Offprint from "Marine Biology"
International Journal on Life in Oceans and Coastal Waters, Vol. 7, No. 4, December 1970, Pages 273—284

© by Springer-Verlag 1970 · Printed in Germany

Emploi du chalut pélagique Isaacs-Kidd 10 pieds dans les eaux équatoriales du Pacifique

R. Grandperrin et A. Michel

Centre O.R.S.T.O.M. de Nouméa; Nouméa, New Caledonia

Abstract

Use of the 10-foot Isaacs-Kidd midwater trawl in the equatorial waters of the Pacific

This paper describes the use of the 10 foot Isaacs-Kidd midwater trawl as a quantitative sampler of the micronektonic standing crop. The use of this gear without an opening-closing mechanism made it necessary to sample by means of oblique hauls. This study, which includes not less than 1500 hauls, is directed towards introducing some degree of uniformity in operating this device so that valid comparisons can be made between catches from oblique hauls made at similar depths, as well as oblique hauls made at different depths. It is emphasized that information must be obtained on the tow path using depth-time and depth-distance recorders simultaneously. As the maximum depth depends largely upon variations in towing speed, it is important to be able to control ship speed carefully. As net speed is a significant factor in avoidance and escapement, care should be taken to sample each layer in an identical manner. The procedure defined here mainly involves (a) modifications of the depressor; (b) application of the winch brake after all the cable has been paid out, during the time required for the trawl to attain maximum depth; (c) paying out and hauling in at high speed by the winch. Resulting hauls show a nearly oblique tow path. Sampling velocities of the net are the same for all water layers: slow during descent, fast during ascent. This allows valid comparisons to be made between a series of hauls. Nevertheless, future progress in quantitative sampling depends largely upon technical improvements, and the evolution of new devices and approaches.

Introduction

Les possibilités des moyens modernes de calcul et leur utilisation croissante ont entraîné des progrès considérables dans le traitement des données relatives aux récoltes d'organismes micronectoniques, mais on a souvent tendance à oublier que les techniques d'échantillonnage sont très imparfaites et à accorder une trop grande confiance aux chiffres obtenus. En effet, depuis le début du siècle, les collectes sont toujours effectuées en utilisant des treuils, des câbles et des filets. Certes, des améliorations sensibles ont été apportées au matériel, mais elles n'ont porté que sur une technologie plus poussée d'appareils primitifs et aucune évolution majeure ne s'est dessinée dans la conception même de l'échantillonnage du micronecton. L'idéal serait de localiser dans l'espace et de situer dans le temps la capture de chaque organisme: or, on s'interroge encore sur le trajet exact du filet. L'utilisation récente d'appareils du type «pinger» (Backus, 1966) permet de connaître instantanément la position de l'engin par rapport au bateau, mais leur emploi en routine reste limité aux couches relativement superficielles. En espèrant que des changements interviendront prochainement dans le domaine du prélèvement, on se trouve pour l'instant contraint d'utiliser au mieux le matériel existant.

Le chalut pélagique Isaacs-Kidd 10 pieds (Isaacs et Kidd, 1953) a été recommandé pour l'échantillonnage du micronecton par la Working Party 4 du SCOR (Foxton et al., 1968). Cet engin est caractérisé par une grande ouverture, de surface 7,870 m², et par un dépresseur de forme telle que la stabilité bathymétrique de l'engin soit la moins sensible possible aux variations de vitesse de traction. Conçu à l'origine pour effectuer des récoltes qualitatives par traits horizontaux, sa facilité d'emploi et l'intérêt de ses collectes ont très rapidement conduit à étendre son utilisation à d'autres types de traits et à d'autres études.

La présente note se propose de définir les modalités d'emploi du chalut pélagique Isaacs-Kidd 10 pieds en vue d'un échantillonnage quantitatif des populations en place dans les différentes couches d'eau du Pacifique tropical sud et de la zone perturbée des courants équatoriaux. Le protocole finalement adopté a été progressivement mis au point lors des croisières du N.O. «Coriolis» programmées par le laboratoire d'Océanographie du Centre O.R.S.T.O.M. (Office de la Recherche Scientifique et Technique Outre-Mer) de Nouméa, de 1965 à 1969 (Croisières «Alizé», «Bora» I à IV, «Cyclone» I à VI et «Caride» I à V). 1500 traits obliques à diverses profondeurs ont ainsi été exécutés. La sélection du chalut ayant été discutée par Michel et Grandperrin (1970), le présent texte porte uniquement sur l'étude des profils des traits et sur la mesure des différents paramètres méthodologiques.

Choix du type de trait

Le choix du type de trait à mettre en oeuvre pour la collecte des organismes micronectoniques dépend essentiellement des problèmes que l'on se propose de

O. R. S. T. O. M.
Collection de Référence
n° 4734
05 JUIN 1971

résoudre et qui se rattachent à 2 orientations distinctes de recherche: (1) couverture saisonnière ou géographique à plus ou moins grande échelle devant fournir une estimation des distributions horizontales, permettant de comparer l'abondance des espèces et leurs biomasses à différentes époques ou en différents lieux; (2) étude d'une couche, à l'exclusion de toutes les autres, conduisant, par étapes successives, à une connaissance de la distribution verticale des organismes et de ses variations. A ce deuxième type se rattachent par exemple des études précises sur la «Deep Scattering Layer» (DSL) (Davies et Barham, 1969), sur la couche isotherme, sur la thermocline, sur la couche à minimum de concentration en oxygène (Holton, 1969) etc. L'ouverture déformable du filet et son dépresseur rendant impossibles les traits verticaux, seuls les traits horizontaux et obliques sont réalisables.

Couverture saisonnière ou géographique

Pour les croisières saisonnières ou géographiques, les variations de distribution verticale du micronecton et du plancton ne permettent théoriquement que les comparaisons de traits effectués aux mêmes heures. La réalisation d'un quadrillage serré occasionnant alors une perte de temps incompatible avec le coût de la journée en mer d'un navire océanographique, il convenait de déterminer un type de trait permettant d'obtenir des échantillons comparables bien qu'ils aient été prélevés à n'importe quelle heure. Il fallait donc connaître l'épaisseur de la couche incluant toute l'étendue des variations nycthémérales des organismes à collecter et échantillonner de telle sorte que le filet pêche durant le même temps et avec la même efficience dans chaque zone de cette couche. Seul le trait oblique répondait à ces exigences.

Le but à long terme des études entreprises au laboratoire d'océanographie du Centre O.R.S.T.O.M. de Nouméa étant la connaissance de la biologie des Thunnidés, il paraissait logique de déterminer les profondeurs des couches où vivent les organismes susceptibles d'être consommés directement par les thons ou surtout de servir de proie à des organismes intermédiaires tels que les céphalopodes qui forment une part essentielle du contenu stomacal des thons. Dans les eaux oligotrophes du Pacifique tropical ouest et du Pacifique équatorial, il semble que les thons, et en particulier les germons, soient répartis jusqu'aux environs de 400 m. Il importait donc d'inclure, dans une étude géographique, tous les organismes capables, à un moment quelconque de la journée, de se trouver présents dans cette couche. La croisière «Bora» I a montré que la couche 0 à 300 m, très riche en organismes micronectoniques de nuit, était pratiquement désertée du lever au coucher du soleil et qu'il fallait effectuer des traits plus profonds, aux environs de 600 m, pour commencer, de jour, à ramener des organismes identiques à ceux capturés de nuit. Les croisières «Bora» II, «Bora» III et «Bora» IV ont donc été consacrées en partie à déterminer la profondeur du trait qui permettrait, en un point, d'obtenir toujours les mêmes récoltes quelle que soit l'heure de prélèvement. Qualitativement, 1200 m a paru être la limite inférieure à explorer pour inclure les domaines de variations de presque tous les organismes situés de nuit dans les couches superficielles. Par contre, quantitativement, il n'a jamais été possible d'obtenir de jour des récoltes aussi abondantes que de nuit, quelle que soit la profondeur atteinte, l'amplitude des écarts étant toutefois minimale pour les traits à 1200 m. Deux phénomènes distincts peuvent expliquer cette différence. Le premier, lié à la maille, est dû à une variation d'échappement des organismes avec leur durée de séjour dans le filet, durée qui dépend de leur distribution verticale et se traduit par le fait qu'un individu capturé en profondeur a plus de chance de s'échapper que s'il est capturé plus superficiellement (Michel et Grandperrin, 1970). Le deuxième est lié au comportement propre des organismes vis-à-vis du filet et à leur dispersion dans l'espace qui, en se modifiant de jour, peut induire une diminution d'efficience de l'engin. En définitive, les traits 0 à 1200 m ont été retenus car ils permettent un échantillonnage proche du modèle recherché. Ce type de trait oblique a été effectué toutes les 4 h durant les croisières «Cyclone» de couverture géographique serrée.

Etude d'une couche particulière: distribution verticale

Le trait horizontal dans la couche à étudier semble à première vue être le mieux adapté. En fait, il est pratiquement impossible de s'affranchir de la contamination provoquée par la capture d'organismes durant la descente à la profondeur de pêche et durant la remontée. Même en augmentant beaucoup la durée du trait horizontal, cette contamination n'est pas à négliger, surtout pour des traits de nuit à des profondeurs plus grandes que celles des couches superficielles très riches en organismes. Le trait horizontal n'est donc envisageable, pour ce type d'étude, qu'avec un chalut pélagique à système d'ouverture et de fermeture (Davies et Barham, 1969).

La grande surface de l'ouverture et sa non rigidité rendent difficile l'adaptation d'un système ouvrant-fermant à la gueule du chalut pélagique, bien que des essais de fractionnement de la récolte aient été conduits dans ce sens (Isaacs et Brown, 1966; Clarke, 1969; Davies et Barham, 1969). Il parait plus facile de diviser la récolte au niveau de la partie arrière du filet, soit par des collecteurs multiples (Foxton, 1963; Longhurst et al., 1966; Foxton, 1969), soit par des culs multiples type filets Bé (Bé, 1962; Pearcy et Hubbard, 1964; Pearcy et Laurs, 1966). C'est cette deuxième solution, plus compatible avec les dimensions du filet, qui a d'abord été retenue. Un cadre Bé

de 30 cm de côté équipé de 4 filets à profondeurs d'ouverture et de fermeture réglées à l'avance a été monté à la place du filet conique ordinaire de 50 cm de diamètre d'ouverture et de maille 000 (vide de maille compris entre 900 et 1000 μ) utilisé habituellement comme cul du chalut. Deux filets ne pouvant s'ouvrir à la même profondeur, ce système imposait l'adoption du trait oblique. On obtenait ainsi théoriquement 4 récoltes, correspondant à 4 couches distinctes, en un seul trait. Malheureusement, si le fonctionnement du système Bé s'avéra parfaitement satisfaisant lorsqu'il était utilisé seul, il n'en fut plus de même une fois monté comme cul de chalut. On constata alors une très forte contamination, la majorité de la récolte se retrouvant dans le dernier des 4 filets qui explore la couche superficielle, montrant ainsi qu'une partie des organismes reste au cours du trait dans la partie avant du filet pour n'être entraînée dans le cul qu'au moment de la sortie de l'eau de l'engin. Comme il était, par ailleurs, difficile d'obtenir une adhérence parfaite des filets au niveau du cadre, s'ensuivait un échappement important à cet endroit. Des essais d'adaptation de manchons cylindriques de maille 000 n'ont amené aucune diminution sensible de la contamination. Devant cet échec et étant donné l'urgence des études de distributions verticales, il était nécessaire de trouver le moyen d'utiliser le chalut pélagique seul, sans collecteur pour fractionner la récolte.

Avant cette tentative d'utilisation des filets Bé, une étude avait été faite sur les résultats de traits obliques ordinaires effectués à différentes profondeurs durant les croisières «Bora» et «Cyclone» en zone équatoriale, afin de déterminer quelles seraient les profondeurs d'ouverture et de fermeture à adopter (MICHEL et GRANDPERRIN, 1969). La densité des organismes pour une couche était déduite par soustraction de la comparaison de 2 traits obliques pour lesquels les profondeurs maximales atteintes constituent respectivement les limites supérieure et inférieure de la couche. Les résultats obtenus sur les taxa ont permis de mettre en évidence une stratification nette des organismes en relation avec les zones de discontinuité observées sur la DSL, avec la distribution du phytoplancton et avec les limites des différents courants équatoriaux. La consistance des résultats a donc conduit, en l'absence de moyens plus sophistiqués, à utiliser la méthode des différences lors des croisières «Caride» en l'améliorant toutefois par rapport à ce qui avait été fait précédemment par une connaissance meilleure du trajet réel du filet dans les différentes couches d'eau. Par cette méthode soustractive utilisant les récoltes de traits obliques, on ne peut s'attendre à avoir une grande précision dans le calcul des densités. En découle, en particulier, l'impossibilité d'étudier des couches trop minces du type de celles qui peuvent correspondre à des stratifications très marquées au niveau de discontinuités physiques.

En conclusion, que ce soit pour une couverture géographique ou saisonnière ou pour des études de distributions verticales par couches, on se trouve contraint, en l'absence d'engins plus perfectionnés ouvrant-fermants utilisables en routine, de procéder par traits obliques. Cela implique de connaître les caractéristiques principales de chaque trait, à savoir la profondeur maximale atteinte et le trajet parcouru par le filet dans chaque couche. Les résultats reposant sur la comparaison de deux ou plusieurs traits, il faudra impérativement que la vitesse du filet, fonction de celle du navire et de celle du treuil, reste la même dans une couche donnée d'un trait à l'autre, même si au cours du trait elle est sujette à des variations qui, nous le verrons, sont difficilement évitables.

Mesure des paramètres méthodologiques: matériel utilisé

Les appareils nécessaires à l'exécution d'un trait peuvent être divisés en deux catégories, chacune correspondant à la mesure de 2 types de caractéristiques méthodologiques: (1) les appareils de bord qui permettent de contrôler à tout instant la longueur de câble filée, la vitesse du navire, les vitesses de filage et de virage et la tension du câble; (2) les appareils fixés à l'engin qui permettent de connaître avec précision le trajet et la vitesse du filet dans l'eau.

Dispositifs de bord

La profondeur d'un trait dépend de la longueur de câble filée, de la vitesse de filage et de la vitesse du bateau. La mesure de la longueur de câble filé ne pose pas de problème majeur, des appareils précis et robustes existant dans le commerce. La vitesse de filage est obtenue facilement par chronomètrage de la longueur filée. Par contre, la mesure de la vitesse du bateau est souvent beaucoup plus imprécise, les lochs des bateaux étant généralement inefficaces aux faibles vitesses et les appréciations des officiers de quart variables avec l'état de la mer et selon les individus. L'importance de ce facteur dans la prévision de la profondeur à atteindre pour une longueur de câble donnée étant primordiale, un loch auxiliaire a été monté à l'extrémité d'une tige rigide sur le côté du bateau. Ce loch, du type de ceux utilisés à bord des voiliers (hélice à aimant noyé tournant dans le champ d'un solénoïde) permet une mesure assez précise de la vitesse bien qu'il faille, par forte mer, prendre la moyenne des indications extrêmes, le roulis du bateau provoquant un déplacement vertical de l'hélice. La mesure de la tension du câble constitue non seulement un facteur de sécurité, mais permet, toutes choses égales par ailleurs, de contrôler le trait en cas d'avarie du loch, la tension étant fonction de la vitesse du bateau. Il existe actuellement des poulies qui indiquent en continu la longueur de câble filée, la vitesse de filage et la tension du câble, mais leurs circuits sont assez fragiles et leur

emploi nécessite la présence permanente à bord d'un électronicien.

Dispositifs fixés sur le chalut

Deux catégories de mesures doivent être effectuées pour définir parfaitement un trait oblique. La première concerne le profil exact du trait dans le temps et dans l'espace et vise à obtenir la profondeur maximale atteinte, la distance parcourue et le temps passé par l'engin dans chaque couche. La deuxième concerne l'efficience du filet et devrait aboutir à la connaissance du volume d'eau filtrée par les différentes mailles. La vitesse du filet dans chaque couche, déduite des premières mesures, intervient sur l'efficience du filet en faisant varier l'évitement des organismes.

Profil du trait

Deux appareils ont été utilisés au cours des différentes croisières. Durant les croisières «Bora», «Cyclone», «Caride» I et «Caride» II, un bathykymographe (BK) a fourni un enregistrement continu de la profondeur du filet en fonction du temps, permettant ainsi de connaître la profondeur maximale atteinte et le temps passé par le filet dans chaque couche. Durant les croisières «Caride» III, «Caride» IV et «Caride» V, un «distance depth recorder» (DDR) a été utilisé conjointement avec le BK. Cet appareil fournit un enregistrement continu de la profondeur du filet en fonction de la distance parcourue par ce dernier, permettant ainsi de connaître la profondeur maximale atteinte et la distance parcourue dans chaque couche traversée. Des enregistrements de ces 2 appareils, on peut théoriquement déduire la vitesse du filet dans chaque couche; en pratique, l'intercalibration en profondeur du DDR et du BK fait ressortir quelques différences et les échelles des enregistrements ne permettent pas toujours un découpage aussi précis qu'il le faudrait. Néanmoins, en l'absence d'appareils indiquant directement la vitesse du filet, l'emploi simultané du BK et du DDR permet d'avoir une bonne idée de cette vitesse et surtout de ses variations.

Efficience du filet

L'ouverture du chalut pélagique est déformable. Le modèle utilisé étant, de plus, formé de 2 mailles qui réagissent l'une sur l'autre, la maille 000 du cul modifiant profondément la sélection de la maille 4 mm (Michel et Grandperrin, 1970), il n'est pas possible de mesurer directement le volume d'eau filtrée par les différentes sections et de rapporter les résultats au m³ d'eau. On est donc amené à exprimer les résultats en fonction de la distance parcourue par le filet. Cette distance est déduite des indications d'un débit-mètre par multiplication du nombre de révolutions de l'hélice par un coefficient de calibration. La position de cet appareil sur l'engin est importante. Lors des premières croisières, il était monté au centre du cul de maille 000 et fournissait une estimation du flux d'eau à son entrée. Cette position, d'ailleurs peu pratique pour les lectures sur le pont, exposait l'hélice à être fréquemment bloquée par des débris de Méduses ou de Siphonophores durant une partie inconnue du trajet, fournissant ainsi des indications aberrantes sans qu'aucune correction soit possible. Aussi, durant les croisières «Cyclone» III et «Cyclone» IV, s'est-on attaché à déterminer quelle était la meilleure position pour cet appareil. Cinq débit-mètres ont été utilisés: l'un placé dans le filet comme précédemment, 2 situés

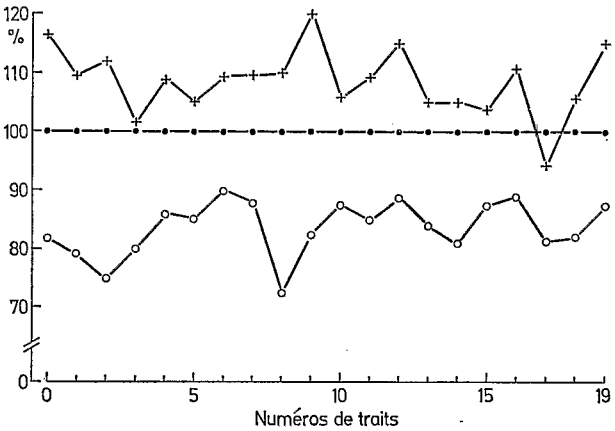

Fig. 1. Vitesses d'avancement déduites des indications des différents débit-mètres lors des croisières «Cyclone» III et «Cyclone» IV. Ces vitesses sont exprimées en % de la moyenne des vitesses données par les 2 débit-mètres situés sur le cercle indépendant. ● moyenne des vitesses des 2 débit-mètres indépendants constituant la référence 100 pour chaque station; + moyenne des vitesses des 2 débit-mètres situés sous le dépresseur; o vitesse donnée par le débit-mètre monté à l'intérieur du filet

sous le dépresseur au milieu de chacune des ailes, 2 montés dans un cercle indépendant de 50 cm de diamètre maintenu perpendiculaire aux filets d'eau par une ancre flottante située à 3 m derrière lui. Sur la Fig. 1 sont reportées les vitesses d'avancement du filet correspondant à chacune des 3 positions des débit-mètres en affectant arbitrairement l'indice 100 à la moyenne des vitesses déduites des indications des deux débit-mètres indépendants situés sur le cercle. On constate que les indications les plus faibles correspondent au débit-mètre situé à l'intérieur du filet et que les plus fortes correspondent à ceux du dépresseur. Il semble donc que le débit-mètre situé dans le filet sous-estime le trajet parcouru du fait du ralentissement de l'eau à son niveau, alors que ceux du dépresseur le surestiment, sans doute du fait d'une accélération des filets d'eau le long de la plaque. Il paraît donc souhaitable de fixer les débit-mètres dans un cercle indépendant situé en dessus du chalut.

A moins de faire l'objet d'un montage spécial, (LONGHURST et al., 1966), un débit-mètre ne permet d'obtenir que la longueur totale du trait et ne fournit aucune indication sur les trajets parcourus dans chaque couche. Lorsque l'on ne dispose que de cet appareil, la comparaison entre traits repose sur l'hypothèse fausse que toutes les couches ont été échantillonnées de la même façon. Par contre, le DDR, qui est un débit-mètre doublé d'un bathymètre, permet de connaître exactement le trajet dans chaque couche. Il a été fixé à l'extérieur du chalut, dans un cercle de 50 cm, avec un débit-mètre ordinaire de contrôle.

Tous ces appareils fixés aux engins de prélèvement ne fournissent d'indications qu'à posteriori, lorsque le filet est hissé à bord et que les dépouillements ont été faits. Ils ne permettent donc pas d'agir instantanément, en toute connaissance de cause, sur le profil du trait en cours. De nombreux systèmes électroniques ont été mis au point pour obtenir, sur le pont, durant le trait, certaines données méthodologiques. L'appareil de LONGHURST et al. (1966) transmet les indications du débit-mètre; celui de BODEN et al. (1955) basé sur la déformation d'un tube de Bourdon renseigne en continu sur la profondeur; la Netzsonde, très bien adaptée aux pêcheries pélagiques en eaux peu profondes, utilise la réflexion des ultra-sons sur le fond ou sur la surface pour déterminer l'immersion du filet. Tous ces appareils impliquent la mise en oeuvre d'un deuxième câble conducteur ou d'un câble tracteur avec coaxial. La manutention de 2 câbles nécessite un personnel plus nombreux et plus spécialisé, provoque des pertes de temps supplémentaires incompatibles avec un travail intensif en routine et surtout, limite les traits aux couches superficielles. Le prix élevé du câble à coaxial par rapport au prix d'un câble ordinaire gréverait lourdement le budget de fonctionnement d'un programme intensif analogue au programme «Caride», qui impliquait le remplacement de la totalité du câble à l'issue de chaque croisière. Il semble que tous les espoirs doivent être actuellement fondés sur des appareils du type «pinger» (BACKUS, 1966; CLARKE, 1969) qui, associés à des enregistreurs de précision à bord, permettront, sans câble, d'utiliser les signaux ultra-sonores pour transmettre les indications méthodologiques dont la connaissance en continu est indispensable au bon déroulement des traits dont on pourra alors modifier instantanément le profil s'il n'est pas conforme au modèle fixé.

Mise au point chronologique du protocole

Au cours de la discussion du Symposium ICES-SCOR-UNESCO en février 1966 à Cronulla, Australia, ARON (en TRANTER, 1966) affirmait «qu'après avoir analysé 2000 traits de chalut pélagique Isaacs-Kidd 10 pieds, il ne pouvait malgré tout prédire avec précision quelles seraient les performances du prochain trait qu'il aurait à effectuer».

Cette déclaration situe parfaitement la complexité des problèmes de méthodologie liés à cet engin de prélèvement. Pour notre part, disposant d'environ 1500 traits obliques nous avons tenté ici d'exposer chronologiquement les modifications successives apportées aux différents protocoles de mise en oeuvre du filet pour aboutir au type de trait oblique actuellement reproduit en routine. Ces différentes modifications ont toutes été réalisées dans le but d'améliorer la reproductibilité des traits et l'homogénéité d'échantillonnage des différentes couches d'eau traversées, compte tenu des appareils de mesure dont nous disposions, qui, s'ils ne sont pas les plus perfectionnés, sont néanmoins les plus utilisés en routine sur de nombreux bateaux de recherche.

Premier protocole (Croisières «Alize», «Atoll», «Brisants» et «Bora» I)

Durant ces premières croisières de couverture géographique, peu de temps a été consacré à la méthodologie. Les traits ont été effectués comme s'il s'agissait d'un filet à plancton classique: durée et vitesses de filage et de virage égales, vitesse du bateau réduite au virage de façon à ce que les vitesses théoriques calculées d'avancement du filet soient les mêmes à la descente et à la remonté (Tableau 1). La longueur totale de la colonne d'eau filtrée par le filet était mesurée à l'aide d'un seul débit-mètre placé dans l'ouverture du cul. Les profils de profondeur en fonction du temps obtenus sur le BK étaient du type de celui représenté Fig. 2a.

Tableau 1. *Caractéristiques méthodologiques du premier protocole*

Durée	Filage	Virage
	Egales	
Vitesse bateau (noeuds)	4	1 à 2
Vitesse treuil (m/mn)	45	45

On constate l'existence d'un important palier. Il traduit le fait que le dépresseur s'oppose à la remontée, se comportant, avec le filet, comme un cerf-volant qui se rapproche de la verticale de son point fixe, sans perdre d'altitude, lorsqu'on commence à raccourcir la ficelle qui le lie au sol. Ce palier a pour conséquence un séjour relativement long du filet à la profondeur maximale, les couches correspondant à cette profondeur étant ainsi suréchantillonnées par rapport aux autres. Le trait est dissymétrique dans le temps puisque les durées t_1 de filage et de virage sont égales. Il s'ensuit

que le filet traverse les différentes couches d'eau plus rapidement à la remontée qu'à la descente. La vitesse d'avancement, varie donc en cours de trait, ce qui modifie son efficience vis-à-vis des organismes dont l'évitement ne sera pas constant tout le long du parcours.

Deuxième protocole (Croisière «Bora» II)

Pour améliorer la symétrie du trait dans le temps, on a réduit la vitesse de virage du treuil (Tableau 2). Les profils de profondeur en fonction du temps obtenus sur le BK sont représenté Fig. 2b.

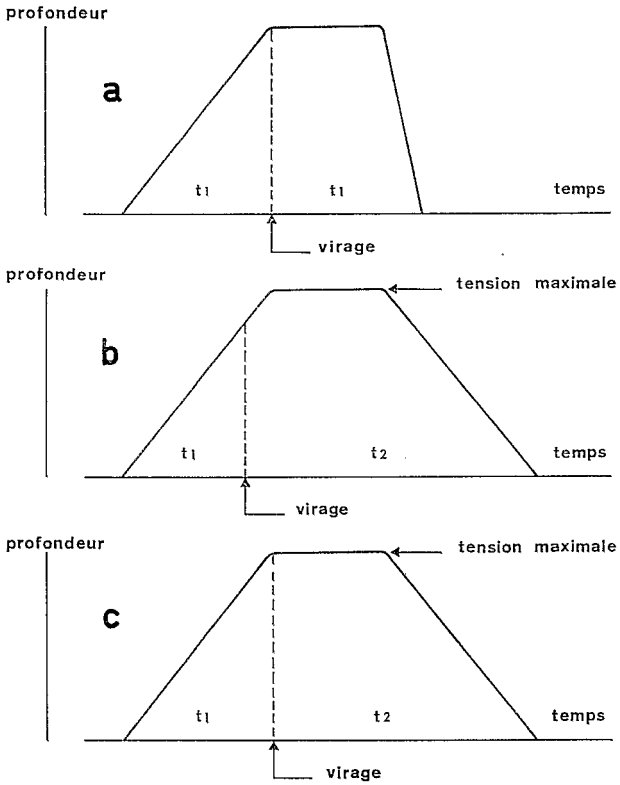

Fig. 2. Profils de profondeur en fonction du temps (BK). (a) premier protocole; (b) deuxième protocole; (c) troisième protocole

Tableau 2. *Caractéristiques méthodologiques du deuxième protocole*

Durée	Filage	Virage
	Virage plus long que filage	
Vitesse bateau (noeuds)	4	1 à 2
Vitesse treuil (m/mn)	45	30

Le trait est cette fois symétrique dans le temps mais l'importance du palier est toujours aussi grande et l'on constate, fait nouveau, que le filet continue à plonger durant un certain temps alors que l'on vire au treuil. Ce phénomène a été mis en évidence pour des traits horizontaux au moment du virage par Aron et al. (1964), Aron et al. (1965), Imanishi et al. (1965), Taniguchi et al. (1965), Gehringer et Aron (1968). Il correspond à une réduction de la vitesse d'avancement de l'engin, conséquence de la réduction de la vitesse du bateau, qui n'est compensée que partiellement par la faible vitesse de virage du treuil. L'effet de cette réduction de vitesse est encore renforcé par l'action du dépresseur qui agit comme une barre de plongée. Alors que la reprise du câble freine progressivement la descente et tend à provoquer la remontée du système, le dépresseur, de par sa forme, s'incline de plus en plus pour s'y opposer, d'où le palier. A un certain moment, il se trouve perpendiculaire aux filets d'eau et ne peut plus augmenter son action dépressive. Le virage se poursuivant, l'ensemble amorce la remontée: la tension, en fin de palier, est alors maximale.

Troisième protocole (Croisières «Bora» III, «Bora» IV, «Cyclone» I à VI, «Caride» I et «Caride» II)

Pour éviter cette plongée additionnelle au début du virage, il semblait qu'il faille reprendre le câble le plus rapidement possible. On a donc décidé d'accélérer la première phase du virage, se conformant d'ailleurs à la remarque d'Aron et al. (1964) qui observaient que les variations bathymétriques sont plus importantes à basses qu'à grandes vitesses. Avec le protocole défini dans le Tableau 3, on obtient des profils de profondeur en fonction du temps (BK) du type de celui de la Fig. 2c. On constate toujours l'existence d'un important palier mais le filet, cette fois, ne continue plus à plonger au moment du virage, et les traits sont toujours symétriques dans le temps.

Table 3. *Caractéristiques méthodologiques du troisième protocole pour des traits obliques à 1200 m*

	Filage	Virage	
Durée (mn)	55	20	55
Vitesse bateau (noeuds)	4	0 à 2	0 à 2
Câble (m)	0 → 3400	3400 → 1900	1900 → 0
Vitesse treuil (m/mn)	60 à 65	70	35
Tension (tonnes)	0,5	1,5 à 3,0	2,5 à 1

Il faut noter que ce protocole ne fut pas rigoureusement respecté durant les 2 premières croisières «Caride». En effet, mis au point en zone tropicale et en zone équatoriale du Pacifique ouest assez peu perturbée, il eut à subir des modifications en zone équatoriale du Pacifique central où les courants stratifiés atteignent des intensités importantes dont les effets relatifs s'ajoutent quand le filet passe d'un courant à l'autre. Aussi fut-on souvent contraint de réduire la vitesse de début de virage, la tension augmentant au-delà des limites de sécurité et le bateau culant parfois, vent arrière.

Quatrième protocole (Croisière «Caride» III)

C'est au cours de cette croisière que fut utilisé pour la première fois le DDR, enregistreur de profondeur en fonction de la distance parcourue par le filet. La lecture rapide des plaques après chaque trait permit une perte minimum de temps en tâtonnements pour définir le nouveau protocole. Ce protocole avait à tenir compte d'une profonde modification réalisée sur le dépresseur. En effet, compte tenu des dures conditions auxquelles était soumis le matériel dans cette zone très perturbée du Pacifique central équatorial et des risques d'accidents que pouvaient occasionner de trop gros à-coups sur le câble, on a cherché un moyen de diminuer la tension. Ne pouvant agir sur la vitesse du bateau, souvent nulle au virage, restait la solution de réduire celle du treuil afin d'effectuer la remontée dans les limites de sécurité. Cette solution, adoptée durant «Caride» I et II augmentait la durée de traits d'une façon incompatible avec l'ampleur du programme à respecter, étalant, de plus, sur plusieurs heures, des traits destinés à des études de migrations verticales. Restait donc à agir sur le comportement de l'engin. On décida alors de réduire la surface du dépresseur en le modifiant suivant la schéma de la Fig. 3, espérant gagner en vitesse et en souplesse ce qu'on perdait en effet dépressif. Les résultats furent remarquables. S'il fallut filer un peu plus de câble que lors du protocole précédent, la diminution spectaculaire de tension permit, par contre, un virage deux fois plus rapide, d'où finalement un gain de temps considérable pour les traits profonds (600, 900 et 1200 m) ajouté à un gain inappréciable de sécurité aussi bien en pêche que durant les manipulations sur le pont.

Le protocole (Tableau 4) était caractérisé cette fois, non plus par une augmentation de la vitesse du treuil au début du virage, mais par une diminution permettant au filet d'aller jusqu'à la profondeur maximale à atteindre. Ce début de virage lent s'appliquait à une longueur de câble estimée à 10% de la longueur totale filée, par exemple 360 pour 3600 m. Ensuite, la vitesse du treuil était doublée, celle du bateau étant maintenue toujours supérieure à zéro. La profondeur atteinte en un lieu donné est fonction de la vitesse de filage du câble et de celle du bateau. Si l'on peut contrôler avec une assez grande précision, la première, il est beaucoup plus difficile de le faire pour la seconde, surtout en zone perturbée. Des différences d'un demi noeud pouvant notoirement influencer cette profondeur, on a tenté d'amortir ces variations en effectuant le filage de telle sorte que la tension n'excéde jamais 0,5 tonnes. Dans certains cas, la vitesse de filage ayant dépassé 100 m/mn, cette méthode permit donc, à ce niveau, d'accélérer encore le processus des traits.

Avec le protocole ainsi défini, on obtint les profils de profondeur en fonction du temps et de profondeur en fonction de la distance parcourue du type de ceux

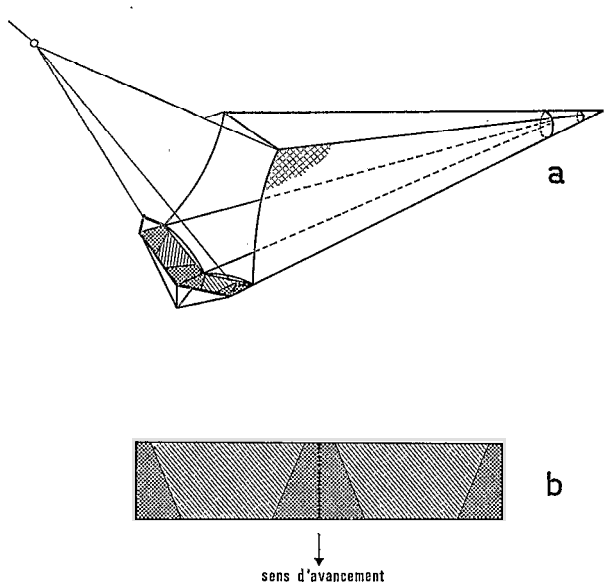

Fig. 3. Modification apportée au dépresseur du chalut pélagique Isaacs-Kidd 10 pieds. La zone hachurée correspond à la partie évidée. (a) vue d'ensemble du chalut (d'après ISAACS et KIDD, 1953); (b) vue de dessus du dépresseur modifié

Tableau 4. *Caractéristiques méthodologiques du quatrième protocole pour des traits obliques à 1200 m*

	Filage	Virage	
Durée (mn)	49	12	52
Vitesse bateau (noeuds)	4	0 à 1	0 à 2
Câble (m)	3700	3700 → 3330	3330 → 0
Vitesse treuil (m/mn)	75	30	64
Tension (tonnes)	0,3 à 0,5	1,5 à 2,5	2,0 à 1,0

représentés sur la Fig. 5. On constate que le profil BK n'est pas trop dissymétrique, le palier demeurant toujours très visible. Le profil DDR est extrêmement intéressant. On remarque, en *a*, à 175 m, la fin de l'influence du noyau à vitesse maximale du Contre Courant de Cromwell qui s'écoule d'ouest en est, soit en sens contraire de celui de marche du bateau durant toute cette croisière. En *b* se situe le début du virage. Le chalut continue alors à descendre, puis sa vitesse verticale s'inverse en *c* malgré une forte opposition du dépresseur. En *d*, le palier est terminé. Si l'on se reporte aux échelles des axes, on constate qu'entre *b* et *d*, le filet a filtré le tiers de la longueur de toute la colonne d'eau filtrée durant tout le trait, alors que l'épaisseur de la couche correspondante ne représente que le sixième de celle de toute la couche prospectée. On a donc suréchantillonné les couches profondes par rapport aux autres. Pour préciser le profil du trait on a effectué sur la Fig. 5 la transformation schématisée sur la Fig. 4 qui permet de reconstituer le cheminement

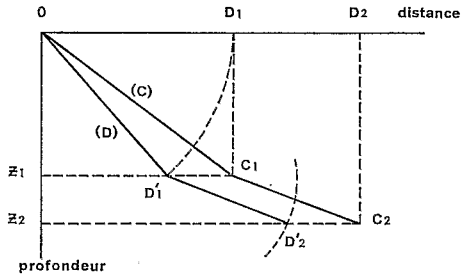

Fig. 4. Transformation permettant d'obtenir le profil exact (D) du trajet du filet dans l'espace à partir de l'enregistrement (C) du DDR. $OD_1 = OD'_1$, $D_1 D_2 = D'_1 D'_2$ (d'après AIZAWA et al., 1965)

exact du filet dans l'espace (AIZAWA et al., 1965). On constate que le profil est dissymétrique dans l'espace. On note l'influence du Contre Courant de Cromwell et surtout la grande importance du palier. Compte tenu de la relative symétrie des enregistrements de la profondeur en fonction du temps, la dissymétrie dans l'espace implique obligatoirement des variations dans la vitesse d'avancement du filet en cours de trait. En mesurant, sur les enregistrements BK, le temps passé par le filet dans chacune des couches à la descente et à la montée, on a pu en déduire sa vitesse d'avancement dans chaque couche. La précision sur cette vitesse est fonction des précisions de lecture des enregistrements du DDR et du BK mais plus encore de la concordance, entre les 2 appareils, dans l'enregistrement des profondeurs. Le BK s'étant révélé moins fidèle, aux étalonnages, que le DDR, les vitesses calculées et reportées sur la Fig. 4 sont à considérer comme des estimations. Il n'en demeure pas moins qu'elles sont essentiellement variables, dans un rapport allant de 1 à 5. Cet ordre de grandeur est d'ailleurs le même que celui donné par AIZAWA et al. (1965) lors de traits obliques effectués avec un filet à larves de poissons dont la vitesse d'avancement variait de 0,7 à 3,0 noeuds. Ces variations ont une répercussion directe sur l'efficience de l'engin vis-à-vis des organismes; en découle une hétérogénéité d'échantillonnage tout le long du parcours qui rend difficile une étude des récoltes du point de vue quantitatif. Cependant, si l'on exclut la couche 0 à 175 m, dont la turbulence est liée à un facteur géographique, on constate que, durant toute la descente, soit entre *a* et *c*, la vitesse du filet varie entre 1 et 1,8 noeud et que durant toute la remontée, soit entre *c* et *e*, elle varie entre 4 et 5 noeuds. Si l'on parvient à réduire chacun des 2 écarts, surtout le

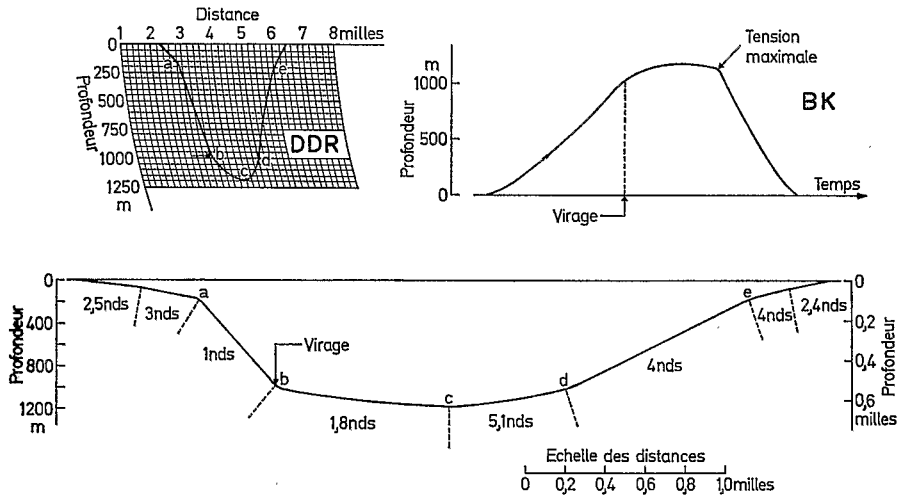

Fig. 5. Profils caractéristiques du quatrième protocole. Trait n° 69 à 1180 m effectué vent arrière, sur l'équateur durant la croisière «Caride» III. *DDR* Profondeur en fonction de la distance parcourue par le filet; *BK* profondeur en fonction du temps. Courbe du bas: profil exact du trajet du filet dans l'espace

premier qui en valeur relative est le plus important, on obtiendra une descente et une remontée à vitesses constantes, mais différentes. Toutes les couches seront alors échantillonnées de la même façon, lentement à la descente, plus rapidement à la remontée. Bien que la symétrie ne soit pas respectée, on pourra alors entreprendre des études quantitatives. Réduire l'écart revient à rendre rectiligne chacun des 2 trajets ascendant et descendant, c'est-à-dire à supprimer le palier qui tronque le profil recherché schématisé sur la Fig. 6.

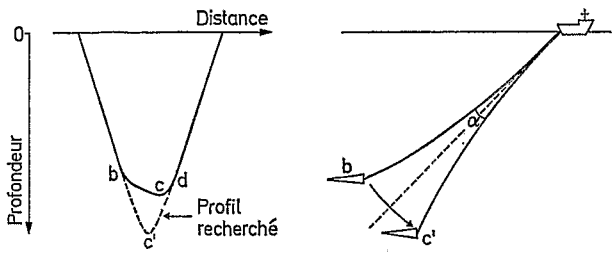

Fig. 6. Profil et position c' recherchés

Cinquième protocole (Croisières «Caride» IV et «Caride» V)

Au point *b*, en fin de filage, on a laissé plonger le filet de lui-même, treuil stoppé et bateau ralenti durant un certain temps, fonction de la vitesse du bateau, des conditions météorologiques et de la longueur de câble filée (Gehringer et Aron, 1968), pour tenter de lui faire atteindre la position théorique c' de la Fig. 6 (Isaacs et Kidd, 1953; Backus et Hersey, 1956). Cette position c' devait se traduire par une modification d'angle du cable telle que le dépresseur atteindrait un angle d'attaque maximum et ne pourrait plus s'opposer à la remontée au moment du virage. Les traits ont été effectués suivant le protocole du Tableau 5. Le remplacement du câble de 12 mm par un câble de 15 mm de diamètre a permis de supporter des écarts de tension plus importants. Les vitesses de filage et surtout de virage ont pu ainsi être supérieures à celles prévues au quatrième protocole, d'où un gain considérable de temps.

Tableau 5. *Caractéristiques méthodologiques du cinquième protocole pour des traits obliques à 1200 m*

	Filage	Equilibrage	Virage
Durée (mn)	30	3 (10% de la durée de filage)	43
Vitesse bateau (noeuds)	4	1	0 à 2
Câble	3000	3000	3000
Vitesse treuil (m/mn)	100	stoppé	70
Tension (tonnes)	0,3 à 0,5	1	2,5 à 1,5

On obtient des profils du type de ceux de la Fig. 7. On constate, sur la plaque du DDR et sur l'enregistrement du BK, une très nette réduction du palier. Chacune des phases de descente et de remontée est

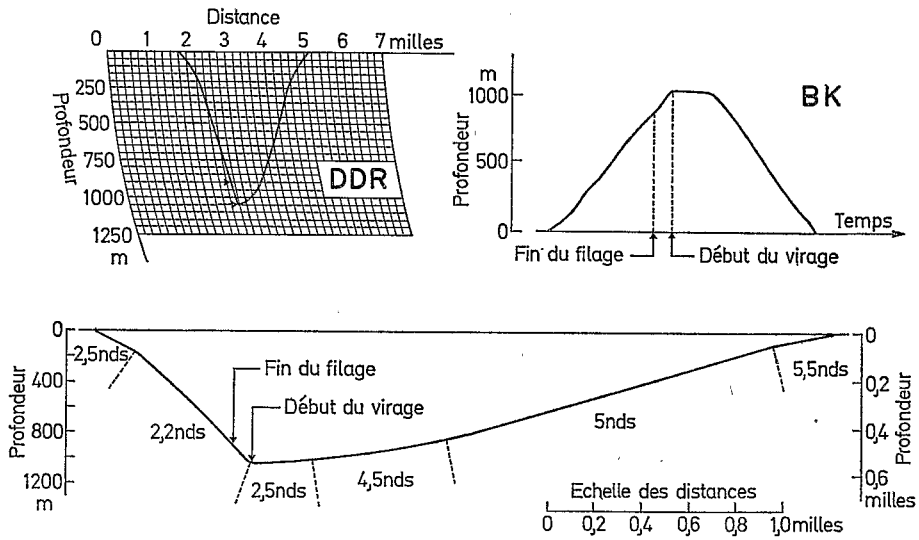

Fig. 7. Profils caractéristiques du cinquième protocole. Trait n° 144 à 1050 m effectué vent arrière cap à l'ouest sur l'équateur, durant la croisière «Caride» V. *DDR* Profondeur en fonction de la distance parcourue par le filet; *BK* profondeur en fonction du temps. Courbe du bas: profil exact du trajet du filet dans l'espace

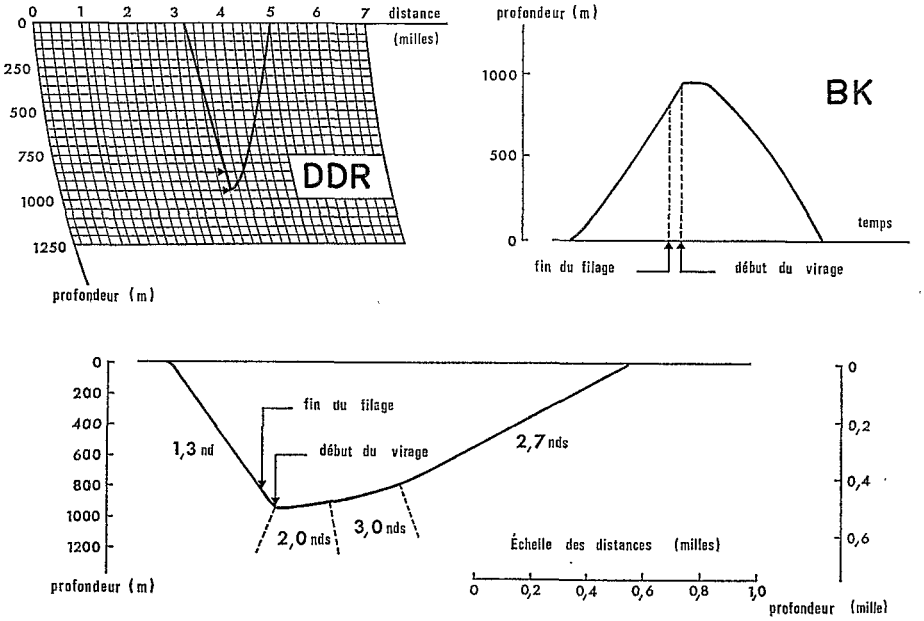

Fig. 8. Profils caractéristiques du cinquième protocole Trait n° 161 à 950 m effectué vent de bout, cap à l'est, sur l'équateur, durant la croisière «Caride» V. *DDR* Profondeur en fonction de la distance parcourue par le filet; *BK* profondeur en fonction du temps. Courbe du bas: profil exact du trajet du filet dans l'espace

pratiquement rectiligne, ce qui élimine tout risque de suréchantillonnage de la couche profonde. Le temps d'équilibrage, treuil stoppé, provoque une plongée supplémentaire du filet de 150 m, sans qu'aucun point anguleux soit noté sur les profils jusqu'à la profondeur maximale atteinte. Les vitesses estimées à partir des enregistrements du BK et du DDR varient, pour la totalité de la descente, de 2,2 à 2,5 noeuds, et pour la remontée, de 4,5 à 5,5 noeuds, exception faite d'un très court parcours de transition à la profondeur maximale. On peut donc estimer avoir sensiblement échantillonné toutes les couches de la même façon, ce qui était le but recherché.

Les traits types décrits dans les quatrième et cinquième protocoles avaient été effectués approximativement à la même longitude, sur l'équateur, cap à l'ouest, c'est-à-dire vent arrière, dans le sens du courant superficiel et en sens opposé à celui du Contre Courant de Cromwell. Il paraissait intéressant d'étudier un trait effectué au même endroit, dans les mêmes conditions méthodologiques, mais cette fois cap à l'est. Les différents profils en sont reportés sur la Fig. 8. On constate une réduction encore plus nette du palier mais par ailleurs, les vitesses estimées subissent une diminution sensible. Quantitativement, ces 2 types de traits ne sont donc théoriquement pas comparables, l'évitement de certains organismes ayant varié. Le protocole ayant été maintenu le même, les différences observées font ressortir catégoriquement la nécessité de travailler toujours dans les mêmes conditions et d'attacher une très grande importance au contrôle permanent de la vitesse du bateau qui, dans le cas étudié, a été sans doute sous-évaluée (navire face à la lame).

Conclusions

Toute étude quantitative nécessite de toujours suivre la même méthodologie. S'il est évident que les caractéristiques de la maille et de la forme de l'engin doivent demeurer identiques et que les volumes d'eau filtrée doivent être comparables, on a néanmoins souvent tendance à ignorer le trajet réel de l'engin et les variations de sa vitesse d'avancement. Or, dans le cas du chalut pélagique Isaacs-Kidd 10 pieds, les caractéristiques du dépresseur font que le trajet d'un trait oblique n'est pas consitué de deux parties rectilignes et symétriques. Pour échantillonner de la même façon les différentes couches d'eau, il est nécessaire d'agir à certains moments sur les vitesses du treuil et du bateau. Les variations de cette dernière sont à elles seules la cause de la plupart des fluctuations observées dans le profil des traits; dues à l'état de la mer et au manque général de précision des lochs aux faibles vitesses, elles sont le plus souvent indiscernables à l'observation humaine.

Au cours des 1500 traits réalisés, l'utilisation d'un loch secondaire précis et la mise en service d'appareils annexes ont permis de définir un protocole aboutissant à un type de trait dont on connait les profils exacts dans le temps et l'espace et pour lequel les vitesses

d'avancement du filet à la descente et à la remontée sont différentes mais constantes, ce qui permet ainsi d'échantillonner chaque couche de la même façon, d'où une interprétation correcte des données. Il est sans doute difficile, même en zone à faibles courants, d'aller plus avant dans cette amélioration tant qu'on utilisera le seul matériel décrit dans cette étude. Des progrès notables seront certainement réalisés si l'on met en oeuvre des appareils de mesures annexes permettant de contrôler en continu la profondeur et la vitesse d'avancement du filet, mais on peut affirmer que la dernière étape à franchir, celle qui conduira à effectuer en un lieu donné quelconque un prélèvement quantitatif à une profondeur fixée à l'avance, ne pourra l'être qu'à l'avènement de matériel nouveau dans ses principes et ses performances.

Résumé

1. Cette étude tente de définir les modalités d'emploi du chalut pélagique Isaacs-Kidd 10 pieds en vue d'un échantillonnage quantitatif des populations en place.

2. Que ce soit pour des croisières saisonnières, géographiques, ou pour des études en stations fixes, l'absence de système ouvrant-fermant fonctionnant de façon satisfaisante et la conception même du filet ne permettent de réaliser que des traits obliques. Théoriquement, ce type de trait échantillonne de la même façon les différentes couches d'eau, permettant ainsi soit la comparaison directe de traits réalisés à la même profondeur, soit la comparaison par la méthode des différences, de traits effectués à diverses profondeurs.

3. La mise au point progressive du protocole a porté sur 1500 traits réalisés au cours de 16 croisières.

4. Seule l'utilisation conjointe de 2 enregistreurs fournissant, le premier la profondeur en fonction du temps, le second la profondeur en fonction de la distance parcourue par le filet, a permis de définir parfaitement le profil des traits.

5. Il est apparu rapidement qu'il était impossible de réaliser un trait symétrique dans le temps et l'espace, l'action du dépresseur en début de virage provoquant un palier dans la partie inférieure du profil, d'où un suréchantillonnage d'une couche par rapport aux autres. Afin de minimiser cet effet et de réduire les fortes tensions auxquelles était soumis le câble en zone équatoriale à cause de la stratification de courants de l'ordre de 1 à 2 noeuds, on a réduit la surface active du dépresseur par suppression d'une partie de la tôle. Cette modification s'étant avérée insuffisante, il a fallu, dans un dernier stade, laisser le filet plonger de lui-même pendant un certain temps en fin de filage, treuil stoppé et bateau ralenti.

6. On obtient ainsi un échantillonnage à vitesses différentes à la descente et à la remontée, ce qui fait varier l'évitement des organismes, mais comme ces vitesses sont constantes, chaque couche est, au total, traversée de la même manière par le filet. Sur le plan méthodologique, il semble que peu de progrés puissent être réalisés avec le seul matériel utilisé dans cette étude. Une nette amélioration interviendra sans doute quand on disposera en routine d'appareils permettant de connaître en continu, sur le pont, la position et la vitesse de l'engin, mais la localisation exacte de la capture de chaque organisme dans le temps et l'espace ne pourra être connue qu'à l'issue de la mise en oeuvre de matériel nouveau dans ses principes et ses performances.

Littérature citée

AIZAWA, Y., R. MARUMO and M. OMORI: Movement of plankton net in oblique haul. Inf. Bull. Planktol. Japan **12**, 60—66 (1965).

ARON, W., E. H. AHLSTROM, B. MCBARY, A. W. H. BE and W. D. CLARKE: Towing characteristics of plankton sampling gear. Limnol. Oceanogr. **10** (3), 333—340 (1965).

—, N. RAXTER, R. NOEL and W. ANDREWS: A description of a discrete depth plankton sampler with some notes on the towing behavior of a 6 foot Isaacs-Kidd mid-water trawl and a one-meter ring net. Limnol. Oceanogr. **9** (3), 324—333 (1964).

BACKUS, R. H.: The "Pinger" as an aid in deep trawling. J. Cons. perm. int. Explor. Mer **30** (2), 270 (1966).

— and J. B. HERSEY: Echo-sounder observations of mid-water nets and their towing cables. Deep. Sea Res. **3** (4), 237—241 (1956).

BÉ, A.: Quantitative multiple opening and closing plankton samplers. Deep. Sea Res. **9**, 144—151 (1962).

BODEN, B. P., E. M. KAMPA, J. M. SNODGRASS and R. F. DEVEREUX: A depth telerecording unit for marine biology. J. mar. Res. **14** (2), 205—209 (1955).

CLARKE, M. R.: A new mid-water trawl for sampling discrete depth horizons. J. mar. biol. Ass. U.K. **49** (4), 945—960 (1969).

DAVIES, I. E. and E. G. BARHAM: The Tucker opening-closing micronekton net and its performance in a study of the deep scattering layer. Mar. Biol. **2**, 127—131 (1969).

FOXTON, P.: An automatic opening-closing device for large plankton nets and mid-water trawls. J. mar. biol. Ass. U.K. **43** (2), 295—308 (1963).

— SOND Cruise 1965. Biological sampling methods and procedures. J. mar. biol. Ass. U.K. **49** (3), 603—620 (1969).

—, W. ARON, M. LEGAND and T. NEMOTO: Micronekton. Report of Working Party No. 4. *In*: Zooplankton sampling. Monogr. oceanogr. Meth. 164—167 (1968).

GEHRINGER, J. W. and W. ARON: Field techniques. *In:* Zooplankton sampling. Monogr. oceanogr. Meth. 87—104 (1968).

HOLTON, A. A.: Feeding behavior of a vertically migrating lanternfish. Pacif. Sci. **23** (3), 325—331 (1969).

IMANISHI, H., T. TANIGUCHI and A. KATAOKA: Hydrodynamic studies on the Isaacs-Kidd mid-water trawl. II: Field experiments of the 10 feet S-II type larva net. Bull. Jap. Soc. scient. Fish. **31**, 663—668 (1965).

ISAACS, J. D. and D. H. BROWN: Isaacs-Brown opening-closing trawl. Univ. Calif. Scripps Inst. Oceanogr. Unpubl. Rep. Ref. **66-18**, 1—36 (1966).

— and L. W. KIDD: Isaacs-Kidd midwater trawl. *In:* Final Rep. Scripps Inst. Oceanogr. Ref. **53-3**, 1—18 (1953).

LONGHURST, A. R., A. D. REITH, R. E. BOWER and D. L. R. SEIBERT: A new system for the collection of multiple serial plankton samples. Deep Sea Res. **13** (2), 213—222 (1966).

MICHEL, A. et R. GRANDPERRIN: Aperçu sur la distribution verticale du micronecton dans le Pacifique ouest équatorial (170°00 E). Cahiers O.R.S.T.O.M. (Sér. Océanogr.) **7** (2), 45—52 (1969).

— — Sélection du chalut pélagique Isaacs-Kidd 10 pieds. Mar. Biol. **6**, 200—212 (1970).

PEARCY, W. G. and L. HUBBARD: A modification of the Isaacs-Kidd midwater trawl for sampling at different depth intervals. Deep. Sea Res. **11** (2), 263—265 (1964).

— and R. M. LAURS: Vertical migration and distribution of mesopelagic fishes off Oregon. Deep. Sea Res. **13** (2), 153—165 (1966).

TANIGUCHI, T., A. KATAOKA and H. IMANISHI: Hydrodynamic studies on the Isaacs-Kidd mid-water trawl I: Field experiments of the 10 feet S-I type larva net. Bull. Jap. Soc. scient. Fish. **31**, 327—332 (1965).

TRANTER, D. J.: Discussion following the presentation of papers. p. 25. *In:* Symposium on hydrodynamics of plankton samplers, Sydney, February 1966.

First author's address: Monsieur R. GRANDPERRIN
Centre O.R.S.T.O.M. de Nouméa
B.P. 4
Nouméa, New Caledonia

Date of final manuscript acceptance: July 14, 1970. Communicated by J. M. PERES, Marseilles