

Rapport d'avancement du Projet PICOLO

présenté par Emile MARCHAL et Alain MORLIERE

Préambule.

Il ne peut s'agir ici que d'une présentation préliminaire des résultats obtenus à ce jour par le projet PICOLO. En effet, le démarrage du projet a été retardé du fait des problèmes mécaniques rencontrés par le navire ANTEA en 1996. Les opérations à la mer ne sont pas encore terminées et le dépouillement des campagnes réalisées en 1997 (4 campagnes pour 100 jours de mer) et en 1998 (2 campagnes pour 40 jours de mer réalisées et une à venir en novembre) est en cours.

I. Présentation du projet

Origine du projet

Depuis, le début de la décennie 80, de grandes quantités de thons (25 000 T/an en moyenne), appartenant essentiellement aux espèces *Thunnus albacares* (albacore) et *Katsuwonus pelamis* (listao), sont capturées par des navires thoniers senners, d'octobre à avril dans une zone de l'Atlantique équatorial délimitée par l'équateur et 5°N, entre 10°W et 20°W. Il existe deux saisons de pêches: une première période d'octobre à janvier avec des captures de poissons de petite taille (listao majoritairement) et une seconde période de février à avril dominée par les gros albacores en fin de période de reproduction. Par ailleurs, les prises sous objets flottants dans ce secteur sont nombreuses (30% des captures sur la période 88-90) pendant toute la saison de pêche (Ariz et al., 1993).

Une question a alors été posée par des biologistes des pêches de l'ORSTOM:

Pourquoi les thons se concentrent-ils saisonnièrement dans une zone de l'Atlantique tropical située en dehors des grands systèmes océaniques d'enrichissement ?

C'est à cette question que des chercheurs de plusieurs disciplines ont essayé de répondre en bâtissant un projet de recherche à partir d'un certain nombre d'hypothèses environnementales et trophiques : c'est ainsi qu'est né le Projet PicoLO.

Présentation scientifique du Projet

Le programme PICOLO (1997-1998) a été mis en place pour comprendre la productivité importante en terme de pêche thonière d'une zone dite " PICOLO " [EQ-5N, 10W-20W]. Dans cette zone, la pêche importante de thons présente un caractère saisonnier bien marqué, de novembre à janvier pour le listao (*Katsuwonus pelamis*) et les jeunes Albacores (*Thunnus albacares*) et Patudos (*Thunnus obesus*), et de février à avril pour les adultes d'Albacores. Or la zone PICOLO se situe en dehors des systèmes d'enrichissement classique des échelons trophiques primaires et secondaires (Voituriez et Herbland, 1982). Il existe donc un processus d'enrichissement particulier qui conduit, in fine, à la concentration de thons dans la zone PICOLO. Cet enrichissement passe nécessairement par l'intermédiaire des proies des thons. Or la seule biomasse importante dans la zone océanique est représentée par le micronecton, et plus particulièrement les poissons mésopélagiques. Une étude préliminaire (programme MICROTHON) avait montré qu'un de ces poissons, *Vinciguerria nimbaria*, se rencontrait là en bancs de surface de jour, ce qui est tout à fait inhabituel pour des poissons effectuant normalement des migrations nyctémérales (Marchal et Lebourges, 1996). De plus il apparaissait que ces poissons constituaient une proie des thons (Roger et Marchal, 1994).

A l'autre bout du spectre océanique, la physique de la zone PICOLO présente des particularités importantes : cette zone est une région privilégiée pour l'apparition d'oscillations saisonnières (couramment appelées ondes tropicales d'instabilités) des systèmes de courants tels que les courants sud équatorial (CES), contre courant équatorial nord (CCEN) et sous courant équatorial (SCE). Ces oscillations, fortement énergétiques et particulièrement marquées dans la zone PICOLO (Richardson et McKee, 1984) ont certainement un impact particulier sur le développement de la chaîne trophique comme observé dans l'océan pacifique est en 1994 (Murray et al., 1994).

C'est ce lien probable entre l'activité des instabilités hydrodynamiques et le développement d'une chaîne trophique particulière conduisant à la concentration saisonnière de thons qui sous-tend le projet PICOLO schématisé dans le diagramme présenté ici.

Fonds Documentaire IRD



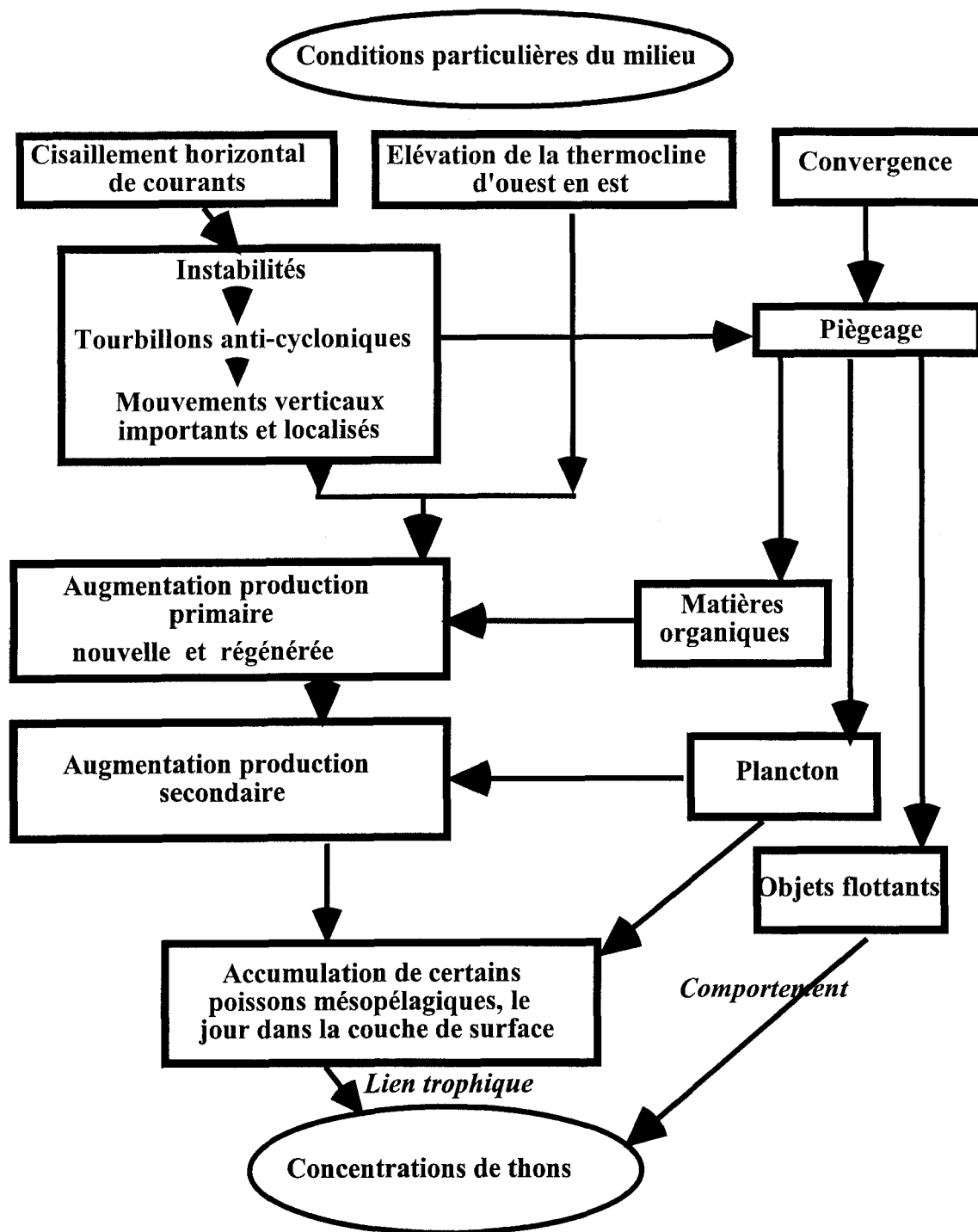
010025385

Fonds Documentaire IRD

Cote : Ax 25385

Ex : unique

A*



Les observations ont montré que lorsque les systèmes de courants équatoriaux étaient les plus intenses, les CES, CCEN, SCE pouvaient osciller, les températures de surface présentaient alors des fronts de température abrupts et méandreux et on pouvait observer la formation de tourbillons anticycloniques. Ces oscillations et apparitions de fronts sont immédiatement visibles sur des données de températures de surface de l'océan (Legeckis, 1977). L'analyse de ces oscillations dans le pacifique ou l'atlantique dans des données courantométriques (Weisberg et Weingartner, 1988, McPhaden, 1996, Qiao et Weisberg, 1995) suggèrent que les mécanismes générateurs de tourbillons, des oscillations du CES-SCE et des oscillations du CES-CCEN ne sont pas nécessairement liés (Kennan, 1997). Kennan (1997) pour la première fois, a étudié les mécanismes

générateurs d'un tourbillon observé dans sa structure tridimensionnelle (Flament et al., 1996) et a montré qu'en effet, dans le pacifique, le tourbillon associé à une ondulation type du front thermique (se déplaçant aux environs de 40km/j vers l'ouest) observée par Legeckis (1987), était clairement dissocié des oscillations des CES et SCE. Pour la première fois était étudiée de manière exhaustive, dans le pacifique équatorial, la dynamique tridimensionnelle du tourbillon. Au cours de ce travail, il est clairement apparu que le tourbillon présentait une zone de forte convergence (fort downwelling) et de subduction située dans la crête de l'ondulation thermique ainsi qu'une zone de forte divergence (fort upwelling) située au creux de l'ondulation, une analyse confirmant la dynamique suggérée par les modèles de circulation (Harrison, 1996).

La chaîne trophique est particulièrement sensible à de telles zones énergétiques et frontales ; son apparition est favorisée par les convergences et les fortes vitesses verticales qui peuvent amener des sels nutritifs dans la couche euphotique où la photosynthèse peut prendre place. On sait, par exemple, que les tourbillons associés aux méandres du Gulf Stream sont particulièrement productifs. Il est donc probable, à l'instar des observations de Yoder et al. (1994) dans le pacifique, que la zone tourbillonnaire de PICOLO puisse être le lieu d'une production primaire, secondaire et tertiaire importante.

Le problème du développement de la chaîne trophique lors des instabilités est attaqué sous l'angle de la modélisation avec le développement d'un modèle couplé dynamique haute résolution (OPA) au modèle bio-géochimique à l'échelle du bassin (Ballé, 1998, Menkes et al., 1997). Le modèle bio-géochimique retenu est un modèle à 5 compartiments biologiques NO_3 , NH_4 , phytoplancton, zooplancton et détritus (NNPZD) qui semble être le compromis rationnel à adopter pour modéliser les processus de production primaire et secondaire principaux avec un minimum de paramètres inconnus et que les mesures des campagnes PICOLO pourront aider à contraindre. Les relations entre les échelons supérieurs de la chaîne trophique, et notamment entre les thons et leurs proies, feront l'objet d'une approche par modélisation compartimentale à l'équilibre du système, de type ECOPATH (Christensen et Pauly, 1992) adaptée à un système océanique relativement ouvert.

Stratégie de l'étude

Pour comprendre le dynamisme physique et biologique de la zone, le programme PICOLO a prévu une série de campagnes à la mer couvrant les domaines de la physique, de la biologie des premiers échelons de la vie (production primaire et secondaire) ainsi que des campagnes axées sur la biologie et le comportement des thons et de leurs proies (production tertiaire et quaternaire). Ces campagnes sont destinées à échantillonner, simultanément, les paramètres physiques des ondes d'instabilités (structure hydro-dynamique et courantométrie) ainsi que les paramètres déterminant la biologie (paramètres physiques de la photosynthèse, sels nutritifs, phytoplancton, zooplancton, micronecton, comportement des thons). Deux séries de deux campagnes consécutives (l'une axée sur la mesure des paramètres physiques, de la production primaire et secondaire et l'autre axée sur les aspects tertiaires et quaternaires) étaient prévues, les unes en été, les autres en automne ou en hiver. Les campagnes d'été étaient destinées à échantillonner la région durant la période des instabilités et la période de l'automne-hiver permettant de contraster la dynamique en période " plus calme " correspondant à la saison de pêche des thons. Ces opérations à la mer seraient complétées par des observations satellitales d'une part, et d'autre part par l'analyse fine des statistiques de pêche et des études spécifiques sur la biologie des thons (nutrition notamment).

Méthodologie succincte des opérations à la mer

Campagnes physiques :

Les termes de "campagne physique" et "campagne biologie" indiquent plus la priorité donnée à une catégorie d'observations qu'une différence marquée entre les parties " physique " et " biologie " du programme. Dans l'idéal, un seul type de campagne eût été préférable, mais la relative exigüité du navire, ainsi que les contraintes différentes d'échantillonnage et de rythme des observations, rendent nécessaire leur découplage. Cependant certaines campagnes " mixtes " ont été en fait réalisées par nécessité d'économie ou de calendrier : ce sont essentiellement des campagnes d'automne et d'hiver, en dehors des phénomènes physiques majeurs, et où il était possible de combiner les différents types d'observation.

Nous avons choisi d'observer à travers une fenêtre méridienne centrée sur 3°N le passage de ces ondes se déplaçant vers l'ouest en réalisant un grand nombre de stations très rapprochées pendant une durée minimale de 25 jours (période caractéristique de la propagation étudiée).

Le couplage entre les conditions physiques et la production primaire ne peut pas être étudié en se basant sur des paramètres de biomasse, car celle-ci n'est pas le reflet immédiat, mais plutôt l'aboutissement des phénomènes indéterminés qui se sont déroulés au cours des jours précédents. La méthode la plus couramment utilisée pour mesurer la production primaire consiste à faire incuber des échantillons d'eau de mer en présence de carbone 14, utilisé comme traceur de la photosynthèse. Cette méthode ne permet pas d'acquérir des données à une cadence suffisante pour que puissent être mises en évidence et décrites les relations entre la production primaire et des

phénomènes physiques à courte échelle de temps comme ceux qui nous intéressent ici. Au cours des dernières années, un effort de recherche intense a été mené pour la mise au point de capteurs optiques permettant d'observer à haute fréquence des caractéristiques de l'eau de mer liées à ses propriétés biologiques. Nous avons utilisé un tel appareil couplé à une bathysonde.

Afin de limiter l'effet du cycle nyctéméral sur la mesure des paramètres biologiques, on a réalisé un certain nombre de stations longues. Des mesures complémentaires sont effectuées à cette station, en particulier des mesures de production primaire par des méthodes éprouvées. Le système automatique LETGO est utilisé pour obtenir, avec une courte incubation, des mesures de production primaire par la méthode du carbone 14. Ces résultats associés à des mesures de concentration en chlorophylle faites sur des échantillons ramenés par la rosette, permettent de valider les résultats des mesures optiques.

Le programme s'est aussi appuyé sur des données issues de la télédétection spatiale qui permettent de restituer l'environnement pour la température de surface et la couleur de l'eau. Deux années d'observation ont été jugées nécessaires pour s'affranchir d'un éventuel signal inter-annuel (Steger et Carton, 1991) susceptible d'atténuer, voire d'inhiber, ces ondes certaines années où le système de circulation est perturbé par de grands événements climatiques.

Campagnes biologiques :

Une des clés pour comprendre le phénomène de la concentration saisonnière des thons dans une zone délimitée passe par la connaissance de leurs proies. Celles-ci avaient été identifiées au cours des campagnes MICROTHON comme majoritairement constituées par le poisson mésopélagique *Vinciguerria nimbaria*. Dès lors, l'objectif majeur des campagnes de biologie a été d'étudier la biologie et le comportement singulier de ces poissons qui peuvent constituer des bancs en surface pendant le jour, contrairement à toutes les autres espèces de poissons mésopélagiques. En outre la connaissance de leur répartition spatiale et de leur biomasse était également indispensable à l'étude de leurs relations trophiques avec les thons. Pour atteindre cet objectif, on a privilégié l'utilisation des techniques acoustiques et optiques, couplée avec l'échantillonnage des détections. Plus précisément, on a utilisé trois types de système acoustique :

- un sondeur bi-fréquence (38 et 120 kHz) " OSSIAN " de la société MICREL avec un logiciel développé par l'IFREMER permettant d'intégrer les signaux sur des plages de profondeur et de distance : ceci permet de calculer des valeurs moyennes de volume réverbéré proportionnel à la biomasse des organismes détectés. La tranche d'eau surface-500 m a été ainsi explorée le long de tous les trajets. A partir de ces données des indices de biomasse du micronecton et des *Vinciguerria* en particulier ont été obtenus.

- un sondeur bi-fréquence (38 et 120 kHz) à double faisceau (" dual-beam "), marque BIOSONICS, permettant de déterminer l'index de réflexion des cibles individuelles afin de transformer les indices relatifs d'abondance en mesure " absolue " de biomasse. Cet index a pu être établi pour le poisson *Vinciguerria*, rien de tel ne se trouvant dans la littérature.

- une sonde multi-fréquence (6 fréquences de 265 à 3000 kHz) TAPS du laboratoire TRACOR permettant de réaliser des profils verticaux de biovolume par classe de taille avec un pas de résolution spatiale de 3m sur 200m de profondeur : le principe est basé sur la comparaison des réponses acoustiques des organismes aux différentes fréquences en utilisant un modèle de réponse pour transformer ces valeurs en tailles et biovolumes (Holliday and Pieper, 1995). Le TAPS a été utilisé au cours d'une campagne d'été (P3, août 1997) et le sera au cours d'une campagne d'automne (P6, novembre 1998).

La caractérisation des structures biologiques pouvant être favorables à la concentration des proies des thons est également abordée par observation optique à l'aide du vidéo-profileur (dit PVM, Profileur Vidéo Marin) conçu et réalisé par l'unité CNRS URA 2077 à Villefranche sur mer (Gorsky et al., 1992). L'instrument permet l'acquisition de données concernant 1) la distribution de particules > 150 µm dans la colonne d'eau 0-1000 m, 2) leur spectre de tailles, 3) la distribution du zooplancton dans la colonne d'eau. Les observations par PVM ont été prévues au cours des mêmes campagnes que le TAPS. En dehors des complémentarités de ces deux approches (acoustique et optique), leurs similitudes doivent être testées et la comparaison de leurs résultats avec ceux fournis par les filets classiques peut apporter une contribution méthodologique importante à l'étude fine des structures biologiques.

La pêche des adultes de *Vinciguerria* et des autres espèces du micronecton et la récolte de leurs larves à l'aide de chaluts pélagiques et de filets de divers maillages permet d'obtenir les échantillons nécessaires aux études biologiques et physiologiques de ces espèces. Ces études, réalisées soit à bord, soit plus fréquemment en laboratoire, concernent plus particulièrement la croissance (étude par otholimétrie au laboratoire LASAA de Brest), la reproduction (observations macroscopiques et histologie des gonades au Centre de Recherches Océanologiques d'Abidjan), la nutrition (CRO d'Abidjan).

Chronologie des campagnes

Les campagnes à la mer devaient débuter en juin 1996 avec le nouveau navire de l'ORSTOM, l'ANTEA. Suite à des fortunes diverses et contraires, la première campagne n'a pu avoir lieu qu'en janvier-février 1997 sous la forme d'une campagne mixte physique-biologie. L'échéancier des campagnes a été le suivant :

P1 : janvier-février 1997, campagne mixte physique-biologie

P2 : juin-juillet 1997, campagne physique, production primaire et secondaire

P3 : juillet-août 1997, campagne biologie, production terminale

P4 : campagne mixte physique-biologie

VINCI98 : février 1998, campagne biologie des *Vinciguerria*

P5 : juillet 1998, campagne physique, production primaire et secondaire

P6 : novembre-décembre 1998, campagne biologie et production terminale

P7 : novembre-décembre 1999 (accordée), répartition spatiale des *Vinciguerria*, estimation de leur biomasse.

II. Présentation des résultats actuels

L'essentiel des résultats actuels a été présenté et discuté au cours d'un groupe de travail qui s'est tenu les 5, 6 et 7 octobre 1998 à l'Institut Océanographique. La présentation ci-dessous suit l'exposé des résultats au cours de cette réunion.

A. Etat de la pêche thonière de surface dans la zone PICOLO (Ménard, Fonteneau)

La zone PICOLO (0-5°N, 10-20°W) était une zone de pêche à la senne (pêcherie de surface) mineure jusqu'à la fin des années 70. Dans les années 80, elle connaît une forte croissance et devient une zone importante dans le Golfe de Guinée (fig.1). Si la cible des senneurs reste les concentrations monospécifiques de grands albacores (pêche sur bancs libres), la zone est aussi connue pour sa présence d'épaves naturelles dérivantes qui concentrent les poissons et permettent des captures substantielles de concentrations plurispécifiques de thons de petite taille (listaos, jeunes albacores et jeunes patudos). A partir de 1990, on assiste à un développement intensif de la pêche sous objets artificiels flottants mis à l'eau par les senneurs (pêche sur épaves), avec des taux d'exploitation très élevés de novembre à janvier ces dernières années. Ce mode de pêche favorise les prises accessoires et les rejets. En 1997, dans le contexte du code de la pêche responsable, les armements français et espagnols décident unilatéralement un moratoire de la pêche sur épaves du mois de novembre au mois de janvier, sur toute la zone Golfe de Guinée (y compris donc la zone PICOLO). Ce moratoire est reconduit en 1998.

La pêche à la senne s'exerce essentiellement du mois d'octobre au mois d'avril de l'année suivante, définissant une saison de pêche à cheval sur 2 années (fig.2). Les captures dans la zone représentent entre 20 et 50% des captures totales de l'Atlantique Est pendant la saison de pêche. Les captures sur épaves se font en majorité pendant les 4 premiers mois de la saison (octobre à janvier) : elles sont très stables sur les 6 dernières saisons de pêche, autour de 26.000 t composées en moyenne de 70% de listao, 15% d'albacore et de 15% de patudo (fig.3). Les captures sur bancs libres s'effectuent essentiellement de février à mars : elles sont très variables d'une saison à l'autre. Le niveau moyen est d'environ 9000 t sur les 6 dernières saisons, dont la majorité est du gros albacore en reproduction (65%) puis du listao (30%). On retiendra le fort déclin de la pêche sur bancs libres de gros albacores durant 3 saisons consécutives, 1993/94 à 1995/96. La taille moyenne des bancs capturés se situe entre 30 et 35 t (médiane \approx 20 t ; écart-type \approx moyenne) quel que soit le mode de pêche. Les concentrations plurispécifiques capturées sous épaves sont constituées en grande majorité de listaos, d'albacores et de patudos de taille similaire, autour de 47 cm (longueur à la fourche), associés à quelques grands albacores d'environ 140 cm. Les bancs libres d'albacores sont constitués de poissons d'environ 150 cm. Le mode de la distribution des tailles de listaos capturés dans la zone PICOLO est passé graduellement de 48 cm en 1991 à 42 cm en 1997. Cette décroissance semble propre à la zone PICOLO.

En première approximation, on peut estimer à 35.000 t en moyenne les captures déclarées dans la zone PICOLO ces dernières années. En tenant compte des captures non déclarées et des rejets, on arrive à 45.000 t de thons, dont 38.000 t de petits poissons (poids < 10 kg) et 7.000 t de gros poissons (poids > 30 kg). En supposant que la biomasse pêchée représente 50% à 80% de la biomasse de thons ayant transité dans la zone pendant la saison de 7 mois, on estime que cette biomasse se situe entre 56.500 t et 90.500 t pour une saison moyenne.

Les prochains développements envisagés consisteront à tenter d'estimer les taux de renouvellement et de migration des thons dans la zone PICOLO au cours de la saison de pêche.

B. Alimentation des thons (Rubin, Ménard, Stéquert, Marchal)

Ce travail visait à établir les proies dominantes dans l'alimentation des thons de la zone PICOLO, en fonction de l'espèce, de la taille et du mode de pêche (sur épaves ou sur bancs libres), à connaître le rythme alimentaire des thons et à estimer les rations journalières. Il a été réalisé à partir de l'étude des contenus de 1341 estomacs provenant des 3 espèces d'intérêt commercial (listao, albacore et patudo). L'identification des espèces rencontrées dans les contenus stomacaux a été difficile en raison du degré de digestion souvent avancé des proies. Le nombre d'estomacs vides est très important. Ils représentent 67% des estomacs étudiés et 80% des estomacs provenant de thons pêchés sur épaves (les estomacs vides de thons sur épaves se rencontrent tout au long de la journée).

Les thons, quel que soit le mode de pêche et la taille, se nourrissent à l'aube et de manière irrégulière pendant le reste de la journée. Les données disponibles ne nous ont pas permis de mettre en évidence une alimentation au crépuscule. De même, il semble que les thons mangent peu ou pas pendant la nuit.

On dénombre 4 phyla de proies : le phylum Poisson est le plus consommé (99% pour l'albacore, 90% pour le listao et 95% pour le patudo), puis vient celui des Céphalopodes (surtout significatif chez les listaos et les patudos), celui des Crustacés (négligeable) et enfin des Salpidae (insignifiant). Parmi les poissons, *Vinciguerria nimbaria*, *Cubiceps pauciradiatus* et des Scombridae sont les plus consommés. L'alimentation varie en fonction de la taille du thon et de son mode de pêche (fig.4). Les petits thons se nourrissent essentiellement de *V. nimbaria* (99% des proies pour les bancs libres et 71% pour les épaves), et les grands thons de Scombridae lorsqu'ils sont capturés sur épaves, associés à des *C. pauciradiatus* lorsqu'ils sont capturés en bancs libres. Pour une même taille et un mode de pêche identique, l'alimentation ne varie pas suivant l'espèce. De même, les rations journalières des thons de même taille et capturés de la même façon ne montrent pas de différences importantes. Les estimations des rations des petits thons sur épaves sont très faibles. Elles sont sans doute sous-estimées, mais traduisent le fait que les épaves ne jouent pas un rôle alimentaire mais représentent plutôt un refuge pour ces petits thons. Ils s'y réfugieront la nuit et pourraient former des bancs lâches au cours de la journée pour chasser hors de l'épave. En revanche, les épaves semblent avoir un rôle important dans l'alimentation des grands thons qui se nourrissent de petits Scombridae associés eux-mêmes à l'épave.

Les *Vinciguerria nimbaria* sont surtout consommés tôt le matin et pendant l'après-midi. Il semble donc que le comportement particulier de ce petit poisson mésopélagique dans la zone PICOLO (cf. plus loin) soit responsable de leur forte présence dans le bol alimentaire des petits thons. D'autre part, *V. nimbaria* est très peu présent dans les estomacs des thons capturés dans d'autres zones, ce qui confirmerait la spécificité de la zone PICOLO. Un tel résultat devrait pouvoir être confirmé par l'analyse plus approfondie de contenus stomacaux provenant d'autres zones de pêche. Il n'est cependant pas prévu de réaliser ce travail dans le cadre du programme PICOLO.

C. Les proies des thons

Vinciguerria nimbaria apparaît comme un élément essentiel de la nourriture des thons dans la zone PICOLO. Ce poisson mésopélagique a donc fait l'objet d'études particulières afin de déterminer sa biologie, son cycle de vie, sa croissance, sa nutrition et son comportement.

1- Abondance et biomasse de *Vinciguerria nimbaria* (Marchal, Lebourges)

Méthodologie

L'abondance et la biomasse des *Vinciguerria* ont été estimées acoustiquement, ce qui nécessite de connaître d'une part certaines propriétés acoustiques de la " cible ", d'autre part les caractéristiques de sa répartition. On peut les regrouper en cinq points :

- Réponse acoustique de l'espèce considérée, appelé aussi " index de réflexion " ou plus communément " Target Strength ". Mais cette propriété n'est pas statique, elle peut varier notamment avec la profondeur où se trouve le poisson et plus précisément au cours des déplacements verticaux si ceux-ci sont importants (en relation avec leur vessie natatoire). Il n'existe pas dans la littérature d'étude de TS ni de cette espèce ni d'espèce voisine. Nous avons donc du déterminer cet index pour chacune des deux fréquences que nous utilisons. Par ailleurs nous avons essayé de déterminer l'influence de la profondeur sur ce TS par des comparaisons de réponse globale de bancs de cette espèce dans les couches superficielles et jusqu'à plus de 300 mètres : assez curieusement nous n'avons pas trouvé de différence significative entre ces différentes profondeurs (ce qui évidemment simplifie considérablement le problème car ces poissons se livrent à des migrations verticales très importantes et très rapides). Ceci est probablement à mettre en relation avec certaines particularités de leur anatomie au niveau de la vessie natatoire (Marshall, 1960).

- Identification de la détection : il faut pouvoir attribuer à l'espèce à laquelle on s'intéresse la " part " qui lui revient. Les *Vinciguerria* présentent un type de détection très particulier (petits bancs en couche de jour, gros essaims de nuit) qui avait attiré tout d'abord notre attention. Depuis ces observations ont été largement

confirmées, et complétées par l'observation d'autres types de détection correspondant toujours à cette espèce (bancs profonds au-dessus de la SSL par exemple). En tout état de cause leur identification dans la couche de surface (jusqu'à 200m) de jour ne pose pas de problème dans cette zone où cette espèce est pratiquement la seule à former des bancs de ce type.

- Accessibilité de l'espèce à la détection : il faut qu'elle se situe dans une zone " accessible " acoustiquement dans de bonnes conditions, ni trop près de la surface, ni trop profondément. Pour la biomasse adulte vivant en bancs, son accessibilité de jour est parfaite, sauf pendant quelques minutes au jour naissant où elle peut se trouver très près de la surface.

- Extension de la zone à étudier qui doit couvrir la totalité de l'aire de répartition de l'unité que l'on veut évaluer (" population " biologique, partie de stock exploitée, etc.). L'espèce *Vinciguerria nimbaria* présente une très large répartition géographique : en fait elle se rencontre dans toutes les zones inter-tropicales des trois océans, et de ce point de vue coïncide parfaitement avec les thons tropicaux, ses prédateurs privilégiés! Dans ce vaste domaine, il existe bien entendu des populations différentes, mais rien ne permet de les distinguer, sauf peut-être une analyse génétique, et c'est pourquoi nous avons initié une telle étude (Philippe Borsa, Orstom Montpellier). Mais s'agissant de petits poissons à faible mobilité, il est évident que des groupes plus ou moins indépendants doivent exister. Comment définir cependant la taille de telles unités? Aussi il nous apparaît raisonnable de considérer une zone géographiquement définie (la zone Picolo), soumise à la fois à des conditions environnementales relativement homogènes et à une prédation définie (les thons), comme une entité (tout en reconnaissant son caractère quelque peu artificiel, mais justifié par l'objet de l'étude : leur rôle potentiel dans la concentration de thons dans cette zone).

- Distribution spatiale de cette population, pour pouvoir estimer correctement le degré de précision de l'évaluation. La zone est très vaste et il ne saurait être question d'y appliquer un plan d'échantillonnage comparable à celui des campagnes d'évaluation côtière. Il faut donc nécessairement estimer autrement la représentativité de l'échantillon. On a privilégié les observations sur la radiale méridienne située au centre de la zone (15°W), considérant que ces poissons étaient véhiculés assez passivement par les courants portant en latitude. On a également effectué des trajets selon un degré de latitude, ce qui devrait permettre de mesurer l'isotropie et/ou l'anisotropie de la concentration, en vue d'une approche géostatistique. Pour l'instant nous possédons des éléments de réponse, mais nous sommes encore loin de pouvoir fournir un schéma définitif!

Données

Il y a eu au cours de ce programme deux grandes séries de campagnes : la première, appelée " Microthon " a été réalisée avec le navire André Nizery, petit chalutier de recherche de l'Orstom. Cette série a comporté 10 campagnes d'avril 1990 à septembre 1995, de durée variable mais n'excédant jamais 8 jours " sur site ". Son objectif majeur était d'accumuler un maximum d'observations biologiques d'abord sur les *Vinciguerria* identifiés au cours de la campagne Microthon 03 comme la proie principale des petits thons de la zone. Ce navire était muni d'un sondeur scientifique, et au cours de la majorité de ces campagnes des estimations de densité ont pu être faites (ainsi que des mesures de TS et une opération de marquage acoustique). La deuxième série, ou " Picolo " sensu stricto a débuté en janvier 1997 avec l'Antea équipé du même type de matériel de détection. Mais cet équipement a montré de nombreuses faiblesses, particulièrement quand il était installé sur le Nizery, et les observations acoustiques de plusieurs campagnes Microthon n'ont pas pu être utilisées pour des estimations de biomasse : il est envisagé cependant de reprendre ces données avec un nouveau logiciel de traitement permettant d'éliminer les parasites notamment.

Résultats

Les résultats présentés ci-après sont donc ceux des campagnes pour lesquelles l'équipement a fonctionné correctement. Il s'agit uniquement des abondances et des biomasses des *Vinciguerria* formant des bancs de jour dans la tranche d'eau de la surface à 200 mètres, donc des détections de jour. Les biomasses sont estimées en extrapolant les moyennes d'abondance mesurées le long de la radiale 15°W à la totalité de l'aire comprise entre les méridiens 10 et 20°W et soit les latitudes 0 et 5°N (aire " totale "), soit 1°N et 4°N (" aire réduite ").

On remarquera la grande constance des abondances moyennes pour les trois premières campagnes, et la valeur dix fois moindre pour celle de novembre 1997. De fait, au cours de cette campagne, très peu de bancs de surface de *Vinciguerria* ont été rencontrés, particulièrement sur la radiale de référence 15°W. L'abondance moyenne estimée sur un parcours E-W entre 10 et 15°W à la latitude de 3°N est seulement la moitié de celle estimée pour un même parcours à la campagne de novembre 1992 qui présentait la plus forte valeur moyenne sur la radiale : ceci montre le risque des extrapolations sans information supplémentaire sur la distribution spatiale des concentrations. Des estimations de biomasse de la zone ont cependant été indiquées, comme ordre de grandeur par comparaison à celle estimée des prédateurs (thons).

1- Abondance moyenne en g/m ² (=tonnes /km ²)				
campagne	date	radiale 15 W	parcours W-E	
MT02	fév. 91	3,1		
MT03	nov. 92	4	2	
P1	fév. 97	3,2		
P4	nov. 97	0,4	1	
2- Biomasses estimées en milliers de tonnes				
Entre 10 et 20°W et 0-5°N : Totale				
Entre 10 et 20°W et 1-4°N : Réduite				
	fév. 91	n-déc. 92	j-fév. 97	n-déc. 97
Totale			1723	
Réduite	1145	1477	1118	148

Discussion

En dehors du problème de la fiabilité des estimations se pose celui de leur nature. En effet il s'agit bien entendu d'une biomasse " instantanée " composée quasi-exclusivement d'adultes. Peut-on dire pour autant que la totalité des adultes de l'espèce se trouve dans la couche de surface de jour, alors que " traditionnellement " cette espèce est considérée comme rejoignant de jour les profondeurs de 400 m ou plus? Nous ne pouvons pas encore apporter de réponse définitive, mais il apparaît assez clairement que dans les secteurs et les saisons où l'on rencontre ces bancs en surface on ne voit pas de bancs en profondeur, et vice versa. Une autre question se pose, celle de la permanence de cette biomasse, et donc de son renouvellement : au cours des mois de novembre et de décembre, il semble n'y avoir qu'un seul mode de taille parmi les bancs de jour. Or ce mode n'est pas différent de celui observé en janvier- février, où on observe même des poissons plus petits (modes plus divers) : cette biomasse serait donc " renouvelée ", ce qui expliquerait qu'elle peut être en février du même ordre de grandeur qu'en novembre alors qu'elle a subi la prédation des thons et la mortalité naturelle pendant plusieurs mois. Pourtant il s'agirait de poissons à vie très courte! Toutefois, cette biomasse est celle qui est accessible aux thons et à ce titre peut être mise en parallèle avec les " besoins " en nourriture de ces prédateurs.

2- Comportement et répartition spatiale des *Vinciguerria* (Marchal)

Chez les adultes, on a mis en évidence deux types de comportement qui peuvent se rencontrer en toute saison, mais correspondent à deux situations environnementales différentes :

(1) Essentiellement en dehors de l'été boréal, en zone ou période de forte stratification thermique, correspondant au nord de la divergence pendant la saison de pêche et à une biomasse zooplanctonique plutôt faible : formation de bancs monospécifiques de jour dans les eaux de surface (0-200m, mais plutôt autour de la thermocline), et gros bancs lâches ou essaims de nuit plus ou moins mélangés avec beaucoup d'autres espèces en couche. Au début du jour, on observe une montée très rapide des poissons qui se dispersent à la surface puis forment des bancs compacts qui peuvent ensuite plonger à la profondeur de la thermocline.

(2) En zone ou période de divergence ou proche de la divergence, quand le gradient de température est faible et la biomasse en zooplancton plus riche : bancs de jour en profondeur (au niveau de la couche réfléchissante, à 350-400m), parfois en essaims plus ou moins détachés de cette couche réfléchissante. Avant la tombée de la nuit, montée avec cette couche puis accélération dans les deux cents derniers mètres qui les amènent en surface ou dans les couches superficielles, où ils forment soit des essaims, soit des concentrations étendues peu épaisses mais très denses. Les adultes apparaissent ainsi présenter un comportement grégaire très marqué et former des bancs quelle que soit la situation. Les raisons de ces différents comportements ne sont pas vraiment élucidées. Hypothèse trophique : le peu de nourriture oblige ces poissons à en rechercher 24h sur 24. Hypothèse de reproduction : la montée en fin de nuit vers la surface des adultes matures correspondrait à l'émission des produits génitaux. Hypothèse physiologique : la profondeur des oxypicnes varie fortement selon les situations hydrologiques.

Chez les juvéniles, il ne semble exister qu'un seul type de comportement : de jour en profondeur au niveau de la couche réfléchissante (350-450m), de nuit près de la surface ou au niveau de la thermocline. Les jeunes larves se trouvent au dessus de la thermocline (maximum vers 25-50m). A partir de la métamorphose (environ 15mm), elles plongeraient vers 400m où elles resteraient jusqu'au stade juvénile en ayant une croissance rapide (hypothèse liée aux observations des otolithes), puis elles adopteraient un rythme de migration nyctémérale.

La répartition spatiale des *Vinciguerria nimbaria* n'apparaît pas homogène. Les quelques trajets longitudinaux effectués ont montré que les concentrations ont une extension moyenne de l'ordre de 60 milles (1°) séparées par des distances du même ordre de grandeur.

3- Croissance des *Vinciguerria* (Panfili, Borsa)

Afin d'estimer l'âge et la croissance des *Vinciguerria* il a été fait appel aux méthodes d'estimation par l'étude des microstructures des otolithes chez les adultes et les larves, qui sont particulièrement bien visibles chez cette espèce (fig.5). L'analyse génétique a confirmé qu'adultes et larves appartiennent bien à la même espèce. La technique de préparation des otolithes a été standardisée.

L'hypothèse du dépôt d'une microstructure par jour n'est pas encore validée malgré les tentatives d'élevage et de suivi de micro-cohortes (campagne VINCI 98). A partir de cette hypothèse, on estime la durée de vie des *Vinciguerria* à 4 à 5 mois, au maximum 8 mois (fig.6). Les analyses rétrospectives des dates de naissance à partir de celles de leur capture et du nombre de microstries montrent que des naissances ont lieu tout au long de l'année. Il apparaît 5 zones particulières successives dans la distribution des microstries, elles correspondent à 5 phases de la vie du poisson : naissance et vie larvaire (30 jours correspondant à 3 zones), post-métamorphose (phase courte correspondant probablement à une croissance rapide), vie adulte. Les bancs qui restent en surface de jour (non-migrants) correspondent à des micro-cohortes bien individualisées.

Il reste à valider l'hypothèse d'un dépôt journalier sur les otolithes et à compléter la courbe de croissance (la phase 15-20 mm étant quasiment absente des prélèvements).

4- Reproduction, fécondité des *Vinciguerria* (Stéquent)

A partir d'échantillons collectés de 1994 à 1998, on a étudié les variations du rapport gonado-somatique (R.G.S.) au cours de l'année, de la journée et en relation avec le cycle lunaire. Les premiers résultats montrent que le mois d'avril correspond à une période de reproduction importante (fig.7). Cependant la proportion non négligeable d'individus matures dans tous nos échantillons laisse penser que des pontes se produisent tout au long de l'année. D'une manière générale, la ponte aurait lieu en fin de nuit, vers 4-5 heures du matin (fig.8). La maturation sexuelle semble également en relation avec le cycle lunaire, les RGS maxima se rencontrant en dernier quartier et en nouvelle lune (fig.9).

Le nombre important de femelles présentant des RGS faibles ($< 7,5$), nécessite une étude histologique afin de déterminer la proportion de femelles en début de maturation (stade II), ou ayant pondu récemment (stade V). L'étude est en cours. L'abondance et les tailles mensuelles des larves de *Vinciguerria* présentes dans les échantillons devraient nous permettre de préciser les dates et l'importance des pontes. Les mêmes observations faites sur 1126 mâles ne montrent pas de variations identiques aux femelles. Les RGS (mois, heures, phases lunaires) présentent toujours une fraction importante de valeurs élevées. Les mâles sont sexuellement matures tout le temps et prêts à émettre leur sperme dès que nécessaire. Au moment de la ponte, les mâles ont tendance à se rassembler de manière significative autour des femelles pour libérer dans l'eau une quantité de sperme suffisante pour que la fécondation soit optimale. L'évolution journalière du sex-ratio montre que la quantité de mâles est plus importante entre 3 et 6 heures du matin (fig.10). Ceci confirmerait l'intensité de la ponte juste avant le lever du jour. Si l'on considère les 10 coups de chalut profond (≥ 100 m) réalisés au cours des diverses campagnes, le sex-ratio n'est pas significativement différent de 1.

L'étude de la fécondité de *Vinciguerria* consiste à déterminer la quantité d'ovocytes matures (oeufs) émis au cours d'une ponte. Ce sont les gros ovocytes dont les diamètres sont compris entre 470 et 590 qui vont subir le phénomène d'hydratation et qui seront expulsés au cours la ponte (fig.11). Cette étude est en cours; elle est menée sur une cinquantaine d'individus.

La relation taille-poids a été établie à partir des mensurations et des pesées de 2322 individus. Les sexes ont été séparés, et une relation pour chaque sexe a été calculée. La différence est peu importante et justifie l'établissement d'une relation unique qui s'écrit : $P (g) = 7.45 \cdot 10^{-6} LS^{3.00}$, ce qui indique que le poids est une fonction strictement cubique de la longueur standard LS exprimée en mm (fig.12).

5- Nutrition des *Vinciguerria* (N'Goran, Champalbert, Pagano)

Cette étude a porté sur des adultes échantillonnés lors des campagnes MICROTHON. Elle a confirmé que les *Vinciguerria* adultes sont zooplanctonophages et se nourrissent quasi exclusivement de copépodes. Les observations montrent qu'ils se nourrissent exclusivement de jour, plus particulièrement vers le milieu de la journée (fig.13). Il semblerait aussi que leur nutrition soit plus efficace près de la surface : en effet le nombre de copépodes observés par estomac diminue avec la profondeur (fig.14).

Il reste à étudier la composition spécifique du régime alimentaire, à dissocier les adultes qui restent en surface de jour de ceux qui effectuent des migrations nyctémérales et à préciser le cycle journalier et les rations journalières. Ce travail pourrait se réaliser en 98/99 au cours d'un DEA ivoirien encadré au CRO par G. Champalbert et N'Goran.

D. La production secondaire (Champalbert, Lebourges , Gorsky)

Elle est étudiée à travers 3 approches complémentaires :

L'approche traditionnelle (échantillonnage par filets) menée par G. Champalbert, est la seule à permettre des études de physiologie (broutage, respiration, excrétion) et de composition spécifique. Les dépouillements sont extrêmement longs et loin d'être terminés, d'autant que le programme de récolte n'est pas terminé. Un étudiant ivoirien (B. Kouamé) y sera associé d'abord au cours d'un stage de DEA puis au niveau d'une thèse de 3ème cycle. Du fait du temps nécessaire au dépouillement, on se concentrera en priorité sur les campagnes P1 (saison chaude) et P2 (saison froide) dont les principaux résultats sont exposés ci-dessous.

Picolo 1

Les variations de la biomasse zooplanctonique en fonction de la latitude se font dans le même sens entre 0-100m et entre 0-200m mais les biomasses par m^3 sont de 2 à 4 fois plus fortes entre 0 et 100m qu'entre 0 et 200m

0-100 m : la biomasse moyenne est maximale à l'équateur et au sud de l'équateur (environ 50 mg.m^{-3}) et elle est minimale au-delà de 3°N (moins de 12 mg.m^{-3}). Entre $0^\circ 20'$ et 3°N , les variations de la biomasse zooplanctonique, de jour comme de nuit, sont assez peu importantes. Les migrations verticales journalières sont plus importantes à l'équateur et sous l'équateur que vers la convergence. Elles affectent principalement les organismes de plus de $1000\mu\text{m}$, (tabl. 1a).

WP 0-100m		Jour			Nuit		
Latitude	Biom. totale	% <1000 μ	% >1000 μ	Latitude	Biom. totale	% <1000 μ	% >1000 μ
0° et Sud	34,04	58%	42	0° et Sud	50,80	47%	53
0°20-1°N	17,00	61%	39	0°20-1°N	19,00	47%	53
1°20-2°N	13,12	64%	36	1°20-2°N	22,43	39%	61
2°20-3°N	16,68	64%	36	2°20-3°N	23,49	42%	58
3°20-4°N	10,02	50%	50	3°20-4°N	12,14	42%	58

0-200m : considérant la couche 0-200 m la biomasse (diurne et nocturne) tend à diminuer assez régulièrement, pour les trois classes de tailles, depuis l'équateur jusqu'à la convergence. Comme entre 0 et 100m, les organismes <1000 μm dominent pendant la journée tandis que les organismes >1000 μm dominent pendant la nuit (tabl. 1b).

Wp 0-200m		Jour			Nuit		
Latitude	Biom. totale	% <1000 μ	% >1000 μ	Latitude	Biom. totale	% <1000 μ	% >1000 μ
0°	11,88	63%	37%	0°			
0°-1°N	6,47	51%	49%	0°-1°N	15,83	41%	59%
1°-2°N	5,09	51%	49%	1°-2°N	11,38	42%	58%
2°-3°				2°-3°	7,11	43%	57%
4°	4,79	57%	43%	4°			

Les plus fortes biomasses zooplanctoniques n'ont pas été trouvées au niveau des zones de maximum de chlorophylle. Le long de la radiale 1 en particulier, vers 2° , $2^\circ 20'$, les biomasses zooplanctoniques étaient minimales alors que les teneurs en chlorophylle étaient maximales. Les valeurs les plus élevées des biomasses zooplanctoniques (0° , $1^\circ 20'$, $2^\circ 40'$ - 3°N) se situent souvent dans des secteurs où la teneur en chlorophylle est faible (fig. 15).

Picolo 2

Les pêches effectuées pendant le trajet aller le long de 1°N montrent une augmentation régulière des biomasses zooplanctoniques d'Est, (où elles sont relativement faibles : $<10 \text{ mg.m}^{-3}$) en Ouest. A partir de 15°W , elles dépassent 20 mg.m^{-3} , atteignent 60 et ponctuellement plus de 100 mg.m^{-3} . Les récoltes ont été effectuées selon des parcours méridiens, entre 0 et 100 m pour les deux premiers, entre 0 et 150 m pour les suivants, avec 2

pêches verticales : l'une dans la couche homogène, l'autre sous la thermocline. Les premières radiales avaient été choisies en avant du tourbillon qui s'est déplacé d'est en ouest au cours de la campagne.

Les maxima de production se sont déplacés au cours de la campagne :

- les biomasses tendent d'abord à diminuer depuis 1°40-2° N (# 40 mg.m⁻³) jusqu'à 4°40 N (< à 10 mg.m⁻³) (Radiale 1). Toutefois, pendant la journée, des densités zooplanctoniques particulièrement élevées (>100mg.m⁻³) ont été trouvées aux environs de 3°N, qui ne sont donc pas liées à des phénomènes migratoires (fig.17a).

- au deuxième passage (radiale 2), on observe à nouveau une zone de biomasses zooplanctoniques fortes (égales ou > 60 mg.m⁻³) qui, bien que plus réduite que précédemment, est plus étendue (entre 3° et 4°N). Compte tenu des heures de prélèvements, il n'y a pas de relation apparente avec d'éventuelles migrations journalières. Après ce pic, on observe, vers 1°20, 1°40 une nouvelle augmentation de biomasse

- lors du trajet inverse, ces deux « pics » sont décalés vers le nord : à 2° pour celui localisé précédemment à 1°40, vers 4°40, pour celui localisé vers 4°. Aux 3 passages suivants successifs, il semble que le maximum trouvé vers 4°40 se déplace dans le sens contraire, d'abord vers 4°20, puis à nouveau entre 3° et 3°40, enfin vers 2°30 et jusqu'à 2°, au cours des dernières radiales méridiennes 16°W et 14°W (fig.17b). Sur la dernière radiale, on retrouve des valeurs sensiblement comparables à celles trouvées, à cette latitude, lors du trajet aller est-ouest.

Une analyse plus détaillée de ces résultats est évidemment nécessaire. Il n'est pas impossible et même probable que le déplacement de la zone de production zooplanctonique puisse être lié à l'hydrologie et aux phénomènes physiques. Par ailleurs, s'il ne semble pas exister de relation marquée évidente entre les biomasses planctoniques et les valeurs de chlorophylle *in situ*, des tendances apparaissent et on peut espérer que l'expérimentation concernant l'utilisation du phytoplancton et des particules par le zooplancton va apporter des éléments importants dans la compréhension du système.

En ce qui concerne les variations quantitatives globales de la biomasse zooplanctonique entre 0 et 100 m on note le maximum à l'équateur (pêches de nuit) et des fluctuations jour nuit au nord de la divergence (1° et 2°N) et de la convergence (5°N) mais à 3° et 4°N, les biomasses diurnes sont plus élevées que les biomasses nocturnes (fig.16). La classe de taille > à 1000µ domine toujours de nuit. La moyenne la plus élevée dépasse 61gm.m⁻³, la moins forte est voisine de 11mg.m⁻³.

En conclusion, les biomasses zooplanctoniques sont dans l'ensemble plus fortes pendant l'été boréal (campagne Picolo 2) qu'en saison chaude (Picolo 1) (tableau 2).

Latitude	Picolo 1	Picolo 2	Total	% P1	%P2
0°	50,8	61,4	112,2	45,3%	54,7%
1°	19	31,2	50,2	37,8%	62,2%
2°	22,43	39,2	61,63	36,4%	63,6%
3°	23,49	46,3	69,79	33,7%	66,3%
4°	12,14	38,3	50,44	24,1%	75,9%

Toutefois, l'augmentation relative est moins importante au niveau de la divergence qu'au nord de celle-ci ; cette augmentation est maximale près de la convergence. En été boréal on a observé un déplacement de la zone de production planctonique maximale qui pourrait être lié à la circulation et aux phénomènes physiques. Au cours des deux campagnes, les migrations étaient plus marquées dans la zone de la divergence que dans la zone de convergence et les biomasses les plus fortes ont également été trouvées à proximité de l'équateur.

L'approche acoustique menée par A. Lebourges est totalement nouvelle en Atlantique : utilisation d'un profileur multifréquences TAPS (6 fréquences de 265 kHz à 3 MHz). Les résultats s'expriment en biovolume ou en abondance par classe de taille, estimée à partir d'un modèle de diffusion acoustique adapté aux organismes détectés. Les fréquences utilisées et le volume nécessairement restreint échantillonné conviennent particulièrement aux petits organismes tels que les Copépodes. Le modèle utilisé échantillonne la couche 0-200m en profil vertical. Le biovolume est le paramètre obtenu le plus robuste. Ce profileur n'a été utilisé pour l'instant que pendant la campagne P3 de juillet-août 1997. Une synthèse des résultats est présentée ci-dessous.

Contexte environnemental

Les 4 stations fixes présentent des caractéristiques très différenciées : -la station 1 à 2°N/16°W, qui se situe dans le tourbillon de l'onde, est caractérisée par une température de surface basse (22°C), une thermocline bien marquée à 80 m, et un pic de salinité dans le bas de la thermocline; -la station 2 à 0°/16°W est dans la zone de la divergence équatoriale avec des eaux également froides en surface (22°C) mais plus salées et pas de

thermocline nette; -la station 3 à 2°N/16°W, après le passage de l'onde, présente une structure thermique à plusieurs paliers, avec une température de surface supérieure à celle qu'elle était au premier passage (25°C), et à plus faible salinité, les fortes salinités se retrouvant à partir de températures de l'ordre de 21°C; -la station 4, à 4°N/16°W, présente une structure assez comparable à celle de la station 1, mais avec une température de surface beaucoup plus chaude (27°C), et une thermocline moins profonde et au gradient plus étalé. Les mesures concomitantes de fluorescence montrent une claire relation avec la température, les maxima de fluorescence restant confinés dans un intervalle de température assez restreint entre 20 et 22 °C. Le maximum de fluorescence est ainsi plus concentré et plus profond à partir de la station 3.

Répartition du biovolume total, toutes tailles confondues

L'abondance la plus forte se rencontre à la première station à 2°N, alors que la station à 4°N est nettement la plus pauvre, les deux autres étant de richesses comparables ; la station à l'équateur apparaît un peu plus riche que la 3^{ème} la nuit, alors que de jour, la différence très ténue qui apparaît serait plutôt à l'avantage de cette dernière (fig.18). On observe des migrations nyctémérales lors des deux premières stations ; à la troisième station cela n'apparaît presque pas dans les 200 premiers mètres, un peu plus dans les 75 premiers mètres, le peu de migration qu'il y a se fait au sein de la couche de 200 mètres. Quant à la dernière station, on y trouve une abondance diurne supérieure à l'abondance nocturne : pour des raisons techniques, il s'agit là de résultats moyens obtenus de jour sur 5 profils et de nuit sur 1 seul, alors que pour les autres stations, chaque moyenne a été faite sur 10 profils. Compte-tenu de la variabilité des profils, due à l'hétérogénéité de répartition du zooplancton, mieux vaut prendre les résultats de la station à 4°N avec circonspection. Enfin il n'est pas surprenant de constater que c'est dans les 75 premiers mètres que la densité est la plus forte (fig.19).

En ce qui concerne la répartition de la biomasse globale en fonction de la profondeur, on peut noter (fig.20a) qu'à la station 1, la couche homogène est la plus riche, avec une décroissance régulière de la surface jusqu'à la thermocline, qui s'atténue (de nuit) ou s'arrête (de jour) dans la couche sous la thermocline. Les pics entre 100 et 130 m mesurés de nuit lors de la station 6, ne sont pas à prendre en compte car cela indique certainement le passage devant l'appareil, de gros organismes (poissons probablement) au cours du profil. Cette décroissance n'apparaît pas au cours de la station 2 (fig.20b) : de jour, l'abondance reste globalement constante le long des 200 mètres alors que de nuit, les 50 premiers mètres apparaissent plus riches, mais au-delà le niveau reste le même (la station 17 s'étant arrêtée à 154 mètres). A la station 3 les 70 premiers mètres apparaissent aussi plus riches, mais cette fois de jour comme de nuit (fig.20c) ; il est vrai qu'à cette station, il ne semble pas y avoir de migration nyctémérale marquée exceptée dans les 75 premiers mètres. Et en effet alors que de jour le niveau moyen reste constant à partir de 70 mètres, de nuit il y a une légère décroissance au-delà de cette profondeur. La profondeur de 70 mètres correspond à peu près à celle du deuxième palier de thermocline. En dehors de cette observation par rapport à la température, il n'apparaît pas de concentration particulière du zooplancton au niveau des thermoclines quand elles existent, quelle que soit la station.

Composition en tailles des populations traversées

Une observation que l'on peut faire cependant à partir des histogrammes de tailles par profondeur, sur les 200 premiers mètres, est qu'il semble y avoir la nuit une plus grande dispersion de tailles par rapport au jour, un plus grand nombre d'entre elles contribuent, et pour une meilleure part, à la composition de la population. La résolution du problème inverse s'est faite en choisissant pour vecteur de tailles initial un vecteur de 24 tailles réparties entre 0.05 et 4 mm (en termes de rayon sphérique équivalent - ESR - en mm : celui-ci représente le rayon d'une sphère qui déplacerait le même volume que l'organisme concerné), sur la base des observations préliminaires faites sur les échantillons biologiques. Pour décomposer la population zooplanctonique selon ses divers constituants, les classes de tailles LT (Longueur Totale d'un organisme) retenues pour la présente synthèse sont les suivantes :

C1 < 200µm, C2 = 200-300µm, C3 = 300-1500µm, C4 = 1500-2500µm, C5 = 2500-5000µm, C6 >5000µm

La réverbération est largement dominée par les plus petits de ces organismes (C1) dont la taille correspond plutôt à l'ordre de grandeur de la taille des nauplii (fig.21). On les trouve sur toute la colonne d'eau, avec une abondance plus grande à la Station 1 dans la couche homogène, et à la Station 3 dans les 50 premiers mètres (ces deux stations étant situées au même point géographique, 2°N, 16°W). Les organismes de la classe C5 apparaissent surtout dans la couche de surface, excepté à 4°N. Quant aux organismes les plus grands, leur répartition est difficile à caractériser, car plus diffuse.

Les trois classes intermédiaires (C2, C3, C4) sont particulièrement intéressantes car ce sont probablement celles qui constituent la majorité des proies des organismes micronectoniques; leur évolution apparaît mieux sur la figure 22 où les classes C1, C5 et C6 ont été supprimées : -la classe 200-300 µm, dont les tailles correspondraient plutôt à celles des copépodites, est présente sur toute la colonne d'eau au cours des deux premières stations et pratiquement partout lors de la station 3 ; il y a plus d'interruptions et une abondance moindre au cours de la 4^{ème} station. -la classe 300-1500µm, qui contient probablement la majorité des copépodes, bien que présente partout sur les 200 mètres, est cependant bien plus abondante dans la couche de surface : aux deux stations à 2°N jusqu'à 125 m et 110 m respectivement, à l'équateur jusqu'à 80 m et à 4°N jusqu'à 100 m. A cette dernière station, ils sont particulièrement abondants entre 50 et 80 m, là où se situe la

thermocline et le maximum profond de Chlorophylle, alors qu'à la première station on a un pic d'abondance entre 100 et 125 m qui se trouve donc par contre bien au-dessous de la thermocline. Cette classe 300-1500 μ m est celle qui prédomine après les plus petits. -la classe suivante, 1500-2500 μ m, est nettement distribuée au-delà de 80 mètres, soit sous la thermocline, lors des deux stations à 2°N. On la rencontre cependant jusqu'à la surface aux deux autres stations, mais dans ces deux derniers cas il ne s'agit probablement pas des mêmes espèces en surface car les situations hydrodynamiques de ces deux stations sont très différentes.

Si l'on ne prend en compte que la fourchette de tailles 300-2500 μ m, on n'observe pas de variations probantes d'abondance entre les stations.

Conclusion

L'emploi de l'acoustique pour ce type d'étude apparaît être d'une aide précieuse dans la mesure où elle donne accès à des profils de biovolumes, avec, dans notre cas, une résolution verticale de 3 m. Par ailleurs on peut en déduire des informations sur des classes de tailles qui n'ont pas été échantillonnées par les filets. Les résultats de cette campagne de juillet-août, en présence d'ondes longues, ont montré une répartition en profondeur différente suivant les tailles et les situations, sans qu'une corrélation flagrante avec la structure thermique soit apparue : on observe cependant une plus grande abondance du zooplancton total dans la couche homogène à la station 1 où la thermocline est marquée. Par ailleurs à 4°N le maximum d'abondance des copépodes (classe 300-1500 μ m) se trouve au niveau de la thermocline. Il n'apparaît pas de corrélation évidente non plus avec la chlorophylle, qui était aussi abondante à l'équateur qu'à la première station dans la couche de surface, et dont le maximum était concentré et profond aux stations 3 et 4. Lors de la prochaine campagne PICOLO P6 de novembre-décembre 98, la situation hydrologique sera complètement différente de celle rencontrée au cours de P3, en l'absence des ondes de Legeckis ; de plus on devrait retrouver à cette saison une population de *Vinciguerria*, se nourrissant de copépodes, et formant des bancs dans les 200 premiers mètres, de jour comme de nuit. Le même dispositif que celui dont les résultats sont présentés ici, sera utilisé au cours de cette mission. Les résultats comparés des deux campagnes devraient aider à la compréhension des liens entre le zooplancton et les autres éléments de l'écosystème, en amont et en aval.

L'approche optique est menée par G. Gorsky avec un vidéoprofileur. Cette approche permet de quantifier l'abondance de la matière organique particulaire en suspension. Les copépodes représentent au maximum 10% des particules. La station à 4°N apparaît très oligotrophe, alors que la station à l'équateur montre un pic à 250m (forte exportation). Les données ne sont pas encore entièrement exploitées et les analyses encore fragmentaires. La campagne P6 complètera les observations de saison froide faites pendant la campagne P3 et par comparaison facilitera l'interprétation des résultats.

E. La production primaire (Dandonneau, Herbland, Biessy)

Pour l'étude des variations saisonnières et inter-annuelles de la biomasse photoplanctonique et de la production primaire, plusieurs techniques ont été utilisées : la fluorescence in situ, la fluorescence in vitro, l'HPLC et la cytométrie pour la biomasse ; la fluorescence naturelle, des incubations au 14C et des courbes PE pour la production.

Entre 1S à 5N, deux systèmes hydrologiques bien définis sont présents tout au long de l'année : la divergence équatoriale et, plus au nord, la structure tropicale classique (couche mélangée et thermocline marquées, et maximum profond de chlorophylle " a "). Leur extension et leurs caractéristiques ont sensiblement varié entre les campagnes.

Limité et peu intense durant l'hiver boréal, l'upwelling se renforce et se développe au delà de 1N en été, les températures de surface plus froides (23 à P2 contre 26 à P1) et la biomasse phytoplanctonique en surface plus importante en sont les signes. D'une année sur l'autre les variations peuvent être également conséquentes, biomasse et sels nutritifs en surface plus faibles lors de P5 que lors de P2.

Deux constatations ont été faites dans la structure tropicale classique :

De juin à septembre, l'influence des ondes tropicales d'instabilité est nette. Des langues d'eau froide, riches en sels nutritifs s'étendent de l'upwelling jusqu'à 4 ou 5N. Des concentrations élevées en chlorophylle " a " y apparaissent ponctuellement. En hiver, des phénomènes à petite échelle de temps (une semaine) et d'espace (< 100km) sont susceptibles d'engendrer de véritables blooms du phytoplancton dans le maximum profond. Les valeurs les plus élevées (de l'ordre de 3mg Chla/m³), qui ont été mesurées durant ces deux années, le furent à P1 (janvier 1997) où un phénomène de ce type a eu lieu. Son évolution a bien été suivie mais son moteur reste encore inconnu. La valeur de chlorophylle " a " intégrée peut ainsi être considérablement augmentée (proche de celle trouvée dans l'upwelling) mais ce processus est très localisé.

Le problème posé par le programme était le suivant : les ondes tropicales d'instabilités peuvent-elles engendrer un enrichissement expliquant les forts rendements de la pêche aux thons dans la région ? Il est maintenant évident que la biomasse phytoplanctonique augmente dans la région PICOLO lorsque ces ondes sont présentes. Les quantités de chlorophylle " a " sont bien plus importantes, pour une même latitude, dans le bord ouest de l'onde (la langue d'eau froide) qu'ailleurs. Deux origines avaient été retenues pour cet enrichissement :

un upwelling local ou de l'advection horizontale d'eau de la divergence équatoriale. Nos premiers résultats, tout comme ceux des autres équipes, nous orientent vers la seconde hypothèse.

D'un point de vue qualitatif, les mesures des pigments caroténoïdes par HPLC permettent de différencier les principaux groupes taxonomiques et ainsi discerner deux communautés distinctes dans la zone PICOLO. L'une se développe préférentiellement dans les eaux les plus oligotrophes, celles de la couche mélangée. Elle est composée principalement d'organismes de très petites tailles, cyanobactéries et prochlorophytes, qui constituent le picophytoplancton. L'autre communauté affectionne les eaux des maximums profonds et superficiels de chlorophylle. La taille du phytoplancton y est plus diversifiée avec dominance d'organismes $>3\mu\text{m}$, les nanoflagellés. Dans tous les cas, le microphytoplancton (diatomées, phytoplancton $>20\mu\text{m}$) reste un compartiment très minoritaire de la communauté phytoplanctonique, mais il est plus abondant à la fois en valeur absolue et en valeur relative dans les maximums de chlorophylle superficiels et subsuperficiels.

Il y aurait donc l'indice d'un changement des communautés phytoplanctoniques lié à l'enrichissement de la zone PICOLO, mais de très faible amplitude.

Comme on le supposait, la production primaire atteint des valeurs bien plus importantes dans l'upwelling, jusqu'à $3\text{mg " C " /m}^3/\text{h}$ contre $1\text{mg " C " /m}^3/\text{h}$ au nord de la zone ; le phytoplancton étant moins profond, il est exposé à une lumière plus intense.

Parallèlement à ces travaux, nous avons :

- ◆ Développé une nouvelle méthode, le LETGOpe, qui permet d'obtenir les paramètres physiologiques de la photosynthèse grâce à des mesures in situ. Paramètres qui seront prochainement intégrés dans un modèle ;
- ◆ Testé deux nouveaux instruments avec des résultats divers, inexploitable pour le CHLAM (absorption de la Chl) et encourageants pour le PNF (production primaire instantanée).

F. Le milieu physique et son impact sur la production

1. Mouvements verticaux, étude théorique et modélisation (Brossier, Monier, Belmiloudi)

Une des hypothèses émises pour expliquer la concentration saisonnière de thons dans la zone PICOLO est l'enrichissement des eaux de surface par des courants verticaux associés aux ondes longues d'instabilité. Les campagnes de mesures fournissent les courants horizontaux mais il est très difficile d'en déduire des vitesses verticales significatives. D'où l'intérêt de développer une modélisation axée sur une bonne représentation de la vitesse verticale associée aux ondes équatoriales.

Nous avons développé un modèle de perturbation permettant de calculer la variabilité des champs de courant et de densité autour d'une situation moyenne donnée. Une hypothèse cyclique permet d'isoler une longueur d'onde zonale, à choisir parmi les valeurs physiquement admissibles pour les ondes d'instabilité. Les équations traitées sont les équations primitives : équations de Navier-Stokes avec hypothèse de pression hydrostatique pour le courant, équation de transport-diffusion pour la densité. La discrétisation en espace utilise la méthode des éléments finis sur une grille rectangulaire à pas variables. L'étude mathématique du problème a été réalisée : existence, unicité, régularité de la solution sous des conditions à vérifier par la circulation moyenne. Le code numérique a été écrit et validé avec des éléments finis de type Q1. Une comparaison avec un modèle différences finies montre un meilleur traitement des conditions limites (en particulier du vent en surface) et une plus grande stabilité dans les zones à faible viscosité verticale.

Les perspectives : améliorer le code numérique afin d'obtenir une meilleure représentation de la vitesse verticale. Etudier l'influence du mélange vertical. On se propose d'implanter la formulation TKE calculant la viscosité verticale à partir de l'énergie cinétique turbulente. Etudier les variations mensuelles des instabilités en faisant varier la circulation moyenne caractéristique de l'Atlantique tropical.

2. Observations des ondes tropicales d'instabilité (Menkes, Morlière, Kennan)

Les résultats de la campagne PICOLO 2 d'été juin-juillet ont été analysés. La période était marquée par des ondulations du front thermique vers 2-3N visibles sur les images METEOSAT reçues à Abidjan. Le navire ANTEA a rencontré un front thermique marquant une instabilité vers 20W (fig.23) et a effectué des radiales nord-sud de l'équateur à 5N avec stations (0-250m) tous les 20 milles pour bien échantillonner la structure méridienne lors du passage du tourbillon anti-cyclonique caractéristique de cette période d'instabilité.

10 bouées dérivantes furent lâchées pour caractériser le déplacement des masses d'eau. Certaines ont décrit des cycloïdes, caractéristiques de la combinaison d'une rotation anti-cyclonique et d'une translation vers l'ouest (fig.24). On a pu calculer une vitesse de translation moyenne du tourbillon à 30 cm/s , ce qui est en accord avec les observations précédentes. En nous plaçant dans un référentiel en translation à 30 cm/s vers l'ouest, nous avons pu obtenir une représentation spatiale (latitude-longitude) des observations effectuées dans l'onde d'instabilité. Le tourbillon échantillonné est de l'ordre de 500 km de diamètre (fig.25). Les vitesses de recirculation à forte composante méridienne peuvent atteindre le mètre par seconde, vitesses importantes pour la zone équatoriale. Un fort ralentissement général des vitesses est visible dans la circulation du tourbillon vers le nord (fig.27a). Cette structure, remarquable, est nécessairement associée à une zone de subduction (convergence

des courants) intense. Elle correspond à un front abrupt de températures passant de 24.5C à 27C en quelques dizaines de kilomètres (27b). Ce front séparant les eaux chaudes du nord des eaux froides de l'upwelling du sud est l'image in-situ des observations satellitales. Les températures de 27-28C observées dans la recirculation vers le sud (vers 18W) sur le bord est du tourbillon correspondent aux eaux chaudes du CCEN.

Cette dynamique très particulière possède son pendant dans les données biogéochimiques récoltées. La zone de recirculation des eaux vers le nord qui est aussi celle des eaux froides sur le bord ouest du tourbillon, est riche en sels nutritifs, alors que le reste du tourbillon est appauvri en nutritifs. Les nitrates marquent là l'effet dynamique particulier du tourbillon et ne sont, au premier ordre qu'un traceur passif de cette dynamique. La chlorophylle mesurée est en accord avec le domaine d'enrichissement en nitrates. La zone enrichie est clairement séparée d'une zone appauvrie vers l'est et séparée de celle-ci par un front en nitrate et en température (fig.27c). A ce premier stade trophique, on remarque une décorrélation spatiale entre traceurs passifs et biologie. Dans la zone enrichie, les valeurs de chlorophylle sont de l'ordre des enrichissements équatoriaux classiques (upwelling). Une image POLDER de la chlorophylle de surface prise durant la campagne à la mer indique que la structure enrichie et observée in-situ se situe à la point d'une ondulation du front de chlorophylle d'environ 1000 km de longitude (fig.26).

La biomasse de zooplancton intégrée sur les 150 premiers mètres indique aussi une zone d'enrichissement bien marquée. Elle est visible dans la branche ouest du tourbillon où les courants vont vers le nord, ceci est en accord avec l'enrichissement en nutritifs et phytoplancton. La décorrélation spatiale entre phytoplancton et zooplancton s'accroît et l'on commence à observer un enrichissement au nord du tourbillon alors que la région centrale du tourbillon est toujours particulièrement pauvre. Enfin, des mesures de biomasses intégrées sur 500m de micronecton effectuées par sondages acoustiques permettent de mettre en évidence un enrichissement particulier observé dans la zone de circulation vers le nord, cohérent avec les échelons trophiques.

L'impact tri-dimensionnel de la dynamique particulière du tourbillon d'instabilité sur l'établissement d'une structure trophique durant PICOLO 2 est mis en évidence. Ceci est une première dans la zone équatoriale. Nous possédons un jeu de données complet qui nous permet de mieux appréhender les relations entre l'environnement actif du tourbillon tri-dimensionnel et le développement de la chaîne trophique : sels nutritifs en quantités, phytoplancton et zooplancton en quantités et soumis au phénomène concentrateur tourbillonnaire. Le phénomène physique est tel qu'il induit les conditions idéales de développement de la chaîne trophique. Il ne semble pas, contrairement aux hypothèses émises antérieurement, que les remontées verticales jouent un rôle important dans l'établissement de la chaîne trophique. Ce sont plutôt des phénomènes d'advection des eaux riches de l'upwelling équatorial par les forts courants méridiens induits par le tourbillon qui jouent un rôle déterminant essentiel. Il est probable que le micronecton, dont on voit la concentration particulière dans le tourbillon, trouve là les conditions idéales de croissance et de reproduction. Ces résultats font l'objet d'une publication en cours (Menkes et al., 1998).

3. Observations en saison chaude (Marchal, Lebourges, Menkès, Champalbert, Dandonneau, Biessy)

Les observations suivantes concernent la campagne PICOLO P1 (janvier-février 1997). Elles ont été faites sur une radiale parcourue 8 fois entre 1°S et 4°N le long du méridien 15°W. La situation rencontrée du sud au nord peut se schématiser ainsi (fig.28) :

- une zone de divergence de 1°S (point le plus sud des observations) à 1°N ou moins selon les parcours. Elle s'identifiait par une température de surface inférieure de 2°C par rapport au nord, une couche de surface non homogène avec une salinité plus élevée et un faible gradient thermique dans la thermocline, une concentration en Chlorophylle-a répartie dans la couche superficielle, sans maximum profond et une valeur intégrée de cette chlorophylle moyenne.

- une zone de convergence, située immédiatement au nord de la précédente entre 1 et 2°N, avec une couche de surface mélangée homogène, un fort gradient de température dans la thermocline (20°C à 65 m), un maximum profond de Chlorophylle élevé et une valeur intégrée de la couche également élevée : ce maximum a du reste évolué fortement au cours de la période d'observation, montrant qu'on était en présence d'un " bloom " localisé (voir plus haut).

- une Situation Tropicale Typique au nord de 2°30N environ, assez semblable à la précédente mais avec une thermocline un peu moins profonde et surtout un maximum profond de chlorophylle plus faible et une valeur intégrée également plus faible.

Le biomasses moyennes de zooplancton mesurées au filet WP2 (couche 0-100m) et de micronecton mesurées acoustiquement (couche 0-500m ou 0-200m de nuit), montrent une évolution remarquablement parallèle (fig.29) avec un fort maximum au plus sud de la zone de divergence, suivi de valeurs uniformes et d'une baisse dans le secteur le plus au nord. Il n'y a donc pas de relation avec la distribution de la Chlorophylle.

Par contre, la biomasse en bance de surface de *Vinciguerria* indique un maximum très marqué au niveau de la convergence, comme celui de Chlorophylle (fig.30).

Le manque de corrélation entre Chlorophylle, zooplancton et micronecton peut en fait s'expliquer par le caractère sporadique et limité en extension de l'enrichissement à 1-2°N, alors que la divergence est beaucoup plus stable, pouvant entraîner une production soutenue aussi bien de zooplancton que de micronecton. En ce qui concerne la biomasse de *Vinciguerria* en bancs de surface par contre, la bonne corrélation avec la Chlorophylle ne traduit évidemment pas une relation organique directe, les *Vinciguerria* ne se nourrissant pas de phytoplancton. Mais la présence d'un maximum profond de Chlorophylle très marqué peut entraîner une concentration importante de zooplancton à ce niveau, sans que cela se traduise par une valeur moyenne de biomasse élevée, mais favorable à la concentration de bancs de *Vinciguerria*. Actuellement plusieurs hypothèses sont envisagées concernant le comportement de ces poissons (voir plus haut), et il est encore prématuré pour en privilégier une. On se bornera donc de constater que les structures physiques caractérisées par une couche de mélange homogène, une thermocline marquée et un maximum profond de Chlorophylle important paraissent favorables à la concentration des bancs de *Vinciguerria*.

G. La modélisation

1. Couplage modèle physique-modèle biologique (Menkes, Ballé, Stoens, Dandonneau)

Parallèlement à l'effort d'observations de PICOLO, une modélisation couplée dynamique-biogéochimique de type JGOFS est menée (Ballé, 1998). La modélisation est l'outil le plus puissant pour comprendre les mécanismes générateurs des instabilités et analyser les transferts d'énergie, de masse et de chaleur de l'état moyen aux instabilités ainsi que leur couplage avec la biologie. Le modèle de circulation choisi (OPA/LODYC) avec une résolution de 3/4 degré longitude x 1/3 latitude reproduit bien, qualitativement, des ondes d'instabilités et des tourbillons tels qu'observés durant PICOLO2. D'une manière générale, les modèles de circulation de ce type produisent trop facilement de telles ondulations. Il est donc illusoire de vouloir comparer des ondes modélisées et observées " au même moment ". Par contre, les processus mis en jeu dans les modèles sont certainement sources de savoir. Plus quantitativement, OPA/LODYC ne permet pas de reproduire la structure frontale extrêmement fine et marquée des observations : sa résolution spatiale est trop lâche. Il faudrait pour cela des résolutions spatiales de l'ordre du 1/10 de degré au moins ce qui pose des problèmes de calcul, entre autres. Dans les simulations, les fronts sont beaucoup plus lâches. Néanmoins, la forte zone de convergence est bien visible dans les tourbillons. Ce modèle est couplé avec un modèle biogéochimique à l'échelle du bassin.

La structure du modèle biogéochimique en compartiments est un modèle classique. Le modèle est un modèle N (nitrate) N (ammoniac) P (phytoplancton) Z (zooplancton) D (détrit). On résout, à chaque pas de temps et d'espace une équation diffusion-advection des traceurs (NNPZD) avec des termes de sources et de puits. Ces termes sources et puits représentent, pour chaque traceur, les liens trophiques entre les compartiments (Ballé, 1998). Pour permettre la production primaire, le modèle biotique utilisé est un modèle à deux longueurs d'onde, rouge et bleue.

Dans ce modèle " simple ", le compartiment Z sert de fermeture aux équations et ne peut donc pas raisonnablement représenter quantitativement la structure observée du zooplancton. Les structures d'enrichissement observée durant PICOLO2 sont qualitativement reproduites par le modèle couplé. En effet, une zone d'eau enrichie est arrachée de la divergence équatoriale par les forts courants méridiens vers le nord associés aux ondes d'instabilités. Cet enrichissement en nitrate est d'abord régulé par les termes d'advection horizontaux comme semblaient le suggérer les observations. Le phytoplancton du modèle présente également cet enrichissement mais ne possède pas de maximum profond de sub-surface comme dans les données. C'est un défaut du modèle qui n'est pas propre à cette situation et qui peut provenir, entre autres, d'une mauvaise paramétrisation du rapport carbone/chlorophylle pris constant dans cette version du modèle. Conformément aux observations, le modèle indique cette même décorrélation spatiale entre échelons trophiques observée durant PICOLO2.

La modélisation menée de concert avec les expériences à la mer semble aussi donner des résultats prometteurs en ce qui concerne le couplage avec les premiers échelons trophiques (zooplancton au maximum et de manière qualitative). A ce stade cependant, de nombreux efforts restent à mener dans la représentation de la dynamique du tourbillon qui, tout en possédant les grandes structures observées, n'est pas capable de reproduire l'ordre de grandeurs des gradients observés dans les courants et la SST en particulier. En ce qui concerne le modèle biologique, il possède, comme tous ces modèles, un grand nombre de paramètres inconnus cherchant à représenter les liens biologiques entre les compartiments. L'étendue des mesures de PICOLO devrait permettre d'en contraindre un certain nombre, en particulier, grâce au travail d'assimilation de données prévu dans le cadre du projet ENVISAT soumis à l'ESA (Mémerly et al., 1998).

D'autre part, pour avancer dans la complexité du système trophique observé durant PICOLO, il faut maintenant envisager de coupler ce modèle de type JGOFS à des modèles de type GLOBEC, basé sur la prise en compte de comportement individuel. Le comportement particulier ici, à considérer, en premier lieu est le

comportement du *Vinciguerria nimbaria*. La poursuite de l'effort de modélisation entamé doit donc maintenant intégrer une composante plus comportementale qui se nourrira des résultats acquis durant les différentes campagnes à la mer.

2. Modélisation compartimentale à l'équilibre du système PICOLO (Ménard)

Les composants d'un écosystème sont reliés les uns aux autres par des interactions prédateur-proie et de compétition. Ces interactions dépendent de la structure du réseau trophique et de la limitation des ressources. Sans aller jusqu'à considérer la zone PICOLO comme un écosystème individualisé, une façon d'appréhender les relations entre les thons et leurs principales proies (*Vinciguerria nimbaria*) et de les lier aux autres composants (autres proies des thons, zooplancton, phytoplancton) serait de tenter une modélisation à l'équilibre du système PICOLO, dans lequel les transferts de biomasse seraient guidés par la relation " manger et être manger ". Une telle approche a été développée par Polovina (1984) pour estimer des biomasses dans un écosystème corallien et reprise par Christensen et Pauly (1992) qui ont développé tout un environnement, dénommé ECOPATH, pour mener à bien une telle modélisation (voir aussi Walters et al., 1997). On se propose donc de tenter de faire un modèle type ECOPATH appliqué à la zone PICOLO pendant la saison de pêche. Cette image statique de la structure trophique du système devrait nous permettre de quantifier les flux entre les différents compartiments capables de supporter la structure trophique courante. Les équations de base de ce modèle compartimental sont très simples. Soit i , un groupe fonctionnel :

Production de (i) = Prises de (i) + Consommation de (i) par ses prédateurs

Il s'agit donc de bien définir les groupes fonctionnels du système en tenant compte de toute les espèces, de connaître leur alimentation (ration et bol alimentaire), d'avoir une estimation de leur biomasse et de leur productivité. Il est aussi nécessaire d'unifier les dimensions (l'idéal étant de travailler en poids humide dans notre cas). La résolution du système qui est linéaire revient en fait à l'inversion d'une matrice.

Les connaissances accumulées pendant le programme PICOLO devraient nous permettre de les synthétiser dans une telle approche (mais il reste encore des points importants à éclaircir, comme par exemple l'alimentation des *Vinciguerria*). Néanmoins un problème important provient du fait que nous travaillons dans une zone ouverte en plein océan et que nous ne prendrons en compte qu'une couche d'eau. Il s'agira de connaître les flux migratoires des thons pendant la saison de pêche et d'avoir une bonne connaissance de la répartition spatiale et temporelle de leurs proies. Ce travail devrait pouvoir débiter courant 1999.

III. Conclusion

Le projet PICOLO a-t-il ou pourra t-il à son terme répondre à la question d'origine : quel(s) phénomène(s) favorise(nt) la concentration saisonnière des thons dans une zone délimitée de l'Atlantique équatorial ? Les hypothèses de départ étaient qu'il existe un phénomène physique (ondes de cisaillement dites de Legeckis) à l'origine d'un enrichissement particulier, et que c'est une cause trophique qui rassemble les thons.

La réalité du phénomène physique a été clairement établie et il a pu être montré que la dynamique très particulière associée aux ondes d'instabilité participait à l'enrichissement des eaux au nord de l'équateur, principalement par advection horizontale depuis la zone de divergence équatoriale. Une des hypothèses de départ concernant le rôle que pourraient jouer des mouvements verticaux présents dans le système tourbillonnaire n'a pas pu être démontrée de façon satisfaisante. Par ailleurs la période d'activité de ces ondes paraît limitée aux mois d'été (juin à septembre), alors que la première modélisation indiquait leur extension à l'automne et au début de l'hiver.

Pour ce qui concerne l'hypothèse trophique, là encore il a été indiscutablement prouvé que le poisson *Vinciguerria nimbaria* constitue une proie essentielle des thons, au moins au cours de la première partie de la saison de pêche (octobre à janvier), celle qui est le mieux individualisée. C'est parce que ces poissons forment des bancs en surface le jour qu'ils sont accessibles aux thons, et c'est parce que leur abondance est grande qu'ils constituent une ressource attractive.

Mais les causes de ce comportement si particulier (bancs en surface de jour au lieu de plongée en profondeur) et de leur abondance même ne sont pas entièrement élucidées, de même que la relation entre l'enrichissement de l'été boréal et la concentration des *Vinciguerria* et de leurs prédateurs quelques mois après. Toutefois, de sérieuses hypothèses existent. L'étude de la croissance des *Vinciguerria* a montré que leur durée de vie était brève et qu'ils atteignaient la taille à laquelle ils forment les bancs au bout de 4 mois environ. Ils paraissent par ailleurs se reproduire en toutes saisons. On peut alors concevoir que la période estivale est particulièrement favorable à leur développement et donc à la constitution de fortes cohortes qui deviendront accessibles aux thons en automne et en hiver, saison de pêche au thon. Les tourbillons développés par les ondes d'instabilité pourraient du reste jouer le rôle de zone de rétention pour les larves et les juvéniles, et renforcer ce développement. Les données encore à l'étude devraient pouvoir étayer ces hypothèses. De même les causes du comportement particulier des *Vinciguerria*, le singularisant par rapport aux autres espèces mésopélagiques, ne sont pas clairement établies. On a certes montré que les bancs n'étaient composés que d'adultes (d'où l'idée d'une

relation avec la reproduction) et que c'était uniquement hors des zones de divergence qu'on les rencontrait, là où se trouve un maximum profond de chlorophylle bien marqué. Là encore les analyses en cours des données et les observations complémentaires des dernières campagnes devraient apporter des éléments probants. Enfin la modélisation qui va être développée et concernant tant les phénomènes d'enrichissement que les relations des différents compartiments du système devrait également permettre de préciser son fonctionnement.

Ainsi on peut dire que la question d'origine a reçu une réponse satisfaisante : la zone PICOLO est bien caractérisée par des phénomènes physiques favorisant la production biologique et elle abrite une biomasse importante de proies accessibles aux thons et capables de les retenir pendant la saison de pêche.

Paris-Abidjan, le 15 novembre 1998

BIBLIOGRAPHIE CITÉE

- Ariz J., Delgado A., Fonteneau A., Gonzales Costas F. and P. Pillares, 1993. Logs and tunas in the eastern tropical Atlantic. A review of present knowledges and uncertainties. ICCAT, coll. Vol. Sci. Papers, XV(2), 421-446.
- Ballé, (1998) modélisation dynamique — bio géochimie dans l'atlantique tropical, thèse de doctorat.
- Blackburn M., 1968. Micronekton of the Eastern Tropical Atlantic Ocean: family composition, distribution, abundance and relations to tunas. Fish. Bull. U.S. Fish. Wildl. Serv., 67(1), pp 71-115.
- Christensen V. and D. Pauly, 1992. ECOPATH II, a software for balancing steady-state ecosystem models and calculating network characteristics. Ecological Modelling, 61, 169-185.
- Dragovitch, 1970. The food of skipjack and yellowfin tunas in the Atlantic ocean. Fish. Bull. NOAA/NMFS, 68(3), pp 445-460.
- Flament P., Kennan S. C., Knox R., Niiler P., Bernstein R., (1996). The three dimensional structure of an upper ocean vortex in the tropical Pacific, Nature, 382, 610-613.
- Fukai E., 1991. Importance du picoplancton autotrophe dans la biomasse et la production primaire des eaux marines oligotrophes. Atlantique tropical oriental et mer des Sargasses. Thèse Univ. Paris 6, 4 Pce Jussieu, 75005 Paris, 150p.
- Gorsky G., Aldorf C., Kage M., Picheral M., Garcia Y. and J. Favole, 1992. Vertical distribution of suspended aggregates determined by a new underwater video profiler, Annales de l'Institut Océanographique, Paris, 68, 1-2
- Hansen D.W. and C.A. Paul, 1984. Genesis and effects of long waves in the equatorial Pacific. *J. Geophys. Res.*, 89, 10431-10440.
- Harrison D. E., 1996. Vertical velocities in the central tropical Pacific : a circulation model perspective for JGOFS. *Deep Sea Res.*, 43, 687-705
- Holliday D.V. and R.E. Pieper, 1995. Bioacoustical Oceanography at high frequencies, ICES J. Mar. Sci., 52, 279-296.
- Kennan S. C. (1997), Observations of a tropical instability vortex, Ph.D. Thesis, University of Hawaii, 190 p.
- Kiefer D.A. and A.R. Reynolds, 1992. Advances in understanding phytoplankton fluorescence and photosynthesis. in Primary productivity and biological cycles in the sea. Falkowski P.G. and A.D. Woodhead Editors, Plenum, New York, pp 155-174.
- Kitchell, 1978. Bioenergetic spectra of skipjack and yellowfin tunas. In The physiological ecology of tunas. Ed. by G.D. Sharp and A.E. Dizon, New York, Academic Press, pp 357-368.
- Legeckis R., (1977) Long waves in the eastern equatorial Pacific Ocean : a view from a geostationary satellite, Science, 197, 1179-1181.
- Legeckis R., (1983), Long waves in the equatorial Pacific and Atlantic Oceans during 1983. Ocean-Air interactions, 1, 1-10.
- Legeckis R. and W. Pichel, 1984. Monitoring of long waves in the eastern equatorial Pacific 1981-1983 using satellite multi-channel sea surface temperature charts. NOAA Tech. Rep. NESDIS 8, pp 19.
- Legeckis R. and G. Reverdin, 1987. Long waves in the equatorial Atlantic ocean during 1983. *J. Geophys. Res.*, 92, 2835-2842.
- Malardé JP., P. De Mey, C. Périgaud and J.F. Minster, 1987. The oceanic dynamic topography associated with long equatorial waves. *J. Phys. Oceanogr.*, 17, 2273-2279.
- Marshall N.B., 1960. Swimbladder structure of deep-sea fishes in relation to their systematics and biology. Discovery Reports, 31, 1-122
- Marchal E., F. Gerlotto and B. Stequert, 1993. On the relationship between scattering layer thermal structure and tuna abundance in the Eastern Atlantic equatorial current system. *Oceanologica Acta*, 16(3), 261-272.
- McPhaden M.J., M. Fieux and J. Gonella, 1984. Meanders observed in surface currents and hydrography during an equatorial Atlantic transect. *Geophys. Res. Lett.*, 11 (8), 757-760.

- McPhaden M.J. (1996) Monthly period oscillations in the Pacific North Equatorial Countercurrent, *J. Geophys. Res.*, 101, 6337-6359.
- Memery L., Crepon M., Dandonneau Y., Dupouy-Douchement C., Levy M., Menkes C., Mortier L., Thiria S., Verron J. (soumis). From sea color to ecosystem modelling in the Atlantic Ocean and the Mediterranean sea : neural methodologies using both in situ and satellite data. Projet ENVISAT/MERIS, soumis a l'ESA, 1998
- Menkes C., Kennan S., Morlière A., Flament P., Champalbert G., Marchal E., Dandonneau Y., Biessy B., Lebourges A., Balle J., Montel Y., Grelet J. and Reverdin G. (1998) : Biological implications of a three dimensional vortex in the tropical Atlantic, *Nature*, en préparation.
- Menkes C., Stoens A., Radenac M.H., Grima N., Dandonneau Y., Edin G., Mémemory L., Navarette C., André J.M., Moutin T., and Raimbault P., (1997) The coupled physical-biogeochemical system in the tropical Pacific ocean in September — November 1994, submitted to *J. Geophys. Res.*
- Morlière A., Le Bouteiller A., and Citeau J., (1994) Tropical Instability waves in the Atlantic Ocean, a contributor to biological processes, *Oceanolo. Acta.* 17,6,585-596.
- Murray W.J., R.T. Barber, M.R. Roman, M.P. Bacon, R.A. Feely, (1994) Physical and biological controls on carbon cycling in the equatorial Pacific, *science*, 266, 58-60.
- Musman S., 1992. Geosat altimeter observations of long waves in the equatorial Atlantic. *J. Geophys. Res.*, 97, 3573-3579.
- Périgaud C., 1990. Sea level oscillations observed with Geosat along the two shear fronts of the Pacific North Equatorial Countercurrent. *J. Geophys. Res.*, 95, 7239-7248.
- Philander S.G.H., W.J. Hurlin and R.C. Pacanowski, 1986. Properties of long equatorial waves in models of the seasonal cycle in the tropical Atlantic and Pacific oceans, *J. Geophys. Res.*, 91, 14207-14211.
- Polovina J.J., 1984. Model of a coral reef ecosystem. The ECOPATH model and its application to French Frigate Shoals. *Coral Reefs*, 3,1-11.
- Pullen P.E., R.L. Bernstein and D. Halpern, Equatorial long waves characteristics determined from satellite sea surface temperature and in situ data. *J. Geophys. Res.*, 92, 742-748, 1987.
- Qiao L., and Weisberg R.H. (1995) Tropical instability wave kinematics : observations from the Tropical Instability Wave Experiment, *J. Geophys. Res.*, 100, 8677-8693.
- Richardson P.L., and McKee T.K., (1984) Average variations of the Atlantic equatorial currents from historical ship drifts, *J. Phys. Oceanogr.*, 14, 1226-1238.
- Richardson P.L and G. Reverdin, 1987. Seasonal cycle of velocity in the Atlantic north equatorial countercurrent as measured by surface drifters, currentmeters and shipdrift, *J. Geophys. Res.*, 92, 3691-3708.
- Roger C. and E. Marchal, 1993. Mise en évidence de conditions favorisant l'abondance des *Albacores Thunnus albacares* et des *Listaos Katsuwonus pelamis* dans le secteur Picolo. ICCAT, Rec. Doc. Scient., 32, 237-248.
- Steger J.M. and J.A. Carton, 1991. Long waves and eddies in the tropical Atlantic ocean: 1984-1990. *J. Geophys. Res.*, 96, 15 161-15 171.
- Stoens (1998), Assimilation de données couleurs de la mer dans un modèle biogéochimique, projet de post-doc CNES, soumis au CNES.
- Voituriez B. et A. Herbland, 1982. Comparaison des systèmes productifs de l'Atlantique tropical est: dômes thermiques, upwellings cotiers et upwelling équatorial. *Rapp. et P.V. Réun.CIEM*, 180, 107-123.
- Walters C., Christensen V. and D. Pauly, 1997. Structuring dynamic models of exploited ecosystems from trophic mass-balance assessments. *Reviews in Fish Biology and Fisheries*, 7, 139-172.
- Weisberg R.H. and Weingartner T.J. (1988) Instability waves in the Equatorial Atlantic Ocean, *J. Phys Oceanogr.*, 18, 1641-1657.
- Weisberg R.H., 1984. Instabilities waves observed on the equator in the Atlantic ocean during 1983. *Geophys. Res. Lett.*, 11 (8), 753-756.
- Yoder J.A., Ackleson S.G., Barber R.T., Flament P., and Balch W.M., (1994) A line in the sea, *Nature*, 371, 689-692.

Annexe 1

PICOLO en chiffres

Les budgets en KFF

Année	Fonctionnement ORSTOM	Estimation coût navire ORSTOM	PNDR	Autres	TOTAL
95	288	200	105		593
96	529	100	210		839
97	451	3.000	200	80 (Hawai)	3.731
98	335	2.100	130	132 (NOAA)	2.697
TOTAL	1.603	5.400	645	212	7.860

Les hommes

ORSTOM

Borsa
Campana
Citeau
Dandonneau
Dewals
Dugué
Eldin
Fonteneau
Gallois
Grelet
Hervé
Hoepffner
Lebourges
Lebouteiller
Levenez
Marchal
Ménard
Menkes
Montel
Morlière
Panfilii
Roger
Stéquert

Partenaires du Nord

Balle (Thésard Paris)
Belmiloudi (INSA Rennes)
Biessy (Thésard Paris)
Boussaid (Etudiant Brest)
Brossier (INSA Rennes)
Champalbert (CNRS)
Duboz (Etudiant Marseille)
Flament (Hawai USA)
Gorsky (CNRS)
Herbland (Ifremer)
Kennan (Scripps USA)
Lefloch (Etudiant Brest)
Millour (Etudiant Brest)
Monier (INSA Rennes)
Noe (CNRS)
Robert (Etudiant Lille)
Roullet (Etudiant Paris)
Rubin (Etudiant Paris)
Tomas Olague (Etudiant Brest)
Vanpouille (Etudiant Rennes)

Partenaires du Sud

Aman (Université Abidjan)
Banhoré (CRO)
Barrigah (CRO)
Djédjé (CRO)
Kouamé (Etudiant Abidjan)
Kouassi (Etudiant Abidjan)
N'Goran (CRO)
Tea (CRO)

TOTAL : 241 mois chercheur et 175 mois I.T. sur les années 95-98

Annexe 2

La production scientifique en octobre 1998.

Publications

- Roger C. and E. Marchal (1994). Mise en évidence de conditions favorisant l'abondance des albacores, *Thunnus albacares*, et des listaos, *Katsuwonus pelamis*, dans l'Atlantique Equatorial Est. ICCAT Coll. Vol. Sci. Papers ; 32 (2), 237-248
- Morlière A., A. Le Bouteiller and J. Citeau (1995). Tropical instability waves in the Atlantic ocean: a contributor to biological processes. *Océanologica Acta* , 17 (6).
- Marchal E., Josse E. et A. Lebourges (1996). Prédateurs et proies : une approche acoustique. *Oceanis*, 22,
- Marchal E. and A. Lebourges (1996) Acoustic evidence for unusual diel behaviour of a mesopelagic fish (*Vinciguerria nimbaria*) exploited by tuna. *ICES Journal of Marine Science*, 53: 443-447.
- Ménard F., Hervé A., Fonteneau A. (1997)- 2° 4'N 10° 20'W : an area of high seasonal concentrations of tunas; the site of the PICOLO program. Actes Symposium Thon ICCAT 1996 des Açores
- Belmiloudi A., Brossier F. and L. Monier (1998). Mathematical and Numerical Modelization of large-scale oceanic waves.. A paraître dans " Mathematical Methods in the Applied Sciences ".
- N'goran Y.N. et M. Pagano (1998) Mise en évidence du type de nutrition chez *Vinciguerria nimbaria* dans la zone tropicale de l'Atlantique Centre-Est par comparaison entre la chlorophylle et le zooplancton contenus dans l'estomac. Soumis *Cybiu*m.
- Menkes C., Kennan S., et al. : biological implications of a three dimensional vortex in the tropical Atlantic, en préparation.
- Lebourges-Dhaussy A. et E. Marchal. In situ measurements of the mesopelagic fish (*Vinciguerria nimbaria*) at two frequencies using a dual-beam transducer and mean volume backscattered from schools. En préparation.
- Tomas Olague J. and J. Panfili. Otolith micro structure examination and growth patterns of *Vinciguerria nimbaria* in the tropical Atlantic ocean. Soumis à Fisheries Research.

Communications

- Ménard F. and A. Hervé (1996)- 3°N 15°W: an area of high seasonal concentrations of tunas. Communication Symposium Thon ICCAT, Ponta Delgada, Sao Miguel, Açores, 10-18 juin 1996
- Lebourges A. and E. Marchal (1997). Use of the mean volume backscattering strength to survey the spatial variations of the micronekton biomass in the equatorial current system of the Atlantic Ocean. ICES/FAST Working Group, Hamburg, Germany, 17-19 April 1997
- Lebourges A. and E. Marchal (1997). Surveying variations of micronekton biomass from mean volume backscattering strength in the Atlantic equatorial current system. Poster, Ref. Y:15, ICES CM, Baltimore, september 1997.
- Menkes C (1997): The PICOLO program, From instability waves to tuna fishing in the Atlantic, Atelier Thons-environnement, 13 octobre 1997, ORSTOM
- Menkes C.(1998) The PICOLO program : From Instability Waves To Tuna In the Tropical Atlantic (GLOBEC Open Science Meeting, Paris 17-20 Mars 1998).
- Menkes C. et al.(1998): The PICOLO program, From instability waves to tuna fishing in the atlantic, EGS, 20-24 avril, Nice
- Tomás Olague J. and J. Panfili (1998). Otolith microstructure examination and growth patterns of *Vinciguerria nimbaria* (Photichthyidae) in the tropical Atlantic Ocean. 2d Inter. Symp. on Fish Otolith Research and Application, Bergen, Norvège., 20-25 Juin 1998.
- Lebourges A. and G. Gorsky (1998). Acoustical and optical measurements on zooplankton within the equatorial Atlantic current system. Soumis à la Quatrième conférence Européenne d'acoustique sous-marine. Rome, 21-25 septembre 98
- Marchal E. and A. Lebourges (1998). In situ Target Strength measurements of a mesopelagic fish : *Vinciguerria nimbaria*. Soumis à la Quatrième conférence Européenne d'acoustique sous-marine. Rome, 21-25 septembre 98.
- Ménard F., Fonteneau A., Stéquert B., Gaertner D., Marchal E. - A seasonal tropical tuna purse seine fishery in a deep-sea area located 0-5°N and 10-20°W. Poster soumis à l'ICES/SCOR Ecosystem Effects of Fishing, Montpellier, 16-19 mars 1999

Formation (rapports, thèses,..)

- Tomas Olague J. (1995) Analyse des microstructures des otolithes de *Vinciguerria nimbaria* de l'Atlantique tropical : premières applications à l'étude de la croissance et de la démographie. Rap. Orstom-Lasaa, 45p.

- Boussaid S. (1996). Etude de la croissance et de la démographie de *Vinciguerria nimbaria* (Photichthyidae) de l'Atlantique tropical par analyse des microstructures des otolithes. Mémoire DEA Océanologie Biologique, Université de Bretagne Occidentale.
- Robert C. (1997). Etude de la distribution spatio-temporelle des larves de *Cubiceps pauciradiatus* dans une zone de l'Atlantique équatorial (1°S-5°N, 10°W-20°W). Mémoire Maîtrise de Biologie des Ecosystèmes et des Populations, Université des Sciences et Techniques de Lille.
- Millour A. (1998). Essais de validation des rythmes des dépôts des microstructures sur les otolithes de *Vinciguerria nimbaria* (Photichthyidae) de l'Atlantique tropical. Mémoire DEA Océanologie Biologique, Université de Bretagne Occidentale, en cours.
- Biessy: B. (1997-...) Variabilité des paramètres de la photosynthèse et forçage physique dans la zone de propagation des ondes d'instabilité équatoriale. Thèse Université Paris VI, en cours
- Rubin A. (1998). Etude des contenus stomacaux de thons capturés dans le Golfe de Guinée. Compte-rendu du stage effectué au CRO, du 19 janvier au 3 juin 1998.

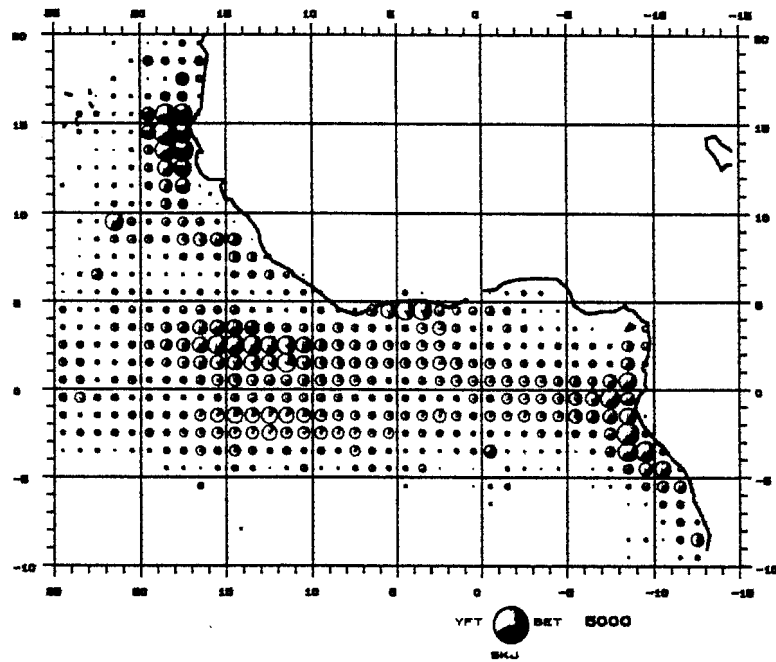


Figure 1. Moyenne annuelle par carré de 1 degré des captures par espèce pour la période 1978-1994 (yft : albacore, skj : listao, bet : patudo).

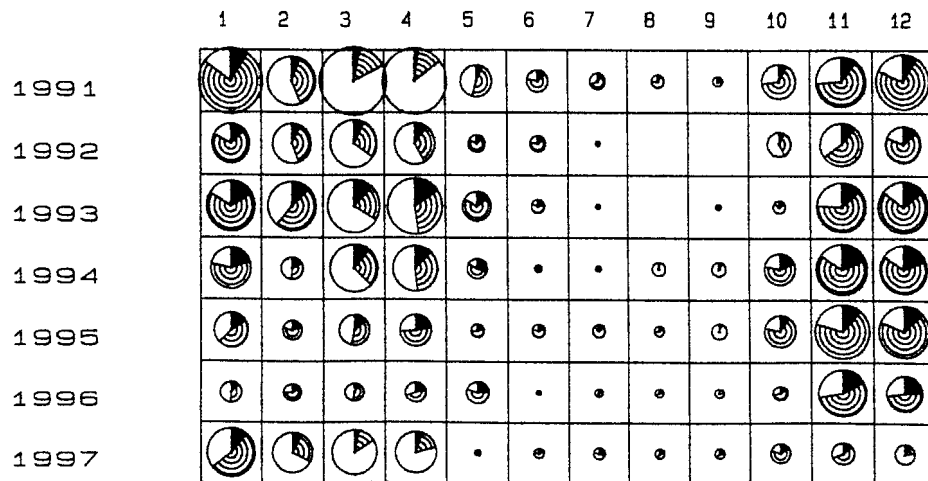
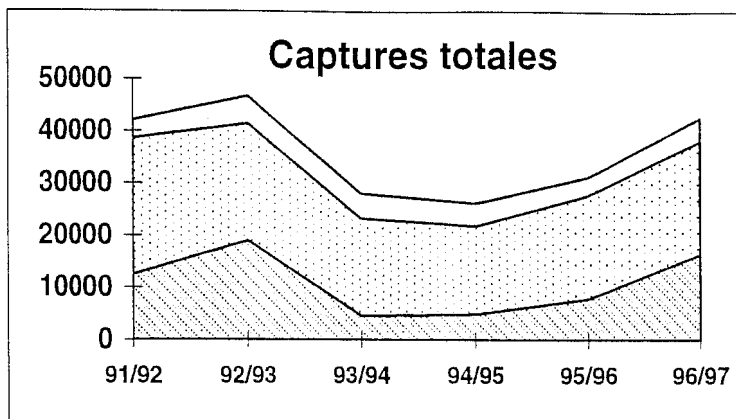
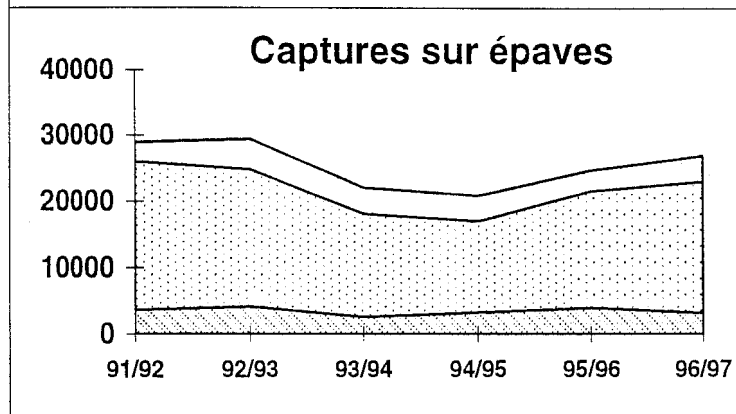


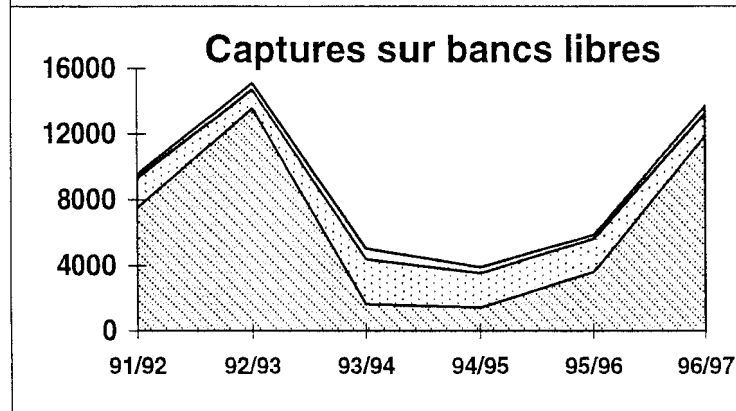
Figure 2. Captures mensuelles par espèce dans la zone PICOLO (0-5°N, 10-20°W) entre 1991 et 1997 (blanc : albacore, grisé : listao, noir : patudo).



alb	lis	pat
28%	59%	12%



alb	lis	pat
14%	71%	15%



alb	lis	pat
64%	30%	6%

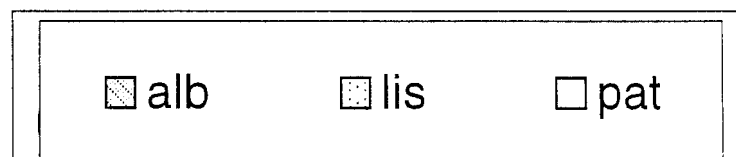


Figure 3. Captures par espèce pendant les saisons de pêche (du mois d'octobre au mois d'avril), pour les différents modes de pêche et composition spécifique moyenne correspondante.

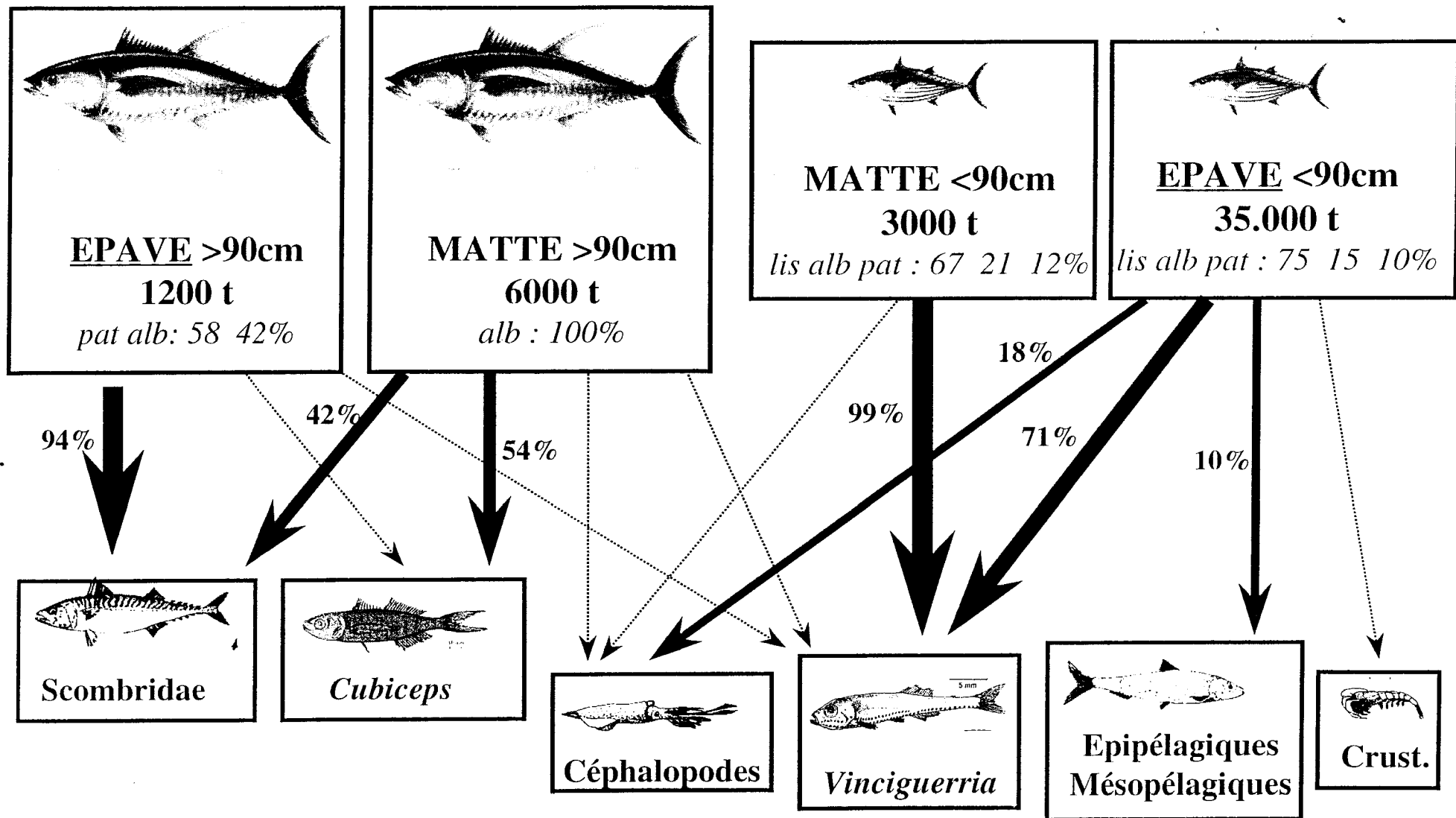


Figure 4. Nutrition des thons dans la zone PICOLO (0-5°N, 10-20°W) à partir de l'étude de contenus stomacaux. Proportions en masse des différents groupes de proies des thons en fonction de leur taille et de leur mode de pêche. Les tonnages moyens de thons pêchés et la composition spécifique moyenne sont donnés à titre indicatif.

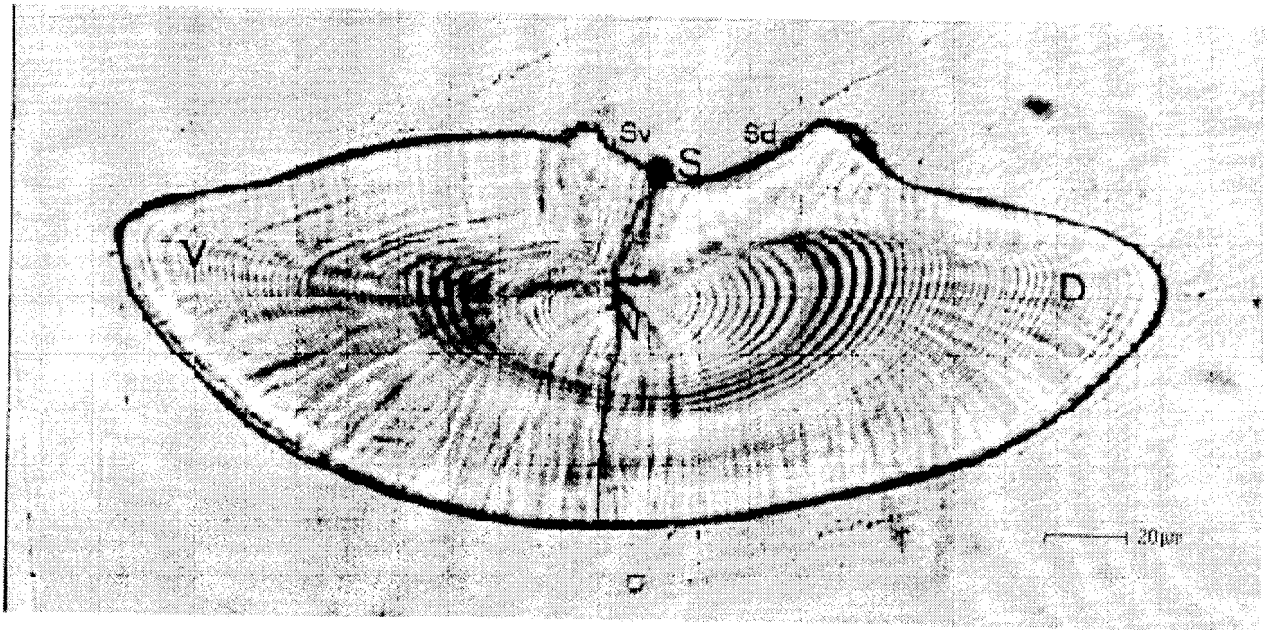


Figure 5. Coupe transversale d'otolithe de *Vinciguerria nimbaria*. Le nucleus est noté N, la face dorsale D, la face ventrale V et le sillon S. Sd et Sv correspondent respectivement aux côtés dorsal et ventral du sillon.

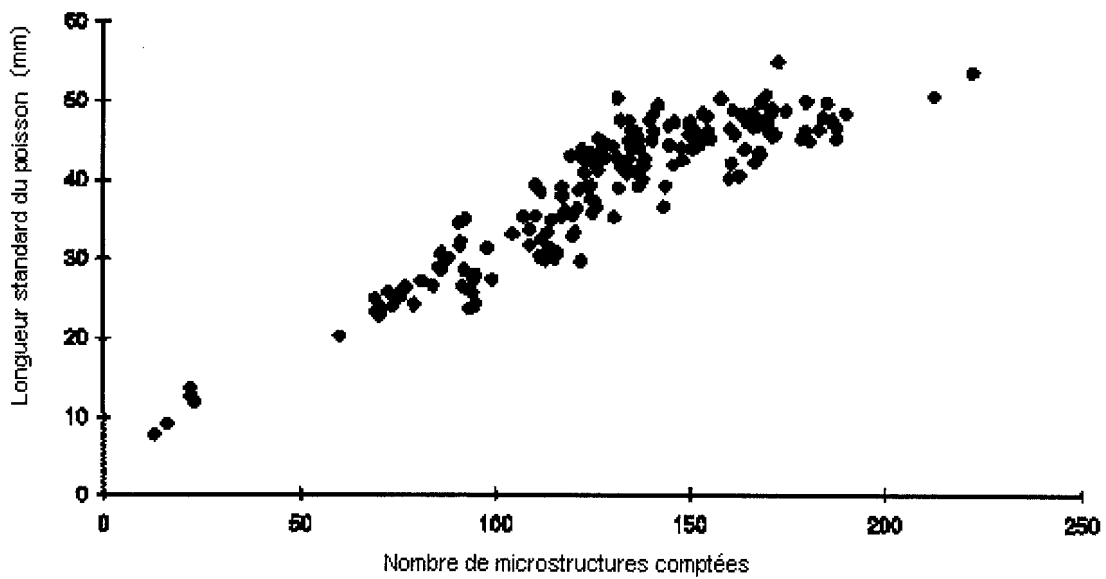


Figure 6. Longueur standard (en mm) de *Vinciguerria nimbaria* en fonction du nombre de microstructures des otolithes.

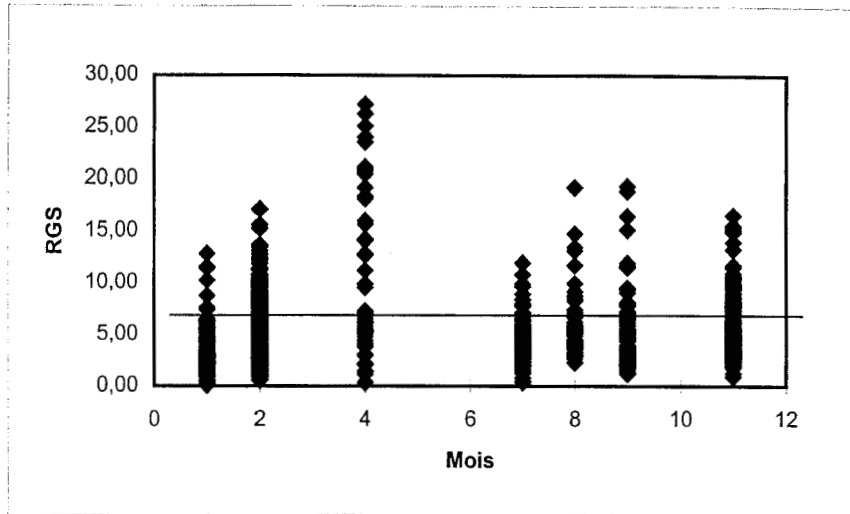


Figure7 - Variations mensuelles du rapport gonado-somatique (R.G.S.) chez les femelles de *Vinciguerria*

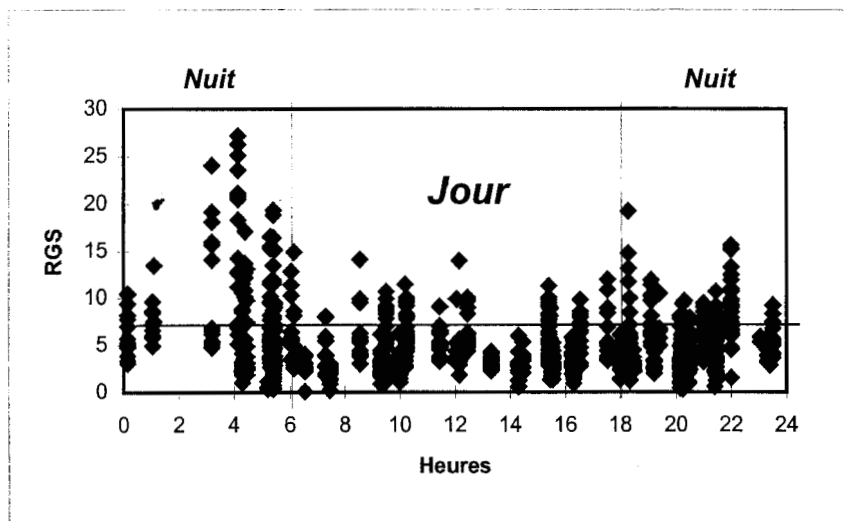


Figure 8 - Variations du R.G.S. femelle en fonction de de l'heure de capture des individus

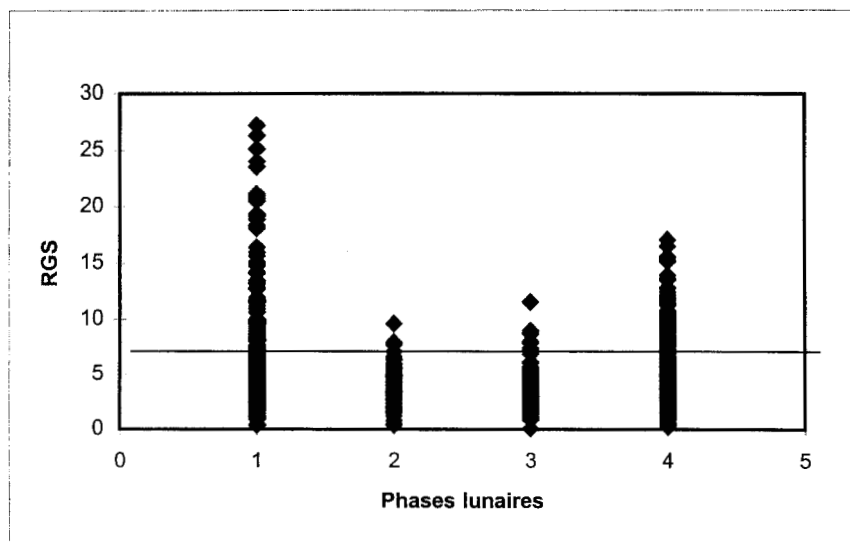


Figure 9 - Variations du R.G.S. femelle au cours d'un cycle lunaire

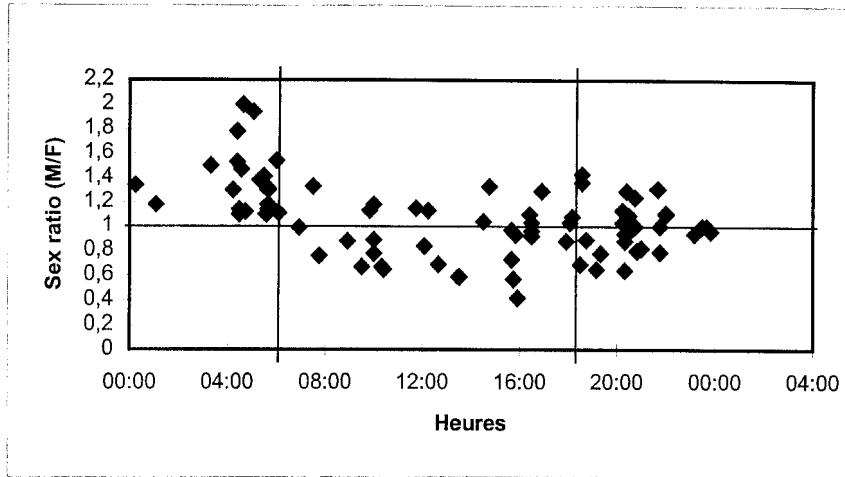


Figure 10 - Evolution du sex-ratio (M/F) au cours d'une journée

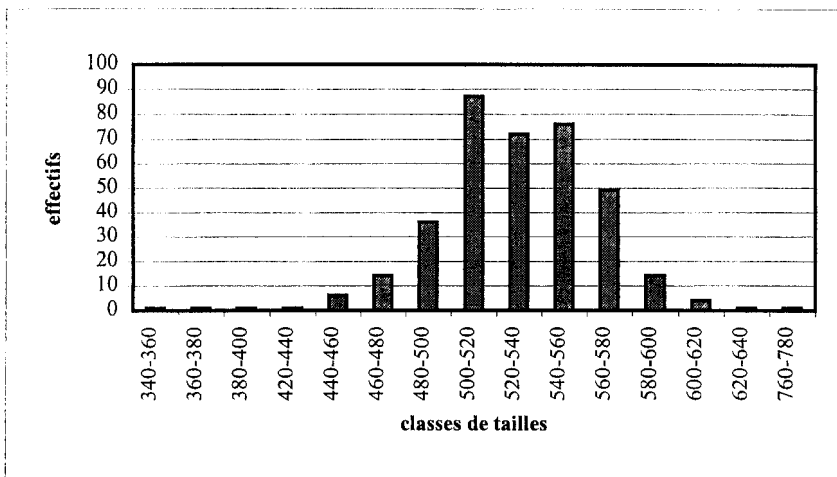


Figure 11 - Distribution de fréquence de tailles des ovocytes constituant le dernier mode dans une gonade mature de *Vinciguerria*

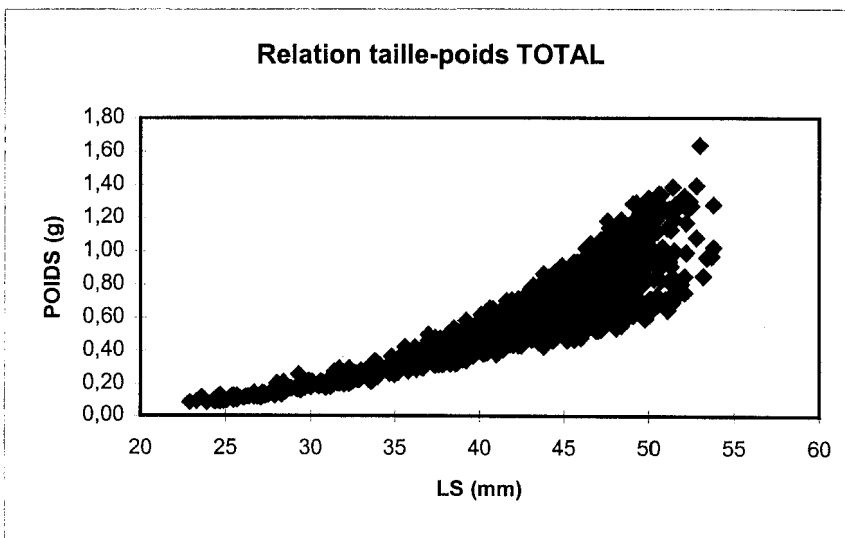


Figure 12 - Poids (en g) des *Vinciguerria nimbaria* en fonction de leur longueur (LS) en mm

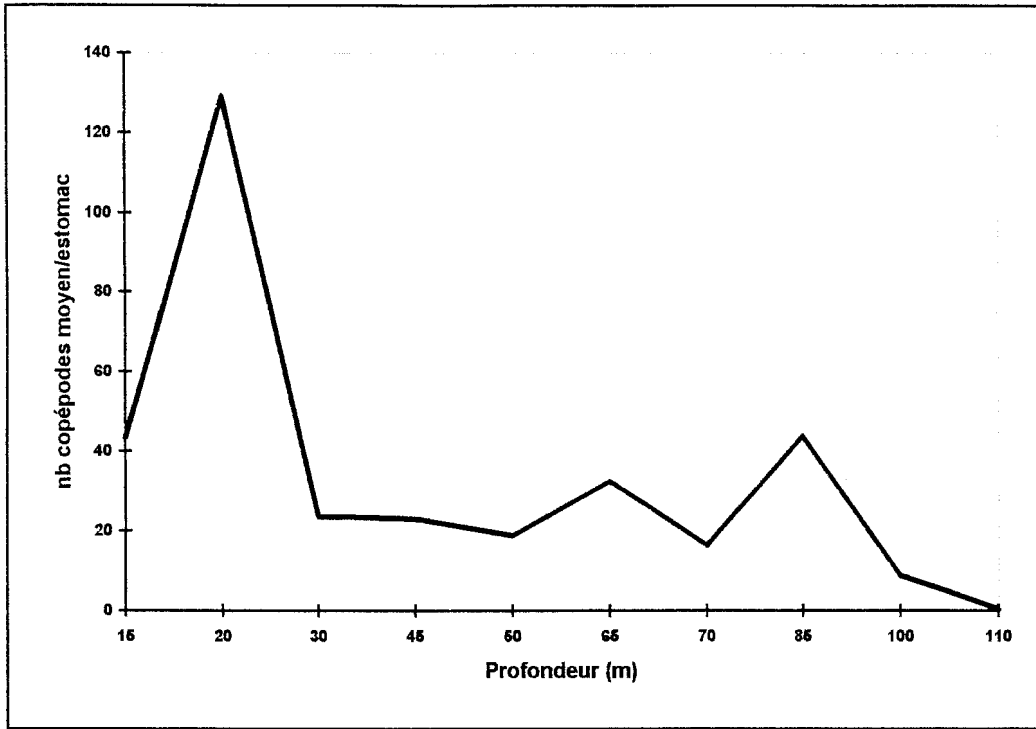


Figure 13. Variation du nombre moyen de copépodes par estomac chez *Vinciguerria* en fonction de la profondeur.

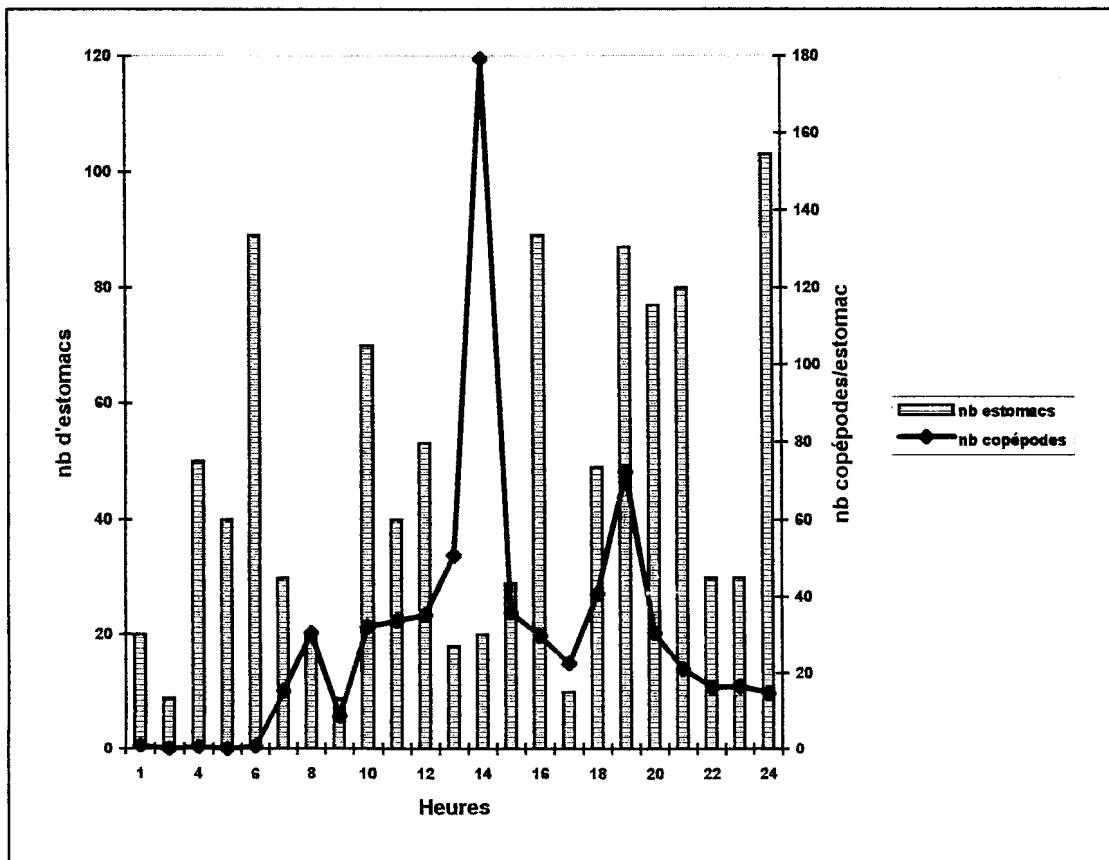


Figure 14. Variations nycthémerales du nombre de copépodes par estomac chez *Vinciguerria*, et nombre d'estomacs examinés (un nombre égal ou inférieur à 20 correspond à un même échantillon).

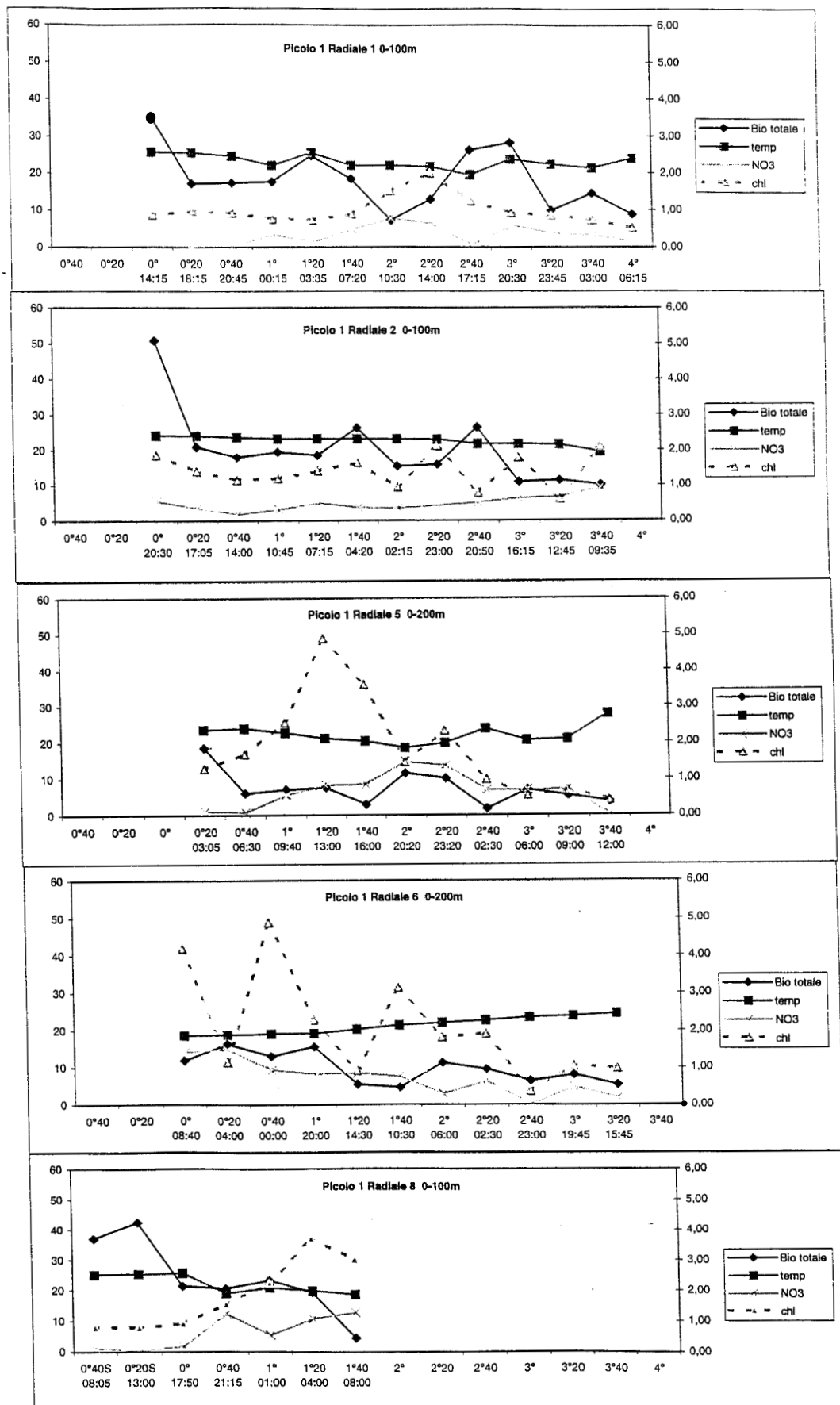


Figure 15. Variations de la biomasse zooplanctonique (mg/m^3) le long de 15°W pendant la campagne P1 avec indication de la température, des nitrates et de la chlorophylle.

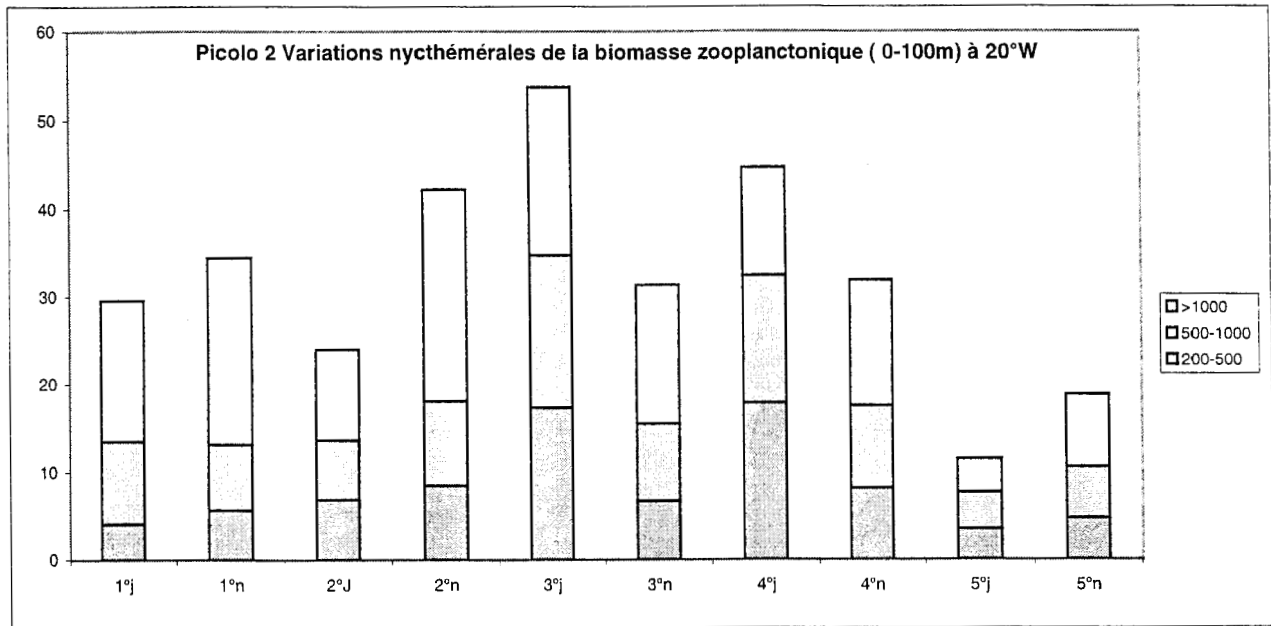


Figure 16. Variations nyctémérales de la biomasse zooplanctonique (mg/m^3) moyenne (0-100m) par classes de taille en μm sur 20°W pendant la campagne P2 (1°j : premier jour, 1°n : première nuit, etc..).

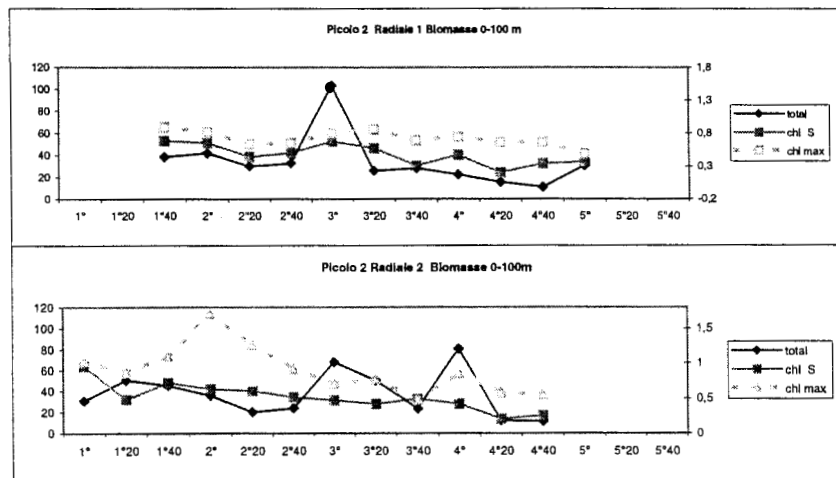


Figure 17. Variations de la biomasse zooplanctonique (mg/m^3) le long de 20°W pendant la campagne P2 avec indication de la chlorophylle de surface et du maximum de chlorophylle.
a - Radiales 1 et 2

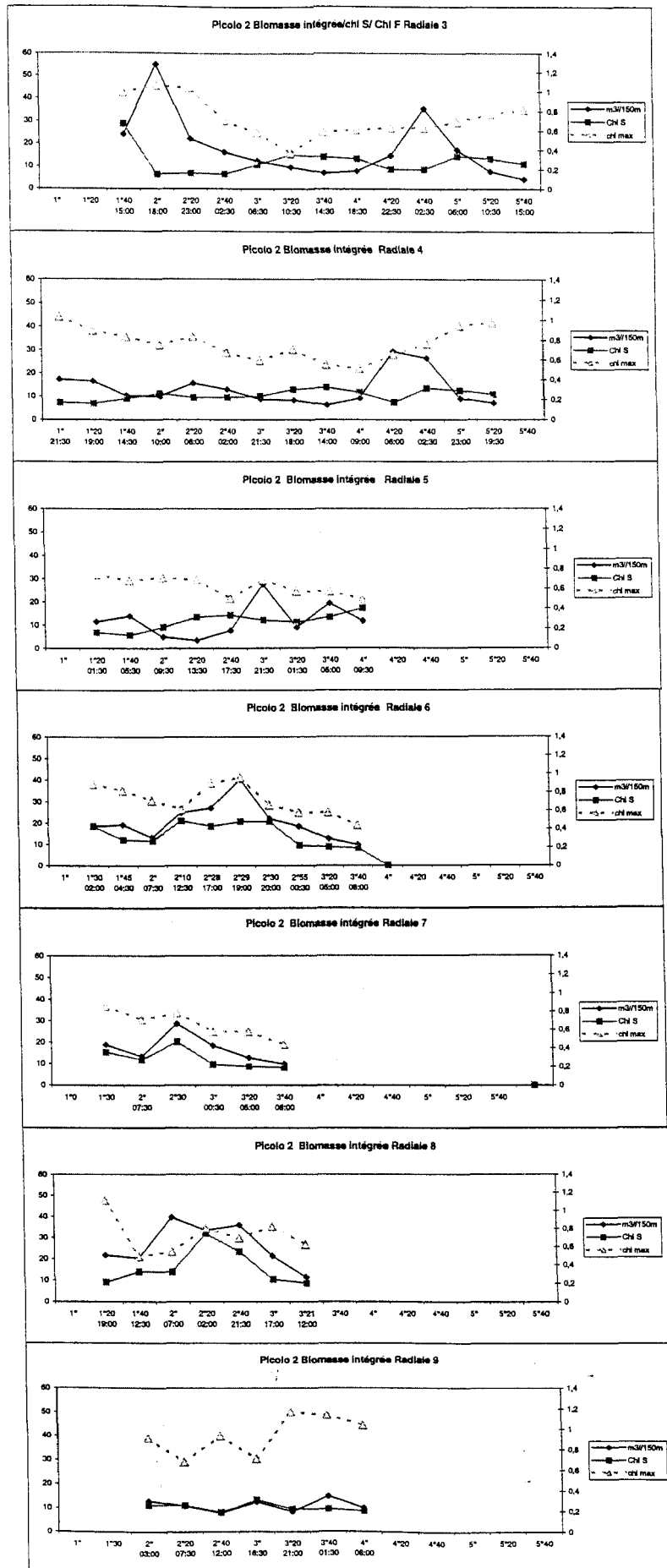


Figure 17 (suite). Même légende. b - Radiales 3 à 9.

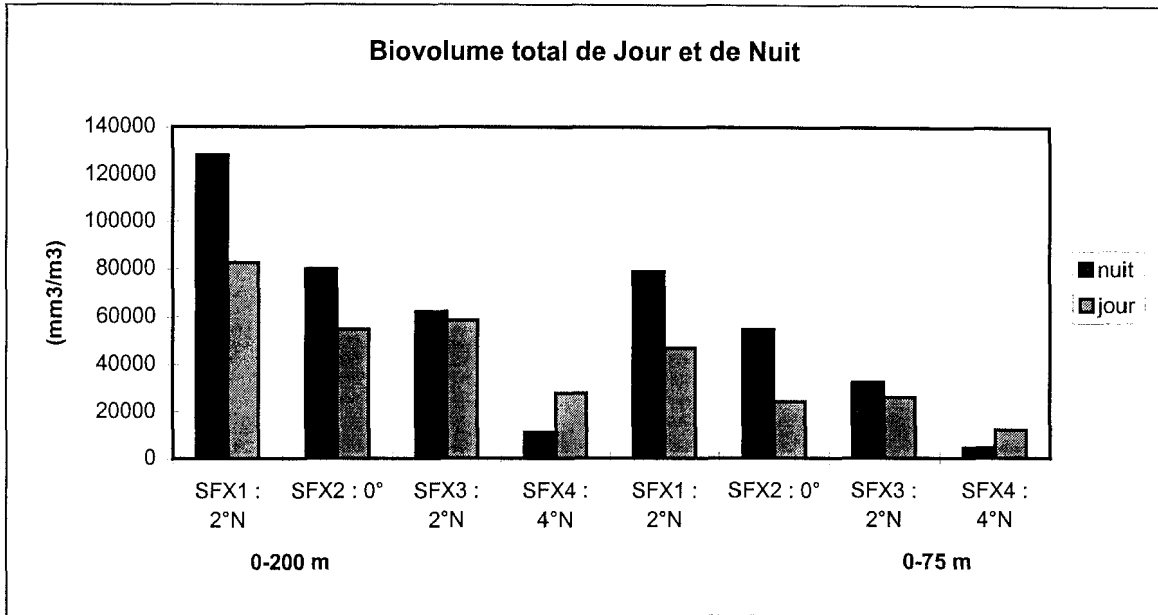


Figure 18. Campagne P3 : biovolume total (acoustique), intégré pour toute la colonne (0-200m) et pour la tranche supérieure (0-75m) à chacune des stations fixes (SFX) sur 16°W, moyennes de jour et de nuit

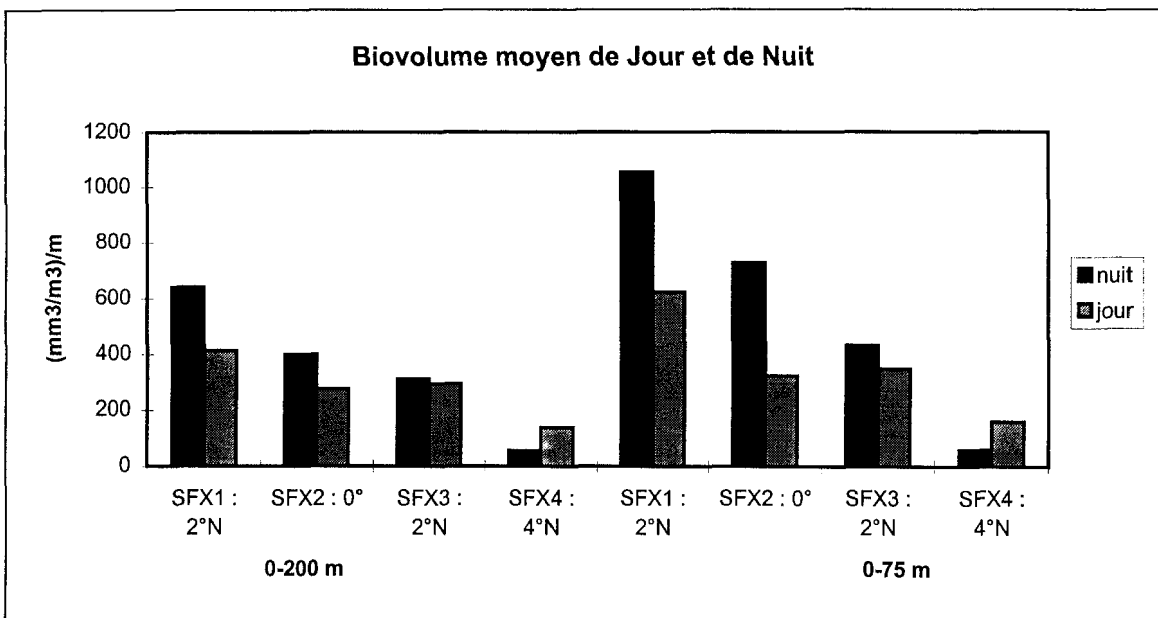


Figure 19. Légende comme Figure 18, mais biovolume moyen

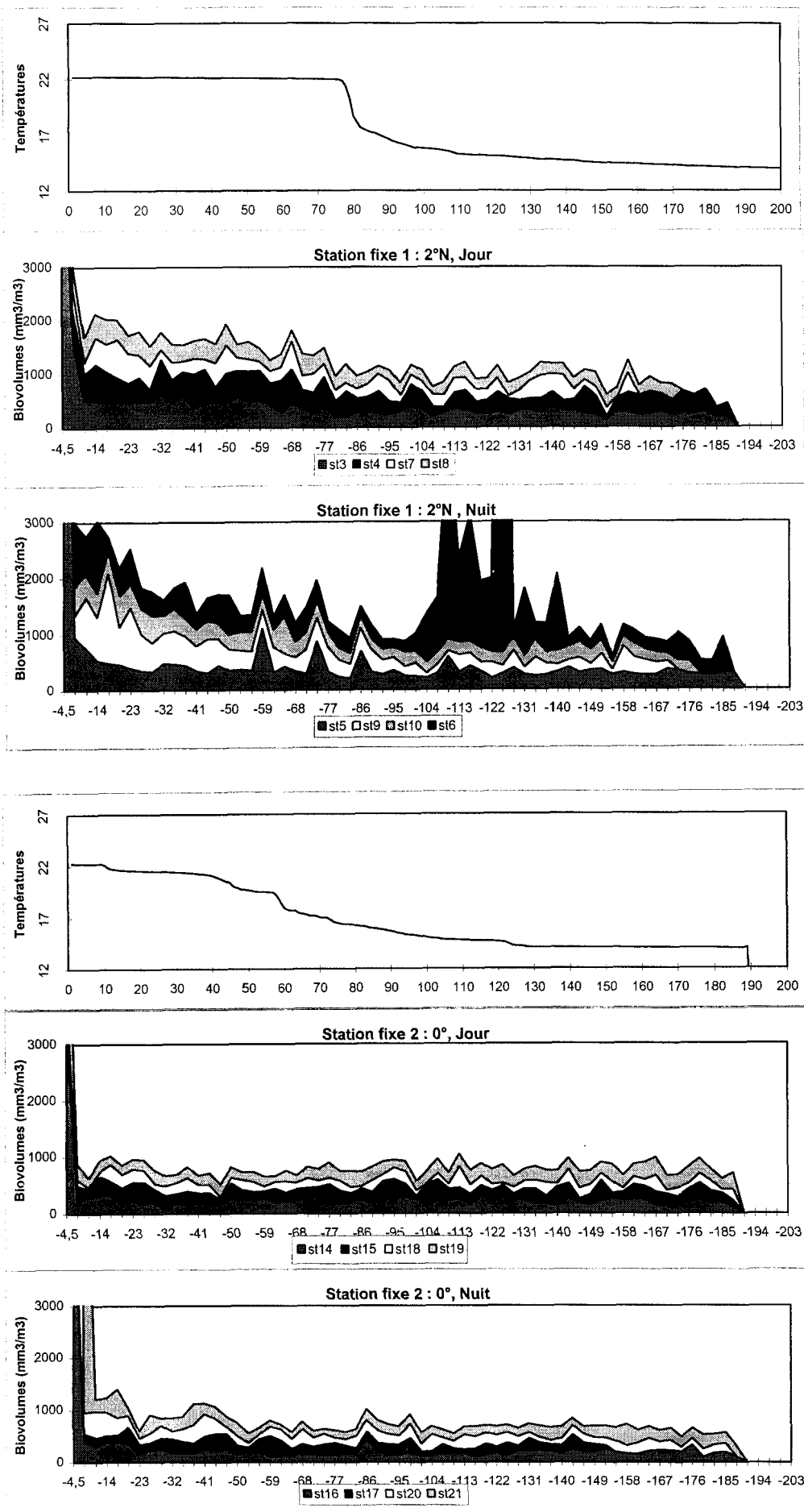


Figure 20. Biovolume total en fonction de la profondeur, moyenne de tous les profils par Station Fixe, jour et nuit séparés. Profils de température correspondant.
 a et b : Stations Fixes à 2°N (dans la langue d'eau froide) et à 0° (divergence)

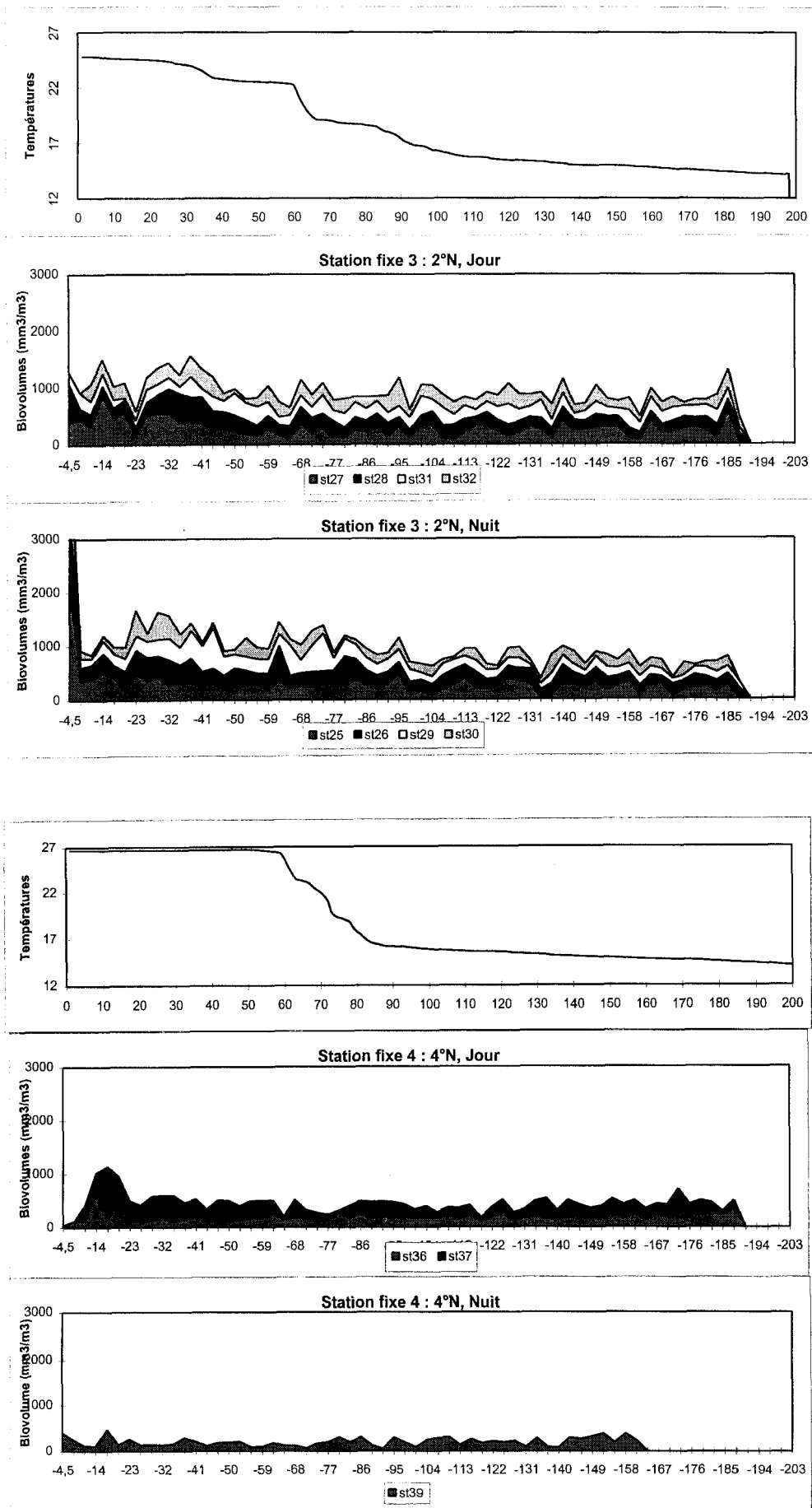


Figure 20 (suite). c et d : Stations Fixes à 2°N (après le passage de la langue d'eau froide) et à 4°N (nord du tourbillon)

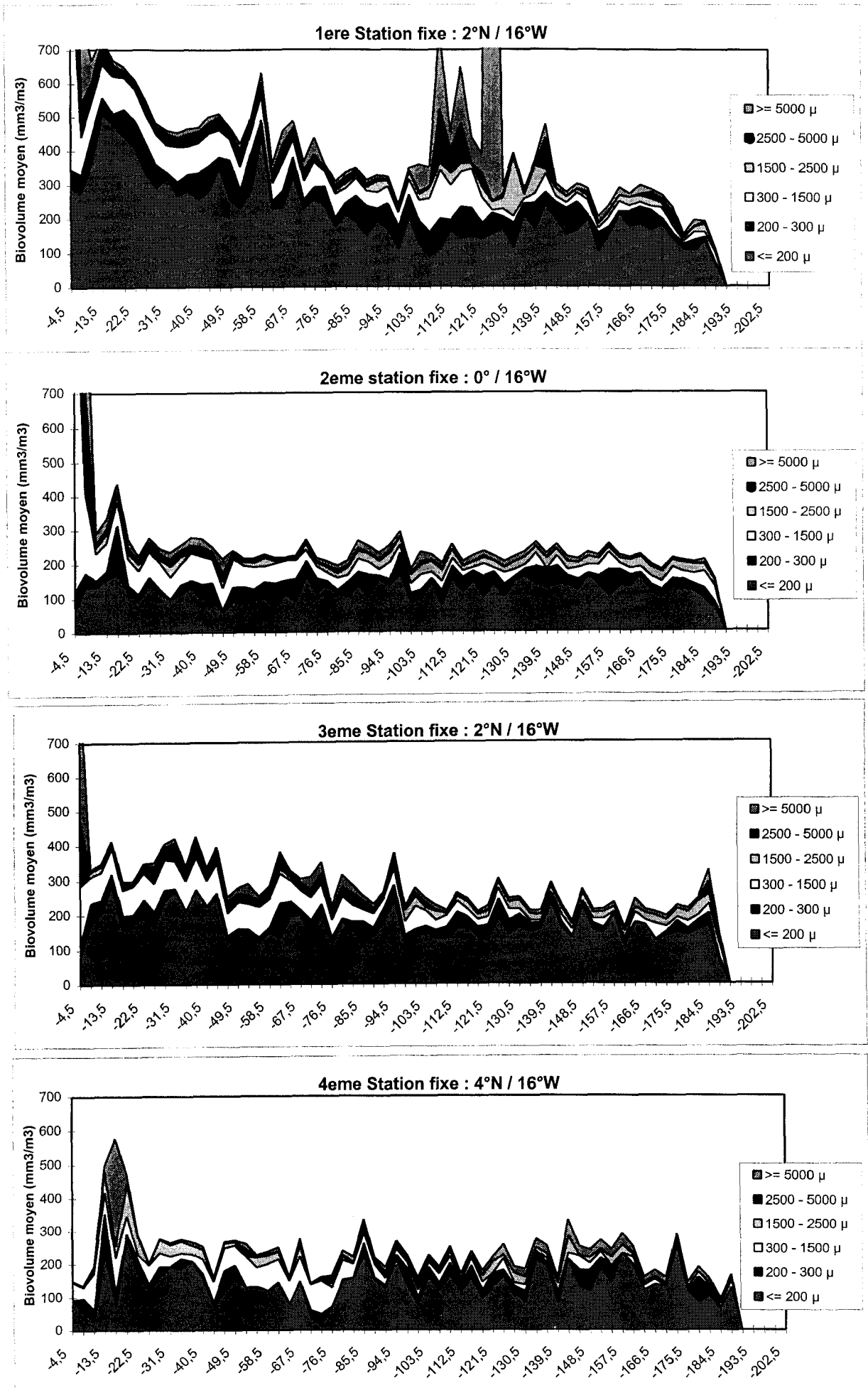


Figure 21. Variations du biovolume moyen par classes de taille en fonction de la profondeur pour chaque station fixe. Les très fortes valeurs (hors échelle) de surface sont probablement dues à des bulles, celles en profondeur à la station 1 à de grands organismes (poissons, organismes gélatineux?).

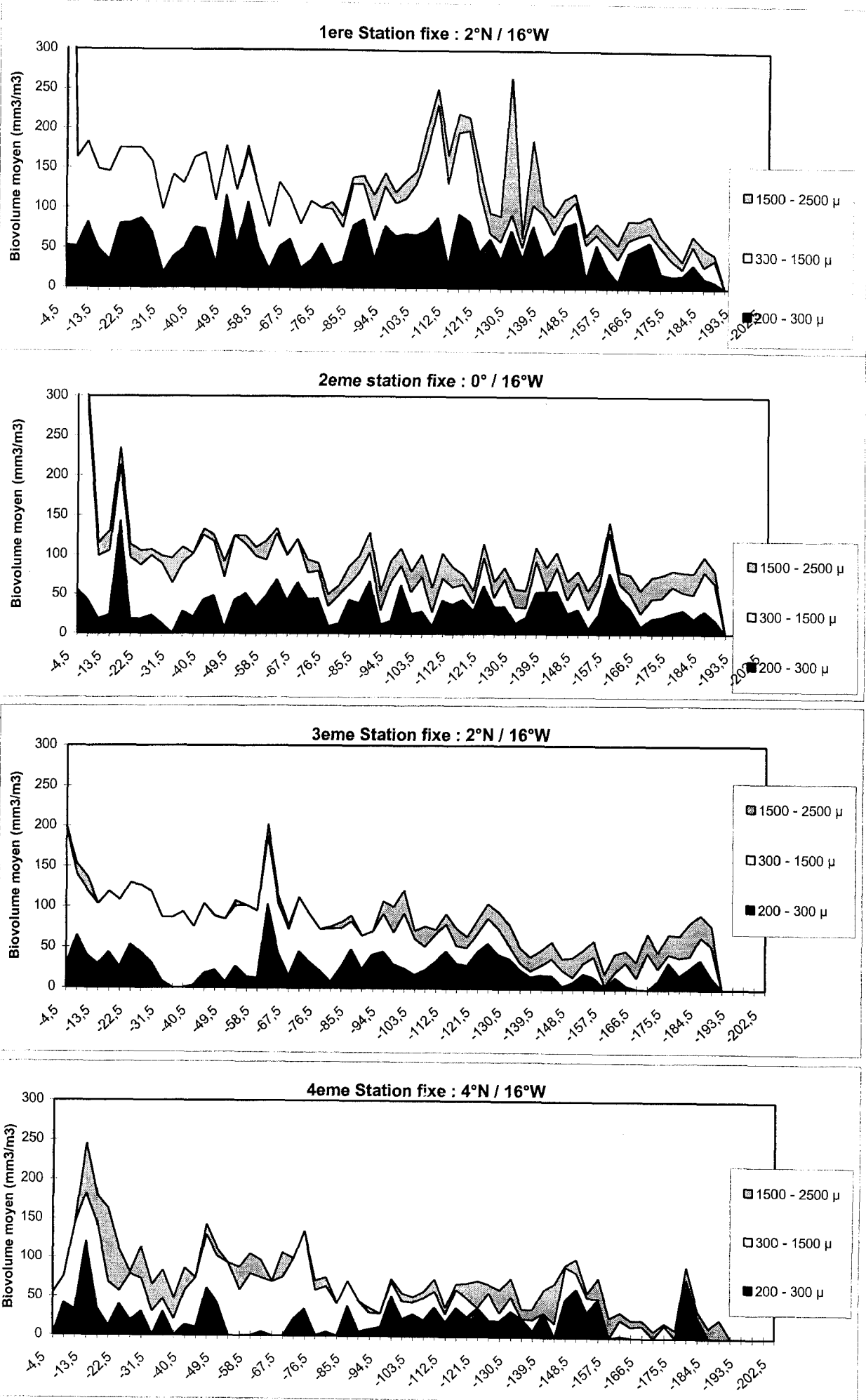


Figure 22. Variations du biovolume moyen pour les classes de taille 200 à 2500 μ en fonction de la profondeur pour chaque station fixe

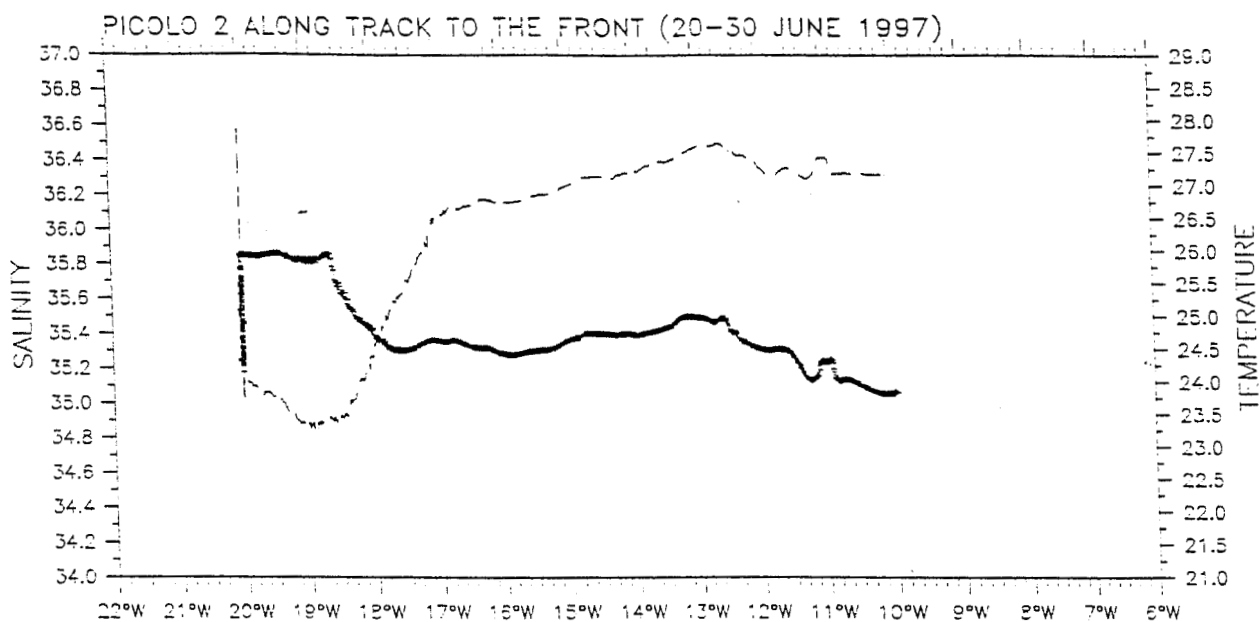


Figure 23. Campagne P2, variations des températures et salinités de surface le long du trajet du navire sur 1°30N entre 10 et 20°W. On notera la brusque chute de température entre 17°W et 18°W correspondant à l'entrée dans la partie froide de l'onde.

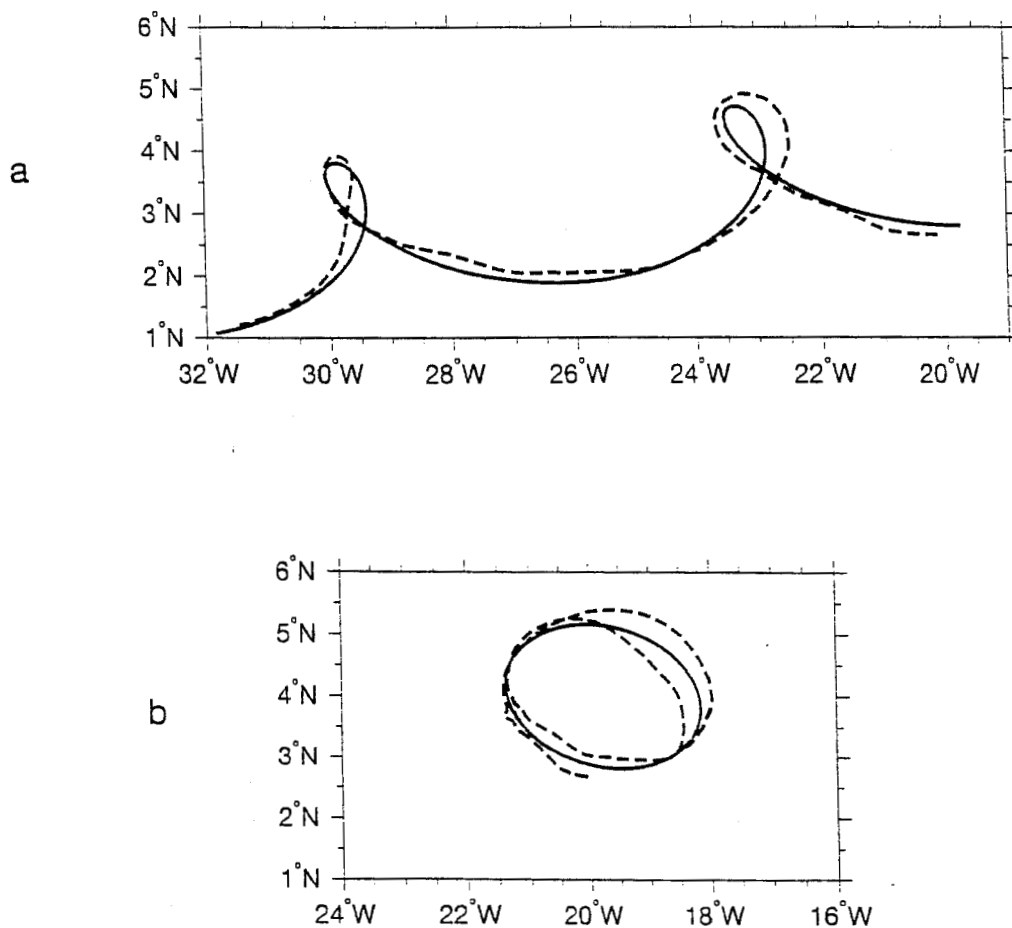


Figure 24. Campagne P2. Trajectoire de bouées dérivantes mouillées à 20°W, 2°30N dans le tourbillon associé à l'onde.

- a - mouvement réel des bouées
- b - mouvement reconstitué en annulant le déplacement de l'onde

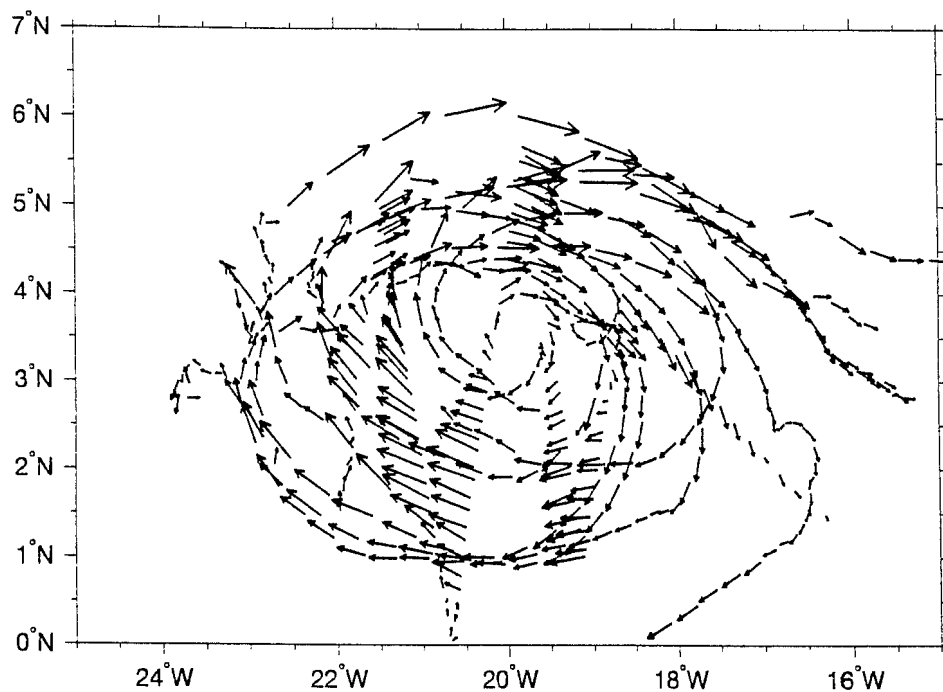


Figure 25. Campagne P2. Courants de surface mesurés par le navire (ADCP) et par les déplacements des bouées, mettant en évidence le tourbillon.

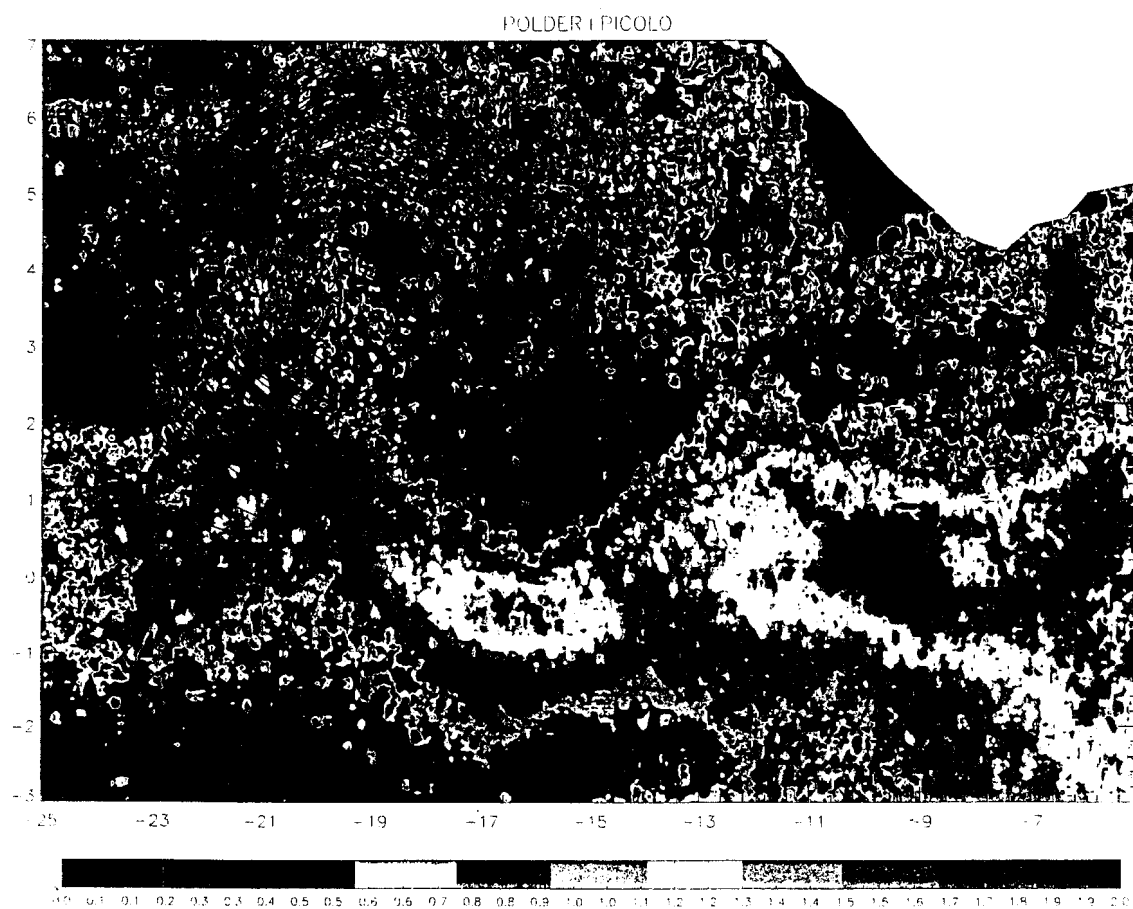
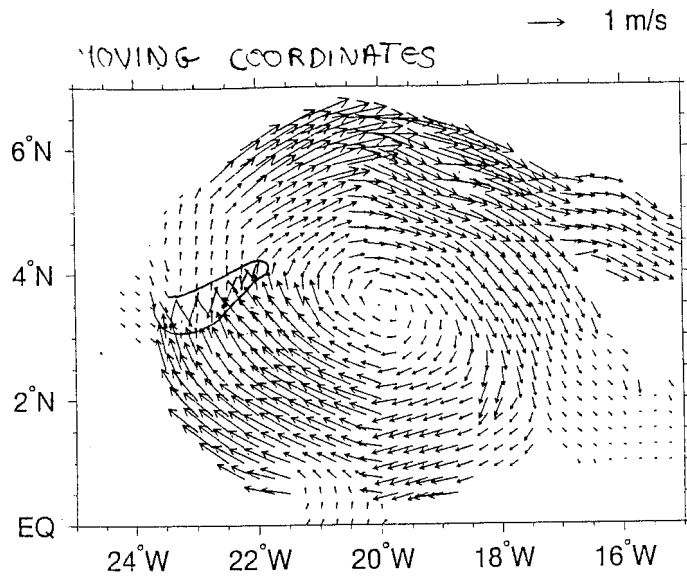
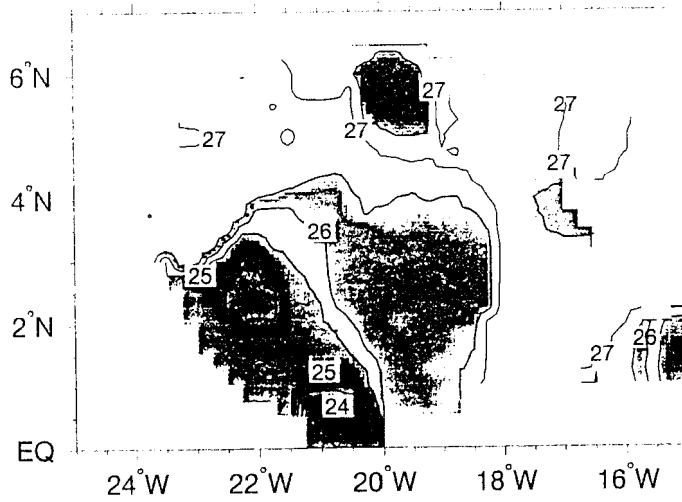


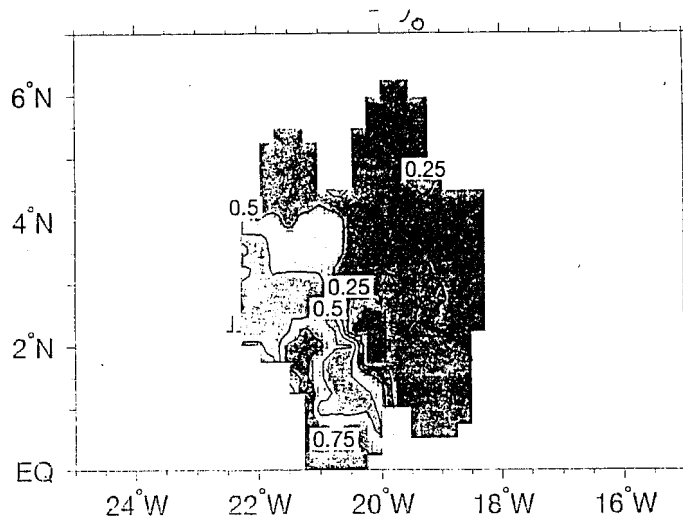
Figure 26. Image donnée par le capteur du spectre visible du satellite POLDER en juin 1997 (période de la campagne P2) et montrant la concentration de chlorophylle de surface. Les plus fortes valeurs apparaissent en clair sur cette image. On distingue très nettement la forme de l'onde.



a



b



c

Figure 27. Campagne P2. Tourbillon associé à l'onde longue de cisaillement.

a - Courants de surface interpolés dans un référentiel en translation à 30 cm/s (ensemble des observations). On a marqué l'emplacement du front de l'onde matérialisé par un brusque ralentissement des courants de surface (plongée des eaux froides)

b - Températures de surface

c - Chlorophylle-a intégrée sur 60 m (en $\mu\text{g/l}$)

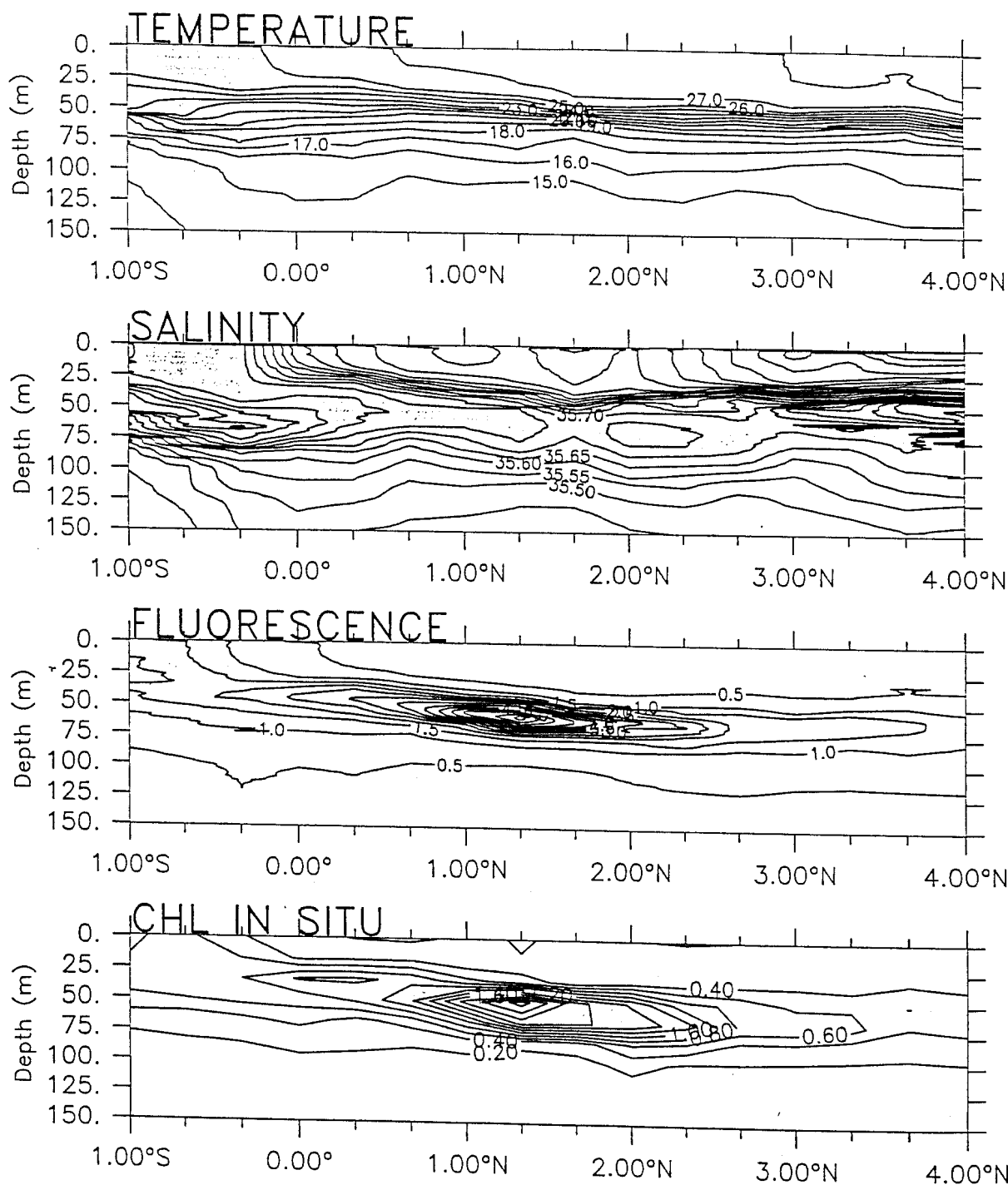


Figure 28. Campagne P1. Valeurs moyennes de température, salinité, fluorescence et Chlorophylle-a in situ (indicatives) observées le long des 8 parcours de la radiale 15°W

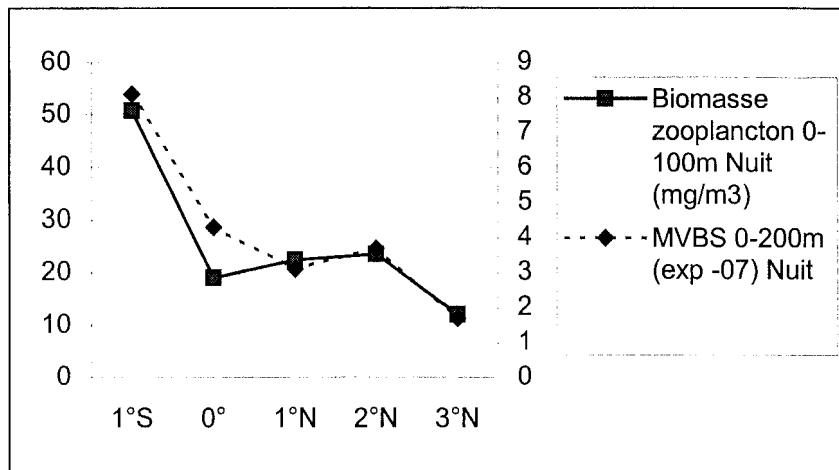


Figure 29 - Picolo P1. Biomasse de zooplancton et index acoustique de biomasse de micronecton (moyennes par degré de latitude)

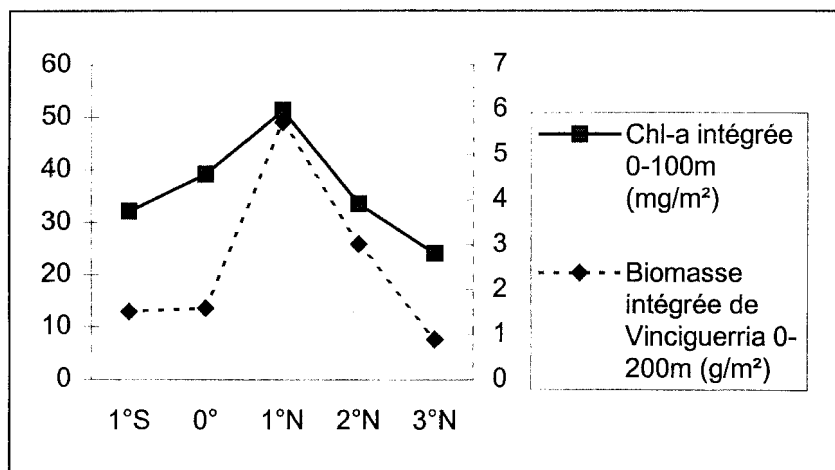


Figure 30 - Picolo P1. Biomasse intégrée de Vinciguerria et Chlorophylle-a intégrée (moyennes par degré de latitude sur la radiale 15°W)