

# LES FAUNES ET LA STRATIGRAPHIE DU QUATERNAIRE MÉDITERRANÉEN (1)

par P. MARS

Malgré des progrès substantiels réalisés depuis une dizaine d'années, l'étude du Quaternaire méditerranéen offre encore bien des incertitudes. En ce qui concerne l'évolution des faunes malacologiques marines, l'ancien schéma classique représentant successivement une faune pliocène chaude, une faune froide à Cyprines (Quat. ancien), une faune chaude à Strombes (Quat. moyen) et une faune tempérée (Quat. récent), soulevait différents problèmes, liés à celui de la terminologie des étages, basée sur les « niveaux ».

Quelques connaissances récemment acquises, n'ont pas paru, de prime abord, simplifier ou éclairer ces problèmes. Elles nous ont cependant rapprochés de leur solution. C'est ainsi que l'étude des gisements submergés et à faune froide du golfe du Lion, en démontrant que ces gisements sont plus récents que le Quaternaire ancien, permettent de conclure que la Cyprine, et la plupart des espèces formant son cortège habituel, ne peuvent plus être retenues comme exclusives et caractéristiques du Calabrien et du Sicilien. Ces faunes récentes, type cap Creus, doivent correspondre à un glaciaire wurmien, et leur position est liée, à un niveau de régression. La faune actuelle de la Méditerranée, à notre époque qui est plutôt un interglaciaire, ne comprend plus ces espèces nord-atlantiques. On peut dès lors penser que les mêmes phénomènes se sont répétés au cours des cycles glacio-eustatiques quaternaires et leur sont liés. A partir de cette idée, on peut aborder l'étude des faunes sous un aspect différent, en considérant leur succession non plus seulement en fonction de niveaux stratigraphiques de significations différentes mais aussi en fonction des conditions climatiques et hydrologiques, variables dans le domaine méditerranéen au cours du Quaternaire.

## Conditions climatiques et hydrologiques de la Méditerranée pendant le Quaternaire.

Des analyses isotopiques ( $O^{18}$ ), effectuées à partir de Foraminifères inclus dans les sédiments d'un carottage profond en Méditerranée orientale, ont permis à EMILIANI (1955) de mettre en évidence une alternance de stades plus chauds et plus froids, qu'il pense pouvoir paralléliser avec des glaciaires et des interglaciaires. Des fluctuations de température ont également été notées dans les séries pliocènes et calabriennes de la Calabre (EMILIANI, MAYEDA et SELLI, 1961), et sicilienne de Palerme (EMILIANI, GIANOTTI et MAYEDA). Si, pour des raisons diverses, les températures trouvées peuvent ne pas être bien conformes à la réalité, et si surtout les corrélations proposées avec les phases glaciaires sont très hypothétiques, il n'en demeure pas moins que des variations de température dues aux fluctuations climatiques quaternaires ont bien eu lieu en Méditerranée, comme elles ont eu lieu dans les eaux marines en général (EMILIANI et MAYEDA, 1961).

---

(1) Résumé. Voir : Travaux de la Station marine d'Endoume, XXVIII-43, p. 61-97; 6 fig., 3 tabl., bibliographie.

Les flores et les faunes des séries non marines, mais littorales, du Quaternaire de Méditerranée, montrent par ailleurs des variations assez sensibles pour qu'il ait été possible de les déceler, même dans des régions méridionales. Il s'agit notamment de celles enregistrées dans la région romaine, et assez nettes pour qu'A.C. BLANC ait pu définir, sous des noms locaux, des périodes « glaciaires » répétées. Ces périodes témoignent en tout cas de conditions écologiques tempérées plus froides que les actuelles. Ces problèmes de climatologie nous entraînent à rappeler le régime actuel des eaux méditerranéennes dans leurs rapports avec celles des bassins adjacents.

Dans l'Atlantique nord-ouest, la température des eaux varie, en surface et saisonnièrement comme indiqué dans les figures 1, 2, 3. Au large des côtes européennes, les trois sondages reportés

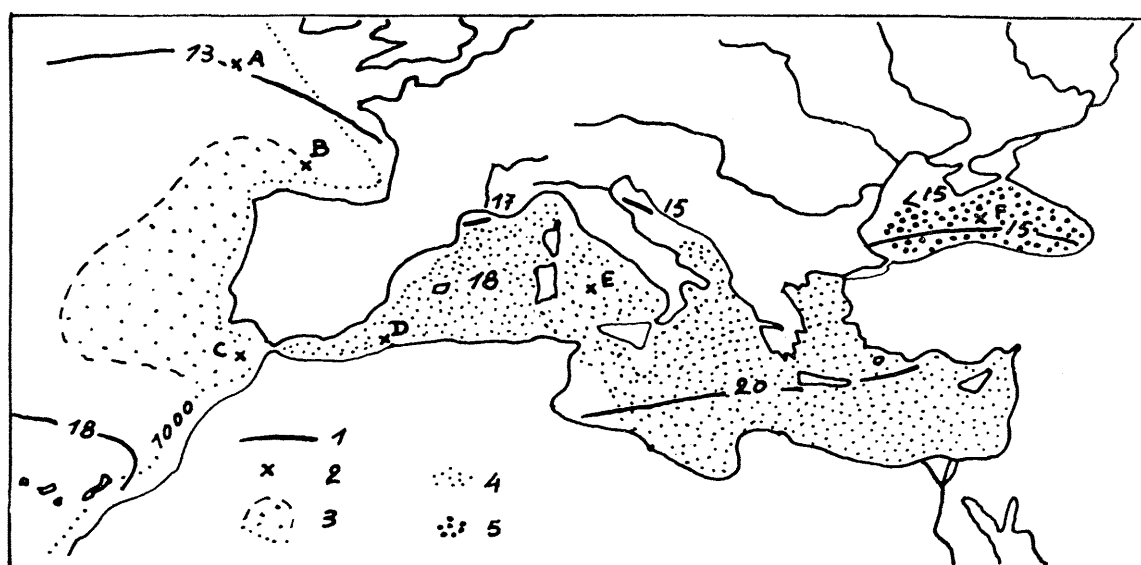


FIG. 1. — 1 : Isothermes moyens en surface (les chiffres indiquent les moyennes de surface) ;  
 2 : points de sondage des températures (voir tabl. 1) ;  
 3 : zone atlantique, où la température n'est pas inférieure à 10° C à la profondeur de 1000 m ;  
 4 : zone méditerranéenne, où la température au-dessous de 200 m est comprise entre 13° et 15° ;  
 5 : zone de la Mer noire, où la température au-dessous de 200 m est inférieure à 9°.  
 Les figures 1, 2, 3 sont établies d'après les données de ROUCH ; de SVERDRUP, JOHNSON et FLEMING ; de SCHOTT, etc.

A, B, C, (tabl. 1 ; fig. 1), situés respectivement au SO de l'Irlande, dans le golfe de Gascogne et la baie d'Espagne (O de Gibraltar), suffisent à donner une idée de la variation de la température en profondeur. Cette température augmente du nord au sud. A 400 m, en période estivale, elle est respectivement de 10,4, 10,9 et 11,8°C. Partout, elle continue à décroître avec la profondeur pour atteindre des valeurs aussi basses que 4°C, vers 2 000 m. Ce sont là des eaux d'origine arctique, caractérisées par leur lourdeur, dépendante de leur faible température. Elles constituent aux plus grandes profondeurs des couches continues à peu près inertes.

Les eaux dites atlantiques, ou tropicales, par opposition aux précédentes, dites polaires, sont plus légères, plus chaudes, plus mobiles, plus superficielles. Elles empiètent sur les premières au cours de déplacements saisonniers en latitude, appelés transgressions, ou mieux expansions océaniques (LE DANOIS, 1938). En stabilisation hivernale, ces eaux occupent à peu près la position indiquée figure 4. Leur mouvement d'expansion débute généralement en février ou mars, dans la baie d'Espagne, pour atteindre vers octobre-novembre sa limite nord dans les régions boréales. Le rythme, les causes, l'amplitude de ces expansions, dit LE DANOIS, appartiennent aux rythmes beaucoup plus vastes dans leur durée et leurs effets, auxquels obéissent les grandes variations de la terre, tels que ceux pris en considération par MILANKOWITCH dans ses calculs.

Les périodes calculées de ces expansions font apparaître de remarquables coïncidences entre les années de maximum expansif et les périodes séculaires de pêche au hareng <sup>(1)</sup>, avec quelques décalages, tels ceux qu'à une autre échelle on découvre entre les sommets des courbes de MILANKOWICHT, les maxima de froid continental, les maxima d'extension et de stockage glaciaires.

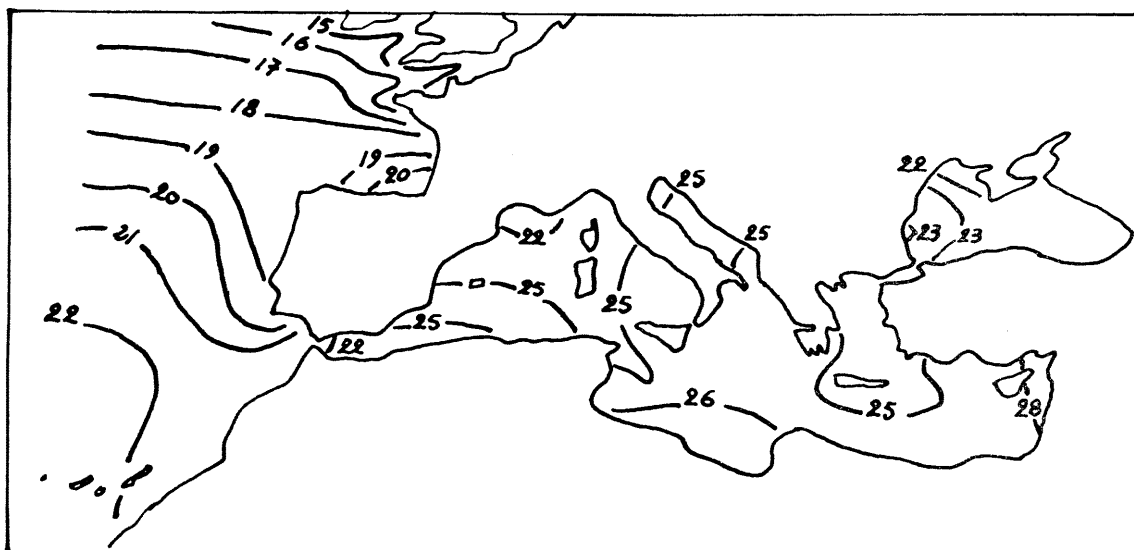


FIG. 2. — Isothermes de surface en août.

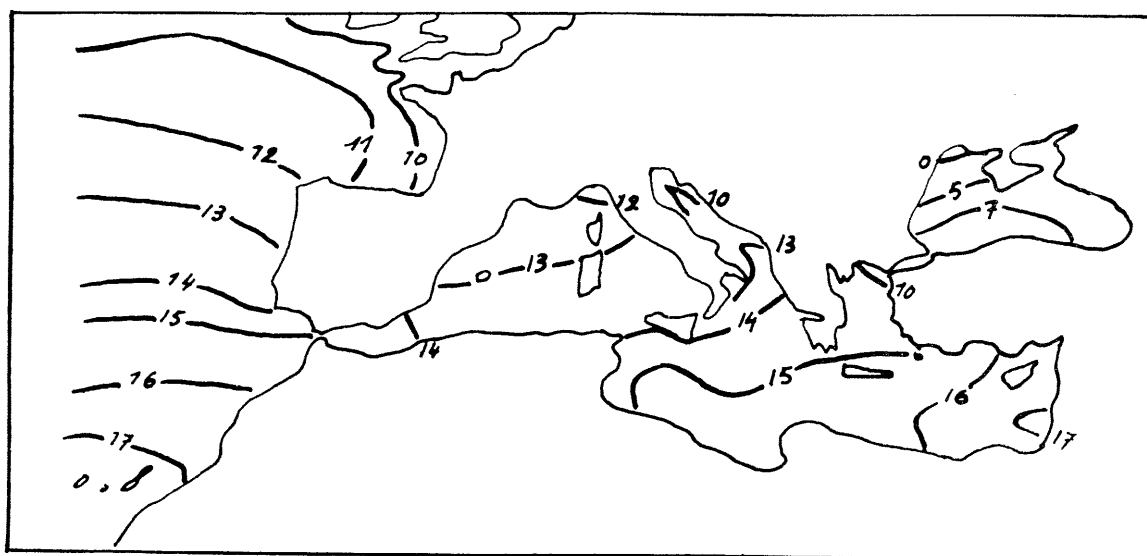


FIG. 3. — Isothermes de surface en février.

Les eaux de la Méditerranée subissent, comme celles de l'Atlantique et de la Mer noire, les effets d'une loi générale sur la variation de la température avec la profondeur. Ses températures profondes sont dues aux courants de convection qui entraînent vers le fond les eaux superficielles

(1) Le hareng est un poisson qui évite strictement les masses d'eau d'origine tropicale. Aussi, au moment des expansions, son aire se trouve réduite vers le large, et ses bancs, plus denses, se retrouvent plus près des côtes, dans des régions de pêche intensive.

les plus froides, celles de l'hiver. C'est pourquoi, en hiver, la température de surface (fig. 3) et celle du fond sont toutes deux voisines de 13°C et qu'alors les eaux sont à peu près homothermes dans toute leur masse. Elles sont homothermes en toutes saisons à partir de 300 m env. de profondeur (sondages D. et E.).

<p>Point A, Atlantique (SO de l'Irlande)</p>			<p>Point B, Atlantique (golfe de Gascogne, juin)</p>		
	printemps	été			
0 m	10°6	16°5	0 m	17°50	
100	10°4	11°0	50	11°91	
400	10°2	10°4	100	11°15	
600	9°6	9°7	400	10°86	
800	9°0	9°0	800	10°04	
1 000	7°9	7°8	1 000	9°76	
1 600	4°0	4°0	2 000	3°82	
<p>Point C, Atlantique (golfe d'Espagne, O Gibraltar) (septembre)</p>			<p>Point D, Méditerranée (côtes algériennes, juin)</p>		
0 m	21°41		0 m	21°26	
100	15°52		50	14°20	
200	13°88		100	13°03	
400	11°83		200	12°96	
600	10°69		400	12°99	12,94 moy.
800	10°12		600	12°93	
1 000	9°76		800	12°89	
2 000	4°61		1 000	12°88	
			2 000	12°99	
<p>Point E, Méditerranée (Mer tyrrhénienne, juillet)</p>			<p>Point F, Mer noire (juillet)</p>		
0 m	21°76		0 m	23°07	
50	15°18		50	7°8	
100	13°75		100	8°3	
200	13°97		200	8°8	
400	13°77		400	8°8	8,8 moy.
600	13°70		600	8°8	
800	13°56	13,57 moy.	800	8°9	
1 000	13°42		1 000	8°9	
2 000	13°18		2 000	8°9	
3 000	13°25				

TABLEAU I. — Température des eaux.

En Méditerranée, l'évaporation l'emporte nettement sur les apports d'eau douce. Le déficit annuel est comblé en majeure partie par un apport atlantique, à travers le détroit de Gibraltar et, pour une part mineure, par un apport d'eau de la Mer noire à travers les détroits turcs. Entre les trois nappes d'eau, les échanges s'opèrent selon une loi simple de vases communicants contenant des liquides de densités différentes. A Gibraltar, il existe un courant d'entrée des eaux atlantiques, en surface, et un courant de sortie des eaux méditerranéennes en profondeur. A ce phénomène principal s'en ajoutent d'autres qui interfèrent pour altérer sa régularité. La vitesse des deux courants et leur limite varient. Au moment des marées atlantiques, le flot arrive quelquefois à interrompre pendant deux ou trois heures tout courant de sortie. Une variation saisonnière est à remarquer : en été la limite entre les deux courants est à —200 m environ; en hiver, elle n'est qu'à —100 m. En définitive, si l'échange, en volume, est bénéficiaire à la Méditerranée, ce ne sont pas les eaux atlantiques qui déterminent la température profonde de la Méditerranée, mais bien l'inverse. Le courant profond méditerranéen crée, à

l'ouest et au nord de Gibraltar, une zone, unique dans tout l'Atlantique nord-est, où jusqu'à 1 000 m la température de l'eau reste voisine de 10°, ou supérieure (fig. 1, sondages B., C.).

En Mer noire, les températures de surface peuvent avoisiner 25°C en été, comme en Méditerranée, mais en hiver, elles sont relativement basses, 6 à 7°C dans les régions centrales. Cela entraîne un régime particulier: les couches les plus froides, vers —50 m ont la température de la surface en hiver, selon la loi générale. Puis, il y a un réchauffement en profondeur, sous l'effet d'un afflux d'eaux méditerranéennes, jusqu'à 9°C au fond (sondage F.). Les échanges à travers les détroits sont ici différents de ceux qui se produisent à Gibraltar. La Mer noire reçoit plus d'eau douce qu'il ne s'en évapore en un même temps à sa surface. Ces eaux excédentaires s'écoulent en surface, vers la Méditerranée, tandis qu'un courant profond ramène de la Méditerranée vers la Mer noire une certaine quantité d'eaux plus denses et plus chaudes.

Ces brèves descriptions des conditions hydrologiques suffisent à comprendre l'essentiel des rapports actuels entre la Méditerranée et les bassins adjacents.

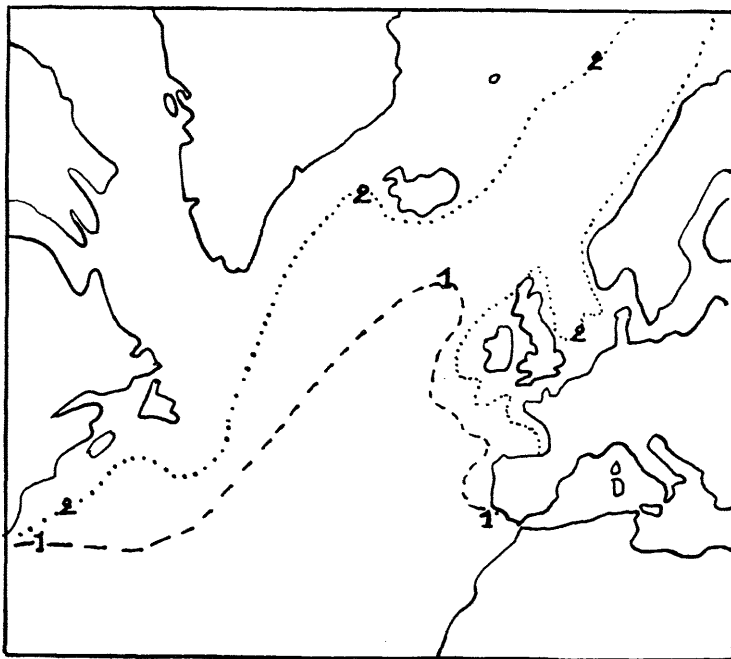


FIG. 4. — *Limite nord des eaux atlantiques; 1: en régression hivernale, 2: en expansion estivale.*

Pour expliquer les températures profondes de la Méditerranée, observe ROUCH (1946, p. 114), on a exagéré l'influence du détroit de Gibraltar en tant que limitant la communication des eaux. Actuellement c'est plutôt la Méditerranée qui influence la température des eaux atlantiques en profondeur. Mais, en supposant une couche d'eau plus haute sur le détroit, 100 m au Sicilien par exemple, selon les anciennes théories, on a cru pouvoir expliquer soit le refroidissement de la Méditerranée, soit un appel d'eaux atlantiques susceptibles de modifier les conditions biologiques. Outre qu'une telle transgression par rapport au niveau eustatique actuel n'a jamais dû exister, l'effet n'aurait pas été celui escompté, sans l'intervention d'autres phénomènes. La solution est nécessairement ailleurs.

Nous vivons actuellement le début d'une période interglaciaire. On pourrait dire à la rigueur, que nous traversons un interglaciaire. Les conditions climatiques actuelles sont en tout cas plus proches de celles d'un interglaciaire que d'un glaciaire à leur maximum.

Etablissons une comparaison, qui, bien que grossière, comporte une évidente part de vérité : comparons les saisons aux périodes climatiques quaternaires : les étés aux interglaciaires, les hivers aux glaciaires. De même que nous saisissons actuellement des différences dans le régime des mers selon la saison, de même les successions d'interglaciaires et de glaciaires ont dû entraîner des modifications que la connaissance des régimes actuels va nous aider à reconnaître. Nous avons vu la remontée en latitude des masses d'eau tropicale en été dans l'Atlantique, et le phénomène inverse de descente des eaux froides en hiver. Nous avons vu de même changer de position la limite entre les courants de Gibraltar, celle-ci passant de 100 m en hiver à 200 m en été, ce qui correspond à une entrée plus importante d'eau atlantique pour compenser le déficit méditerranéen plus fort en été.

Plaçons-nous d'abord dans les conditions d'un interglaciaire bien caractérisé. Pendant une telle période, dans la région méditerranéenne prévaut un climat aride-chaud, attesté par la formation de sols d'altérations et même de croûtes. Les conditions climatiques actuelles sont aggravées : eaux plus chaudes, évaporation plus intense précipitations moindres d'où déficit méditerranéen accru. Ce déficit est comblé par des apports atlantiques plus importants, grâce à un courant d'entrée plus important, plus constant, dont la limite inférieure s'enfoncé. Les eaux qui pénètrent sont plus chaudes, l'Atlantique connaissant de son côté un régime accentué d'expansion des eaux tropicales pouvant entraîner une modification des provinces zoologiques (cf. Ch. 2). Toutes les conditions se trouvent réalisées pour permettre à la fois l'introduction des faunes littorales méridionales, et leur maintien dans un milieu méditerranéen favorable. En profondeur, la température qui s'accroît également, même faiblement, entraîne un régime homothermique impropre à la survivance de faunes nord-atlantiques qui auraient pu préexister.

Plaçons-nous ensuite dans les conditions d'une période glaciaire. La régression eustatique correspondante entraîne une réduction d'eau, sur Gibraltar comme ailleurs. Mais ce n'est pas là le fait capital. La zone de climat aride se déplace vers le sud en même temps qu'elle se contracte. La zone tempérée humide et fraîche subit un déplacement parallèle et vient affecter les régions méditerranéennes. D'un point de vue théorique, FAIRBRIDGE a expliqué, dans une récente communication (1960) ces changements de climat. Un climat humide et frais est d'ailleurs décelé dans les formations méditerranéennes d'époque glaciaire : alluvions torrentielles, loess argileux, tourbes froides, cryoturbations etc. Ce sont les époques des « glaciaires » de la région romaine. La température de la mer peut en être affectée, mais surtout, les conditions hydrologiques deviennent tout à fait différentes de ce qu'elles sont actuellement : du fait des précipitations et des apports fluviaux accrus, le bilan de la Méditerranée cesse d'être déficitaire et devient même excédentaire. La salinité diminue. Le surplus d'eau va se déverser dans l'Atlantique, par un courant de surface. D'abord la limite entre les deux courants (surface et fond), actuellement reconnue comme moins profonde en hiver, remonte jusqu'à atteindre la surface et les courants sont nuls. Après qu'a cessé l'entrée des eaux atlantiques en surface, il s'établit un renversement complet des courants : à un courant de sortie des eaux méditerranéennes diluées qui s'écoulent vers l'Atlantique, répond un courant atlantique en profondeur. Autrement dit, le nouveau régime de la Méditerranée par rapport à l'Atlantique est du même ordre que l'actuel régime de la Mer noire par rapport à la Méditerranée. Dans le même temps, les eaux atlantiques sont elles aussi plus froides à la latitude de Gibraltar, et il y a une migration vers le sud des provinces zoologiques nordiques. Toutes les conditions se trouvent alors réalisées pour permettre à la fois l'introduction d'une faune nord-atlantique en profondeur et son maintien dans un milieu méditerranéen favorable par sa température et sa salinité, et aussi par le renouvellement dont il est l'objet. A l'échelle saisonnière, ce sont des phénomènes du même ordre qui régissent les petites mers intérieures que sont les étangs littoraux sub-marins, tels ceux de Berre ou de Thau, où, à la stagnation et à l'échauffement des eaux profondes en fin d'été succède un avivement hivernal par modifications courantologiques dans les chenaux de communication avec la mer.

Cette *hypothèse de l'inversion des courants* explique également que les faunes renouvelées soient des faunes littorales pendant les interglaciaires, tandis que le courant de sortie des eaux méditerranéennes en surface, pendant les glaciaires n'est pas favorable à l'introduction des faunes littorales atlantiques froides.

Déjà, J.M. PÉRÈS (*in* BLANC, PÉRÈS et PICARD, 1959, p. 192) avait dit qu'un appel ou une sortie d'eaux atlantiques, selon le cas, devait être à l'origine de la ventilation du fond de la Méditerranée. PICARD et nous-même (1960, p. 327), avions d'autre part insisté sur le fait qu'un refroidissement, peut-être peu important des eaux méditerranéennes, devait avoir correspondu avec un abaissement de la salinité, les deux facteurs étant favorables aux espèces nordiques, le tout pouvant s'expliquer par de fortes précipitations, ou par un fort débit des fleuves, ou par des échanges d'eau plus intenses par le seuil de Gibraltar. Nous pensons avoir montré maintenant comment ces divers facteurs sont en fait liés, et expliqué de façon logique, par l'inversion des courants, comment se sont produites les variations de la faune en Méditerranée pendant le Quaternaire, aussi bien au cours des périodes glaciaires qu'interglaciaires.

Naturellement, de telles variations ne se sont pas faites selon le schéma simple d'un petit nombre de maxima glaciaires et interglaciaires, bien séparés et d'emblée établis, mais par avancées et reculs successifs de valeurs moindres, différentes entre elles, avec effets cumulatifs possibles, de même qu'on trouve des stades dans les formations glaciaires de montagne. Si les effets maxima sont enregistrés à peu près au moment des phases maximales, il y a eu certainement aussi des phases correspondant à des régimes intermédiaires, amorcées puis plus ou moins avortées. Il y a eu aussi des effets-retard sur le milieu marin, tel celui dû à la fonte des neiges en phase de déglaciation, capable de prolonger en Méditerranée pendant une partie des transgressions glacio-eustatiques, les conditions favorables à la survie des espèces nord-atlantiques.

On a pu suivre dans diverses régions, et avec quelques détails les fluctuations climatiques, à travers la flore et la faune au cours de la transgression qui a suivi le maximum régressif wurmiem. Tandis que le début de la déglaciation est estimé à quelque 25 000 ans, le maximum froid, dans la région littorale de la Versila, étudiée par A.C. BLANC et par TONGIORGI (1936), correspond à la formation de tourbes à *Pinus mugo*, *P. silvestris*, *Picea*, *Abies*, alors que la transgression a déjà conduit le niveau de —90 à 40 m env. Ces tourbes, comprimées, réduites à l'état de galets, sont reprises par la mer amorçant un mouvement transgressif décisif et qui dépose vers —20 m des sables à *Purpura* et *Vitis*. La datation par  $C^{14}$ , appliquée aux tourbes froides, a donné —18 500 ans env. (A.C. BLANC, H. DE VRIES et FOLLIERI, 1957).

D'autre part, dans le carottage profond 189, étudié par EMILIANI, les Foraminifères des sédiments de Méditerranée orientale datés de 17 200 ans env. par  $C^{14}$ , sont ceux qui donnent les plus basses paléotempératures.

De ces deux exemples, le premier est le plus valable, mais concerne le climat terrestre des régions littorales, non le milieu marin. En ce qui concerne le second, il conviendra d'y ajouter un commentaire. A GIGNOUX qui, nous l'avons rappelé, considérait comme dangereuses l'utilisation de la courbe de MILANKOWITCH, et la théorie des niveaux de DEPERET, nous allons malheureusement devoir faire écho en ajoutant que sont également dangereuses les interprétations trop absolues des courbes de paléotempératures isotopiques.

Dans le cas de l'analyse de la carotte 189, il est supposé que la composition isotopique du milieu marin était comparable à l'actuelle. L'auteur reconnaît pourtant le problème que pose la variation possible de cette composition dans le passé (EMILIANI, 1955, p. 90), en ce qu'elle influence le résultat des analyses. Mais il pense que le renouvellement rapide des eaux méditerranéennes par les courants atlantiques neutralise dans une large mesure les effets de l'évaporation (qui augmente le rapport  $O^{18}/O^{16}$ ), ou les effets des apports d'eau de fonte glaciaire (qui diminuent ce rapport). Actuellement, d'après les données de EPSTEIN et MAYEDA, rappelées par EMILIANI, MAYEDA et SELLI (1961), on sait qu'il y a une relation directe entre la salinité et la concentration d' $O^{18}$  : 0,5 ‰ de plus ou de moins dans cette concentration est en rapport avec 1-1,5 ‰ de plus ou de moins de la salinité. D'autre part, une diminution de 0,23 ‰ d' $O^{18}$  fait obtenir à l'analyse des températures trop fortes de 1°C env. Selon les mêmes données, dans la Méditerranée actuelle d'ailleurs, le rapport augmente de 0,8 ‰ entre Gibraltar (salinité 36,25), et la Méditerranée occidentale (S. 38); de 1,2 ‰ entre Gibraltar et la Méditerranée orientale (S. 39). Une diminution de la salinité de l'ordre de 3 ‰ par exemple, peut, en définitive se traduire par un résultat trouvé trop fort de quelque six degrés C.

Or, la Méditerranée représente au cours des vicissitudes climatiques et océanographiques quaternaires, un aspect particulier, indépendant, qu'il ne faut pas assimiler à un état océanique général. Son bilan hydrologique ne s'aligne pas sur celui mondial moyen et théorique tenant compte des échanges entre les eaux enrichies en  $O^{18}$  par suite de l'évaporation, à certaines époques, ou en  $O^{16}$  à d'autres, par la restitution de l'eau de fonte glaciaire.

Dans notre hypothèse de l'inversion des courants à Gibraltar, les époques de renouvellement plus actif des eaux méditerranéennes correspondent à la fois à celles de température plus basse, de salinité plus basse, d'évaporation modérée, de précipitations accrues en début de phase, de fonte glaciaire en fin de phase. Ainsi, à ces époques en gros glaciaires, ont dû correspondre en Méditerranée des compositions isotopiques nettement appauvries en  $O^{18}$ . Inversement, les interglaciaires connaissant des températures plus fortes, une évaporation plus forte, des précipitations minimales et finalement une salinité plus forte, ont dû correspondre à des compositions isotopiques enrichies en  $O^{18}$ . Comme l'on n'est pas en présence d'un petit nombre de cycles climatiques parfaitement égaux, les variations isotopiques ne peuvent être supposées selon des courbes simples. Dès lors, pour interpréter les graphiques de paléotempératures brutes (établies sur la base de concentrations isotopiques constantes du milieu), on se trouve enfermé dans un cercle vicieux. On ne peut corriger en fonction de stades qui ne sont présumés glaciaires et interglaciaires qu'en fonction de températures faussées.

A titre d'exemple, et avec des valeurs correctives arbitraires, et seulement pour illustrer ces faits, considérons les résultats bruts de paléotempératures donnés pour la série sicilienne typique de Ficarazzi. EMILIANI, GIANOTTI et MAYEDA (1961), aboutissent aux résultats suivants : températures superficielles (par *Globigerina rubra*), 19 à 31°C, valeurs estivales; températures intermédiaires (*Globigerina inflata*), 16,6 à 18,3; temp. profondes (Foraminifères benthiques), 14,6 à 17,6. D'où ils concluent que les corrélations avec un glaciaire, proposées par RUGGIERI et SELLI notamment (1949) paraissent ne pas pouvoir être soutenues.

Considérons au contraire, dans l'optique de notre hypothèse, que la série sicilienne en question correspond bien, en gros, à une période glaciaire, avec tout ce que cela sous-entend eu égard à la salinité et à la composition isotopique  $O^{18}/O^{16}$ . Admettons la possibilité d'une baisse de salinité jusqu'à 35 ‰; les corrections de température seraient de l'ordre de  $-6^{\circ}C$ , ce qui modifie ainsi les résultats : surface été 13 à 25, fond 8,6 à 11,6°C.

Par ailleurs, la plus forte variabilité des températures en surface s'expliquerait en partie par la plus forte variabilité de la composition isotopique superficielle par rapport à celle du fond. On saisit par cet exemple à valeurs arbitraires mais cependant tout à fait dans l'ordre des choses possibles, le danger des conclusions générales sur la base des analyses de paléotempératures isotopiques.

On peut faire des remarques analogues à propos de la série calabrienne de Le Castella en Calabre. Là, EMILIANI, MAYEDA et SELLI (1961), ont obtenu les résultats suivants.

Tandis que pour la série pliocène, sous-jacente en continuité, les paléotempératures trouvées sont de 21 à 30°C pour la surface, celles de profondeur (Foram. benth.) sont de 14 à 20°C, pour la série calabrienne elles varient de 16 à 30 (surface), de 11 à 19 (interméd.) et de 7 à 13°C (fond, Mollusques benth.). De plus, les écarts sont souvent très forts entre des couches séparées par de faibles épaisseurs de sédimentation, ce qui fait penser à des alternances climatiques répétées. En raison des erreurs possibles dans l'estimation des paléotempératures, précédemment soulignées, nous considérons comme plus valables les données fournies par les seules considérations micropaléontologiques résultant d'observations détaillées (SELLI, in EMILIANI, MAYEDA et S., 1957). Dans la série de Le Castella, au-dessus de la limite plio-pleistocène, on voit apparaître, dans l'abondante faune de Foraminifères benthiques, quelques espèces très significatives : la classique *Anomalina baltica*, actuellement très répandue dans des eaux relativement froides et peu salées de l'Atlantique nord; *Lingulina seminuda*, qui vit dans des eaux de 4 à 8°C; *Anomalina coronata* (id. 4 à 6°C); *Sigmilina schlumbergeri*, préférant les eaux entre 2 et 8°C. À côté de ces indications, les températures isotopiques fournies par les Foraminifères benthiques de Le Castella sont trop nettement élevées (11 à 19°C), et là encore, on est en droit



de penser qu'il faut faire intervenir des modifications dans la concentration isotopique d'O<sup>18</sup>, dans le sens que nous avons indiqué c'est-à-dire l'abaissement, en fonction de conditions climatologiques et océanographiques qui sont celles de phases glaciaires.

### Les provinces zoologiques marines. Limites et variations.

Les zoologistes ont cherché depuis longtemps à établir des provinces zoologiques, ou zones à l'intérieur desquelles la composition spécifique de la faune soit assez homogène et assez différente de celle des provinces voisines. Mais il en est de ces classifications comme de toutes celles appliquées aux choses de la nature, elles comportent toujours une part d'arbitraire, parce que ce n'est qu'exceptionnellement que des régions naturelles sont séparées par des barrières efficaces créant des milieux distincts entre lesquels on ne puisse trouver un passage graduel. Certaines barrières sont effectivement infranchissables, les isthmes continentaux par exemple. Dans le domaine qui nous occupe, l'isthme de Suez (avant son percement) a fait que les faunes de la Mer rouge et de la Méditerranée, bien isolées depuis le Miocène, sont tout à fait différentes. Les barrières du milieu marin sont beaucoup plus ménagées, sélectives, et les aires de dispersion des espèces sont rarement superposables.

Les Mollusques côtiers, qui à l'état fossile présentent tant d'intérêt pour la classification des terrains, ont justement été pris en considération dès les premiers essais de distinction des provinces marines. Celles définies par WOODWARD, 1856, restent valables dans leurs grandes lignes. Actuellement, du Pôle nord au Tropique du Cancer, nous distinguerons les provinces et régions suivantes, pour l'Atlantique oriental et la Méditerranée :

A) *Province arctique*, comprenant les régions circumpolaires, jusqu'au Finmarck sur les côtes européennes, et les côtes nord de l'Islande. A la limite de cette province, la température en surface est voisine de 2°C en hiver, de 10 en été, et partout en profondeur elle ne dépasse pas 5—6°C. Un nombre réduit d'espèces à très vaste répartition et présentes en Méditerranée, atteignent la limite du cap Nord, mais ne s'étendent guère dans la province arctique elle-même sauf *Saxicava arctica*.

Remarquons tout de suite qu'aucune des espèces arctiques strictes ne se retrouve dans aucune des faunes méditerranéennes fossiles.

B) *Province boréale*, comprenant les côtes de Norvège, les îles Faroër et Shetland, la côte sud et ouest de l'Islande pour la partie constituant la région boréale *s.s.*; la seconde région, anglo-germanique, s'étend au sud et à l'est de la précédente jusqu'à l'entrée occidentale de la Manche. Cette région n'a pas d'espèces bien particulières, sa faune étant composée d'espèces arctiques et surtout boréales, auxquelles s'ajoutent déjà des éléments d'origine méridionale. La région baltique a une faune boréale appauvrie.

C'est dans la Province boréale, qu'elles ne débordent pas ou peu vers le sud, que nous allons rencontrer les espèces suivantes, dont plusieurs existent aussi dans la province arctique (1): *Trichotropis borealis*, *Trophon clathratus*, *Sipho islandicus*, *Sipho glaber*, *Chlamys islandica*, *C. tigrina*, *Cyprina islandica*, *Macoma calcarea*, *Panopaea norvegica*, *Mya truncata* etc.

C'est, on le voit, dans cette province qu'apparaissent la plupart des espèces « froides » du Quaternaire méditerranéen.

C) *Province méditerranéo-atlantique* (Province lusitanienne, WOODWARD) comprenant les côtes françaises au sud de la Manche, les côtes ibériques, celles de la Méditerranée, les côtes nord-ouest africaines, jusqu'au cap Bojador, limite au sud de laquelle commence la province sénégalienne.

(1) Pour la répartition plus détaillée des espèces boréales et arctiques, consulter notamment les travaux de MADSEN et THORSON.

Régions	Spitzberg	Islande, N	Finmark	Islande, S	Norvège 64° N	Faroër	Angleterre SO Irlande S	G. de Gascogne	Portugal 40° N	Cadix	G. du Lion	Oran	Maroc	Sén. I. cap Vert
Sal. ‰	< 32	34	33	34.5	34	35	35	34.5	35.5	36	37.5	36.5	36.5	35.5
Sal. ‰ —400 m				35				35.5		38.3	35.7	35.2		
T° C														
o ou < 0	+	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
+														
—														
.														
l														
p														
l														
l														
l														
p														
p														
p														
p														
p														
p														
p														
p														
p														
l														

TABLE 2. — Répartition des espèces dans les provinces zoologiques marines, selon la salinité et les températures. Températures: + max. surface, — min. surface, . vers —400 m; l espèces littorales ou ne dépassant pas —100 m de profondeur, p espèces dépassant la profondeur de 400 m.

Plus encore que dans la région anglo-germanique, nous sommes ici dans une aire où se mêlent les éléments boréaux et méridionaux. On distingue :

une *région franco-ibérique*, dont la limite est assez nettement marquée vers le sud par le cap St. Vincent;

une *région méditerranéenne* comprenant toute la Méditerranée et le golfe de Cadix;

une *région marocaine*, où se mêlent les éléments atlantiques et ceux de la province sénégalienne.

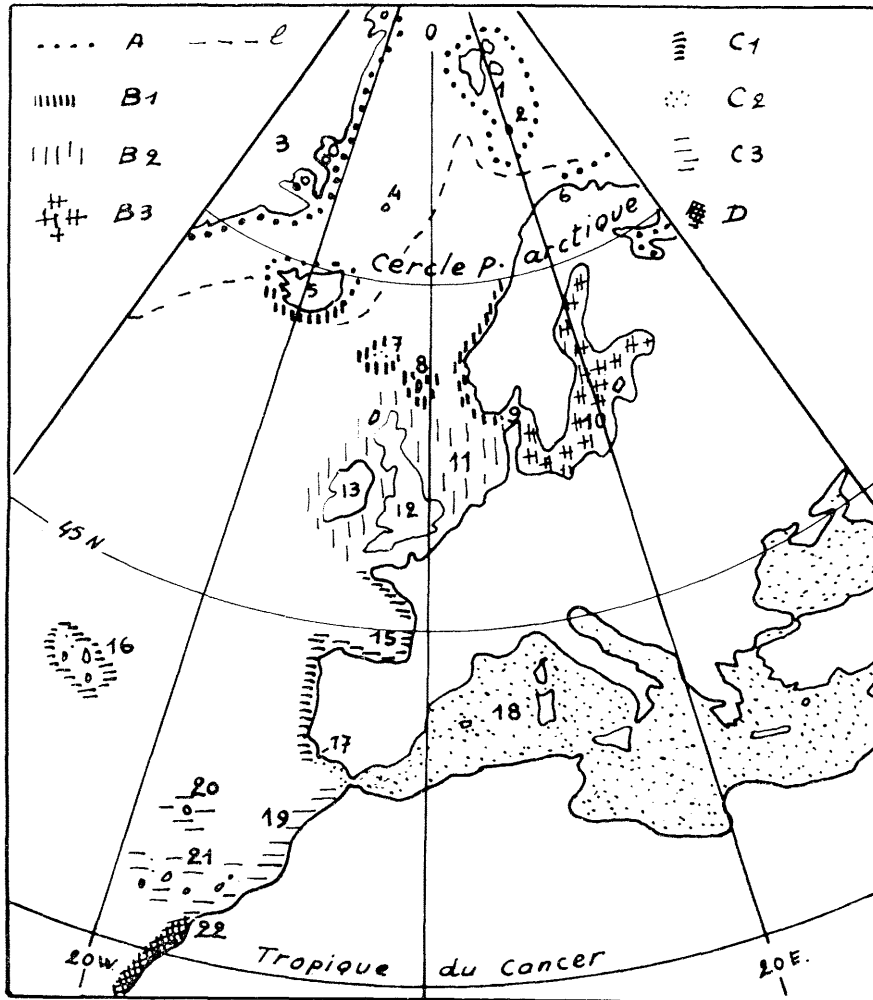


FIG. 5. — Provinces zoologiques marines. A arctique; B boréale, comportant 3 régions : B1 boréale, B2 anglo-germanique, B3 baltique; C méditerranéo-atlantique, comportant 3 régions : C1 franco-ibérique, C2 méditerranéenne, C3 marocaine; D sénégalienne; 1 limite moyenne des glaces flottantes, 1 Spitzberg, 2 Île des Ours, 3 Groënland, 4 Jean Mayen, 5 Islande, 6 cap Nord, 7 Faroër, 8 Shetland, 9 Skagerrak, 10 Baltique, 11 Mer du nord, 12 Angleterre, 13 Irlande, 14 Manche, 15 golfe de Gascogne, 16 Açores, 17 cap Saint-Vincent, 18 Méditerranée occidentale, 19 côtes du Maroc, 20 Madère, 21 Canaries, 22 cap Bojador.

P. FISCHER (1884) a surtout insisté sur la limite que constitue la Manche pour un grand nombre d'espèces méridionales parmi lesquelles *Cardium paucicostatum*, *C. Papillosum*; *Jagonia reticulata*; *Dentalium novemcostatum*; *Chiton cajetanus*; *Patella lusitanica*; *Haliotis tuberculata*; *Tritonalia edwardsi*; *Purpura haemastoma*; *Nassa corniculum*, *N. semistriata* sont citées, sur 81 espèces de cette catégorie. En fait, plusieurs de ces espèces n'atteignent pas la limite indiquée.

LE DANOIS (1948), constate de son côté que la faune des Mollusques semble se modifier surtout à la hauteur du seuil du Poitou, et qu'il existe différentes limites possibles, ce qui l'entraîne à multiplier les régions. Tout ceci démontre simplement que nous sommes dans un secteur où de nombreuses espèces atteignent, mais pas simultanément, leur limite nord. Dans ce même secteur, les espèces présentes dans les faunes arctique et boréale voient s'éteindre leur aire de répartition, plus particulièrement dans la région franco-ibérique, par exemple *Buccinum undatum* dans le golfe de Gascogne; *Purpura lapillus*, *Littorina littorea*, *Cochlodesma praetenua* au long des côtes du Portugal. Une espèce plus particulière à cette province est souvent considérée à tort comme boréale, *Chrysodomus contrarius*.

FISCHER-PIETTE (1958) a montré, et LECOINTRE l'a rappelé (1960), qu'actuellement, les limites d'extension des espèces de la faune et de la flore intertidales, le long des côtes ibériques présentent des variations observables même sur des espaces de temps chiffrables en décennies, et qu'il s'agit d'une région où peu de choses vont suffire à déplacer les conditions écologiques vers le nord ou vers le sud. Ceci intéresse particulièrement la région méditerranéenne dont la communication avec l'Atlantique s'ouvre précisément dans cette région mixte.

Dans les définitions des provinces, il est fait abstraction des localisations profondes (disons au-dessous de 400 m) car dans ces parties profondes, du fait de la faible température, on trouve, à une même latitude, des animaux qui dans la zone plus côtière n'existent que dans d'autres provinces. La température décroît en effet, en règle générale, avec la profondeur, si bien que dans l'Atlantique, qui n'est pas une mer à zone homotherme, elle est par exemple déjà voisine de 10°C à 400 m et à la latitude de Madère. Ceci explique par exemple qu'on trouve là *Chlamys septemradiata*, dont LOCARD a observé de beaux exemplaires vivants, ou, à la latitude du nord de l'Espagne, à 1 000 m, *Chlamys islandica*, plus nordique, ou encore à près de 1 000 m à la latitude du Maroc, *Sipho fusiformis*, dont la bathymétrie près de la Norvège est de 55 à 300 m. LE DANOIS a insisté sur ce fait de l'isothermie entre les couches superficielles des mers septentrionales et les couches profondes des mers équatoriales. Il a cité des espèces à caractère boréal indiscutable, qu'on retrouve sur la pente nord-ibérique dans la zone semi-abyssale (1000-2000 m), telles *Siphonodentalium lofotense*, *Buccinum finmarckianum*, *Astarte banski* parmi les Mollusques. A ces profondeurs, la température n'atteint que 3 à 4 degrés et n'est pas affectée par les variations saisonnières. Il résulte de ces observations que d'une manière générale, on ne peut, sur le cas d'une espèce, d'un petit nombre d'espèces ou d'un petit nombre d'exemplaires, estimer soit la profondeur, soit le caractère climatique correspondant à un dépôt. On ne peut se risquer à le faire que lorsque les espèces étant nombreuses, leurs indications se complètent. Dans le cas de la Méditerranée, quelle que soit la profondeur au-dessous de quelques centaines de mètres, la température reste sensiblement la même, mais le degré de cette homothermie a certainement varié, de quelques unités au plus, pendant certaines périodes du Quaternaire.

### Les séries stratigraphiques du Quaternaire de Méditerranée.

Bien que demeurant discutable, la place de la limite inférieure du Quaternaire entre le Pliocène et les premières couches du Calabrien-Villefranchien où se perçoivent des signes caractéristiques d'un refroidissement des eaux méditerranéennes, est maintenant très généralement admise, et elle convient à un cadre d'ensemble des temps Quaternaires.

Les séries continues Pliocène-Quaternaire, les lignes de rivage du Calabrien et du Sicilien, les formations intercalées entre les rivages du Sicilien et du Tyrrhénien à Strombes, le Tyrrhénien et les problèmes de terminologie qu'il a suscités, le cas du gisement de Milazzo, le Versilien, tous ces éléments sont rappelés, qui à travers leur complexité permettent d'arriver à une conception plus valable des étages du Quaternaire, et à un tableau des équivalences de ces étages dans les domaines voisins mais différents de la Méditerranée et du Maroc (tabl. 3).

Un aperçu sur la Géologie du Quaternaire des Alpes-Maritimes illustre les incertitudes qui demeurent encore dans une région qui fut pourtant une des bases de la théorie classique des niveaux, mais qui n'a pas encore livré tous ses secrets.

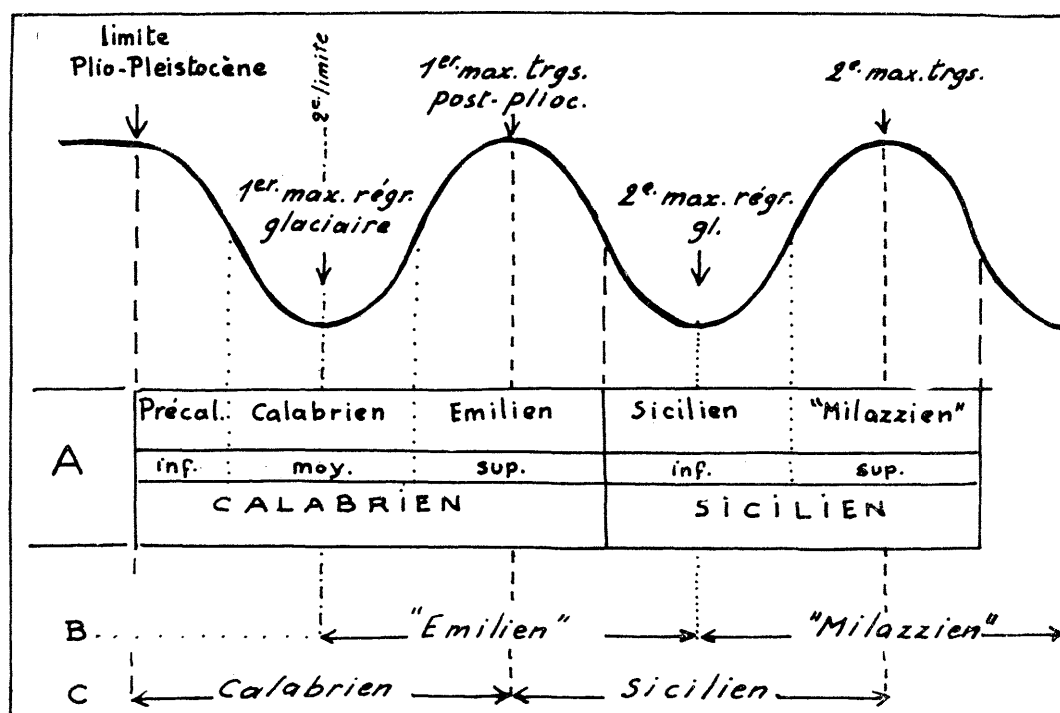
DOMAINES		MÉDITERRANÉE	MAROC	
Pliocène				
----- Limite plio-pléistocène -----				
CALABRIEN (2)	INF.	Astien sup. <i>pars.</i> Précalabrien (5)	marin (3)	continental (4)
	Moy.	(1 <sup>re</sup> regression post-plio.) ..... Calabrien <i>s.s.</i>	.....	Moghrebien  Moulouyen
	SUP.	(1 <sup>re</sup> transgr. p.-p.) ..... Emilien (6)	Messaoudien	
SICILIEN (7)	INF.	(2 <sup>e</sup> regr. p.-p.) ..... Sicilien <i>s. s.</i>	.....	Salétien
	SUP.	(2 <sup>e</sup> transg. p.-p.) ..... "Sicilien 2" "Milazzien" (8)	Maarifien	
TYRRHÉNIEN (9)	Paléotyr.	(3 <sup>e</sup> regr. p.-p.) ..... (3 <sup>e</sup> transg. p.-p.) ..... "Milazzien", "Milazzien 2" "Tyrrhénien", "T. 1" Paléotyrrhénien (10)	Anfatien	Amirien
	Eutyrrh.	4 <sup>e</sup> regres) ..... (4 <sup>e</sup> transg) .....  Tyrrhénien <i>s. s.</i> "Monastirien" (8) "Tyrrhénien", "T. 2" "Ouljien" Eutyrrhénien (10)	Harounien Rabatien	Tensiftien
	Néotyrrh.	(5 <sup>e</sup> regr) ..... (5 <sup>e</sup> transg) ..... "Monastirien" "Monastirien 2" "Tyrrhénien 3" "Grimaldien" (11) Néotyrrhénien (10)	Ouljien	Présoltanien
Versilien (12)		(6 <sup>e</sup> reg) ..... (6 <sup>e</sup> transgression) ..... "Flandrien" (13)	Mellahien	Soltanien Rharbien

(1) Les étages inscrits entre guillemets ont des acceptions différentes selon les auteurs. (2) GIGNOUX, 1913; le Villafranchien, PARETO, 1865, est, à peu près, l'équivalent continental du Calabrien. (3) La terminologie des étages marins du Maroc est due à GIGOUT, 1949 pour l'Ouljien, à BIBERSON, 1958 pour les autres étages. (4) CHOUBERT, JOLY, GIGOUT, MARCAIS et RAYNAL, 1956. (5) SELLI, 1951. (6) RUGGIERI et SELLI, 1948. (7) DODERLEIN, 1872. (8) DEPERET, 1918. (9) ISSEL, 1914. (10) BONIFAY et MARS, 1959. (11) BOURCART, 1938. (12) A.C. BLANC, 1936. (13) RUTOT et VAN DEN BROECK, 1885.

TABLE. 3. — *Equivalence des étages.*

### La conception des étages.

Les vues d'ensemble du Quaternaire sont souvent déformées par l'habitude de considérer l'étage comme défini par un niveau littoral. Même si ce dernier est bien la trace d'un maximum transgressif et interglaciaire, on ne considère ainsi qu'un repère, alors qu'un étage doit embrasser un espace de temps et tous les dépôts qui ont pu s'y former, tels qu'ils apparaissent dans des séries continues. Considérant schématiquement le Quaternaire ancien, pour lequel de telles séries sont connues, on peut établir les coupures de différentes manières (fig. 6). Ou bien, on peut les placer entre les horizons biostratigraphiques, vers les points où se produisent les modifications paléontologiques, entre les maxima glaciaires et interglaciaires (A); ou bien, on les placera aux points repères, maxima régressifs et glaciaires (B), ou transgressifs et interglaciaires (C).



La première solution (A), quoiqu'imparfaite et à base paléontologique, est celle que nous suivons. Plus particulièrement adaptée à la région méditerranéenne, elle convient à la description de l'évolution des faunes. Elle offre aussi l'avantage de s'adapter aisément à une nomenclature des étages, qu'elle ne fait que préciser, et permet de faire débiter le Quaternaire avec la limite plio-quaternaire admise depuis 1948.

La seconde solution (B), est basée sur des faits glacio-eustatiques de portée générale. Elle paraît la plus logique, les étages, se succédant d'un maximum régressif glaciaire au suivant, correspondent en effet à des cycles bien définis théoriquement. Mais une partie du Calabrien classique reste dans le Pliocène, les séries calabriennes et siciliennes sont tronquées; entre les deux, on aurait un étage « Emilien » élargi comprenant une partie du Calabrien froid, le vrai Emilien interglaciaire, et une partie du Sicilien froid. Calabrien et Sicilien disparaissent ainsi pour céder la place à cet « Emilien », puis viendrait un « Milazzien », dont il conviendrait d'ailleurs de changer de nom, puis un « Tyrrhénien » enfin.

La troisième solution (C), plaçant les coupures aux maxima interglaciaires est inverse de la précédente et offrirait les mêmes avantages et les mêmes inconvénients.

La première solution en définitive conserve un canevas raisonnable. Dans la trame ininterrompue du Quaternaire, le travail du Géologue, essentiellement Historien, n'est d'ailleurs pas tant de changer constamment la place des fils de couleur qui tracent des bandes, que de chercher où se placent les séries et les phénomènes étudiés, qui se relient les uns aux autres dans une suite naturelle continue.

## Histoire des faunes malacologiques méditerranéennes pendant le Quaternaire.

Un aperçu de cette histoire fait ressortir les lacunes qui demeurent dans les connaissances actuelles et d'attirer l'attention sur quelques détails significatifs. Ce qui reste de l'ensemble des observations des faunes, de la stratigraphie, de la climatologie et de l'hydrologie de la Méditerranée quaternaire, permet pourtant de résumer et de conclure sur quelques idées générales.

1<sup>o</sup>) A chaque phase de régression glacio-eustatique a correspondu l'établissement (ou des tentatives avortées pour les cycles secondaires), de conditions océanographiques bien différentes des actuelles. En relation avec des faits climatiques, une inversion des courants a dû se produire à Gibraltar. Les faunes profondes nord-atlantiques ont alors pu pénétrer en Méditerranée, dont le milieu était favorable par abaissement de la température et de la salinité. Un courant superficiel de sortie des eaux méditerranéennes rendait dans le même temps plus difficile la pénétration des faunes atlantiques les plus littorales.

2<sup>o</sup>) Ces crises successives ont peu à peu entraîné la disparition des types pliocènes.

3<sup>o</sup>) A chaque phase interglaciaire voyant le retour d'un niveau marin successif transgressif, ces faunes nord-atlantiques disparaissent, comme il en est à notre époque. En même temps que les conditions se modifiaient dans le sens d'un réchauffement et d'une augmentation de la salinité le régime des courants s'inversait. Un courant superficiel d'origine atlantique permettait l'introduction de faunes atlantiques-méridionales et littorales en Méditerranée.

4<sup>o</sup>) La faune froide la plus marquée est celle correspondant à la dernière période glaciaire (Wurmien; Versilien inférieur).

5<sup>o</sup>) La faune littorale chaude la plus marquée est celle correspondant à l'interglaciaire Riss-Wurm (Eutyrrhénien).

6<sup>o</sup>) Malgré l'existence d'un nombre restreint de grandes périodes glaciaires, les modifications ne se sont pas faites selon un schéma simple, mais avec des effets-retard, et des petits cycles intermédiaires, tel celui correspondant au Néotyrrhénien en début du Wurm.

7<sup>o</sup>) Les étages marins complets ne peuvent être confondus avec des « niveaux ». Ils comprennent à leur base les dépôts profonds et froids, tandis que les séries de remblaiement s'achèvent avec les dépôts littoraux interglaciaires correspondant à un climat plus chaud et à un niveau eustatique plus élevé.

8<sup>o</sup>) Du fait du renouvellement des mêmes phénomènes durant le Quaternaire à différentes reprises, on voit apparaître plusieurs fois des faunes froides qui se ressemblent entre elles, et des faunes tempérées chaudes également voisines, avec chaque fois le retour d'espèces, dont peu sont en définitive bien caractéristiques du point de vue chronologique.

Ainsi, si l'on peut mieux comprendre l'histoire générale du Quaternaire et des faunes méditerranéennes, on prend conscience de la prudence qu'il faut avoir pour dater des dépôts à faunes insuffisantes ou insuffisamment étudiées, et pour interpréter les données incomplètes et éparées que nous avons d'un grand nombre de gisements.

Du fait de l'inexistence, pratiquement, de coupes bien reliées stratigraphiquement, où formations marines et continentales soient suffisamment datées, la corrélation des étages, comme des faunes, reste certes difficile. Cependant, ce n'est plus une énigme que faunes terrestres « chaudes » et faunes marines « froides » se rencontrent toutes deux dans le Quaternaire inférieur, ou à d'autres niveaux. Il faut d'abord comprendre que les étages du Quaternaire ne sont pas uniformément « chauds » ou « froids »; ensuite, que les changements successifs de faunes ne se sont pas du tout faits selon les mêmes mécanismes, si l'on considère les Mammifères terrestres par exemple, ou les Mollusques marins. Dans le premier cas, les types chauds, avec survivants du Pliocène au début du Quaternaire, ont été affectés au moment des crises glaciaires, par les rigueurs d'un climat qui les a, par attaques successives, finalement complètement détruits sans possibilité de retour. Dans le second cas, les espèces, aux conditions de vie si différentes des premières, se trouvaient dans un milieu où les conséquences du climat, jointes à un régime océanographique tout particulier en ce qui concerne la Méditerranée, en ont éliminé également un certain nombre, mais ont permis une certaine alternance des ensembles faunistiques : un retour a été possible dans les aires momentanément évacuées. C'est le mécanisme de ces modifications des conditions de milieu que nous avons tenté d'expliquer par les rapports entre la Méditerranée et l'Atlantique pendant le Quaternaire, parce que l'Atlantique a été, et continue d'être, le réservoir où la Méditerranée puise, dans des conditions différentes selon l'époque, l'essentiel de sa faune.

---