 | 490131.60 | 508919.60 |
| 2001 | 349406.90 | 353555.60 | 816534.10 | 831917.50 | 581979.20 | 596037.80 |
| 2002 | 288867.10 | 290875.00 | 846966.40 | 861011.40 | 248933.20 | 262893.50 |
| 2003 | 340853.10 | 342661.50 | 913000.60 | 940228.90 | 419994.00 | 438566.60 |
| 2004 | 995700.00 | 1000836.00 | 5539454.00 | 6370638.00 | 1480582.00 | 1613240.00 |

Annexe 14 : Proportions des captures annuelles par secteur géographique.

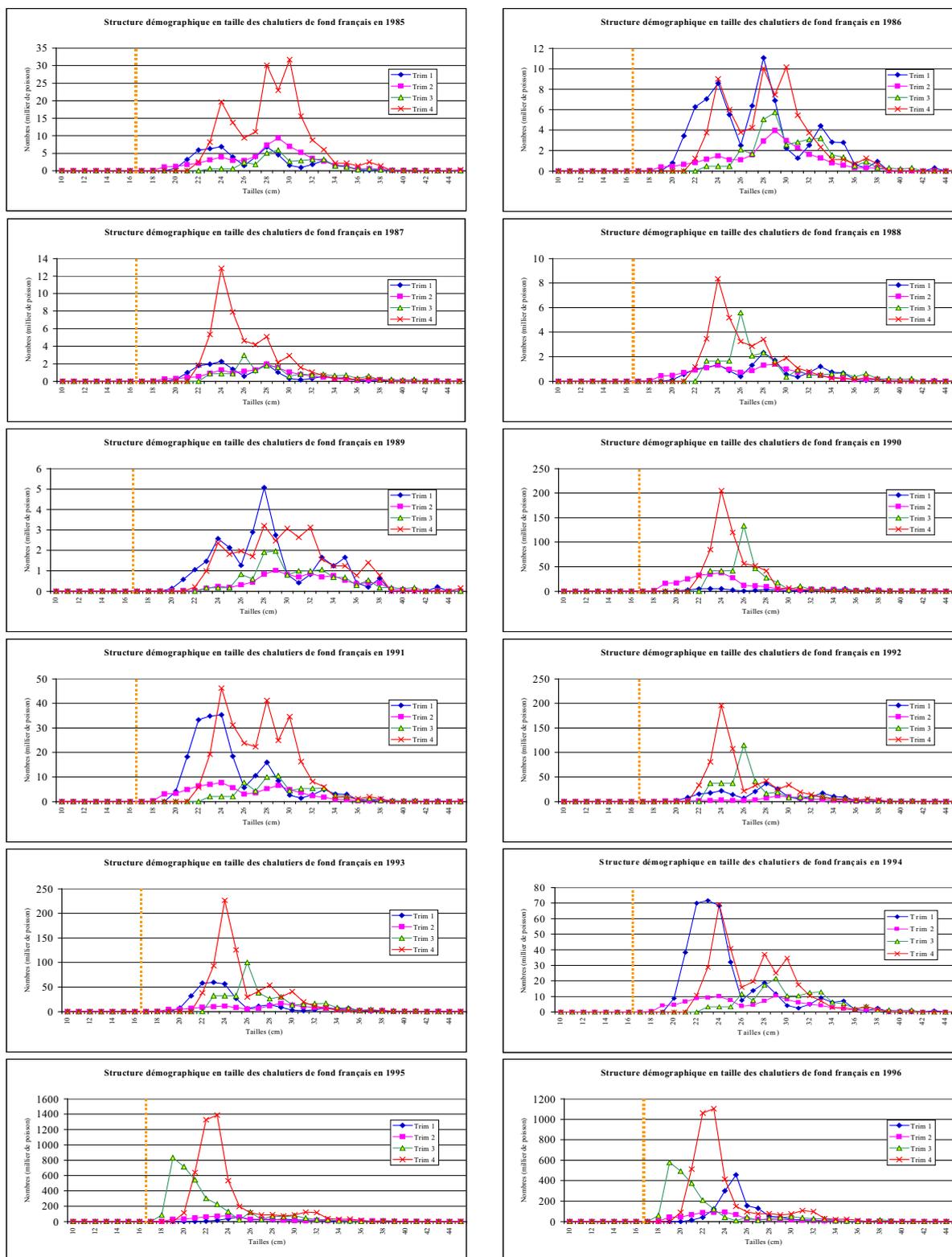
| An | IVB total | IVC total | VIID total | VIII total |
|------|--------------|--------------|---------------|---------------|
| 1985 | 0.01% | 8.07% | 55.86% | 36.06% |
| 1986 | 0.00% | 6.06% | 41.78% | 52.16% |
| 1987 | 0.00% | 4.06% | 19.84% | 76.10% |
| 1988 | 0.00% | 0.71% | 77.48% | 21.81% |
| 1989 | 0.10% | 3.39% | 30.91% | 65.60% |
| 1990 | 0.23% | 6.06% | 62.77% | 30.94% |
| 1991 | 0.19% | 5.79% | 44.63% | 49.39% |
| 1992 | 0.03% | 4.56% | 62.19% | 33.23% |
| 1993 | 0.02% | 8.17% | 56.51% | 35.30% |
| 1994 | 0.14% | 11.54% | 52.22% | 36.10% |
| 1995 | 0.00% | 23.82% | 66.44% | 9.74% |
| 1996 | 0.00% | 11.30% | 66.16% | 22.54% |
| 1997 | 0.18% | 10.29% | 47.05% | 42.48% |
| 1998 | 0.12% | 11.79% | 74.09% | 14.00% |
| 1999 | 0.56% | 12.79% | 52.34% | 34.32% |
| 2000 | 0.09% | 20.24% | 61.90% | 17.77% |
| 2001 | 0.68% | 19.16% | 46.69% | 33.47% |
| 2002 | 0.66% | 19.90% | 60.86% | 18.58% |
| 2003 | 0.91% | 18.99% | 54.62% | 25.48% |
| 2004 | 0.61% | 10.53% | 70.91% | 17.96% |

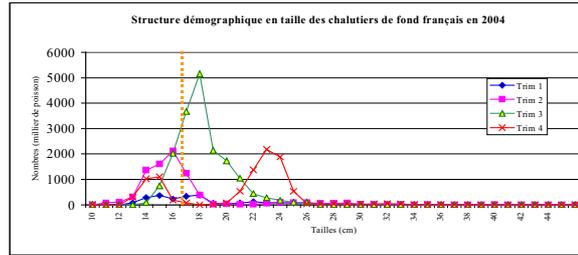
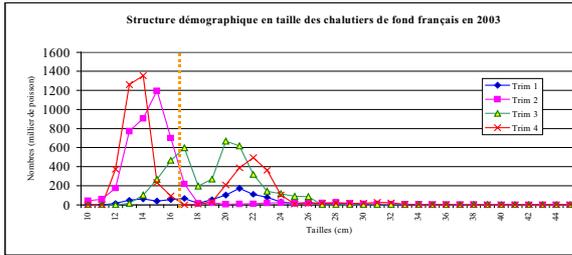
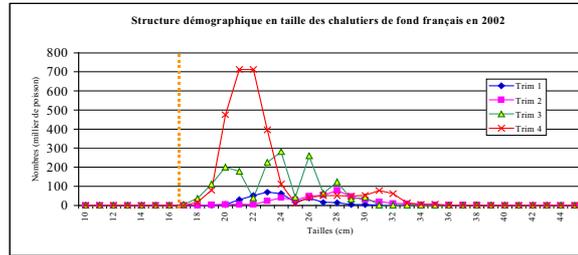
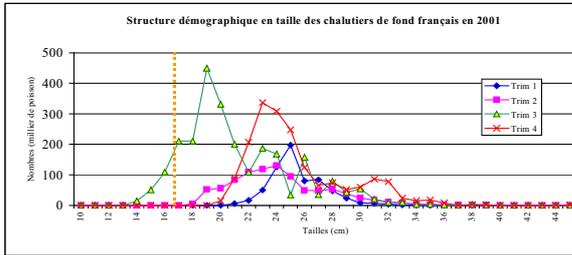
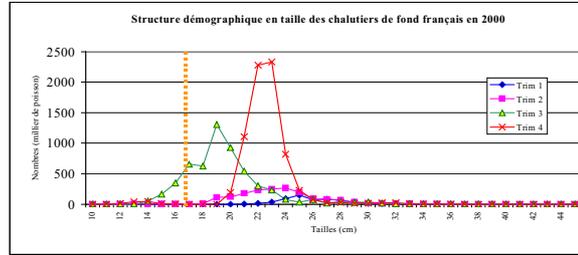
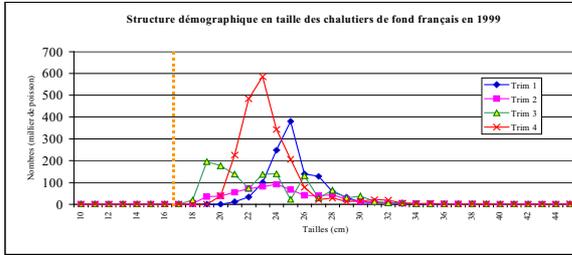
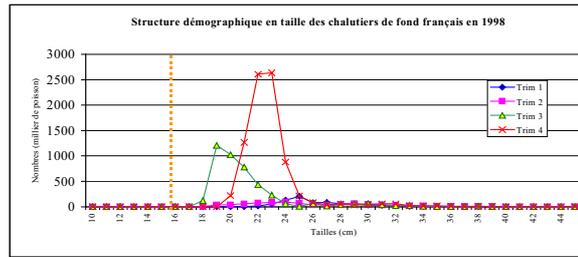
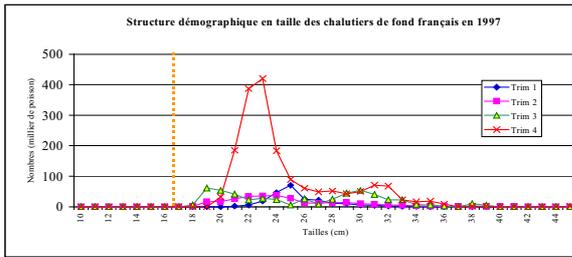
**Annexe 15 : Proportions des catégories commerciales dans les captures annuelles (tonnes)
par secteur géographique.**

| Manche est (VIID) - mer du Nord (IVB et IVC) | | | | | |
|--|--------|--------|--------|--------|--------|
| Année | Cat 10 | Cat 20 | Cat 30 | Cat 40 | Cat 50 |
| 1985 | 7.34% | 32.00% | 28.81% | 57.07% | 0.00% |
| 1986 | 9.70% | 30.07% | 29.99% | 55.30% | 0.00% |
| 1987 | 9.97% | 19.94% | 28.46% | 60.25% | 0.00% |
| 1988 | 11.12% | 20.70% | 27.20% | 59.67% | 0.00% |
| 1989 | 20.43% | 29.35% | 42.21% | 33.74% | 0.00% |
| 1990 | 7.72% | 6.54% | 20.63% | 74.08% | 0.00% |
| 1991 | 5.69% | 25.56% | 24.96% | 63.50% | 0.00% |
| 1992 | 9.21% | 24.37% | 11.17% | 68.99% | 0.00% |
| 1993 | 8.08% | 23.59% | 10.21% | 70.41% | 0.00% |
| 1994 | 9.61% | 28.31% | 13.20% | 65.95% | 0.00% |
| 1995 | 6.83% | 14.45% | 14.56% | 73.61% | 0.00% |
| 1996 | 5.60% | 14.90% | 9.90% | 76.68% | 0.00% |
| 1997 | 7.20% | 22.85% | 15.85% | 68.48% | 0.00% |
| 1998 | 4.56% | 9.92% | 8.72% | 81.17% | 0.00% |
| 1999 | 1.27% | 4.91% | 20.45% | 58.34% | 34.41% |
| 2000 | 0.54% | 2.76% | 6.87% | 50.00% | 59.75% |
| 2001 | 2.89% | 13.19% | 28.83% | 68.97% | 0.00% |
| 2002 | 0.88% | 13.03% | 52.88% | 52.81% | 0.00% |
| 2003 | 1.09% | 4.54% | 21.92% | 24.88% | 65.54% |
| 2004 | 0.63% | 3.62% | 13.29% | 32.10% | 66.81% |

| Manche ouest (VIIE) | | | | | |
|---------------------|--------|--------|--------|--------|--------|
| Année | Cat 10 | Cat 20 | Cat 30 | Cat 40 | Cat 50 |
| 1985 | 5.68% | 19.79% | 29.08% | 63.39% | 0.04% |
| 1986 | 12.43% | 18.61% | 27.18% | 61.96% | 0.00% |
| 1987 | 18.24% | 24.56% | 25.28% | 57.25% | 0.00% |
| 1988 | 15.40% | 24.92% | 22.97% | 59.79% | 0.00% |
| 1989 | 10.95% | 24.56% | 35.26% | 54.36% | 0.00% |
| 1990 | 6.84% | 15.06% | 27.78% | 66.44% | 0.00% |
| 1991 | 7.71% | 18.59% | 24.00% | 66.23% | 0.00% |
| 1992 | 9.82% | 23.41% | 26.12% | 62.14% | 0.00% |
| 1993 | 7.68% | 14.64% | 13.72% | 73.43% | 0.00% |
| 1994 | 9.17% | 17.66% | 13.13% | 71.30% | 0.00% |
| 1995 | 8.97% | 20.29% | 11.85% | 70.73% | 0.00% |
| 1996 | 4.56% | 8.85% | 4.70% | 84.66% | 0.00% |
| 1997 | 6.14% | 13.71% | 10.10% | 76.93% | 0.00% |
| 1998 | 7.17% | 15.08% | 6.82% | 77.45% | 0.00% |
| 1999 | 1.74% | 3.65% | 10.06% | 48.25% | 58.22% |
| 2000 | 2.76% | 7.16% | 20.19% | 44.17% | 54.20% |
| 2001 | 1.69% | 8.94% | 22.64% | 46.73% | 49.01% |
| 2002 | 4.40% | 20.08% | 34.56% | 60.74% | 3.02% |
| 2003 | 0.75% | 3.33% | 29.23% | 22.30% | 64.03% |
| 2004 | 0.58% | 3.85% | 14.97% | 32.76% | 65.62% |

Annexe 16 : Structures démographiques en taille des chalutiers de fond français en Manche est et sud mer du Nord de 1985 à 2004.





Annexe 17 : Structures démographiques en âge du rouget barbet des chalutiers de fond français en Manche est et sud mer du Nord de 1985 à 2004 et par trimestre (Nb*1000).

| Année | Age | | | | | | | | | | | Total |
|-------|----------|----------|----------|---------|---------|--------|--------|--------|-------|------|-------|-----------|
| | 0 | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | |
| 1985 | | 58.35 | 159.06 | 63.44 | 28.19 | 14.14 | 14.56 | 1.38 | 0.34 | 0.14 | 0.27 | 339.87 |
| 1986 | | 26.27 | 84.44 | 42.66 | 20.16 | 16.81 | 15.04 | 1.92 | 0.51 | 0.33 | 0.14 | 208.28 |
| 1987 | | 31.69 | 38.41 | 13.60 | 5.68 | 3.10 | 4.45 | 0.70 | 0.33 | 0.06 | 0.04 | 98.05 |
| 1988 | | 24.65 | 31.52 | 12.55 | 6.54 | 4.46 | 4.96 | 0.80 | 0.34 | 0.08 | 0.03 | 85.93 |
| 1989 | | 7.97 | 28.44 | 16.09 | 8.99 | 6.16 | 10.47 | 1.48 | 0.30 | 0.23 | 0.16 | 80.28 |
| 1990 | | 569.76 | 475.13 | 133.97 | 62.51 | 22.21 | 28.19 | 6.67 | 1.60 | 0.85 | 0.09 | 1300.98 |
| 1991 | | 125.97 | 311.58 | 115.35 | 32.97 | 22.86 | 19.50 | 2.13 | 0.71 | 0.34 | 0.22 | 631.64 |
| 1992 | | 510.79 | 432.17 | 128.23 | 104.96 | 61.40 | 55.13 | 6.47 | 2.31 | 0.92 | 0.55 | 1302.92 |
| 1993 | | 564.70 | 609.26 | 185.82 | 100.36 | 49.73 | 49.44 | 8.24 | 2.45 | 1.01 | 0.33 | 1571.35 |
| 1994 | | 169.20 | 445.15 | 183.10 | 58.63 | 45.00 | 45.07 | 6.65 | 2.01 | 0.93 | 0.36 | 956.10 |
| 1995 | 303.55 | 6467.56 | 1400.38 | 481.73 | 314.10 | 144.70 | 112.44 | 35.27 | 0.42 | 0.54 | 3.90 | 9264.59 |
| 1996 | 210.93 | 4876.52 | 2035.11 | 673.94 | 199.59 | 123.56 | 78.21 | 32.30 | 0.37 | 0.15 | 2.62 | 8233.31 |
| 1997 | 22.33 | 1498.15 | 711.44 | 275.56 | 129.62 | 80.10 | 55.30 | 19.97 | 0.07 | 0.07 | 2.16 | 2794.78 |
| 1998 | 440.20 | 10908.16 | 1571.94 | 624.44 | 282.62 | 166.82 | 84.62 | 32.82 | 0.52 | 0.43 | 2.30 | 14114.87 |
| 1999 | 71.00 | 2496.71 | 1673.42 | 560.67 | 223.65 | 48.43 | 18.29 | 5.46 | 0.18 | 0.04 | 0.35 | 5098.18 |
| 2000 | 1483.23 | 10438.68 | 1893.64 | 958.91 | 169.73 | 62.65 | 20.75 | 6.12 | 0.12 | 0.03 | 0.47 | 15034.32 |
| 2001 | 465.83 | 2561.71 | 1747.33 | 694.86 | 290.67 | 52.90 | 44.87 | 7.56 | 0.05 | 0.07 | 1.95 | 5867.80 |
| 2002 | 50.47 | 3295.42 | 1149.39 | 407.05 | 360.81 | 13.28 | 18.27 | 4.08 | 0.13 | 0.03 | 0.34 | 5299.28 |
| 2003 | 2758.39 | 8268.70 | 942.51 | 428.96 | 158.53 | 16.26 | 12.48 | 7.11 | 0.04 | 0.16 | 0.22 | 12593.36 |
| 2004 | 10379.94 | 22858.61 | 2169.63 | 658.87 | 144.64 | 35.83 | 20.49 | 7.30 | 0.13 | 0.06 | 0.58 | 36276.10 |
| Total | 16185.86 | 75759.57 | 17909.94 | 6659.83 | 2702.94 | 990.40 | 712.55 | 194.44 | 12.91 | 6.48 | 17.06 | 121151.98 |

| Trimestre | Age | | | | | | | | | | | Total |
|-----------|----------|----------|----------|---------|---------|--------|--------|--------|-------|------|-------|-----------|
| | 0 | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | |
| 1 | | 1989.34 | 5241.43 | 1970.34 | 338.61 | 471.98 | 155.43 | 28.90 | 2.01 | 4.46 | | 10202.52 |
| 2 | | 11389.48 | 3450.04 | 3529.32 | 423.26 | 47.70 | 71.54 | 45.37 | | 2.02 | | 18958.71 |
| 3 | 13162.62 | 23701.61 | 4563.05 | 351.68 | 1755.76 | 470.72 | 177.90 | 105.28 | 10.89 | | | 44299.52 |
| 4 | 3023.23 | 38679.14 | 4655.43 | 808.48 | 185.32 | | 307.69 | 14.89 | | | 17.06 | 47691.23 |
| Total | 16185.86 | 75759.57 | 17909.94 | 6659.83 | 2702.94 | 990.40 | 712.55 | 194.44 | 12.91 | 6.48 | 17.06 | 121151.98 |