

Norois, 1992, Poitiers, t. 39, n° 153, p. 89-118.

XXXIX^e CHRONIQUE OCÉANOGRAPHIQUE

par André GUILCHER

MISES AU POINT ET COMPTES RENDUS

Un volume d'ensemble sur les conséquences du Niño exceptionnel de 1982-1983

Nos lecteurs savent qu'en 1982-1983 une perturbation exceptionnelle a affecté les eaux péruviennes, en aggravant et prolongeant considérablement l'annuel «courant de l'Enfant Jésus» qui inverse temporairement le courant du Pérou, et cela, de façon plus grave que les grandes perturbations enregistrées scientifiquement jusqu'alors. A la littérature extrêmement abondante consacrée au phénomène s'est ajouté un gros volume édité par la Maison Elsevier (1) sur lequel nous voulons attirer l'attention.

On y discute notamment du problème de l'extension spatiale des conséquences du phénomène. Au début du siècle, Walker avait essayé d'établir une corrélation entre les événements des Niños exceptionnels (ENSO) et les fluctuations de la mousson indienne. Actuellement, on accepte généralement que le ENSO exceptionnel (ou ENSO tout court selon la terminologie qui s'impose maintenant dans l'usage) concerne au minimum la région comprise entre le Pérou et l'Indonésie, déterminant la réduction des précipitations dans l'ouest, et leur augmentation considérable non seulement dans les régions côtières de l'Amérique du Sud, mais dans le Pacifique centre-équatorial (îles Phoenix et de la Ligne) où elles sont habituellement faibles. Ainsi, à Christmas, îles de la Ligne, il est tombé 530 mm d'août à octobre 1982, contre une moyenne de 74 mm pour ces mois. Les cyclones exceptionnels des îles Tuamotu et de la Société (décembre 1982-avril 1983) sont une autre conséquence, plus connue en France (1 bis). En même temps, les oscillations du niveau de la mer ont été inverses dans l'ouest et dans l'est, avec une élévation de 40 cm à l'île Nauru (167° E, Pacifique occidental) fin 81-début 82, et une baisse de 20 cm ensuite, tandis qu'aux îles Galapagos proches du Pérou le niveau s'élevait au contraire de 30 à 40 cm en fin 82-début 83. La dynamique corrélative est brièvement analysée dans le compte rendu de notre XXXVIII^e chronique, 1991, p. 113.

Sur le problème de l'extension spatiale maximale du phénomène en dehors de l'axe Pérou-Indonésie, les conclusions ne sont pas encore sûres. Certains le voient s'étendre jusqu'au Pacifique Nord, avec approfondissement des basses pressions des Aléoutiennes, d'où accroissement inusité des vents d'ouest et dommages corrélatifs sur les côtes nord-américaines du fait des vagues de tempête. On a aussi proposé des corrélations avec les pluies en Arizona et au Nouveau-Mexique. Il se peut que, dans ces phénomènes, ENSO n'ait été qu'un élément moteur parmi d'autres. La discussion reste ouverte.

(1) GLYNN (P.W.) éditeur, 1990. *Global ecological consequences of the 1982-83 El Niño-Southern Oscillation. Elsevier Oceanography Series*, vol. 52, Amsterdam, 563 p., 13 contributions, index.

(1 bis) Le cyclone Wasa qui a frappé les îles de la Société et les Australes les 11 et 12 décembre 1991 est du même type.

A côté des conséquences écologiques bien connues sur les côtes péruviennes (mortalité massive des poissons, eaux empoisonnées par leurs cadavres, oiseaux migrant, etc), d'autres effets biologiques sont analysés : extension des résultats sur les poissons jusqu'aux îles de la Ligne ; forêts semi-décidues du Panama endommagées par une sécheresse inhabituelle, alors que, sur l'autre rive de l'océan, les forêts de Sabah et de Kalimantan (Est Bornéo) furent encore plus affectées climatiquement.

Le volume Elsevier contient aussi des données sur les conséquences dans les récifs coralliens. Les perturbations, notamment thermohalines, des ENSO successifs sont enregistrées dans les squelettes des colonies. Les éléments constitutifs de ces dernières (Cadmium, Barium, Manganèse) reflètent, sur la côte américaine du Pacifique tropical, les fluctuations des apports d'eaux fluviales qui découlent elles-mêmes des fluctuations climatiques. Sur le phénomène de blanchissement, on verra notre compte rendu séparé qui suit. L'ouvrage de Glynn renseigne sur les effets sur les phoques des Galapagos, sur les oiseaux de mer de tout le Pacifique Sud jusqu'en Nouvelle-Zélande et en Australie, et, p. 403-405, il envisage les mêmes corrélations dans l'Atlantique Sud avec les fluctuations du courant de Benguela en Angola : un sujet dont l'auteur de cette chronique avait entretenu les lecteurs de *Norois* (vol. 29, 1982, p. 507-517).

Il n'est pas nécessaire d'insister sur le caractère éminemment géographique de ces études, où l'interférence de facteurs multiples est mise en évidence. Il est assez lamentable de voir, dans ce contexte d'études internationales, la pluridisciplinarité et l'unicité de la géographie combattues, efficacement hélas, en France par des autorités supérieures du CNRS. Mais ceci est une autre affaire.

Le blanchissement ou blanchiment des coraux

A partir de fin mars 1991 (2), on a constaté, d'abord à Tahiti puis jusqu'à Bora Bora vers l'ouest, un blanchissement des coraux des récifs, en surface puis jusque vers 40 m : blanchissement signifiant la mort des colonies par expulsion de leurs Zooxanthelles. A la fin d'août, 10 à 15 % des colonies étaient atteintes.

Comme cause du phénomène, on a envisagé l'élévation anormale de la température des eaux de surface, qui a atteint 29,5°C en mars-avril à Tahiti, soit 1°C de plus que la moyenne mensuelle. On a rapproché cela de blanchissements dans les Caraïbes qui avaient aussi coïncidé avec des épisodes chauds. Lors du très fort ENSO de 1982-83 qui fait l'objet du CR précédent de cette chronique, il y a eu aussi blanchissement dans l'Ouest Pacifique avec mortalité de 2 à 15 % et même coïncidence thermique. Mais au cours d'ENSO antérieurs depuis le début du siècle, le blanchissement n'était pas au rendez-vous. Faut-il penser à la couche d'ozone mise en péril par action anthropique, d'où pénétration accrue des rayons ultra-violets ? On en discute, comme on discute de l'effet de serre... A la fin de 1991, où nous écrivons ceci, il est trop tôt pour dire qu'il va y avoir dans un avenir proche disparition généralisée des récifs coralliens vivants. Sur les faits et leurs causes, il faut attendre.

(2) Notamment : ROUGERIE (F.), 1991. Le blanchissement des coraux : phénomène régional ou signal d'alarme planétaire ? *Tahiti Pacifique*, vol. 1, n° 6, octobre, p. 20-23 (en attendant des articles dans les revues scientifiques). L'auteur est océanographe à l'ORSTOM Tahiti.

Une modification récente dans l'économie hydrologique générale océanique

On sait (cf. notre *Précis d'Hydrologie*, 2^e édition, fig. 119 p. 170), depuis les travaux de Gunther Dietrich et ses successeurs, que l'eau profonde atlantique, qui se déplace du nord au sud jusqu'aux Antilles du Sud au-dessus de l'eau de fond issue en sens inverse de la mer de Weddell au bord du continent antarctique, provient essentiellement de la mer de Norvège-Groenland par débordement (*overflow*) au-dessus du seuil Ecosse-Islande-Groenland (figuration de ce débordement dans la chronique de 1959, p. 79, et le *Précis*, p. 164; et de son cheminement par la zone de fracture Charlie-Gibbs dans la chronique de 1988, p. 120).

Cette circulation, élément majeur de l'économie hydrologique générale, n'est pas contestée en elle-même, mais son nourrissement par l'eau profonde de la mer de Norvège-Groenland semble, d'après des océanographes allemands et américains (3), avoir été fortement ralenti depuis le début des années 80. La source de ladite eau profonde (*Greenland Sea Deepwater*, GSDW) est la descente (*cascading*) hivernale, par refroidissement, de l'eau atlantique de subsurface entre Jan Mayen et le Spitsberg. Or les observations récentes font conclure que ce *cascading* a été très ralenti à partir des années 1978-1982, et au moins jusqu'en 1989, dernière campagne utilisée dans les conclusions. La diminution aurait été de 80 %, avec passage de 0,47 sverdrup (millions de m³-sec) dans les années 60 et 70, à 0,1 sv dans les années 80: autrement dit, le processus de formation aurait été presque complètement stoppé. La cause du phénomène n'est pas absolument sûre; elle pourrait fort bien résider dans une diminution de la salinité de surface et subsurface dans l'Atlantique Nord, qui a atteint le courant de Norvège en 1978, et, par contre-coup, le courant nord-sud à l'est du Groenland en 1981-1982. Il est évident qu'une diminution de salinité provoque une réduction de densité, et par conséquent une réduction des possibilités de *cascading* lors du refroidissement hivernal. Une autre possibilité serait un accroissement de débit du courant est-groenlandais, diminuant la salinité de subsurface en mer du Groenland.

Il conviendra de suivre le phénomène, par un programme de longue durée d'observations sur le seuil Ecosse-Islande-Groenland et au nord et au sud de lui. Programme international, dont l'importance est évidente puisque l'économie hydrologique générale est impliquée.

En effet, il est avéré que la circulation de l'eau profonde joue et a joué dans le passé géologique un rôle majeur dans la modulation du climat, par la redistribution de chaleur et de sel qu'elle assure, et par son contrôle du CO₂ atmosphérique. L'océan Austral est un réservoir mélangeur de cette eau qui lui provient de l'Atlantique, et il en assure la redistribution dans le Pacifique et l'océan Indien. Cela était déjà réalisé au Miocène supérieur, époque à laquelle les configurations actuelles étaient déjà réalisées dans l'ensemble, avec pourtant des valeurs assez différentes, comme le montre un article d'auteurs de Lamont (4).

(3) SCHLOSSER (P.), BOENISCH (G.), RHEIN (M.), BAYER (R.), 1991. Reduction of deep-water formation in the Greenland Sea during the 1980's: evidence from tracer data. *Science*, vol. 251, p. 1054-1056.

(4) WRIGHT (J.D.), MILLER (K.G.), FAIRBANKS (R.G.), 1991. Evolution of modern deepwater circulation: evidence from the Late Miocene Southern Ocean. *Paleoceanography*, vol. 62, p. 275-290.

La confluence des courants du Brésil et des Malouines/-Malouines/Falklands

Voici la rencontre d'un courant chaud et d'un courant froid, analysée par le *Confluence Program* argentin-franco-américain en 1988-1990, la participation française étant celle du *Suroît* d'IFREMER (5). C'est une aire extrêmement dynamique, avec des transports complexes et une confluence indiquée, pour les 1000 mètres supérieurs sur notre figure 1. Les mesures ont été faites au cours de trois saisons caractéristiques (printemps, hiver, été), avec réseaux de stations à 500, 1000, 1500, 3000, 4500 m. L'imagerie satellitaire a été utilisée pour les températures de surface.

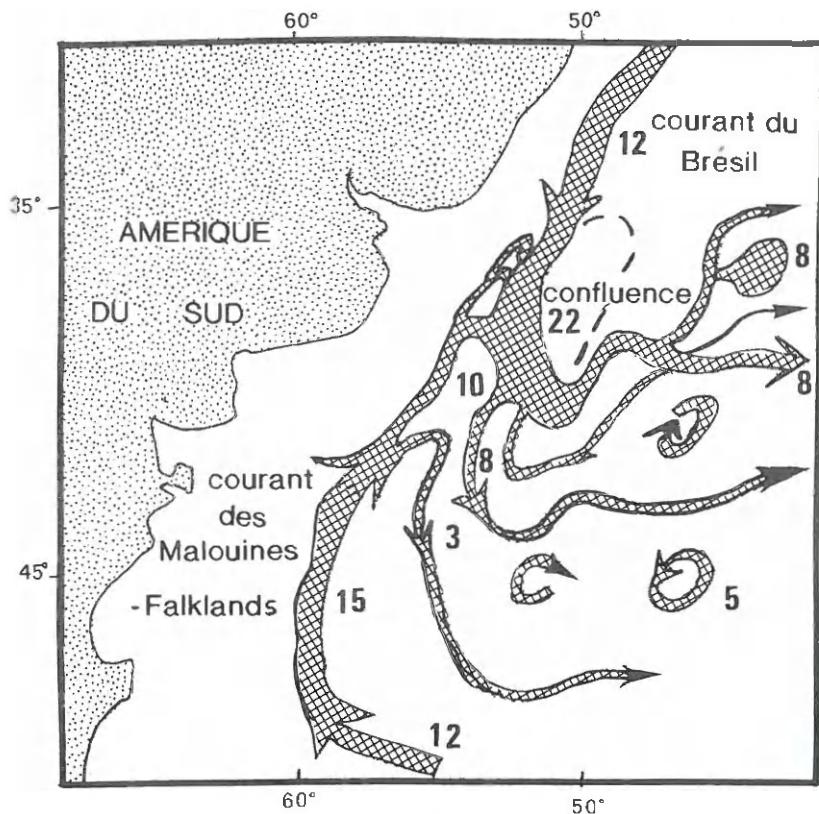


FIG. 1. — *Confluence des courants du Brésil et des Malouines/Falklands.* Transports en sverdrups pour les 1000 mètres supérieurs. Situations «significatives» pour 1988-1990. D'après le *Confluence Program*.

La figure donne des volumes de transport en sverdrups considérés comme moyens pour les 1000 m supérieurs, mais il est évident que les tracés, en particulier les tourbillons fermés, représentent des situations soumises à variations, et, pourraient-

(5) CONFLUENCE 1988-1990, 1990. An intensive study of the Southwestern Atlantic. *Eos* (Am. Geophys. Union), vol. 71, n° 41, p. 1131-1137.

on dire, significatives. Sept types d'eau, non figurés ici, ont été distingués, et leurs cheminements et mélanges retracés. Sans entrer dans les détails, notre but est de donner ici une image d'ensemble, à titre d'exemple de ce que réalise aujourd'hui une équipe océanographique multinationale sur une assez longue durée et avec des moyens performants.

« Tempêtes benthiques » et leurs effets sédimento-morphologiques sur le lit océanique profond

Nous avons analysé en son temps (XXXIII^e chronique, 1986, p. 84-86) la mise à exécution par un groupe américain du programme Hebble (*High Energy Benthic Boundary Layer Experiment*), qui a consisté, en un site localisé vers 40°N-60°W, par des fonds de l'ordre de 4800 m (base du *continental rise*) à l'est de la Nouvelle-Angleterre, à étudier l'évolution actuelle des fonds sédimentaires et de la teneur des eaux sus-jacentes en particules solides, avec enregistrement des vitesses et direction des courants. Des résultats détaillés viennent d'être publiés (6), en confrontation avec des données analogues (encore que moins précises) sur des parties comparables des fonds des océans Atlantique, Indien, Pacifique et Austral, ce qui fournit une perspective nouvelle générale en ce domaine d'océanographie profonde.

Dans l'aire Hebble proprement dite, on a enregistré des événements de mise locale en suspension des sédiments, consistant en écoulements à forte turbidité, survenant après des périodes de calme durant lesquelles les sédiments ont été conditionnés par une forte bioturbation. Il y a eu des événements « advection » au cours desquels provenaient d'amont (fonds moindres) de fines particules en suspension, et des événements d'écoulement (*flow events*) de compétence suffisante pour éroder les fonds. Les phases de mise en suspension ont correspondu à des épisodes évolutifs du courant profond de bordure occidentale de l'Atlantique Nord (*western boundary current*), qui est en principe un contre-courant du Gulf Stream superficiel. En 1985-1986, on a observé six périodes de fort courant vers l'ouest, alternant avec des périodes de courant faible ou fluctuant. Les transports maximaux étaient vers le sud-ouest, l'ouest et le nord-ouest. Les deux principales « tempêtes sédimentaires » (*sediment transport storms*) se sont produites les 20 octobre - 3 novembre et les 13-22 juin 1986. Notre figure 2, qui est une reproduction partielle de figures de Gross et Williams, montre des correspondances entre les vitesses de courant et les teneurs en suspension. Il est aussi arrivé que des courants virent de 180° sans qu'ils atteignent de fortes vitesses, ni qu'il y ait de fortes mises en suspension.

La contribution de Welsh, Hogg et Hendry, qui met en parallèle les événements profonds et la variabilité des cours du Gulf Stream, avec ses méandres d'existence bien connue, montre une cohérence entre les deux ordres de faits, encore que la relation ne soit pas encore parfaitement claire. La contribution de Ezer et Weatherly conclut aussi à une « signature » de la variabilité du Gulf Stream sur les sédiments de fond pour des périodes de plus ou moins 90 jours, qui sont de l'ordre de celles des tourbillons du courant. Gross et Dade montrent la variété des modalités des tempêtes sédimentaires, avec montées de particules en faible concentration se faisant dans les 40 mètres inférieurs. Le maximum de concentration précède le maximum de vitesse. On pourra se reporter aux pages 352-354 de cet article pour trouver des figures très caractéristiques ; et aussi aux pages 377-379 pour de très belles figures en couleurs de Lynch et autres.

(6) NOWELL (A.R.M.) et HOLLISTER (C.D.) éditeurs, et une quinzaine d'autres auteurs, 1991. Deep sediment transport. *Mar. Geol.*, spec. issue, vol. 99, p. 275-460.

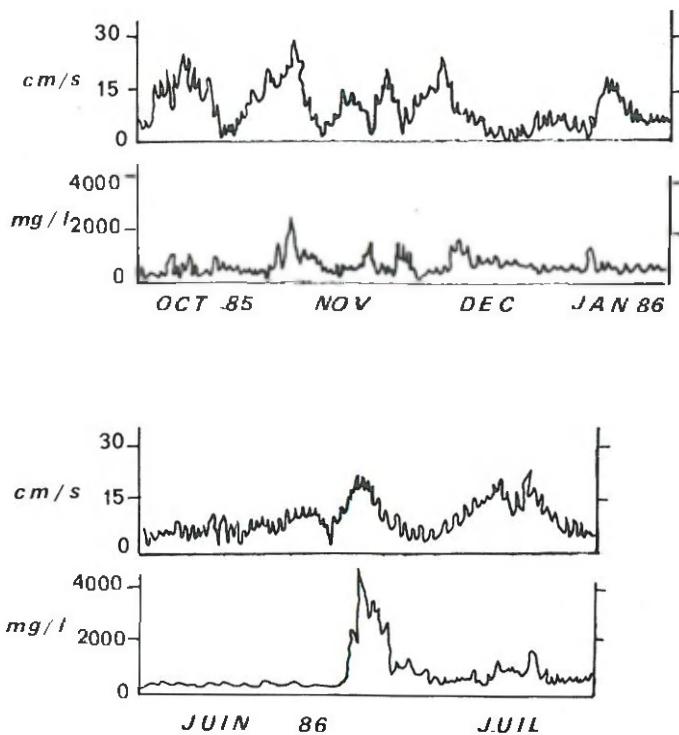


FIG. 2. — Enregistrements de « tempêtes benthiques », par Hebble, 1985-1986, par 4800 m de fond, à l'Est de la Nouvelle Angleterre. Température: 1,70° à 1,75°C. Vitesses de courant en cm/s à 4,9 m au-dessus du fond. Teneurs en suspension en milligrammes/litre à 2,2 m au-dessus du fond. Correspondance générale des deux courbes. D'après T.F. Gross et A.J. Williams III, 1991.

Quant à l'endofaune (article de Thistle et autres), elle présente des caractères anormaux pour la profondeur de 4820 m, certains organismes comme les Polychaetes et les Bivalves étant sur-représentés, alors que d'autres comme les Nématodes sont sous-représentés. Les premiers ne paraissent pas affectés dans leur abondance par les périodes de tempêtes.

Un article final de Hollister et Nowel élargit le problème à l'ensemble des océans aux profondeurs de plus de 3000 m, sur la base de données plus éparses et moins précises, mais tout de même valables (bibliographie de 46 numéros). Notre figure 3 donne un résumé très simplifié des résultats. Les signes 1 et 2 montrent la répartition des photographies de fond indicatrices de phénomènes d'érosion/dépôt: pour 1, ridges longitudinales, sable en nappes, *craigs and tails*; pour 2, barkhanes, ridges dissymétriques, linéations. Ces aires correspondent généralement (signe 3) à celles où les enregistrements SEASAT montrent une variabilité de niveau marin de 8 à 25 cm. Ailleurs, les fonds de plus de 3000 m sans signes 1 et 2 sur la figure, qui sont surmontés d'aires superficielles de plus faible variabilité de niveau, ont une surface unie avec épifaune stable, topographie en monticules, nodules, blocs, sédiments allant jusqu'à l'argile des grands fonds. Les correspondances indiquées sont

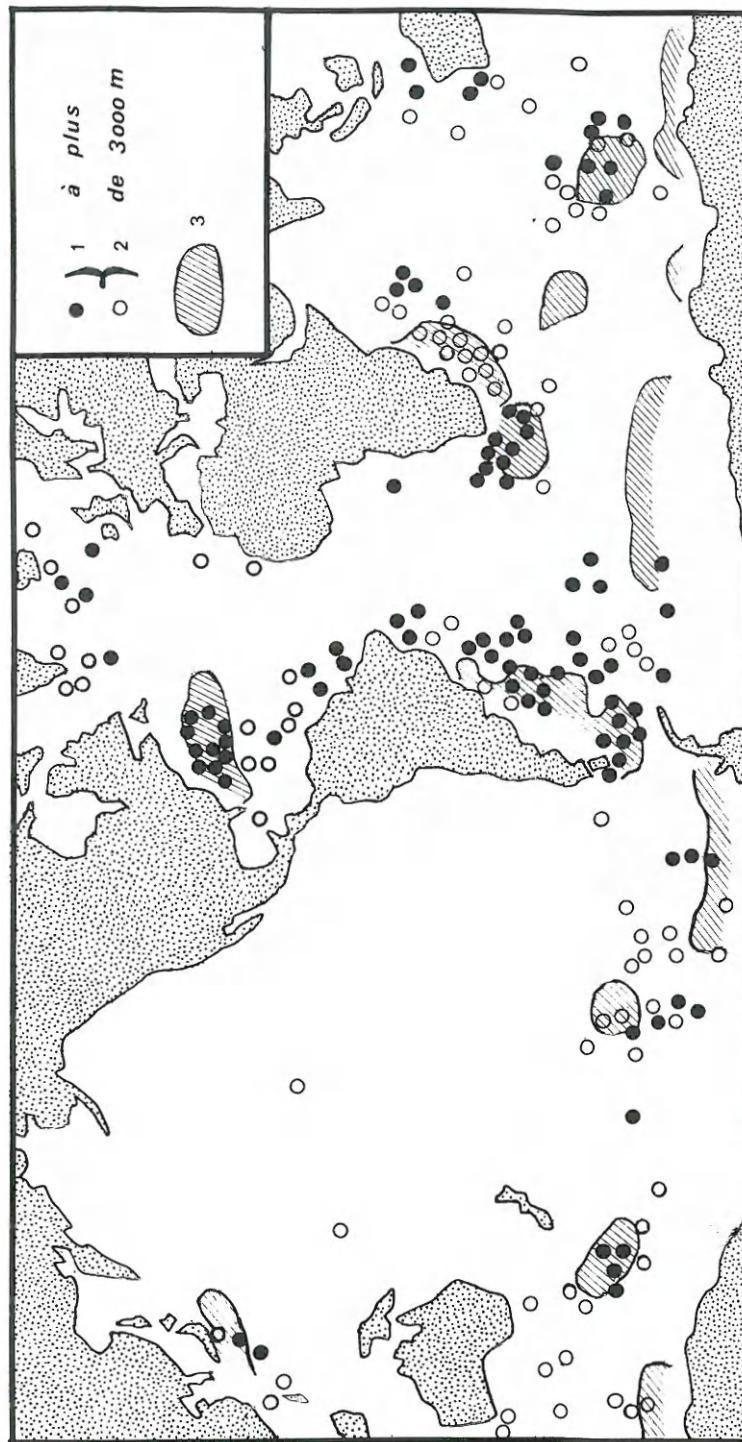


FIG. 3. — *Repartition des types de formes sédimentaires abyssales (plus de 3000 m) et variabilité du niveau marin. D'après C.D. Hollister et A.R.M. Nowell, 1991, synthétisé et très simplifié.*
 1 : ridges longitudinales, sable en nappe, crags and tails. - 2 : barkhanes, ridges dissymétriques, lineations. - 3 : forte variabilité du niveau marin (8 à 25 cm), d'après les données de SEASAT. - Forte correspondance de ces ordres de faits.

assez frappantes. On voit que les fonds surmontés par le courant circumpolaire antarctique, le Gulf Stream, le courant des Aiguilles et son prolongement ouest, et en une moindre mesure le Kuroshio et le courant d'Irminger, sont des aires privilégiées. Il restera à confirmer ces suggestifs résultats, qui jettent une lumière un peu inattendue sur la dynamique marine profonde.

Données essentielles sur la structure profonde de l'archipel d'atolls et faros des Maldives

L'archipel des Maldives, proche de l'équateur dans l'océan Indien oriental, constitué de deux groupes de grands atolls alignés qui se subdivisent en petits croissants principalement périphériques appelés faros (dispositif d'ensemble dans notre *Coral Reef Geomorphology*, p. 162-163), a attiré depuis longtemps l'attention par son plan extraordinaire. Mais son origine ne pouvait jusqu'ici donner lieu qu'à des spéculations, faute de forages et de profils sismiques à travers les récifs. On savait seulement, par des forages hors récifs JOIDES et ODP, que la dorsale nord-sud Chagos-Laquedives qui les supporte est une dorsale balastique paléocène-éocène-oligocène, prolongeant vers le sud les *trapps* (coulées basaltiques) du nord-ouest du Dékan dont l'âge est analogue. La dorsale Chagos-Laquedives et le plateau des Mascareignes ont été considérés comme dérivés du point chaud de La Réunion par dérive de la plaque indienne vers le nord (7). Mais cette interprétation s'accorde mal avec d'autres (voir la référence n° 67 de la présente chronique). On avait appris en 1981, par une courte note de E.G. Purdy, qu'on avait fait un grand forage et de la sismique dans l'archipel, mais on attendait toujours les résultats. Ceux-ci sont enfin accessibles, en une publication qui n'est encore qu'un *preprint* dont Purdy nous a très aimablement donné un exemplaire (8), ce dont nous le remercions chaleureusement au nom des lecteurs de *Norois*. L'essentiel tient dans la colonne du forage NMA1 effectué dans l'atoll de Male (ici, figures 4 et 5), et dans la trentaine de profils sismiques faits à travers une douzaine d'atolls (donc aussi d'autres que ceux contenus dans notre figure 4).

Le forage, qui date de.... 1976, a atteint la base des sédiments à 2100 m et a ensuite pénétré, jusqu'à 2222 m, dans un basalte à olivine rouge et gris qui, par datation $40\text{Ar}/39\text{Ar}$, a un âge de 55 millions d'années, donc Eocène inférieur. La datation totale des sédiments sus-jacents est malheureusement gênée par de grandes lacunes dans les échantillons, visibles sur notre figure 5, mais, comme dit Purdy, mieux vaut quelque chose que rien. Ce qui a été conservé montre une colonne de calcaires partant de sédiments récifaux plio-pléistocènes de 150 à 350 m, continuant par des calcaires pélagiques parfois argileux miocènes et oligocènes de 800 à 1400 m, et se terminant par des dolomies oligo-éocènes jusqu'à la base.

Si l'on compare cette colonne sédimentaire à celle d'Enewetak, la plus épaisse connue sous des atolls du Pacifique (cf. notre *Coral Reef Geomorphology*, p. 69), on voit que celle-ci est beaucoup plus longue, avec 2100 m ici contre 1408 m là-bas. Dans les deux sites, l'âge basal est à peu près le même, éocène inférieur. La dolomitisation des couches inférieures, à partir de l'Oligocène, est un fait habituel

(7) ASHALATHA (B.), SUBRAHMANYAM (C.), SINGH (R.H.), 1991. Origin and compensation of Chagos-Laccadive ridge, Indian Ocean, from admittance analysis of gravity and bathymetry data. *Earth Planet. Sci. Letters*, vol. 105, p. 47-74.

(8) PURDY (E.G.), BERTRAM (G.T.), *preprint non daté (1991). Atoll and carbonate platform development in the Maldives, Indian Ocean*. PetroQuest International and British Petroleum Exploration, Londres et Glasgow, multigraphié, 73 p., 41 figs. et photos hors texte.

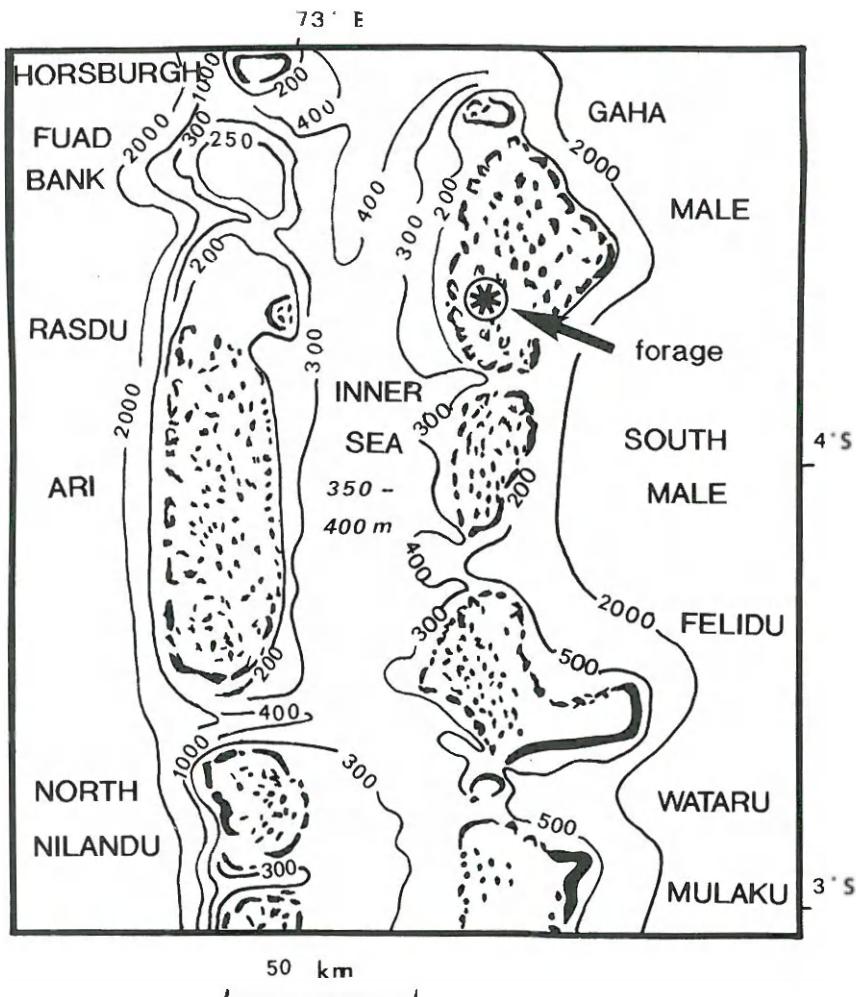


FIG. 4. — Partie centrale de l'archipel de Maldives. Atolls, faros, mer intérieure, isobathes significatifs en mètres, localisation du forage. Redessiné et simplifié d'après Purdy et Bertram, preprint.

dans les atolls, par exemple à Muroroa. Mais, tandis qu'à Enewetak, et aussi en d'autres forages d'atolls du Pacifique, les faciès font conclure à un affaissement ne laissant toujours d'une mince colonne d'eau au-dessus des sédiments, selon le schéma proposé au XIX^e siècle par Darwin, à Male il y a, au début, des faciès d'eau peu profonde à l'Eocène (néritique interne, c'est-à-dire, sans doute, en dedans de récifs); de même à l'Oligocène inférieur; puis, de là jusqu'au Miocène supérieur, les sédiments sont pélagiques et en alternance bathyaux et néritiques, ce qui n'est plus conforme au schéma darwinien, auquel on ne revient qu'au Plio-Pléistocène. Ainsi, et en dépit des incertitudes liées aux pertes d'échantillons entre 400 et 800 m et entre 1500 et 1800 m, on peut présumer que la formation de l'atoll de Male

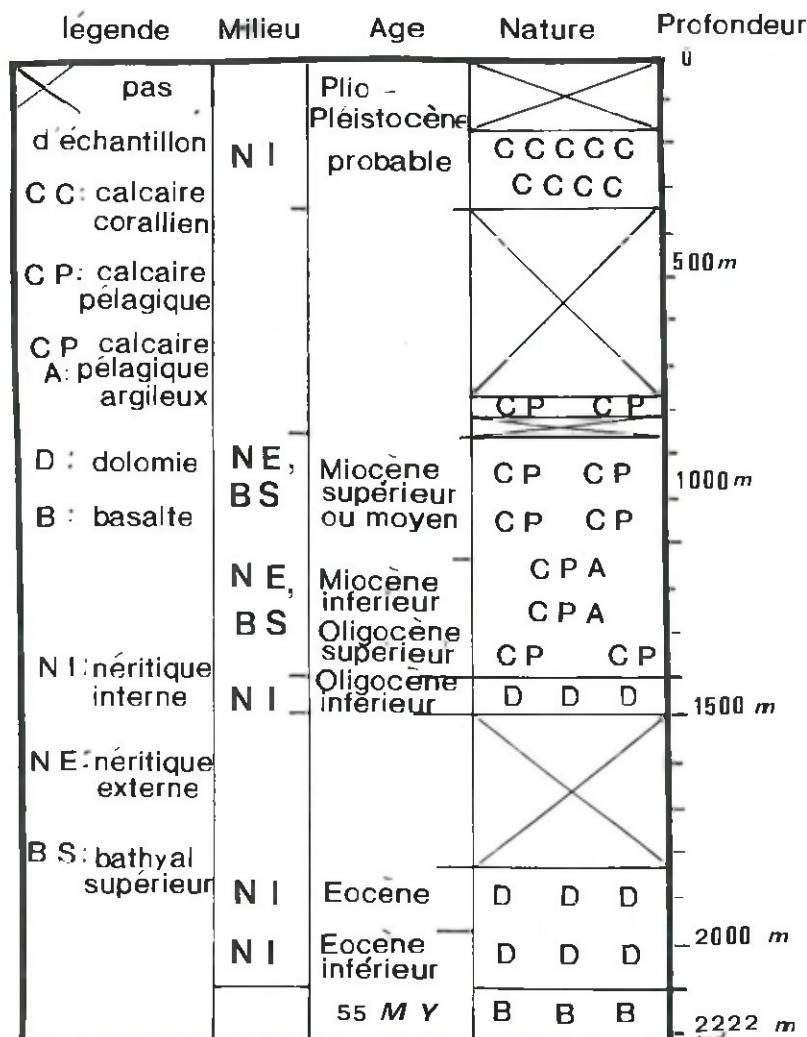


FIG. 5. — Forage de Malé, Maldives. Redessiné d'après Purdy et Bertram, preprint.

n'aurait pas procédé par subsidence régulière. Autrement dit, il y aurait là un autre type d'atoll, même en dehors du dispositif superficiel en faros. Purdy dans ses commentaires suggère que les Maldives auraient été affectées par des événements répétés de grande amplitude verticale.

D'autres enseignements ressortent des multiples profils sismiques. On voit apparaître sur notre figure 4 la petite mer intérieure entre les atolls, profonde seulement de 350 à 400 m. Les profils transversaux montrent des affaissements tectoniques des atolls vers cette mer, ainsi à Ari (figures 16 et 18 de l'ouvrage) et à South Malosmadulu (au nord de notre figure 4, figure 19 de l'ouvrage); à l'ouest de Felidu, la mer intérieure est proprement un graben (figure 11 de l'ouvrage), de

même qu'à l'ouest de South Male (figure 10 de l'ouvrage). A Male, où le forage donne des datations de référence, la figure 9 de l'ouvrage montre que l'atoll a été progradé sur la mer intérieure, surtout au Plio-Pléistocène mais même avant. Il y a là des phénomènes qui ne peuvent pas apparaître dans les atolls du Pacifique, puisqu'ils ne comportent jamais de groupement avec mer intérieure peu profonde, mais sont disposés en lignes à partir de points chauds.

Quant aux faros, Purdy propose d'expliquer leurs lagons par une karstification liée aux oscillations glacio-eustatiques pléistocènes. On retrouve là une interprétation qu'il a antérieurement développée ailleurs, et qu'on peut voir dans notre ouvrage sur les récifs, p. 79. Nous nous contenterons ici d'enregistrer cette proposition, l'apport essentiel de son *preprint*, qui est considérable, aboutissant, pensons-nous, à voir dans les Maldives une structure de caractère et de formation originaux... comme les formes de surface le laissaient présumer, avec pourtant une énorme subsidence globale... comme d'habitude.

Tectonique d'expansion à venues hydrothermales dans le Pacifique du Sud-Ouest (Fidji).

A la suite de nos récents comptes-rendus sur la tectonique océanique profonde et les événements volcaniques hydrothermaux associés (XXXIII^e chronique, 1986, p. 100-102 ; XXXVI^e, 1989, p. 105-107 ; XXXVIII^e, 1991, p. 102-108), nous extrayons, d'une livraison de 315 pages de *Marine Geology* (vol. 98, n° 2-4, juin 1991) consacrée à la géologie, la géophysique et les ressources minérales du Pacifique Sud, les principales données d'articles relatifs à la dorsale d'expansion Ouest-Fidji.

Au préalable, notre figure 6 situe cette dorsale dans l'architecture générale Sud-Ouest Pacifique telle qu'elle est actuellement conçue, d'après six auteurs français et japonais associés et cinq auteurs australiens et américains. De petites îles-clés comme Vanikoro, Matthew et Rotuma servent de points de repère des grands linéaments. Un cas qui n'est pas discuté dans ces articles, et qui nous préoccupe personnellement depuis longtemps, est celui des Samoa, considérées par tout le monde, et encore ici sur notre figure 6, comme faisant partie de la plaque pacifique à dériver vers le nord-ouest, et dont l'échelonnement récifs frangeants-atoll de Rose est « à l'envers » de ce qui est attendu, puisque Rose est à l'est. A revoir par la suite.

Quant à la dorsale d'expansion Ouest-Fidji, notre figure 7, simplifiée d'après la publication de l'équipe franco-japonaise (croisières *Jean Charcot* 1985, *Kaiyo* 1987 et 1988, *Nadir* et son sous-marin *Nautile* 1989) (9), en donne le dispositif général. Celui-ci paraît en somme classique dans cette famille géostructurale océanique : il y a bombement en dôme allongé, avec effondrement axial en graben à failles multiples. Ce graben est accompagné, comme sur l'*East Pacific Rise*, de phénomènes hydrothermaux enregistrés avec précision par le *Nautile* (belles photos en couleurs dans l'article), comprenant des cheminées fossiles dont la principale est baptisée White Lady, et toute une faune vivante abyssale de Gastéropodes, Moules, Crabes, Galathées, Cirripèdes, entretenue par les venues hydrothermales qui atteignent 285°C aux événements principaux (nos lecteurs ont peut-être vu cette faune grouillante à la télévision, là et dans l'Est Pacifique). Non moins intéressante est la triple jonction qui s'inscrit immédiatement au nord du site, et qui fait passer dans l'est à la zone de fracture Nord-Fidji (figure 6).

(9) AUZENDE (J.M.), URABE (T.) et treize autres auteurs de Brest-Ifremer et Brest-Université, Tsukuba, Tokyo, Yokosuka, Paris, Nouméa et Sophia-Antipolis, 1991. In situ geological and geochemical study of an active hydrothermal site on the North Fiji Basin Ridge. *Mar. Geol.*, vol. 98, p. 259-269.

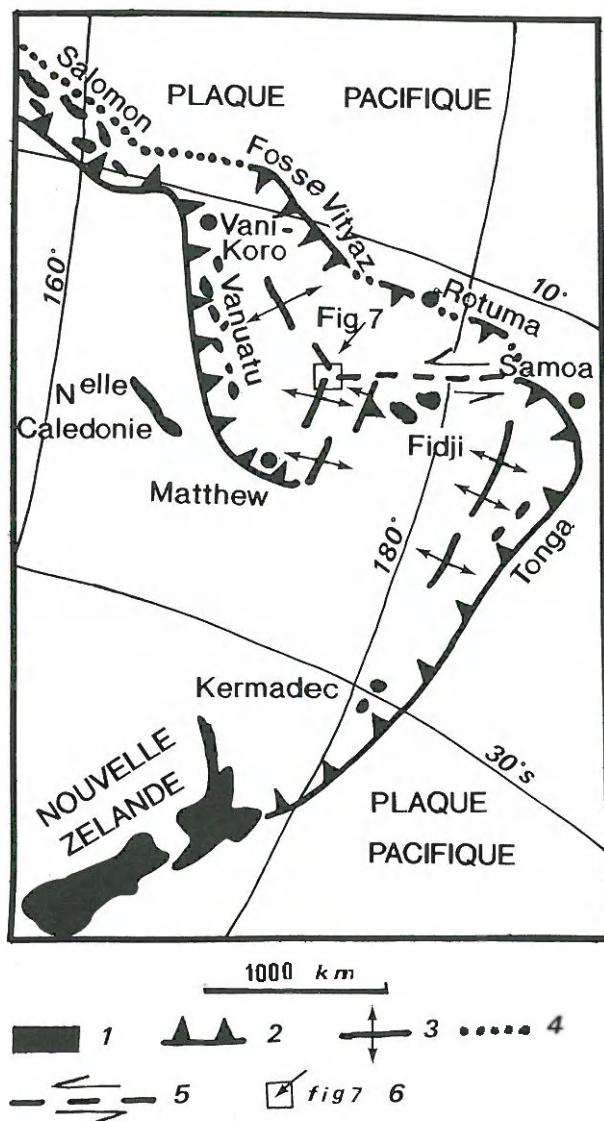


FIG. 6. — Architecture générale du Sud-Ouest Pacifique, d'après auteurs français, japonais, australiens et américains (dans *Marine Geology*, 1991).

1 : terres émergées. - 2 : fosse abyssale avec engouffrement de plaque. - 3 : axe d'expansion. - 4 : ligne de convergence ancienne possible. - 5 : faille transformante. - 6 : emplacement de la figure 7 ci-après.

Bien entendu, l'architecture générale de notre figure 6 est très prometteuse d'autres résultats analogues ou différents dans cette aire immense.

Dans le même volume, on pourra voir, entre autres, de nouvelles précisions sur les points chauds (ou régions de points chauds) de Teahitia et de Macdonald (chaînes de la Société et des Australes) dont nous avons parlé dans la chronique de 1991 (10). Les détails donnés par les chercheurs allemands, néo-zélandais et danois sont intéressants (venues hydrothermales de type différent de celles des dorsales médio-océaniques), mais l'essentiel est une confirmation de ce que nous avons dit en 1991.

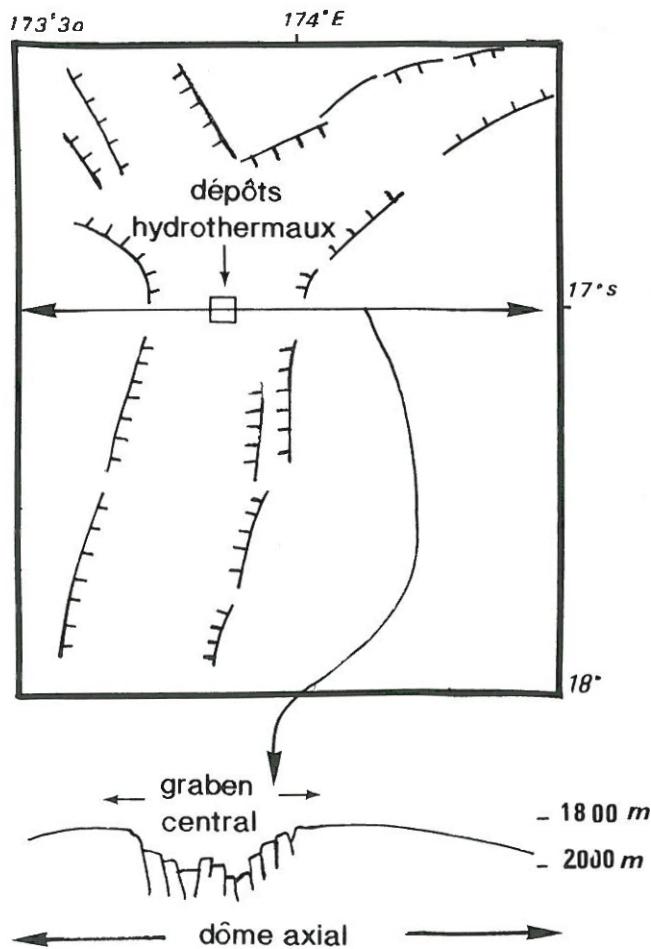


FIG. 7. — Triple jonction localisée sur la figure 6. D'après Auzende et autres, 1991.

(10) PUTEANUS (D.), GLASBY (G.P.), STOFFERS (P.), KUNZENDORF (H.), 1991. Hydrothermal iron-rich deposits form the Teahitia-Mehitia and MacDonald hot spot areas, Southwest Pacific. *Mar. Geol.*, vol. 98, p. 389-409.

Les deltas du Huanghe et la sédimentation dans la Mer Jaune

Ce compte-rendu rajeunit et complète ce qui est dit dans les chroniques XVIII, 1971, p., 161-164; XXXVI, 1989, p. 117-120; XXXVII, 1990, p. 176-177; et XXXVIII, 1991, p. 99. Le nouvel article (11) est de trois auteurs américains de New York, Savannah et Raleigh (Caroline du Nord); il se fonde sur des travaux récents d'auteurs chinois, américains et des deux pays en collaboration, parmi lesquels (très longue bibliographie) il faut mentionner spécialement Milliman. Voir ici la figure 8.

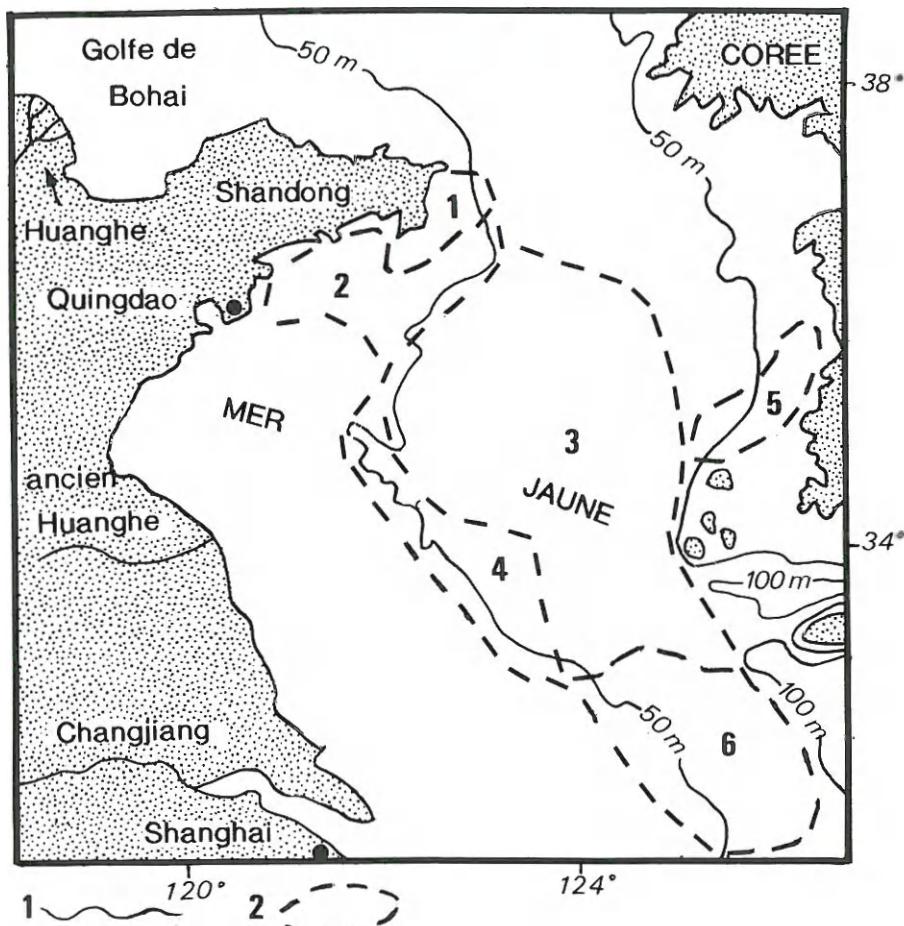


FIG. 8. — Aires d'accumulation sédimentaire dans la Mer Jaune. Simplifié d'après Alexander, DeMaster et Nittrouer, 1991.

1 : isobathes de 50 et 100 m. - 2 : les six aires de sédimentation (1 à 6) caractérisées dans le texte.

(11) ALEXANDER (C.R.), De MASTER (D.J.), NITTROUER (C.A.), 1991. Sediment accumulation in a modern epicontinental-shelf setting: the Yellow Sea. *Mar. Geol.*, vol. 98, p. 51-72.

Les sédiments fins de la Mer Jaune, qui sont essentiellement de la taille des argiles, dérivent des loess apportés par le Huanghe (débit solide récent moyen de 1080 millions de t./an), sauf sur une petite aire au sud-ouest de la Corée où ils sont d'origine surtout coréenne. Ce qui est apporté par le Changjiang (500 millions de t./an, 875 d'après d'autres sources), qui n'est pas du loess, ne se dépose pas en Mer Jaune, mais est transporté vers le sud par le courant côtier dit Jiangsu. On sait que le Huanghe s'est jeté dans le Golfe de Bohai depuis au moins 2278 BC, sauf pendant la période 1128-1855 AD et une autre antérieure plus courte (17% du temps), durant lesquelles il se jetait dans la mer Jaune au sud du Shandong. Depuis 1855, il a construit dans le Golfe de Bohai un delta subaérien de 50 km de long, et sous-marin de 15 km.

Les loess du Huanghe qui ne se déposent pas dans le Golfe de Bohai contournent de près la pointe orientale du Shandong, et forment, au sud de cette péninsule, un delta sous-marin. L'aire 1 de notre figure 8 en occupe les couches sommitales (*topsets*) à dépôt lent (moins de 3 mm/an). L'aire 2 de la figure englobe les couches frontales et de fond (*foreset*, *bottomsets*) du delta subaquatique : c'est l'aire de dépôt essentiel, avec des taux de 8,6 à 3/4 mm/an selon les carottages. Dans l'aire 4, il y a aussi une forte sédimentation (4,2 à 6,9 mm/an), qui provient du remaniement des apports du Huanghe d'avant 1855, quand il se jetait dans la mer Jaune. Dans l'aire 3, les dépôts, issus aussi du Huanghe, ne sont que de 0,4 à 1/9 mm/an (une quinzaine de carottes) ; ils augmentent un peu dans l'aire 6 (1,1 à 3,1), où ils forment la pointe extrême sud des *bottomsets*. Cette aire 6 correspond, comme emplacement et interprétation génétique, à l'aire 5 de la figure 3, p. 118, de notre compte-rendu de 1989. Dans l'aire 5, allogène, les dépôts sont maximaux (18,4 mm/an), mais c'est une aire très peu étendue.

Essentiellement, ces données font voir un delta sous-marin très curieusement situé par rapport à l'embouchure subaérienne, cela du fait de la localisation du Shandong ; et en juxtaposition-superposition à un autre delta sous-marin remaniant celui du Huanghe d'avant 1855. C'est un dispositif totalement différent d'autres méga-fleuves comme le Mississippi, l'Amazone, le Gange, l'Indus, dont les immenses cônes sous-marins profonds (cf. plusieurs de nos chroniques) sont impossibles ici de par la faible profondeur de la mer Jaune.

Le « Florida Escarpment » (Golfe du Mexique)

Cet escarpement sous-marin (12), qui sépare les fonds de moins de 2000 m à l'ouest de la Floride de ceux de plus de 3200 m constituant le cône sous-marin du Mississippi, qui a été levé au *Gloria*, constitue un relief exceptionnellement abrupt, avec une pente moyenne de 45° entre 2000 et plus de 3200 m. L'escarpement est composé de terrasses étagées dont la principale se traduit topographiquement à 2500 m ; ces terrasses se suivent avec continuité le long du relief et ne sont donc pas locales. Le front du relief est entaillé par deux canyons semi-circulaires, larges de 2 km, à parois aussi et plus abruptes que le front de l'escarpement. La base du relief est en cours d'enterrement par le cône sous-marin du Mississippi, avec contact très abrupt sur lequel se produisent des éboulements de grands blocs, du fait du déséquilibre par excès de pente.

Des mesures de courants d'une durée d'une semaine ont donné des vitesses de 2

(12) PAULL (C.K.), TWICHELL (D.C.), SPIESS (F.N.), CURRAY (J.R.), 1991. Morphological development of the Florida Escarpment : observations on the generation of time transgressive unconformities in carbonate terrains. *Mar. Geol.*, vol. 101, p. 181-201.

à 7 cm/s, mais des courants beaucoup plus rapides sont évidemment possibles. Quatre navires de recherche américains et trois laboratoires (Woods Hole, Scripps, Caroline du Nord) ont été impliqués dans ces investigations, qui concernent un des reliefs sous-marins profonds les plus escarpés (peut-être le plus escarpé) du monde.

Les techniques gestionnaires du littoral aux Pays-Bas

Certes, on s'occupe un peu partout, en Europe, en Amérique du Nord et ailleurs, de gérer (ou d'aménager, ou de déménager) le littoral. Mais la gestion ne revêt nulle part un caractère aussi rationnel et systématique qu'aux Pays-Bas, Etat de petite taille il est vrai, où le littoral comprend trois secteurs : la côte à îles des Wadden en Frise Occidentale ; la côte sableuse de Hollande entre Den Helder et Hoek van Holland ; et le « Delta » (du Rhin et de la Meuse).

Le mode de gestion vient d'être défini en détail dans le secteur central, hollandais (13). Il s'agit d'un secteur où se succèdent d'ouest en est un estran sableux, une plage, des dunes et des polders. La gestion doit s'adapter au type morphologique, et depuis 1963 on y procède systématiquement et régulièrement, sous la direction du Rijkswaterstaat, à des mesures comprenant des profils transversaux annuels serrés et courts (1000 m) et des profils quinquennaux moins serrés et plus longs (2500 à 3000 m). Les levés sont localisés sur des lignes jalonnées par 118 piquets, un tous les kilomètres. Les résultats sont stockés sur ordinateur. La photogrammétrie est utilisée depuis 1976, et la partie sous-marine des profils, jusqu'à 2000 m en dehors du déferlement, c'est-à-dire 11 à 16 m en-dessous du niveau moyen, est obtenue par échosondeur, avec correction de marée. Les changements quantitatifs de volume de sable sont déduits. Une lacune est pourtant que les dunes en arrière de la dune bordière n'ont pas été incluses dans le travail entre 1963 et 1976 ; mais elles l'ont été ensuite.

Pour l'ensemble du secteur, ces changements sont généralement faibles, ce qui rend encore plus respectable l'effort consacré à l'opération. Le volume de sable est resté constant (entrées et sorties équivalentes), avec, pour la période 1963-1986, une élévation relative du niveau marin d'environ 5 cm. La constance du volume a été obtenue grâce à un apport de sable de 10 m³/m/an à travers l'isobathe de 10 m, ce qui signifie que sans cet apport de sable sous-marin la côte aurait été de type érosif. Transversalement, il y a (petite) érosion dans la zone des brisants, et (petite) accréption sur la haute plage et dans les avant-dunes (*foredunes*). Longitudinalement, il y a érosion sur les deux tiers des 118 kms de côtes (23 m³/m/an), et accréption sur l'autre tiers (49 m³/m/an), ce dernier tiers étant situé dans la partie centrale. L'article discute les modalités des variabilités longitudinale et interannuelle, cette dernière étant conditionnée, bien entendu, par les tempêtes.

Voilà des résultats qui laissent rêveur le géomorphologue français, non pas tant par leur précision que par leur couverture spatiale et leur extension temporelle sans faille.

Un article associé au précédent (14) envisage l'avenir et concerne plus spécialement

(13) De RUIJG (J.H.M.), LOUISSÉ (C.J.), 1991. Sand budget trends and changes along the Holland coast. *J. Coastal Res.*, vol. 7, p. 1013-1026.

(14) LOUISSÉ (C.J.), Van der MEULEN (F.), 1991. Future coastal defence in the Netherlands : strategies for protection and sustainable development. *J. Coastal Res.*, vol. 7, p. 1027-1041.

les dunes en arrière du trait de côte, qui protègent, comme on sait, des polders situés en-dessous du niveau de la mer, et qui ont une largeur allant jusqu'à 3500 m. Elles sont considérées aussi du point de vue de leur réserve en eau potable et de celui de la conservation de la nature, ce dernier aspect bénéficiant d'une considération tout à fait fondamentale aux Pays-Bas, comme on a pu le constater au colloque international de Galway, Irlande, en juin 1991, par la masse impressionnante de communications néerlandaises en ce sens. On envisage les scénarios possibles en fonction des différentes prévisions quantitatives de montée du niveau de la mer au XXI^e siècle. Conservation de la nature et défense côtière sont deux notions présentées comme inséparables.

Cela, du moins pour le secteur du nord du Delta Rhin-Meuse, car on sait que ce dernier a été artificialisé à la suite de la catastrophe de l'onde de tempête de 1953, par barrage du Haringvliet (1970) et du Grevelingen (1971), et barrage partiel de l'Oosterschelde (1986), avec cependant ouverture de ce dernier respectée, pour raisons écologiques, en dehors des périodes de tempêtes ; seul le Westerschelde reste complètement ouvert puisque c'est l'accès du port d'Anvers. Mais là aussi les processus hydrodynamiques nouveaux sont analysés très en détail (15). Il y a érosion résultante des petits fonds en avant des îles du delta, et sédimentation dans les chenaux de marée reliques. Le Rijkswaterstaat poursuit activement les études de processus. Les modifications évolutives initiales sont en cours de diminution d'intensité, mais l'avenir proche reste incertain.

L'érosion littorale en Mer de Beaufort (suite)

Un compte-rendu précédent (XXXVII^e chronique, 1990, p. 179-180) a concerné ces rivages de l'Arctique canadien, dont le recul actuel a été attribué à une montée actuelle du niveau marin, à l'effondrement estival de blocs à coins de glace, et au labourage par glaces de dérive. Un nouvel article, d'Arnaud Héquette et Marie-Hélène Ruz (16), de l'Université Laval à Québec, sans contester ces facteurs, insiste sur d'autres processus dans un recul qui atteint 3,1 m/an de report vers le continent dans les îles-barrières d'avant-côte, et 1,7 m/an dans les sites moins avancés. Une cause essentielle invoquée est le manque de fourniture de sédiments, plus grand dans les îles que sur le continent, où la présence de dunes côtières et de falaises voisines est une source de matériaux ; en outre, les îles-barrières sont plus efficacement affectées par les *overwashes* de tempête. Les figures et photos présentées sont très démonstratives.

Evolution récente des deux deltas du Golfe d'Ambracie (Grèce du Nord-Ouest)

Un article bref, mais substantiel (17) donne une vue précise de l'évolution de ces deux deltas depuis l'Antiquité classique, en la résitant dans leur édification d'ensemble au cours de l'Holocène. Une carte détaillée, appuyée sur photos aériennes,

(15) LOUTERS (T.), MULDER (J.P.M.), POSTMA (R.), HALLIE (F.P.), 1991. Changes in coastal morphological processes due to the closure of tidal inlets in the SW Netherlands. *J. Coastal Res.*, vol. 7, p. 635-652.

(16) HÉQUETTE (A.), Ruz (M.H.), 1991. Spit and barrier island migration in the Southeastern Canadian Beaufort Sea. *J. Coastal Res.*, vol. 7, p. 677-698.

(17) DOUKELIS (P.), FOUCHE (E.), 1991. L'évolution géomorphologique des deltas de l'Arachthos et du Louros. *Physio-Géo.*, n° 22-23, p. 73-80.

montre l'alluvionnement considérable survenu depuis les données tirées de Polybe et de Strabon. Les cours antiques de l'Arachtos et du Louros sont reconstitués, présentant des différences essentielles avec les cours actuels. On a restitué aussi les centuriations romaines qui avaient couvert la plaine deltaïque commune. Pour l'Arachtos, le plus puissant des deux, avec débit solide abondant du fait des vastes affleurements de flysch dans son bassin, on a pu figurer avec précision les cours du XVIII^e siècle et de 1920-1934, de sorte que la dynamique des embouchures ressort bien. Il apparaît que, logiquement, le delta de l'Arachtos est en cours de progradation plus dynamique, encore que celui du Louros ne puisse pas être qualifié de décadent (nourrissement de flèches enserrant des lagunes littorales).

Cette étude appelle l'attention sur le besoin urgent qu'on a de données sur l'évolution récente des deltas méditerranéens (et autres), afin d'évaluer les impacts des barrages d'amont sur l'évolution (c'est-à-dire l'érosion) des constructions sédimentaires terminales. On a déjà, certes, de telles données pour des fleuves comme l'Ebre, le Rhône et le Nil, mais sur les fleuves de Grèce elles sont et seront les bienvenues. Sur l'Acheloos et l'Evinos, on vient d'en avoir indirectement quelques unes par un article détaillé (18) sur l'abondante sédimentation sous-marine dans le Golfe de Patras où ces fleuves se jettent. Il y est dit (p. 208) que l'Acheloos fournit six fois plus de sédiments que toutes les autres rivières réunies débouchant dans ce golfe, ce qui rend encore plus urgente une étude précise et accessible de l'évolution de son delta subaérien.

Nouvelles investigations sur les dépôts anoxiques (sans oxygène) des fonds méditerranéens, et conclusions paléogéographiques à en tirer

Nous avons relaté dans la XXXV^e chronique (1988), p. 112-114, les résultats principaux des recherches de Maria Bianca Cita et ses associés sur les saumures des dépressions fermées profondes Tyro et Bannock, au sud de la Crète et au nord de la Cyrénaique, avec leurs eaux à extraordinaires taux de sel comparables à ceux de la Mer Morte, et dérivant du sel messinien sous-jacent. De nouveaux travaux à la mer du même groupe international (italien, néerlandais, suisse, français, allemand, suédois, américain) ouvrent d'autres perspectives par une série de treize articles parus dans le centième volume de *Marine Geology* (19). Nous retenons ici deux de ces articles particulièrement susceptibles d'intéresser les géographes (ce qui ne veut pas dire que les autres ne le soient pas du tout).

Le premier, dû à R. Cheddadi, M. Rossignol-Strick et M. Fontugne (Montpellier et Gif-sur-Yvette, p. 53-66), interprète les données des pollens et des analyses isotopiques d'un forage dans la fosse anoxique de Bannock, sur la base des datations au radiocarbone. Les paléoclimats corrélatifs sont restitués de 25700 à 5200 BP. Le maximum glaciaire est daté de 18000 BP, avec de forts pourcentage de pollens d'*Artemisia* et bas pourcentages de *Quercus*, ce qui est une bonne confirmation de conclusions obtenues ailleurs par d'autres méthodes. Le climat était froid et aride, avec un bref été. La déglaciation subséquente coïncide avec le déclin d'*Artemisia*,

(18) CHRONIS (G.), PIPER (D.J.W.), ANAGNOSTOU (C.), 1991. Late Quaternary evolution of the Gulf of Patras, Greece: tectonism, deltaic sedimentation and sea-level change. *Mar. Geol.*, vol. 97, p. 191-209.

(19) CITA (M.B.), De LANGE (G.J.), OLAUSSON (E.), 1991. Anoxic basins and sapropel deposition in the Eastern Mediterranean: past and present. *Mar. Geol.*, vol. 100, p. 1-182 (13 articles).

mais l'aridité persiste et même s'accroît (herbes de type encore plus sec, comme *Ephedra*), s'atténue à 13-11000 BP (Bölling-Alleröd). Ensuite, le Chêne se développe rapidement, avec maximum en 8760 (forte humidité, étés chauds, hivers doux). De là à 5200, le Chêne décroît, et des sapropels apparaissent, indiquant une mauvaise ventilation attribuée à une diminution des apports d'eau atlantique, un accroissement des écoulements fluviatiles locaux (méditerranéens), et des hivers doux.

Des conclusions du même ordre que les précédentes apparaissent dans un article de K.C. Emein, A. Camerlenghi, J.A. McKenzie, D. Rio et R. Sprovieri (Kiel, Milan, Zürich, Padoue, Palerme : p. 155-182), qui porte, par exception, sur sept forages ODP en Mer Tyrrhénienne et non plus sur les fosses Tyro et Bannock. On y observe, en des fonds de 2000 à plus de 3000 m, l'apparition de conditions anoxiques en des sites qui ne sont pas, cette fois, des dépressions fermées étroites et caractérisées ; ces conditions sont recensées sur une période beaucoup plus longue, débutant au Pliocène supérieur. Il y a formation de sapropels indicatifs de mauvaise ventilation profonde, d'une part au Pléistocène inférieur jusqu'à la base de l'événement Jaramillo, et d'autre part de 0,73 à 0,26 Ma (Pléistocène moyen à supérieur), alors qu'il y a ventilation pendant les autres périodes. Ces faits sont interprétés comme résultant de circulations hydrologiques méditerranéennes de types opposés : la ventilation profonde est bonne lorsque, comme aujourd'hui, il y a forte évaporation superficie, d'où concentration saline des eaux de surface supérieure à celle de l'océan, et cascading des eaux de surface oxygénées vers les profondeurs lors des tempêtes hivernales froides de mistral et de bora (cf. les articles classiques de Lacombe et ses associés) ; inversement, il y a stagnation, non-oxygénation et sapropélisation pélagique quand les apports fluviatiles sont considérables, entretenant en Méditerranée des eaux superficielles trop légères pour s'enfoncer en hiver.

Il est inutile d'insister sur le caractère pluridisciplinaire, c'est-à-dire géographique, de ces observations et interprétations.

Données paléoclimatologiques tirées de sédiments de l'Océan Austral

Deux forages ODP effectués à 2080 et 2914 m sur le haut-fond Maud (océan Austral, 65°S - 2°E) ont fourni des sédiments d'âge Eocène moyen à Oligocène supérieur qui ont été interprétés par une géologue allemande (20). Il s'agit d'une période-clé en paléocéanographie globale et particulièrement antarctique, du point de vue de l'évolution des températures et de ses conséquences sur les mers et sur les terres.

A l'Eocène moyen (50-40 Ma), la sédimentation sous-marine sur le haut-fond Maud est purement carbonatée, donc sans indication de basses températures. Par contre, à l'Eocène supérieur (40-36 Ma), apparaissent des Radiolaires et quelques Diatomées pendant trois épisodes distincts, dépôts indicatifs de refroidissement, d'*upwelling* accru et de circulation atmosphérique vigoureuse, les fossiles carbonatés étant alors fortement dissous. Cette dissolution s'accroît à l'Oligocène, et la vitesse des courants augmente sur le flanc du haut-fond, à en juger par l'accroissement de taille des fossiles. On estime que l'eau antarctique de fond (AABW), à fort pouvoir dissolvant des carbonates, commence à se former à l'Oligocène inférieur. Cependant, on n'a pas trouvé de débris issus de glaces flottantes (*ice-raftered debris*), et les

(20) DIESTER-HAAS (L.), 1991. Eocene/Oligocene paleoceanography in the Antarctic Ocean, Atlantic sector (Maud Rise, ODP Leg 113, Site 689 B and 690 B). *Mar. Geol.*, vol. 100, p. 249-276.

quelques grains de quartz peuvent avoir été fournis par le vent ou les courants aussi bien que par les glaces.

Ainsi, ces forages n'apportent pas la preuve d'un inlandsis sur le continent antarctique au début de l'Oligocène, mais celle d'un refroidissement bien marqué qui était déjà apparu épisodiquement à l'Eocène supérieur. On sait par ailleurs (travaux cités dans l'article) que le continent antarctique avait un climat chaud et humide à l'Eocène moyen. Les étapes de l'évolution paléoclimatique vers l'engagement peuvent donc être jalonnées. Pour comparaison avec le vestibule arctique (Mer de Norvège-Groenland), voir la XXXIV^e chronique, 1987, p. 434, et le compte-rendu ci-après, troisième paragraphe.

Enseignements paléogéographiques relatifs à l'Atlantique Nord et à son vestibule arctique

De dix communications à un symposium tenu à Strasbourg en 1989, dont les auteurs sont scandinaves et allemands (21), nous extrayons les données suivantes.

La structure du vestibule arctique est d'une complexité extrêmement grande. Il serait enfantin d'y voir des ensembles homogènes de part et d'autre de la dorsale médiocéanique. Sur la seule plate-forme de Barents, entre la Norvège et le Svalbard (Richardsen, Henriksen, Vorren, Knutsen, de Tromsö), il y a une quinzaine d'unités morpho-structurales, avec plusieurs intrusions salines dans le sud. Nos lecteurs pourront en avoir une idée par les figures des pages 32 et 33 du volume. Dans l'ensemble, il y a épaississement vers l'ouest, mais avec un système de failles à réactivation et sédimentation irrégularisée. A l'ouest de Trondheim (six auteurs de Bergen), c'est un peu plus simple, mais un peu seulement, avec des pendages très forts du Mésozoïque et du Paléocène, moins forts du Pliocène, et un épais Pléistocène en grande discordance par-dessus (figure page 127). Sur ce vestibule arctique, voir aussi dans la présente chronique la référence n° 73 à un article germano-coréen.

Dans l'Atlantique Nord, c'est-à-dire au sud des mers du vestibule arctique, il y a, d'après Wolf et Thiede (Kiel) exploitant des forages ODP et DSDP, une sédimentation à éléments terrigènes grossiers transportés par des glaces flottantes (*icerafted*) à trois reprises entre 5,7 à 3,2 Ma BP, indiquant dès ces époques une dégradation vers le froid du climat périphérique. On sait par ailleurs qu'il y a eu une large glaciation islandaise vers 3,1 Ma BP. Ce refroidissement d'âge cénozoïque pourrait être lié, d'après lesdits auteurs, à la fermeture de l'isthme de Panama, bouleversant la circulation océanique.

Dans le nord de la mer du Nord vers 56-58° N (devant l'Ecosse), d'après Sejrup, Aarseth et Haflidason (Bergen), le dernier million d'années se marque par une sédimentation hachée de profonds sillons d'érosion (sillons bien plus nombreux que ceux reconnus antérieurement). La glaciation la plus ancienne de ce secteur daterait de 850 000 BP ; la plus étendue, d'entre 200 000 et 450 000. Les inlandsis britannique et scandinave sont probablement restés séparés pendant le maximum weichsélien.

(21) VORREN (T.O.), SEJRUP (H.), THIEDE (J.), editors, 1991. Cenozoic geology of the NorthWest European continental margin and adjacent deep-sea areas. *Mar. Geol.*, vol. 101, p. 1-159.

INFORMATIONS ET NOTES BIBLIOGRAPHIQUES

Informations

Pour le cinquième centenaire du premier *voyage* de Christophe Colomb, se tiendra les 22-26 juin 1992 à Gênes, sa ville natale, un congrès international sur le thème: *Ocean management in global change*. 34 exposés en anglais par des spécialistes sont prévus. Ils seront publiés dans un volume édité par Elsevier.

Le 7^e Congrès international sur les récifs coralliens se tiendra à Guam, également les 22-26 juin 1992.

Le 27^e Congrès de l'Union Géographique Internationale, réuni à Washington du 10 au 14 août 1992, évoquera largement lui aussi Colomb. Ses deux commissions qui concernent la mer (environnement côtier, géographie de la mer) seront soumises à renouvellement.

Un symposium sur la géomorphologie côtière, l'élévation du niveau marin, la dérive littorale, les intrusions d'eau salée et autres problèmes du milieu côtier, aura lieu à Hilton Head Island, Caroline du Sud, en juin 1993.

A l'occasion de la seconde conférence internationale de géomorphologie, Francfort, 1989, une revue des questions littorales à l'ordre du jour a été faite (22).

Tertiaire, Pléistocène, Holocène

Un escalier en gradins de récifs frangeants, du type de celui, fameux, de la presqu'île Huon en Nouvelle-Guinée, est caractérisé à l'île Sumba en Indonésie. Hauteur: 475 m; soulèvement: 0,5 mm/an. Intérêt exceptionnel, bien sûr (23).

Sur la côte du Natal aux environs de Durban, on reconnaît, comme conséquences de niveaux marins du Pléistocène supérieur à + 5 + 6 mètres, huit faciès de dépôts allant de la zone du surf à la dune bordière par la zone des brisants et le cordon de blocs. Le tout est cimenté par précipitation de carbonates qui scelle les discordances. Excellent illustrations et gros support bibliographique résistant les faits (24).

En se fondant sur leur expérience antarctique, Anderson et Thomas estiment que des désagrégations rapides et répétées des barrières (*ice sheets*) peuvent rendre compte de courbes oscillantes du niveau marin au Pléistocène supérieur et à l'Holocène. Ceci est une des contributions au numéro spécial de cette revue, intitulé: *the record of sea-level fluctuations* (25).

(22) PASKOFF (R.), KELLETAT (D.), 1991. Introduction: review of coastal problems. *Zeitsch. Geomorph.*, Suppl. Bd. 81, p. 1-13.

(23) PIRAZZOLI (P.A.) et six autres auteurs, 1991. Quaternary raised coral terraces on Sumba Island, Indonesia. *Science*, vol. 252, p. 1834-1836.

(24) COOPER (J.A.G.), FLORES (R.M.), 1991. Shoreline deposits and diagenesis resulting from two Later Pleistocene highstands near + 5 and + 6 metres, Durban, South Africa. *Mar. Geol.*, vol. 97, p. 325-343.

(25) ANDERSON (J.B.), THOMAS (M.A.), 1991. Marine ice-sheet decoupling as a mechanism for rapid, episodic sea-level change: the record of such events and their influence on sedimentation. *Sedimentary Geol.*, vol. 70, p. 87-104.

Sur les côtes de Chine, on distingue, selon les milieux climatiques et les conditions tectoniques, quatre types de cordons ayant barré des lagunes pendant la transgression holocène (26).

Un article d'ensemble sur les îles de la Société précise, sans la bouleverser, la géochronologie et la genèse des volcans et récifs de l'archipel (27).

On décrit, sur la côte nord de l'Islande, de très beaux deltas fossiles formés lors d'un niveau marin à -40 m après la glaciation fini-weichsélienne. Etude faite au boomer. Une composante isostatique régionale est nécessaire pour comprendre leur niveau altimétrique (28).

Une submersion de ruines romaines dans le Golfe de Gabès, différente selon les sites, est due à une subsidence inégale, qui se poursuit (29).

Une revue très détaillée est faite, avec carte, de l'évolution holocène de la côte allemande en Poméranie Occidentale (30).

Morphologie et sédimentologie littorales

En méthodologie littorale contemporaine, voici un exemple typique de traitement à l'ordinateur, à Baton Rouge, de 259 crêtes de sable et de la répartition de 309 passes (*inlets*), avec conclusions génétiques (31).

Un géomorphologue néo-zélandais très autorisé conclut, après discussion, que la règle de Bruun (érosion littorale liée à transgression) est certainement un outil de valeur, mais qu'elle se heurte à diverses difficultés d'application (32).

Un important article méthodologique montre les nombreuses précautions à prendre pour éviter les erreurs dans la détermination des reculs et progradations temporels des rivages. A lire soigneusement (33).

Le sujet bien souvent abordé des barres d'avant-côte, leur dynamique, leur évolution, est à nouveau traité avec mesures afférentes (auteur danois) (34).

(26) CONGXIANG (L.), PING (W.), 1991. Stratigraphy of the Late Quaternary barrier-lagoon depositional systems along the coast of China. *Sedimentary Geol.*, vol. 72, p. 189-200.

(27) DIRAISON (C.), BELLON (H.), LEOTOT (C.), BROUSSE (R.), BARSCZUS (H.G.), 1991. L'alignement de la Société (Polynésie Française): volcanologie, géochronologie, proposition d'un modèle de point chaud. *Bull. Soc. Géol. Fr.*, vol. 162, p. 479-496.

(28) THORS (K.), BOULTON (G.S.), 1991. Deltas, spits and littoral terraces associated with rising sea level: Late Quaternary examples from Northern Iceland. *Mar. Geol.*, vol. 98, p. 99-112.

(29) PASKOFF (R.), OUESLATI (A.), 1991. Modifications of coastal conditions in the Gulf of Gabes, Southern Tunisia, since Classical Antiquity. *Zeitsch. Geomorph.*, Suppl. Bd. 81, p. 149-162.

(30) KLIEWE (H.), JANKE (W.), 1991. Holozäner Küstenausgleich im Südlichen Ostseegebiet bei besonderer Berücksichtigung des Boddenausgleichsküste Vorpommerns. *Peterm. Mitteil.*, vol. 135, p. 1-15.

(31) McBRIDE (R.A.), MOSLOW (T.F.), 1991. Origin, evolution and distribution of shoreface sand ridges. Atlantic inner shelf, USA. *Mar. Geol.*, vol. 97, p. 57-85.

(32) HEALY (T.), 1991. Coastal erosion and sea level rise. *Zeitsch. Geomorph.*, Suppl. Bd. 81, p. 15-19.

(33) DOLAN (R.), FENSTER (M.S.), HOLME (S.J.), 1991. Temporal analysis of shoreline recession and accretion. *J. Coastal Res.*, vol. 7, p. 723-744.

(34) AAGARD (T.), 1991. Multiple-bar morphodynamics and its relation to low-frequency edge waves. *J. Coastal Res.*, vol. 7, p. 801-813.

Il existe depuis 1968 une banque de données littorales (vagues, courants, mouvements de sable) pour 350 sites des Etats-Unis. Elle est en cours de perfectionnement. Dans ces conditions, les études de suivi littoral sont évidemment très facilitées (35).

Un groupe d'Irlande du Nord et de Nouvelle-Ecosse attire l'attention sur le processus d'*overstepping* (cordon littoral grossier migrant sur fond sableux ou rocheux au cours d'une transgression, et laissant derrière lui une relique-témoin de ses matériaux): processus qui demande une continuité d'apports de sédiments grossiers. Intérêt pour les interprétations sédimentaires (36).

Les règles d'identification de la mangrove à *Avicennia* sur images vidéo-infrarouge sont définies (37).

Un excellent exemple (après d'autres) d'utilisation d'imagerie satellitaire répétitive pour le suivi de l'évolution littorale est donné pour le delta du Nil (38).

Le déploiement d'un matériel sophistiqué est caractéristique d'une étude de l'action éolienne sur un complexe plage-dune bordière dans la baie de Monterey, Californie. Un exemple de technologie littorale contemporaine (39).

Le sens et les modalités de transport des sédiments dans le canal de Bristol, déjà controversés antérieurement (XXXVII^e chronique, 1990, références 57 et 58 p. 196), continuent d'être discutés, avec extension à d'autres sites sur le pourtour de la Grande-Bretagne. Il pourrait y avoir des transports en sens opposés à partir de «bedload parting zones». A suivre de près par les spécialistes (40).

Sur le problème de la protection des plages contre l'érosion par des murs, un article discute le pour et le contre. Entre autres dégradations, les murs tendent à réduire la largeur des plages, à l'inverse des épis (41).

Une précieuse étude sédimentologique donne des renseignements détaillés sur de nombreuses plages échelonnées sur toute la côte du Koweit, avant leur pollution par hydrocarbures par l'armée d'invasion de Saddam Hussein (42).

(35) SMITH (E.R.), WAGNER (S.E.), 1991. Littoral environment observation program. *J. Coastal Res.*, vol. 7, p. 595-605.

(36) FORBES (D.L.), TAYLOR (R.B.), ORFORD (J.D.), CARTER (R.W.G.), SHAW (J.), 1991. Gravel-barrier migration and overstepping. *Mar. Geol.*, vol. 97, p. 305-313.

(37) EVERITT (J.H.), ESCOBAR (D.E.), JUDD (F.W.), 1991. Evaluation of airborne video-imagery for distinguishing black mangrove (*Avicennia germinans*) on the Lower Texas coast. *J. Coastal Res.*, vol. 7, p. 1169-1173.

(38) BLODGET (H.W.), TAYLOR (P.T.), ROARK (J.H.), 1991. Shoreline changes along the Rosetta-Nile promontory: monitoring with satellite observation. *Mar. Geol.*, vol. 99, p. 67-77.

(39) BAUER (B.O.), 1991. Aeolian decoupling of beach sediments. *Ann. Ass. Amer. Geogr.*, vol. 81, p. 290-303.

(40) STRIDE (A.H.), BELDERSON (R.H.), 1991. Sand transport in the Bristol Channel East of Bull Point and Worms Head: a bed-load parting model with some indications of mutually evasive sand transport paths. *Mar. Geol.*, vol. 101, p. 203-207. - HARRIS (P.T.), COLLINS (M.B.), 1991. Sand transport in the Bristol Channel: bedload parting zone or multiple evasive transport pathways? *Mar. Geol.*, vol. 101, p. 209-216.

(41) HALL (M.J.), PILKEY (O.H.), 1991. Effects of hard stabilization on dry beach width for New Jersey. *J. Coastal Res.*, vol. 7, p. 771-785.

(42) AL-BAKRI (D.), EL-SAYED (M.), 1991. Mineralogy and provenance of the clastic deposits of the modern intertidal environment of the northern Arabian Gulf. *Mar. Geol.*, vol. 97, p. 121-135.

Le régime hydrologique des sebkhas littorales du même pays est caractérisé en détail dans un autre article (43).

D'utiles données sont fournies par des chercheurs égyptiens sur les sédiments et la structure d'une sebkha littorale de la côte arabe au nord de Jeddah (44).

On caractérise l'évolution de la végétation de marais maritimes du Texas en relation, selon les lieux, avec une subsidence, ou avec la pollution, avec l'urbanisation (45).

Le *beachrock* peut jouer un rôle en dynamique littorale, soit en stockant des sédiments, soit en protégeant contre l'érosion : élément de contraste zonal puisqu'il est zonal lui-même (46).

L'étude des phosphates de l'atoll émergé de Nauru (Micronésie) conforte l'hypothèse de Rougerie et Wauthy de formation par endo-upwelling des eaux marines profondes dans le lagon. C'est un résultat important (47).

Un article d'ensemble de Jeanne Hoeblich sur les récifs coralliens de Madagascar fait bien le point sur les apports de différentes sources à la connaissance (48).

Une petite baie presque fermée de la côte nord de la Jamaïque dérive sans doute d'une dépression karstique dans les calcaires miocènes régionaux, enclose par des récifs coralliens à un moment non précisé du Pléistocène (bas niveau à -40 m) ; la croissance récifale continue aujourd'hui. Cas d'histoire récifale caraïbe complexe (49).

Des morphologues et naturalistes ibériques ont étudié une très belle flèche littorale de la côte cantabrique dans son évolution depuis le XVIII^e siècle, et un non moins bel ensemble côtier de Galice avec dunes, marais maritimes arrière et considération du relèvement du niveau marin depuis 2000 ans. Ces rivages du nord de la Péninsule recèlent encore bien des richesses (50).

Trois auteurs argentins et deux espagnols ont rédigé un article riche de matière sur les flèches littorales et marais maritimes d'une grande baie de la partie argentine

(43) ROBINSON (B.W.), GUNATILAKA (A.), 1991. Stable isotope studies and the hydrological regime of sabkhas in Southern Kuwait, Arabian Gulf. *Sedimentary Geol.*, vol. 73, p. 141-158.

(44) EL ABD (Y.I.), AWAD (M.B.), 1991. Evaporitic sediment distributions in Al-Kharrar sabkha, West coast of Saudi Arabia, as revealed by electrical soundings. *Mar. Geol.*, vol. 97, p. 137-143.

(45) PULICH (W.M.), WHITE (W.A.), 1991. Decline of submerged vegetation in the Galveston Bay system: chronology and relationship to physical processes. *J. Coastal Res.*, vol. 7, p. 1125-1138.

(46) COOPER (J.A.G.), 1991. Beachrock formation in low latitudes: implications for coastal evolutionary models. *Mar. Geol.*, vol. 98, p. 145-154.

(47) BERNAT (M.), LOUBET (M.), BAUMER (A.), 1991. Sur l'origine des phosphates de l'atoll corallien de Nauru. *Oceanol. Acta*, vol. 14, p. 325-331.

(48) HOEBLICH (J.), 1989. Caractères d'ensemble des récifs coralliens de Madagascar. *Rev. Géomorph. Dyn.*, vol. 38, p. 59-77.

(49) HINE (A.C.), LAND (L.S.), CLAYTON (T.D.), McCULLOUGH (M.L.), 1991. Seismic stratigraphy of Discovery Bay, Jamaica. *Mar. Geol.*, vol. 98, p. 83-97.

(50) LOSADA (M.A.), MEDINA (R.), VIDAL (C.), ROLDAN (A.), 1991. Historical evolution and morphological analysis of « El Puntal » spit, Santander, Spain. *J. Coastal Res.*, vol. 7, p. 711-722. - VILAS (F.), SOPIÑA (A.), REY (L.), RAMOS (A.), NOMBELA (M.A.), ARCHE (A.), 1991. The Corrubedo beach-lagoon complex, Galicia, Spain. *Mar. Geol.*, vol. 97, p. 391-404.

de la Terre de Feu (abondant matériel d'origine glaciaire, climat océanique tempêtuex, dix mètres de marnage). A voir en détail (51).

Dans l'immense lagune Dos Patos (sud du Brésil), on étudie les mécanismes hydrologiques conditionnés par les venues d'eaux douces et marines (52).

Dans une baie de l'est du Jutland, le taux de sédimentation dépend plus des tempêtes que des autres facteurs (53).

Dans la partie interne de l'estuaire du Saint-Laurent, les dates de déracinement des arbres bordiers indiquent deux périodes principales d'érosion littorale, fin années 1940-début années 1950, et 1974-1976. On discute des causes (54).

La sédimentation rapide qui s'observe actuellement dans la South River, un des bras d'amont de la baie Chesapeake, ne provient pas essentiellement d'alluvions issues du bassin versant du fait de l'agriculture, mais, quatre à douze fois plus, de l'érosion littorale (55).

Morphologie et structure sous-marine

Atlantique, Baltique

En se fondant sur une imagerie *Gloria*, on estime que la base (*rise*) de la pente continentale à l'Est des Etats-Unis a été principalement modelée par des mouvements de masse des sédiments, activés lors des bas niveaux marins pléistocènes par un accroissement de fourniture des matériaux (56).

Dans le Golfe de Riga, la sismique permet de tracer, sous les sédiments, un réseau de dislocations remaniées par des actions glacio-dynamiques (57).

Méditerranée

Un article de source hellénico-britannique interprète la géotectonique de la Méditerranée orientale sous la forme de deux arcs hellénique et chypriote à subduction nord, se continuant à l'est par un chevauchement de la plaque arabe sur l'est de l'Anatolie. La mer Egée et sa côte ionienne sont un champ de grabens principalement ouest-est. L'article actualise sans bouleverser. Intéressantes figures (58).

(51) ISLA (F.I.), VILAS (F.E.), BUJALESKY (G.G.), FERRERO (M.), GONZALEZ BONORINO (G.), ARCHE MIRALLES (A.), 1991. Gravel drift and wind effect on the macrotidal San Sebastian Bay, Tierra del Fuego, Argentina. *Mar. Geol.*, vol. 97, p. 211-224.

(52) MULLER (Jr., O.O.), PAIM (P.S.G.), SOARES (I.D.), 1991. Facteurs et mécanismes de la circulation des eaux dans l'estuaire de la lagune Dos Patos (RS, Brésil). *Bull. Inst. Géol. Bass. Aquit.*, n° 49, p. 15-21.

(53) LUND-HANSEN (L.C.), 1991. Sedimentation and sediment accumulation rates in a low-energy embayment. *J. Coastal Res.*, vol. 7, p. 969-980.

(54) BEGIN (Y.), LANGLAIS (D.), COURNOYE (L.), 1991. Tree-ring dating of shore erosion events (Upper St Lawrence estuary, Eastern Canada). *Geogr. Annaler*, vol. 72 A, p. 53-59.

(55) MARCUS (W.A.), KEARNEY (M.S.), 1991. Upland and coastal sediment sources in a Chesapeake Bay estuary. *Ann. Ass. Amer. Geogr.*, vol. 81, p. 408-424.

(56) SCHLEE (J.S.), ROBB (J.M.), 1991. Submarine processes of the Middle Atlantic continental rise based on *Gloria* imagery. *Geol. Soc. Amer. Bull.*, vol. 103, p. 1090-1103.

(57) SVIRIDOV (N.I.), 1990. Nature of dislocations in the Gulf of Riga. *Oceanology*, vol. 29-5, p. 596-599.

(58) ANASTASAKIS (G.), KELLING (G.), 1991. Tectonic connection of the Hellenic and Cyprus arcs and related tectonic elements. *Mar. Geol.*, vol. 97, p. 261-277.

Un article de double source semblable étudie à Nisiros et Kos (Sporades) les processus hydrothermaux de l'arc volcanique hellénique, qui se développe de là à Egine en passant par Santorin et Milos. A comparer avec les processus, en un autre contexte certes, mentionnés aux Fidji sous la référence 9 de la présente chronique (59).

En Méditerranée, les images Spot peuvent permettre de distinguer des peuplements benthiques et types de fonds jusqu'à 10 m de profondeur. La surface cartographiable est donc très réduite là où les pentes sont fortes (60).

La sédimentologie et la géochimie du peu profond golfe de Trieste sont caractérisées par une équipe de géologues slovènes (Ljubljana et Piran). Les sédiments proviennent de l'Isonzo et des petites rivières d'Istrie (61).

L'âge des évaporites messiniennes se place de 5,65 Ma à 4,9 Ma, d'après les isotopes du Strontium (62).

Dans les fonds en avant de Nice, la surface d'érosion sous-marine messinienne avec la vallée du paléo-Var, et leur remblaiement, sont décrits et figurés (63).

Une série de coupes détaille la formation du détroit de Messine par jeu d'une série de failles depuis le Miocène (64).

Indien, Mer Rouge

Des géologues japonais interprètent la signification des sédiments de l'ODP 116, dans le golfe du Bengale, pour l'histoire de l'Himalaya: resurrection vigoureuse jusqu'au Miocène moyen, faible au Pliocène, à nouveau forte au Pléistocène, ralentie à l'Holocène (65).

Les nodules de manganèse du centre de l'océan Indien, abondants entre 12°-14°S et 77°-80°E, ont, d'après une équipe française, une relation génétique avec les sédiments néogènes locaux. Il en va de même pour ceux du pacifique est-équatorial, mais ceux de l'océan Indien sont plus jeunes et de développement continu (66).

Des recherches russes sur la dorsale des Seychelles-Mascareignes-Saya de Malha-

(59) VARNAVAS (S.P.), CRONAN (D.S.), 1991. Hydrothermal metallogenic processes off the islands of Nisiros and Kos in the Hellenic volcanic arc. *Mar. Geol.*, vol. 99, p. 109-133.

(60) MEINESZ (A.) et quatre autres auteurs, 1991. Première évaluation des potentialités du satellite Spot pour la cartographie des peuplements benthiques superficiels de Méditerranée Occidentale. *Oceanol. Acta*, vol. 14, p. 299-307.

(61) OGORELEC (B.), MISIC (M.), FAGANELI (J.), 1991. Marine geology of the Gulf of Trieste (Northern Adriatic): sedimentological aspects. *Mar. Geol.*, vol. 99, p. 79-92. - Mêmes auteurs et PLANINC (R.), PEZDIC (J.), SMODIS (B.), STEGNARD (P.), 1991. Idem, geochemical aspects. *Mar. Geol.*, vol. 99, p. 93-108.

(62) MULLER (D.W.), MUELLER (P.A.), 1991. Origin and age of the Messinian evaporites: implications from Sr isotopes. *Earth Planet. Sci. Letters*, vol. 107, p. 1-12.

(63) SAVOYE (B.), PIPER (D.J.W.), 1991. The Messinian event on the margin of the Mediterranean Sea in the Nice area, Southern France. *Mar. Geol.*, vol. 97, p. 279-304.

(64) MONTENAT (C.), BARRIER (P.), D'ESTEVOU (P.O.), 1991. Some aspects of the recent tectonics in the Strait of Messina, Italy. *Tectonophysics*, vol. 194, p. 203-215.

(65) AOKI (S.), KOHYAMA (N.), ISHIZUKA (T.), 1991. Sedimentary history and chemical characteristics of clay minerals in cores from the distal part of the Bengal Fan (ODP 116). *Mar. Geol.*, vol. 101, p. 175-185.

(66) MARTIN-BARAJAS (A.), LALLIER-VERGES (E.), LECLAIRE (L.), 1991. Characteristics of manganese nodules from the Central Indian Basin: relationship with the sedimentary environment. *Mar. Geol.*, vol. 101, p. 249-265.

Cargados Carajos-Maurice-Réunion (une carte morphologique est donnée) convergent à son déplacement vers l'ouest du Miocène au Quaternaire, avec mouvements individuels de blocs (67)

Pour une bonne compréhension de l'évolution de l'ouverture de la Mer Rouge, il y a lieu de la replacer dans le fonctionnement de la triple jonction de l'Afar (68).

Pacifique

Les structures récifales de Manihiki et Ontong Java (Pacifique occidental) ont dû se former sur des *hot spots*; mais elles ne semblent pas faire partie d'une ou de séries de *seamounts*, ce qui pose problème (69).

Situé à l'ouest de la partie sud de Luçon, Philippines, le petit bassin Marinduque est un fragment de croûte océanique affecté par expansion du lit marin dans le système de failles *strike-slip* cisaillant Luçon et Mindanao. C'est un exemple de structure extrêmement complexe de l'Ouest Pacifique, comme la fosse de Mariannes sur laquelle on verra la XXXVIII^e chronique, 1991, p. 107-108 (70).

Les fonds bathyaux proches de la Nouvelle-Calédonie sont décrits du point de vue des peuplements, de l'érosion par les courants, de la bioérosion et de la bioturbation (71).

Les dunes hydrauliques du peu profond détroit de Torrès, entre l'Australie et la Nouvelle-Guinée, changent saisonnièrement de dissymétrie du fait du renversement du courant de vent (72).

Arctique

Une équipe germano-coréenne (Kiel-Seoul) caractérise les processus sédimentaires de la pente continentale au nord de la Norvège, entre 67° et 71°N, d'après 27 carottes de 120 à 650 cm récoltées par le *Polarstern*. Combinaison de transports par icebergs, glissements sur pente, courants de turbidité, courants de grande profondeur. Différences entre périodes glaciaires et interglaciaires (73).

On discute du mécanisme de la dorsale médio-océanique Malloy-Knipovich et des failles transformantes associées, à l'Ouest du Spitzberg c'est-à-dire aux confins

(67) KARA (V.I.), SIVUKHA (N.M.), 1990. Geomorphology and recent development of the Central Mascarene ridge. *Oceanology*, vol. 30-2, p. 303-308.

(68) GAULIER (J.M.), HUCHON (P.), 1991. Tectonic evolution of Afar triple junction. *Bull. Soc. Géol. Fr.*, vol. 162, p. 451-464.

(69) MAHONEY (J.J.), SPENCER (K.J.), 1991. Isotopic evidence for the origin of the Manihiki and Ontong Java oceanic plateaux. *Eaeth Planet. Sci. Letters*, vol. 104, p. 196-210.

(70) SAREWITZ (D.R.), LEWIS (S.D.), 1991. The Marinduque intra-arc basin, Philippines: basin genesis and in situ ophiolite development in a strike-slip setting. *Geol. Soc. Amer. Bull.*, vol. 103, p. 597-614.

(71) ROUX (M.) et douze autres auteurs, 1991. L'environnement bathyal au large de la Nouvelle-Calédonie. *Bull. Soc. Géol. Fr.*, vol. 162, p. 675-685.

(72) HARRIS (P.T.), 1991. Reversal of subtidal dune asymmetries caused by seasonally reversing wind-driven currents in Torres Strait, Northeastern Australia. *Contin. Shelf Res.*, vol. 11, p. 655-662.

(73) YOON (S.H.), CHOUGH (S.K.), THIRDE (J.), WERNER (F.), 1991. Late Pleistocene sedimentation on the Norwegian continental slope between 67° and 71°N. *Mar. Geol.*, vol. 99, p. 187-207.

de l'Océan Arctique sur la Mer du Groenland (74).

Dans la Mer des Laptev, des études sismiques font identifier les caractères de deux aires structurales : à l'ouest, la continuation de la plateforme sibérienne ; à l'est, celle du domaine plissé de Sibérie du Nord-Est. L'épaisseur de la couverture sédimentaire a été évaluée. Il y a eu réactivation tectonique paléogène (75).

Une nouvelle carte structurale de l'Océan Arctique est présentée, définissant trois éléments majeurs : les « sous-bassins » eurasiatique et amérasiatique, et la région centrale à dorsales océaniques (76).

Des carottages à des profondeurs d'eau de 140 à 300 m sur la plateforme continentale d'Axel Heiberg (82°N) montrent, par l'étude des sédiments datant de 9950 à 1530 BP, des alternances de couverture de glace de surface continue et discontinue, avec plus forte sédimentation pendant les secondes (77).

Antarctique

Les hauts-fonds Islas Orcadas et Meteor, de part et d'autre de la dorsale médiocéanique vers 50°S, semblent être une structure initialement unique d'âge fin-crétacé qui s'est dissociée en 59 Ma par expansion du lit marin, avec des suites différentes (78).

Un groupe de géologues italiens (Venise et Trieste) donne les résultats géochimiques obtenus sur cinquante échantillons récoltés dans l'ouest de la Mer de Ross entre 400 et 1000 m, lors de la campagne du navire italien *Polar Queen* (1986-1988). Sédiments glacio-marins, provenant en partie des roches volcaniques de McMurdo, mélangés à des éléments siliceux biogéniques (boues à Diatomées) (79).

Hydrologie

Sur l'affaire à l'ordre du jour de l'élévation du niveau marin, on trouvera pas mal de données mondiales figurées dans un article émanant du service compétent britannique. Les données du marégraphe de Brest ont vraiment la plus grande longévité jusqu'à nos jours (80).

Le renouvellement en oxygène des eaux des bassins profonds de la Mer Baltique

(74) BATURIN (D.G.), 1990. Structure and geodynamics of the Malloy-Knipovich transform fault zone in the Mid-Oceanic ridge system of the Norway-Greenland basin. *Oceanology*, vol. 30-3, p. 316-320.

(75) IVANOVA (N.M.), SEKERETOV (S.B.), SHKARUBO (S.I.), 1989. Geological structure of the Laptev Sea shelf according to seismic studies. *Oceanology*, vol. 29-5, p. 600-604.

(76) LASTOCHKIN (A.N.), NARYSHKIN (G.ED.), 1990. New concepts of the relief of the Arctic Ocean floor. *Oceanology*, vol. 29-6, p. 722-726.

(77) HEISS (F.J.), MUDIE (P.J.), 1991. Glacial marine sedimentation, Canadian polar margin, North of Axel Heiberg Island. *Geogr. Phys. et Quat.*, vol. 45, p. 213-227.

(78) RAYMOND (C.A.), LABRECQUE (J.L.), KRISTOFERSEN (Y.), 1991. Islas Orcadas Rise and Meteor Rise. *Proc. ODP, Sci. Results*, vol. 114, p. 5-22.

(79) MERLIN (O.H.), SALVADOR (G.L.), VITTURI (L.M.), PISTOLATO (M.), RAMPAZZO (G.), 1991. Geochemical characteristics of Western Ross Sea (Antarctica) sediments. *Mar. Geol.*, vol. 99, p. 209-229.

(80) WOODWORTH (P.L.), 1991. The permanent service for mean sea level and the global sea level observing system. *J. Coastal Res.*, vol. 7, p. 699-710.

dépend des vents : les forts vents d'ouest le favorisent dans le bassin de Bornholm, puis, de là, de forts vents de nord et d'est transportent ces eaux enrichies dans le bassin de Gotland, situé plus au Nord (81).

D'après des mesures étendues sur une année, le courant de Leeuwin (Australie Occidentale), qui s'écoule vers le sud à contre-vent, est déterminé en lui-même par le gradient géopotentiel de la surface de la mer ; mais ses fluctuations saisonnières sont, elles, conditionnées par le vent (82).

Le courant côtier de l'ouest du Dékan s'écoule contre des vents faibles pendant la mousson de nord-est. Large de 400 km, profond de 200 m. Cause : les gradients de pression des eaux pré-côtières. A rapprocher du courant de Leeuwin, note précédente (83).

L'eau antarctique de fond (moins de 2°C), cheminant vers le nord dans l'Atlantique Ouest, franchit partiellement la dorsale médiane par la zone de fracture Vema (11°N) avec un débit de 2,2 sverdrups, environ la moitié du courant froid total ; puis, dans l'Atlantique Est, elle bifurque entre le bassin de Sierra Leone au sud et celui de Gambie au nord ; au-delà du second, franchissant la dorsale du Cap Vert, elle parvient aux bassins sud et nord des Canaries où elle atteint 30°N. Par contre, dans l'Atlantique Sud elle ne s'écoule pas vers l'est à travers la dorsale médiane par la zone de fracture de la Romanche. Très intéressant article (84). Voir la référence suivante.

Cependant, dans l'Atlantique Sud, il doit y avoir un autre passage vers l'est de l'eau antarctique de fond, par la brèche Walvis (32°S), avec nourrissement d'une autre enclave hydrologique dans le bassin d'Angola (85).

Le courant sud-équatorial atlantique transporte 20 sv dans les 50 mètres supérieurs ; l'essentiel va vers le nord à partir de 30°W, et une partie plus petite forme le courant du Brésil, sur la continuation duquel on verra la figure 1 dans la présente chronique (86).

Les flux hydrothermaux issus du volcanisme sous-marin de la dorsale est-pacifique (11-13°N) modifient l'hydrologie océanique ambiante de façon très complexe et difficilement prévisible. Article de chercheurs français d'IFREMER (87).

Une autre campagne IFREMER, dans le bassin Nord-Fidji, caractérisé par sa tectonique à venues hydrothermales dans la présente chronique, a aussi donné lieu

- (81) KRAUSS (W.), BRUEGGE (B.), 1991. Wind-produced water exchange between deep basins of the Baltic Sea. *J. Phys. Oceanogr.*, vol. 21, p. 373-384.
- (82) SMITH (R.L.), HUYER (A.), GOSFREY (J.S.), CHURCH (J.A.), 1991. The Leeuwin current off Western Australia, 1986-1987. *J. Phys. Oceanogr.*, vol. 21, p. 323-345.
- (83) SHETYE (S.R.) et six autres auteurs de Goa, 1991. The coastal current of Western India during the Northeast monsoon. *Deep-Sea Res.*, vol. 38, p. 569-596.
- (84) McCARTNEY (M.S.), BENNETT (S.L.), WOODGATE-JONES (M.E.), 1991. Eastward flow through the Mid-Atlantic Ridge at 11°N and its influence on the abyss of the Eastern basin. *J. Phys. Oceanogr.*, vol. 21, p. 1089-1121.
- (85) SHANNON (L.V.), CHAPMAN (P.), 1991. Evidence of Antarctic Bottom Water in the Angola basin at 32°S. *Deep-Sea Res.*, vol. 38, p. 1299-1304.
- (86) STRAMMA (L.), 1991. Geostrophic transport of the South Equatorial current in the Atlantic. *J. Mar. Res.*, vol. 49, p. 281-294.
- (87) CHARLOU (J.L.), BOUGAULT (H.), APPRIOU (P.), JEAN-BAPTISTE (P.), ETOUBLEAU (J.), BIROLLEAU (A.), 1991. Water column anomalies associated with hydrothermal activity between 11°40' and 13°N on the East Pacific Rise: discrepancies between tracers. *Deep-Sea Res.*, vol. 38, p. 569-596.

à des observations de l'hydrologie ambiante à très fortes variations spatiales et périodicités multiples (88).

En dessous des courants alternants de surface bien connus du nord-ouest de l'océan Indien, liés à la mousson, un important courant de fond de bordure occidentale océanique s'écoule du sud au nord jusqu'à 4°N, en réduisant peu à peu, par pertes vers l'est, son débit qui est, au départ, de 4 sverdrups. Plus au nord, au large de la côte sud d'Oman, un autre courant de fond, d'origine non élucidée, s'écoule vers le sud-ouest (89).

On trouvera dans cet article des cartes de la circulation horizontale des 800 mètres superficiels en Méditerranée pour les quatre saisons. Circulation plus différenciée saisonnièrement dans le bassin oriental. La circulation profonde est aussi considérée (90).

Les cyclones hivernaux (dits cyclones de Chypre) sur le bassin levantin de la Méditerranée provoquent des tempêtes déterminant une descente (*downwelling*) des eaux de surface, et la formation d'une eau de mélange profonde de plus de 300 mètres (il n'est pas parlé de renouvellement de l'eau de très grande profondeur de type Golfe du Lion) (91).

(88) CHEVALDONNE (P.), DESBRUYERES (D.), LE MAITRE (M.), 1991. Time-series of temperature from three deep-sea hydrothermal vent sites. *Deep-Sea Res.*, vol. 38, p. 1417-1430.

(89) JOHNSON (G.L.), WARREN (B.A.), OLSON (D.B.), 1991. Flow of bottom water in the Somali Basin; a deep boundary current in the Arabian Basin. *Deep-Sea Res.*, vol. 38, p. 637-661.

(90) TZIPERMAN (E.), MALANOTTE-RIZZOLI (P.), 1991. The climatological seasonal circulation of the Mediterranean Sea. *J. Mar. Res.*, vol. 49, p. 411-434.

(91) FELIKS (Y.), 1991. Downwelling along the Northeastern coasts of the Eastern Mediterranean. *J. Phys. Oceanogr.*, vol. 21, p. 511-526.