

COUCHES DIFFUSANTES DANS LE PACIFIQUE ÉQUATORIAL ET SUD-TROPICAL

par R. GRANDPERRIN*

RÉSUMÉ

Des enregistrements du système diffusant ont été effectués au cours de plusieurs croisières dans le Pacifique équatorial et sud-tropical à l'aide d'un sondeur d'une fréquence de 10,4 kc/s. Pour les régions océaniques considérées, il semble qu'on puisse définir un système diffusant type d'où dérivent tous les autres. Les migrations verticales ascendantes et descendantes s'effectuent respectivement suivant trois et quatre stades d'apparences différentes, et de durées inégales. Le système n'est stable que quelques heures au cours d'un cycle journalier. Son extension, l'intensité de l'écho et les vitesses de migration sont sujettes à des variations géographiques : elles dépendent, entre autres facteurs, de l'intensité de l'éclairement. Au sein du système, on distingue plusieurs couches qui migrent à des vitesses différentes. Il semble que plusieurs types d'organismes soient simultanément responsables de la diffusion des ultra-sons.

ABSTRACT

Underwater scattering has been recorded during several cruises in the equatorial and tropical Pacific Ocean using an echo-sounder with a frequency of 10,4 kc/s. A typical scattering is defined. Ascending scattering has three stages while descending has four, distinguished by changes in appearance or speed of migrations. Scattering is at a constant depth only few hours a day. Depth, intensity and speed of migration of scattering show geographical variations: they depend on light intensity. Several layers appear to migrate at different speeds. The scattering probably is from several different taxonomic groups of organisms.

* Océanographe biologiste au Centre O.R.S.T.O.M. de Nouméa (Nouvelle-Calédonie).

INTRODUCTION

L'étude qui suit porte essentiellement sur des enregistrements réalisés en eaux profondes, loin des côtes, en zones équatoriale et tropicale. Ces enregistrements, dont l'exploitation a été décidée a posteriori, sont souvent incomplets et ne sont pas accompagnés de tous les renseignements indispensables à une étude systématique du phénomène. Il n'en demeure pas moins que le dépouillement des échogrammes a permis, pour les régions océaniques considérées, de définir un système diffusant type, caractérisé par des stades de durées variables et de vitesses verticales de migration différentes, et par l'individualisation nette de plusieurs couches. Il a permis aussi de mettre en évidence certaines variations géographiques. Enfin, sur quelques exemples nets, ressort de façon spectaculaire l'influence de la nébulosité sur le comportement de certaines couches.

MATÉRIEL ET MÉTHODES

Tous les enregistrements considérés ont été effectués à bord du *N.O. Coriolis* du Centre O.R.S.T.O.M. de Nouméa, à l'aide d'un écho-sondeur de grande profondeur Atlas AN 601 Tiefseelot de fréquence 10,4 kc/s et de puissance de crête à l'émission atteignant 4 000 W. Les enregistrements du système diffusant furent pratiquement continus pour certaines croisières, épisodiques, voire très réduits pour d'autres (Fig. 1, Tableau 1).

TABLEAU 1

Croisières effectuées dans l'Océan Pacifique par le N.O. Coriolis au cours desquelles furent réalisés des enregistrements du système diffusant.

Croisières	Dates	Localisation
<i>Alizé I</i>	20/11/64 au 10/12/64	Le long de l'équateur
<i>Alizé II</i>	18/2/65 au 8/3/65	Le long de l'équateur
<i>Atoll*</i>	21/12/64 au 8/3/65	Tuamotu
<i>Bora I</i>	26/11/65 au 22/12/65	170° E
<i>Bora II</i>	3/3/66 au 5/4/66	
<i>Bora III</i>	9/6/66 au 15/7/66	
<i>Bora IV</i>	19/9/66 au 17/10/66	
<i>Cyclone I</i>	14/11/66 au 7/12/66	
<i>Cyclone II</i>	14/3/67 au 5/4/67	
<i>Cyclone III</i>	18/4/67 au 10/5/67	
<i>Cyclone IV</i>	29/5/67 au 20/6/67	
<i>Brise I</i>	10/5/65 au 14/5/65	Lifou : Iles Loyauté
<i>Brise II</i>	21/2/66 au 25/2/66	

* Croisière effectuée dans le cadre des activités de la Direction des Centres d'Expérimentation Nucléaires pour le compte du Centre d'Expérimentation du Pacifique (Service mixte de contrôle biologique).

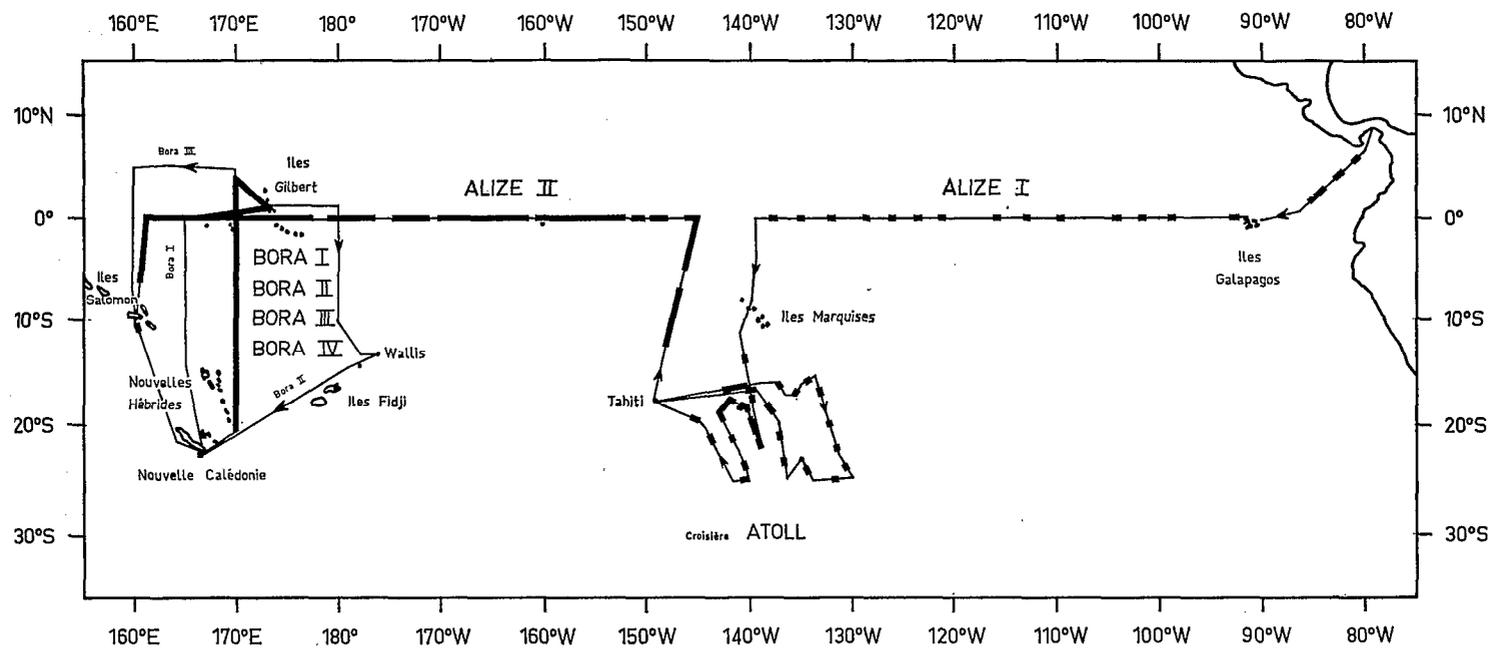


Fig. 1. — Localisation des enregistrements du système diffusant réalisés à bord du *N.O. Coriolis* lors de plusieurs croisières.

Durant les croisières équatoriales *Alizé* les conditions météorologiques demeurèrent remarquablement constantes, alors qu'elles furent beaucoup plus variables durant *Atoll* et les autres croisières. L'essentiel de cette étude a donc été fondé sur la description du système diffusant équatorial et sur son évolution, des îles Galapagos au 160° E.

L'interprétation des échogrammes pose le problème majeur de la définition de paramètre permettant d'aborder une étude quantitative. Une couche se caractérise, (1) par son extension verticale, (2) par l'intensité du noircissement de la trace, qui est fonction de l'intensité de l'écho. S'il est relativement aisé de mesurer l'extension verticale, il est par contre difficile de définir une unité de mesure du noircissement. Il conviendrait, pour ce genre d'étude, d'utiliser des appareils permettant soit de mesurer la perte d'intensité, en décibels, due à la réflexion sur les couches diffusantes (YAMANAKA, KUROHIJI et MORITA, 1966) soit de sélectionner automatiquement des échos d'intensités différentes issus de différents niveaux suivant le principe de la méthode de MITSON et WOOD (1961) appliquée à la détection des poissons. En conséquence, l'intensité du noircissement n'ayant pas été chiffrée, dans l'étude qui suit, les principaux résultats porteront surtout sur l'extension verticale des systèmes enregistrés.

La profondeur des couches diffusantes dépend, entre autres facteurs, de la pénétration de la lumière au sein des masses d'eau ; celle-ci est fonction de la nébulosité, de la turbidité des eaux, de l'état de la mer, des conditions météorologiques, et des phases de la lune : tous ces facteurs varient suivant l'heure, l'époque et le lieu. Leurs effets se conjuguant, on conçoit qu'il est difficile d'isoler et d'étudier l'influence de chacun d'eux sur le système diffusant. Étant donné qu'un recilage horaire — nécessairement discontinu — fut effectué durant les croisières transpacifiques *Alizé* et que les heures des levers et couchers de soleil ne furent pas systématiquement repérées sur l'échogramme, celles-ci ne sont pas connues avec une rigoureuse exactitude. Les quelques données recueillies sur la pénétration de la lumière proviennent d'une part, d'observations du disque de SECCHI effectuées à midi toujours par le même observateur, d'autre part des résultats de la *Swan Song Expedition* (SCRIPPS, 1961) et de YAMANAKA, KUROHIJI et MORITA (1966). Des mesures de diffusion en lumière blanche, propriété liée à la turbidité des eaux, ont été effectuées suivant la méthode d'IVANOFF (1959) et de MOREL (1965) durant les croisières *Bora* (LEMASSON, MAGNIER et PITON, 1967).

DÉFINITION D'UN SYSTÈME DIFFUSANT TYPE POUR LES RÉGIONS OCÉANIQUES CONSIDÉRÉES

Malgré la grande diversité des enregistrements recueillis, on peut envisager la définition d'un système diffusant type essentiellement fondée sur l'examen des échogrammes des zones équatoriales (Figs 2 et 3). Ce système présente une complexité maximale : de lui dérivent tous les autres par suppression ou addition de certaines couches, par atténuation ou renforcement du noircissement de la trace. S'il se révèle plus complexe que celui défini par BARY (1967), sa structure est néanmoins à considérer comme la structure de base applicable à d'immenses régions océaniques. Avant d'entreprendre toute description, il convient de définir ce qu'on entend par mouvements d'ascension et de plongée. En effet, si BARY (1967) constate un déplacement en bloc de la couche diffusante, on assiste ici plus à un épaississement ou à un amincissement qu'à de véritables migrations verticales : aussi devrait-on plutôt parler de développement que d'ascension, de réduction que de plongée, étant donné que la limite inférieure de la couche de jour correspond, à quelques mètres près, au niveau inférieur du système diffusant durant la nuit. Ainsi les variations de profondeur d'une couche ne se traduisent-elles souvent que par des variations de profondeur de sa limite supérieure. Dans le calcul des vitesses de migrations verticales observées

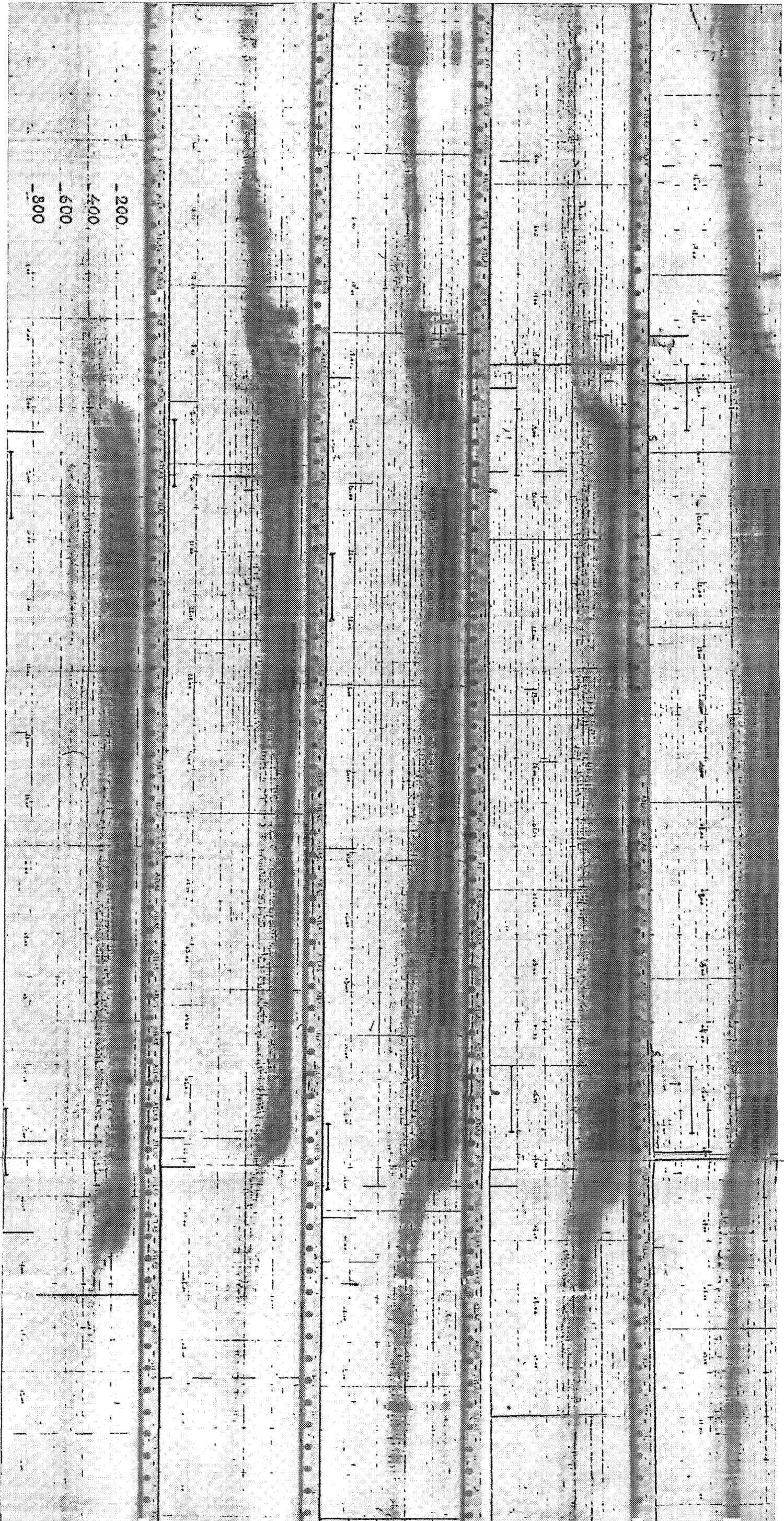


Fig. 2. — Systèmes diffusants enregistrés sur l'équateur par le N.O. Coriolis entre le 158° W et le 169° E lors de la croisière transpacifique *Allée*.

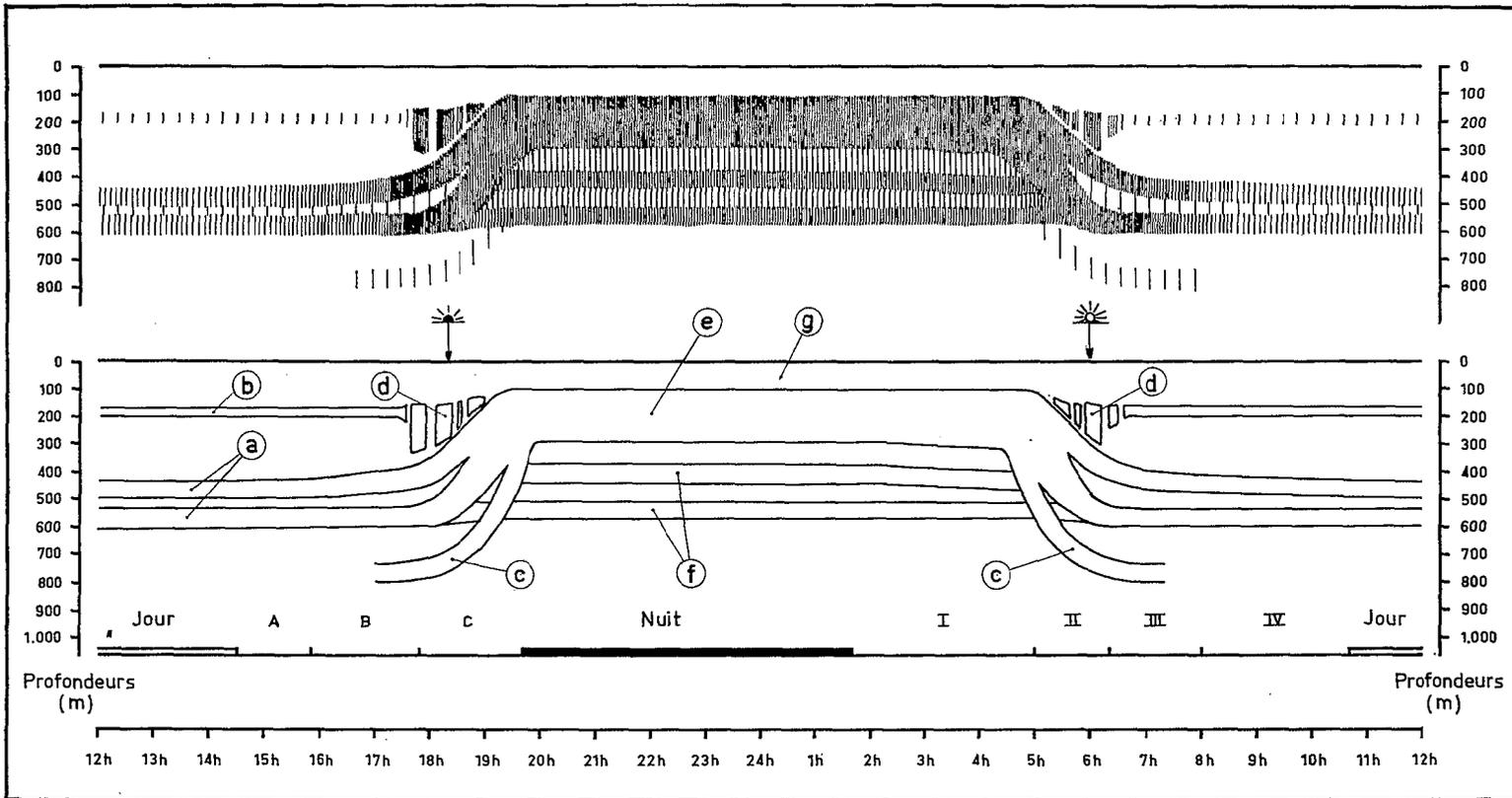


Fig. 3. — Système diffusant type applicable, en eaux profondes, aux zones Pacifique équatoriale et tropicale.

au cours des différents stades définis plus loin, on a choisi comme vitesse moyenne la distance verticale parcourue par la limite supérieure du système durant l'unité de temps : on a ainsi défini une vitesse moyenne pour un stade, qui s'oppose à la vitesse instantanée de certaines couches nettement individualisées (Fig. 4 a).

Au cours d'un cycle journalier, on peut distinguer plusieurs stades dans l'évolution du système. Très tôt dans l'après-midi, on constate une amorce de remontée des couches profondes de jour : c'est le début du stade A, qui dure environ deux heures (Tableau 2, Fig. 3). La vitesse ascensionnelle moyenne est faible (0,2 m/mn). Durant le stade B suivant, elle s'accélère (0,6 m/mn). Il n'est pas toujours possible de séparer ces deux stades. Les conditions d'éclairement semblent largement influencer leur durée et la vitesse du déplacement. Le stade C constitue la phase vraiment active de la migration verticale ascendante. Le noircissement des couches, amorcé durant le stade B se renforce. La vitesse verticale moyenne est de 2 m/mn (Tableau 2). Prenant naissance à 750-800 m, une couche profonde (c) s'individualise : elle parviendra au cœur du système nocturne après toutes les autres : sa vitesse ascensionnelle peut atteindre de grandes valeurs en fin de stade (20 m/mn). Se forment en même temps, plus en surface, des traces très denses (d) dont on ne discerne pas l'origine. Il est possible qu'elles proviennent de modifications dans le mode de groupement d'éléments diffusants, par exemple de fortes concentrations d'organismes en essaim. Ces traces pourraient traduire un changement dans le comportement collectif d'une population en place de jour à ces profondeurs : elles semblent constituer la liaison entre la couche (b) visible de jour et le système diffusant de nuit.

TABLEAU 2

Durées des différents stades et vitesses moyennes (Vm) observées durant la croisière Alizé II.

Phases de l'évolution	Durées		Vitesse moyenne : Vm (m/mn)	
	Extrêmes observés	Moyenne	Extrêmes observés	Moyenne
Stade A.....	1 h 10 - 3 h 30	1 h 50	0,1-1,0	0,2
Stade B.....	1 h 20 - 2 h 45	2 h 00	0,3-1,1	0,6
Stade C.....	1 h 00 - 1 h 50	1 h 20	1,4-2,8	2,0
Nuit.....	4 h 50 - 10 h 20	7 h 20		
Stade I.....	1 h 00 - 5 h 20	3 h 10	0,1-0,3	0,1-0,2
Stade II.....	0 h 55 - 1 h 50	1 h 10	2,0-3,3	2,5
Stade III.....	0 h 50 - 2 h 30	1 h 40	0,3-0,9	0,6
Stade IV.....	1 h 55 - 3 h 50	2 h 40	0,1-0,6	0,3
Jour.....	1 h 00 - 4 h 30	2 h 50		

La nuit, l'extension verticale du système est maximale. Sur les enregistrements, la couche n'atteint jamais la surface. La constance de ce phénomène fait supposer que le sondeur en est probablement responsable. Cependant, l'épaisseur de la bande blanche (g) ainsi isolée variant de 50 à 100 m, on peut se demander si elle ne traduit pas effectivement un appauvrissement en éléments diffusants dans les couches superficielles. Bien qu'elle ait été représentée sur les graphiques, aucune conclusion n'a été tirée des variations d'épaisseur de cette bande. Il convient de déplorer vivement cette incertitude, qui a conduit à abandonner l'étude de l'influence de la lune.

De nuit, la limite inférieure du système diffusant correspond sensiblement à celle de jour bien qu'on puisse noter parfois entre elles un décalage d'une dizaine de mètres. On peut différencier deux couches : une première (e) très intense et souvent très nette, une seconde (f) en dessous, plus diffuse et plus pâle au sein de laquelle on peut isoler plusieurs couches secondaires représentées arbitrairement au nombre de deux sur la figure 3. Le système nocturne, ainsi défini, s'établit pour une durée de 7 à 8 heures (Tableau 2).

Dès 02 h 00, parfois plus tard, on assiste généralement à un bouleversement au sein du système. Certaines couches amorcent une descente très lente (0,1 à 0,2 m/mn) : c'est le stade I, dont la durée variable est en moyenne de 3 heures. Ce stade, plus caractérisé par une modification de structure que par une véritable migration descendante n'est pas toujours discernable. Le stade II suivant est le symétrique du stade C, bien que la vitesse de migration soit légèrement supérieure (2,5 m/mn contre 2,0 m/mn pour le stade C). Précédant les autres, la couche (c) amorce sa descente : parvenue la dernière au cœur du système lors du stade C, elle le quitte la première : elle plonge à 750-800 m. Les traces isolées (d) s'individualisent à nouveau ; elles semblent constituer le point de départ de la couche superficielle de jour. Suivent les stades III et IV symétriques respectivement des stades B et A.

De jour, le système est composé d'une couche superficielle (b) d'épaisseur variable excédant rarement 100 m, d'une couche profonde (a) formée très souvent de 2 couches secondaires. Cette distribution verticale est ainsi établie pour quelques heures seulement (3 ou 4 heures) : elle est par ailleurs sujette à des bouleversements considérables dus notamment à des variations de nébulosité donc d'éclairement. On a même observé l'enfoncement d'une couche et l'ascension simultanée d'une autre.

Ainsi défini, ce système diffusant type présente plusieurs originalités. (1) Il est le siège de transformations durant plus de la moitié du cycle journalier : on peut donc désigner par période de nuit et de jour *sensu stricto*, celles pendant lesquelles le système paraît stable : l'ensemble des deux périodes représente une dizaine d'heures. BARY (1967) observe des durées maximales de 3 h à 4 h 30 pour la totalité des stades respectivement d'enfoncement et de remontée, ce qui détermine une durée minimale jour+nuit *sensu stricto* égale à 16 h 20, soit beaucoup plus que dans la zone océanique étudiée. (2) La limite inférieure du système demeure pratiquement toujours à la même profondeur : ceci laisse supposer que certains éléments diffusants n'effectuent aucune migration verticale bien nette. (3) Constitué de couches différenciées ayant chacune une vitesse de migration verticale propre, il est difficile de considérer globalement le système comme une entité aux caractéristiques d'ensemble bien définies. A titre d'exemple, la figure 4 a représente le stade C enregistré le 3/3/65 durant *Alizé II*. Les courbes correspondent à la limite supérieure des différentes couches. Au même instant, ces couches présentent des vitesses verticales différentes (pente du vecteur V_i). Les vitesses ascensionnelles maximales (pente du vecteur V_i max), généralement atteintes en fin de stade varient suivant les couches. La couche (c) qui prend naissance le plus en profondeur atteint les plus grandes vitesses. La vitesse moyenne (pente du vecteur V_m) qui a été définie précédemment comme la vitesse de la couche la moins profonde est donc une estimation minimale des vitesses de migration du système. Par curiosité, on a cherché à déterminer par la méthode des différences quel était le type de fonction représenté par la courbe (c) : il semble qu'elle ne soit pas du deuxième degré. L'évolution des vitesses instantanées en cours de stade est reportée figure 4 b.

En conclusion, on est amené à penser qu'un certain nombre d'éléments différents, ayant chacun un comportement propre et une réponse déterminée à certains stimuli sont responsables de la diffusion des ultra-sons.

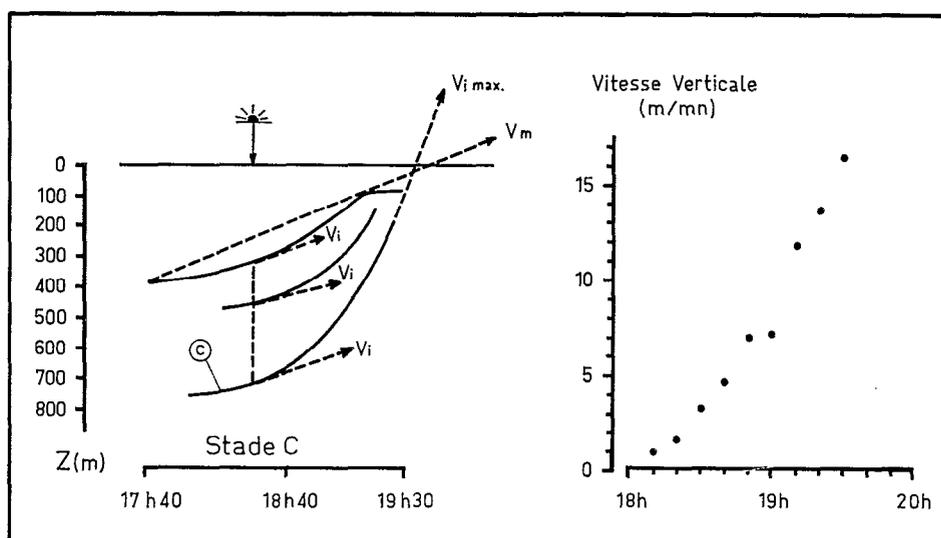


Fig. 4 a. — Individualisation de plusieurs couches au cours du stade C.

Fig. 4 b. — Évolution des vitesses verticales instantanées de la couche (c) au cours du stade C.

Fig. 4. — Détail de la migration ascendante du système diffusant. Enregistrement effectué le 3/3/65 à l'équateur durant la croisière transpacifique *Alizé II*.

VARIATIONS GÉOGRAPHIQUES ET MODIFICATIONS DUES A LA NÉBULOSITÉ

L'enregistrement d'est en ouest le long de l'équateur a permis de mettre en évidence une nette évolution du système diffusant d'un bout à l'autre du Pacifique (figure 5). On constate à partir du 155° W un enfoncement progressif marqué des couches de nuit, un enfoncement brutal des couches de jour (entre le 90° W et le 140° W, aucun enregistrement de jour n'a été effectué). On est tenté de rapprocher cette évolution de celle des propriétés physico-chimiques et de celle des productions primaire et secondaire. On assiste en effet d'est en ouest à une diminution progressive de l'influence de l'upwelling équatorial accompagnée d'un enfoncement du courant de Cromwell (ROTSCHI, HISARD, LEMASSON, MAGNIER, NOEL et PITON, 1967), à une diminution de la turbidité des eaux (SCRIPPS, 1961 ; YAMANAKA, KUROHJI et MORITA, 1966) et à une évolution, dans le même sens, des productions primaire et secondaire (GRANDPERRIN et RIVATON, 1966 ; GRANDPERRIN et LEGAND, 1967). Pour *Alizé II*, on a calculé les vitesses verticales maximales de migration (pente du vecteur $V_i \max$ figure 4 a). Elles semblent augmenter d'est en ouest (tableau 3).

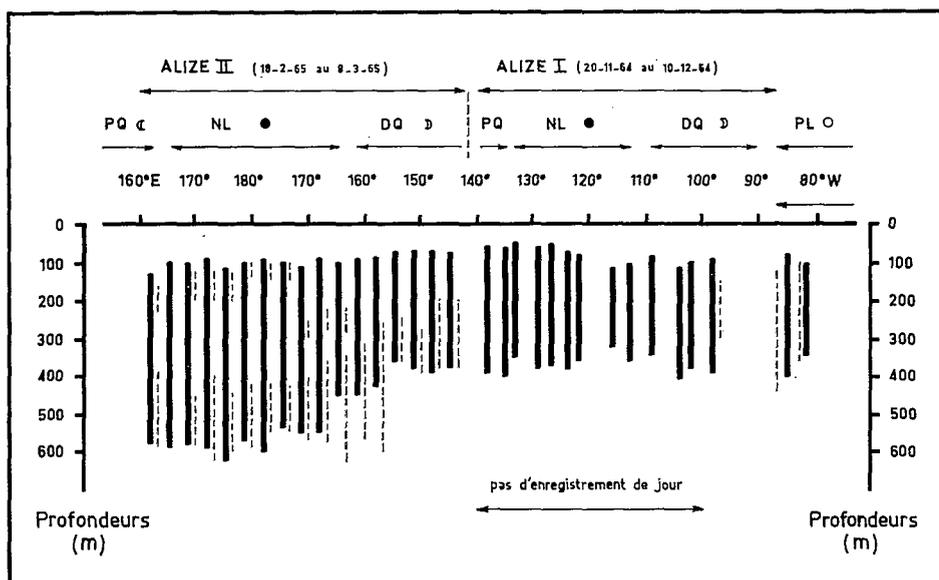


Fig. 5. — Extension verticale du système diffusant le long de l'équateur — nuit, ---- jour, NL nouvelle lune, PQ premier quartier, PL pleine lune, DQ dernier quartier.

TABEAU 3

Vitesses verticales maximales observées durant la croisière Alizé II

Date	Longitude	Vitesses maximales m/mn	
		Remontée	Plongée
18/2/65	145° W	9,3	—
19/2/65	148° W	7,2	—
20/2/65	152° W	5,0	7,3
21/2/65	155° W	5,4	7,2
22/2/65	158° W	7,9	10,0
23/2/65	162° W	10,8	9,0
24/2/65	165° W	7,5	9,2
25/2/65	168° W	9,7	7,7
26/2/65	172° W	6,8	9,6
27/2/65	175° W	10,7	—
28/2/65	178° W	12,7	10,0
1/3/65	178° E	17,5	—
3/3/65	175° E	16,5	14,6
4/3/65	168° E	13,0	13,6
6/3/65	165° E	19,2	13,2
7/3/65	162° E	9,7	24,2
8/3/65	161° E	13,3	15,0

Les données intéressant la zone tropicale sont très incomplètes. Le long du 170° E, on constate un enfoncement de nuit en zone équatoriale (Fig. 6). Cet enfoncement s'accompagne d'une augmentation d'intensité de la trace. Cela correspond aux résultats obtenus par YAMANAKA, KUROHJI et MORITA (1966) qui ont enregistré aux latitudes entre 4° S et 9° N un maximum de perte par réflexion sur la couche diffusante profonde. Les enregistrements de jour n'ont pas été

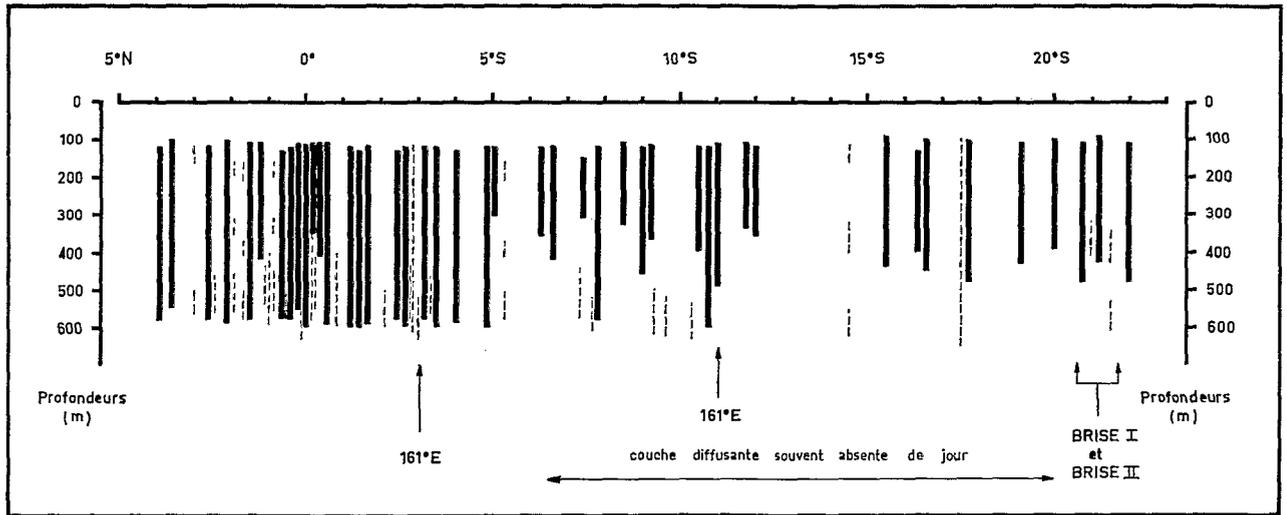


Fig. 6. — Extension verticale du système diffusant le long du 170° E lors des 4 croisières *Bora I*, *Bora II*, *Bora III* et *Bora IV*. La figure comporte 2 enregistrements réalisés au 161° E. Sur 12 échogrammes de jour et de nuit recueillis au cours des croisières *Brise I* et *Brise II* aux Iles Loyauté 4 enregistrements seulement ont été représentés aux environs de 21° S ; ils correspondent aux limites à l'intérieur desquelles se situent tous les autres. — nuit — jour.

TABLEAU 4

Extension verticale des systèmes diffusants enregistrés durant la croisière Atoll, dans l'archipel des Tuamotu

Dates	Position		Limites supérieure et inférieure du système (m)	
	Latitude	Longitude	Jour	Nuit
15/12/64	13° 30 S	141° 00 W	80-350	80-240
16/12/64	18° 00 S	140° 00 W	80-350	100-240
21/12/64	21° 13 S	139° 10 W	néant	50-260
22/12/64	20° 16 S	139° 53 W	—	60-220
23/12/64	17° 41 S	140° 10 W	—	60-240
24/12/64	17° 44 S	142° 28 W	—	60-230
25/12/64	20° 20 S	141° 54 W	—	70-230
26/12/64	22° 17 S	141° 13 W	—	60-250
27/12/64	24° 55 S	140° 15 W	—	70-240
29/12/64	22° 39 S	143° 02 W	—	70-250
30/12/64	20° 22 S	144° 26 W	—	70-250
8/1/65	17° 10 S	142° 30 W	290-370	70-300
9/1/65	16° 16 S	138° 49 W	néant	70-240
10/1/65	17° 24 S	136° 45 W	—	75-240
11/1/65	16° 24 S	135° 11 W	—	60-240
12/1/65	15° 31 S	133° 25 W	200-280	70-220
13/1/65	18° 04 S	132° 44 W	néant	70-240
14/1/65	20° 41 S	132° 08 W	—	70-240
15/1/65	22° 51 S	131° 34 W	—	70-240
17/1/65	24° 57 S	132° 08 W	—	80-230
18/1/65	25° 00 S	133° 56 W	—	70-240
23/1/65	25° 07 S	136° 20 W	—	70-240
24/1/65	22° 17 S	136° 46 W	240-250	70-270
25/1/65	19° 31 S	137° 16 W	néant	60-260
26/1/65	17° 24 S	139° 03 W	—	70-260

Néant : l'enregistrement ne présente pas de trace discernable.

toujours effectués : quand ils le furent, la couche de jour était très pâle, voire inexistante au sud de 5° S. Les mesures de diffusion donnèrent toujours un maximum pour les eaux équatoriales. Durant la croisière *Atoll* dans l'archipel des Tuamotu, la couche de nuit, assez pâle, ne dépassa jamais 300 m (tableau 4). La couche de jour fut souvent indiscernable. 21 mesures de pénétration de lumière furent effectuées par le même opérateur que pour *Alizé II*. Le disque disparaissait en moyenne à 40 m (20 m sur l'équateur au 122° W, 30-35 m au 170° W). Si l'on compare les biomasses récoltées durant *Atoll* à l'aide d'un chalut pélagique Isaacs-Kidd 5 pieds au cours de traits obliques jusqu'à 300 m durant 55 mn en moyenne à celles récoltées dans les mêmes conditions aux mêmes longitudes sur l'équateur durant *Alizé I*, on constate que les premières (11,0 g) sont de l'ordre de 3 à 4 fois inférieures aux secondes. Les vitesses maximales de migration verticale mesurées 7 fois seulement, varièrent de 6,0 à 8,7 m/mn ; elles correspondent sensiblement à celles des premiers enregistrements d'*Alizé I*. Il semble donc que moins profond se situe le système diffusant, moins grandes soient les vitesses (BARY, 1967).

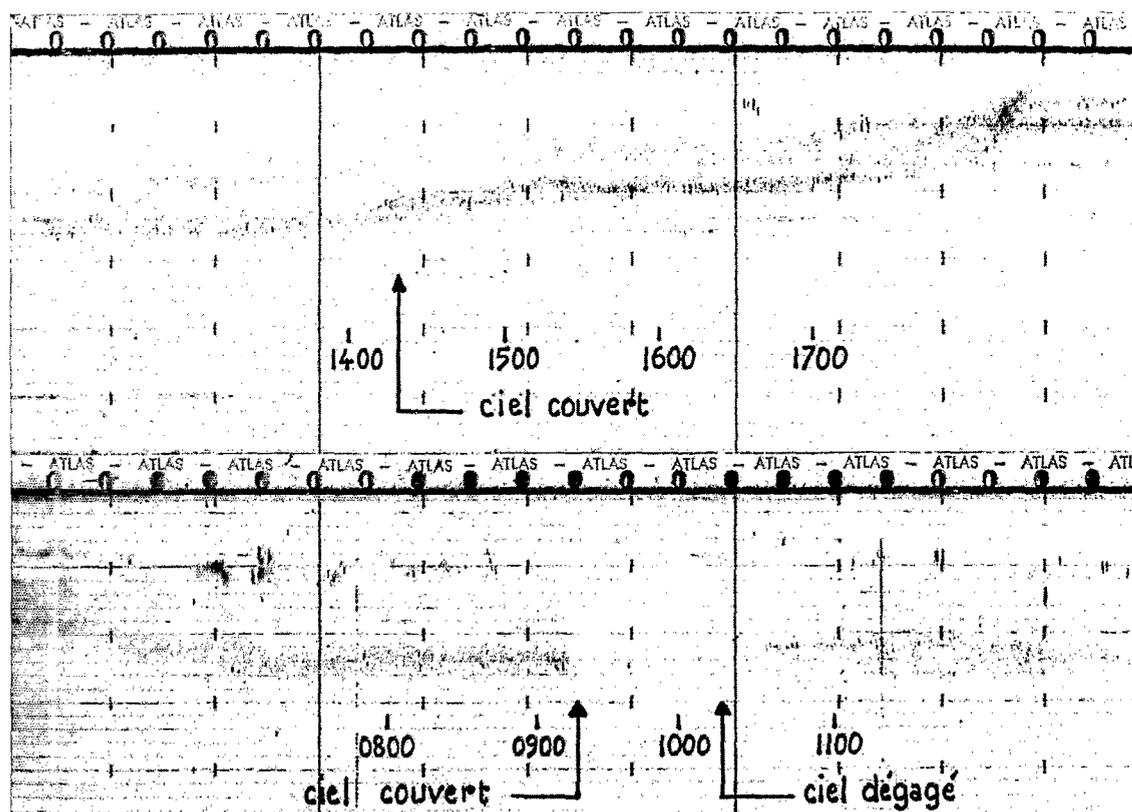


Fig. 7. — Action de la nébulosité sur le système diffusant de jour : remontée des couches profondes (enregistrement du haut).

Fig. 8. — Action de la nébulosité sur le système diffusant de jour : disparition de la couche profonde (enregistrement du bas).

La nébulosité conditionne la luminosité au sein des couches d'eau. De nuit, son action se superpose sans doute à celle de la lune pour agir sur les couches supérieures. Aucune observation n'a été réalisée dans ce sens. Par contre, on a pu relever quelques exemples spectaculaires de l'influence de brusques assombrissements durant la journée ; un grain peut provoquer soit

une remontée des couches soit leur disparition totale durant un certain temps (Figs 7 et 8). Suivant le moment où elle se place, la remontée brutale peut masquer complètement l'un des stades A et B ou prolonger l'un des stades III ou IV. Dans le deuxième cas (Fig. 8), il semble que les éléments diffusants, qui étaient localisés dans une étroite couche d'eau, changent de comportement collectif (passage de groupements en essaims à une distribution plus homogène) soit en amorçant une migration verticale, soit en demeurant à la même profondeur. De toute façon, leur comportement conduit à une diminution de densité des cibles de sections transversales diffusantes actives à la réflexion des ultra-sons (HERSEY et BACKUS, 1962).

DISCUSSION-CONCLUSION

Il semble qu'il faille de plus en plus rejeter l'hypothèse selon laquelle certaines discontinuités physiques seraient seules à l'origine de la diffusion des ultra-sons (LENZ, 1965). CUSHING, LEE et RICHARDSON (1956) associent l'écho d'une thermocline à la présence, dans cette couche, d'une grande densité de phytoplancton et de zooplancton. Les résultats des enregistrements de YAMANAKA, KUROHIJI et MORITA (1966) montrent même que le taux d'occurrence des couches diffusantes semble d'autant plus élevé que le gradient de température est plus faible. On admet de plus en plus que certains organismes sont responsables, du moins en partie, de la diffusion. MOORE (1950) l'attribue aux Poissons, aux Céphalopodes et principalement aux Euphausiacés ; BODEN (1962) associe, dans une relation prédateur-proie Myctophidés et Euphausiacés ; HERSEY et BACKUS (1962) admettent l'influence possible des Spirules, Nautilés, Céphalopodes, grands Crustacés et surtout celle des Poissons possédant une vessie gazeuse ; BARHAM (1963) estime que les Siphonophores jouent un rôle de première importance dans la diffusion ; certains auteurs ont même pensé aux Hétéropodes et aux Méduses. De ceci, il semble qu'il faille conclure que plusieurs organismes différents sont simultanément responsables du phénomène. CLARKE et BACKUS (1964) ont discerné jusqu'à quatre couches s'individualisant en cours d'ascension ou de plongée ; sur les échogrammes enregistrés par le *N.O. Coriolis*, on a pu en compter jusqu'à cinq. Il est raisonnable d'admettre que chacune d'elle est l'image de la position d'une certaine association d'espèces. La couche (c) qui prend naissance dans *Alizé II* à 750-800 m est sans doute constituée d'organismes remarquablement adaptés à d'importantes migrations, soit parce qu'ils sont d'excellents nageurs (gros Crustacés, gros Poissons, Céphalopodes), soit parce qu'ils ont la possibilité de faire varier rapidement leur flottabilité par modification de la pression interne ou du volume d'une chambre à gaz (Siphonophores, Nautilés, Poissons). Ce n'est qu'en réussissant à isoler ces éléments au sein des couches observées, au moyen de prélèvements précis, qu'on parviendra à résoudre le problème qui n'a été qu'effleuré jusque là. Il faudra alors tenir compte de la fragilité de certains (Siphonophores) et des facultés d'évitement des plus grands (Céphalopodes, Poissons, gros Crustacés).

En ce qui concerne les propriétés physico-chimiques et les productions primaire et secondaire, on a pu constater de grosses différences entre les zones tropicale et équatoriale ainsi qu'entre les régions équatoriales est et ouest ; parallèlement, on a noté des différences entre les échogrammes enregistrés dans ces régions. Cette corrélation apparente n'est cependant nette qu'au niveau des grandes tendances. En effet, dans le détail, on a tenté de relier aux variations du système diffusant les variations d'abondance de certains groupes comme les Crustacés, les Poissons (MARSHALL, 1951), les Céphalopodes, de certaines familles comme les Myctophidés (BARHAM, 1966), les Euphausiacés (BODEN et KAMPA, 1965) voire même de certains genres comme les *Diaphus* et *Lampanyctus* (GRANDPERRIN et RIVATON, 1966). Ce ne fut pas très net pour deux raisons : (1) les prélèvements n'ont été ni assez fréquents, ni assez précis, ni assez sélectifs ; (2) l'épaisseur du système diffusant ne constitue pas, à elle seule un paramètre de caractérisation suffisant,

puisqu'elle ne renseigne que sur la répartition bathymétrique globale de l'ensemble des éléments diffusants en délaissant le facteur densité. Ainsi les enregistrements tropicaux le long du 170° E et ceux d'*Alizé I* présentent-ils approximativement les mêmes extensions verticales alors que les intensités de trace traduisent bien les différences sensibles existant au niveau des productions secondaires. De mauvaises conditions d'enregistrement dues à des mers variables peuvent par ailleurs masquer les phénomènes.

Si l'on souhaitait étudier systématiquement la diffusion des ultra-sons, il conviendrait de s'astreindre à suivre un protocole très strict impliquant, dans un premier stade, une série d'écho-sondages effectués à station fixe, dans d'excellentes conditions météorologiques, en utilisant un matériel de précision (Precision Depth Recorder) couplé à un système permettant de mesurer l'intensité de l'écho. Les enregistrements seraient complétés par tous les renseignements portant sur la nébulosité (en continu), sur les heures d'apparition et de disparition des premières et dernières lueurs du jour, sur les heures des levers et couchers du soleil, sur les phases de la lune. Des mesures de diffusion et de pénétration de lumière seraient effectuées de façon continue et simultanément à plusieurs profondeurs, afin d'obtenir les courbes de migration des isolumes (KAMPA et BODEN, 1954) en vue d'une comparaison avec les courbes représentant les migrations des différentes couches (CLARKE et BACKUS, 1964). Enfin, il conviendrait d'effectuer des mesures de bioluminescence car le nombre des éclairs lumineux et leur intensité, les changements de lumière ambiante, la turbidité et le déplacement des couches semblent étroitement liés (BODEN et KAMPA, 1958 ; CLARKE et BACKUS, 1956). Toutes ces mesures s'accompagneraient de prélèvements ininterrompus et précis permettant d'échantillonner les populations de tranches d'eau assez étroites durant un cycle journalier complet. Ce n'est qu'après avoir franchi ce premier stade qu'on pourrait alors peut être aborder l'étude des variations géographiques et saisonnières.

BIBLIOGRAPHIE

- BARHAM (E. G.), 1963. — Siphonophores and the deep scattering layer. *Science*, 140, pp. 826-828.
- BARHAM (E. G.), 1966. — Deep scattering layer migration and composition : observations from a diving saucer. *Science*, 151, pp. 1399-1402.
- BARY (B. Mck.), 1967. — Diel vertical migrations of underwater scattering, mostly in Saanich Inlet, British Columbia. *Deep-Sea Res.*, 14 (1), pp. 35-50.
- BODEN (B. P.) et KAMPA (E. M.), 1958. — Lumière, bioluminescence et migrations de la couche diffusante profonde en Méditerranée occidentale. *Vie et milieu*, 9, pp. 1-10.
- BODEN (B. P.), 1962. — Plankton and sonic scattering. *Rapp. Cons. Explor. Mer*, 153, pp. 171-177.
- BODEN (B. P.) et KAMPA (E. M.), 1965. — An aspect of euphausiid ecology revealed by echosounding in a fjord. *Crustaceana*, 9 (2), pp. 155-173.
- CLARKE (G. L.) et BACKUS (R. H.), 1956. — Measurements of light penetration in relation to vertical migration and records of luminescence of deep-sea animals. *Deep-Sea Res.*, 4, pp. 1-4.
- CLARKE (G. L.) et BACKUS (R. H.), 1964. — Interrelations between the vertical migration of deep scattering layers, bioluminescence, and changes in daylight in the sea. *Bull. Int. oceanogr. Monaco*, 64 (1318), 36 p.
- CUSHING (D. H.), LEE (A. J.) et RICHARDSON (I. D.), 1956. — Echo traces associated with thermocline. *J. Mar. Res.*, 15 (1), pp. 1-13.

- GRANDPERRIN (R.) et RIVATON (J.), 1966. — Croisière « *Alizé* ». Individualisation de plusieurs ichtyofaunes le long de l'équateur. *Cah. O.R.S.T.O.M., sér. Oceanogr.*, 4 (4), pp. 35-49.
- GRANDPERRIN (R.) et LEGAND (M.), 1967. — Influence possible du système des courants équatoriaux sur la répartition et la biologie de deux Poissons bathypélagiques. *Cah. O.R.S.T.O.M., sér. Oceanogr.*, 5 (2), pp. 69-77.
- HERSEY (J. B.) et BACKUS (R. H.), 1954. — New evidence that migrating gas bubbles, probably the swim-bladders of fish, are largely responsible for scattering layers on the continental rise south of New England. *Deep-Sea Res.*, 1, pp. 190-191.
- HERSEY (J. B.) et BACKUS (R. H.), 1962. — Sound scattering by marine organisms. No 13. in : *The Sea: Ideas and Observations of Progress in the Study of the Sea*. Edited by M. Hill, Interscience, New York. 1, pp. 498-539.
- IVANOFF (A.), 1959. — A new water sampler and a new scattering-polarizing-meter for optical investigation of the oceans. *Internation. Oceanogr. Congress, New York Reprints*, pp. 553-555.
- KAMPA (E. M.) et BODEN (B. P.), 1954. — Submarine illumination and the twilight movements of a sonic scattering layer. *Nature, Lond.*, 174, pp. 869-871.
- LEMASSON (L.), MAGNIER (Y.) et PITON (B.), 1967. — Résultats des observations physico-chimiques de la croisière *Bora I* du N.O. *Coriolis*. *Rapport scientifique n° 9 du Centre O.R.S.T.O.M. de Nouméa*, 32 p.
- LENZ (J.), 1965. — Zur Ursache der an die Sprungschicht gebundenen Echostreuschichten in der Westlichen Ostsee. *Ber. dtsh. wissensch. Kommiss. Meeresforsch.*, 18 (2), pp. 111-161.
- MARSHALL (N. B.), 1951. — Bathypelagic fishes as sound scatterers in the ocean. *J. Mar. Res.*, 10 (1), pp. 1-17.
- MISTON (R. B.) et WOOD (R. J.), 1961. — An automatic method of counting fish echoes. *J. Cons. internation. Explor. Mer*, 26 (3), pp. 281-291.
- MOORE (H. B.), 1950. — The relation between scattering layer and the Euphausiacea. *Biol. Bull.*, 99 (2), pp. 181-212.
- MOREL (A.), 1965. — Résultats des mesures de diffusion de la lumière effectuées lors de la croisière n° 25 du bâtiment océanographique *Chain*. *Cahiers Océanographiques*, 17 (2), pp. 107-121.
- ROTSCHI (H.), HISARD (P.), LEMASSON (L.), MAGNIER (Y.), NOEL (J.) et PITON (B.), 1967. — Résultats des observations physico-chimiques de la croisière *Alizé* du N.O. *Coriolis*. *Rapport scientifique n° 2 du Centre O.R.S.T.O.M. de Nouméa*, 56 p.
- SCRIPPS INSTITUTION OF OCEANOGRAPHY, 1961. — Physical, chemical current measurement and biological data, Swan Song Expedition, 21 August-1 December 1961. SIO Reference 66-1, 125 p.
- YAMANAKA (H.), KUROHIJI (Y.) et MORITA (J.), 1966. — General results of the investigation in the South Western Pacific Ocean by the fish-finder. *Report Nankai Regional Fish. Res. Lab.*, 24, pp. 115-127.