

CAMPAGNES ESTASE 1 et 2 :
PALEOCLIMATOLOGIE, PALEOVOLCANISME ET HYDROTHERMALISME
LE LONG DE LA MARGE EST-ASIATIQUE

Laurent Labeyrie,
Directeur de recherche au CNRS,
Centre des Faibles Radioactivités, Laboratoire mixte CNRS-CEA
Domaine du CNRS 91198 Gif /Yvette

Thème :

Paléoclimatologie, paléovolcanisme, et hydrothermalisme le long de la marge nord ouest de l'Océan Pacifique.

Descriptif:

La campagne ESTASE, s'est déroulée en deux parties : Pendant ESTASE I (3/9 au 18/9 1984) ont été réalisés des carottages, du Sea-Beam et de la sismique au long de la marge Japonaise et à travers la Mer du Japon. Pendant ESTASE II (14/11 au 08/12 1984), réalisée à l'Ouest et au Sud des Philippines, est ajouté aux opérations précédentes une étude des indicateurs géochimiques d'activités hydrothermales (He₃, Méthane, distribution du manganèse), et de l'activité biologique benthique.

Participation:

Les équipes participantes aux deux parties ne sont pas les mêmes:

Ont participé à ESTASE I :

- du CFR à GIF/Yvette : L. Labeyrie (CNRS), M. Fontugne (CEA), F. Guichard (CEA), G. Guérin (CEA), S. Belviso (Et. Thèse), G. Drodzik (stagiaire),
- de l'Université d'Orléans : S. Lallemand (Et. Thèse)
- de l'Université de Hawaii : Prof. W. Dudley, J. Naab (Et. Thèse)
- de l'Université de Yamagata (Japon) Prof. K. Harada, de l'Université de Shizuoka Prof. H. Okada, K. Otsuka

Ont participé à ESTASE II :

- du CFR à GIF/Yvette : L. Labeyrie (CNRS), B. C. Nguyen (CNRS), J. L. Reiss (CNRS), M. Fontugne (CEA), F. Guichard (CEA), C. Jehanno (CEA), P. Bonté (CEA), S. Belviso (Et. Thèse), N. Lemaitre (Et. Thèse), A. Vigot (Techn. CEA)

-du Muséum Histoire Naturelle Paris : B. Métivier et C. Vadon (Etudiante), R. Hekinian du COB (IFREMER), J. Dario Etudiant à l'Univ. de Brest, Dr. N. Mikkelsen (Geol. Survey, Copenhague), et MM. P. Estrada et N. Marquez, Observateurs de la République des Philippines.

Opérations:

ESTASE I : 33 stations, pour 29 carottes Kullenberg, 18 traits de filet à plancton, 2 stations hydrologiques. En route, 18 profils sismiques (canons à air Soderá) avec magnétomètre. Sea-Beam et sondeur 3.5 khz en continu (40 profils).

ESTASE II : 42 stations, pour 22 carottes Kullenberg, 6 chaluts à perche, 11 dragues à roche, 18 traits de filet à plancton et 8 stations hydrologiques avec profils CTD. En route, 7 profils sismiques et avec magnétomètre. Sea-Beam et sondeur 3.5 khz en continu (50 profils).

Description Sommaire des opérations:

-->Le carottage le long de pentes relativement fortes, dans des zones sismiques actives, n'est pas une opération aisée. Les éboulements, lacunes et turbidites, sont nombreux. C'est pourquoi la sismique 3.5 khz, et le SEA-BEAM nous ont été particulièrement nécessaires. Celui-ci permettait la détection des zones possibles de carottage (en particulier les replats des légères élévations bordant les chenaux de transport des turbidites), sans avoir à réaliser des cartographies précises des zones.

--> La sonde Conductivité-Température-Profondeur utilisée lors d'ESTASE II était équipée d'une rosette de 12 bouteilles de 5 litres déclanchables en fonction des caractéristiques instantanées de l'Hydrologie. Des échantillons d'eau ont été prélevés pour les analyses à bord des teneurs en méthane et composés organo-sulfurés (DMS et COS), et

d'autres pour analyse à terre du Tritium et de l'Hélium3.

Objectifs et méthodes

Rappel des objectifs:

La campagne ESTASE a eu trois objectifs principaux:

-Paléoclimatologie de la bordure Est Asiatique.

-Histoire du volcanisme (tephrachronologie)

-Activité hydrothermale associée aux zones de subduction.

- D'autres objectifs complémentaires ont été ajoutés à la mission:

Compléments sismiques et Sea-Beam de la mission Kaiko (dans le cadre de la thèse de S. Lallemand) ; prélèvements de faune benthique (équipe du Muséum d'Histoire Naturelle) ; étude de la géochimie du volcanisme sous marin du pourtour des Philippines (R. Hékinian du COB-IFREMER)

1/Paléoclimatologie: Nous effectuons au CFR une reconstitution très détaillée des variations climatiques au Pléistocène, en utilisant surtout la mesure du rapport $^{18}\text{O}/^{16}\text{O}$ et $^{13}\text{C}/^{12}\text{C}$ des foraminifères fossiles. Pour une telle étude, nous avons besoin de carottes à grande vitesse de sédimentation. Nous devons donc carotter sur les marges continentales. Le programme ESTASE permet de couvrir la zone Nord Ouest Pacifique, entre l'équateur et 45°N . D'autres thèmes de recherche utilisent le même matériel, comme la reconstitution des zones de mousson lors du dernier maximum glaciaire (principalement à partir des carottes dans l'archipel Indonésien), de la circulation d'eau profonde (à partir des carottes du flanc Est du Japon), et de la pluviosité sur le Continent asiatique (à partir de carottes prélevées au large du delta du Fleuve Jaune).

2 / Histoire du volcanisme: Nous reconstruisons la fréquence des éruptions volcaniques dans les différentes régions actives du globe au cours des dernières centaines de milliers d'années, en liaison avec la tectonique des plaques. Nous utilisons pour cela les niveaux de cendres dans les carottes datées par stratigraphie isotopique, et là où cela est possible, une référence datée des mêmes éruptions sur le continent. Pour cette identification, nous réalisons des analyses chimiques très fines des niveaux de cendres. Cette étude est réalisée sur les carottes dont la stratigraphie

isotopique a été réalisée. Elle intervient donc dans une deuxième étape. Les échantillons d'Estase sont encore en cours d'étude.

3/Géochimie hydrothermale: La découverte d'activité hydrothermale dans la région des Iles Marianne, comme au large de l'Oregon démontre que le volcanisme sous-marin actif, même hors des rides, donne naissance à des systèmes hydrothermaux, d'autant plus puissants que le régime volcanique est prolongé. Dans les zones d'arc et d'arrière arc, les épanchements s'effectuent souvent à travers de fortes épaisseurs sédimentaires. Cela doit conduire à des réactions géochimiques très différentes de celles connues dans les zones de ride active, où l'épaisseur sédimentaire est essentiellement nulle. Par des dragages sur les Seamounts d'activité récente, nous espérons pouvoir récolter des échantillons intéressants. De même, les analyses en pleine eau de la distribution du méthane et de l'Hélium 3, pouvaient nous permettre de mettre en évidence les zones de sortie d'eau d'origine hydrothermale, si nous rencontrions des sources actives. D'autre part, des échantillons de coquilles de mollusques généralement associés aux bouches hydrothermales, avaient été draguées par le Muséum d'Histoire naturelle au cours d'une mission précédente. En retournant sur cette zone (S.E. de Luzon) avec des traits de chalut à perche, nous espérons confirmer et préciser les travaux précédents.

Résultats:

1/ Paléoclimatologie:

5 carottes parmi celles qui contenaient des foraminifères ont été analysées en détail. Deux de ces carottes ont livré un enregistrement exceptionnel des variations climatiques du Japon lors de la dernière déglaciation, par les variations de la composition isotopique des foraminifères planctoniques et benthiques. Des datations ^{14}C directes des foraminifères benthiques et planctoniques ont pu être réalisées dans une de ces deux carottes (CH 84-14) grâce à la grande sensibilité de la technique par accélérateur (AMS Tandétron). Une chronologie précise a ainsi été établie. Nous avons obtenu deux résultats très importants :

a/ La déglaciation dans le Pacifique Nord-Ouest n'est pas régulière, contrairement à ce que l'on pensait auparavant. L'amorce de la déglaciation apparaît vers 14 750 ans BP (figure 3), suivie du retrait vers le nord du front polaire vers 12 750 ans BP. Ce front atteint sa position la plus septentrionale vers 11 450 ans BP, avant qu'une forte oscillation froide se déclenche abruptement à 11 000 ans BP, soit simultanément à l'événement froid du "Younger Dryas" décrit en Europe et Atlantique nord. Le réchauffement postérieur est plus lent, pour atteindre le régime actuel vers 7 000 ans. C'est la première fois qu'un enregistrement continu aussi détaillé de la déglaciation a pu être obtenu. Il servira de référence tant pour le Japon qu'au niveau global. Des études de pollen en cours dans cette carotte, réalisées par Linda Heusser (L.D.G.O., USA) montrent par exemple les changements rapides de la steppe herbacée vers les forêts de chêne qui ont accompagnés la déglaciation. Une publication a déjà été réalisée sur ces résultats dans *Océanologica Acta*.

b/ La circulation profonde de l'Océan Pacifique nord a subi une accélération importante à la fin de la dernière période glaciaire: L'eau profonde de l'océan mondial est renouvelée en permanence par de l'eau bien ventilée, dans l'Atlantique nord et en Mer de Norvège. La convection profonde péri-Antarctique ne contribue que pour une faible part à la ventilation profonde, car ce sont pour l'essentiel des eaux profondes peu ventilées qui sont recyclées pour former l'eau de fond Antarctique (AABW). L'eau profonde de l'Océan Pacifique, qui est la plus éloignée de la source de ventilation de l'Atlantique nord est celle qui présente des âges ^{14}C les plus anciens. La différence d'âge ^{14}C entre les foraminifères benthiques et les foraminifères planctoniques, qui reflète la différence d'âge entre les eaux dans lesquelles ils se sont développés, peut être utilisée comme mesure des vitesses de renouvellement des eaux profondes, les âges des eaux superficielles, globalement similaires, servant de référence. Ce type de mesure a été réalisé sur deux carottes de l'Océan Pacifique, dont la carotte CH 84-14, prélevée pendant la campagne ESTASE I le long de la pente continentale du Japon, par 978 m de fond. L'autre carotte, TRI 163-31B (3°37'S 83°58'W, 3210 m de fond) a été analysée par N. Shackleton, et datée au CFR. Ces deux carottes montrent (figure 4) une période de ralentissement relatif de la circulation

profonde, pendant le dernier glaciaire, à laquelle a suivi, au début de la dernière déglaciation, une très forte accélération de la circulation des eaux intermédiaires et profondes. L'origine de cette convection est encore inconnue, mais ce phénomène a de toute évidence joué un rôle considérable dans la rapide augmentation du pCO_2 atmosphérique observée dans les carottes de glace polaires. Ce travail a fait l'objet d'une publication dans *Radiocarbon*.

2/ Hydrothermalisme:

a/ Circulation active : Les profils de méthane dissous réalisés en Mer des Célèbes pendant ESTASE II et la mesure du rapport Tritium/He3 dans trois de ces profils nous ont permis la mise en évidence de plusieurs sources, contenant une faible quantité d'excès d'Helium 3 d'origine profonde, associée à de très forts excès de méthane. Aucune anomalie de température n'a pu être mise en évidence dans ces panaches. Il s'agit probablement de sources hydrothermales de basse température, percolant à travers les sédiments de la ride de Sanghihe. La forte proportion de méthane serait probablement d'origine sédimentaire. Ces travaux, qui prouvent l'existence d'une circulation hydrothermale contemporaine dans la zone, ont été publiés dans *Geochim. Cosmochim. Acta*.

b/ Dépôts hydrothermaux récents : De fortes épaisseurs de manganèse (plus de 30 cm) ont été dragués sur les pentes d'un volcan sous marin de la ride de Sanghihe. Les analyses en spectrométrie α de la famille de l'Uranium ont montré des enrichissements anormaux en U234 de ces dépôts. Ces résultats indiquent probablement une extraction préférentielle à basse température de l'uranium 234 des sédiments sous jacent. Ce travail a fait l'objet d'une publication dans *Nature*. Serait ainsi confirmé, sur des périodes de temps plus longues, les observations réalisées dans la colonne d'eau, tendant à montrer l'existence dans cette zone d'arc d'un hydrothermalisme de basse température percolant à travers les fortes épaisseurs sédimentaires sous jacentes.

c/ Géochimie des roches:

Une série de roches (basaltes alcalins, trachybasaltes, trachytes, hyaloclastites) a été draguée pendant ESTASE II le long de la Ride de Mer de Chine (Scarborough Seamount chain), jusqu'à la zone où elle s'enfonce par subduction dans la fosse de Manille. Les

analyses géochimiques ont montré une grande hétérogénéité dans l'origine des magmas ayant donné lieu aux épanchements. Il s'agit probablement d'une succession d'évènements volcaniques contenant de nombreux cumulats différenciés. L'ensemble de l'activité a cessé aux environs du Miocène supérieur (11 MA). Ce travail a fait l'objet d'une publication dans *Oceanologica Acta*. D'autres travaux sont en cours, en liaison avec les autres campagnes réalisées dans la zone, et avec l'interprétation des données géophysiques obtenues pendant Estase.

4/ Géophysique : Pendant Estase I, une série de profils a été réalisée en Mer du Japon au canon à air sodera. Ils ont permis de montrer que les hypothèses portant sur l'existence d'une zone de subduction avortée le long des côtes nord ouest de l'île de Honshu étaient probablement fausses. Nos travaux mettent en évidence une série d'écaillés, correspondant à un chevauchement à vergence orientale au long de la marge est de la Mer du Japon. Ce travail, qui a été détaillé dans la thèse de S. Lallemand, a fait l'objet d'une publication dans les C. R. Acad. Sci.

Publications:

1/ Publications dans des revues de niveau international:

BELVISO S., JEAN-BAPTISTE P., NGUYEN B.C., MERLIVAT L., LABEYRIE L., Deep methane maxima and Helium-3 anomalies across the Pacific entrance to the Celebes Basin. *Geochim. Cosmochim. Acta* 51, 2673-2680, 1987.

CURRY W.B., DUPLESSY J.C., LABEYRIE L.D., SHACKLETON N.J. Changes in the distribution of $\delta^{13}\text{C}$ of deep water ΣCO_2 between the Last Glaciation and the Holocene, *Palaeoceanography*, 3, 317-341, 1988.

DUPLESSY J.C., SHACKLETON N.J., FAIRBANKS R.G., LABEYRIE L., OPPO D., KALLEL N. Deep water source variations during the last climatic cycle and their impact on the global deep water circulation, *Palaeoceanography*, 3, 343-360, 1988

DUPLESSY J.C., M. ARNOLD, BARD, E., JUILLET-LECLERC A., KALLEL N. and LABEYRIE L., , AMSC-14 study of transient events and of the ventilation rate of the Pacific intermediate water during the last deglaciation. *Radiocarbon* , in press, 1990

HEKINIAN R., BONTE P., PAUTOT G., JACQUES D., LABEYRIE L.D., MIKKELSEN N., REYSS J.L. Volcanics from the South China Sea Ridge system, *Oceanologica Acta*, 12, 101-115, 1989

KALLEL N., LABEYRIE L., ARNOLD M., OKADA H., DUDLEY W., DUPLESSY J.C. Evidence of cooling during the Younger Dryas in the western north Pacific, *Oceanologica Acta*, 11, 369-376, 1988

LALLEMAND S., OKADA H., OTSUKA K., LABEYRIE L., Tectonique en compression sur la marge Est de la mer du Japon : mise en évidence de chevauchements à vergence orientale, C. R. Acad. Sci. 301 II, 201-206, 1985

REYSS J.L., LEMAITRE N., BONTE P., FRANCK D. Anomalous $^{234}\text{U}/^{238}\text{U}$ ratios in deep-sea hydrothermal deposits, *Nature*, 325, 798-800, 1987.

2/ Publications dans des revues d'audience limitée:

YIN J., OKADA H., LABEYRIE L., Clay mineralogy of slope sediments around the Japanese Islands, *Geoscience Reports of Shizuoka University* n°13, 41-65, 1987.

OKADA H., LALLEMAND S., OTSUKA K., LABEYRIE L., Submarine geologic structure of the eastern margin of the sea of Japan with special reference to the nascent trench problem, *Geoscience Reports of Shizuoka University* N°11, 1985.

Extended English abstract :

The major purpose of the ESTASE cruise has been the coring of the high sedimentation rate sediment, along the continental slope of Japan (Estase I 03 09 84 to 17 09 84) and Philippine islands (Estase II 14 11 84 to 08 12 84) , in the north-west Pacific Ocean. Two main scientific objectives were involved in this operation:

1- high resolution paleoclimatology and paleoceanography of the eastern side of the Asian continent, by micropaleontological and isotopic studies of fossil foraminifera, and palynology of the wind and river transported pollens from the continent.

2- detailed study of the paleovolcanism, by tephrochronology

However, several studies used the opportunity of the cruise for other objectives :

- active hydrothermal activity in the back arc area of the Celebe Sea (dissolved methane and He^3 excess in the water column, chronology of the manganese deposits along seamounts..)
- collection of living benthic communities in these poorly known areas
- geochemistry of the volcanic rocks dredged along the China Sea ridge, the Manilla trench, and the Sanghihe ridge
- seismic profiles along the western slope of Japan, and across the Sanghihe ridge, to resolve specific problems about their evolution.

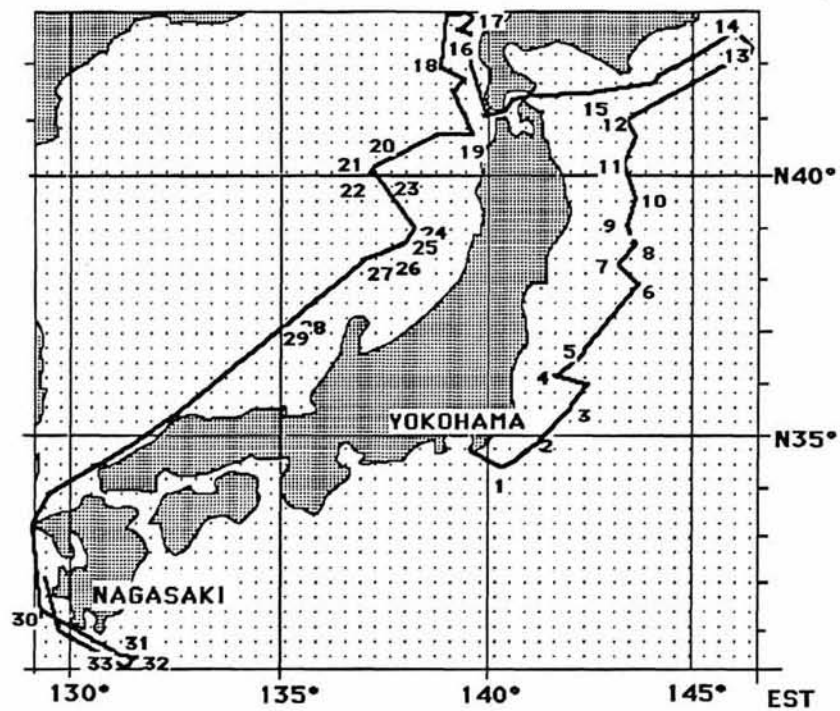
Although major results have already been obtained, a large part of the samples are still under studies.

Several of these results are presented :

- A high resolution paleoclimatic record covering the last 20 000 years, dated by ^{14}C AMS, has been obtained on the Japan continental slope, by combining the results of cores CH 84-04 and CH 84-14. The existence of a cold event between 11 and 10 kyr BP, analogous to the european Younger Dryas was demonstrated, a strong indication of the generality of this event for the northern hemisphere

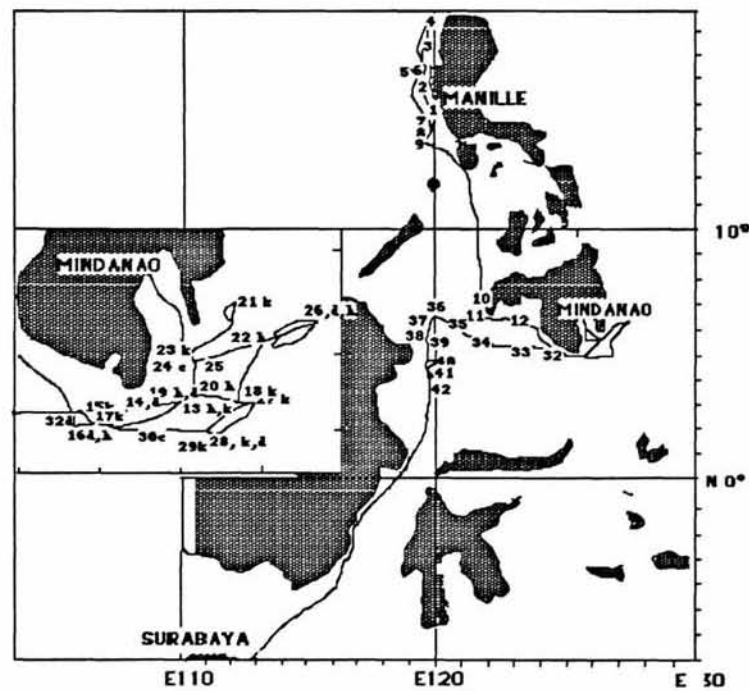
- The ^{14}C age difference between the benthic and planktonic foraminifera from core CH 84 14, measured by AMS, indicates a strong acceleration of the intermediate water formation during the beginning of the last deglaciation. A deeper core from the Equatorial Pacific ocean confirms that result, and allows its generalization for the whole water column. The mechanisms involved in that acceleration are yet to be described.

- The water column has been sampled in the Celebe Sea, and analysed for methane and ^3He content. Definite enrichments of these two tracers indicate active hydrothermal circulation in the area. Dredges on one of the submarine seamounts from the Sanghihe ridge sampled thick manganese deposits. Anomalous enrichment of these deposits in U^{234} showed that they were the result of a low temperature hydrothermal leaching of the thick sediments of the ridge. Connection between the manganese deposits and the water column enrichment in Methane and ^3He is possible, but our sampling was not adapted to prove that the manganese crusts are actively deposited now at that location.



ESTASE I

Figure 1: Route et stations de la Campagne ESTASE 1



ESTASE II

Figure 2: Route et stations de la Campagne ESTASE 2

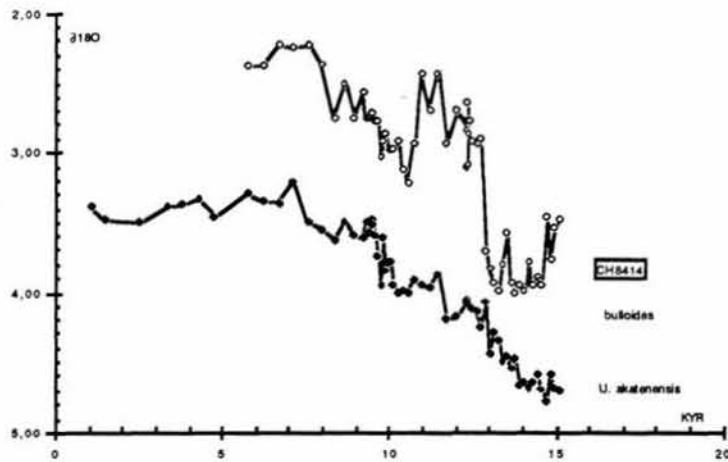


Figure 3: Analyses isotopiques ($^{18}\text{O}/^{16}\text{O}$) des foraminifères benthiques (*Uvigerina Akatenansis*) et des foraminifères planctoniques (*Globigerina bulloides*) de la carotte CH 84-14. Le profil benthique suit essentiellement l'apport d'eau de fonte des glaces continentales (plus pauvres en ^{18}O). Le profil planctonique intègre en plus l'effet du changement de température des eaux de surface (qui change le fractionnement isotopique du carbonate).

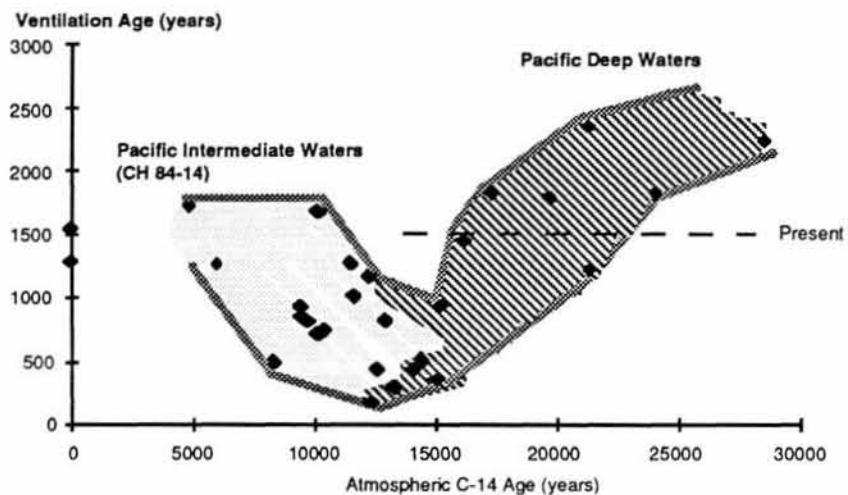


Figure 4: Estimation de l'âge de ventilation des eaux profondes et intermédiaires de l'Océan Pacifique, à partir de la différence des âges ^{14}C mesurés à l'AMS Tandétron sur les foraminifères benthiques et planctoniques, pour deux carottes couvrant les derniers 30 000 ans (CH 84-14 et TRI 163-31B)