

BULLETIN
DU
CENTRE SCIENTIFIQUE DE MONACO

ÉTABLISSEMENT PUBLIC FONDÉ LE 23 MAI 1960
PAR S.A.S. LE PRINCE RAINIER III



ACTIVITÉS SCIENTIFIQUES
DU
LABORATOIRE DE RADIOACTIVITÉ APPLIQUÉE
DE 1960 à 1983

par

Yolande THOMMERET

PRINCIPAUTÉ DE MONACO
Volume 1 - 1985

BULLETIN
DU
CENTRE SCIENTIFIQUE DE MONACO

ÉTABLISSEMENT PUBLIC FONDÉ LE 23 MAI 1960
PAR S.A.S. LE PRINCE RAINIER III



ACTIVITÉS SCIENTIFIQUES
DU
LABORATOIRE DE RADIOACTIVITÉ APPLIQUÉE
DE 1960 à 1983

par

Yolande THOMMERET

Volume 1

Le Centre Scientifique de Monaco a été fondé par Son Altesse Sérénissime le Prince Rainier III, par la Loi n° 690 du 23 mai 1960, complétée par la Loi n° 780 du 9 juin 1966.

Cet établissement public, de droit monégasque, est géré par un Conseil d'Administration, présidé de 1960 à 1976 par Son Excellence Monsieur Arthur Crovetto et depuis par Son Excellence Monsieur César Charles Solamito.

Son activité est examinée périodiquement par le Comité de Perfectionnement, chargé en outre, d'en orienter les travaux, sous la Présidence de Monsieur Emile Girardeau, Membre de l'Institut, jusqu'en 1971 et depuis par Monsieur Bertrand Goldschmidt, Conseiller du Commissariat français à l'Énergie Atomique.

Les appellations employées dans ce Bulletin et la présentation des données qui y figurent n'impliquent de la part du Centre Scientifique de Monaco aucune prise de position quant au statut juridique des pays, territoires, villes ou zones, ou de leurs autorités, ni quant au tracé de leurs frontières ou limites.

© Droits de reproduction et de traduction réservés pour tous pays.

SOMMAIRE

PRÉFACE	5
INTRODUCTION.....	7
I - RADIOACTIVITÉ DE L'ENVIRONNEMENT	9
1. Radioactivité des aérosols.....	9
2. Radioactivité des précipitations	11
3. Radioactivité de l'eau de mer.....	13
4. Radioactivité des sédiments marins.....	15
5. Radioactivité d'espèces d'origine marine.....	15
6. Spectrométrie γ d'échantillons d'origine variée.....	19
7. Spectrométrie α	20
8. Contrôle des rayonnements cosmiques.....	20
II - ÉTUDES RELATIVES A LA MÉTHODE DU CARBONE 14.....	21
1. Études de recherche fondamentale	21
2. Données spécifiques du carbone 14	22
3. Améliorations et innovations technologiques.....	23
III - DATATIONS PAR LE CARBONE 14.....	27
1. Environnement.....	28
2. Océanographie.....	32
3. Pédologie	52
4. Tectonique	52
5. Préhistoire.....	53
CONCLUSION.....	67
LISTE DES ILLUSTRATIONS	69
LISTE DES PUBLICATIONS.....	71

PRÉFACE

En instituant le 23 mai 1960, il y a 25 ans déjà, le Centre Scientifique de Monaco, Son Altesse Sérénissime le Prince Rainier III a tenu à poursuivre l'œuvre de Son bisaïeul le Prince Albert I^{er} et à donner l'occasion à la Principauté de participer à l'action mondiale décidée à la suite de l'appel du Président Eisenhower "Atom for Peace" et à la création de l'Agence Internationale de l'Énergie Atomique pour les utilisations de cette énergie à des fins pacifiques.

Parmi les multiples applications de la physique nucléaire celles concernant la mesure des faibles radioactivités et notamment dans les milieux constituant notre environnement, ont représenté l'activité principale du premier laboratoire du Centre Scientifique.

La décennie précédente ayant été marquée par de nombreux essais nucléaires atmosphériques, il importait de pouvoir suivre objectivement les retombées. Pendant cette même période des chercheurs ont mis au point une méthode pour déterminer l'âge d'échantillons de matières contenant du carbone sous ses différentes formes isotopiques. En effet, l'isotope radioactif du carbone, ¹⁴C, provenant du gaz carbonique de l'atmosphère transite dans les chaînes alimentaires pendant la vie des organismes et cesse d'être renouvelé à la mort de la plante ou de l'animal. Ainsi, sans recourir aux hypothèses des sciences naturelles, la mesure de la radioactivité résiduelle d'échantillons peut déterminer la date de cette mort et permettre de connaître l'âge des prélèvements archéologiques d'où ils proviennent, donc des couches géologiques qui les contiennent.

C'est précisément au moment de la création du Centre Scientifique que Colin Renfrew, Directeur du Département d'Archéologie de l'Université de Cambridge et spécialiste de "l'Âge de Bronze", situe la "révolution du radiocarbone" dans son ouvrage "Before Civilization" paru en 1973 (1): il considère en effet 1960 comme l'année de la "maturité" de la méthode du radiocarbone.

Les résultats de cette méthode remettaient en cause les âges généralement obtenus par des méthodes procédant par comparaisons, faute de disposer d'une chronologie objective historique. Son application suscita au sein de la collectivité scientifique intéressée un enthousiasme compréhensible, qu'aurait certainement partagé S.A.S. le Prince Albert I^{er}, passionné à la fois d'océanographie, d'archéologie et de préhistoire. Cependant cette méthode devait conduire au cours des années soixante à quelques interrogations: alors que les archéologues s'accoutumaient progressivement à la refonte des schémas chronologiques précédemment établis pour tenir compte des radio-datations obtenues, il apparut nécessaire d'apporter à ces dernières quelques corrections pour obtenir une indispensable concordance avec les déterminations d'âges utilisant les anneaux du bois (dendrochronologie). Après de nombreuses et délicates études, le chimiste américain Hans E. Suess a présenté à Monaco en 1967 des abaques destinés à la rectification des résultats des mesures par le radiocarbone pour assurer la correspondance avec les résultats obtenus par la dendrochronologie.

(1) Publié en français en 1983, aux Éditions Flammarion, sous le titre: "Les origines de l'Europe".

Les préhistoriens, les archéologues et les géologues durent repenser, comparer et corriger leurs résultats, notamment pour l'Europe et accepter, par exemple, que des monuments européens soient classés comme plus anciens que leurs "prétendus" ancêtres du Proche-Orient. Il leur fallut refaire des fouilles et obtenir un maximum de datations pour établir ou rétablir leur chronologie. Dans ce contexte, le laboratoire de radioactivité appliquée du Centre Scientifique a daté pour ces chercheurs un grand nombre d'échantillons traités par la méthode au carbone 14 et facilité l'élaboration, la confirmation ou la modification des classifications proposées. Les principaux résultats des datations réalisées à Monaco ont été régulièrement publiés dans la revue spécialisée américaine "Radiocarbon".

Aujourd'hui, les méthodes dont disposent les chercheurs pour dater leurs échantillons se sont multipliées, diversifiées et automatisées. Il est devenu actuellement possible de remonter dans le temps bien au-delà de 35 millénaires (limite d'application de la datation par le radiocarbone). L'activité limitée à la seule méthode du carbone 14 ne pouvait donc pas être poursuivie sans d'importantes modifications aux infrastructures existantes. L'orientation nouvelle que S.A.S. le Prince Souverain a bien voulu donner aux missions du Centre, a accordé la priorité aux études sur l'océanographie et l'environnement.

Il fallait, cependant, que soit dressé le bilan des travaux du laboratoire de radioactivité appliquée dirigé avec dévouement et maîtrise jusqu'en janvier 1981 par Monsieur Jean Thommeret, prématurément enlevé à l'affection des siens. Le mérite de cet important travail revient à Mme Yolande Thommeret, son épouse et collaboratrice qui a su présenter la synthèse de ces travaux, réalisés avec le concours des chercheurs et techniciens du Centre Scientifique (M. Jean Galliot, Mme Gisèle Hugues, M. Jean-Louis Rapaire). Cette présentation détaillée, objet du présent bulletin, témoigne de l'activité et de la participation de Monaco à la recherche scientifique internationale.

Conformément aux orientations données par Son Fondateur, le programme actuel de cet Établissement Public comprend diverses disciplines de l'océanographie et de l'environnement marin, notamment la météorologie, la séismologie, la neurobiologie moléculaire, la biologie, ... qui contribuent à l'étude des pollutions marines. Les travaux correspondants feront l'objet de publications ultérieures.

Les recherches du Centre Scientifique ont pu être progressivement mises en œuvre grâce au travail patient, acharné et passionné, accompli avec discrétion, efficacité, autorité et persuasion par celui auquel S.A.S. le Prince Rainier III avait confié à l'origine la mission de présider aux destinées du Centre pour en assurer le développement. Tous les membres du Conseil d'Administration, du Comité de Perfectionnement, tous les chercheurs et techniciens qu'il a choisis, conseillés, guidés, gardent présent à l'esprit le dévouement avec lequel Son Excellence Monsieur Arthur Crovetto s'est acquitté de cette tâche avec toute son expérience technique, administrative et diplomatique et son amour pour son Pays, la Principauté de Monaco.

Le Président

INTRODUCTION

Le Laboratoire de Radioactivité Appliquée du Centre Scientifique de Monaco a été installé en 1960 dans des locaux mis à sa disposition par le Musée Océanographique [48].

Sous la direction, dès 1960, de Monsieur Jean Thommeret, les activités de ce laboratoire ont été orientées vers les mesures de faibles radioactivités dans les aérosols, les précipitations, l'eau de mer, les sédiments et divers organismes marins ainsi que vers les études et les applications de la "méthode du carbone 14", permettant la réalisation de datations dans les domaines de l'environnement, de l'océanographie, de la pédologie, de la tectonique et de la préhistoire.

Les recherches ainsi développées ont donné lieu à de nombreux travaux pluridisciplinaires en collaboration avec des chercheurs de plusieurs institutions, notamment:

- l'Agence Internationale de l'Énergie Atomique (A.I.E.A.)
- le Bureau de Recherches Géologiques et Minières (B.R.G.M.)
- le Centre National de la Recherche Scientifique (C.N.R.S.)
- Le Commissariat à l'Énergie Atomique (C.E.A.)
- l'Institut Océanographique
- l'Institut de Paléontologie Humaine
- l'Office de Recherches Scientifique et Technique d'Outre-Mer (O.R.S.T.O.M.)
- l'Organisation des Nations Unies pour l'Éducation, les Sciences et la Culture (U.N.E.S.C.O.)
- diverses Universités d'Algérie, du Brésil, d'Espagne, de France, de Grande-Bretagne, d'Israël, d'Italie, du Liban, du Sénégal, de Tunisie, ...

La réalisation de certaines recherches a été facilitée par l'obtention de contrats, plus particulièrement avec des organismes français: C.E.A., C.N.R.S., ...

*
* *

I - RADIOACTIVITÉ DE L'ENVIRONNEMENT

L'un des pôles de recherche du laboratoire de radioactivité appliquée du Centre Scientifique de Monaco [52] a été le contrôle de la contamination radioactive de l'environnement, du milieu atmosphérique au milieu marin. La surveillance s'est développée sur les aérosols, les précipitations, les eaux de mer, les sédiments marins et certaines espèces de la faune et de la flore méditerranéennes locales.

1 - RADIOACTIVITÉ DES AÉROSOLS

1.1. - Radioactivité β

La radioactivité de l'atmosphère a une origine naturelle et une origine anthropique, cette dernière résultant de la contamination de l'atmosphère par les effluents des réacteurs nucléaires et les matières fissiles, les produits de fission provenant des explosions nucléaires.

La radioactivité β globale des retombées des explosions nucléaires atmosphériques dans la biosphère a été mesurée depuis 1960 au laboratoire de radioactivité appliquée, sur des échantillons de poussières, fixées sur filtres par aspiration continue de volumes d'air déterminés. A la station principale de prélèvement située sur la terrasse du Musée Océanographique à 80 m. d'altitude, les prélèvements ont été assurés quotidiennement pendant la période d'intense accroissement de la radioactivité due aux retombées radioactives artificielles mondiales, issues des essais nucléaires militaires dans l'atmosphère à cadence répétée, d'août 1961 à août 1963. L'atténuation de la radioactivité succédant à l'arrêt des plus intenses explosions nucléaires a rendu hebdomadaire, puis mensuelle, la fréquence des prélèvements.

La moyenne mensuelle de la radioactivité β atmosphérique, en 1960, de l'ordre de $2,22 \text{ mBq/m}^3$ ($0,06 \text{ pCi/m}^3$)* a atteint un maximum de 555 mBq/m^3 (15 pCi/m^3) et a retrouvé en 1967 les valeurs de 1960 après l'arrêt des essais nucléaires dans l'atmosphère par les Etats-Unis et l'U.R.S.S. à la suite du Traité de Moscou du 5 août 1963. Après 1964, les variations saisonnières étaient enregistrées de même que les retombées des essais nucléaires chinois décelés, avec un décalage de 2 à 3 semaines, durée du transit depuis l'Extrême-Orient, par une augmentation de l'activité β égalant, en juin 1965, $24,05 \text{ mBq/m}^3$ ($0,65 \text{ pCi/m}^3$), nettement inférieure cependant à celle observée de 1961 à 1964. En 1980, la moyenne mensuelle était de $0,74 \text{ mBq/m}^3$ ($0,02 \text{ pCi/m}^3$) [4].

*Conformément aux recommandations de l'Organisation Internationale de Normalisation (norme ISO 31), à la Directive européenne 80/181/CEE et aux normes françaises AFNOR NF X02-209 et X02-210, l'unité utilisée précédemment pour mesurer l'activité d'une source donnée de rayonnement, le curie (Ci) a été remplacée par une nouvelle unité, le becquerel (Bq) qui est équivalent à une désintégration par seconde.

1 Ci = $3,7 \cdot 10^{10}$ Bq = 37 GBq; 1 Bq = $2,7 \cdot 10^{-11}$ Ci = 27 pCi.

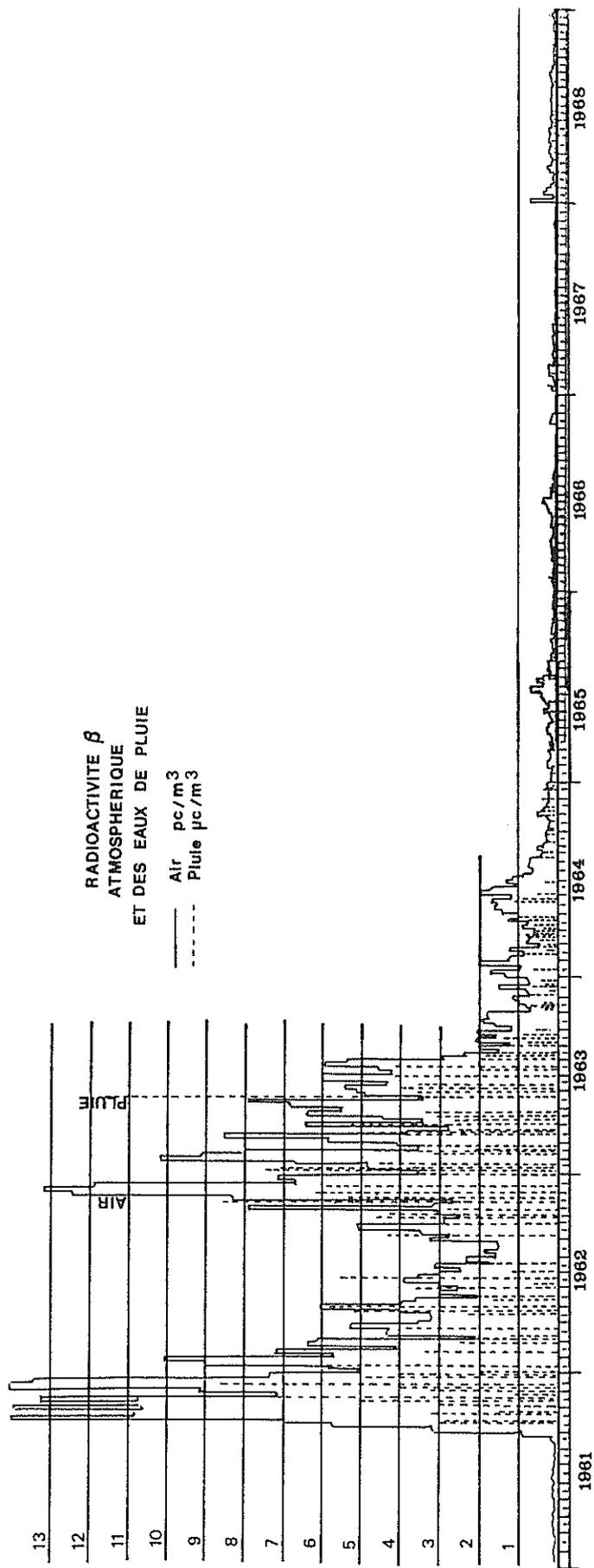


FIGURE 1 - Courbe de la radioactivité β : atmosphère et eau de pluie de Monaco (1961-1968).
Les valeurs de 0 à 13 pCi portées en ordonnée correspondent à des valeurs comprises entre 0 et 481 mBq.

Les fluctuations majeures de la radioactivité β des aérosols résultant des essais nucléaires atmosphériques, de 1960 à 1968, apparaissent nettement dans la figure 1.

1.2. - Radioactivité γ

Les tests nucléaires militaires ont introduit dans l'atmosphère environ 200 espèces de radionucléides de période variant de quelques secondes à plusieurs millénaires. Les analyses β des aérosols, effectuées depuis 1960 au laboratoire, ont été complétées par des examens gammamétriques des condensés groupés. Réalisés à l'aide d'un sélecteur SA 40 associé à un cristal à scintillation NaI (Tl), ces examens ont permis de caractériser les radioéléments régulièrement présents dans les spectres: zirconium et niobium 95, ruthénium 103, ruthénium et rhodium 106, césium 137, baryum et lanthane 140, ou apparaissant avec des intensités notables comme le beryllium 7 à partir de 1966, ou encore de manière discontinue pour le manganèse 54 ou l'iode 131.

Les produits de fission devenaient visibles dans les spectres une dizaine de jours après les essais nucléaires atmosphériques, ceux à vie courte pendant quelques jours, ceux à vie plus longue pendant plusieurs semaines.

Les concentrations des radionucléides décelés ont varié au cours du temps, en fonction des puissances des charges nucléaires, décroissant progressivement jusqu'à atteindre les seuils de détection des appareils utilisés.

2 - RADIOACTIVITÉ DES PRÉCIPITATIONS

2.1. - Radioactivité β

Les explosions nucléaires ont introduit dans l'atmosphère, sous forme d'aérosols submicroniques, une assez grande quantité de produits de fission. Ces aérosols sont capturés par les gouttes d'eau ou cristaux de glace au moment de leur condensation. Ceci entraîne d'une part le nettoyage assez rapide de toute la troposphère où le temps de résidence de ces aérosols ne dépasse pas 40 à 50 jours, d'autre part l'introduction d'éléments utilisables comme traceurs dans les précipitations.

Le contrôle de la radioactivité β des pluies a débuté en 1960 au laboratoire. L'activité β des précipitations recueillies après chaque pluie dans un pluviomètre placé sur la terrasse du Musée Océanographique de Monaco a été mesurée sur les fractions soluble et insoluble. Cette activité β , de l'ordre en 1966 de 1,11 MBq/km² (0,03 mCi/km²), a atteint brusquement, en septembre 1961, une valeur de 53,65 MBq/km² (1,45 mCi/km²) à la suite des explosions nucléaires atmosphériques, avec un maximum en avril 1962, de 321,9 MBq/km² (8,7 mCi/km²), avant de revenir aux valeurs de 1960 après l'atténuation des retombées de ces explosions.

Trois stations: Monaco sur la terrasse du Musée océanographique, altitude 80 m; au Mont-Agel, altitude 1050 m et à Nice au niveau de la mer sur la partie ouest de l'aéroport, étaient équipées de collecteurs de radioactivité artificielle des précipitations atmosphériques liquides (CRAPAL) relevés chaque mois. Ces CRAPAL, faisant partie d'un réseau de stations de prélèvement étendu au monde entier mis en place par le Commissariat à l'Énergie Atomique, permettaient l'étude des retombées sèches et des produits contenus dans l'eau de pluie à l'état dissous ou à celui de suspension. Cette étude a montré que l'intensité des retombées à une station située vers 1000 mètres d'altitude comme celle du Mont-Agel n'était pas systématiquement supérieure à celle d'une station située à basse altitude, à Monaco, soumise aux effets marins, et distantes l'une de l'autre de 6 km à vol d'oiseau.

2.2. - Radioactivité γ

En avril 1962, des pluies caractérisées par une forte teneur en sables et en poussières rougeâtres d'origine africaine avaient des activités particulièrement élevées de l'ordre de 629 Bq/l (17 nCi/l). L'analyse γ des radioéléments de ces pluies indiquait la présence de ¹⁴⁴Ce, ¹⁰⁶Ru, ⁹⁵Zr+⁹⁵Nb. Le lessivage de l'atmosphère par ces pluies fortement chargées de particules solides avait entraîné une chute brutale de la radioactivité β des aérosols. La dimension des gouttes d'eau, plus élevée que celle des aérosols ayant pour effet d'accélérer la chute, faisait paraître en avance les variations de la radioactivité des précipitations sur celle des concentrations des aérosols. Le rôle des précipitations dans le nettoyage rapide de la troposphère était vérifié.

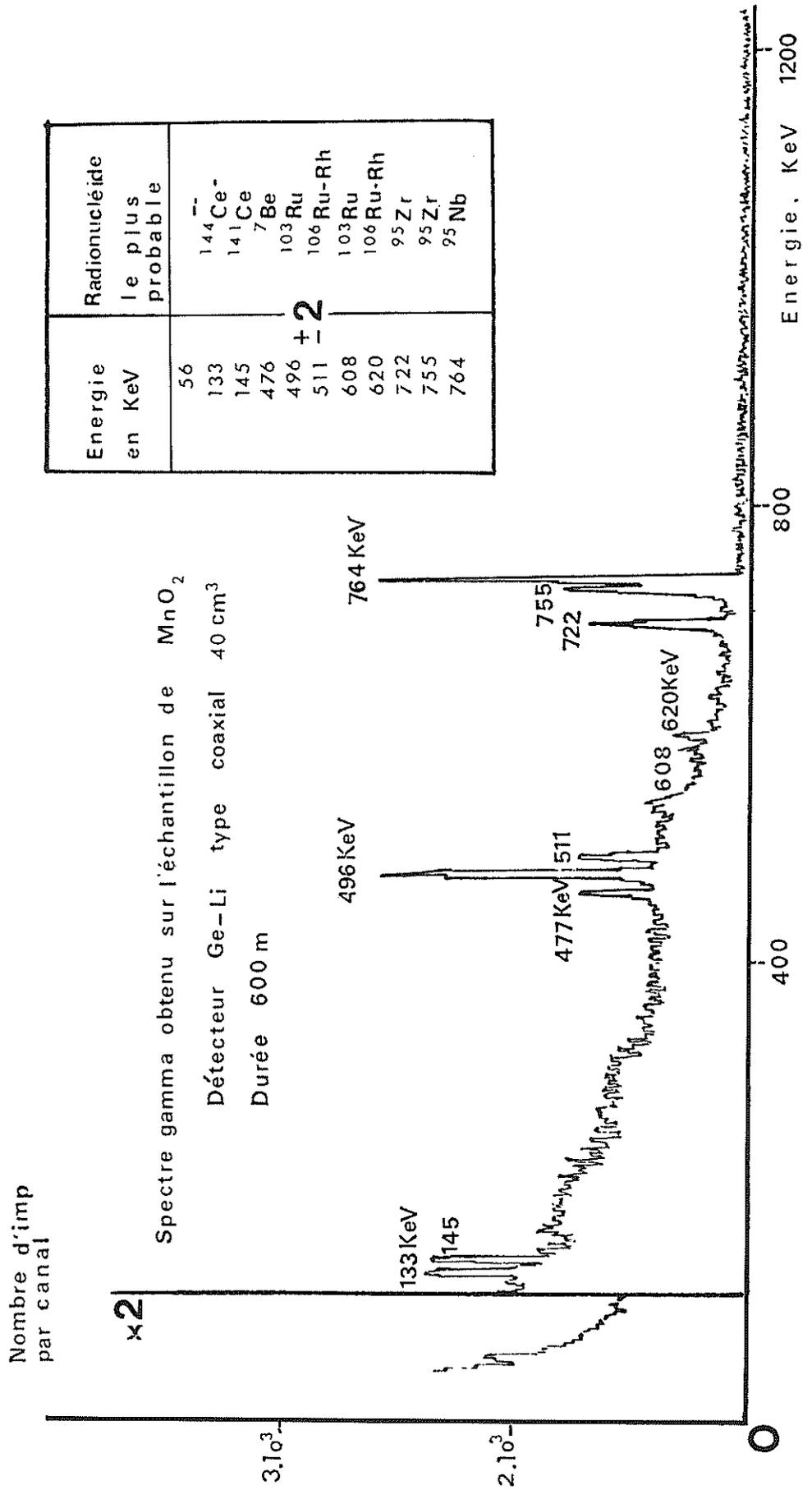


FIGURE 2 - Spectre γ de 200 litres d'eau de pluie récoltés sur la terrasse du Musée Océanographique de Monaco (juin 1969).

A partir de 1963, l'analyse gammamétrique des condensés des précipitations effectuée au laboratoire, par l'acquisition d'un sélecteur SA 40 multi-canaux associé à un détecteur NaI (TI), a révélé l'existence des mêmes radionucléides trouvés dans les aérosols: $^{95}\text{Zr} + ^{95}\text{Nb}$, ^{103}Ru , $^{106}\text{Ru} + ^{106}\text{Rh}$, ^{137}Cs , $^{140}\text{Ba} + ^{140}\text{La}$, le ^{54}Mn se manifestant seulement à partir de juillet 1965.

En 1969, une étude détaillée sur les quantités d'eaux de pluie plus importantes (200 litres) recueillies sur la terrasse du Musée Océanographique de Monaco dans un pluviomètre en acier inox de grandes dimensions a été entreprise par fixation sur le bioxyde de manganèse des radionucléides présents dans les eaux de pluie. Leur analyse par détecteur germanium lithium au laboratoire de métrologie de la radioactivité (C.E.A. de Saclay) a défini les radioéléments présents: ^{144}Ce , ^7Be , ^{103}Ru , $^{106}\text{Ru} + ^{106}\text{Rh}$, $^{95}\text{Zr} + ^{95}\text{Nb}$, [31] (Figure 2).

Une étude comparative de deux méthodes d'identification de ^{137}Cs dans l'eau de pluie, l'une par absorption sur le ferrocyanure de potassium et de cobalt, l'autre par évaporation sous vide a indiqué des teneurs en ^{137}Cs de l'ordre de 44,4 mBq/l (1,2 pCi/l) en novembre 1971.

3 - RADIOACTIVITÉ DE L'EAU DE MER

Le contrôle de la radioactivité de l'eau de mer a été abordé de deux manières:

- par tentative de mesure "*in situ*" au moyen d'une sonde autonome,
- par mesure après traitement au laboratoire de prélèvements d'eau de mer à diverses profondeurs.

3.1. - Essai de détection directe "*in situ*" de la radioactivité γ de l'eau de mer

Une sonde détectrice γ permettant de déceler la radioactivité de la mer jusqu'à une profondeur de 4000 mètres, a été expérimentée en Méditerranée et dans l'Océan Indien pendant la campagne de la Woods Hole Oceanographic Institution sur l'*Atlantis II*, en 1963. Cette sonde autonome, dont la partie électronique a été réalisée par notre laboratoire de radioactivité appliquée et la partie mécanique par l'Office Français de Recherche Scientifique (OFRS), était alimentée par batterie, les informations codées enregistrées sur ruban magnétique restituaient après décodage le spectre gamma de la région de la mer explorée par la sonde. Ces essais effectués en collaboration avec le département d'électronique du CEA ont été poursuivis par le Centre des faibles radioactivités pour les études de l'environnement marin de La Hague (5).

3.2. - Mesure de la radioactivité γ de l'eau de mer

La contamination radioactive de la mer restait faible, même pendant la période des retombées des essais nucléaires, du fait de la sédimentation par les microorganismes entraînant sur les fonds la plus grande partie des produits de fission. Pour mesurer la radioactivité γ il était nécessaire d'opérer sur des volumes importants d'eau de mer selon des méthodes sélectives appropriées aux radioéléments recherchés.

3.2.1. - Extraction du ruthénium, du cérium et du zirconium

L'extraction du ruthénium, du cérium et du zirconium s'effectuait par entraînement et absorption au moyen de bioxyde de manganèse. L'action de l'eau oxygénée sur le permanganate de potassium permet de fixer sur le bioxyde de manganèse obtenu, les radionucléides contenus dans l'eau de mer: le cérium et le zirconium à 100%, le ruthénium de 50 à 100% selon sa forme physico-chimique. Compte tenu des faibles teneurs en radionucléides chaque mesure nécessitait le traitement de 1000 litres d'eau de mer brassés en continu pendant plusieurs jours par fraction additive de 100 litres.

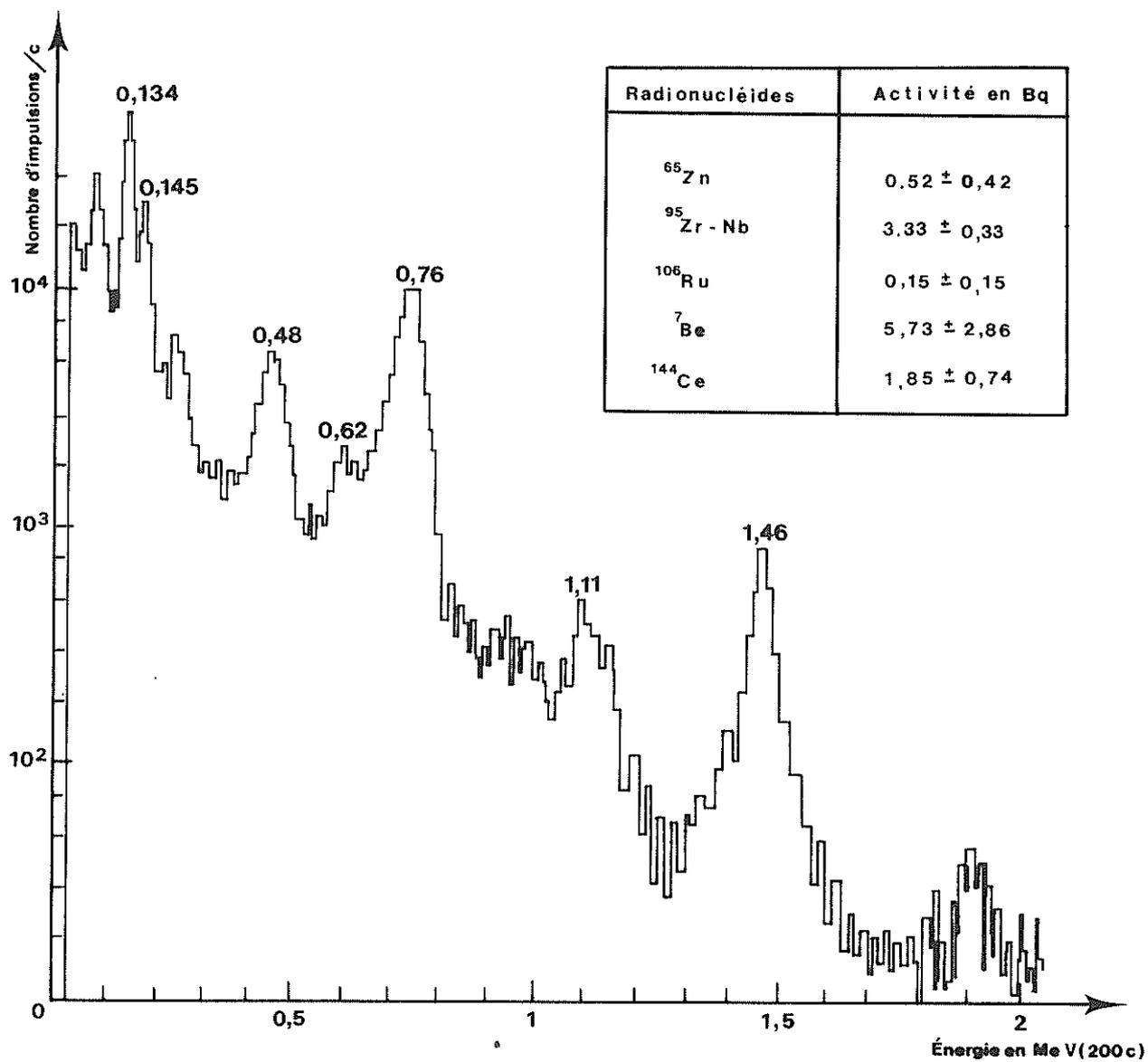


FIGURE 3 - Spectre γ de 1000 litres d'eau de mer prélevés au large de Monaco (juin 1968). Analyse par détecteur Ge-Li (L.M.R. Saclay). Durée 1000 mn.

L'analyse de trois échantillons de 1 000 litres d'eau de mer de surface prélevés en 1968 au large de Monaco avait mis en évidence la présence de $^{95}\text{Zr} + ^{95}\text{Nb}$ ($3,33 \text{ Bq/m}^3 = 90 \text{ pCi/m}^3$), de ^{106}Ru ($0,148 \text{ Bq/m}^3 = 4 \text{ pCi/m}^3$), de ^{144}Ce ($1,85 \text{ Bq/m}^3 = 50 \text{ pCi/m}^3$), ^{65}Zn ($0,518 \text{ Bq/m}^3 = 14 \text{ pCi/m}^3$), ainsi que de ^7Be ($5,735 \text{ Bq/m}^3 = 155 \text{ pCi/m}^3$) identifiés dans les précipitations. Les spectrogrammes γ des eaux de mer superficielles prélevées en 1969 et 1970 au large des côtes de Monaco ne différaient pas de ceux de 1968, les teneurs en radioéléments restant sensiblement analogues (Figure 3).

3.2.2. - Extraction du césium

Par adsorption sur des résines au ferrocyanure de potassium et cobalt, le ^{137}Cs peut être extrait en quantité suffisante par circulation en circuit fermé de 50 à 100 litres d'eau de mer pour une mesure quantitative précise.

L'eau de mer prélevée à 50 km au sud de Monaco en 1971, traitée au $\text{Fe}(\text{CN})_6 \text{ K}_2 \text{ Co}$ avait une teneur en ^{137}Cs de $5,92 \text{ mBq/l}$ ($0,16 \text{ pCi/l}$) pour les tranches d'eau situées entre 300 et 600 m, de $1,295 \text{ mBq/l}$ ($0,035 \text{ pCi/l}$) à 2500 m. La distribution du ^{137}Cs sur un profil vertical d'eau de mer d'une station située à 18 milles nautiques au sud de Monaco décroissait de $7,4$ à $1,11 \text{ mBq/l}$ ($0,20$ à $0,03 \text{ pCi/l}$) entre la surface et 2000 m. Ces résultats montrent la faible vitesse des mouvements verticaux dans ce bassin [49].

4 - RADIOACTIVITÉ DES SÉDIMENTS MARINS

L'analyse radiométrique γ des niveaux superficiels de sédiments prélevés manuellement en 1965, par plongeur à -110 mètres au sud du Cap Ferrat lors de la campagne Précontinent III a montré la présence des éléments des chaînes naturelles et des produits de fission ^{144}Ce , ^{125}Sb , $^{106}\text{Ru-Rh}$ et ^{54}Mn dans les quatre premiers centimètres avec une teneur moyenne en ^{54}Mn de $22,2 \text{ mBq/g}$ ($0,6 \text{ pCi/g}$). Au-delà de ce niveau, il n'apparaissait aucune trace des éléments radioactifs provenant des retombées des séries d'essais nucléaires de 1961 à 1963 [11] (Figure 4).

L'examen gammamétrique des niveaux superficiels de sédiments carottés en 1969 au large de Monaco Roquebrune à -100 et -500 mètres n'a mis en évidence que les éléments des chaînes naturelles: Ur-Th , ^{40}K . Ces mêmes éléments avaient été rencontrés en 1966 à 2300 mètres de profondeur en deux points de la Méditerranée: Bassin ligure et sud-ouest des îles Baléares.

5 - RADIOACTIVITÉ D'ESPÈCES D'ORIGINE MARINE

L'étude du cycle biologique de certaines substances radioactives prévue par le contrat établi dès 1960 entre le Commissariat à l'Énergie Atomique, département de protection, et le Centre Scientifique de Monaco, nous a conduit à contrôler la fixation des pollutions radioactives sur certains échantillons de la flore et de la faune méditerranéennes récoltées sur le proche littoral ou prélevés par le navire océanographique *Winnaretta-Singer*.

Après un inventaire initial des diverses espèces à analyser, et la détermination des espèces plus particulièrement révélatrices des pollutions nous avons suivi l'évolution de la contamination radioactive du milieu marin sur les espèces choisies [2].

L'activité β des échantillons lavés, calcinés dès réception, déterminée au détecteur Geiger-Müller était complétée par une spectrométrie γ , les concentrations en potassium et en sodium étant obtenues au photomètre à flamme sur les cendres solubilisées à chaud en milieu acide.

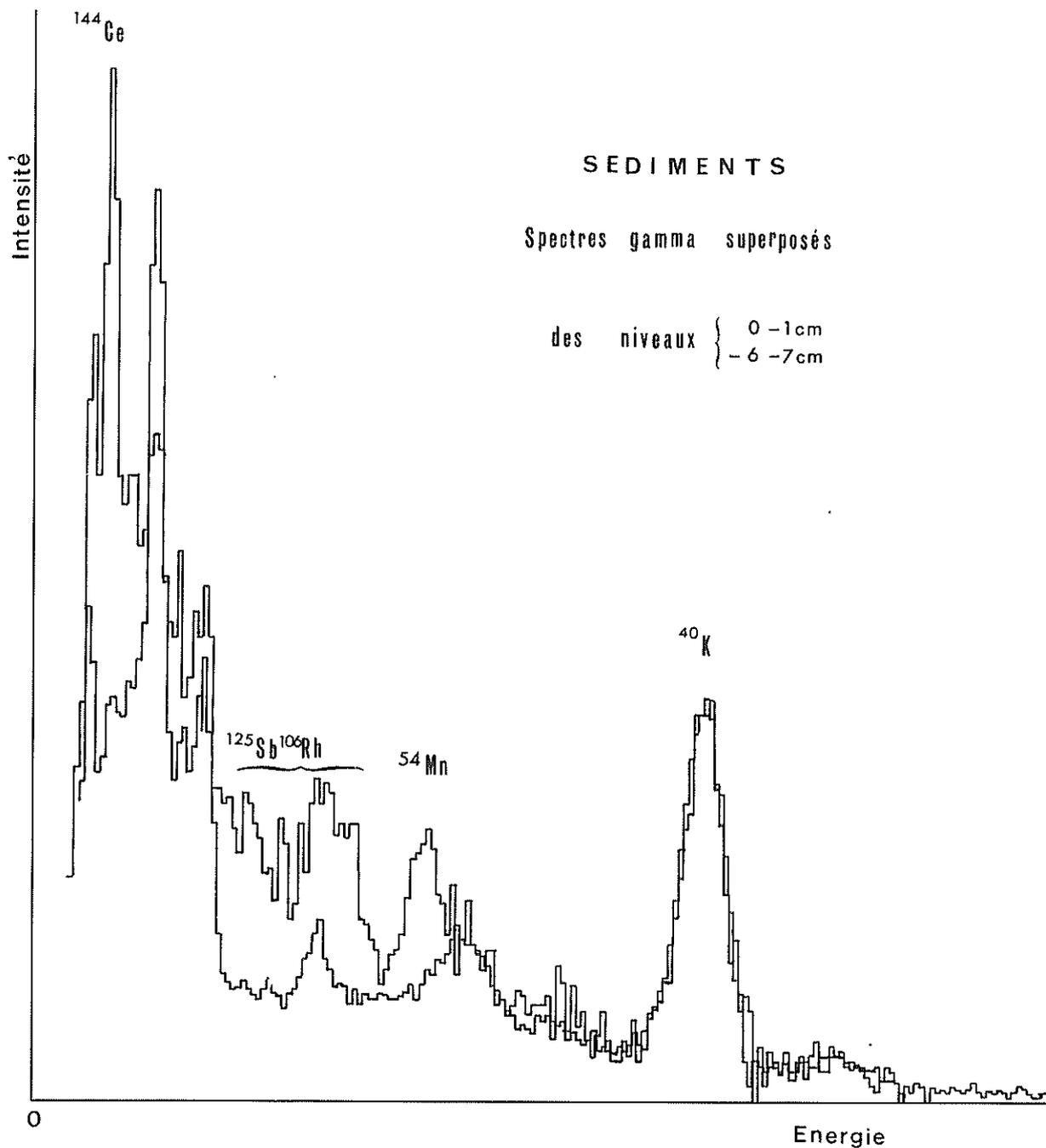


FIGURE 4 - Spectre γ de sédiments marins prélevés au sud du Cap Ferrat, à - 110 m (1965).

La liste des échantillons examinés depuis 1960 est donnée ci-après:

ALGUES	<i>Bryopsis balbisiana</i> <i>Cladophora rupestris</i> <i>Codium bursa</i> <i>Codium tomentosum</i> <i>Cladostephus verticillatus</i> <i>Colpomenia sinuosa</i> <i>Cystoceira stricta</i> <i>Dictyota implexa</i> <i>Dictyopteris membranacea</i> <i>Ectocarpus siliculosus</i> <i>Fucus virsoides</i> <i>Halopteris scoparia</i> <i>Laminaria sp</i> <i>Nemalion helmintoides</i> <i>Padina pavonia</i> <i>Rissolea verruculosa</i> <i>Sphaerococcus coronopifolius</i> <i>Taonia atomaria</i> <i>Ulva lactuca</i> <i>Corallina officinalis</i> <i>Corallina mediterranea</i> <i>Posidonia caulini</i> <i>Posidonia oceanica</i>	MOLLUSQUES	<i>Aplysia depilans</i> <i>Arca noe</i> <i>Chlamys opercularis</i> <i>Eledone aldrovandii</i> <i>Lithophaga lithophaga</i> <i>Mytilus galloprovincialis</i> <i>Patella coerulea</i> <i>Pinna nobilis</i> <i>Octopus vulgaris</i> <i>Sepia officinalis</i> <i>Venus verrucosa</i>
		CRUSTACÉS	<i>Balanus improvisus</i> <i>Meganyctiphanes norvegica</i>
		ÉCHINODERMES	<i>Astropecten aurantiacus</i> <i>Echinaster sepositus</i> <i>Holothuria tubulosa</i> <i>Holothuria spallenzani</i> <i>Luidia ciliaris</i> <i>Paracentrotus lividus</i> <i>Sphaerechinus granularis</i> <i>Stichopus regalis</i> <i>Strongylocentrotus lividus</i>
SPONGIAIRES	<i>Axinella polyploides</i> <i>Calyx nicaensis</i> <i>Hircinia variabilis</i> <i>Hircinia dendroides</i> <i>Hircinia oros</i> <i>Hircinia spinulosa</i> <i>Geodia mülleri</i> <i>Porifera incalcarea</i> <i>Suberites domuncula</i>	TUNICIERS	<i>Ascidia mentula</i> <i>Botryllus schlosseri</i> <i>Halocynthia papillosa</i> <i>Microcosmus sulcatus</i> <i>Phallusia mamillata</i>
CNIDAIRES	<i>Anemonia sulcata</i> <i>Dendrophyllia ramea</i> <i>Eucinella cavolinii</i>	POISSONS	<i>Atherina hepsetus</i> <i>Boops salpa</i> <i>Crenilabrus scina</i> <i>Engraulis encrasicolus</i> <i>Labrus punctatus</i> <i>Mullus surmuletus</i> <i>Sardinella aurita</i> <i>Sargus vulgaris</i> <i>Scorpaena scrofa</i> <i>Thunnus thynnus</i>
BRYOZOAIRES	<i>Retepora cellulosa</i>		
ANNÉLIDES	<i>Hermione hystrix</i> <i>Salmacina sp</i> <i>Spirographis spallanzii</i>		

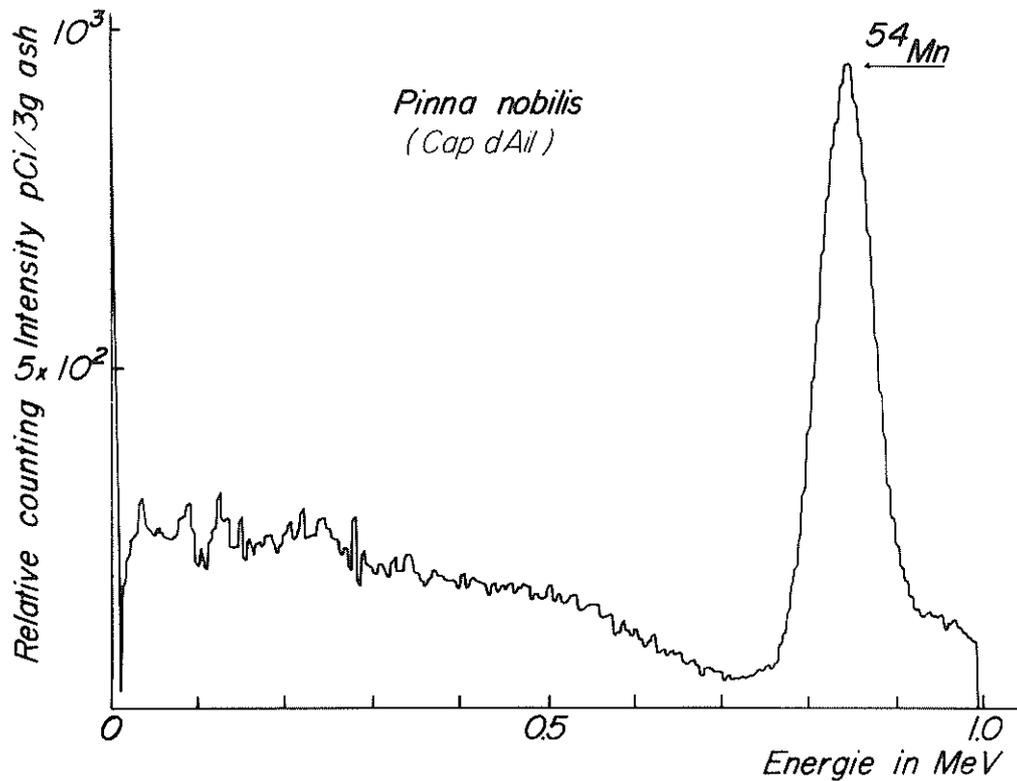
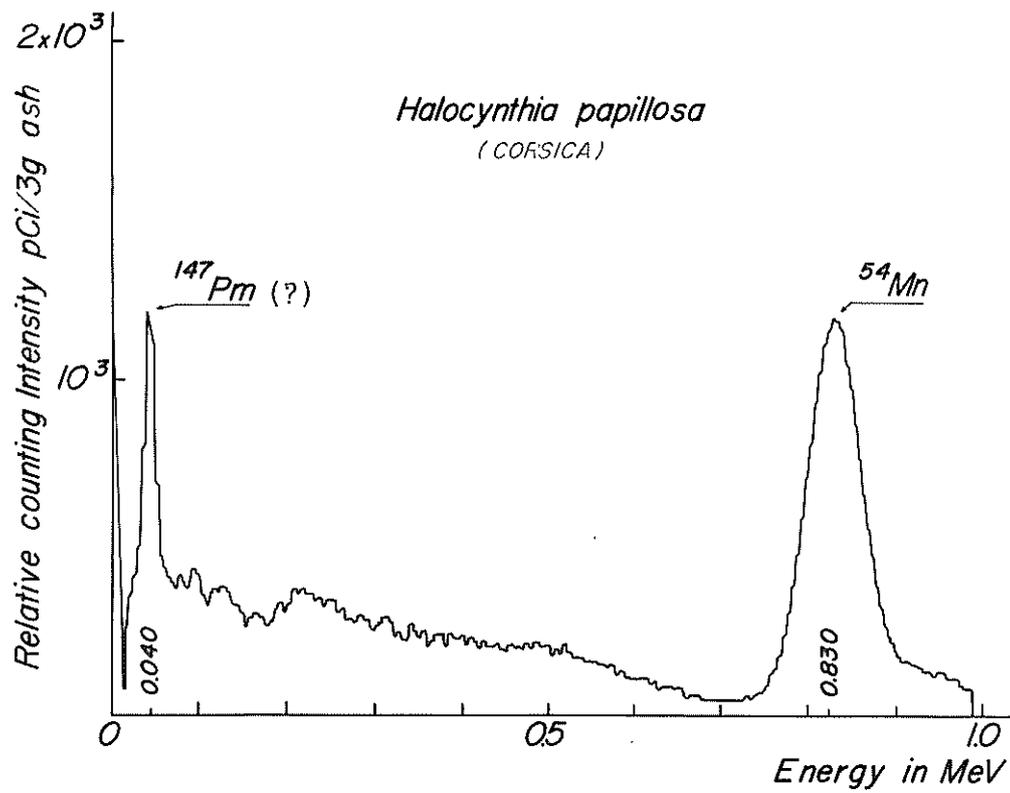


FIGURE 5 - Spectre γ de cendres de *Pinna nobilis* et *Halocynthia papillosa* prélevés à Cap d'Ail (Alpes-Maritimes) et en Corse (1966).

Les radioéléments le plus fréquemment identifiés dans les échantillons analysés étaient: le zirconium-niobium 95, le ruthénium 106, le baryum-lanthane 140, le cérium 144, émetteur gamma d'origine artificielle, avec des variations de concentration selon la période de prélèvement et les espèces considérées. Les activités β les plus élevées ont été observées pendant la période 1962-1968 dans les organismes filtrant l'eau, qui accumulent les radioéléments préférentiellement dans certains organes.

En 1960, une première analyse de l'éponge *Hircinia variabilis* pêchée à -15 mètres sur le tombant de la falaise de Monaco, montrait la présence des chaînes naturelles de l'uranium et des radioéléments suivants: ^{40}K , $^{95}\text{Zr-Nb}$, ^{103}Ru , ^{144}Ce [1]. De même le $^{95}\text{Zr-Nb}$, le ^{103}Ru et le ^{144}Ce étaient discernables dans les phanérogames, *Posidonia caulini*, récoltées en 1961 dans le port de Monaco et à -40 mètres au voisinage de Monaco.

Le manganèse 54 a été trouvé dans les spongiaires, *Porifera incalcarea*, en 1964, *Hircinia variabilis*, en 1965, et en 1966 dans les phanérogames, *Posidonia caulini*, les mollusques, *Pinna nobilis*, les annélides, *Salmacina sp* et *Spirographis spallanzani*, les tuniciers, *Halocynthia papillosa* et les poissons, *Thunnus thynnus*.

Des variations importantes des facteurs de concentration avaient été enregistrées selon les organes d'une même espèce. Ainsi, en 1966, la concentration en ^{54}Mn était trouvée plus élevée dans l'hépatopancréas de *Pinna nobilis* (8,2 Bq/g de cendres = 222 pCi/g) que dans ses autres organes et dans ceux des autres espèces étudiées. Les fortes teneurs en ^{54}Mn , reflet des retombées artificielles atmosphériques, de ces organismes étaient en rapport direct avec une concentration élevée en manganèse élément [23], [30]. (Figure 5).

Le ^{54}Mn était également décelé dans les pancréas et les branchies des *Thunnus* pêchés en Méditerranée au cours de leur migration estivale en août 1966, les contenus stomacaux étaient porteurs de ^{144}Ce et de ^7Be , ce dernier apparaissait avec des teneurs notables dans les aérosols de poussières atmosphériques prélevés au cours des mois de juillet à novembre 1966. Le ^{144}Ce et le ^{65}Zn se retrouvaient à l'analyse dans tous les organes des thons: branchies, cœur, foie, estomac, intestins, pancréas, tissus. Il était d'ailleurs fait mention dans un article du Journal of Radiation Research de la présence de ^{65}Zn dans les tissus des baleines de l'Arctique et de l'Antarctique en 1965.

En 1968, le ^{54}Mn était encore identifié dans le tunicier: *Microcosmus sulcatus*.

En 1979, il était noté que les raies d'émissions γ noyées dans le fond résiduel n'étaient identifiables dans aucun échantillon de la faune examinée, seul apparaissait distinctement le ^{40}K . Dans les algues récoltées sur le littoral environnant, la radioactivité observée provenait du ^{40}K , du ^7Be et du $^{95}\text{Zr-Nb}$. Cette radioactivité, due au lessivage des bordures côtières par les eaux de ruissellement, porteuses de la plus grande partie des retombées atmosphériques rejoignant les eaux du littoral, se trouvait fixée dans les premières zones d'algues où elle était piégée par adsorption et détectable malgré son faible niveau. Il était significatif qu'aucune radioactivité n'était décelée par nos appareils de mesure sur les organismes benthiques (poissons, échinodermes...) sauf pour le rayonnement β global provenant du ^{40}K et des éléments des chaînes naturelles uranium-radium.

Le contrôle des concentrations radioactives des échantillons d'origine marine, révélateur des pollutions radioactives, accentué pendant la période de contamination de l'environnement par les retombées radioactives artificielles, a été ralenti après l'atténuation des effets de ces retombées; les apports radioactifs ayant décriés la détection atteignait les limites de sensibilité de nos ensembles de mesure.

6 - SPECTROMÉTRIE γ D'ÉCHANTILLONS D'ORIGINE VARIÉE

La gammamétrie d'échantillons de la vallée du Var et du littoral voisin a défini les radioéléments présents dans les sédiments d'origines marine, fluviale ou continentale.

L'analyse gammamétrique d'échantillons naturels étudiés, pour le choix de sites de centrales de production d'énergie électrique, a été effectuée à la demande du C.E.A., département de protection du centre de Cadarache, qui en assurait le traitement par ordinateur.

L'osmorégulation et l'évaluation des flux d'entrée et de sortie du sodium chez le *Platycthis flesus*, étudiées par un chercheur du Musée océanographique à l'aide de sodium 24, ont été précisées par les mesures β et γ de notre laboratoire.

Les diverses études relatives à la spectrométrie γ énumérées ci-après, ont été effectuées en collaboration avec le Laboratoire International de Radioactivité Marine de Monaco (L.I.R.M. de l'A.I.E.A.).

Aux travaux de radioécologie du manganèse dans les organismes vivant le long de la côte ligurienne ont succédé des mesures de radioactivité γ et des analyses de potassium et de sodium de nombreux échantillons marins.

Le laboratoire a participé à la première expérience de confrontation méthodologique internationale entre laboratoires, organisée par le L.I.R.M. de Monaco, destinée à tester certaines méthodes de mesure de très faibles intensités de radioéléments rejetés industriellement dans l'eau de mer.

La détermination automatique des radioéléments, à partir de spectrogrammes gamma obtenus sur un détecteur NaI (Tl) à puits, a été réalisée au moyen d'un petit ordinateur par la méthode des moindres carrés [25]. Elle a permis d'obtenir les valeurs absolues de la composition d'un mélange de plusieurs nucléides connus (trois maximum), jusqu'à des teneurs inférieures à 0,37 Bq (10 pCi) [26].

Un programme en langage Fortran pour ordinateur IBM 1130, a été mis au point pour le dépouillement rapide de spectres γ obtenus avec un détecteur Ge-Li [51].

7 - SPECTROMÉTRIE α

La datation des sédiments, par la mesure du déséquilibre radioactif des constituants des séries radioactives naturelles: uranium-thorium, de période $1,62 \times 10^5$ ans, a été tentée au moyen d'une chambre α mise temporairement à la disposition du laboratoire.

8 - CONTRÔLE DES RAYONNEMENTS COSMIQUES

L'expérience de contrôle des rayonnements cosmiques, mise en place sur la terrasse du Musée Océanographique en février 1961, pour suivre les variations éventuelles du flux cosmique lors de l'éclipse totale de soleil du 15 février 1961 à 8h35, n'a présenté, conformément à ce qui était attendu, aucune variation dans les enregistrements.

*
* *

II - ÉTUDES RELATIVES A LA MÉTHODE DU CARBONE 14

Orienté dans le domaine des faibles radioactivités, le laboratoire a abordé des études faisant appel à la méthode du carbone 14. Cette méthode, qui apporte le cadre chronologique indispensable à diverses disciplines scientifiques, a nécessité des mises au point concernant:

- 1) la recherche fondamentale,
- 2) les données spécifiques du ^{14}C ,
- 3) les améliorations et innovations technologiques.

1 - ÉTUDE DE RECHERCHE FONDAMENTALE

Au cours de nos travaux, des divergences d'âge de coquilles de types divers provenant de mêmes niveaux sont apparues. Cette anomalie nous a conduit à entreprendre des recherches sur la validité des matériaux soumis à datation par le carbone 14. Afin de définir sur quels types de coquilles les résultats étaient fiables et de déterminer l'origine des divergences, nous avons entrepris des séries de mesures sur des coquilles soit provenant de même site et de même couche, soit ayant subi au laboratoire des traitements modulés, soit appartenant à des animaux récoltés vivants, d'origine variée. Ces recherches étaient complétées par des examens roentgénéographiques et de microscopie analytique. Des études microstructurales associées à des analyses ioniques effectuées sur des tests coquilliers de divers types ont montré que les datations aberrantes vont de pair avec des recristallisations locales *ante* ou *post-mortem* [45].

L'accent a été mis sur l'action du milieu d'origine sur les calcaires biogéniques à dater selon la texture de leur réseau cristallin et la nécessité de tenir compte de ce facteur possible de contamination antérieure.

Au cours de leur vie, les coquilles (terrestres ou lacustres) peuvent avoir vécu dans un biotope ne reflétant pas la concentration du ^{14}C du milieu atmosphérique. Ainsi les mollusques dulcicoles (Anadontidés, Pulmonés) peuvent avoir un âge faussé par l'introduction d'une quantité de carbone plus jeune ou plus vieux que celui du milieu atmosphérique contemporain de leur période de vie.

Après la mort, des échanges de carbone peuvent survenir si le carbonate de calcium des coquilles n'est pas exclusivement constitué d'aragonite, qui est stable et rend les coquilles aptes à la datation. Il peut exister dans les coquilles deux sortes de réseaux: aragonite et calcite, celle-ci, probablement par une perméabilité de sa maille cristalline, peut échanger ses atomes de carbone avec ceux provenant d'un milieu liquide, en quantité non évaluable, (les échanges gaz-liquide sont rapides, les échanges liquide-solide très lents). L'analyse ^{14}C d'un tel matériau donne un âge apparent non représentatif. Cette propriété nécessite des contrôles roentgénéographiques dans les cas limites.

En précisant, par ailleurs, les types de coquilles marines inaptes à la datation ^{14}C : *Ostrea*, *Chlamys* ... par exemple (28), nous avons défini les meilleures conditions de conservation *in situ* et pu conclure que les coquilles marines demeurées immergées dans leur milieu ont un âge ^{14}C correspondant à leur âge réel (6), (10). Les coquilles marines dont les carbonates ont subi des échanges *post mortem* en milieu terrestre, avec une altération de l'équilibre $^{12}\text{C}/^{14}\text{C}$ par percolation, peuvent présenter d'importantes variations d'âge. Ainsi nous avons montré par l'analyse de fractions successives d'une même coquille de *Spondylus gaederopus* extraite d'un niveau terrestre de +16 mètres, où elle était demeurée après une variation du niveau de la mer, que les âges de ces diverses fractions s'échelonnent de 4500 à 35000 ans BP [8], [78].

L'analyse radiométrique de coquilles d'eau douce (*Anodonta anatina* Linné) récoltées vivantes dans le lac d'Annecy illustre un échange isotopique *in vivo*. Les *Anodonta* déficientes en ^{14}C ($\delta^{14}\text{C}\text{‰} = -62$) par rapport à l'eau du lac ($\delta^{14}\text{C}\text{‰} = +113$), assimilant un carbone ancien de leur environnement biologique, ne peuvent être utilisées comme indicateur temporel fiable [6].

Des différences, parfois notables, entre les âges de coquilles terrestres (*Helix*) et des charbons d'escargotières africaines ont montré l'importance du milieu; les percolations d'eau favorisant les échanges isotopiques au sein des coquilles, cause des écarts entre les âges ^{14}C et les âges réels [32].

La conservation des échantillons après prélèvement a soulevé le problème d'une possible contamination. Nous avons montré qu'aucune altération n'est induite par stockage en flacon de verre. Des prélèvements de charbons de bois du Paléolithique de l'abri Alain en Algérie, effectués en 1929 et conservés sous verre, avaient un âge de 12600 ans BP analogue à celui de charbons de bois extraits en 1979 des mêmes niveau et site.

Des échantillons d'âge calendaire connu avec précision (1749-1750 de notre Ère) et datés à 5 ans près ont servi de contrôle à nos méthode et installation.

* *

La connaissance de la dynamique de la matière organique en milieu océanique a été abordée par essai de détermination des teneurs en ^{14}C de la matière organique de l'eau de mer et des sédiments du delta du Rhône. Cet essai s'est heurté aux difficultés techniques de traitement de très grandes quantités d'eau de mer, la concentration en matière organique étant faible dans la mer ainsi que dans les sédiments.

* *

Dans une participation élargie, nous avons collaboré à des mesures d'intercalibration d'échantillons de bois, de charbons de bois et d'autres matériaux carbonés établissant l'efficacité et la fiabilité des méthodes de préparation et de mesures mises au point par le laboratoire. Nous avons également participé avec les laboratoires français, belges et polonais à l'intercalibration d'un sous-standard de l'étalon ^{14}C actuel de l'acide oxalique, antérieurement distribué par le National Bureau of Standards (NBS) des États-Unis. Ce sous-standard a été obtenu à partir d'un bois de tremble de 1964 matérialisant la teneur maximum de carbone 14 introduit artificiellement dans l'atmosphère par les explosions nucléaires.

Une comparaison des méthodes de datation par des approches très différentes: carbone 14-racémisation des acides aminés, a été entreprise avec des chercheurs des Universités de Lyon et de Marseille, renforcée par des analyses de chromatographies gazeuse et liquide, d'électrophorèse, d'analyse thermique différentielle et de diffraction aux rayons X. Elle a révélé certaines difficultés opératoires liées à la cinétique de la racémisation des acides aminés, en particulier l'acide aspartique dont le taux de racémisation est le plus rapide [88].

2 - DONNÉES SPÉCIFIQUES DU CARBONE 14

Avec les laboratoires de datation de Gif et de Lyon, nous avons diffusé les conventions d'expression des dates ^{14}C prises à l'échelle internationale au cours des conférences de radiocarbone [53].

L'usage des tables de calibration des dates ^{14}C par comparaison avec les observations dendrochronologiques ainsi que la conversion en dates calendaires a été porté à la connaissance des utilisateurs par deux publications [100], [103]. Les corrections des dates ^{14}C en fonction des données dendrochronolo-

giques permettent d'exprimer en années réelles les âges radiométriques et de lever certaines ambiguïtés d'emploi de ceux-ci dans la détermination de cultures isothermales.

En conformité avec les conventions internationales des laboratoires de radiocarbone, toutes les dates de ce mémoire sont exprimées en âge ^{14}C , calculés avec la période du ^{14}C égale à 5 568 ans, l'an 1950 de notre Ère étant l'année de référence 0. Aucune correction isotopique de ^{13}C , ou dendrochronologique n'est introduite dans le calcul.

3 - AMÉLIORATIONS ET INNOVATIONS TECHNOLOGIQUES

3.1. - Chimie

L'amélioration des modes de préparation des échantillons à dater, a été l'un des objectifs poursuivis de manière à réduire le nombre et la durée des opérations et à s'affranchir des contaminations.

La précipitation des solutions de baryte par le CO_2 issu des combustions d'échantillons carbonés ou par action d'acide en milieu de gaz neutre sur des tests coquilliers est une opération longue et minutieuse. Nous avons mis au point une méthode nouvelle d'extraction directe, pour éliminer, au cours des lavages, l'altération possible du BaCO_3 par le gaz carbonique ambiant. Les coquilles pulvérisées, après nettoyage aux ultras-sons et à l'acide dilué, délivrent, par attaque à l'acide phosphorique sous vide dans un évaporateur rotatif, en bout de chaîne le CO_2 à dater; l'eau de la réaction est retenue dans des pièges refroidis à -50°C . De même, la combustion sous courant d'oxygène des échantillons carbonés (bois, charbon de bois, os, tourbe, ...) fournit après purification dans des barboteurs retenant les halogénures et autres impuretés, le CO_2 dans des pièges à -120°C (Figure 6).

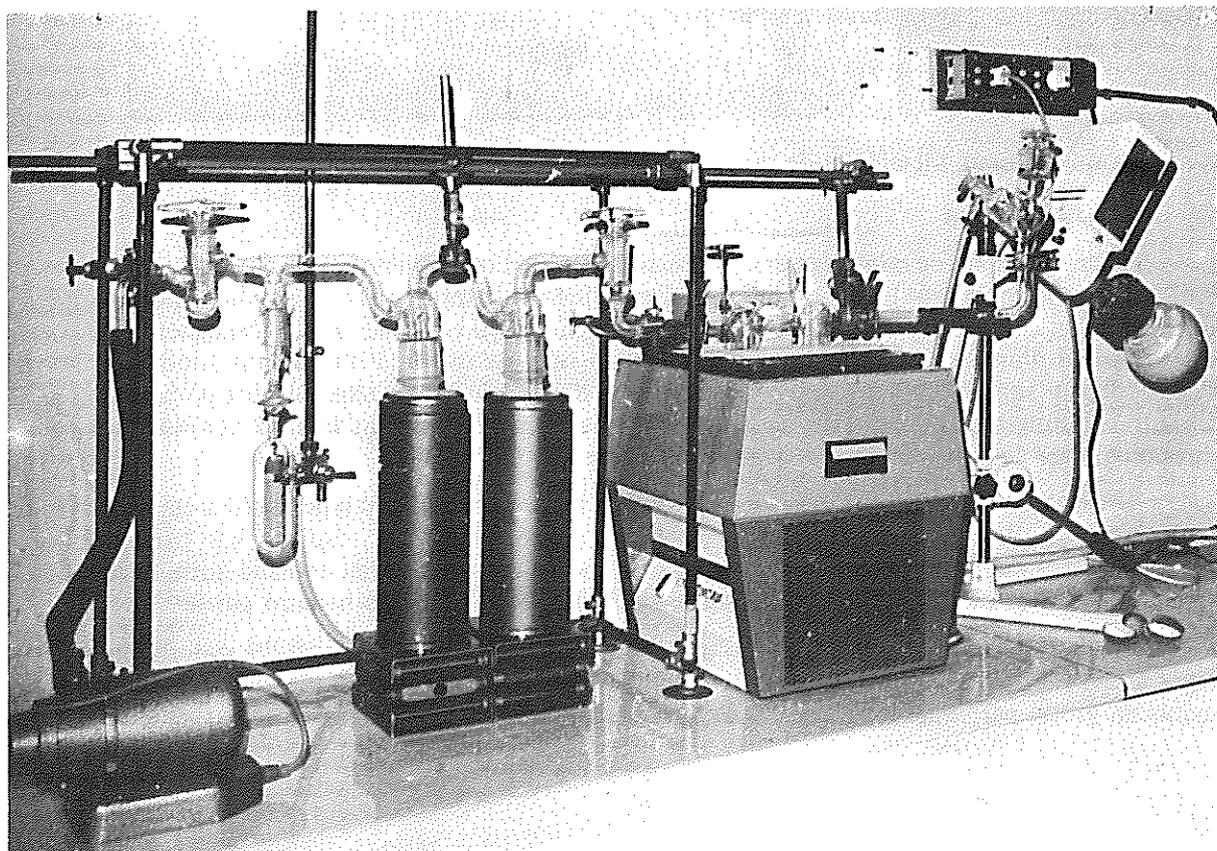


FIGURE 6 - Ensemble d'extraction sous vide du CO_2 des échantillons à dater par ^{14}C .

Une autre amélioration a porté sur la méthode de purification ultime des échantillons à dater. Un banc de chimie entièrement métallique construit au laboratoire en 1977, éliminait les problèmes liés à l'utilisation de verrerie graissée. Les purifications du CO_2 s'obtenaient sous vide secondaire par adsorption sur alumine très pure (Figure 7).

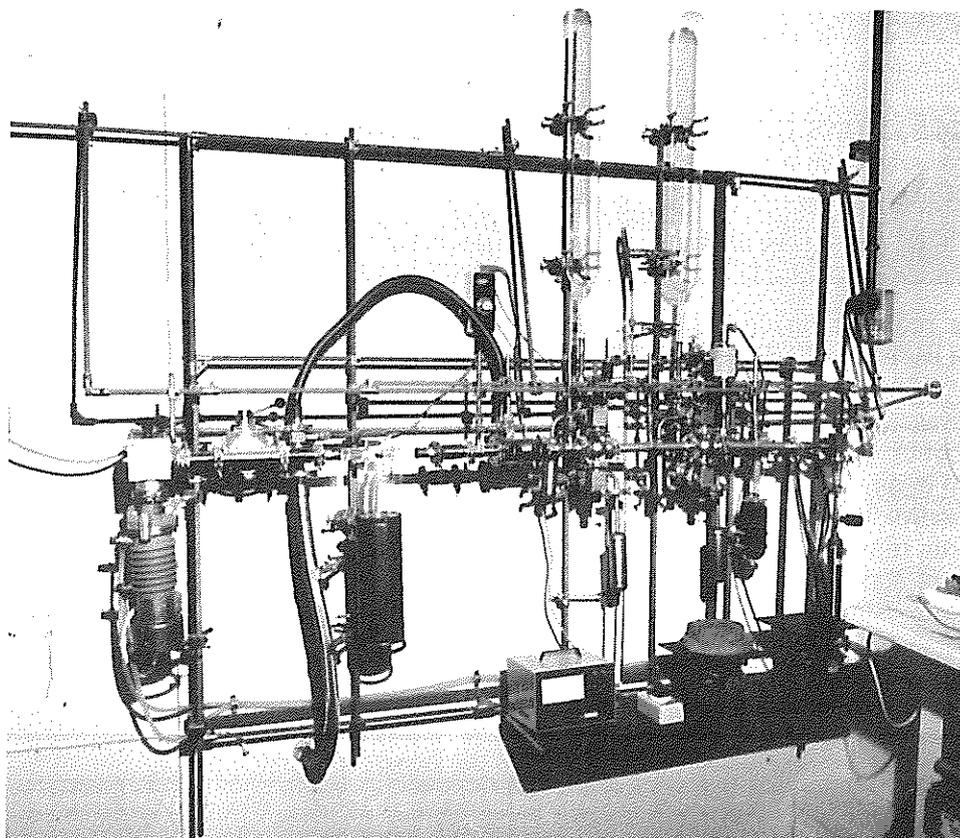


FIGURE 7 - Banc métallique de purification du CO_2 extrait des échantillons à dater par ^{14}C .

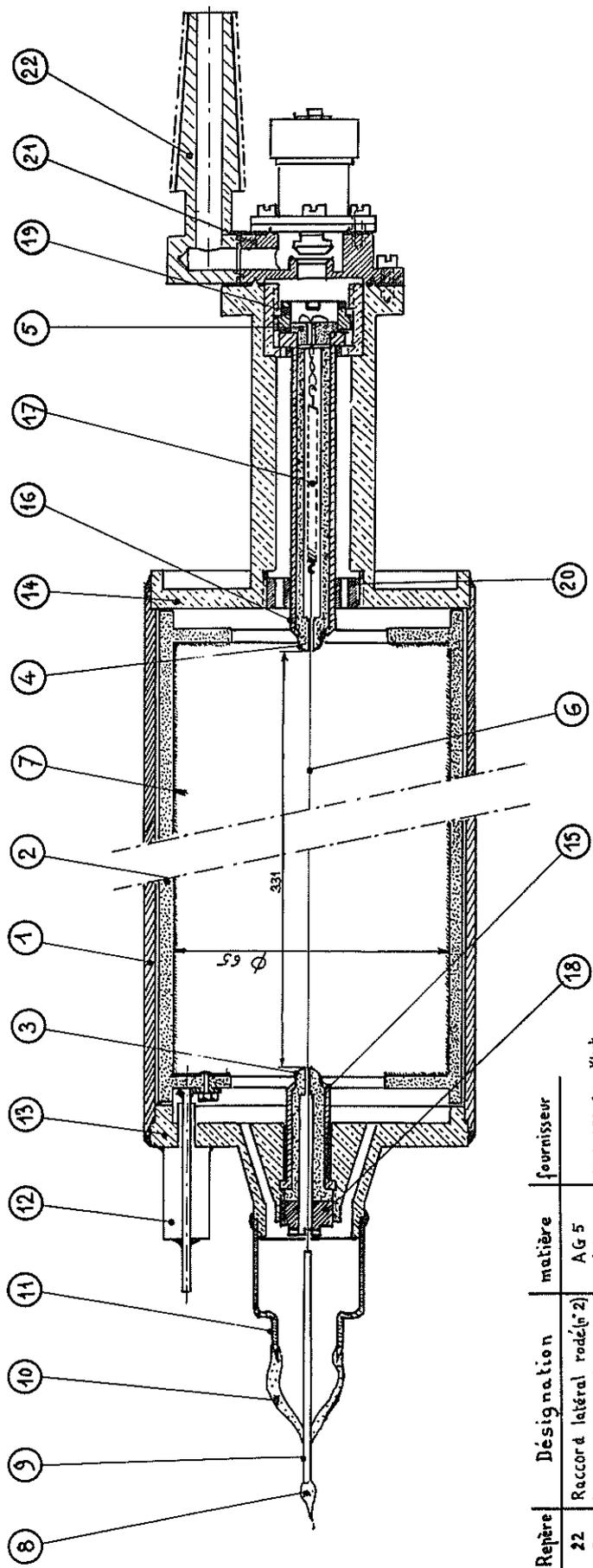
3.2. - Électronique

Un ensemble de comptage et d'impression automatique utilisé pour la datation ^{14}C a été construit au laboratoire en 1964 [14]. Il comprenait des chaînes de comptage et d'impression transistorisées à affichage et un compteur proportionnel de type nouveau conçu et réalisé par J. Thommeret. Ce compteur constitué d'une coque métallique doublée d'un tube de quartz à revêtement anodique d'oxyde d'étain (déposé sur le quartz par vaporisation à 500°C d'une solution de tétrachlorure d'étain) doté d'un fil central en tungstène doré pour la haute tension, possède un faible bruit de fond, qui étend les limites chronologiques de l'installation de comptage (Figure 8).

Un autre ensemble de mesure disposant de trois compteurs du type décrit a été mis en fonctionnement en 1970 à partir d'éléments RENATRAN, avec sortie des résultats sur bande perforée permettant le traitement immédiat des données numériques par ordinateur. Une autre installation à monocompteur et modules NIM accroissait en 1977 nos possibilités de mesure par le ^{14}C .

Le mouvement propre résiduel d'un ensemble de datation ^{14}C a été étudié sous différents blindages et avec des compteurs à enveloppe de cuivre ou d'acier. Un bruit de fond plus faible peut être acquis en grotte par suppression de la composante nucléonique du rayonnement cosmique [12].

*
* *



Reptère	Désignation	matière	fournisseur
22	Raccord latéral rodé (n° 2)	AG 5	SOMEREC. 8 rue Kléber 57010 Colmar
21	Microvanne (carte) type ESP	AG 5	
20	Pièce de centrage perle "C"	Cu électr.	
19	Vis de blocage perle "C"	"	
18	Vis de blocage perle "C"	acier	Labretaire
17	Ressort de tension du fil	Cu électr.	
16	Gaine de la perle "C"	"	
15	Gaine de la perle "C"	"	
14	Flasque d'extrémité	"	
13	Flasque d'extrémité	"	
12	Passage fil. (soudé à l'étain)	céramique-métal	STEMAG (cote) 25, rue de Lille 75 Paris 14
11	Manchon soudé étain	Kovar	
10	Raccord verre-Kovar	verre sp.	
9	Passage tubulaire fil fil	Kovar	
8	Brasure du fil (Argent)	AB	
7	Dépot anodique conducteur	SnO ₂ vap.	
6	Fil : diamètre 22/100	W. born.	
5	Perle d'arrêt du fil	Quartz modifié	Ø # S. 49 rue Poliveau 75 Paris 14
4	Perle isolante longue "P"	"	
3	Perle isolante courte "C"	"	
2	Chemise interne	"	
1	Enveloppe tubulaire ext.	Ni électroformé	Société. C.E.P. 65 Thiers

FIGURE 8 - Compteur proportionnel à faible bruit de fond pour les mesures ¹⁴C.

III - DATATIONS PAR LE CARBONE 14

Le second pôle de recherche du laboratoire a été l'utilisation du radiocarbonate pour les datations.

Parallèlement aux mises au point et améliorations apportées à la méthode du carbone 14 afin de satisfaire aux exigences d'une chronologie précise, nous avons, à partir de 2500 échantillons environ, appliqué cette méthode, pouvant dater jusqu'à 35000 ans, aux divers domaines suivants:

1 - ENVIRONNEMENT

Pour l'étude:

- du transfert du CO₂ dans les réservoirs atmosphérique et marins,
- du ¹⁴C de centrales nucléaires,
- des teneurs en ¹⁴C de la flore et de la faune marines locales,
- des herbiers de posidonies méditerranéens,
- du paléoenvironnement.

2 - OCÉANOGRAPHIE

Pour l'étude:

- des variations du niveau marin des 35 derniers millénaires,
- de la chronostratigraphie des sédiments quaternaires méditerranéens sur les plateaux continentaux, dans les deltas, les lagunes littorales, les grottes sous-marines, les grands fonds.

3 - PÉDOLOGIE

Pour l'étude:

- des acides humiques de sols de montagne,
- de la matière organique dans les sols exotiques.

4 - TECTONIQUE

Pour la détermination:

- de la succession chronologique de certains évènements tectoniques.

5 - PRÉHISTOIRE

Pour la détermination:

- des âges des civilisations du Paléolithique à l'Âge du Fer de sites préhistoriques.

1 - ENVIRONNEMENT

1.1. - Réservoirs atmosphérique et marins

Le cycle du carbone 14 dans les divers réservoirs atmosphérique et océaniques (superficiel et profonds) a été étudié pour connaître le régime de transfert du gaz carbonique dans les milieux air-océan.

1.1.1. - Réservoir atmosphérique

La teneur en ^{14}C atmosphérique a subi des variations d'origine anthropique: d'une part, un appauvrissement dû à l'utilisation à l'échelle industrielle de combustibles fossiles à la fin du siècle dernier (effet Suess), d'autre part un enrichissement notable par l'introduction de grandes quantités de ^{14}C artificiel par les explosions nucléaires atmosphériques de 1961 à 1963.

Pour cette étude du réservoir atmosphérique, la teneur en ^{14}C a été régulièrement mesurée au laboratoire de 1962 à 1982. Cette teneur a atteint un maximum de 954‰ (exprimé en $\delta^{14}\text{C}$) en mai 1964, par l'effet à retard de la dispersion dans l'atmosphère du ^{14}C artificiel des essais nucléaires. Elle a décliné régulièrement, avec de faibles variations saisonnières jusqu'à une valeur de 300‰ en 1982. Cette évolution apparaît sur la figure 9.

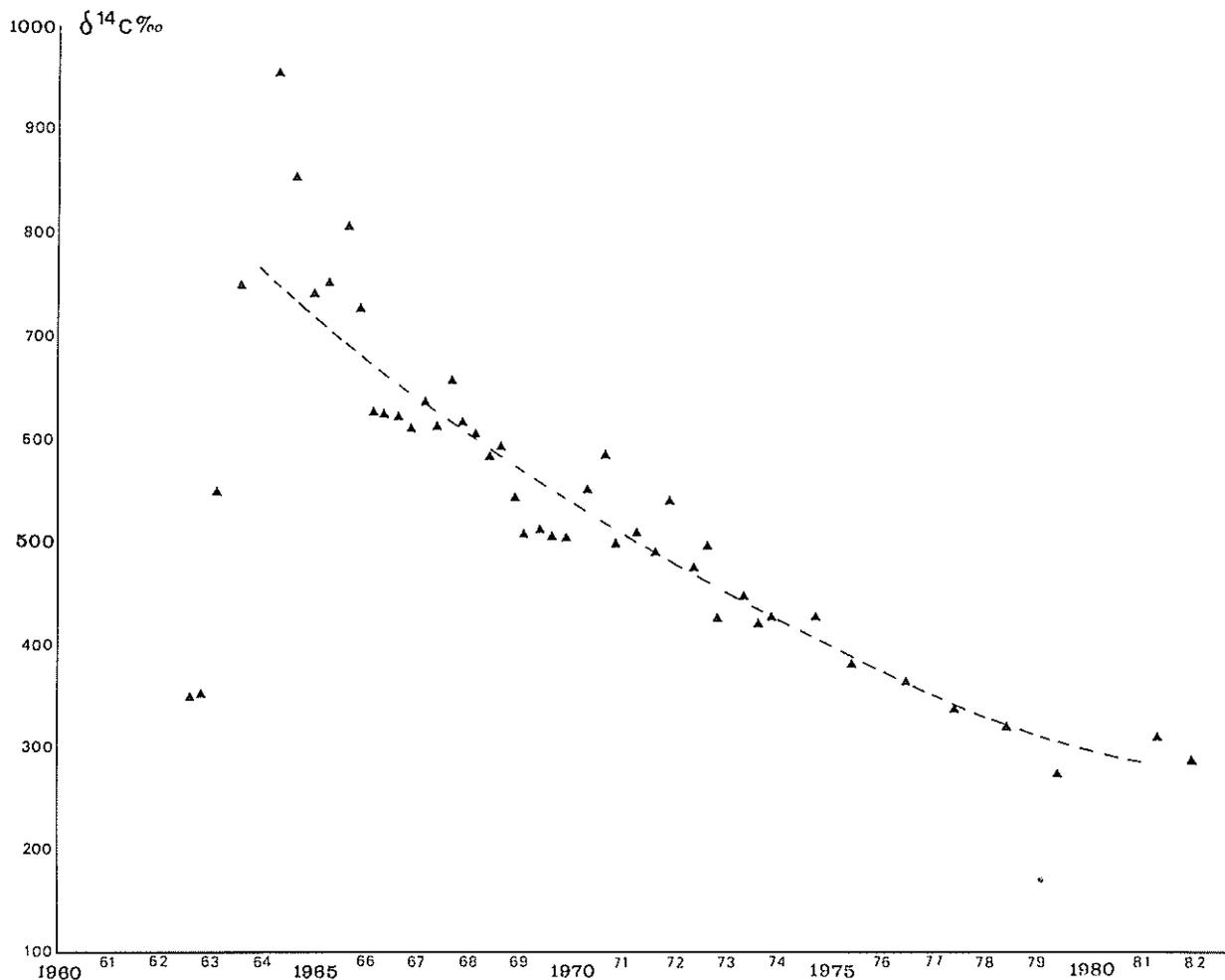


FIGURE 9 - Variations de la teneur ^{14}C de l'atmosphère: Monaco (1962-1982).

Le traitement statistique des résultats de nos mesures au cours des deux dernières décennies a permis d'évaluer à 12 ans la période de décroissance du ^{14}C atmosphérique artificiel, valeur qui correspond bien à la mesure du temps de réponse du cycle du carbone aux perturbations atmosphériques. Le retour aux teneurs en ^{14}C antérieures aux explosions nucléaires, calculé d'après nos données expérimentales, est prévu entre 1995 et 2010 [105].

1.1.2. - Réservoirs marins

Le ^{14}C a été utilisé comme traceur pour évaluer le temps de résidence du carbone dans les réservoirs marins superficiel ou profonds et les mouvements des masses d'eau, en Méditerranée et dans l'océan Indien.

1.1.2.1. - Méditerranée

Il a été montré au laboratoire que les concentrations en ^{14}C de profils verticaux d'eaux de mer prélevées de 1962 à 1979, en Méditerranée au centre du bassin nord ligure, de 0 à 2 500 mètres, décroissent régulièrement de la surface à 1 500 m. En 1979, les teneurs en ^{14}C atteignaient une valeur constante au-dessous de 1 500 m, comparable à celle précédant les essais nucléaires. La lenteur des mélanges verticaux, déjà observée par des études parallèles sur le même bassin à l'aide du ^{137}Cs comme traceur, a été mise en évidence (49). Le temps de renouvellement de l'eau du bassin ligure est, d'après nos mesures, supérieur à dix ans (63). La teneur en ^{14}C des profils verticaux de ce même bassin, mesurée à cinq années d'intervalle permet d'évaluer à 1% environ l'enrichissement annuel pour la zone de mélange comprise entre la surface et 500 mètres (Figure 10).

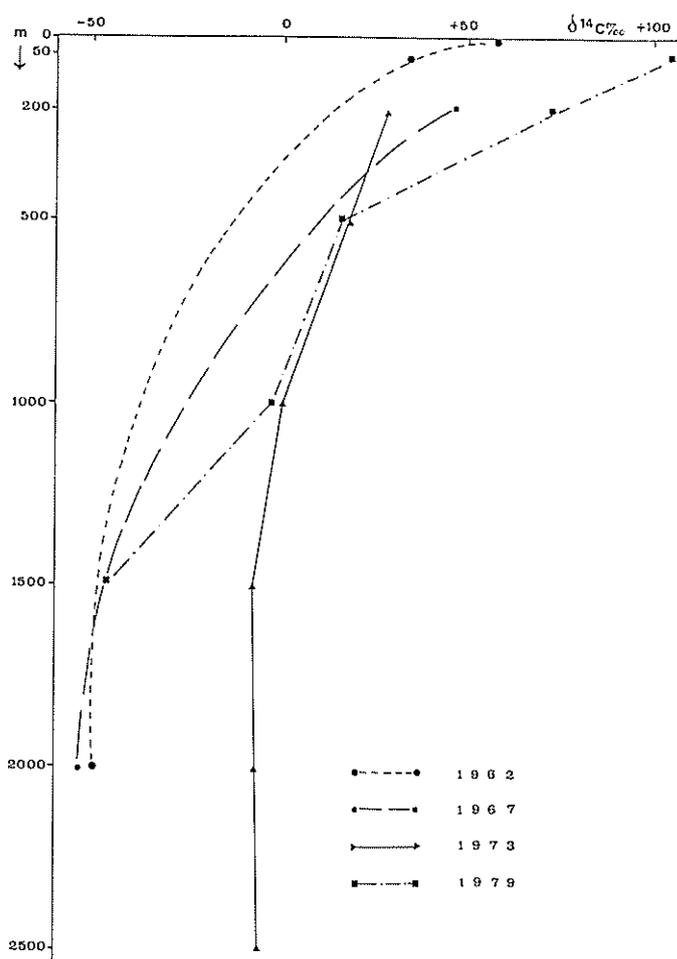


FIGURE 10 - Variations de la concentration ^{14}C de l'eau de mer de Méditerranée occidentale - Centre du bassin nord-Ligure (1962-1979). Profils verticaux 0 à 2500 m.

Au-dessous de 500 mètres, une teneur en ^{14}C stable, ou à très lente évolution, indique que les eaux profondes de la Méditerranée répondent avec retard aux augmentations de concentrations isotopiques injectées artificiellement à partir de 1961 dans le réservoir atmosphérique et restent à une concentration ^{14}C moyenne inférieure à celle de l'air en 1950 [104].

1.1.2.2. - Océan Indien

Les teneurs en ^{14}C d'eaux de mer prélevées dans la mer d'Oman, entre 0 et 4 500 mètres par le N.O. *Atlantis II* au cours d'une campagne océanographique de la Woods Hole Oceanographic Institution en 1963, ont été mesurées. Le $\delta^{14}\text{C}\text{‰}$ positif des eaux de surface reflétait l'apport du ^{14}C artificiel des explosions nucléaires de 1961 à 1963 alors que les eaux profondes (2 400 à 4 500 mètres) conservaient des valeurs de l'ordre de -100‰ en $\delta^{14}\text{C}$, correspondant à des âges de 1 200 à 1 400 ans [7].

1.2. - Le carbone 14 de centrales nucléaires

Avant les essais nucléaires atmosphériques il y avait 953 kg de carbone 14 dans l'atmosphère. Après les explosions nucléaires de 1961-1963 l'activité du ^{14}C correspondait à la présence de 2 209 kg de ^{14}C qui se réduisent peu à peu par échange avec le réservoir marin. Certains auteurs ont estimé les quantités de ^{14}C de l'atmosphère pour les prochaines décennies en fonction de la croissance de l'industrie nucléaire et de la dilution par transfert dans l'eau des océans. Ils ont évalué la dose reçue par ingestion du ^{14}C , ne prenant en compte que le seul effet ionisant de la particule émise. Dans ces conditions la dose due au ^{14}C naturel est de 0,016 mGy/an (1,6 mrad/an)*, faible par rapport à celle due au ^{40}K (0,2 mGy/an = 20 mrad/an) ou aux rayons cosmiques ou terrestres (1,1 mGy/an = 110 mrad/an).

L'étude du devenir du ^{14}C artificiel de l'atmosphère déjà décrit précédemment [105] a été étendue à la mesure de la concentration du ^{14}C dans l'environnement de centrales nucléaires.

A la demande du Service d'Études et de Recherche sur l'Environnement (SERE) du Commissariat à l'Énergie Atomique ont été effectuées des mesures du ^{14}C de l'environnement de deux centrales nucléaires - plaine d'Alsace et vallée du Rhône - (1979, 1981) et de l'intérieur d'une installation électro-nucléaire comportant deux réacteurs de 900 MWe en fonctionnement (1981). La teneur en ^{14}C atmosphérique de Monaco, éloigné de centres industriels importants servait de terme de comparaison.

Parmi les effluents gazeux des centrales nucléaires à eau pressurisée (PWR), le ^{14}C est émis sous la forme de CO_2 , de méthane et d'hydrocarbures par les réactions neutroniques avec l'oxygène 17 des combustibles à oxyde et du fluide caloporteur, et avec l'azote 14 présent à l'état d'impuretés dans le combustible.

Les rejets gazeux comprenant du ^{14}C ont été prélevés sous les trois formes CO_2 , méthane, hydrocarbures dans l'environnement proche de la centrale électronucléaire à filière PWR de la vallée du Rhône (2,2 km), dans les cuves à effluents, bâtiment réacteur ou cheminée.

Les valeurs trouvées pour l'environnement restent à un bas niveau. L'apport global de la centrale mesuré dans l'environnement au voisinage du point de concentration maximum est de 12,58 mBq/m³ (0,34 pCi/m³) pendant un rejet de dépressurisation du bâtiment réacteur, apport qui représente 22% du niveau ambiant régional. Les teneurs des prélèvements de l'enceinte du bâtiment réacteur, bien qu'élevées sous les formes hydrogénées, demeurent au-dessous de la Concentration Maximale Admissible (C.M.A.).

1.3. - Teneurs en ^{14}C de la flore et de la faune marines locales

Les variations de concentration en ^{14}C des réservoirs atmosphérique et marins se retrouvent plus ou moins rapidement dans certaines biocénoses organogènes de ces milieux.

* Conformément aux recommandations de l'Organisation Internationale de Normalisation (norme ISO 31), à la Directive européenne 80/181/CEE et à la norme française AFNOR NF X 02-210, l'unité précédemment utilisée pour mesurer le taux absorbé de rayonnements ionisants, le rad, a été remplacé par le gray (Gy).
1 rad = 10^{-2} Gy = 10 mGy; 1 Gy = 100 rad.

Les concentrations en ^{14}C mesurées périodiquement dans les réservoirs atmosphériques et marins (superficiel et profond) – objet du contrat entre le C.E.A. et le Centre Scientifique de Monaco intitulé “*Étude du cycle biologique de quelques substances radioactives et plus particulièrement du ^{14}C* ” – ont également été évaluées dans les organismes marins locaux [16]. La liste de ces derniers, récoltés vivants dans leur milieu de 1962 à 1969, est donnée ci-après :

ALGUES	<i>Posidonia oceanica</i>
SPONGIAIRES	<i>Hircinia variabilis</i>
CNIDAIRES	<i>Dendrophyllia sp</i> <i>Eunicella cavolini</i>
MOLLUSQUES	<i>Aporrhais perspelicani</i> <i>Arca noe</i> <i>Lithophaga lithophaga</i> <i>Mytilus galloprovincialis</i> <i>Pecten jacobaeus</i> <i>Pinna nobilis</i> <i>Turritella communis</i> <i>Venus casina</i>
CRUSTACÉS	<i>Meganyctiphanes norvegica</i>
BRYOZOAIRES	<i>Retepora cellulosa</i>
ÉCHINODERMES	<i>Holothuria tubulosa</i>

Les organismes marins concentrent le radiocarbone au même degré que l'eau de mer de leur milieu, à l'exception de *Lithophaga lithophaga* qui présente une nette déficience en ^{14}C due à l'assimilation du calcaire ancien de son biotope.

Dans le milieu atmosphérique, à la période correspondant à la variation maximum de la concentration ^{14}C , la teneur en radiocarbone des bourgeons de pins récoltés à Monaco en juin 1965 était égale à celle de l'air avec un léger décalage temporel [9]. Une valeur de +751‰ était obtenue pour le $\delta^{14}\text{C}$ des bourgeons de pins égale à celle de l'air de février (+751‰) et inférieure à celle de l'air de juin 1965 (+811‰).

1.4. - Herbiers de posidonies méditerranéens

Le recul des herbiers de posidonies a été étudié autour des îles de Port Cros et de Corse. Les herbiers de posidonies jouent un rôle important dans la fixation des sédiments, la stabilisation des plages, les activités halieutiques, la production d'oxygène et comme indicateur biologique.

Dans la baie de Port Man (île de Port Cros) la pollution ou les activités humaines actuelles semblaient responsables de la disparition d'un herbier de *Posidonia oceanica*, décelée par une large zone de mattes mortes à -16 mètres. La datation du niveau le plus superficiel des mattes a donné la date approximative de la mort de l'herbier survenue il y a quatre siècles, éliminant le facteur supposé de destruction actuelle [89].

Dans la baie de Calvi, la durée de présence d'une formation concrétionnée à base d'algues calcaires: *Lithotamnium sp* et *Dermatolithon sp* remplaçant pendant quelques siècles le climax Posidonies, a été fixée entre 4000 et 4500 ans BP, par datation ^{14}C des *Corallinaceae*. L'herbier à *Posidonia oceanica* se réinstallait sur ce concrétionnement. Le renversement de la tendance climacique peut être dû à une augmentation de la température moyenne des eaux de mer. Celle-ci a été évaluée à +19°C il y a 4500 ans, à partir des mesures isotopiques d' $^{18}\text{O}/^{16}\text{O}$ [87].

1.5. - Paléoenvironnement

Les études ont porté sur la région du Languedoc-Roussillon.

Un sondage côtier profond de 40 mètres a permis de définir le remplissage flandrien de Palavas (Hérault) par analyses des pollens, spores et hystrichosphères, complétées par des datations. La séquence chronologique s'étend de 10200 ans BP pour les niveaux tourbeux de 27 m, à 3000 ans BP pour les niveaux supérieurs coquilliers constitués de *Cardium*, *Donax*, *Loripes lacteus*, *Tellina*. Le climat en Languedoc, de caractère toujours méditerranéen, a subi maintes variations quant au régime des pluies, concentrées parfois en automne et en hiver, parfois au printemps comme le révèle le spectre pollinique [54]. (Figure 11).

La succession chronologique de la végétation de la fin de l'interwürmien II-III et du Würm III a été définie par la datation ^{14}C de taxons récoltés dans les abris et grottes de la Salpêtrière, de la Laouza et de l'Esquicho-Grapaou dans le Gard, de Tournal dans l'Aude et de Saint-Marcel dans l'Ardèche, complétant les analyses anthracologiques et polliniques des équipes de chercheurs de Montpellier et de Marseille.

La fin de l'interwürmien II-III met en évidence l'existence d'une végétation appauvrie sous un climat en cours de dégradation. A une phase sèche et froide succèdent des conditions plus douces et plus humides dénotant une période assez tourmentée du point de vue climatique. Le début du Würm III est marqué par des conditions froides et humides, les prémices d'une première amélioration climatique du début du Würm III peuvent être mises en liaison avec un mouvement transgressif de la Méditerranée qui aurait atteint un niveau proche du zéro NGF dans le golfe d'Aigues Mortes [44].

La phase finale montre une dominance des ligneux à vocation héliophile avec prépondérance du *Pinus sylvestris* traduisant un paysage ouvert sous un climat froid et sec. Les espèces méditerranéennes sont rares. A cette période froide et sèche de la fin du Würm III correspond l'abaissement maximum du niveau de la mer lors de la régression würmienne (-110 m).

Un climat plus tempéré de type subméditerranéen à méditerranéen montagnard est ensuite repéré, ce changement de rythme saisonnier pourrait être mis en parallèle avec la remontée du niveau de la mer Méditerranée qui s'amorce vers 18000 ans BP.

2 - OCÉANOGRAPHIE

2.1. - Études sur les variations du niveau marin

Le projet n° 61 du Programme International de Corrélation Géologique (PICG), patronné par l'UNESCO, intitulé "*Variations du niveau des mers au cours de dernier demi-cycle de déglaciation*" a pris corps en 1974 avec la participation de 34 pays dont Monaco. Le projet PICG avait pour objectif principal d'établir, par la réunion de toutes les données mondiales relatives au niveau marin et leur traitement par ordinateur dans un modèle mathématique, de prédire cette variation pour les zones côtières basses les plus peuplées et à risques d'ingressions marines brusques ou lentes, de corrélérer les mouvements du niveau marin aux changements naturels, aux perturbations climatiques ou liées à la pollution marine ou atmosphérique.

Nous avons participé à ce programme en effectuant de nombreuses datations d'échantillons prélevés par des équipes de chercheurs des Universités ou Institutions de France, Grande-Bretagne, Italie, Tunisie... qui apportaient également les conclusions d'autres disciplines: palynologie, sédimentologie, paléoclimatologie, océanographie, géophysique, tectonique. Notre contribution s'est traduite par plusieurs publications et par l'élaboration de courbes du niveau de la mer de plusieurs pays méditerranéens, courbes parues dans l'Atlas international des courbes du niveau marin du Programme International de Corrélation Géologique.

PALAVAS
core samples - F 2

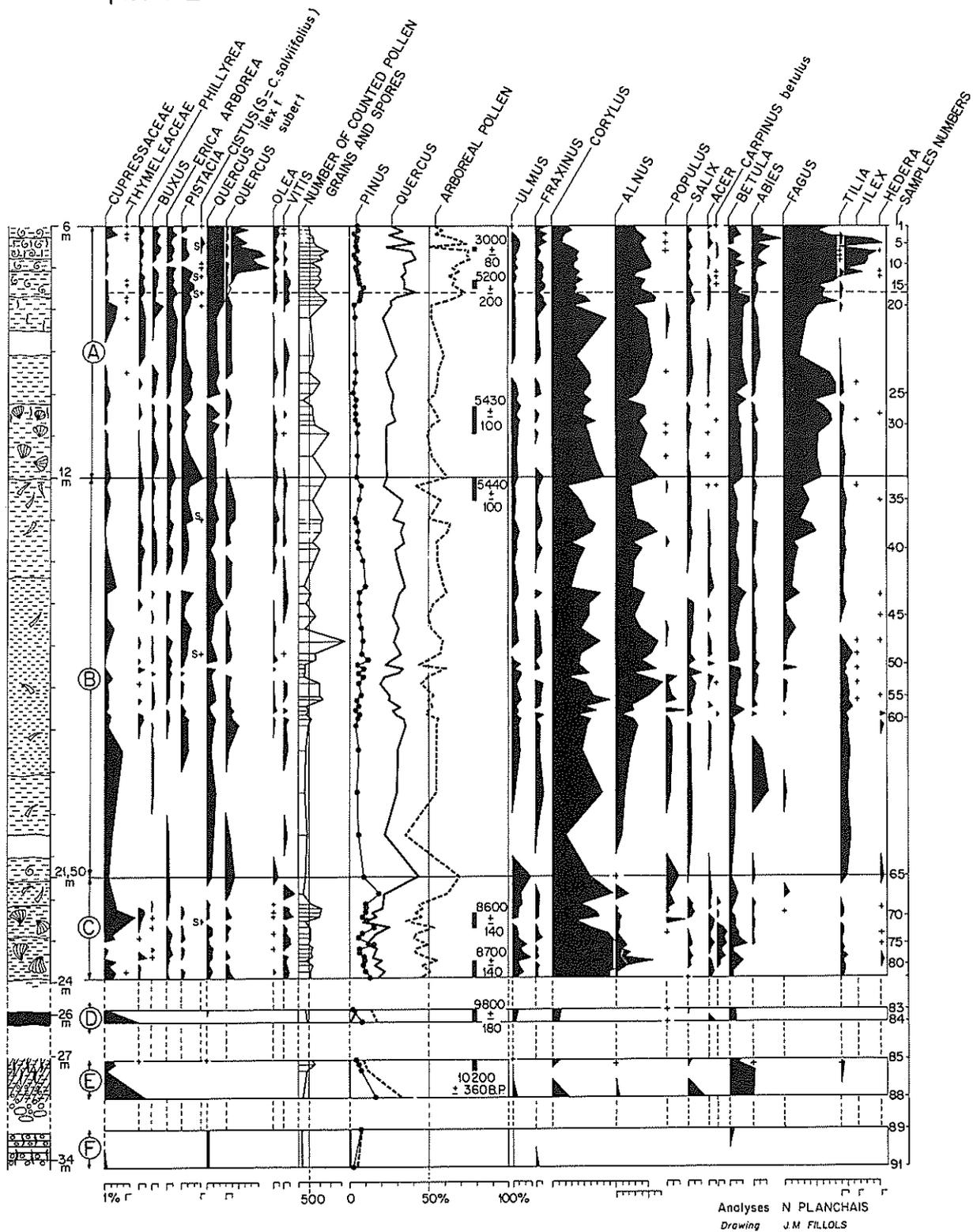


FIGURE 11 - Diagramme pollinique d'un carottage de Palavas (Hérault). Tous les pourcentages ont été établis sur l'ensemble des grains de pollen et des spores comptés.

2.1.1. - France

2.1.1.1. - Languedoc-Roussillon

Les variations eustatiques du niveau de la mer entre 33 000 ans BP et l'Actuel ont été vérifiées à partir de datations de coquilles marines récoltées sur le plateau continental du Roussillon. Ces variations sont en accord avec celles obtenues sur le plateau continental d'Afrique Occidentale [43], (courbe C 30 de l'Atlas de courbes du niveau marin, PICG n° 61).

Au Cap Romarin, un cordon sableux d'altitude +2 m, supérieur au niveau marin actuel a été daté de 4 100 à 4 500 ans BP, cordon témoin d'une transgression holocène sur cette côte méditerranéenne [62], [66]. (Figure 12).

Dans cette région, un cordon littoral d'altitude supérieure au niveau marin actuel repéré à +0,8 m, et +1,5 m, daté de l'époque romaine correspondrait à l'existence d'un mouvement transgressif [68].

Sous les sédiments palustres récents de la côte orientale du Languedoc apparaît une ligne de rivage fossilisée. Le cordon littoral de sables et de galets fortement consolidés et riche en faune malacologique est situé entre le rivage eutyrrhénien de Candillargues et l'ensemble des cordons versiliens d'Aigues-Mortes à une altitude proche du zéro. Essentiellement formé de *Cardium*, *Pectunculus*, *Ostrea*, et *Mytilus*, ce cordon daté sur *Cardium et Pectunculus* a environ 29 000 ans BP. Il semblerait montrer en Languedoc oriental l'existence d'un niveau transgressif lors d'un épisode tempéré au début du Würm III [44].

2.1.1.2. - Delta du Rhône

L'interprétation des images satellites et les photos aériennes de l'Institut Géographique National donnent un aperçu de l'extension et de la complexité des structures morphologiques liés aux cordons littoraux du delta du Rhône.

A des processus d'ingression marine prévalant depuis une amélioration climatique de la fin du Würm et marqués par une remontée de la mer particulièrement rapide entre 8 000 et 6 000 ans BP ont succédé, à partir de 5 500 ans BP, des mécanismes plus complexes de régression et de progradation à sédimentation fluviale dominante. Les situations successives en hauts et bas niveaux ont provoqué des formes et des modes de sédimentation différents de ceux observés dans la sédimentation actuelle [83]. Les fluctuations positives et négatives du niveau marin de 7 000 à 2 000 ans BP et la distribution des sédiments récents de l'ensemble de l'appareil deltaïque ont été étudiées en faisant appel aux données sédimentaires, géomorphologiques, préhistoriques et aux datations ¹⁴C des niveaux coquilliers de *Cardium*, *Glycimeris* et de niveaux à débris végétaux. Les principales étapes de la construction du delta du Rhône ont été retracées de 7 000 ans BP à l'Actuel. Une courbe des variations du niveau marin dans le delta du Rhône de 7 000 ans BP à 1 000 ans BP a été construite à partir des données chronologiques des différents cordons édifiés et des observations des successions géologiques [84] (Figure 13).

2.1.1.3. - Marseille

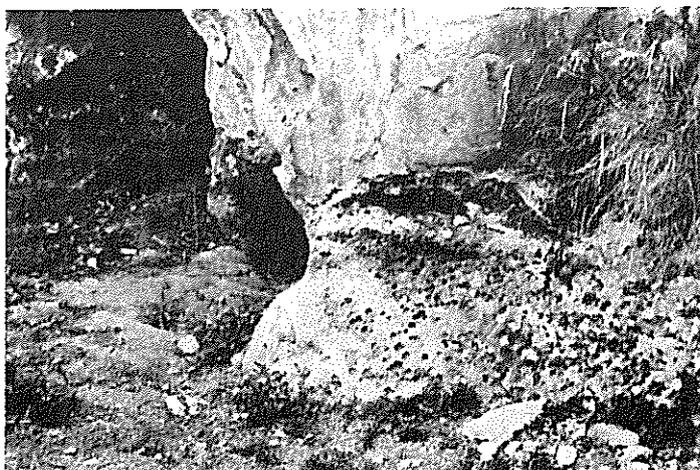
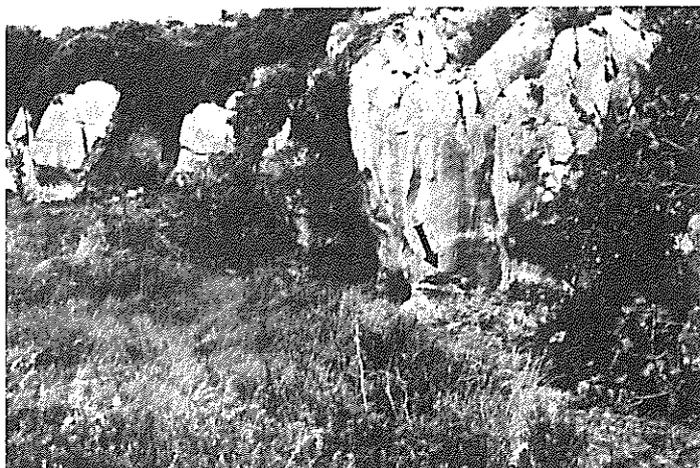
Une donnée nouvelle sur le niveau marin à Marseille à l'Époque romaine a été apportée par la datation des cirripèdes *Balanus* provenant du port antique de Marseille; âgées de 1 900 ans ces balanes témoignent d'un stationnement marin inférieur de 0,3 m au niveau actuel vers 100 ans après J.C. [33].

2.1.1.4. - Corse

La datation d'anciens niveaux marins, situés à des altitudes de +1 m, +2 m, en Corse du Sud à Lavezzi et Speron montre la stabilité tectonique de l'axe Nord-Sud du bloc corso-sarde depuis plus de 30 000 ans BP.

2.1.2. - Italie

En Sardaigne du Nord, les traces d'un niveau marin ante-holocène, à +1,08 m, formé de *Balanus balanoides* en position de croissance sur un bloc tyrrhénien, ont été datées de 32 300 ans BP. Elles constituent un nouveau témoin d'un niveau marin positif supérieur à l'Actuel, antérieur à la dernière période glaciaire du Würm, niveau positif rencontré en divers points du littoral de la Méditerranée occidentale.



a) Falaise calcaire (mésozoïque) du Cap Romarin montrant un façonnement littoral (encorbellement) et des perforations de lithophages attribuables à un niveau positif (+ 2 m) de la mer holocène. On note au pied de la falaise (photo de détail) le cordon sableux daté de 4100 à 4500 ans BP et appartenant au remplissage sédimentaire de la plaine.

b) Accumulations coquillières de la plage de Rochelonge (Cap d'Agde). La photo du haut montre l'ensemble de la formation, avec sur le rivage, les blocs basaltiques provenant des coulées du volcan quaternaire d'Agde. La photo de détail illustre l'abondance et la variété des coquilles mêlées à des galets et sables de nature et d'origine diverses. Les datations de ce matériel fournissent des âges allant de 4700 ans BP à l'Actuel.

FIGURE 12 - Témoins récents de la transgression holocène sur la côte méditerranéenne

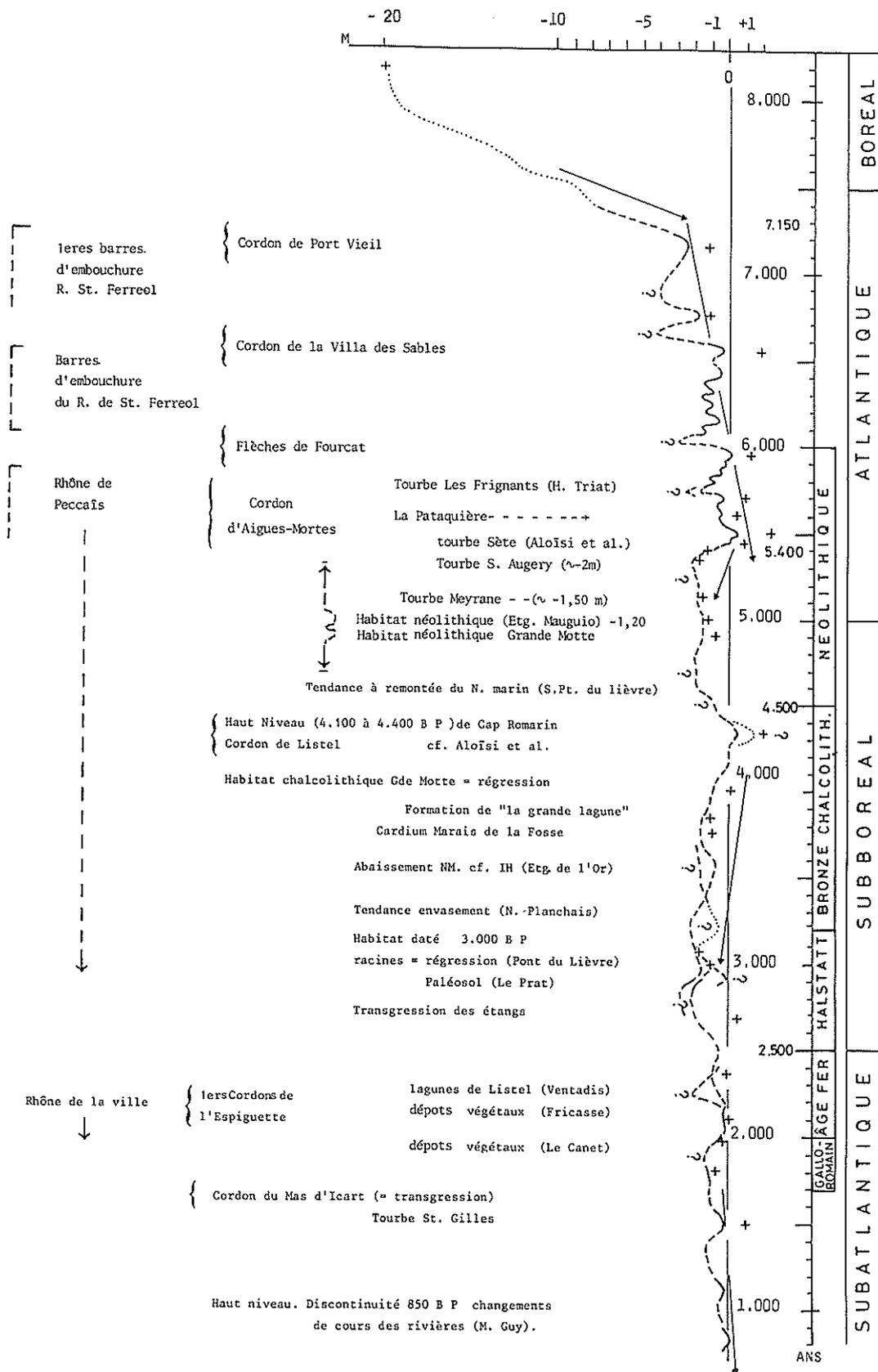


FIGURE 13 - Essai de reconstitution des variations du niveau marin (de 7000 à 1000 ans BP) du delta du Rhône.

2.1.3. - Grèce

Les traces de lignes de rivage superposées datant des cinq derniers millénaires sont fréquentes dans l'arc hellénique. Leur étude systématique, fondée sur des analyses multidisciplinaires et appuyée sur un grand nombre de datations radiométriques a permis de préciser les mouvements tectoniques récents en Crète, à Antikythira, à Strongilo et à Rhodes.

2.1.3.1. - Crète

La surrection récente des côtes occidentales de la Crète est connue depuis plus d'un siècle, un rivage très bien marqué apparaît le long de 300 km de côtes à l'ouest de la Crète, la partie la plus élevée se situant à Elaphonisos [72]. En de nombreux points des côtes de la Crète occidentale, plusieurs lignes de rivage marin d'âge holocène marquées par des encoches d'abrasion et des biostromes fossiles à vermetes et algues calcaires superposées se rencontrent à des altitudes croissantes de l'Est vers l'Ouest. Ces lignes de rivage émergées ne résultent pas d'un soulèvement par saccades comme il était supposé antérieurement à nos travaux, mais d'un soulèvement brutal vers 1 550 ans BP conjugué avec une série de fortes séismicités [74], [75]. La datation par ^{14}C des formations biologiques associées de plusieurs niveaux étagés a donné la chronologie d'une série d'affaissements de faible amplitude entre 4 000 et 1 500 ans BP [85], [93]. Les mouvements observés correspondent à une série d'instabilité tectonique qui se serait poursuivie pendant au moins quelques millénaires s'accroissant progressivement aux environs de notre Ère et s'achevant par un soulèvement de grande amplitude +9 mètres à l'ouest de la Crète (55), (95) qui pourrait être lié au mouvement de la plaque africaine. (Figure 14).

2.1.3.2. - Antikythira

Le niveau de la mer a laissé sur les côtes de l'île d'Antikythira entre +1,0 m et +2,7 m des traces de neuf lignes de rivage d'apparence récente dont cinq ont été datées de 2 970 à 1 530 ans BP. Des corrélations avec l'ouest de la Crète permettent de déterminer dans le détail les variations locales du niveau relatif de la mer depuis 4 000 ans et de préciser les mouvements récents de l'écorce terrestre dans cette région. Entre 4 000 et 1 700 ans BP, des affaissements rapides se sont succédés et ont été arrêtés vers 1 530 ans BP. Les mouvements tectoniques ont été précédés par des déplacements verticaux éphémères de sens contraire, attribués à la force gravitationnelle ou à des phénomènes plus profonds comme la subduction [81], [91], [97].

2.1.3.3. - Strongilo

L'îlot de Strongilo à l'est de la Crète présente une série de sept rivages entre 0 et +4,5 m dont cinq dateraient du Pléistocène, les deux autres: +0,9 m et +0,5 m de l'époque historique. Une comparaison avec les rivages tyrrhéniens et holocènes de la côte crétoise permet de conclure qu'une faille active prolonge à l'est le fossé sud crétois oriental et passe entre Strongilo et la Crète [92].

2.1.3.4. - Rhodes

La côte de l'île de Rhodes apparaît constituée par huit petits blocs d'écorce terrestre au comportement tectonique différent. Les différents blocs ont été affectés par des séries de mouvements brusques de soulèvement et d'affaissement ou de basculement souvent indépendants. La tendance pour l'ensemble de la côte orientale est, depuis 4 500 ans, celle d'une surrection qui commence près de l'extrémité sud de l'île pour s'accroître progressivement vers le Nord, où elle atteint la vitesse moyenne de 1 mm par an [80], [98].

Ces divers mouvements des îles de l'arc hellénique étudiées confirment que la subduction de la croûte océanique ionienne est active sous la partie occidentale de l'arc hellénique.

2.1.4. - Algérie

Dans le golfe d'Arzew, près de Mactra, les sédiments carottés sous une profondeur d'eau de 8 à 24 m, présentent plusieurs épisodes marins entrecoupés d'épisodes continentaux témoins des variations du niveau de la mer au cours du Pléistocène supérieur. La datation des coquilles (*Cardium*, *Pectunculus*) des niveaux étudiés précise leur appartenance à la transgression versilienne (post-glaciaire). Dans ce secteur, le niveau de la mer n'était pas inférieur à -16 m il y a 6 300 ans BP. Entre 25 000 et 30 000 ans BP,

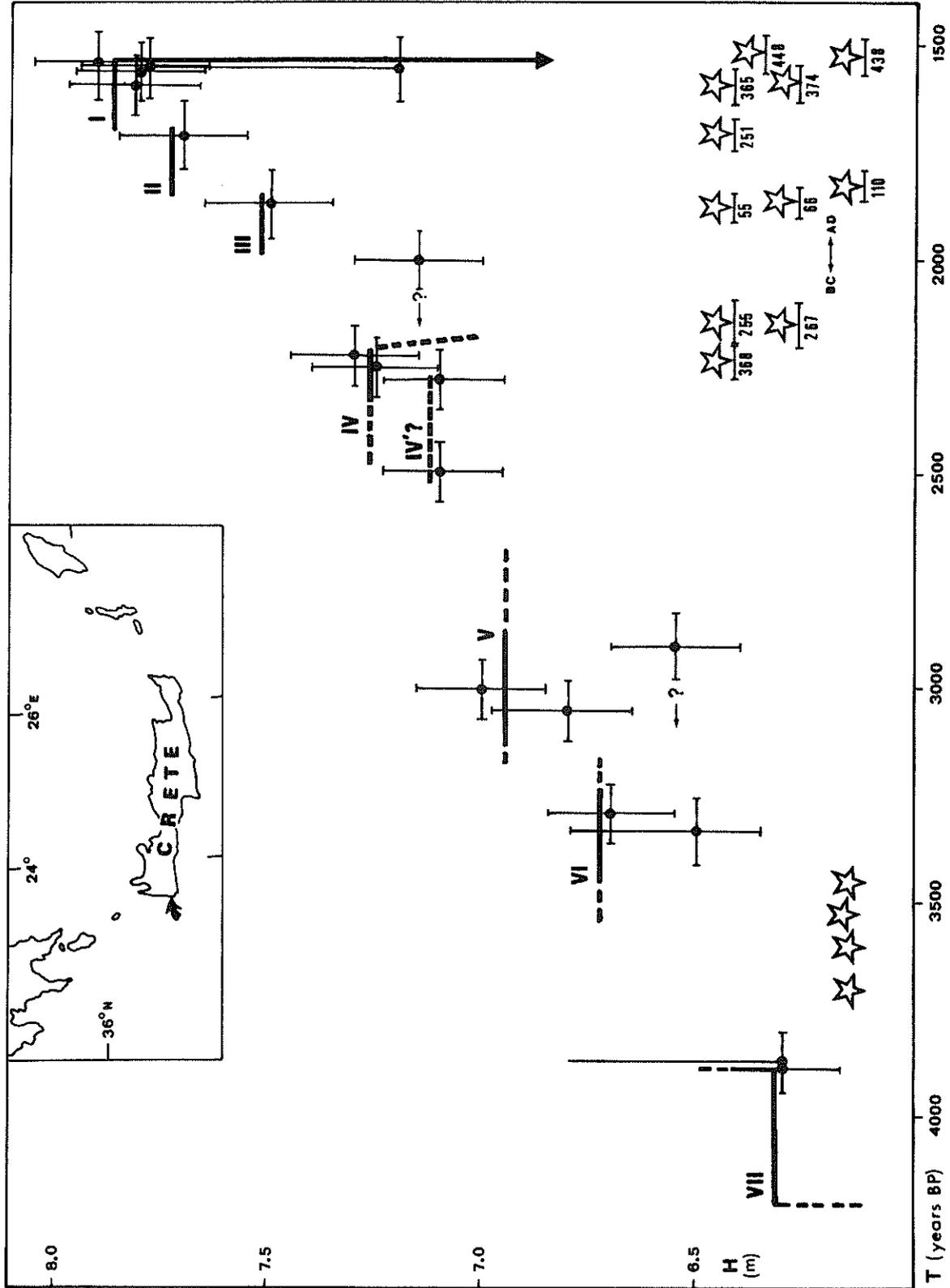


FIGURE 14 - Variations récentes du niveau relatif de la mer à Moni Khrisoskalitissas.

la mer aurait atteint le niveau de -23 m d'après la datation des niveaux marins intermédiaires situés directement sous le dernier niveau continental ou recouverts par les sédiments versiliens.

La lithologie du Cap Ténès a conservé les traces de son évolution quaternaire et des niveaux marins successifs. Dans les bas niveaux, au-dessus de la mer actuelle de +2 m à +3 m et de +5 m à +6 m, deux niveaux transgressifs sont séparés par une régression. La datation des madréporaires *Astroides calycularis* et coquilles *Patella ferruginea* attribue un âge tyrrhénien (interpluvial Tensiftien-Soltanien) à la plage située de +2 m à +3 m.

Le cordon de galets, à la cote +6 m de la plage fossile de la baie ouest d'Herbillon, riche en coquilles, édifié pendant l'interstade Würm II - Würm III, daté de 31 450 ans BP, est contemporain de la plage de l'Oued Rennen constituée de sables coquilliers et datée de 31 850 ans BP.

Dans la région de la Calle, soumise à un phénomène de subsidence, à l'anse du Vieux Moulin, le cordon littoral inter-Würm II-Würm III, qui apparaît à Herbillon, cesse d'être visible: il semble immergé sous quelques mètres d'eau dans le port de la Calle. Les formations continentales du Würm III sont plus complexes que celles de la baie ouest; elles présentent deux assises distinctes de grès calcaires, chacune recouverte et ravinée par une nappe de sables rouges siliceux éoliens. Dans l'anse du Vieux Moulin, l'assise supérieure, datée de 23 450 ans BP correspond à une phase plus avancée du Würm III que la formation de la baie ouest d'Herbillon.

2.1.5. - Tunisie

La région côtière de Jerba à la frontière libyenne fournit de nombreux témoins d'un rivage holocène, daté de 2 700 ans, supérieur de 0,80 mètre au niveau actuel; ces témoins indiquent un léger soulèvement du littoral de l'extrême sud de la Tunisie plutôt qu'une oscillation eustatique [71]. Près de Gabès, une plage fossile légèrement plus élevée que l'actuelle (+0,4 m, +0,5 m) a été datée de 6 400 ans BP, montrant que des déformations récentes auraient affecté la Tunisie méridionale [73].

2.1.6. - Clipperton

Sous l'égide des Fondations Cousteau et Singer-Polignac, des missions de terrain ont été réalisées en 1980 sur l'atoll français de Clipperton situé dans l'océan Pacifique à 1 800 km à l'ouest des côtes mexicaines.

L'écologie, la diagénèse des phosphates et la sédimentation phosphatée de l'atoll étudiées par des chercheurs de l'Université Pierre et Marie Curie, du service mixte de contrôle biologique et du service des armées ont été complétées par les datations ^{14}C de notre laboratoire.

La datation des organismes récifaux morts tapissant le lagon a montré que la fonction de lagon d'eau de mer avait dû cesser vers 3 000 ans BP. La fermeture progressive de la couronne atollienne modifiant la salinité de l'eau du lagon a favorisé, entre 650 et 280 ans BP, le développement de la faune confinée.

Ces datations permettent d'envisager deux hypothèses pour la sédimentation phosphatée très récente de l'atoll:

- 1°) à l'Holocène, le niveau de la mer à Clipperton, légèrement supérieur à l'actuel vers 3 000 ans BP, a subi un abaissement ultérieur favorable à la création d'un lac méromictique interne alimenté par les eaux météoriques. Cette évolution est marquée par une faune lagunaire riche en mollusques jusqu'à 650 ans BP.
- 2°) le niveau de l'océan Pacifique n'a pas varié à l'Holocène. La fermeture du lagon peut être attribuée aux apports sédimentaires du rocher de l'atoll [111].

2.1.7. - Java

Dans le cadre du Programme International de Corrélation Géologique, les âges entre 5 000 et 3 650 ans BP de coquilles marines fossiles issues d'une série stratigraphique précisent la succession holocène des dépôts marins sédimentaires prélevés sur la côte nord de l'île de Java. Ces résultats semblent confirmer une transgression holocène positive dans cette région [67].

* *

Une comparaison méthodologique de données de disciplines aussi variées que la sédimentologie, la biologie marine, la géomorphologie, l'archéologie et la radiochronologie a montré l'intérêt de réunir et de confronter les informations d'origine multidisciplinaire. Il est ainsi possible de cerner avec le maximum d'approche les marges d'incertitude dans l'estimation des anciens niveaux marins en tenant compte des caractères locaux des dépôts: faciès, morphologie et de définir les tendances générales sur une grande échelle en identifiant les divers facteurs ayant un effet local actif [60].

2.2. - Étude chronostratigraphique des sédiments quaternaires marins

Les datations ^{14}C des sédiments quaternaires marins ont apporté une précision chronologique aux études relevant de l'océanographie, la sédimentologie, la prospection géophysique par sismique réflexion, la paléontologie, la géomorphologie, la palynologie, effectuées en collaboration avec des équipes de chercheurs C.N.R.S. et universitaires. Les études des sédiments quaternaires ont porté sur:

- l'évaluation des taux de sédimentation des pentes et des plateaux continentaux (§ 2.2.1.),
- l'évaluation des vitesses d'envasement des deltas et pro-deltas (§ 2.2.2.),
- la chronologie sédimentaire des lagunes littorales (§ 2.2.3.),
- l'envahissement des grottes sous-marines par les sédiments (§ 2.2.4.),
- l'accumulation des sédiments quaternaires sous-marins profonds de Méditerranée (§ 2.2.5.).

2.2.1. - Pentes et plateaux continentaux de Méditerranée

Le taux d'accumulation des sédiments marins peut être calculé à partir des datations des différentes couches de sédiments carottés, la matière biogénique datée étant choisie selon les critères de validité mis en évidence dans les études fondamentales du laboratoire. Des séries de sédiments quaternaires carottés sur les pentes et plateaux continentaux méditerranéens de France, Grèce, Tunisie ont été datées pour connaître leur vitesse de sédimentation.

2.2.1.1. - France et Monaco

• Côte d'Azur

Les mesures radiométriques des dépôts marins du domaine circa-littoral du Cap Martin, prélevés par 100 m de fond à partir du navire océanographique *Catherine Laurence* ont mis en évidence l'absence généralisée de dépôts holocènes récents, absence due à l'effet des courants au voisinage du fond et à l'épuisement du stock sédimentaire terrigène piégé au cours d'une remontée rapide du niveau de la mer. Dans la baie de Menton, les apports d'origine fluviale ont assuré un comblement pouvant atteindre 26 m de sédiments. Une vitesse de sédimentation de 6 à 10 cm par siècle se déduit des analyses ^{14}C des sédiments datés de 2300 ans BP à l'Actuel. En baie de Roquebrune-Monaco, aucune accumulation de comblement importante n'est observée, les sédiments sableux datés de 12000 ans BP à 220 ans BP indiquent que la sédimentation holocène reste faible entre le rebord du plateau et l'isobathe de -60 m [70] (Figure 15).

Au début de la pente continentale du Cap Ferrat, la vitesse de sédimentation a été évaluée à 25 cm par 1000 ans [19]. Un prélèvement manuel de sédiments marins a rendu possible la vérification de l'hypothèse sur l'absence d'âge contemporain pour l'extrémité supérieure des carottes, attribuée à une destruction mécanique du carottier. Les datations des sections supérieures de carottages manuels assurés par plongeur lors de l'expérience Précontinent III au sud du Cap Ferrat ont rendu caduque cette hypothèse avancée par d'autres laboratoires. L'absence de matériaux actuels résulte de la position géographique, du glissement de couverture mettant à jour des sédiments consolidés, de l'action des courants en période de régression glaciaire et de l'entraînement par les courants [11].

Au sommet de la pente continentale niçoise, le taux d'accumulation des dépôts est évalué à 50 cm par 1000 ans d'après les datations des sédiments, corrélant les observations des associations fauniques pélagiques [13]. Le mode de sédimentation sur la pente continentale lors de la période würmienne est essentiellement pélagique, le creusement sous-marin récent entraîne la formation de canyons, une mise à jour de dépôts anciens compactés et un remaniement possible des dépôts littoraux. La sédimentation reste plus faible que sur les marges continentales adjacentes [18].

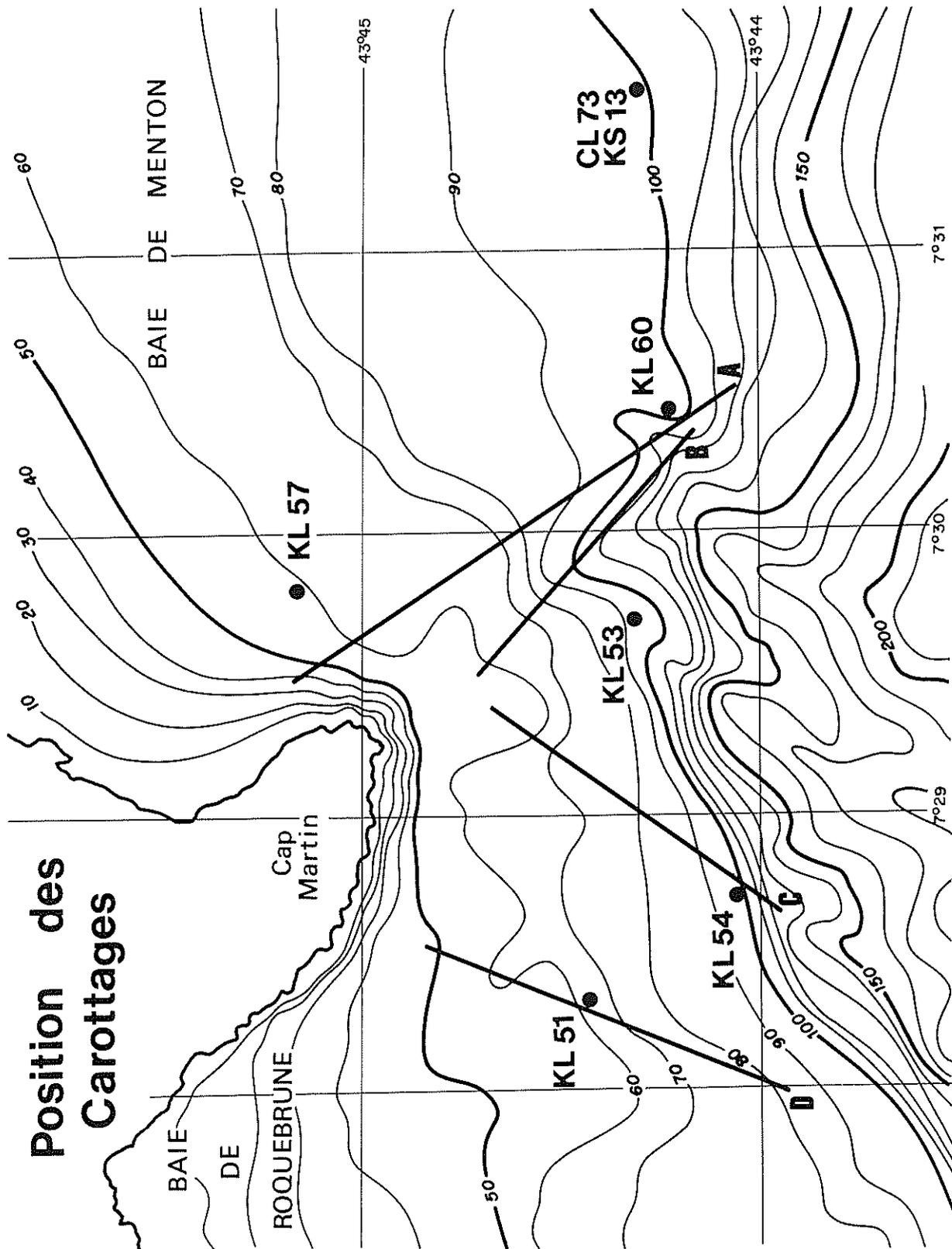


FIGURE 15 - Lieux de prélèvement des sédiments holocènes du domaine circa-littoral du Cap Martin.

• Roussillon-Languedoc-Golfe du Lion

Au cours de campagnes océanographiques dirigées par des chercheurs de Perpignan et de Villefranche-sur-Mer, de multiples carottages et dragages ont été effectués sur les plateaux continentaux du Roussillon, du Languedoc et dans le golfe du Lion, à partir des navires océanographiques: *Catherine Laurence*, *Lacaze-Duthiers*, *Winnaretta-Singer*.

La reconstitution des étapes des remplissages quaternaires des plateaux continentaux a été rendue possible par la confrontation d'analyses granulométriques, paléontologiques, géochimiques, sédimentologiques, radiométriques et par sismique réflexion. La datation au radiocarbone des faunes accumulées dans les divers niveaux étudiés précise leur position dans la chronologie du Quaternaire récent. La remontée de la mer flandrienne est suivie entre 15 000 ans BP et l'Actuel par la mesure ^{14}C des faunes littorales en place ou actuellement submergées.

– Roussillon

Le plateau continental roussillonnais s'étend sur une cinquantaine de kilomètres au large des côtes. Dans la zone du Cap Bear au Cap Leucate, sur des carottes les plus représentatives de la succession lithologique quaternaire, se reconnaissent trois séquences principales de vases, séparées par des assises sablo-graveleuses.

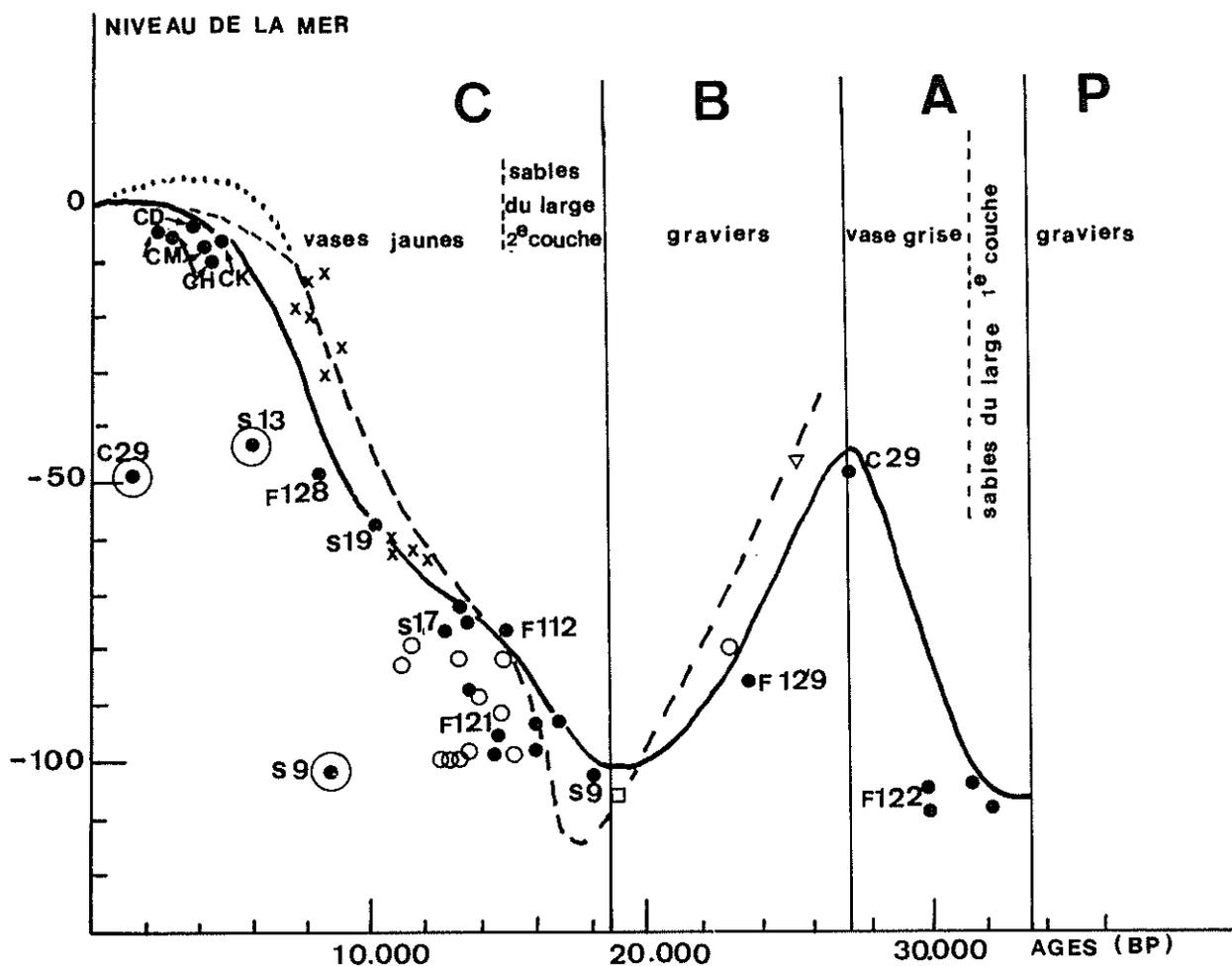
La séquence inférieure correspond à un dépôt de vases terrigènes effectué sous climat tempéré chaud, indiqué par les assemblages des foraminifères planctoniques. L'évolution verticale des associations benthiques suit la réduction progressive de la tranche d'eau qui aboutit à la mise en place du cailloutis inférieur dont l'âge est régulièrement supérieur à 35 000 ans BP [15]. Cette séquence est assimilée à un inter-stadiaire du Würm ancien.

La séquence intermédiaire repose sur le cailloutis inférieur témoin du maximum régressif. La dernière phase régressive (18 000 ans BP) se caractérise par des épandages grossiers avec des débris de faunes froides: *Buccinum undatum*, *Modiolus modiolus*, *Cyprina islandica*, *Chlamys septemradiata*... dont la persistance est favorisée par la déglaciation partielle et l'apport d'eaux froides continentales. Sur le plateau continental, ces dépôts se sont effectués sous faible profondeur d'eau, au cours d'un épisode légèrement transgressif sous climat tempéré froid [27].

Le remplissage flandrien, essentiellement vaseux et d'importance très variable selon le secteur bathymétrique considéré, repose sur l'assise graveleuse constituée d'éléments en partie remaniés au cours du dernier Würm et progressivement mis en place au cours de la transgression. L'âge de ces dépôts est régulièrement décroissant vers la côte et permet de suivre les diverses étapes: 13 800 ans BP à –85 mètres, 8 400 ans BP à –40 mètres [35].

Un stade de stationnement plus important s'observe aux environs de 7 000 ans BP. A partir de 7 000 ans BP, la mer progresse plus rapidement pour atteindre la cote de 1 à 2 mètres. Au maximum de la transgression, la mer pénètre à l'intérieur des terres avec pour témoins de cette extension les étangs de Leucate et du Canet isolés par l'édification du cordon littoral. L'alluvionnement récent et les transits longitudinaux construisent ensuite le lido qui isole les lagunes littorales [27].

La vitesse de la remontée eustatique peut être évaluée de 5 à 6 mètres environ par millénaire, plus rapide cependant dans sa phase terminale où elle pénètre à l'intérieur des terres. La transgression post-glaciaire débute vers 18 000 ans BP par une légère remontée eustatique qui atteint la cote de –85 à –95 mètres avec une mise en place des sables littoraux ou sables du large (également datés au Cap Martin, Alpes-Maritimes). La remontée s'effectue ensuite plus rapidement avec des dépôts de base en cailloutis et sables dont la morphologie témoigne de courts stades d'arrêt façonnant de petites terrasses à diverses profondeurs. La courbe de variation du niveau de la mer sur la côte du Roussillon de –33 000 ans à nos jours est en accord avec celle des terrasses de la Nouvelle Guinée établie par datation ionium/thorium ou déduite des variations du rapport $^{18}\text{O}/^{16}\text{O}$ de l'océan [43]. (Figure 16).



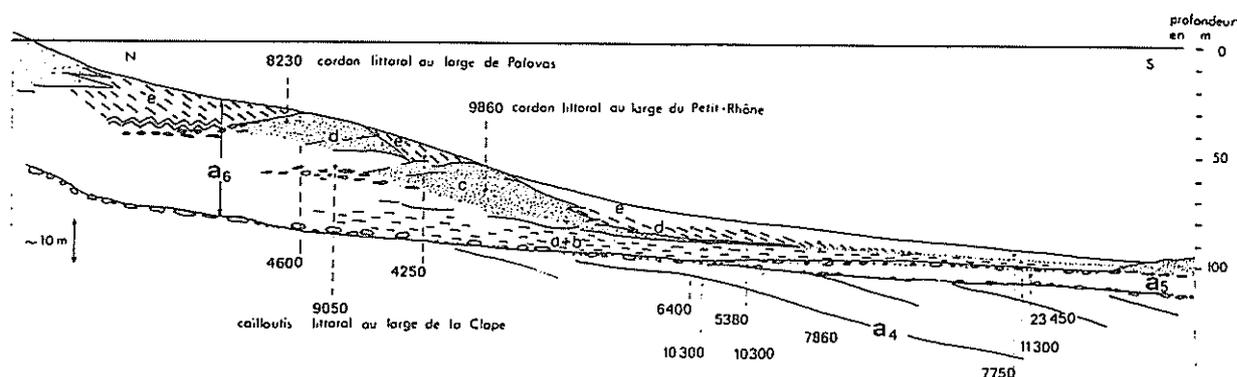
— plateau du Roussillon; ● coquilles; ⊙ Lamellibranches à habitat mal défini;
 — plateau ouest Africain; ○ algues; □ corail; ▽ coquilles, × tourbes.

FIGURE 16 - Courbe de variation du niveau de la mer sur la côte du Roussillon, comparaison avec la côte ouest africaine.

- Languedoc

Une reconstitution paléogéographique d'une série plio-quadernaire originale, mise en évidence par des sondages dans les domaines: marin, littoral et continental de la région de Sète a été tentée en prenant en référence les données de la géologie sous-marine du golfe du Lion [41]. Dans la séquence la plus superficielle de cette série plio-pléistocène différenciée par le faciès, l'association de minéraux lourds atteste de la double origine des matériaux détritiques: locale et rhodanienne. Chronologiquement les dépôts en mer montrent deux transgressions majeures: le Tyrrhénien et le Flandrien. Seuls les sables du large, les plus superficiels formant le fond de la mer actuelle comportant des débris de grès coquilliers, soit remaniés, soit formés *in situ* à l'époque moderne appartiennent à la transgression flandrienne. Une succession analogue se rencontre dans le canal des Quilles où les grès à *Cardium* sont surmontés par un remplissage vaseux et sableux d'âge flandrien (5000 ans BP).

Des mécanismes hydro-dynamiques déterminent des aires de sédimentation marine. Les sédiments fins sont piégés dans les dénivelés offrant des zones de moindre turbulence. Ils s'accumulent en aval du littoral actuel à l'abri des cordons fossiles et dans les lagunes littorales qui servent de pièges à sédiments. (Figure 17).



Coupe synthétique montrant la série chrono-stratigraphique quaternaire.

Dans le Flandrien la succession lithologique complète est représentée; elle fait apparaître les différentes étapes du remplissage et les variations de faciès liées au secteur bathymétrique ou géographique considéré.

FIGURE 17 - Évolution paléogéographique du plateau continental languedocien.

- Golfe du Lion

Un schéma d'évolution paléogéographique a été obtenu pour l'ensemble du golfe du Lion par des études multidisciplinaires. Bien qu'écologiquement diversifié, le golfe du Lion possède une certaine unité structurale. Si la portion méridionale du plateau continental du Roussillon n'enregistre que quelques centimètres ou quelques mètres de dépôts post-glaciaires et flandriens, la région de Leucate est abondamment remblayée (20 m) de même que les chenaux de l'Aude et de l'Orb. Face au Petit Rhône l'accumulation des corps sableux venant s'appuyer sur les cailloutis fluvio-marins quaternaires accroît l'épaisseur de la série flandrienne. L'essentiel du remblaiement quaternaire du plateau continental s'est effectué entre 11000 et 6000 ans BP (optimum climatique Atlantique) [40].

La vitesse moyenne de la remontée flandrienne a été de l'ordre de 5 à 10 mètres par millénaire, avec des périodes de stabilité ou de légères régressions vers 10000 et 8000 ans BP.

La vitesse moyenne des dépôts est répartie suivant un très large éventail. Autour de -50 mètres elle serait de 1,50 à 3 mètres par millénaire dans les secteurs où les sédiments relativement homogènes se sont déposés par excès de charge (envasements infra-littoraux). Pour les formations deltaïques, elle est de l'ordre de 7 mètres par millénaire au large de Palavas et de 15 mètres par millénaire face au Petit-Rhône. Autour de -80 mètres, le taux de sédimentation avoisine un mètre par millénaire.

Une étude plus générale introduisant des données de lithosismique et de palynologie, accompagnée d'une centaine de datations ¹⁴C effectuées par le laboratoire a conduit à l'établissement d'une courbe de la remontée de la mer holocène [62] où se lit la rapidité de la transgression depuis 14000 ans BP accélérée de 8000 à 6000 ans BP, ainsi que l'existence d'un haut niveau de stationnement de la mer vers + 2 mètres, il y a 4500 ans BP [66] (Figure 18).

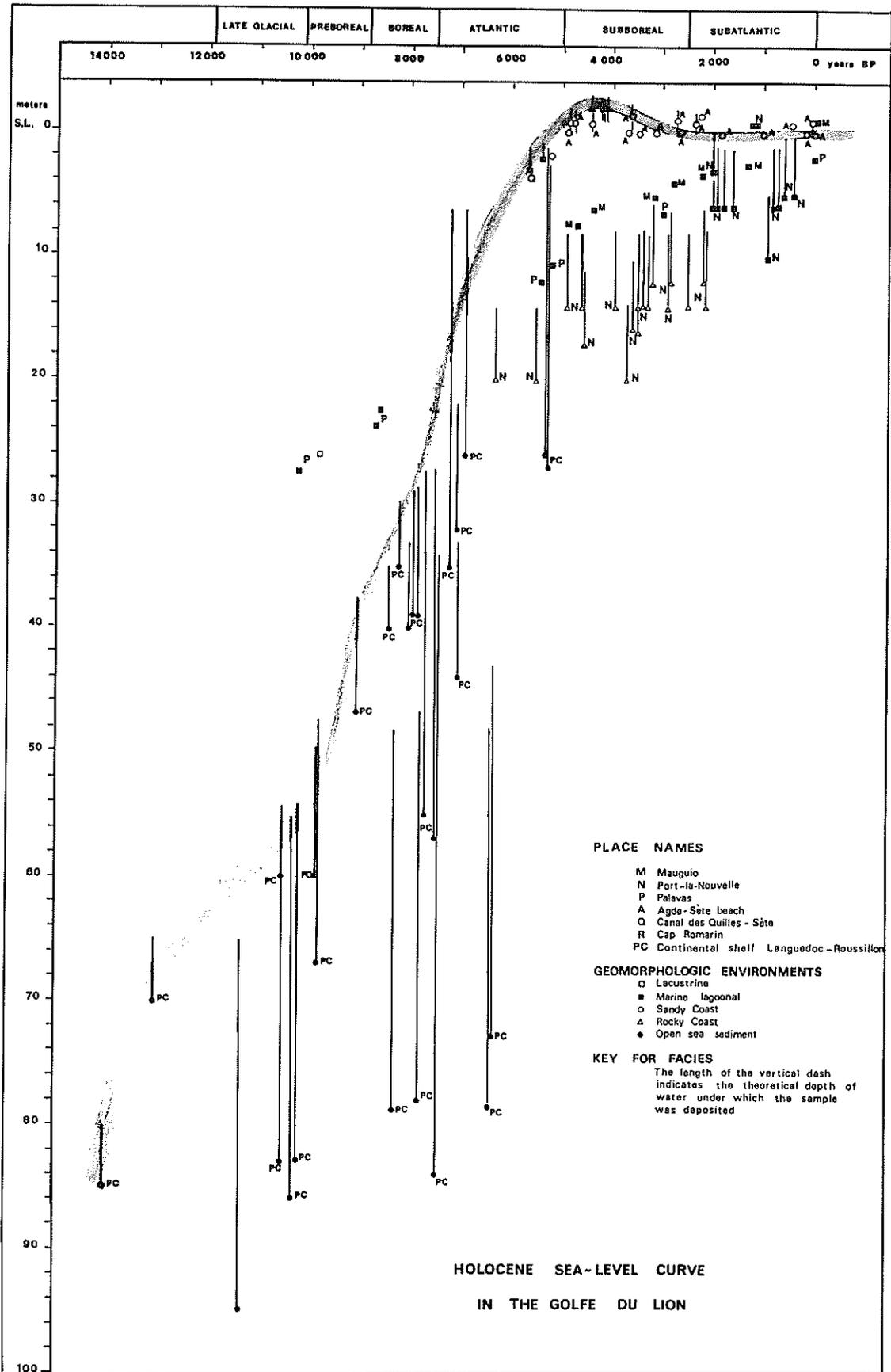


FIGURE 18 - Courbe de remontée de la mer Holocène dans le golfe du Lion.

2.2.1.2. - Italie

Les analyses faunistique et radiométrique de la biophasse calcaire d'un sédiment superficiel prélevé en mer Ligure au large du Capo Mele, permettent d'attribuer ce dépôt au dernier épisode glaciaire, et assez probablement à la seconde oscillation du Würm III. Ce gisement würmien immergé appartiendrait à la même série que les gisements connus du Cap Creus, du plateau continental des Albères, de la Provence (Cap Sicié), de la Corse (tête de canyon de Saint Florent) [22].

La datation de résidus carbonés, trouvés dans les niveaux de -4 mètres et -2,50 mètres d'une terrasse alluviale bien marquée, située à 112 mètres au-dessus de la mer sur la rive droite du torrent Scrivia au nord-ouest de Tortona (Piémont), a attribué un âge holocène à cette terrasse antérieurement définie comme Pléistocène [65], [77].

2.2.1.3. - Grèce

• Péloponnèse

Dans la marge sud du Péloponnèse par des fonds de 1 600 à 4 300 mètres, des carottes sédimentaires ont été prélevées par le N.O. *Marsili* du Consiglio Nazionale delle Ricerche avec le concours de l'Université de Trieste. La chronologie des repères stratigraphiques datés sur ptéropodes et foraminifères par notre laboratoire et le Smithsonian Institution (Washington, D.C.) a permis d'appréhender les relations entre la tectonique et la sédimentation. Les dépôts de ce bassin de la Méditerranée orientale montrent une très grande variabilité qui s'inscrit à l'intérieur même du remplissage quaternaire récent. Les diverses étapes du remplissage: passées silteuses, niveaux turbidiques ou plastiques se répètent au cours des 40 derniers millénaires. Les épisodes de sédimentation et d'érosion alternent en de courtes périodes dont l'importance relative dépend de la situation morphostructurale. L'évaluation d'un taux moyen de sédimentation pour ce secteur de la Méditerranée ne peut être valablement déduite des mesures chronologiques.

2.2.1.4. - Tunisie

• Golfe de Gabès

Les datations ^{14}C , faites par notre laboratoire, de faunes: *Arca noe*, *Cardium*, *Cerithium*, *Cladocora cespitosa*, *Dosinia*, pralines de *Mélobésiées*, carottées dans le golfe de Gabès, indiquent que les sédiments se sont déposés soit au Néotyrrhénien, soit à la période versilienne. Un approfondissement et un ensablement de la zone externe du golfe de Gabès sont, en grande partie, corrélatifs de la remontée du niveau de la mer au Post-Glaciaire. Le calendrier des oscillations du niveau de la mer et des variations climatiques pendant la dernière période glaciaire, établi par les études sédimentologiques, écologiques, géochimiques des équipes de chercheurs de Marseille, Paris et Villefranche-sur-Mer, a ainsi pu être précisé.

2.2.2. - Deltas et prodeltas

L'évaluation des vitesses d'ensablement des deltas et prodeltas, tant à l'étage circalittoral qu'à l'étage bathyal, a permis de définir les migrations sédimentaires sur les pentes ou leur accumulation dans les fosses.

2.2.2.1. - France

• Delta du Var

Les sédiments prélevés par le Bureau de Recherches Géologiques et Minières dans le promontoire deltaïque du Var, au nouveau port de Nice, datés par notre laboratoire de 12 000 ans BP pour les niveaux de plus de 75 mètres dans les sondages, correspondraient à la trace de la récurrence du Tardiglaciaire dans le domaine méditerranéen.

• Estuaire du Paillon

Les traces de la transgression flandrienne dans l'estuaire du Paillon, à Nice, ont été datées de 6 500 à 5 400 ans BP sur les macro-restes marins d'une succession stratigraphique de 26 mètres de long, située à 800 mètres au nord du rivage actuel.

• *Éventail sous-marin du Rhône*

La sédimentation récente de l'éventail sous-marin du Rhône et de la pente adjacente a été retracée à partir d'études multidisciplinaires. Les carottes, choisies en fonction de leur contexte physiographique: pente, chenal, levée de lobe principal et unité interlobe, ont été prélevées au cours de missions océanographiques internationales des navires océanographiques: *Catherine Laurence*, *Suroît*, *Cornide de Saavedra*.

Ces études ont mis en évidence, dans l'éventail sous-marin profond du Rhône, l'Holocène et le Würm [107].

L'Holocène est caractérisé par une vase gris-beige et une masse plastique riche en eau, composée de smectite avec un enrichissement du rapport cuivre sur manganèse et une microfaune benthique de type actuel à type chaud (*Globigerina inflata...*). L'âge des dépôts holocènes déterminé par notre laboratoire varie entre 11000 et 1200 ans BP.

Le Würm est caractérisé par une vase micacée, riche en pyrite et monosulfure avec un rapport cuivre sur manganèse plus faible que dans l'Holocène, une microfaune pélagique de type froid de ptéropodes *Myacina* en pourcentage élevé et de foraminifères *Globigerina pachiderma* relativement abondants. La microfaune benthique est plus riche en espèces Nord Atlantiques. L'âge de ces dépôts est compris entre 23000 et 11000 ans BP.

2.2.2.2. - *Espagne*

• *Éventail sous-marin de l'Ebre*

Les processus intervenant dans l'édification de la marge progressive de Tarragone Castella ont été reconstitués à partir des relevés par sismique réflexion haute résolution, mettant en évidence les caractères des unités lithosismiques supérieures. La chronostratigraphie des dépôts du Quaternaire récent de l'éventail sous-marin de l'Ebre a été précisée par la datation ¹⁴C de la faune rencontrée dans les différents niveaux carottés dans les dépôts de pente de l'Ebre. *Arca*, *Bittium*, *Cardium*, *Coraux*, *Epithonium*, *Mytilus* ... ont été les espèces le plus fréquemment datées.

Les éventails de l'Ebre et du Rhône ont été comparés. Malgré des différences de caractéristiques morphologiques et du volume d'accumulation sédimentaire profond: l'éventail du Rhône est alimenté par un véritable canyon sous-marin tandis que les dépôts de pente de l'Ebre sont en relation avec un réseau diffus de chenaux entaillant la pente, il existe une similarité de structure. Celle-ci pourrait refléter une évolution sédimentaire comparable avec un synchronisme dans l'élaboration. Durant les périodes de haut niveau marin le plateau continental joue le rôle de piège pour les alluvions, ainsi la majeure partie des dépôts holocènes est stockée, sur le plateau du golfe du Lion comme sur celui de l'Ebre, dans le domaine infralittoral (0 à 50 mètres). L'édification des éventails sédimentaires profonds a dû avoir lieu au cours des périodes de bas niveaux eustatiques pendant les périodes glaciaires [96].

2.2.2.3. - *Méditerranée orientale*

• *Delta sous-marin du Nil*

Les fractions biogènes de carottes prélevées sous 31 à 640 mètres d'eau en Méditerranée orientale, à une distance comprise entre 9 et 29 km du rivage, selon deux lignes N.E./S.O. au large d'Acre Haïfa et E.O. au nord de Tel Aviv ont été datées. Un taux d'accumulation de 5 à 8 cm par siècle a pu être défini pour les dépôts sédimentaires du Nil sur la portion sud-est du bassin levantin [29].

2.2.3. - *Chronostratigraphie des lagunes littorales*

Des données chronologiques précises ont été apportées par les datations de notre laboratoire de la macrofaune marine extraite de carottes prélevées dans les lagunes du littoral méditerranéen. L'évolution paléogéographique de ces lagunes est retracée à partir des études pluridisciplinaires ayant pour site des lagunes françaises, espagnole, italienne et tunisienne.

2.2.3.1. – France (Lagunes du littoral Languedoc-Roussillon)

La série des lagunes du littoral Languedoc-Roussillon étudiées; étangs de Berre, Thau, Salses-Leucate, Saint-Nazaire, est isolée d'une manière temporaire ou permanente de la mer Méditerranée par des cordons littoraux sableux. Le remplissage sédimentaire de ces lagunes s'inscrit dans la transgression flandrienne (période holocène) dont le maximum se situe à un niveau voisin de zéro actuel vers 4 500 ans BP. Cette transgression a envahi les dépressions naturelles faisant apparaître les lagunes holocènes [106].

• Étang de Berre

Le tréfond de l'étang de Berre a une topographie variée, il communique avec la mer par l'étang naturel de Coronte. Sa salinité, variable selon les endroits et les saisons, permettait le développement de biocénoses marines ou saumâtres, avant l'arrivée d'une grande partie des eaux de la Durance turbinée par la centrale EDF de Saint Chamas. Dans le paléothalweg un tronc de *Pinus silvestris* daté de 35 000 ans reposant sur le bedrock caillouteux à –18 mètres de profondeur indique son appartenance au Würm II – Würm III [16].

Dans l'anse de Saint-Chamas des coquilles de *Cardium*, *Tellina*, *Loripes*, ont été extraites de carottes, un taux de sédimentation de 6 à 10 cm par siècle a été déduit de leur datation par ^{14}C . Un taux d'accumulation supérieur de 26 cm par siècle a été obtenu à partir des datations par le ^{210}Pb et le ^{137}Cs . Cette différence de vitesse d'accumulation pourrait être attribuée aux apports d'eaux douces de la Durance reçues depuis 1966 par la mise en service de l'usine hydroélectrique, apports agissant par échange isotopique sur la teneur en ^{14}C des coquilles analysées.

• Étang de Thau

Les datations ^{14}C des biotopes de serpules et de moules, constituants principaux des "cadoules" ont précisé la chronologie des processus sédimentaires du remplissage de cet étang. Elles indiquent une formation très récente – quelques siècles – une vitesse de sédimentation continue et régulière de 13 à 15 cm par siècle jusqu'à une zone remaniée. Au-dessus de cette zone, des perturbations sédimentaires sont soulignées par une chronologie inversée de certains niveaux [32].

• Étang de Salses-Leucate

L'étang de Salses-Leucate, isolé de la mer par un cordon littoral sableux percé de trois graus assurant la communication avec la Méditerranée, est formé de deux bassins séparés par une zone de hauts-fonds. L'étude sédimentologique complétée par des datations ^{14}C de niveaux coquilliers isolés dans les carottes permet de suivre l'évolution paléogéographique du remplissage sédimentaire. La chronologie des formations littorales suit le schéma suivant: avant 4 200 ans BP, la mer se trouvant à un niveau inférieur à l'actuel d'une dizaine de mètres, un cordon littoral se forme. Après élévation du niveau marin, un second cordon se construit sous le lido actuel en isolant la lagune agrandie, il est accompagné de dépôts de vases datées de 4 200 à 3 000 ans BP. La mer, continuant sa remontée, franchit les cordons et redistribue une partie du matériel déposé entre 3 000 et 2 700 ans BP. Après la constitution du cordon de la Rascasse de 2 700 ans à 2 000 ans BP, le cordon actuel s'édifie entre 2 000 ans BP et l'Actuel [69]. (Figure 19).

• Étang de Saint-Nazaire

Le taux de sédimentation de l'étang de Saint-Nazaire, établi par la datation de coquilles marines (*Cardium*) est égal à environ 80 cm par millénaire pour la partie centrale de l'étang et de 45 cm par millénaire dans la partie nord malgré l'apport fluvial. Ce taux est explicable par une compaction en période estivale des sédiments asséchés suivie d'une érosion éolienne [32], [109].

2.2.3.2. – Espagne (Lagune de Mar Menor)

La datation ^{14}C de la macrofaune des niveaux sédimentaires de la lagune de Mar Menor, Murcia, Espagne, en particulier *Cardium* et *Cerithium undatum*, a précisé la chronologie de son évolution paléogéographique [32].

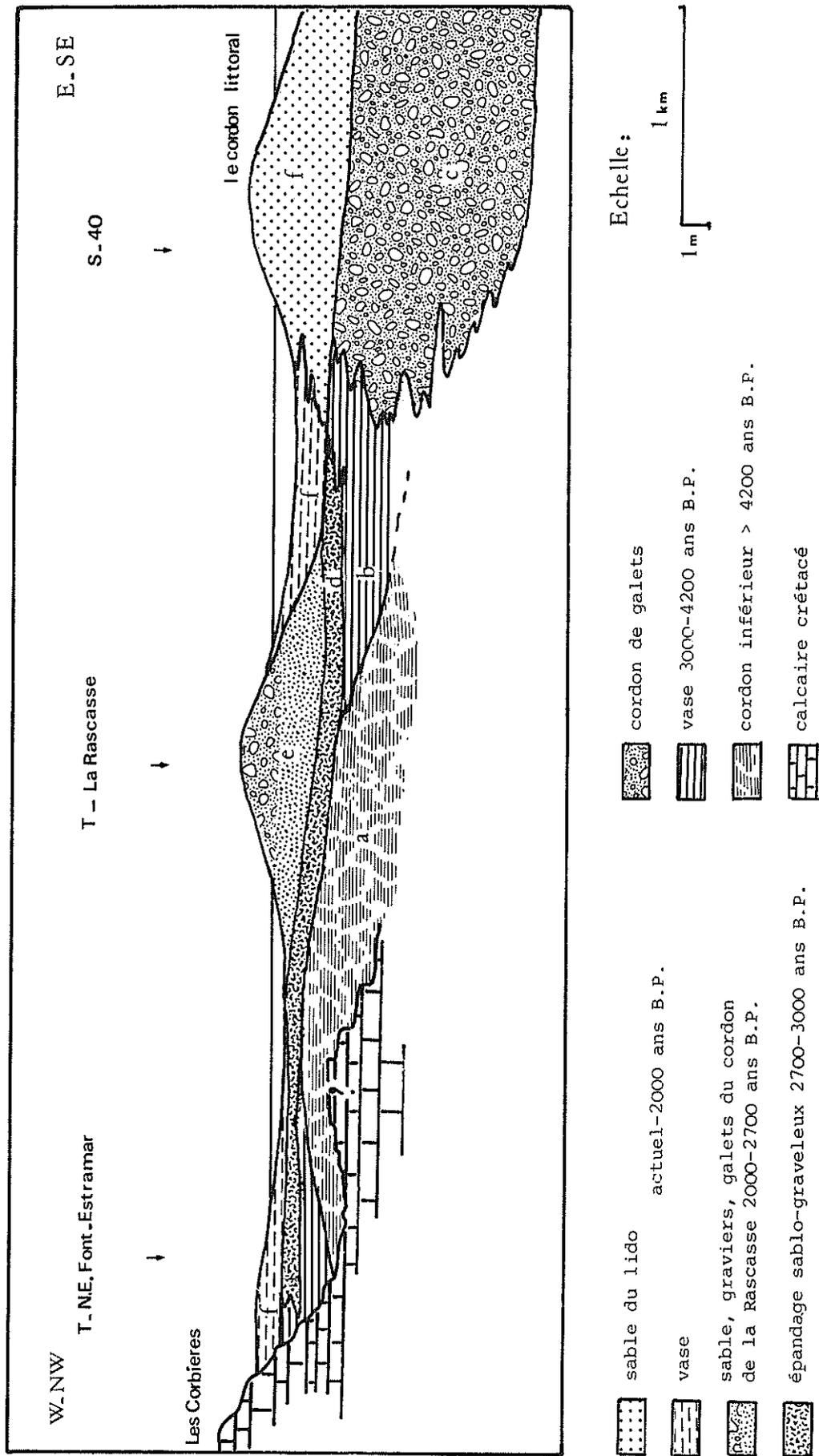


FIGURE 19 - Coupe interprétative longitudinale du remplissage holocène de la zone des hauts fonds de l'étang de Salses-Leucate.

L'envahissement par la mer a débuté au Flandrien. Au Flandrien terminal, un dépôt de vase coquillière consécutif au maximum transgressif s'établit, de 3 600 à 1 400 ans BP, avec une vitesse de sédimentation de 0,3 m par millénaire dans ce milieu ouvert aux influences marines.

Vers 1 000 ans BP où la mer commence à se retirer, la construction du lido s'intensifie avec les apports détritiques méridionaux à la vitesse de sédimentation de 0,4 m par millénaire.

Au cours de la période historique l'action anthropique modifie l'importance des sources d'apports: rejets industriels de la Sierra de Cartagena, et la vitesse de sédimentation atteint 3 m par millénaire.

La formation de la lagune de Mar Menor est identique à celle des étangs littoraux du Languedoc-Roussillon et date de la même période flandrienne. L'âge des dépôts confirme que la zone n'a pas fonctionné en subsidence au cours du Quaternaire récent, évolution qui la différencie des étangs littoraux du golfe du Lion où le remplissage laguno-marin flandrien est important.

2.2.3.3. - Italie (*Lagune de Venise*)

L'étude géomorphologique de niveaux tourbeux de carottes prélevées au centre de la lagune de Venise - région de Torson di Sotto - dans la zone des "barèmes" a été complétée par des analyses palynologiques, radiométriques et par la détermination des foraminifères. L'ensemble de ces études a permis de suivre le changement des conditions paléogéographiques caractérisé par une phase régressive suivie d'une phase transgressive entre 1 730 ans et 1 140 ans BP. Cette oscillation, régressive, puis transgressive peut être la résultante: de modifications de marée, de l'influence d'une fluctuation eustatique du niveau de la mer ou encore climatique. La phase transgressive s'est accélérée depuis un siècle. Dans les dernières décennies la transgression est devenue de plus en plus rapide par suite des affaissements d'origine anthropique et de l'approfondissement du chenal de la passe [79], [86].

2.2.3.4. - Tunisie (*Lagune de Bizerte*)

L'évolution paléogéographique de la lagune de Bizerte au cours du Quaternaire récent a été décrite à partir d'analyses sédimentaires, géochimiques, minéralogiques, paléontologiques complétées par des données radiométriques fixant la chronologie des événements [106].

Dans le remplissage quaternaire de la lagune, sur une série de 90 mètres s'individualisent plusieurs séquences séparées par des surfaces de ravinement. L'unité de recouvrement constitue l'équivalent des plages surélevées de la plaine Gueniche, datées de 28 000 à 20 000 ans BP (inter-stade Würm III-IV). Cette surélévation indiquerait un mouvement de bascule Est-Ouest qui serait à l'origine de l'isolement de la lagune. La transgression flandrienne aux abords de la lagune a atteint son maximum vers 2 000 ans BP, sans que le niveau de la mer ne dépasse le niveau actuel.

Dans la lagune, les dépôts correspondant à la transgression holocène sont essentiellement vaseux. Les vitesses de sédimentation estimées dans quelques zones de la lagune pour différents niveaux de dépôts récents comprenant des coquilles marines: *Cardium*, *Cerithium*, *Dosinia*, *Tellina* ... s'échelonnent de 6 à 50 cm par siècle. Elles montrent une accumulation préférentielle du matériel terrigène dans la dépression centrale et dans la partie ouest soumise à l'impact sédimentaire de l'oued Tinza. La zone orientale n'offre qu'un taux de dépôts très faible ou même nul [90].

2.2.4. - Grottes sous-marines du littoral Provence Côte-d'Azur

La datation de la macrofaune, emprisonnée dans les dépôts quaternaires de plusieurs grottes sous-marines du littoral méditerranéen, de Marseille à Villefranche sur Mer: grottes des Trémies et du Veyron dans les Bouches-du-Rhône, grottes Huet, du Corail et du Mérou dans les Alpes-Maritimes, a donné les successions chronologiques des accumulations sédimentaires.

Dans la grotte des Trémies, la sédimentation versilienne débute vers 5 000 ans BP à -23 mètres. Le corail s'installe vers 4 000 ans BP après la submersion complète de la grotte. Un stationnement du niveau marin entre 4 000 et 2 700 ans BP correspondrait à un stade à -7 mètres, la mer atteignant son niveau actuel à partir de 2 700 ans BP [24].

Un épisode de stationnement de la mer, vers 25 mètres a pu être daté du milieu du Boréal sur l'accumulation des sédiments vaseux datée sur coquilles de *Turbo* de gastéropodes et de lamellibranches prélevées dans les niveaux successifs des grottes Huet, du Corail, du Mérout et du Veyron.

Au début de la période Atlantique, vers 7500 ans BP, la ligne de rivage de la transgression flandrienne avait dépassé la cote de -25 m et devait être située entre -15 mètres et -10 mètres [32], d'après les datations des coraux, lamellibranches et gastéropodes des sections de carottes prélevées dans les grottes Huet, du Corail et du Mérout [32].

2.2.5. - Sédiments quaternaires sous-marins profonds de Méditerranée

2.2.5.1. - Méditerranée centrale

Des analyses micro-paléontologiques, isotopiques pour l'oxygène et radiométriques ont permis d'établir la succession des événements climatiques et hydrologiques de sédiments quaternaires carottés à grande profondeur (1000 à 2500 mètres) dans divers bassins de la Méditerranée centrale (bassins ionien et tyrrhénien) [17].

La variation des températures superficielles de l'eau déduites des analyses fauniques, en accord avec la mesure des paléotempératures, montre deux phases climatiques principales. Pendant la phase post-glaciaire, la faune d'eau chaude domine dans les associations conservées. Il y a 7500 ans, une couche sapropélique se dépose dans les bassins orientaux, la frontière entre le post-glaciaire et le dernier glaciaire date de 12500 ans BP. La phase froide, interrompue par plusieurs oscillations tempérées de durée et d'amplitude diverses, a atteint son maximum entre 30000 et 20000 ans BP lorsque les températures superficielles étaient de 5 à 10°C inférieures aux moyennes annuelles actuelles.

La détermination au radiocarbone par notre laboratoire des âges des foraminifères planctoniques et des tests de ptéropodes des diverses carottes étudiées indiquent que les changements de climat de la Méditerranée furent contemporains de ceux de l'Atlantique et de la Mer Rouge avec des oscillations de plus grande amplitude en Méditerranée qu'en Mer Rouge [16].

2.2.5.2. - Méditerranée occidentale

A partir des analyses ^{14}C de foraminifères et de ptéropodes de carottes profondes (> 2400 m.) prélevées dans le bassin tyrrhénien, un taux de sédimentation moyen, variant de 5 à 25 cm par millénaire selon le point étudié, a été calculé pour la période glaciaire. Ce taux est beaucoup plus élevé que le taux de sédimentation moyen des bassins profonds des océans Indien, Pacifique et Atlantique. Les analyses minéralogiques et hydrologiques effectuées par les chercheurs du C.N.R.S. de Gif suggèrent le transport de grandes quantités de carbonates détritiques en provenance de la partie nord du bassin à partir des côtes de Corse et de Provence. Les foraminifères apparaissent en proportion variable mélangés à des carbonates terrigènes [9].

Au cours d'une mission de la Woods Hole Oceanographic Institution en Méditerranée occidentale par le N.O. *Chain* des coraux *Desmophyllum cristagalli*, prélevés par 2400 mètres de fond entre la plaine abyssale et la pente continentale ont été datés par notre laboratoire de 32000 ans BP. Dans cette zone une série de groupes de coraux fait saillie à travers le sédiment, certains semblent recouverts d'une mince couche noire qui pourrait être du bioxyde de manganèse.

Le bathyscaphe *Archimède* a recueilli au large de la Provence par 2400 mètres de fond, sur le sommet d'un dôme (dit de Toulon) des affleurements rocheux. La datation de ces sédiments consolidés, essentiellement constitués de *Globorotalia truncatulinoides* et *Globorotalia inflata* d'âge compris entre 8700 et 8200 ans BP attribue leur formation à la période post-glaciaire.

3 - PÉDOLOGIE

3.1. - Études des acides humiques dans les sols de montagne

3.1.1. - Pyrénées

La datation des acides humiques extraits de sols et de rankers des Pyrénées centrales et occidentales (la Gela, Aigua Passas, Leirherin, Lac d'Issalie, pic Pitard, Lecheren, Pourbie) associés à une couverture végétale variée, étalée sur une période de 1 600 à 190 ans BP, a servi de guide à l'évaluation de l'âge moyen des humus, de l'âge des peuplements végétaux et des époques respectives du recul des névés au Tardiglaciaire.

3.1.2. - Vosges

Le temps moyen de résidence de la matière organique des sols vosgiens, évalué à 400 ans, permet de déduire que c'est le matériel associé à la surface des cristallites d'argile qui est biodégradé et non celui situé entre les feuillets. Par ailleurs ce sont les fractions organiques les plus grossières qui ont un temps de résidence maximal. Enfin le temps moyen de résidence de la matière organique dans les phytolithes (700 ans) semble lié à la double origine de la matière organique [76].

3.2. - Études de la matière organique dans les sols exotiques

3.2.1. - Brésil

Le ^{14}C artificiellement introduit dans l'atmosphère par les explosions atomiques, peut servir de traceur de la matière organique dans les sols, possibilité utilisée pour la détermination du temps de résidence de fractions humiques de deux sols ferrallitiques de Santo Amarao et Ondina, État de Bahia. Le ^{14}C est un complément aux techniques classiques d'études des sols [39].

La datation de divers horizons humifères de recôncavo bahianais et du Para, permet d'affirmer que les processus de podzolisation de ces sols remontent à plus de 3 000 ans BP et se poursuivent encore de nos jours [42].

L'âge de 3 350 ans BP, d'un niveau à -6 mètres d'un sol ferrallitique de la zone humide de l'État de Bahia, peut être attribué à des composés organiques des niveaux supérieurs du sol, ou à des résidus de matières organiques d'origine microbiologique ou encore au carbone de la maille cristalline des minéraux argileux [38].

3.2.2. - Guyane française

L'analyse de l'activité spécifique ^{14}C de trois fractions de la matière organique - acides fulviques, humiques et humine - de la plaine côtière en Guyane française, a été appliquée à la différenciation progressive de l'horizon humique caractéristique des podzols, à partir des ferrallitiques. Le temps de résidence et un taux de renouvellement des fractions organiques ont été déduits d'un modèle mathématique simple [58].

L'étude des transformations de la matière organique d'un système forestier a été complétée par la mesure de la teneur en ^{14}C des acides fulviques, humiques et humines d'un sol forestier équatorial. En effet la variation d'activité spécifique de l'air au cours des dernières années, se retrouve sur litière. Le retour à l'équilibre dynamique de l'écosystème forestier équatorial n'est pas réalisé trente ans après le défrichement [59].

4 - TECTONIQUE

Les datations ^{14}C de notre laboratoire ont apporté des informations sur la chronologie des évènements tectoniques holocènes en relation avec des phénomènes géomorphologiques évolutifs.

4.1. - Grèce

La chronologie des événements tectoniques de l'Arc hellénique dus à l'action de la plaque africaine et leur relation avec des séismes, a été définie avec précision pour les îles de Crète et de Rhodes [75], [80].

4.2. - Algérie

La géométrie de la déformation du sol, accompagnant le tremblement de terre d'El Asnam en octobre 1980, a été évaluée à partir des observations géomorphologiques des chercheurs des Universités de Cambridge et de Londres. La chronologie alluviale a été précisée par nos analyses ^{14}C qui confirment l'hypothèse de la relation des mouvements antérieurs au séisme avec un hypocentre plus éloigné vers l'Est [101].

4.3. - Liban

La corrélation des variations du niveau marin du littoral libanais avec des séismes a été révélée par la datation des thanatocénoses des trottoirs à vermetes (*Vermetus sp.*).

5 - PRÉHISTOIRE

Les témoins carbonés: bois, charbons de bois, os, coquilles de sites préhistoriques, mis à jour par des chercheurs du C.N.R.S., de l'Institut de Paléontologie Humaine, du Musée d'Anthropologie Préhistorique de Monaco et de diverses Universités, ont été datés par notre laboratoire pour apporter une précision chronologique aux civilisations et cultures préhistoriques étudiées.

Ces datations, de sites répartis dans plusieurs pays de la bordure méditerranéenne, correspondaient aux thèmes de la recherche coopérative sur programme du C.N.R.S., créée en 1970 "*Chronologie par le radiocarbone de la fin du Quaternaire en Méditerranée*". Les successions chronologiques de divers abris sous roche et grottes d'Asie ont été définies par des datations ^{14}C , en collaboration avec le Centre de Recherches Archéologiques de Sophia Antipolis et celles de gisements d'Amérique du Sud, à la demande de l'U.N.E.S.C.O.

Les datations de sites préhistoriques français, réalisées par notre laboratoire, sont regroupées par région avec leur appartenance aux civilisations paléolithiques [46], mésolithiques [46], néolithiques [47] et protohistoriques [47] dans la Préhistoire française: ouvrage édité pour le IX^e congrès de l'Union Internationale des Sciences Pré et Protohistoriques et dans un bulletin de la Société préhistorique française [99].

Nous avons participé comme co-auteurs à un nombre limité de publications se rapportant à la préhistoire. Plusieurs thèmes et de nombreuses publications de préhistoriens font référence à nos datations pour les chronologies des civilisations des sites préhistoriques du Paléolithique à l'Âge de Fer.

Les résultats des principaux sites datés dans notre laboratoire sont rappelés dans ce mémoire.

5.1. - Paléolithique-Mésolithique

5.1.1. - Europe

5.1.1.1. - France

Dans la grotte de l'Esquicho-Grapaou, Anastasie (Gard), située à l'entrée des gorges du Gardon, des témoins des industries du Paléolithique ont été découverts. La stratigraphie montre une industrie du Paléolithique supérieur attribuée à un Aurignacien primitif datée de 34 500 ans BP. La base du niveau d'habitat souligné à l'ocre rouge, remonte à 31 850 ans BP. Des critères sédimentologiques, paléontologiques corroborés par les datations permettent d'attribuer ces niveaux à la phase finale de l'Interstade Würm II-Würm III [108].

Dans la grotte de la Salpêtrière, Remoulins (Gard) qui s'ouvre sur la rive gauche du Gardon, la séquence chronologique s'étire de 20 500 ans à 13 100 ans BP. Les premières manifestations du Salpétrien ancien sont datées de 19 000 ans BP, avec un niveau de 18 000 ans BP enrichi en éléments fluviaux allochtones de galets et de granules du Gardon semblant indiquer une incursion du Gardon dans la grotte. Le Salpétrien supérieur à éléments microlithiques est daté de 15 000 ans BP.

L'abri Cornille, Sulauze (Bouches du Rhône), a livré des industries diversifiées, une faune froide et plusieurs ensembles climatiques allant de l'Alleröd au Boréal, au début de l'interstade d'Alleröd, le Magdalénien terminal se transforme en Epipaléolithique. Les datations de 11 300 à 8 100 ans BP des couches inférieures précisent bien son appartenance au Magdalénien supérieur.

A la Baume de Montclus (Gard), les foyers structurés de tous les niveaux ne sont pas des foyers culinaires. L'habitat devait être saisonnier et lié à l'activité de la pêche en rivière. On note un décalage chronologique à partir du Castelnovien avec un retard dans l'évolution des industries. L'outillage lithique se rattache à un Sauveterrien supérieur (Montclusien). Dans le bassin rhodanien les cultures méditerranéennes ont pu effectuer leur expansion vers le nord à cause du réchauffement et de la progression du climat méditerranéen après le Tardiglaciaire et grâce aux voies naturelles par les vallées des affluents du Rhône.

L'appartenance au Sauveterrien d'un niveau épipaléolithique de la grotte de l'Abeuradou, Félines Minervoises (Hérault), comportant de nombreuses légumineuses carbonisées, a été confirmée par la datation à 8 740 ans BP des ses tests carbonés.

La grotte de l'Abbé Pialat, Saint Bauzille de Putois (Hérault) a révélé une succession d'habitats du Mésolithique au Chalcolithique. Les datations de 9 330 à 5 270 ans BP ont porté sur les couches couvrant le Néolithique chasséen caractérisé par des lamelles en silex blond, le Mésolithique avec une faune représentée par du lapin, des petits rongeurs et des oiseaux, enfin un Epipaléolithique de plus de 9 000 ans BP.

L'abri sous roche Martin de Gréolières (Alpes-Maritimes), a livré des séquences du Paléolithique supérieur, de l'Epipaléolithique ancien et moyen datées de 12 400 ans à 9 800 ans BP. La datation de ces séquences confirme l'aspect transitionnel des industries lithiques exhumées très abondantes et technologiquement différentes, avec des restes humains et une parure abondante pour les niveaux supérieurs datés de 10 200 à 9 780 ans BP.

5.1.1.2. - Espagne

Dans le gisement de la Balma del Gai, Barcelone, une série d'industrie lithique: lames Dufour, pointes de Sauveterre et des éléments fauniques: escargots et coquilles d'espèces dulcicoles, paraissent s'inscrire dans le contexte pré-boréal donné par la datation des charbons des différentes couches de 11 050 à 9 860 ans BP [102].

5.1.1.3. - Italie

La datation de 12 200 ans BP de coquilles de *Monodonta turbinata* appartenant au mobilier funéraire d'un squelette féminin mis au jour dans la grotte des Enfants, Grimaldi, près de Vintimille, s'accorde avec l'industrie mésolithique évoquée par quelques microlithes et la faune froide associée: *Sus scrofa*, *Cervus capreolus*, *Cervus elaphus*, *Rangifer tarandus* découverte dans cette grotte [32].

5.1.2. - Afrique

La chronologie des civilisations préhistoriques africaines: Epipaléolithique, Ibéromaurusien, Ellassolithique, Capsien, Préneolithique et Néolithique a été précisée par la datation de restes carbonés (charbons de bois, tests d'hélicidés et œufs d'autruche), de divers sites du Maghreb, du Sahara, du Niger et du Sénégal (gisements de surface, abris sous roches, grottes, kjökkenmöddings).

5.1.2.1. - Algérie

Les fouilles de Tamar Hat, Beni Seghoual, ont permis de dater de 20 600 ans BP les débuts de l'occupation ibéromaurusienne et de 19 800 ans à 16 100 ans BP les différents niveaux ibéromaurusiens de cet abri. Ces dates situent le début de la plus ancienne culture épipaléolithique du nord du Maghreb, aux

industries microlithiques caractérisées par des armatures aux formes géométriques et des parures de coquilles marines, *Dentalium*, et lamellibranches [34].

Cette culture épipaléolithique s'étend de Tébessa en Algérie à Gafsa en Tunisie. La grotte de la Panthère, Hafir, présente dans ses niveaux inférieurs des industries de l'Épipaléolithique datées de 13 700 à 12 700 ans BP.

Les phases les plus récentes de l'Ibéromaurusien, civilisation essentiellement littorale et tellienne ont été trouvées dans divers sites. La grotte de l'Oued Guettara, région d'Oran, a livré dans ses couches profondes une industrie pré-néolithique, datée de 10 200 à 8 400 ans BP, dépourvue des caractères habituels de l'Ibéromaurusien [20].

Le gisement de Columnata, près de Sidi el Hosni, offre une stratigraphie complète. A une longue occupation ibéromaurusienne antérieure à 10 200 ans BP, succède le Columnatien de 8 200 à 7 300 ans BP avec une industrie épipaléolithique au microlithisme accentué, le Capsien supérieur de 6 800 à 6 400 ans et le Néolithique vers 5 800 ans BP. Dans ce site, la plus grande zone occupée par le Columnatien est une importante nécropole datée de 8 300 ans BP, qui fait suite à celle de l'Ibéromaurusien et abritait une centaine de squelettes humains [20].

A l'Ibéromaurusien succède le Capsien supérieur qui a couvert de très grands territoires dans le Maghreb. Cette civilisation capsienne, commencée aux VIII^e et VII^e millénaires, a duré plus de trois millénaires avec des variations régionales parfois décalées chronologiquement et une évolution de l'outillage lithique. Les Capsiens utilisaient les œufs d'autruche de diverses manières: bouteilles, coupes, pendeloques. Gravée de motifs simples au début de la civilisation capsienne, l'ornementation s'est développée dans le Capsien supérieur. L'industrie osseuse se diversifie et s'enrichit.

Le Capsien supérieur se retrouve dans la plaine de Sétif à Medjez II vers 8 900 ans BP. Cette civilisation capsienne se termine au cours du V^e millénaire comme en témoignent les datations de Medjez II supérieur: 6 500 ans BP, Columnata: 5 340 ans BP et Aïn Boucherit de 6 800 à 5 540 ans BP.

Une industrie osseuse abondante et variée, accompagnée d'une représentation moindre en fragments de coquilles d'œuf d'autruche décorés est présente dans les gisements d'Aïn Boucherit, datés de 7 000 à 6 800 ans BP et de Medjez II.

Dans le gisement de Medjez II, Sétif, les couches profondes présentent les dates les plus hautes du Capsien supérieur: 8 900 à 7 200 ans BP, sur les horizons supérieurs à industrie lithique comportant des pièces encochées, s'observe la phase terminale du Capsien vers 6 600 ans BP. Dans cette escargotière, ont été mis au jour quatre squelettes d'adultes protoméditerranéens, des restes osseux d'enfants et des ossements humains transformés en outils.

A Hassi Mouilah, Ouargla, l'établissement d'un Néolithique de tradition capsienne, daté de 5 300 ans BP, a succédé à l'industrie à lamelles remontant à 8 600 ans BP.

La station d'El Hadjar, au sud d'Ouargla, contenait les restes d'industries épipaléolithiques à lamelles à dos en chalcédoine, datée de 8 000 ans BP et des coquilles d'œuf d'autruche datant de 6 700 ans BP le niveau néolithique.

Dans l'abri de Koudiat Kifen Lahda, Aïn M'Lila, la culture élassolithique se situe entre 8 540 et 8 320 ans BP et le Capsien supérieur vers 8 100 ans BP. Ce Capsien supérieur dure de 8 530 à 7 090 ans BP dans l'escargotière d'Aïn Dokkara, où fut trouvé un squelette à morphologie archaïque. Ce Capsien se situe vers 7 000 ans BP dans le gisement de Dra Mta el Abiod. (Figures 20 et 21).

5.1.2.2. - Tunisie

Aux couches profondes de l'abri de Kef el Garia, Maktra, datées de 10 530 à 9 360 ans BP sur des tests d'*Helix* et de *Rumina decollata*, ont succédé des horizons néolithiques d'âge compris entre 7 000 et 5 930 ans BP, ces horizons contenaient de nombreux squelettes humains.

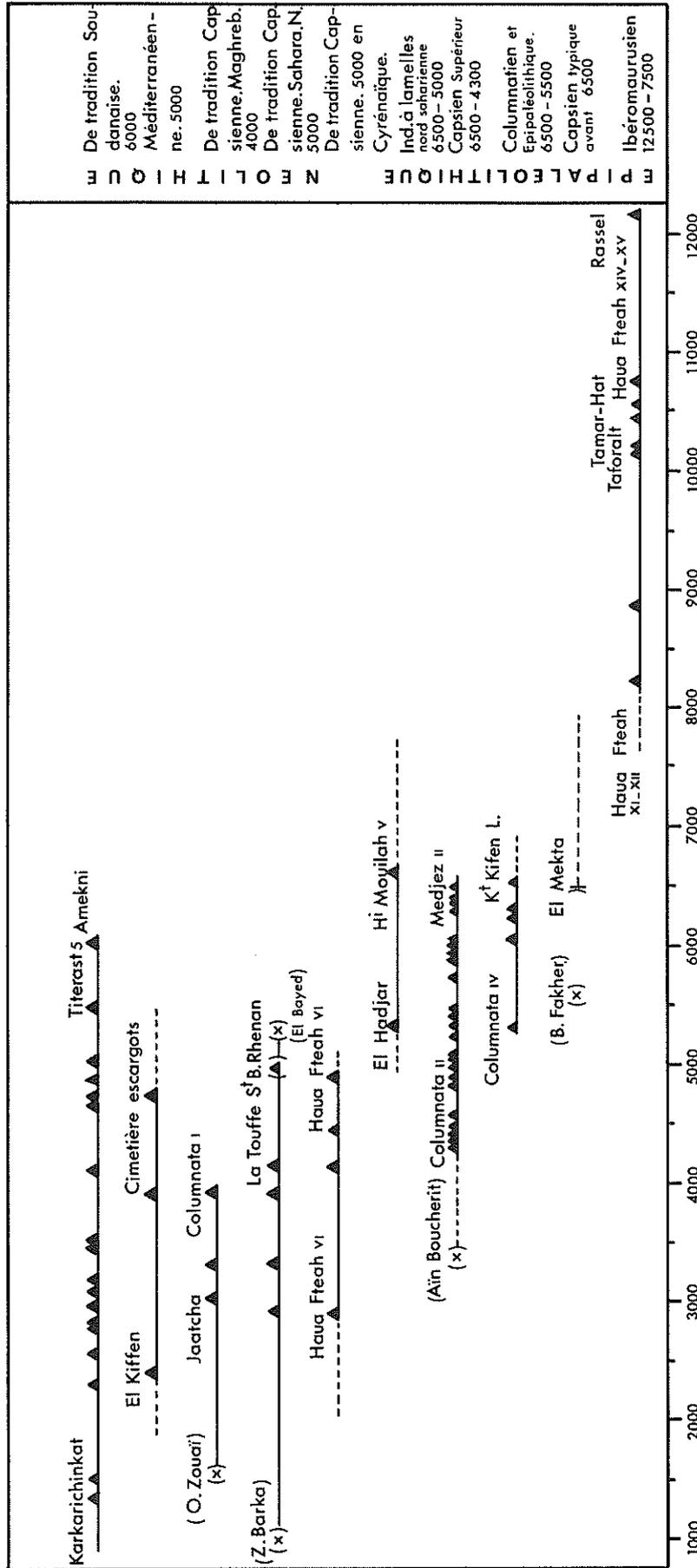


FIGURE 20 - Durée des civilisations préhistoriques dans le nord de l'Afrique (après l'Atérien).

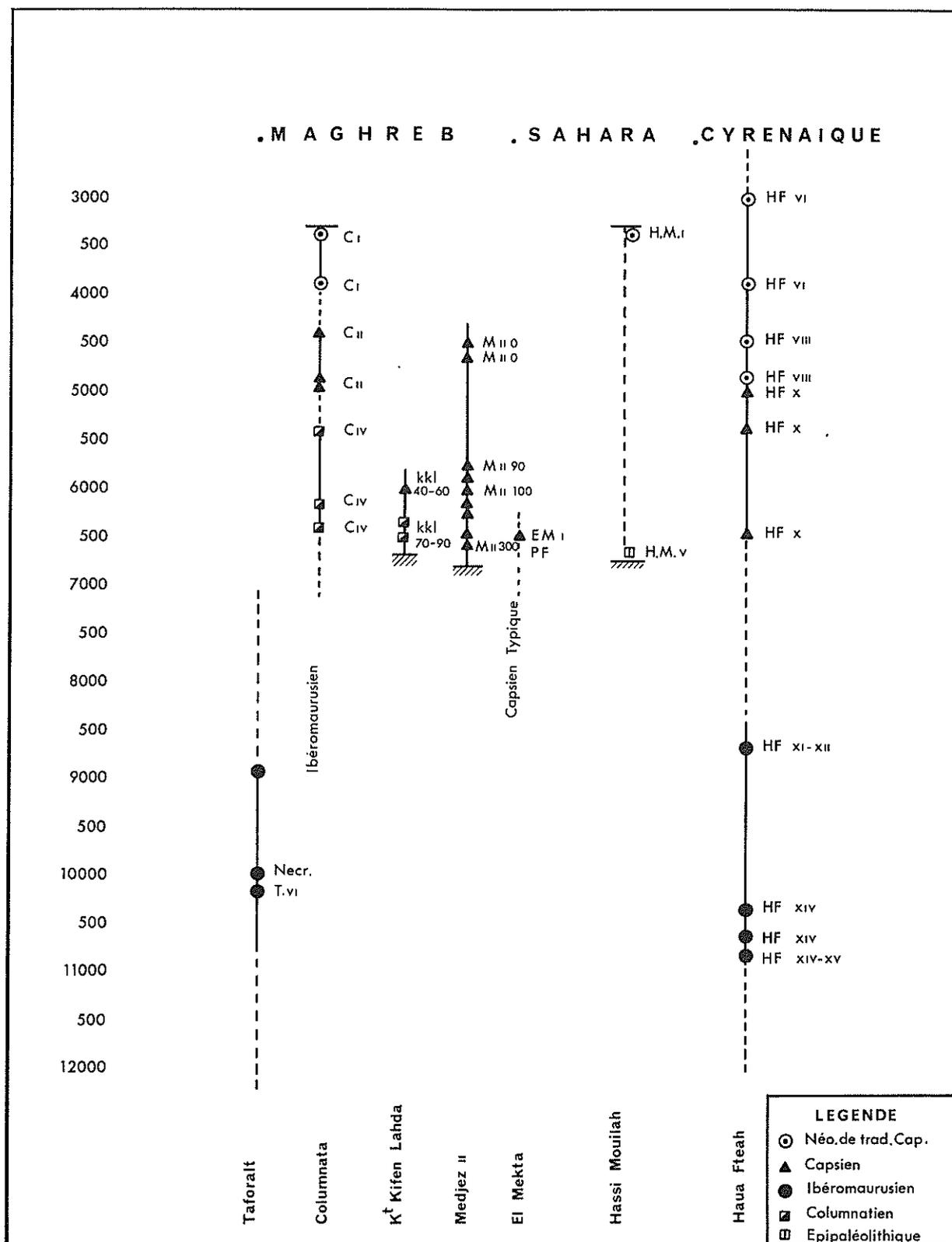


FIGURE 21 - Stratigraphie comparée et chronologie absolue de quelques gisements du nord de l'Afrique. (Epipaléolithique et Néolithique au Nord du 30^e parallèle).

5.1.2.3. – Maroc

Des sites répartis sur le littoral saharien de Tarfaya, à proximité du cap Juby ont livré une industrie lithique associée à des matériaux coquilliers: *Thais haemastoma*, *Tapes decussatus* et carbonés. Leur datation attribue l'occupation de ces sites de l'Épipaléolithique au Néolithique. L'un d'entre eux a servi d'habitat occasionnel et de nécropole vers la fin du V^e millénaire, un autre site à industrie épipaléolithique riche en microburins a été daté de 8 100 ans BP sur des coquilles d'œuf d'autruche décorées.

5.1.3. – Asie (Moyen-Orient)

5.1.3.1. – Liban

Une échelle chronostratigraphique du Paléolithique supérieur a été donnée pour l'abri sous roche de Ksar'Aqil, situé à 10 km de Beyrouth. La datation des divers niveaux de ce site-clé de la Préhistoire du Moyen Orient, établie sur charbons de bois, *Trocchus*, *Hélix*, a calibré la succession des horizons de 32 000 à 24 000 ans BP, en particulier de l'Aurignacien mis au jour dans ce site.

5.1.3.2. – Syrie

La séquence stratigraphique de Tell Mureybet, situé au bord de l'Euphrate à l'est d'Alep, et actuellement immergé par la mise en place d'un grand barrage hydroélectrique, s'étendait sur une soixantaine de couches dont l'occupation continue a été datée de 10 430 à 8 900 ans BP. La phase d'occupation primitive: Natoufien à maisons rondes, industrie microlithique, outillage en os, restes de poissons et de coquilles d'eau douce témoignant des activités de pêche, est comprise entre 10 430 et 10 000 ans BP. Les niveaux précéramiques à maisons rondes et industrie microlithique sans motifs géométriques, surmontés d'horizons comportant une nouvelle disposition architecturale où ont été découverts une figurine anthropomorphe et des outils d'obsidienne, sont datés de 9 900 à 8 900 ans BP.

5.1.4. – Amérique du sud

Brésil

L'abri sous roche de Toca da Boa Vista II, Sao Joao do Piaui, a été fouillé sur 26 niveaux archéologiques. Les couches médianes datées de 9 850 à 9 700 ans BP contiennent une abondante industrie lithique et les restes d'une sépulture. Le feu a détruit les probables peintures initiales des parois et plafond de cet abri.

Le site de Toca de Paraguaio, Sao Raimundo Monato, est un abri peint de 745 figures dont l'art caractérise la variété Serre di Capiuari appartenant au style Varzea grande. Dans la série des 15 niveaux à industrie lithique abondante, avec les restes d'ocre des peintures, quatre sols archéologiques ont été datés de 8 780 à 7 000 ans BP.

La datation des charbons de bois dégagés des différents niveaux archéologiques des grottes et abris sous roche d'Angico, Cha do Caboclo, Pedro do Caboclo, situées à proximité de Bom Jardim, a fixé la succession d'occupation de ces sites entre 9 520 et 2 000 ans BP, correspondant à des civilisations locales de tradition Bom Jardim, pré-céramique Paquevira et céramique de Pedra do Caboclo [56], [57].

5.2. – Néolithique-Âge du Bronze

5.2.1. – Europe

5.2.1.1. – France

• Languedoc-Roussillon

Le Néolithique à poterie imprimée constitue la première phase au cours de laquelle se manifestent certaines innovations technologiques (fabrication de la céramique, polissage), la répartition de cet

horizon est limitée aux Pyrénées méditerranéennes: village de Corrège à Leucate [110], abri Jean Cros, Abri de Dourgne II. L'agriculture apparaît précocement dès la première moitié du V^e millénaire. Certaines communautés cardiales sont datées des débuts de ce V^e millénaire: Leucate 6 800 ans BP, Jean Cros 6 600 ans BP où l'élevage du chien, du porc, du mouton, de la chèvre et du bœuf est attesté. A la grotte de Montbolo (Pyrénées-Orientales), datée de 6 450 ans BP, où il était fait une large place à l'élevage, la faune était constituée de moutons à plus de 45%. Au cours du Bronze final, les introductions de céramique cannelée spécifique des champs d'urnes anciens commencent à apparaître sur la façade méditerranéenne, en particulier à la grotte de Montbolo.

L'abri de Font Juvénal (Aude), est l'une des plus importantes stratigraphies néolithiques du sud de la France. Tous les groupes culturels néolithiques, de 5 850 à 4 160 ans BP, s'y trouvent représentés avec des industries lithiques et de la céramique dans les couches holocènes totalisant plus de six mètres de profondeur [37].

L'abri de Dourgne II (Aude), montre les pulsations de la néolithisation en pays de Sault; les substrats sauveterroïdes puis tardenoïdes font place à un Proto-néolithique dans lequel l'élevage s'affirme. La poterie apparaît ensuite avec l'agriculture et la néolithisation devient peu à peu totale.

L'abri Jean Cros (Aude), a fourni les restes d'un faciès néolithique ancien des Corbières, première moitié du V^e millénaire. D'importantes séries de l'Âge du Bronze ont été datées de 2 700 ans BP dans l'abri du Gaugnas, Cabrespines (Aude), qui a livré des grains carbonisés de blé et d'orge.

Dans la grotte des chambres d'Alaric (Aude), épicanpaniformes barbelés, tessons campaniformes pyrénéens, voisinent avec un riche ensemble vérazien final et avec des restes osseux humains. La datation de 3 775 ans BP fixe la période d'occupation à la charnière Chalcolithique-Bronze ancien.

La datation de fosses d'un habitat à Carsac Carcassonne, (Aude), a montré l'appartenance de l'une des fosses au premier Âge du Fer languedocien avec une contemporanéité des premières importations méditerranéennes en Languedoc (céramiques corinthiennes et étrusques) vers 2 520 ans BP. Un important système défensif creusé en fosse se rapporte au Bronze final: 3 020 à 2 720 ans BP.

La stratigraphie de la grotte Tournié (Hérault) située dans les calcaires primaires, montre la multiplication des couches d'habitats et la succession des horizons archéologiques calés par les datations ¹⁴C. Cette succession s'étend du Néolithique (4 800 ans BP) au Bronze ancien (3 500 ans BP) franchissant le Saint Ponien (4 800 ans BP) et le Vérazien (4 000 ans BP) avec la présence d'un mobilier abondant (céramique, outillage en os et en cuivre selon la période étudiée) et de restes humains osseux [64].

Le gisement de l'Avencas, Brissac (Hérault) daté sur les charbons de la couche archéologique de 4 600 à 4 200 ans BP, recèle des céramiques réparties entre la fin du Chasséen et les premières manifestations de la culture de Ferrières. Ces datations sont synchrones de celles de l'Aven de la Boucle, Corconne (Gard), au mobilier très proche sur le plan morphologique.

Au village de Cambous à Viols en Laval (Hérault) des vestiges de l'architecture de l'Âge du Cuivre en Languedoc se présentaient de manière à permettre la reconstitution du village préhistorique et de conclure à son édification en une période de sécurité et de calme relatif permettant l'élevage du mouton, agent de la dégradation du milieu végétal. La population des villages de l'Âge du Cuivre était rigoureusement sédentaire. On peut attribuer aux Chalcolithiques, bâtisseurs de villages, la dégradation du milieu qui devait être essentiellement forestier et entraîner par suite de l'altération de la végétation arbustive un démantèlement des sols forestiers. Cette modification pourrait être à l'origine de la formation du milieu naturel actuel de garrigues au sol maigre et rare.

Dans le gisement paléolithique de la Salpêtrière (Gard) a été mis en évidence un ensemble de structures en fosses attribuable au groupe de Fontbouisse confirmé par les datations de 4 000 à 3 700 ans BP. Les fosses sont remplies de cendres, de restes de faune, de céramique très fragmentée, d'éclats de quartz, de fragments de *Mytilus*, de graines carbonisées de *Triticum* et d'orge nue polystique. Ces fosses représentent un jalon sur les aménagements en grotte au Chalcolithique, sur les pratiques agricoles de Fontbuxions et sur le milieu végétal au Sub-Boréal dans les garrigues du Gard.

L'habitat de Saint Michel du Touch, Villeneuve Tolosane (Haute-Garonne), est constitué de 300 cabanes associées à des structures complexes et des ouvrages défensifs du type fossé interrompu. Selon les datations des divers foyers la présence chasséenne aurait duré un millénaire: 5 600 à 4 500 ans BP. Une chambre funéraire, enfouie sous une chape de galets a été datée de 5 200 ans BP. Dans

cet habitat, l'agriculture est attestée par de nombreux broyons et meules, le développement de l'élevage (bœuf, mouton, chèvre) ressort de l'analyse de la faune, avec parallèlement un apport non négligeable des animaux de chasse (cerf, chevreuil, sanglier) dans l'alimentation des habitants.

- *Provence*

La Provence compte un certain nombre de sites attribuables à l'Épipaléolithique, au Mésolithique ou au Néolithique ancien. Ces gisements, grottes ou abris correspondaient à des groupes humains de faible importance. La Néolithisation semble s'être effectuée par acculturation du substrat humain local: Castelnovien à Châteauneuf les Martigues (Bouches du Rhône), Sauveterrien d'Unang à Malemort (Vaucluse) et de Saint Mitre (Alpes de Haute-Provence) [16]. La localisation du Cardial ancien, limité à des gisements côtiers et insulaires, souligne le rôle de la vie maritime dans la diffusion du Néolithique en Méditerranée. Ce Néolithique est apparu sur la côte dès la première moitié du VI^e millénaire, comme l'indiquent plusieurs dates en concordance avec celles du Cardial de Corse et d'Italie: 7500 ans BP à Châteauneuf les Martigues, 7600 et 7400 ans BP à l'île Riou, 7970 et 7650 ans BP au Cap Ragnon à Marseille [32]. Les sites de l'intérieur ont donné des dates plus récentes d'un millénaire, 6700 ans BP à Saint Mitre, témoins d'un important retard dans la Néolithisation de l'arrière pays, où les populations épipaléolithiques maintenaient un mode de vie basé sur une économie de subsistance: petite chasse, pêche, cueillette, collecte de mollusques.

Dans l'abri de Châteauneuf-les-Martigues (Bouches-du-Rhône) (Figure 22) situé à proximité de l'étang de Berre, les datations comprises entre 7850 et 5900 ans BP placeraient le gisement dans une période allant de la fin du Boréal à la moitié de l'Atlantique. Son industrie lithique permet d'affirmer son appartenance au Néolithique ancien Cardial. La présence d'éléments de faucilles en silex, de meules et de céréales carbonisées, est la preuve de pratiques agricoles dans le Néolithique ancien français; les plus anciennes traces de blé (*Triticum aestivum*) et d'orge nue polystyrique se manifestent dès la fin du VI^e millénaire au Cardial provençal [50]. L'étude de la faune montre une progression rapide des espèces domestiques dans les couches du Cardial: mouton, bœuf [112].

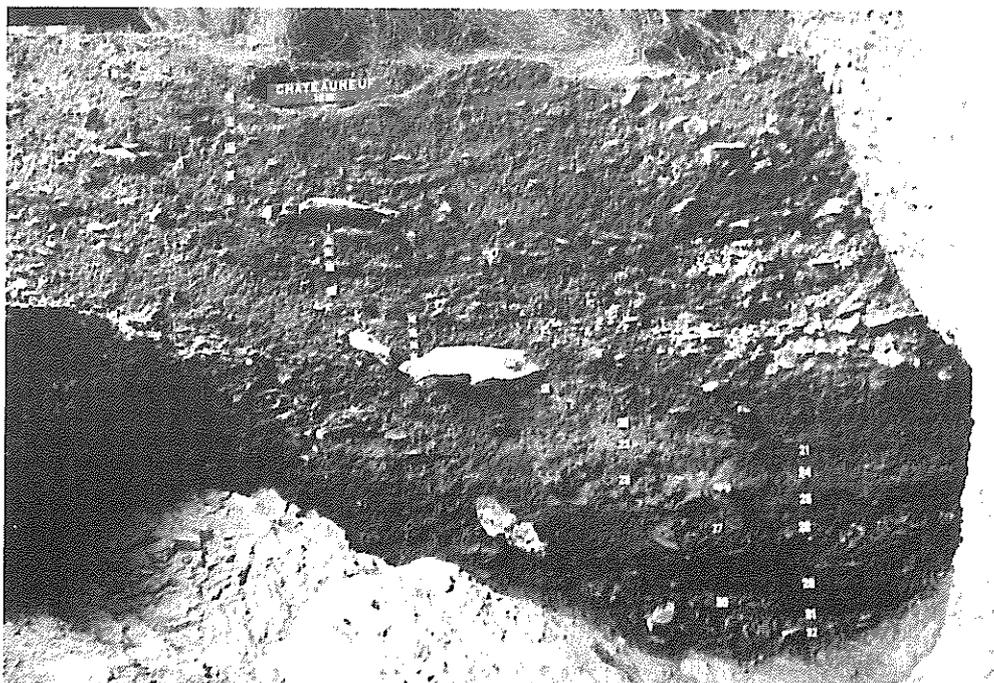


FIGURE 22 - Coupe de l'abri de Châteauneuf-les-Martigues.

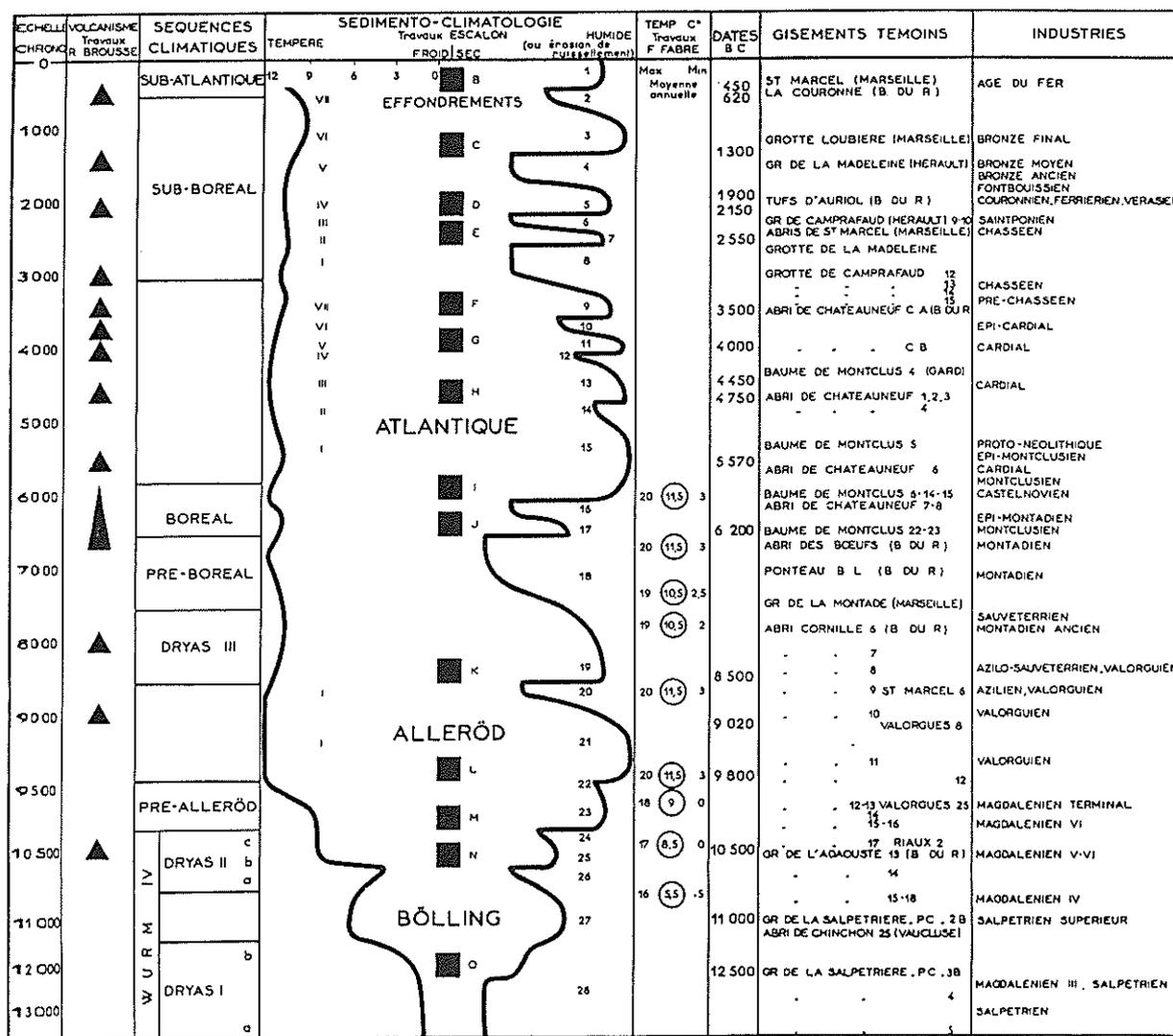
Le village néolithique couronnien de la Couronne, Collet Redon près de Martigues (Bouches-du-Rhône), site éponyme daté sur les derniers foyers allumés avant son abandon, se rapporte au Néolithique final: 4300 ans BP. Le Couronnien utilise une céramique comprenant uniquement des formes primaires sans décor. A un outillage banal sur éclats sont associées de grandes lames à sections épaisses. L'élevage est également bien développé.

Au Couronnien, les sites sont disséminés depuis la côte: sites de la Couronne de Ponteau, de l'étang de Berre jusqu'aux Alpilles.

Le Chasséen méridional, particulièrement bien représenté en Provence est caractérisé par un outillage léger, il couvre la totalité du IV^e millénaire et le début du III^e millénaire. Les dates les plus hautes se situent vers 5450 ans BP comme à la Bertaude (Vaucluse).

Il existe des traces d'occupation au Bronze ancien sur des habitats chalcolithiques ruinés comme au Collet Redon. La prédilection pour l'habitat perché s'affiche au Camp de Laure, au sud de l'étang de Berre, protégé par deux bastions. Cet ouvrage défensif daté de 3500 ans BP suppose des groupes humains à fortes structures sociales, politiquement organisées et hiérarchisées.

Dans le gisement de Miouvin, Istres (Bouches-du-Rhône), situé sur le plateau calcaire entre la Crau et l'étang de l'Olivier, les caractères originaux de la couche médiane se rapportent à une industrie lithique rattachée au Chasséen méridional. Les décors et la céramique sont de type chasséen. La chronologie, basse pour ce niveau, déduite de la coexistence de divers éléments des industries osseuses et de la parure, est confirmée par les datations échelonnées de 5380 à 4025 ans BP. Elles montrent la présence d'une industrie d'affinité chasséenne, qui offre déjà quelques traits originaux évolués du milieu du troisième millénaire avant J.C.



ESCALON 1972

FIGURE 23 - Tableau synoptique de la fin du Paléolithique, de l'Épipaléolithique, du Mésolithique et de l'Âge des métaux pour le Midi de la France (Provence occidentale et Languedoc oriental).

- *Corse*

Les fouilles de Terrina IV, Aléria (Haute-Corse), ont permis de recueillir sur les niveaux néolithiques datés de 4950 ans BP à 4420 ans BP un mobilier essentiellement céramique (vases domestiques), une industrie lithique composée de deux armatures de flèches en silex et en obsidienne, une accumulation de mollusques consommés: huitre, cardium. La faune domestique: bœuf, mouton, porc, chien, confirme la vie pastorale révélée par les formes de poterie.

L'abri sous roche de Scaffa Piana, Saint Florent (Haute-Corse), présente une succession d'occupation datée de 5360 à 1920 ans BP. Il correspond à un habitat rare à cette époque en Corse. Certains niveaux ont révélé des restes de la plus vieille industrie de vannerie en Corse.

La succession des industries préhistoriques de sites du Midi de la France, de la fin du Paléolithique à l'Âge du Fer, les corrélations climatiques et sédimento-climatologiques sont regroupées dans le tableau de la figure 23. La majeure partie des gisements cités a été datée dans notre laboratoire.

5.2.1.2. - *Espagne*

L'important gisement de la Cova del Toll, Moia (Barcelone), étudié sur plusieurs sondages, présente une succession d'occupations du Néolithique à l'Âge du Bronze. Les caractéristiques stratigraphiques de l'un des sondages mettent en évidence deux étapes principales, l'une correspond au Néolithique de 5500 à 5100 ans BP avec de la céramique de type Montbolo: vases carénés, pointes d'os..., l'autre à l'Âge du Bronze ancien catalan 3750 ans BP, des pointes de métal à section quadrangulaire, des silex à lustré de céréales [102].

La grotte d'El Coll, Llinars del Vallès (Barcelone), propose une intéressante industrie lithique: grattoirs, flèches foliacées, céramique de type vérazien. La corrélation de ce Néolithique final Chacolithique de faciès vérazien en Catalogne avec le Vérazien français a été définie par la datation de 4775 à 4640 ans BP. La chronologie de la succession des civilisations de ce gisement a été donnée par les datations: 5970 ans BP pour le Néolithique ancien à poterie cardiale; 5440 ans BP pour l'Epicardial catalan, 5210 ans BP pour les premières phases du Néolithique catalan avec une céramique de type Montbolo [102].

Le site de plein air de Bobila Madurell, Saint Quirze del Vallès (Barcelone), est un site du Néolithique et de l'Âge du Bronze. L'introduction de certaines espèces de céréales en Méditerranée occidentale se situe aux environs de 3750 ans BP dans ce gisement [102].

La grotte de la Cova del Frare, Matadepera (Barcelone), située dans les conglomérats tertiaires de la bordure méridionale de la dépression de l'Ebre et appartenant morphologiquement à la cordillère pré littorale, a livré des vestiges d'une occupation s'étendant du Néolithique ancien à l'Âge du Bronze, avec les étapes du Néolithique final et de l'Âge du Bronze ancien. Les différents niveaux archéologiques ont fourni les restes d'industries. L'industrie lithique est peu représentée. La céramique décorée plus abondante montre les diverses cultures corroborées par les datations échelonnées de 5800 ans BP à 3800 ans BP. Le niveau inférieur à céramiques non décorées appartient à la charnière du Néolithique ancien-moyen. Certains niveaux présentent l'association des vestiges de l'Âge du Bronze avec la poterie vérazienne et la poterie de type épicanpaniforme. La datation de 4450 ans BP d'un niveau sépulcral a donné la précision chronologique d'un ossuaire se rattachant en Catalogne au complexe vérazien [94].

La civilisation des "Tombes en fosse" du versant sud des Pyrénées a été datée de 5450 ans BP dans la grotte de Font del Molinot (Barcelone).

ÉCHELLE CHRONOLOGIQUE	LIGURIE	PROVENCE	LANGUEDOC	CATALOGNE
- 2000 ans	CAMPANIFORME	CAMPANIFORME LA BALANCE: - 2165	LES COURONDES: - 1800 VERAZIEN FINAL LE PREVELL: - 1930 CAMPANIFORME - FONTBOUISSE	CAMPANIFORME
- 2500		COURONNIEN	LES PINS: - 2400 GAUGHNAS: - 2660 FERRIERES VERAZIEN ? GOURGASIEN-SAINTPONNIEN	VERAZIEN SABASSONA: - 2340
- 3000	LA LAGOZZA: - 2840 LAGOZZA ARENE CANDIDE, C19: - 3050	L'ÉGLISE, C9: - 2862 CHASSEEN MERIDIONAL	CHASSEEN MERIDIONAL FONTJUVENAL, C10: - 3400	(SABADELLIEN) SEPULCROS DE FOSSA
- 3500	ISOLINO DI VARESE: - 3580	FONTBREGOUA: - 3470 - 3650 CHASSEEN ANCIEN ? L'ÉGLISE, C81: - 3870	FONTJUVENAL, C11: - 3590 CHASSEEN ANCIEN	GRUPE DE MONTBOLO
- 4000	VASES A BOUCHE CARRÉE		MÉDITERRANÉEN ANCIEN A POTERIE SANS DÉCOR OU A DÉCOR 'DÉGÉNÉRÉ' GAZEL, SC, S, C2c: - 4090	
- 4500	ARENE CANDIDE, C25: - 4530	EPICARDIAL CHATEAUNEUF, F1: - 4750	MONTCLUS, C4: - 4450 EPICARDIAL JEAN-CROS: - 4590	MONTBOLO: - 4500
- 5000	CARDIAL	CARDIAL CHATEAUNEUF, F5: - 5570 CAP-RAGNON: - 5700	GAZEL, SC, F4: - 4830 GAZEL, P, F4: - 4900 CARDIAL	(MONT SERRATIEN?) CARDIAL
- 5500			PROTONEOLITHIQUE	
- 6000		CASTELNOUVIEN	GAZEL, P, F6: - 5880 MESOLITHIQUE	

FIGURE 24 - Tableau chronologique. Évolution dans le temps des civilisations néolithiques des Pyrénées méditerranéennes comparée à celle des principales civilisations dans le Midi de la France (d'après J. Guilaine).

5.2.1.3. - Italie

• Calabre

La datation du Néolithique de Tavolière, sur des restes carbonés des camps à fossés de l'Italie du Sud (camps de Villa comunale et de Masseria, Foggia), situe entre 7125 et 6750 ans BP la période de transition entre la phase de la poterie imprimée et des premières périodes à poterie peinte. Dans le camp de Villa comunale a été notée la présence de céréales carbonisées *Triticum dicoccum* et orge. De même qu'à Saint Michel du Touch, les habitats des camps étaient ceinturés de fossés. Ce type de construction pourrait être lié au développement interne des premières communautés agricoles, avec une antériorité marquée de l'Italie du Sud [82].

• Ligurie

La grotte des Arene candide, Finale Ligure (Ligurie), a été occupée sans interruption du Paléolithique supérieur à l'Époque romaine, selon les témoins des civilisations successives: Epigravetien, Mésolithique, Néolithique, Âges du Bronze et du Fer. L'occupation des niveaux néolithiques, illustrée par les restes de céramique imprimée de céramique de Lagozza et de vases à bouche carrée, a été datée de 6000 à 5470 ans BP.

La grotte Pollera, entre Savone et Finale Ligure (Ligurie), a livré des témoins du Néolithique et de l'Âge du Bronze. La chronologie des niveaux néolithiques, possédant des restes de vases décorés par incision ou de motifs géométriques, statuette féminine et sépulture de femme du Néolithique moyen, a été précisée par datation ¹⁴C. La succession des civilisations, comparable à celle de la grotte des Arene candide pour le Néolithique, a été datée de 6950 à 6600 ans BP pour l'occupation au Néolithique inférieur, de 6200 à 5800 ans pour le Néolithique moyen à céramique incisée et de 5750 à 5600 ans BP pour le Néolithique supérieur.

La contemporanéité des civilisations préhistoriques de la bordure ouest-méditerranéenne s'étendant de la Catalogne à la Ligurie est donnée dans la figure 24. Seuls les sites soulignés ont été datés par notre laboratoire.

5.2.2. - Afrique

5.2.2.1. - Algérie

Dans les sites de la région d'Ouargla (Dmirat, Ashech I), dont les caractéristiques résident en la présence de têtes de flèches et en l'absence de poterie, le Néolithique, daté sur tests d'œuf d'autruche, de 6900 à 5700 ans BP se superpose à l'Épipaléolithique [34]. De même, dans la grotte de la Panthère, des civilisations datées de 6900, 3700 et 1300 ans BP apparaissent au-dessus de l'Épipaléolithique.

Le Néolithique saharo-soudanais s'affirme de 8100 à 3900 ans BP dans les sites algériens d'Amékni, (Figure 25), de Timidouin, Tin Amenser, Idélès, Tamanrasset et In Hanakaten [20].

5.2.2.2. - Niger

Dans les sites nigériens d'Afounfoun Mio, et Ataran, la métallurgie du cuivre s'épanouit entre 4100 et 2520 ans BP, avec des fours de type spécifique.

5.2.2.3. - Sénégal

La datation des couches d'*Arca senilis* et de charbons de bois des kjökkenmöddings de Dioron Boumak et de Faboura dans les deltas de la Casamance et du Sénégal, a fixé la durée d'accumulation de ces dépôts de coquilles consommées, formant des îles artificielles de plusieurs hectares. L'amas de Dioron Boumak s'est édifié en cinq siècles à raison de 2 mètres par siècle [36] celui de Faboura en six siècles à la vitesse séculaire de 1,2 m [61]. Ces amas coquilliers comprenaient des ossements humains à caractère négritique, des objets de métal et des tessons de poterie.

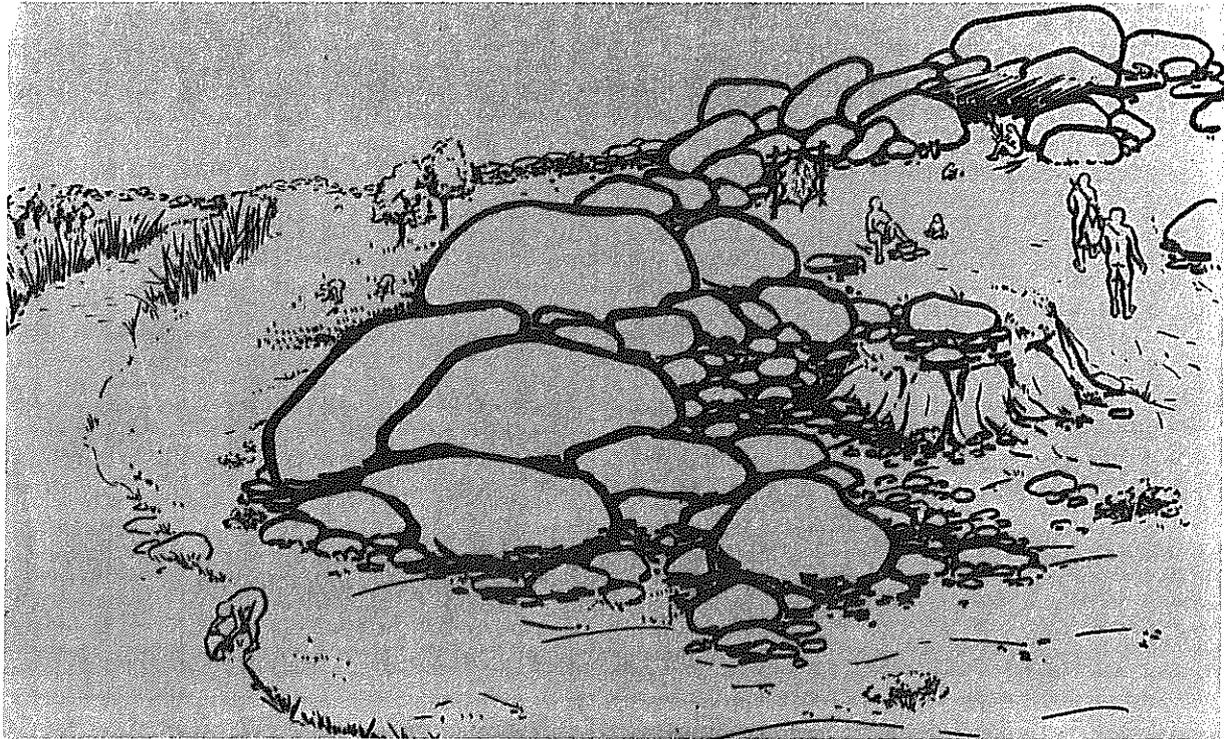


FIGURE 25 - Le site d'Amekni reconstitué (G. Camps, 1968).

5.2.3. - Asie

5.2.3.1. - Cambodge

Le premier habitat néolithique en grotte découvert au Cambodge a été occupé, d'une manière continue pendant cinq millénaires, de 6240 à 1200 ans BP. L'industrie est représentée par des éclats non retouchés, une céramique abondante et ne montre aucune trace de métal. La faune y était variée Cervidés, Carnivores, Primates, Mollusques terrestres et marins [21].

5.2.3.2. - Afghanistan

Le site de Shortugai, daté de 3990 à 3725 ans BP pour les niveaux les plus anciens, appartient à la civilisation de l'Indus dont il représente une manifestation de type colonial en Asie centrale; sa datation contribue à la chronologie générale du bassin de l'Indus et de l'Asie centrale dont Shortugai est l'un des pivots.

5.2.3.3. - Qatar

La datation de tests carbonés et de coquilles marines attribue 6500 ans BP à la période d'occupation d'un campement de plein air de Khor, qui comporte des restes d'incinération du seul homme fossile connu dans le golfe arabo-persique et 3500 ans BP à un habitat de plein air de l'île de Khor aux restes de sépulture et présence de poterie.

5.2.3.4. - Émirats Arabes Unis

Les différentes périodes d'occupation des habitats en pierres crues d'Hili 8, Al Ain, Abou Dhabi, s'échelonnent de 4400 à 3520 ans BP. Le premier sorgho cultivé actuellement connu en Arabie remonte à 4400 ans BP donnant une indication sur l'origine de l'agriculture en Arabie.

*
* *

CONCLUSION

Le Laboratoire de radioactivité appliquée du Centre Scientifique s'est consacré à l'étude des faibles radioactivités dans les Sciences de la Terre et de la Mer, plus précisément au contrôle de la radioactivité de l'environnement et à l'apport de la méthode du carbone 14 dans diverses disciplines scientifiques.

L'étude du cycle biologique marin de certaines substances radioactives a été développée corrélativement au contrôle de la radioactivité de l'environnement à Monaco. La détermination des quantités de radioéléments présents dans les milieux atmosphérique et marins de la zone littorale, comportant des éléments de la chaîne trophique qui aboutit à l'homme, a constitué pendant plusieurs années la majeure partie des recherches.

La cessation des essais nucléaires a progressivement conduit à la disparition quasi-totale de la plupart des radioéléments de fission ou d'activation dans les successions écologiques. Cette source de pollution radioactive d'origine atmosphérique étant tarie la poursuite des contrôles continus de la pollution radioactive devenait moins essentielle. Ainsi s'est trouvée favorisée l'extension du programme de mesure des très faibles niveaux de radioactivités rencontrés dans les échantillons naturels contenant l'isotope 14 du carbone, méthode mise en œuvre au laboratoire en 1961 et dont les applications se sont largement étendues de l'océanologie à la préhistoire.

Toutes ces recherches ont donné lieu non seulement aux 112 publications des chercheurs du laboratoire (voir Bibliographie), mais aussi à une trentaine de thèses et à un grand nombre de publications par des chercheurs extérieurs.

Le laboratoire a accueilli en stages de durées variées (quelques semaines à quelques mois), des étudiants de Monaco, des chercheurs de Lausanne, Liège, Marseille, Téhéran...

Un chercheur du laboratoire a participé, sous l'égide de l'Organisation des Nations Unies pour l'Éducation, la Science et la Culture, à l'installation, au Brésil, d'un laboratoire de datation par le radiocarbone.

Des réunions scientifiques ont été organisées par le laboratoire à Aix, Marseille, Monaco, Montpellier, Vauvert, autour de thèmes précis regroupant les chercheurs de diverses disciplines. Des conférences ont été données aux étudiants des Universités de Marseille et de Liège.

Répondant à la demande de Son Altesse Sérénissime le Prince Rainier III, les travaux du Centre Scientifique dans le domaine de la radioactivité ont contribué à la campagne mondiale "Atome pour la Paix" en donnant des exemples d'utilisation pacifique des recherches scientifiques induites par les découvertes relatives à la physique nucléaire. Cette contribution s'est inscrite dans le cadre d'une coopération internationale, conforme aux principes et objectifs d'organisations ou agences spécialisées des Nations Unies, telles que l'Organisation des Nations Unies pour l'Éducation, la Science et la Culture et l'Agence Internationale de l'Énergie Atomique dont la Principauté est membre depuis leur fondation.

*
* *

LISTE DES ILLUSTRATIONS

	Pages
FIGURE 1: Radioactivité atmosphérique et des eaux de pluie 1961-1968.....	10
„ 2: Spectre γ eau de pluie (1969)	12
„ 3: Spectre γ eau de mer (1968)	14
„ 4: Spectre γ sédiments marins (1965).....	16
„ 5: Spectre γ de <i>Pinna nobilis</i> et <i>halocynthia papillosa</i> (1966).....	18
„ 6: Ensemble d'extraction sous vide du CO ₂	23
„ 7: Banc de purification sous vide du CO ₂	24
„ 8: Compteur proportionnel à faible bruit de fond pour le ¹⁴ C.....	25
„ 9: Teneur ¹⁴ C de l'atmosphère de 1960 à 1982.....	28
„ 10: Concentration ¹⁴ C de profils verticaux en Méditerranée occidentale.....	29
„ 11: Diagramme pollinique de Palavas.....	33
„ 12: Témoins de la transgression holocène sur la côte méditerranéenne.....	35
„ 13: Essai de reconstitution du niveau marin du delta du Rhône.....	36
„ 14: Variations récentes du niveau relatif de la mer à Moni Khrisoskalitisas.....	38
„ 15: Points de prélèvements des sédiments holocènes du domaine circa-littoral du Cap Martin.....	41
„ 16: Courbe de variation du niveau de la mer sur la côte du Roussillon.....	43
„ 17: Évolution paléogéographique du plateau continental languedocien.....	44
„ 18: Courbe de remontée de la mer Holocène dans le golfe du Lion.....	45
„ 19: Courbe interprétative longitudinale du remplissage holocène de Salses-Leucate.....	49
„ 20: Durée des civilisations préhistoriques dans le nord de l'Afrique.....	56
„ 21: Stratigraphie comparée et chronologie absolue (nord de l'Afrique).....	57
„ 22: Coupe de l'Abri de Châteauneuf-les-Martigues.....	60
„ 23: Tableau synoptique de la fin du Paléolithique, Mésolithique et Néolithique dans le Midi de la France.....	61
„ 24: Tableau chronologique de l'évolution des civilisations néolithiques dans les Pyrénées méditerranéennes et le Midi de la France.....	62
„ 25: Le site d'Amekni reconstitué.....	66

LISTE DES PUBLICATIONS
DU LABORATOIRE DE RADIOACTIVITÉ APPLIQUÉE
DU CENTRE SCIENTIFIQUE DE MONACO

- [1] BOCLET (D.), DRUGY (M.-L.), LAMBERT (G.), ROS (J.) & THOMMERET (J.), 1961. – Essai d'analyse de la radioactivité de l'Éponge *Hircinia variabilis*, *Océanographie géologique et géophysique de la Méditerranée occidentale*, Colloque de Villefranche, 4-8 avril 1961, édit. CNRS: pp. 211-220.
- [2] THOMMERET (J.), 1963. – Aspects des recherches du CSM dans le domaine des pollutions de la mer et de la concentration en carbone 14 dans les organismes marins, *Rapp. Comm. int. Mer Médit.*, **XVII**, (3): pp. 953-955.
- [3] THOMMERET (J.) & RAPAIRE (J.-L.), 1964. – Monaco Radiocarbon measurements I, *Radiocarbon*, **6**: pp. 194-196.
- [4] THOMMERET (J.), 1964. – Contamination de la biosphère par les retombées nucléaires, *Symposium international de la Protection Civile sur les dangers de radiations nucléaires*, 12-16 mai, Monte-Carlo, 636/65: pp. 36-38.
- [5] THOMMERET (J.) & GALLIOT (J.), 1964. – Avenir de la méthode de détection directe "in situ" de la radioactivité gamma de l'eau de mer, *Colloque international sur la pollution du milieu marin*, 15-17 septembre 1964, CERBOM Nice.
- [6] THOMMERET (J.) & THOMMERET (Y.), 1965. – Validité de la datation des sédiments du proche Quaternaire par le dosage du carbone 14 dans les coquilles marines, *Rapp. Comm. int. Mer Médit.*, **XVIII**, (3): pp. 837-844.
- [7] THOMMERET (J.), THOMMERET (Y.) & GALLIOT (J.), 1965. – Teneur en radiocarbone des eaux profondes et superficielles de l'Océan Indien (Mer d'Oman), *Bull. Inst. océanog. Monaco*, **65**, (1347), 8 p.
- [8] THOMMERET (J.) & THOMMERET (Y.), 1965. – Quelques limitations à la méthode du carbone 14 pour la datation des coquilles, *Bull. Mus. Anthropol. préhist. Monaco*, (12): pp. 17-22.
- [9] THOMMERET (J.) & THOMMERET (Y.), 1966. – Monaco Radiocarbon measurements II, *Radiocarbon*, **8**: pp. 286-291.
- [10] THOMMERET (J.), 1966. – La méthode de datation par le carbone 14 - Son application dans la recherche océanographique, *Journée de Conférences organisées par CSM/CEA*, Musée Océanographique de Monaco, 6 mai 1966, 22 p.
- [11] THOMMERET (J.) & THOMMERET (Y.), 1967. – Répartition des teneurs en carbone 14 naturel dans divers constituants de la biophase d'un sédiment superficiel de la Méditerranée occidentale, *Cah. océanogr.*, **XIX**, (6): pp. 495-504.

- [12] DELIBRIAS (G.) & RAPAIRE (J.-L.), 1967. – Étude du mouvement propre d'une installation de comptage à bas niveau, *in*: Radioactive dating and methods of low-level counting, *AIEA*, Vienna, STI/PUR/152: pp. 603-610.
- [13] GENNESSEAUX (M.) & THOMMERET (Y.), 1968. – Datation par le radiocarbone de quelques sédiments sous-marins de la région niçoise, *Revue de Géographie physique et de Géologie dynamique*, Paris, X, (2), fasc. 4: pp. 375-382.
- [14] ALBERTINOLI (P.), GALLIOT (J.) & THOMMERET (J.), 1969. – Ensemble de comptage et d'impression automatique utilisé pour la datation par la méthode du carbone 14, *Rapport CEA-R-3702*: 59 p.
- [15] MONACO (A.) & THOMMERET (J.), 1969. – Sur l'âge des affleurements rocheux du plateau continental du Roussillon, *C.R. Acad. Sci. Paris*, (D), Tome 268 (10 février 1969): pp. 913-915.
- [16] THOMMERET (J.) & THOMMERET (Y.), 1969. – Monaco Radiocarbon measurements III, *Radiocarbon*, 11, (1): pp. 118-129.
- [17] HERMAN (J.), THOMMERET (J.) & VERGNAUD-GRAZZINI (C.), 1969. – Micropaléontologie, paléotempérature et datation par le ^{14}C de carottes sous-marines quaternaires de la Méditerranée, *VIII^e Congrès INQUA*, Paris 1969, p. 192.
- [18] GENNESSEAUX (M.) & THOMMERET (Y.), 1969. – Estimation du taux de sédimentation sur la pente continentale niçoise d'après des datations par le radiocarbone, *Rapp. Comm. int. Mer Médit.*, XIX, (4), p. 661.
- [19] THOMMERET (J.) & THOMMERET (Y.), 1969. – Le carbone 14 dans des sédiments de surface de la Méditerranée occidentale, *Rapp. Comm. int. Mer Médit.*, XIX, (5): pp. 937-939.
- [20] CAMPS (G.), DELIBRIAS (G.) & THOMMERET (J.), 1969. – Chronologie absolue et succession des civilisations préhistoriques dans le nord de l'Afrique, *Libyca*, Tome XVI: pp. 9-28.
- [21] MOURER (C.), MOURER (R.) & THOMMERET (Y.), 1970. – Premières datations absolues de l'habitat préhistorique de la grotte de Laang Spean, province de Battambang, Cambodge, *C.R. Acad. Sci. Paris*, (D), Tome 270 (19 janvier 1970): pp. 471-473.
- [22] VERGNAUD-GRAZZINI (C.), REHAULT (J.-P.), LETOLLE (R.), THOMMERET (J.) & THOMMERET (Y.), 1970. – Note préliminaire à l'étude des faunes froides immergées du golfe de Gênes, *Cah. océanogr.*, XXII, (2): pp. 147-154.
- [23] CHIPMAN (W.) & THOMMERET (J.), 1970. – Manganese content and the occurrence of fallout ^{54}Mn in some marine benthos of the Mediterranean, *Bull. Inst. océanogr. Monaco*, 69, (1402): 15 p.
- [24] BONIFAY (E.), COURTIN (J.) & THOMMERET (J.), 1971. – Datation des derniers stades de la transgression versilienne dans la région de Marseille, *C.R. Acad. Sci. Paris*, (D), Tome 273 (29 novembre 1971): pp. 2042-2044.
- [25] FUKAI (R.), BALLESTRA (S.) & RAPAIRE (J.-L.), 1971. – A simple application of least squares fitting to gamma spectrometry of marine environmental samples: the case of caesium radionuclides, *AIEA SM 148/17*: pp. 301-310.
- [26] FUKAI (R.), RAPAIRE (J.-L.) & VAS (D.), 1972. – Mesure par spectrométrie gamma des activités relatives d'un mélange de radioéléments d'énergies voisines, *Rapp. Comm. int. Mer Médit.*, XXI, (6): pp. 293-295.
- [27] MONACO (A.), THOMMERET (J.) & THOMMERET (Y.), 1972. – L'âge des dépôts quaternaires sur le plateau continental du Roussillon (golfe du Lion), *C.R. Acad. Sci. Paris*, (D), Tome 274 (17 avril 1972): pp. 2280-2283.
- [28] FROGET (C.), THOMMERET (J.) & THOMMERET (Y.), 1972. – Mollusques septentrionaux en Méditerranée occidentale, *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*, 12, (4): pp. 286-293.

- [29] NIR (Y.) & THOMMERET (Y.), 1972. — Essais de détermination des vitesses de sédimentation en Méditerranée orientale au moyen du carbone 14, *Rapp. Comm. int. Mer Médit.*, **XX**, (4): pp. 713-715.
- [30] CHIPMAN (W.) & THOMMERET (J.), 1972. — Teneur en manganèse et présence du ^{54}Mn des retombées dans quelques biotopes marins de la Méditerranée, *Rapp. Comm. int. Mer Médit.*, **XX**, (4): p. 717.
- [31] THOMMERET (J.), VEGLIA (A.) & MOREL (J.), 1972. — Tentative d'identification du ^{65}Zn dans l'eau de pluie et l'eau de mer au cours de l'année 1970, *Rapp. Comm. int. Mer Médit.*, **XXI**, (6): pp. 297-299.
- [32] THOMMERET (J.) & THOMMERET (Y.), 1973. — Monaco Radiocarbon measurements IV, *Radiocarbon*, **15**, (2): pp. 321-344.
- [33] PIRAZZOLI (P. A.) & THOMMERET (J.), 1973. — Une donnée nouvelle sur le niveau marin à Marseille à l'époque romaine, *C.R. Acad. Sci. Paris (D)*, tome 277 (19 novembre 1973): pp. 2125-2128.
- [34] CAMPS (G.), DELIBRIAS (G.) & THOMMERET (J.), 1973. — Chronologie des civilisations préhistoriques du nord de l'Afrique d'après le radiocarbone, *Libyca*, tome XXI: pp. 65-89.
- [35] MONACO (A.), THOMMERET (J.) & THOMMERET (Y.), 1973. — Chronologie du remplissage quaternaire sur le plateau continental du Roussillon (golfe du Lion), *Rapp. Comm. int. Mer Médit.*, **22**, (2a): pp. 171-172.
- [36] DESCAMPS (C.), THILMANS (G.), & THOMMERET (Y.), 1974. — Données sur l'édification de l'amas coquillier de Dioron Boumak (Sénégal), *Ass. Sénégal. Et. Quatern. Afr.*, n° 41: pp. 67-83.
- [37] GUILAINE (J.), THOMMERET (J.), THOMMERET (Y.), VAQUIER (J.) & BARRIE (P.), 1974. — Stratigraphie et datations ^{14}C d'un gisement néolithique languedocien: l'Abri de Font-Juvénal (Conques, Aude), *l'Anthropologie*, Tome 78, (2): pp. 257-282.
- [38] RAPAIRE (J.-L.), LOBO (P.F.S.), FLEXOR (J.-M.), & SIEFFERMANN (D.), 1974. — Determination of the amount of carbon and the isotopic ratio ^{14}C : ^{12}C of a ferrallitic horizon under isovolumetric weathering in the humid tropical region of Bahia, Brazil, *Trop. Agric. (Trinidad)*, **51** (2), April 1974.
- [39] LOBO (P.F.S.), FLEXOR (J.-M.), RAPAIRE (J.-L.) & SIEFFERMANN (G.), 1974. — Essai de détermination du temps de résidence des fractions humiques de deux sols ferrallitiques par l'utilisation du radiocarbone naturel et thermonucléaire, *Cah. ORSTOM*, sér. Pédol., **XII**, (1): pp. 115-123.
- [40] ALOISI (J.-C.), MONACO (A.), THOMMERET (J.) & THOMMERET (Y.), 1975. — Évolution paléogéographique du plateau continental languedocien dans le cadre du golfe du Lion, *Rapp. Comm. int. Mer Médit.*, **23**, (4a): pp. 253-255.
- [41] ALOISI (J.-C.), MONACO (A.), THOMMERET (J.) & THOMMERET (Y.), 1975. — Évolution paléogéographique du plateau continental languedocien dans le cadre du golfe du Lion. Analyse comparée des données sismiques, sédimentologiques et radiométriques concernant le Quaternaire récent, *Revue de Géographie physique et de Géologie dynamique* (2), Paris, **XVII**, fasc. 1: pp. 13-22.
- [42] FLEXOR (J.-M.), DE OLIVEIRA (J.-J.), RAPAIRE (J.-L.) & SIEFFERMANN (G.), 1975. — La dégradation des illites en montmorillonite dans l'altos de podzols tropicaux humo-ferrugineux du recôncavo bahianais et du Pará, *Cah. ORSTOM*, sér. Pédol., **XIII**, (1): pp. 41-48.
- [43] LABEYRIE (J.), LALOU (C.), MONACO (A.) & THOMMERET (J.), 1976. — Chronologie des niveaux eustatiques sur la côte du Roussillon de -33 000 ans BP à nos jours, *C.R. Acad. Sci., Paris (D)*, Tome 282 (26 janvier 1976): pp. 349-352.

- [44] BAZILE (F.), REHAULT-MISKOVSKY(J.) & THOMMERET (J.), 1976. — Sur la présence d'un niveau littoral du Würm récent (Würm III) dans la région d'Aigues-Mortes (Gard), *C.R. Acad. Sci., Paris, (D)*, Tome 282 (22 mars 1976): pp. 1149-1150.
- [45] THOMMERET (J.), 1976. — Difficultés d'interprétation des dates ^{14}C mesurées à partir des coquilles marines, *IX^e Congrès de l'Union Internationale des Sciences préhistoriques et protohistoriques*, Colloque international CNRS I, Datations absolues et analyses isotopiques en préhistoire, méthodes et limites, Nice, septembre 1976: pp. 160-169.
- [46] DELIBRIAS (G.), PERQUIS (M.-T.), EVIN (J.), THOMMERET (J.) & THOMMERET (Y.), 1976. — Datations absolues des dépôts quaternaires et des sites préhistoriques par la méthode du carbone 14, *La Préhistoire française*. — Ouvrage collectif. Edit. CNRS, Tome I. Les Civilisations paléolithiques et mésolithiques. Direction H. De Lumley, 1584 p.
- [47] DELIBRIAS (G.), PERQUIS (M.-T.), EVIN (J.), THOMMERET (J.) & THOMMERET (Y.), 1976. — Datations absolues des dépôts post-glaciaires et des gisements pré et protohistoriques: Néolithique, Âge du Bronze, Âge du Fer, de 8 000 à 2 000 ans BP, *La Préhistoire française*, ouvrage collectif, Edit. CNRS, Tome II, Les Civilisations néolithiques et protohistoriques, Direction J. Guilaine: 963 p.
- [48] THOMMERET (J.) & THOMMERET (Y.), 1976. — Musée Océanographique et Centre Scientifique de Monaco, Laboratoire de Radioactivité Appliquée, *Livret guide de l'excursion B1: Sites paléolithiques de la région de Nice et grottes de Grimaldi*, UISPP, Nice, 13-18 septembre 1976.
- [49] THOMMERET (J.), THOMMERET (Y.) & HUGUES (G.), 1976. — Quelques mesures de carbone 14 et césium 137 en mer Ligure, *Rapp. Comm. int. Mer Médit.*, **23**, (7): pp. 173-176.
- [50] COURTIN (J.), ERROUX (J.) & THOMMERET (J.), 1976. — Les céréales du Néolithique ancien de Châteauneuf-les-Martigues, Bouches du Rhône, *Bull. Museum Hist. nat., Marseille*, Tome 36: pp. 11-15.
- [51] RAPAIRE (J.-L.), BALLESTRA (S.) & FUNEL (J.-L.), 1976. — Dépouillement par ordinateur de spectres gamma obtenus avec un détecteur Ge-Li, *Rapp. Comm. int. Mer Médit.*, **23**, (7): pp. 153-155.
- [52] THOMMERET (J.), 1977. — Le Laboratoire de Radioactivité Appliquée, Centre Scientifique de Monaco, *L'eau pure*, n° 43, janv.-fév. 1977.
- [53] DELIBRIAS (G.), EVIN (J.), THOMMERET (J.) & THOMMERET (Y.), 1977. — IX^e Conférence Internationale du Radiocarbone et corrections des dates ^{14}C , *Bull. Soc. préhist. fr.*, Tome 73, CRSM n° 9: pp. 268-269.
- [54] PLANCHAIS (N.), QUET-PASQUIER (L.), COUR (P.), THOMMERET (J.) & THOMMERET (Y.), 1977. — Essai de palynologie côtière appliquée au remplissage flandrien de Palavas (Hérault), *C.R. Acad. Sc. Paris, (D)*, Tome 284 (17 janvier 1977): pp. 159-162.
- [55] PIRAZZOLI (P.) & THOMMERET (J.), 1977. — Datation radiométrique d'une ligne de rivage à + 2,5 m près d'Aghia Roumeli, Crète, Grèce, *C.R. Acad. Sci., Paris, (D)*, Tome 28 (4 avril 1977): pp. 1255-1258.
- [56] RAPAIRE (J.-L.) & HUGUES (G.), 1977. — Monaco Radiocarbon measurements V, *Radiocarbon*, **19**, (1): pp. 49-61.
- [57] LAROCHE (A.F.G.), SOARES E SILVA (A.) & RAPAIRE (J.-L.), 1977. — *Arqueologia Pernambucana C14, Recife, Pernambuco*.
- [58] RAPAIRE (J.-L.) & TURENNE (J.-F.), 1977. — Mesures d'activité spécifique de fractions de matière organique appliquées à l'étude de l'évolution des sols de Guyane, *IAEA/SM-211/69, Soil Organic Matter Studies, II*: pp. 179-186.
- [59] RAPAIRE (J.-L.) & TURENNE (J.-F.), 1978. — Culture itinérante et jachère forestière: mesures d'activité spécifique du carbone de fractions de matières organiques appliquées à l'étude du renouvellement du stock organique en milieu forestier équatorial, *IAEA/SM-235/35*.

- [60] ALOISI (J.-C.), MONACO (A.), PIRAZZOLI (P.) & THOMMERET (J.), 1977. – Comparison of sedimentological, archaeological, historical and radiometric data for a number of late Holocene sea-levels in the Mediterranean, *X^e INQUA Congress*, Birmingham, août 1977, Symposium “Holocene of circum-mediterranean area”.
- [61] DESCAMPS (C.), THILMANS (G.), THOMMERET (J.) & THOMMERET (Y.), 1977. – Données sur l’âge et la vitesse d’édification de l’amas coquillier de Faboura, Sénégal, *Ass. sénég. Et. Quatern, Afr. Bull. Liaison* n° 51, déc. 77: pp. 23-32.
- [62] ALOISI (J.-C.), MONACO (A.), PLANCHAIS (N.), THOMMERET (J.) & THOMMERET (Y.), 1977. – Chronostratigraphy of marine Holocene in the Northwestern Mediterranean. *X^e INQUA Congress*, Birmingham, abstract: p. 14.
- [63] BOISSON (M.), RAPAIRE (J.-L.) & HUGUES (G.), 1977. – Activité en radiocarbone de l’eau de mer Ligure (1975). Résultats préliminaires, *Rapp. Comm. int. Mer Médit.*, 24, (3): p. 45.
- [64] AMBERT (P.), AMBERT (M.), THOMMERET (J.) & THOMMERET (Y.), 1978. – La grotte Tournié (Pardailhan, Hérault). Stratigraphie et datations ¹⁴C, *L’Anthropologie*, Tome 82, n° 2: pp. 175-198.
- [65] CORTEMIGLIA (G.C.) & THOMMERET (J.), 1978. – Ritrovamento di un livello terrazzato olocenico nel Pleistocene (fluviale recente) della sponda destra del torrente Scrivia (Piemonte, Italia), *Rendiconti della Società Geologica Italiana, Rome*, 1: pp. 9-11.
- [66] ALOISI (J.-C.), MONACO (A.), PLANCHAIS (N.), THOMMERET (J.) & THOMMERET (Y.), 1978. – The Holocene transgression in the golfe du Lion, Southwestern France: Paleogeographic and Paleobotanical evolution, *Geogr. phys. Quat., Montréal*, XXXII, (2): pp. 145-162.
- [67] THOMMERET (J.) & THOMMERET (Y.), 1978. – ¹⁴C datings of some holocene sea levels on the North Coast of the Island of Java (Indonesia), *Modern Quaternary research in Southeast Asia*, Rotterdam, 4, 1978: pp. 51-56.
- [68] AMBERT (P.), AMBERT (M.), MAURIN (G.) & THOMMERET (J.), 1978. – Rivages positifs post-romains dans la basse vallée de l’Aude, *Bull. Soc. Et. Sci. nat., Béziers, NS*, VI, (47): pp. 74-78.
- [69] MARTIN (R.), THOMMERET (J.) & THOMMERET (Y.), 1979. – Le remplissage holocène de l’étang de Salses Leucate (Pyrénées Orientales, France), *Rapp. Comm. int. Mer Médit.*, 25/26, (2a): pp. 143-144.
- [70] THOMMERET (J.) & THOMMERET (Y.), 1979. – Age radiométrique C14 des sédiments holocènes du domaine circalittoral du Cap Martin (Alpes-Maritimes, France), *Rapp. Comm. int. Mer Médit.*, 25/26, (2a): pp. 145-146.
- [71] DALONGEVILLE (R.), PASKOFF (R.), SANLAVILLE (P.), THOMMERET (J.) & THOMMERET (Y.), 1979. – Rivage holocène supérieur à l’Actuel en Tunisie méridionale, *Océanis*, 5, fasc. hors série: pp. 311-312.
- [72] LABOREL (J.), PIRAZZOLI (P.A.), THOMMERET (J.) & THOMMERET (Y.), 1979. – Holocene raised shorelines in Western Crete (Greece), *Proceedings of the “1978 International symposium on coastal evolution in the Quaternary”*, São Paulo, Brazil: pp. 475-501.
- [73] DALONGEVILLE (R.), PASKOFF (R.), SANLAVILLE (P.), THOMMERET (J.) & THOMMERET (Y.), 1980. – Témoins d’un niveau marin holocène supérieur à l’Actuel en Tunisie méridionale, *C.R. Acad. Sci. Paris, (D)*, Tome 290 (28 janvier 1980): pp. 303-306.
- [74] THOMMERET (J.), THOMMERET (Y.), PIRAZZOLI (P.A.), MONTAGGIONI (L.), & LABOREL (L.), 1980. – Variations récentes du niveau marin en Crète. *8^e Réunion annuelle des sciences de la Terre, Marseille, Soc. Géol. Fr.*, édit. Paris: p. 347.
- [75] THOMMERET (Y.), THOMMERET (J.), PIRAZZOLI (P.A.), MONTAGGIONI (L.), & LABOREL (L.), 1980. – New data on the Holocene raised shorelines in Western Crete (Greece), *Abstracts 26^e Congrès géologique international*, Paris, juillet 1980: p. 695.

- [76] BARTOLI (F.), MONROZICA (L.), & RAPAIRE (J.-L.), 1980. — Sur la stabilisation des matières organiques azotées par les minéraux silico-alumineux dans les podzols: phytolithes et argiles, *C.R. Acad. Sci. Paris (D)*, Tome 291 (15 septembre 1980): pp. 183-186.
- [77] CORTEMIGLIA (G.C.) & THOMMERET (J.), 1980. — Datazione assoluta di un terrazzo olocenico appartenente ai depositi alluvionali del torrente Scrivia, *Atti Soc. Tosc. Sc. Nat. Mem., Pisa*, anno 1980, série A, LXXXVII, Pisa: pp. 163-169.
- [78] THOMMERET (J.), 1980. — Datations ^{14}C , *Bull. Ass. Géogr. Fr., Paris* 1980, (466): pp. 29-32.
- [79] PIRAZZOLI (P.A.), PLANCHAIS (N.), ROSSET-MOULINIER (M.) & THOMMERET (J.), 1980. — Paleogeographic interpretation of a peat layer at Torson di Sotto (lagoon of Venice, Italy), *Eiszeitalter und Gegenwart, Hannover*, 30: pp. 253-259.
- [80] PIRAZZOLI (P.A.), MONTAGGIONI (L.F.), THOMMERET (J.), THOMMERET (Y.) & LABOREL (L.), 1981. — Late Holocene crustal movements in Rhodes Island as inferred from shoreline displacements, *International symposium on the Hellenic Arc and Trench (HEAT)*, Athens, 8-10 april 1981: pp. 84-85.
- [81] PIRAZZOLI (P.A.), THOMMERET (J.), THOMMERET (Y.), LABOREL (L.), & MONTAGGIONI (L.F.), 1981. — Crustal blocks movements from Holocene shorelines: Crete and Antikithira (Greece), *International symposium on the Hellenic Arc and Trench (HEAT)*, Athens, 8-10 april 1981: pp. 86-87.
- [82] GUILAINE (J.), SIMONE (L.), THOMMERET (J.) & THOMMERET (Y.), 1981. — Datations ^{14}C pour le Néolithique de Tavolière (Italie), *Bull. Soc. préhist. fr.*, Tome 78/5: pp. 154-160.
- [83] BAZILE (F.), L'HOMER (A.), THOMMERET (J.) & THOMMERET (Y.), 1981. — Étapes de l'édification des cordons de la région d'Aigues-Mortes depuis 7000 ans BP, *Livret-guide de l'AFEQ*, le Quaternaire de la Méditerranée aux Grands Causses, mai 1981: pp. 71-83.
- [84] L'HOMER (A.), BAZILE (F.), THOMMERET (J.) & THOMMERET (Y.), 1981. — Principales étapes de l'édification du delta du Rhône de 7000 ans BP à nos jours; variations du niveau marin, *Océanis*, 7, (4): pp. 389-408.
- [85] THOMMERET (Y.), THOMMERET (J.), PIRAZZOLI (P.A.), MONTAGGIONI (L.F.) & LABOREL (J.). — 1981. — Nouvelles données sur les rivages soulevés de l'Holocène dans l'ouest de la Crète, *Océanis*, 7, (4): pp. 473-480.
- [86] PIRAZZOLI (P.A.), PLANCHAIS (N.), ROSSET-MOULINIER (M.) & THOMMERET (J.), 1981. — Interprétation paléogéographique d'une tourbe de Torson di Sotto (Lagune de Venise, Italie), *Géologie méditerranéenne*, Tome VIII (3): pp. 121-128.
- [87] BOUDOURESQUE (C.F.), THOMMERET (J.) & THOMMERET (Y.), 1981. — Sur la découverte d'un bioconcrétionnement fossile intercalé dans l'herbier à *Posidonia oceanica* de la baie de Calvi (Corse), *Journées étud. Systém. & Biogéogr. Médit.*, Cagliari: pp. 139-142.
- [88] LAFOND (R.), PERINET (G.), EVIN (J.) & THOMMERET (Y.), 1981. — Comparaison des datations par racémisation des acides aminés et par carbone 14 de sites du Paléolithique supérieur (Abri des Pêcheurs, la Salpêtrière), *3^e Colloque d'Archéométrie*, C.R.A. Sophia-Antipolis, octobre 1981.
- [89] BOUDOURESQUE (C.-F.), GIRAUD (G.), THOMMERET (J.) & THOMMERET (Y.), 1981. — First attempt at dating by ^{14}C the undersea beds of dead *Posidonia oceanica* in the bay of Port-Man (Port-Cros, Var, France), *Bull. Trav. Sc. Parc National Port-Cros, France*, 6: pp. 239-242.
- [90] SOUSSI (N.) & THOMMERET (J.), 1981. — Les témoins émergés du Quaternaire récent aux abords de la lagune de Bizerte (Tunisie), *Congrès de Tunis*, septembre 1981.
- [91] PIRAZZOLI (P.A.), THOMMERET (J.), THOMMERET (Y.), LABOREL (J.) & MONTAGGIONI (L.F.), 1981. — Les rivages émergés d'Antikithira (Cerigotto). Corrélations avec la Crète occidentale et implications cinématiques et géodynamiques, *Actes du Colloque "Niveaux marins et tectonique quaternaires dans l'aire méditerranéenne"*, CNRS et Université Paris I, 1981: p. 50-65.

- [92] MONTAGGIONI (L.F.), PIRAZZOLI (P.A.), LABOREL (J.), THOMMERET (J.) & THOMMERET (Y.), 1981. – Rivages tyrrhéniens et historiques à Strongilo et dans le sud-est de la Crète (Grèce). Implications néotectoniques, *Actes du Colloque "Niveaux marins et tectonique quaternaires dans l'aire méditerranéenne"*, CNRS et Université Paris I, 1981: pp. 68-76.
- [93] THOMMERET (Y.), THOMMERET (J.), MONTAGGIONI (L.F.) & PIRAZZOLI (P.A.) 1981. – Late Holocene shoreline changes and seismotectonic displacements in Western Crete (Greece), *Zeitschrift für Geomorphologie N.F.*, Suppl. Band 40, Berlin, Stuttgart, Dezember 1981: pp. 127-149.
- [94] MARTIN (A.), GUILAINE (J.), THOMMERET (J.) & THOMMERET (Y.), 1981. – Estratigrafia y dataciones ^{14}C del yacimiento de la "Cova del Frare", de St Llorenç del Munt (Matadepera, Barcelona), *Zephyrus*, XXXII-XXXIII: pp. 101-111.
- [95] THOMMERET (Y.), THOMMERET (J.), PIRAZZOLI (P.A.), MONTAGGIONI (L.F.), LABOREL (J.), 1981. – Détermination par ^{14}C de l'âge de quelques lignes de rivages marins holocènes surélevés de la Crète occidentale (Grèce), *Rapp. Comm. int. Mer Médit.*, 27, (8): pp. 59-63.
- [96] MALDONADO (A.), VERDAGUER (A.), ALOISI (J.-C.), GOT (H.), MONACO (A.), LE CALVEZ (Y.), THOMMERET (J.), THOMMERET (Y.) & MIRABILE (L.), 1981. – Mécanismes sédimentaires et édification du plateau progressif sud catalan (Méditerranée nord-occidentale), *Rapp. Comm. int. Mer Médit.*, 27, (8): pp. 25-28.
- [97] PIRAZZOLI (P.A.), THOMMERET (J.), THOMMERET (Y.), LABOREL (J.) & MONTAGGIONI (L.F.), 1982. – Crustal block movements from Holocene shorelines: Crete and Antikithira (Greece), *Tectonophysics*, 86: pp. 27-43.
- [98] PIRAZZOLI (P.A.), MONTAGGIONI (L.F.), THOMMERET (J.), THOMMERET (Y.) & LABOREL (J.), 1982. – Sur les lignes de rivage et la néotectonique à l'Holocène à Rhodes (Grèce), *Annales de l'Institut Océanographique, Paris*, Tome 58, (1): pp. 89-102.
- [99] DELIBRIAS (G.), EVIN (J.) & THOMMERET (Y.), 1982. – Sommaire des datations ^{14}C concernant la préhistoire en France. II – Dates parues de 1974 à 1983. Néolithique d'environ 7000 ans BP à 4000 ans BP, *Bull. Soc. préhist. fr.*, Tome 79/6: pp. 176-192.
- [100] DELIBRIAS (G.), EVIN (J.) & THOMMERET (Y.), 1982. – Correction des dates "radiocarbone", *Bull. Soc. préhist. fr.*, Tome 79/6: pp. 270-274.
- [101] THOMMERET (Y.), KING (G.C.P.) & VITA-FINZI (C.), 1983. – Chronology and development of the 1980 earthquake at El Asnam (Algeria), a postscript, *Earth and Planetary Science letters*, 63, (1): pp. 137-138.
- [102] LLONGUERAS (M.), PETIT (M.-A.), MARCET (R.), GUILAINE (J.), THOMMERET (J.) & THOMMERET (Y.), 1979-1980. – Noves dates de ^{14}C a Catalunya, *Ampurias, Barcelona*, tome 41-42: pp. 349-358.
- [103] DELIBRIAS (G.), EVIN (J.) & THOMMERET (Y.), 1983. – Les tableaux de corrections des dates ^{14}C effectués par le "Groupe de Tucson", *Revue d'archéométrie*, Supplément 1983 ISSN 0399-1237: pp. 1-46.
- [104] THOMMERET (J.), THOMMERET (Y.) & BAXTER (M.S.), 1983. – Interprétation des teneurs en ^{14}C récent dans l'atmosphère et dans la mer (Méditerranée occidentale), *Rapp. Comm. int. Mer Médit.*, 28 (7): pp. 209-210.
- [105] THOMMERET (J.), THOMMERET (Y.) & BAXTER (M.S.), 1983. – The recent ^{14}C record in the north-west mediterranean atmosphere, *J. Rech. Atmos.*, 17, (1): pp. 45-51.
- [106] ALOISI (J.-C.), GOT (H.), MARTIN (R.), MONACO (A.), OUAKAD (M.), SOUSSI (N.) & THOMMERET (Y.), 1983. – Caractères structuraux et sédimentaires de quelques lagunes méditerranéennes, *Rapp. Comm. int. Mer Médit.*, 28, (4): pp. 241-242.

- [107] Groupe PROFANS, BLANC-VERNET (L.), LE CALVEZ (Y.) & THOMMERET (Y.), 1983. – Sédimentation récente et actuelle de l'éventail sous-marin profond du Rhône, *Rapp. Comm. int. Mer Médit.*, 28, (4): pp. 289-290.
- [108] DELIBRIAS (G.), EVIN (J.), THOMMERET (Y.), VALLADAS (H.) & YOKOHAMA (Y.), 1983. – Chronologie du Pléistocène supérieur, *Ouvrage franco-soviétique: l'Homme Préhistorique et son environnement*, Tome 2.
- [109] BERNAT (M.), CAUWET (G.), CHASSEFIERE (B.), FAGUET (D.), GADEL (F.), MONACO (A.), OUKAD (M.) & THOMMERET (Y.), 1984. – Behaviour of metallic and radioactive elements in lagoonal sediments: the example of the Canet-St-Nazaire Pond (Mediterranean coast), *Estuarine, Coastal and Shelf Science*, 18: pp. 557-570.
- [110] GUILAINE (J.) FREISES (A.), MONTJARDIN (R.), BARBAZA (M.), COULAROU (J.), COURTIN (J.), DELIBRIAS (G.), DESSES (J.), GEDDES (J.-L.), MASSON (A.), MONACO (A.), POPLIN (F.), POULAIN (P.), RICQ-DEBOUARD (M.), THOMMERET (Y.), VERNET (J.-L.) & VILETTE (P.), 1984. – *Leucate - Corrège: habitat noyé du Néolithique cardial*, Ouvrage publié avec le concours de la Délégation à l'Aménagement du Territoire et l'Action régionale, Archives d'écologie préhistorique E.H.S.S., Toulouse, 270 p.
- [111] BOURROUILH-LE-JAN (F.G.), CARSIN (J.L.), NIAUSSAT (P.M.) & THOMMERET (Y.), 1985. – Sédimentation phosphatée actuelle dans le lagon confiné de Clipperton, *Sciences géologiques, Mém.*, Strasbourg, 77: pp. 109-124.
- [112] EVIN (J.), COURTIN (J.) & THOMMERET (Y.), 1985. – Révision de la stratigraphie et de la chronologie absolue du site de Châteauneuf-les-Martigues (B. du Rh.), *L'Anthropologie*, (4), n° 79: pp. 139-157.

*
* *

Éditeur
Centre Scientifique de Monaco
16, boulevard de Suisse
MC 98030 MONACO CEDEX
(Principauté de Monaco)

