



Article scientifique

Article

1982

Published version

Open Access

This is the published version of the publication, made available in accordance with the publisher's policy.

---

Les Foraminifères des marais salants de Salin-de-Giraud (Sud de la France) : milieu de vie et transport dans le salin, comparaison avec les microfaunes marines

---

Zaninetti, Louissette

#### How to cite

ZANINETTI, Louissette. Les Foraminifères des marais salants de Salin-de-Giraud (Sud de la France) : milieu de vie et transport dans le salin, comparaison avec les microfaunes marines. In: Géologie méditerranéenne, 1982, vol. 9, n° 4, p. 447–470. doi: 10.3406/geolm.1982.1219

This publication URL: <https://archive-ouverte.unige.ch/unige:165382>

Publication DOI: [10.3406/geolm.1982.1219](https://doi.org/10.3406/geolm.1982.1219)

# Les Foraminifères des marais salants de Salin-de-Giraud (Sud de la France) : milieu de vie et transport dans le salin, comparaison avec les microfaunes marines\*

Louissette ZANINETTI \*\*

## RESUME

L'étude des Foraminifères du Salin de Giraud, en comparaison avec celle des Foraminifères du littoral du Golfe de Beauduc, a montré les différences existant dans la composition des microfaunes dans le salin et dans la mer.

— Dans le salin, les Foraminifères appartiennent à deux associations, l'une de caractère plus confiné (Galabert), l'autre d'affinité plus marine (Vaisseau/Vieux-Rhône), mais qui toutes deux, par leurs faunes naines, peu ornées, souvent déformées, et leur index de diversité n'excédant pas la valeur de 4, reflètent les conditions restreintes du milieu. On note aussi dans le salin une grande hétérogénéité dans la répartition des peuplements de Foraminifères (microdistribution), qui apparaît liée au support de vie (fond sableux, vase, tapis algale, etc.).

— Dans la mer, où l'index de diversité des Foraminifères s'élève à la valeur de 8, on compte de nombreuses espèces qui ne se retrouvent pas à l'état vivant dans le salin, alors que le transport de tests vides peut se faire de la mer vers le salin, comme il se fait aussi à l'intérieur même du salin, ou du salin à la mer.

Une analyse de l'origine possible des microfaunes a conduit à écarter l'hypothèse d'un réensemencement annuel du salin au moyen de Foraminifères venus de la mer lors de la mise en eau des étangs. Les populations de Foraminifères sont permanentes dans le salin, où elles supportent les variations de salinité et de température ; la limite supérieure de leur tolérance à l'hypersalinité se situe aux environs de 50 à 80 g/l (avec doute 150 g/l) NaCl.

— In the salt-works there are 2 foraminiferal associations : one of restricted aspect (Galabert), the other exhibiting distinct marine influences (Vaisseau/Vieux-Rhône). Both associations however are characterized by dwarfed, little ornamented and often deformed individuals, and both have low indices of diversity not exceeding 4, suggesting restricted environmental conditions.

Further, the microdistribution in the salt-works is heterogenous which seems to be linked to the sedimentary environment (sandy bottom, mud, algal mats, etc.).

— In the littoral area, where the index of diversity may go up to 8, there occur numerous foraminiferal species which are not found living in the restricted environments of the salt-works. Dead tests may be transported a) from the sea into the salt-works ; b) within the different areas of the Salin, or c) from the salt-works to the sea.

The hypothesis that the foraminiferal populations within the salt-works is being each year introduced from the sea by the pumping-in of sea water into the compartments of the Salin, has been rejected. In fact, the populations of the restricted environment of the Salin de Giraud are firmly established and of permanent nature. They are, naturally, subjected to large variations in temperature and salinity. The upper limit of their tolerance to salinity lies in the vicinity of 50 to 80 g/l (doubtfully up to 150 g/l) NaCl.

## ABSTRACT

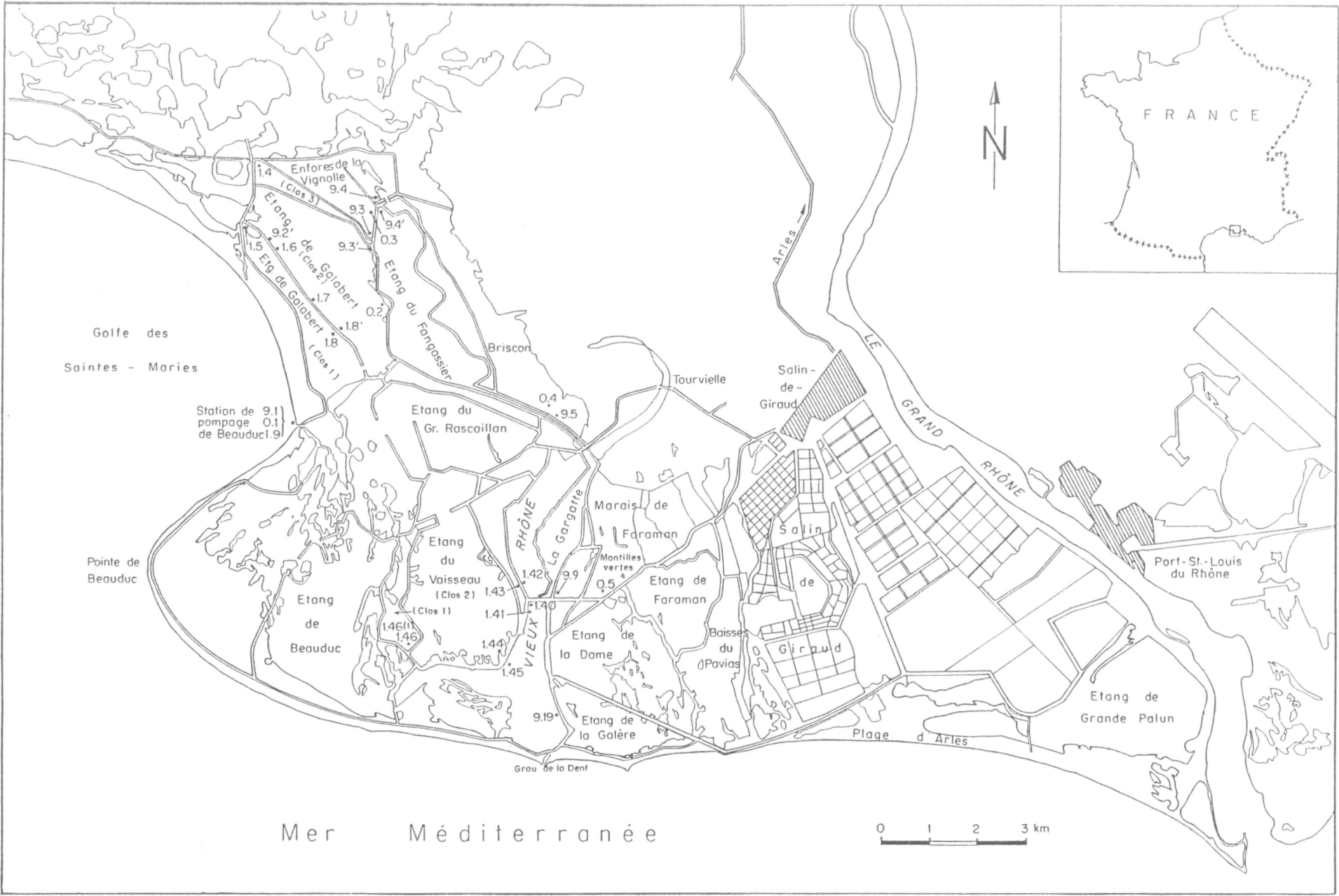
The comparison of the foraminifera of the salt-works of Salin de Giraud with those from the littoral of the Gulf of Beauduc has shown that the microfaunas from these environments differ in the following respects :

## I. INTRODUCTION

Les prélèvements pour l'étude des Foraminifères dans le Salin de Giraud ont été effectués au cours des campagnes de juin 1979 (échantillons 9.1, 9.2', 9.3, 9.3', 9.4, 9.4', 9.5, 9.9), d'octobre 1979 (échantillon 9.19), de juin 1980 [échantillons 0.1, 0.2, 0.3, 0.4, 0.5) et de février 1981 (échantillons 1.4, 1.5, 1.6, 1.7, 1.8, 1.8', 1.9, 1.40, 1.41, 1.42, 1.43, 1.44, 1.45, 1.46, 1.46 (1)) (Fig. 1, 2).

\* Manuscrit déposé juin 1981, révisé octobre 1982.

\*\* Laboratoire de Paléontologie, Université de Genève, 13, rue des Maraîchers, CH-1211 Genève 4.



Pour les campagnes de juin 1979 et juin 1980, l'échantillonnage a été entrepris dans l'ordre des salinités croissantes depuis la mer [station de pompage de Beauduc, localité 9.1/0.1/1.9, salinité 0,46 à 0,7 (Cl<sup>-</sup>) mole/l (27 à 40 g/l NaCl), Fig. 2], et poursuivi dans les saumures jusqu'à des concentrations de 2,5 (150 g/l NaCl) (juin 1979, point 9.9, La Gargatte) à 2,59 (Cl<sup>-</sup>) mole/l (150 g/l NaCl) (juin 1980, point 0.5, Montilles Vertes), afin de tester la tolérance des Foraminifères au paramètre le plus important du milieu étudié, la *salinité*, qui non seulement contrôle la distribution globale des microorganismes évoluant dans le salin, mais, comme le relève Lévy (1966, p. 1) "semble jouer un rôle prépondérant sur les phénomènes d'établissement et d'adaptation des espèces de Foraminifères en général".

Lors de l'échantillonnage de février 1981, les prélèvements ont été limités à quelques étangs à salinité inférieure à 1,5 (Cl<sup>-</sup>) mole/l (90 g/l NaCl), valeur au-delà de laquelle il n'a plus été observé de Foraminifères vivants (voir Fig. 2, avec l'exception de la localité 9.9 qui a livré de rares formes montrant une réaction positive au Rose de Bengale, colorant sélectif du cytoplasme). Ces conditions sont réalisées dans la partie occidentale du salin qui comprend, parmi les plus importants, les étangs de Galabert, du Fangassier, du Grand Rascaillan (non échantillonné), de Beauduc (non échantillonné), du Vaisseau et la partie méridionale du Vieux-Rhône (Fig. 1). Ces étendues hypersalines ont été échantillonnées en divers points afin d'apprécier le degré d'uniformité dans la distribution des Foraminifères pour chaque étang. On verra que si deux associations principales ont pu être mises en évidence, l'une intéressant le secteur N-occidental (association de type Galabert), l'autre la partie S-occidentale du salin (association de type Vaisseau/Vieux-Rhône), d'importantes variations dans les microfaunes sont observées à l'intérieur des différents bassins, qui apparaissent surtout liées aux conditions biologiques et sédimentologiques du substratum. Car en effet, si la salinité se trouve être le premier facteur contrôlant la répartition des Foraminifères dans l'ensemble du salin, il existe d'autres paramètres, subordonnés à la salinité, parmi lesquels la *support de vie* semble jouer un rôle déterminant dans la microdistribution ("patch-like distribution") des organismes. Nous rejoignons ici J. et Y. Le Calvez qui, en 1951 déjà, écrivaient (p. 245) : "Ce qui semble le plus influencer sur la vitalité des espèces et leur pouvoir de multiplication, c'est la nature du fond". Puis encore, p. 253, toujours à propos des foraminifères : "La nature du fond semble commander la pullulation tandis que les variations de salinités semblent agir sur la taille moyenne des tests".

## II. LES ECHANTILLONS

Ils sont essentiellement de 4 types, répondant pré-

cisément à la *nature du fond* :

- les *sables* plus ou moins grossiers (diamètre des grains de l'ordre du mm), récoltés en râclant à la pelle dans la tranche superficielle oxygénée du sédiment, qui contient les Foraminifères vivants ;
- les *vases sableuses*, plus fines que le sédiment précédent et enrichies en matière organique, qui ont également été prélevées à la surface du fond. La pelle, dans ce type de substrat très mou, est peu appropriée et l'échantillonnage se fait de préférence à la main à l'aide d'un récipient de verre pour ne pas entamer trop profondément les couches inférieures réductrices du sédiment ;
- les *algues* (*Enteromorpha*) et autres végétaux (*Ruppia*) implantés dans le sédiment, ou qui souvent, après s'être détachés de leur support, forment des accumulations en pelotes venant s'échouer sur la bordure sableuse des étangs. Ce support végétal est en général très riche en Foraminifères et en Ostracodes ;
- enfin le *tapis algair*, de 1/2 à 1 cm d'épaisseur, assez peu développé d'ailleurs dans les localités échantillonnées pour les Foraminifères, en particulier dans les étangs à substratum sableux dominant (Galabert).

Au moment même de la récolte des échantillons, sauf lors de la campagne de février 1981 en raison de la rigueur du climat à cette époque de l'année, les sédiments ont été tamisés, afin d'éliminer une grande partie du sable, puis traités au Rose de Bengale pour la détection ultérieure des Foraminifères vivants. Les tapis algaires ont été conservés entiers jusqu'à leur désagrégation en laboratoire ; ils ont été colorés préalablement, mais non fixés.

Après lavage et à nouveau tamisage des échantillons en laboratoire, le résidu contenant les Foraminifères et les autres microorganismes a subi une séparation au CCl<sub>4</sub> afin d'isoler le sable encore présent, de la fraction à étudier. Dans celle-ci s'observent de nombreux organismes ou des parties d'organismes : des Foraminifères et des Ostracodes, généralement abondants et montrant la même distribution en fonction de la salinité, des micromollusques (Gastéropodes marins et terrestres, Bivalves) souvent également très fréquents, des mâchoires de Polychètes, des coprolites (probablement de *Cardium*), des carapaces de Copépodes, des fragments d'Insectes, etc., de même que de nombreux débris végétaux d'origine aquatique ou terrestre. Notons parmi ces derniers de fréquentes graines de *Chara*.

Enfin, tous les échantillons prélevés durant les campagnes de juin 1979 et de juin 1980, y compris les échantillons marins, contiennent des œufs d'*Artemia*. Ces œufs sont rares et généralement vides en présence de Foraminifères et d'Ostracodes, ce qui signifie qu'ils se trouvent le plus souvent dans les étangs externes du salin et dans la mer, à l'état trans-



élargi et étendu au domaine du fossile, représentant dès lors une association d'organismes vivant ou ayant vécu dans un milieu donné.

La thanatocoenose possède elle aussi le double sens d'association fossile en général (= thanatocoenose s.s., s'opposant à l'association actuelle ou biocoenose s.s.), ou de faune allochtone déplacée à l'état vivant ou fossile, dans l'aire de sédimentation d'une faune autochtone, actuelle ou fossile. C'est le sens élargi de la définition de la thanatocoenose, parfois aussi nommée " thanatocoenose de transport ".

Afin de prévenir toute confusion dans l'interprétation des termes biocoenose et thanatocoenose, ceux-ci ont été respectivement remplacés dans notre étude par l'association totale (au sens de Murray, 1973) et par les faunes transportées (fig. 2).

Notons, pour ce qui concerne le domaine étudié, qu'il s'agit toujours de formes actuelles, en place ou transportées dans le salin. Dans la mer également, les Foraminifères sont des espèces existant actuellement, que l'on rencontre dans leur milieu de vie ou déplacées, et il n'a pas été observé de microfaunes fossiles, remaniées à partir d'associations pléistocènes par exemple, ou plus anciennes.

#### A. L'association totale

Sous cette appellation, on comprend donc l'ensemble des Foraminifères représentés dans chaque localité dans leur milieu de vie. L'association totale en conséquence n'inclut pas les faunes transportées, présentes dans la majorité des échantillons (Fig. 2), et s'oppose à celles-ci dans notre définition.

##### 1. L'association totale du salin

De manière globale, cette association, qui n'est composée que de Foraminifères benthiques, comprend (Fig. 2) :

- les Textulariina (Trochamminidae) :  
*Trochammina inflata* (Montagu)  
*Jadammina macrescens* (Brady) (Synonyme :  
*Jadammina polystoma* Bartenstein et Brand, 1938) ;
- les Rotaliina (Rotaliidae, " Nonionidae ", Elphidiidae et une famille indéterminée du sous-ordre des Rotaliina) :  
*Ammonia beccarii tepida* (Cushman)  
" Nonion depressulum " (Walker et Jacob)  
(peut-être *Protelphidium anglicum* Murray)  
" Nonion " sp.  
*Elphidium alvarezianum* (d'Orbigny)  
*Elphidium littorale* Le Calvez et Le Calvez ?  
*Elphidium waddense* Voortuysen  
*Elphidium camarguense* Kruit  
Rotaliina gen. et sp. indet.
- et une dizaine d'espèces de Miliolina (Miliolidae), avec :  
*Triloculina* ? sp. 1

*Triloculina* ? sp. 2  
*Triloculina* ? sp. 2  
*Pateoris haurinoides* (Rhumbler)  
*Quinqueloculina* sp.  
Miliolidae indet. (petites formes) (1)

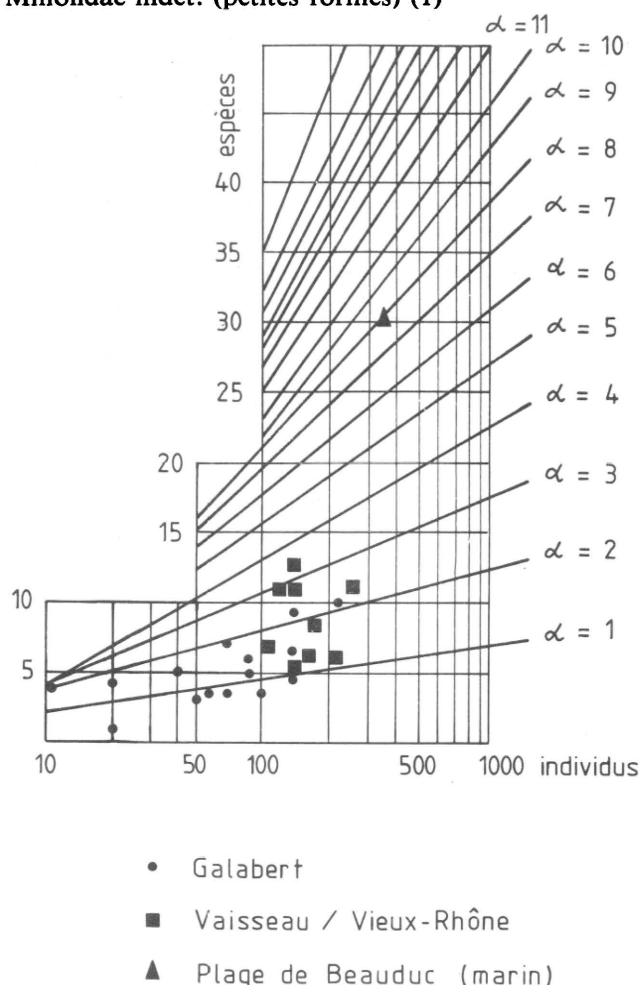


Fig. 3 : Index de diversité des Foraminifères dans le salin et dans la mer :

- pour l'association de Galabert, les valeurs de l'index de diversité sont  $1 < \alpha < 3$  ;  
- pour l'association du Vaisseau/Vieux-Rhône, ces valeurs s'élèvent à  $2 < \alpha < 4$ , sous l'effet d'influences marines plus marquées (voir texte) ;

- sur la plage de Beauduc l'index de diversité des Foraminifères atteint la valeur moyenne de 8 pour les 3 prélèvements dans cette localité.

Ces résultats sont comparables à ceux de Murray 1973, fig. 32.

Notons qu'à l'exemple de tous les systèmes marins confinés, les Foraminifères du salin de Giraud sont de petite taille, faiblement calcifiés et, chez les formes calcaires, peu ornés. Ces dernières présentent souvent des déformations de leur test (voir ci-dessous). En outre, le nombre des individus est généralement élevé, celui des espèces réduit, ce qui détermine des valeurs très basses de l'index de diversité des microfaunes (voir ci-dessous et Fig. 3).

(1) Une étude taxonomique détaillée des microfaunes n'ayant pas été entreprise, beaucoup d'espèces de Foraminifères sont citées en nomenclature ouverte et les identifications proposées sont pour la plupart tentatives. Cette remarque est aussi valable pour les microfaunes marines.

Mais de manière plus précise, l'association totale du salin peut être subdivisée en deux assemblages distincts, chacun correspondant au sous-environnement peuplé par ces microfaunes (Fig. 2, 4). Les deux associations en effet, qui apparaissent avec évidence sur notre Fig. 2, permettent de définir deux provinces microfauniques dans le domaine étudié, où elles dépendent non seulement de la nature du fond, mais d'influences marines franches, anciennes ou encore actuelles, à l'intérieur du salin, ou au contraire d'une plus grande protection à l'égard de la mer. Nous avons ainsi reconnu :

- l'association de type Galabert (circuit N du salin), observée dans l'étang de Galabert et que l'on retrouve, un peu affaiblie, à travers les Enfores de la Vignolle jusque dans l'étang du Fangassier (Fig. 1). C'est dans cette association que les Foraminifères sont apparus le moins diversifiés (Fig. 2, 3) ;
- l'association de type Vaisseau/Vieux-Rhône (circuits central et S du salin), qui s'apparente à la précédente dont elle diffère par des microfaunes plus riches, traduisant des influences marines plus marquées dues à une ancienne (encore actuelle ?) pénétration des eaux marines dans le salin, antérieure à la fermeture du Grau de la Dent (Fig. 1).

Ces deux associations n'ont en commun qu'un seul caractère, d'importance cependant en ce qu'il témoigne dans les régions concernées d'un isolement, limité ou total, du régime marin franc. Il s'agit de la présence permanente des espèces *Ammonia beccarii tepida* et "*Nonion depressulum*", qui, dans de nombreuses localités, parviennent à dominer toute l'association (Fig. 2). On peut donc considérer ces deux Foraminifères comme des éléments caractéristiques du milieu étudié, plus précisément dans l'intervalle du salin défini depuis la zone de séparation de la mer jusqu'à des salinités maximales de l'ordre de 2,5 (Cl<sup>-</sup>) mole/l (150 g/l NaCl), à La Gargatte par exemple (localité 9.9) où une concentration aussi élevée a été dosée en juin 1979 (Fig. 2).

En plus d'*Ammonia Beccarii tepida* et de "*Nonion depressulum*", la plupart des localités échantillonnées contiennent aussi un Miliolidae qui présente, avec de grandes variations, des irrégularités dans le mode d'enroulement et/ou dans la forme et la longueur des loges. Ce Foraminifère, plus fréquemment rencontré dans l'association de type Galabert que dans l'étang du Vaisseau ou le Vieux-Rhône, porte ici le nom de *Triloculina* ? sp. 1 (pl. 3, Fig. 9-11, 13, 14). Une forme voisine, *Triloculina* ? sp. 2 (pl. 3, Fig. 16) observée dans presque toutes les localités où *Triloculina* ? sp. 1 est présente, se caractérise par de plus petites dimensions que cette dernière, et par des irrégularités moins accusées des loges. Cette forme, provisoirement séparée ici, pourrait représenter le stade juvénile de *Triloculina* ? sp. 1.

Les associations de types Galabert et Vaisseau/Vieux

Rhône montrent l'une par rapport à l'autre, les similitudes et les différences suivantes :

- dans l'étang de Galabert
  - la prédominance générale des espèces calcaires *Ammonia beccarii tepida* et "*Nonion depressulum*" ;
  - la relative abondance de *Triloculina* ? sp. 1 et *Triloculina* ? sp. 2 ;
  - la rareté des Foraminifères agglutinés *Jadammina macrescens* et *Trochammina inflata*, cette dernière y étant même douteuse à l'état vivant ;
  - l'absence de quelques formes liées à l'association du Vaisseau/Vieux-Rhône : *Elphidium alvarezianum*, *Rotaliina* gen. et sp. indet., *Pateoris haurinoides*, *Quinqueloculina* sp., etc.
- dans l'étang du Vaisseau et le Vieux-Rhône
  - la prédominance générale des espèces *Ammonia beccarii tepida* et "*Nonion depressulum*" ;
  - la relative pauvreté de *Triloculina* ? sp. 1 et *Triloculina* ? sp. 2 ;
  - la prédominance des Foraminifères agglutinés *Jadammina macrescens* et *Trochammina inflata* ;
  - la présence occasionnelle d'*Elphidium alvarezianum*, de *Rotaliina* gen. et sp. indet. et de *Pateoris haurinoides*, ces Foraminifères pouvant apparaître en abondance dans certaines localités (par exemple échantillon 9.19, Vieux-Rhône S, voir Fig. 2).

En définitive, l'association typique de Galabert comprend les espèces suivantes, dans l'ordre décroissant de leur fréquence :

*Ammonia beccarii tepida*  
 "*Nonion depressulum*"  
*Triloculina* ?, sp. 1  
*Triloculina* ?, sp. 2  
*Jadammina macrescens*  
*Triloculina* ?, sp. 3  
 Miliolidae indet. (petites formes)  
*Elphidium waddense*  
 "*Nonion*" sp.  
*Elphidium camarguense*  
*Trochammina inflata* (vivante ?)

et l'association de type Vaisseau/Vieux-Rhône, dans le même ordre de fréquence décroissante, les espèces :

*Ammonia beccarii tepida*  
 "*Nonion depressulum*"  
*Triloculina* ?, sp. 1  
*Triloculina* ?, sp. 2  
*Trochammina inflata*  
*Jadammina macrescens*  
 "*Nonion*" sp.  
*Elphidium alvarezianum*  
*Rotaliina* gen. et sp. indet.  
*Pateoris haurinoides*  
*Triloculina* ?, sp. 3  
*Elphidium waddense*  
*Elphidium camarguense*

Miliolidae indet.  
*Quinqueloculina* sp.  
*Elphidium littorale* ?

De manière générale, ces microfaunes traduisent des influences marines plus nettes dans l'étang du Vaisseau et le Vieux-Rhône, avec une association plus diversifiée que dans l'étang de Galabert, celui-ci étant de caractère plus confiné à salinités égales. Le nombre des espèces est en effet plus réduit à Galabert où l'on observe dans la plupart des localités une dominance très nette d'*Ammonia beccarii tepida* et de "*Nonion depressulum*" (voir aussi Fig. 4 A), avec localement *Triloculina* ?, sp. 1, dans l'ensemble de l'étang.

La présence plus fréquente de Foraminifères agglutinés (*Trochammina inflata* et *Jadammina macrescens*) dans l'étang du Vaisseau et dans le Vieux-Rhône, avec normalement la prédominance de l'une des espèces sur l'autre, n'est pas considérée comme l'indicateur d'un confinement plus marqué de ces deux bassins. Pour des salinités estivales (on note des valeurs hivernales un peu plus élevées, voir Fig. 2) approximativement équivalentes de celles de Galabert, ces Foraminifères apparaissent plutôt les témoins d'une sédimentation moins sableuse à cet endroit du salin que dans l'étang de Galabert, et d'un développement plus important des fonds vaseux ou du substrat algairé en général (algues libres et localement tapis algairé, voir Fig. 4 B). La prédominance

de *Jadammina macrescens*, par exemple, apparaît nettement liée à la présence d'un tapis algairé (Fig. 4 C) sur un substratum très finement sableux. Le développement de *Trochammina inflata* se trouve lui favorisé dans les sous-environnements riches en algues libres sur des fonds vaseux ou très appauvris en sable. Ces observations seraient en outre confirmées par le fait que *Trochammina inflata* n'a pas été mise en évidence avec certitude à l'état vivant dans l'étang de Galabert où les conditions d'ensablement sont dominantes. A cet en droit en effet, les tests rares et le plus souvent vides appartenant à cette espèce semblent plutôt y avoir été transportés.

#### a) La microdistribution

Nous entendons exprimer par ce terme les variations observées dans la répartition des Foraminifères dans un périmètre limité, à l'intérieur d'une même étendue saline. La microdistribution est l'équivalent de la "patch-like distribution" de la littérature anglo-saxonne, aussi exprimée par J. et Y. Le Calvez (1951) par la pullulation des Foraminifères en relation avec la nature du fond.

On sait que la microdistribution des Foraminifères est un phénomène très répandu dans la nature, échappant dans le salin, comme dans d'autres systèmes confinés (lagons hypo et hypersalins, estuaires, mangroves, etc.), à des paramètres agissant à plus grande échelle, comme la salinité, ou, dans la mer, la

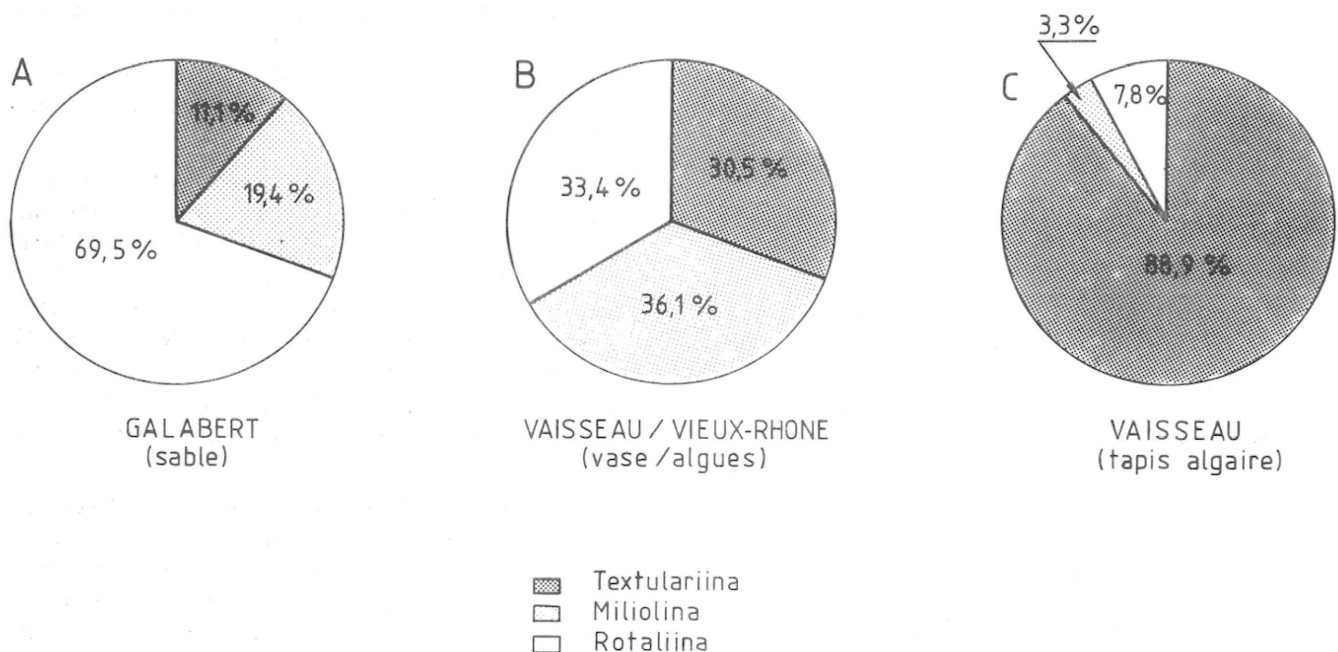


Fig. 4 : Diagramme circulaire montrant la fréquence relative des sous-ordres de Foraminifères dans le salin en fonction du support de vie : A, fond sableux, prédominance de Rotaliina ; B, fond sableux à vaseux, riche en algues, étang du Vaisseau ou Vieux-Rhône, égale distribution de Textulariina, Miliolina et Rotaliina ; C, situation au niveau d'un tapis algairé dans l'étang du Vaisseau, prédominance des Textulariina.

température, la profondeur, etc., pour se placer sous le contrôle de facteurs directement liés au microenvironnement et dont la nature est en effet peu connue.

L'un de ces facteurs néanmoins pourrait bien être le support de vie lui-même, avec les conditions physico-chimiques et biologiques qui lui sont propres (nature du sédiment, granulométrie, support végétal, facteurs chimiques du milieu, matière organique à disposition, production d'oxygène, etc.), tant il est vrai que l'on peut observer sur une distance de quelques mètres seulement une variation notable dans le pullulement des espèces ou dans la composition des associations, en fonction d'un fond sableux, d'un fond vaseux, ou selon le développement éventuel d'un substrat algaire et la nature de celui-ci (algues libres constituant un support flottant ou tapis algaire).

Ainsi par exemple, un échantillonnage approprié peut montrer des variations importantes non seulement dans la proportion des espèces de Foraminifères, mais aussi dans la composition de l'assemblage total, entre la microfaune récoltée dans un sédiment sableux et celle contenue dans un tapis algaire prélevé à proximité. Dans l'exemple précis du salin de Giraud, on remarque en effet que les Foraminifères calcaires (surtout les *Rotaliina*, plus rarement les *Miliolina*) sont en général bien représentés sur les substrats à dominante sableuse (Fig. 4 A), tandis que

les seules formes agglutinées observées dans le salin, *Trochammina inflata* et *Jadammina macrescens*, ne sont apparues en abondance que sur les substrats algaires. On comparera à ce propos l'association totale du prélèvement de sable 1.46 de l'étang du Vaisseau (clos 1, Fig. 2) où dominent les espèces du genre "*Nonion*" et *Ammonia beccarii tepida* avec l'assemblage d'un fragment de tapis algaire [1.46 (1), Fig. 2], prélevé à quelques mètres en bordure de ce même bassin, dans lequel la microfaune est constituée à près de 90 % par *Jadammina macrescens* (voir aussi Fig. 4 C et Fig. 5).

#### b) Fréquence et diversité des Foraminifères

La fréquence relative des différentes espèces de Foraminifères pour des prélèvements de poids équivalent (environ 1/2 kg de sable ou de vase imprégnée d'eau) peut montrer elle aussi, et indépendamment de la nature du fond, des variations à l'intérieur du salin ou dans un même étang.

Ces variations s'expriment essentiellement dans le nombre des individus représentant chaque espèce dans les résidus (volume du résidu 1/2 à 1 cm<sup>3</sup> pour environ 1/2 dm<sup>3</sup> de sédiment initial), tandis que la diversité des microfaunes qui concerne, elle, le nombre des espèces vivant dans le sédiment, reste pratiquement constante. Notre Fig. 3 montre en effet que l'index de diversité microfaunique dans le salin a des valeurs de l'ordre de  $1 > \alpha > 4$ , qui correspondent assez bien à celles que donne Murray (1968, Fig. 9 ; 1973, Fig. 28 et surtout Fig. 13) pour des milieux comparables (lagons et "marshes" hypersalins), avec toutefois un confinement encore plus marqué pour l'étang de Galabert que pour la région du Vaisseau / Vieux-Rhône.

La composition globale des associations montre aussi pour l'ensemble de l'échantillonnage, mais surtout dans l'étang de Galabert, une nette prédominance des *Rotaliina* et des *Miliolina* par rapport aux *Textulariina* (Fig. 4, 5). Cette observation est également en accord avec les données de Murray (1973, Fig. 29) pour les lagons hypersalins, ici encore avec une tendance assez marquée au maintien de conditions plus marines dans l'étang du Vaisseau et le Vieux-Rhône.

Il importe de relever à ce propos que la fréquence relative des trois groupes de Foraminifères représentés dans le salin pourrait varier à la faveur des *Textulariina* (points 1, 2, 3, Fig. 5 et Fig. 4C) dans un échantillonnage composé d'algues libres ou de tapis algaires, normalement et respectivement plus riches

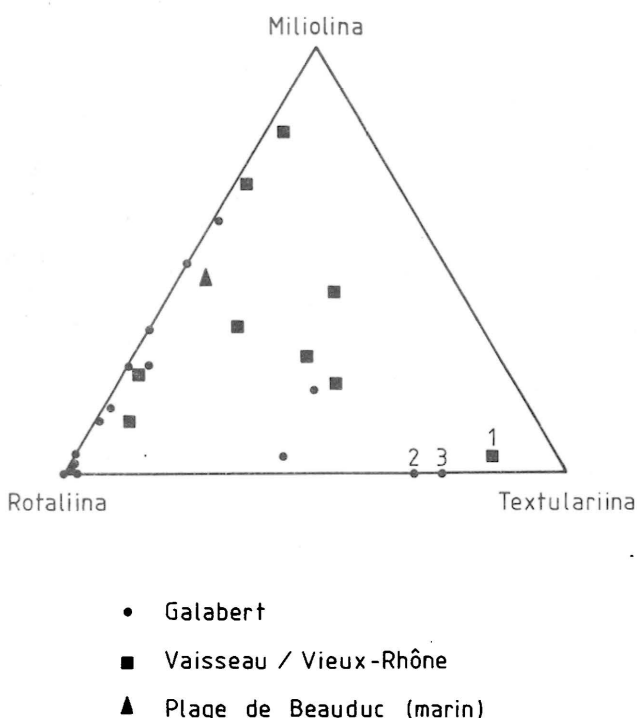


Fig. 5 : Diagramme triangulaire montrant la fréquence relative des Rotaliina, des Miliolina et des Textulariina dans le salin de Giraud et dans la mer.

On remarque que pour l'étang de Galabert, la plupart des points correspondent aux données de Murray (1973, fig. 29 et 33) pour les lagons hypersalins, tandis que pour l'étang du Vaisseau et le Vieux-Rhône un certain nombre de points s'écartent de la zone typiquement hypersaline, sans doute en raison de pénétrations marines agissant directement sur cette région du salin sous l'effet de vagues capables de franchir par gros temps la digue qui sépare la mer du Vieux-Rhône.

Les points 1, 2 et 3 correspondent à des prélèvements d'algues flottantes ou de tapis algaires, riches en *Textulariina* et dans lesquels les *Miliolina* sont peu représentés ou absents (voir Fig. 4 c)

en *Trochammina inflata* et *Jadammina macrescens*, par opposition à un échantillonnage de sable où prédominent les formes calcaires. Les diagrammes de fréquence relative des *Textulariina*, *Miliolina* et *Rotaliina* seront donc établis de préférence en tenant compte de la nature du support des Foraminifères : fond sableux, fond vaseux, tapis algair, etc. (Fig. 4).

### c) La déformation des Foraminifères

De manière assez constante dans les étangs du salin (Galabert ou Vaisseau/Vieux-Rhône), on observe des Foraminifères présentant des déformations de leur test qui, dans le milieu étudié, témoignent sans doute de l'hyersalinité ambiante. Ces déformations, qui affectent 1 à 10 % environ des individus d'une même espèce, allant de simples déviations de l'axe d'enroulement du Foraminifère (pl. 4, Fig. 17), jusqu'à la construction désordonnée de tests extrêmement complexes, formés de loges arrangées en une spire irrégulière, souvent (chez les *Rotaliina* seulement) avec adjonction de loges supplémentaires globuleuses et transparentes, se développant à n'importe quel endroit du test à la manière des bullae de certains Foraminifères planctoniques. A ce stade de complication, il n'est plus possible de retrouver la forme initiale du Foraminifère, celui-ci restant toutefois identifiable à la texture et à la couleur de son test et à la forme des loges primaires, lorsque celles-ci sont encore visibles.

De telles déformations, pour ce qui concerne les Foraminifères du salin de Giraud, ont été observées très fréquemment chez les formes calcaires *Ammonia beccarii tepida*, "*Nonion depressulum*", *Triloculina* ?, sp. 1, tandis que les formes agglutinées, en particulier *Trochammina inflata*, sont peu affectées par ces phénomènes.

On connaît dans la littérature de nombreux exemples de déformations de tests de Foraminifères, le plus généralement liées à des anomalies de la salinité. On peut citer *Trochammina inflata* (Le Campion, 1968), *Elphidium incertum*, *Textularia earlandi*, etc. (Closs et Madeira, 1968), et même des formes fossiles, par exemple *Nonion demens* du Miocène moyen d'Allemagne (Bik, 1964).

## 2. L'association totale de la mer

Des prélèvements pour l'étude des Foraminifères marins, et en vue de comparaisons avec les microfauces du salin, ont été effectués en juin et octobre 1979, en juin 1980 et en février 1981 dans les sables littoraux de la plage de Beauduc, entre 0 et 100 m environ au N de la station de pompage du salin (Fig. 1).

Les échantillons, récoltés comme pour le salin à la surface du sédiment, ont été tamisés sur place (sauf pour la campagne hivernale) et traités au Rose de Bengale.

Peu de différences dans ces divers échantillonna-

ges sont apparues pour ce qui concerne l'association totale des Foraminifères (Fig. 2), mais des variations saisonnières plus importantes ont été relevées dans la composition des microfauces transportées sur la plage de Beauduc depuis la plate-forme continentale externe ou depuis la mer ouverte. Nous y reviendrons ci-dessous.

L'association totale des Foraminifères des sables côtiers de Beauduc comprend, sous réserve d'une étude taxonomique détaillée, les espèces figurant dans la liste ci-dessous, qui appartiennent également toutes à des Foraminifères benthiques. Ce sont toutefois des espèces différentes de celles du salin, à l'exception peut-être de "*Nonion*" sp. aff. "*N. depressulum*" et d'*Elphidium* sp. aff. *E. waddense* (voir ci-dessous). De manière très générale, les Foraminifères de la mer se caractérisent par leur taille plus grande, des tests plus solidement calcifiés et par une ornementation plus massive. Dans la mer encore, pour un même nombre d'individus, celui des espèces est beaucoup plus important que dans le salin et l'index de diversité des Foraminifères atteint la valeur de 8 (Fig. 3). Les espèces reconnues sont :

- Textularia sagittula* DeFrance in Blainville
- Textularia truncata* Höglund
- Triloculina trigonula* (Lamarck)
- Triloculina inflata* d'Orbigny
- Triloculina* sp.
- Triloculina* ? sp. 4
- Quinqueloculina aspera/rugosa* d'Orbigny et d'Orbigny, respectivement
- Quinqueloculina intricata* Terquem (vivante ?)
- Quinqueloculina longirostra* d'Orbigny
- Quinqueloculina cliarensis* Heron-Allen et Earland
- Quinqueloculina lata/oblonga* Terquem et (Montagu), respectivement
- Quinqueloculina* sp. aff. *Q. seminula* (Linne)
- Massilina secans* (d'Orbigny)
- Pyrgo williamsoni* (Silvestri)
- Miliolidae indet. (petites et grandes formes)
- Ammonia batava* (Hofker)
- Ammonia beccarii* (Linne)
- Buccella* ? *faramanensis* (Kruit)
- Bulimina elongata* d'Orbigny
- Rosalina globularis* d'Orbigny
- Discorbis mira* Cushman
- "*Nonion*" sp. aff. "*N. depressulum*" (Walker et Jacob)
- Nonion asterizans* (Fichtel et Moll)
- Elphidium crispum* (Linne)
- Elphidium* sp. aff. *E. waddense* Voorthuysen
- Elphidium groenlandicum* Cushman, etc.

Tous ces Foraminifères, avec un doute pour *Quinqueloculina intricata*, ont été observés à l'état vivant dans les sables littoraux de la plage de Beauduc. Les tests sont en effet bien conservés, blancs et brillants pour les Miliolidae, ne montrant aucune trace de transport (érosion des tests), d'encroûtement ou de

dissolution. La plupart des individus par ailleurs ont été vivement colorés par le Rose de Bengale. On verra ci-dessous que tous ces Foraminifères sont restreints au domaine marin et ne vivent pas à l'intérieur du salin (voir ci-après le problème de "*Nonion depressulum*" et d'*Elphidium waddense*). S'il peut leur arriver de pénétrer dans les saumures lors du pompage des eaux marines, ce ne peut être qu'à l'état d'organismes encore vivants destinés à une mort rapide dans le salin (voir ci-dessous "Les Foraminifères transportés"). En outre, le très petit nombre de formes marines rencontrées dans le salin et l'état de conservation des tests examinés (traces d'usures en particulier, pl. 2, Fig. 21), montrent en effet que ces Foraminifères sont incapables d'adaptations directes aux nouvelles conditions et qu'ils ne se reproduisent pas dans le salin.

## B. Les Foraminifères transportés

Des Foraminifères, de même que des valves, souvent isolées, d'Ostracodes transportés ont été observés dans la majorité des localités, dans la mer comme dans le salin, sur le circuit N jusqu'au niveau des Enfores de la Vignolle (Fig. 1 et 2).

Les transports se font :

- dans la mer, depuis les zones externes de la plate-forme continentale en direction de la côte (sans doute aussi en sens inverse, mais ce transport ne peut pas être apprécié par notre étude), et depuis d'autres régions côtières situées latéralement par rapport au Golfe de Beauduc ;
- depuis la mer dans la direction du salin ;
- à l'intérieur du salin ;
- depuis le salin vers la mer (transport limité).

### 1. Le transport dans la mer

Bien qu'il soit hors de notre propos de traiter ici du transport marin, il n'est pas inutile de mentionner son existence pour ce qui concerne la plage de Beauduc et de souligner l'incidence de ce transport, avec des variations saisonnières, sur la composition de toute la microfaune récoltée dans cette localité.

Les Foraminifères transportés sur le lieu de prélèvement sont détectés aux caractères suivants :

- les tests sont le plus souvent isolés, ou représentés par 2 à 3 individus au maximum par espèce pour 100 à plusieurs centaines de Foraminifères comptés ;
- les tests sont vides, non colorés par le Rose de Bengale, et montrent des traces d'usure superficielle (pl. 2, Fig. 21), des remplissages secondaires des loges ou des encroûtements. Les tests ont en outre perdu l'éclat des formes vivantes et sont le plus souvent cassés ;
- enfin, les formes correspondantes vivantes ne sont

jamais observées dans l'association.

Appartenant à cette microfaune déplacée, on peut reconnaître sur la plage de Beauduc :

*Cibicides lobatulus* (Walker et Jacob)

*Planorbulina mediterraneensis* d'Orbigny

transportés dans l'aire de prélèvement depuis des herbiers ou des fonds vaseux avoisinants,

*Nonionina boueana* d'Orbigny

*Uvigerina peregrina* Cushman

arrivées depuis les zones externes de la plate-forme, et également deux formes planctoniques,

*Globigerina bulloides* d'Orbigny

*Orbulina universa* d'Orbigny,

tous ces Foraminifères étant représentés par 1 à 2 individus seulement (4 pour *Cibicides*).

Notons que *Globigerina bulloides*, *Orbulina universa* et *Uvigerina peregrina* n'ont été récoltées dans les sables de Beauduc que lors de la campagne de février 1981 (échantillon 1.9, Fig. 2), où ont été observés à cette époque de l'année des apports importants de matériel venu du large, notamment de très abondantes coquilles vides de *Pinna* sp., de nombreux autres Bivalves, des coquilles de Gastéropodes (*Turritella*, *Aporrhais*, etc.), des Crustacés (*Scyllarus*, etc.), échoués sur le rivage marin à la suite des violentes tempêtes de l'hiver.

### 2. Le transport de la mer vers le salin

En raison de la plus grande abondance de Foraminifères vivants sur la plage de Beauduc par rapport aux Foraminifères transportés à ce même endroit, ce sont les premiers, à quelques exceptions près, que l'on retrouvera à l'état transporté dans le salin. Notre Fig. 2 montre que le transport des Foraminifères venus de la mer ne se poursuit pas très profondément vers l'intérieur du salin et que sur le circuit N, il n'a été observé que jusqu'aux Enfores de la Vignolle.

Il est impossible cependant de préciser si les Foraminifères marins sont entrés dans le salin à l'état vivant ou si seuls des tests vides ont pu se trouver entraînés par le courant lors du pompage des eaux. Ce que nos observations permettent néanmoins d'affirmer, c'est que des Foraminifères marins vivants n'ont pas été rencontrés dans le salin (réaction négative au Rose de Bengale), témoignant ainsi de leur caractère strictement sténohalins. Ces Foraminifères n'ont donc aucune chance de survie et de reproduction dans les conditions particulières du salin, et meurent probablement déjà au contact de concentrations de chlorures de l'ordre de celles de l'étang de Galabert par exemple [environ 0,8 (Cl<sup>-</sup>) mole/l (50 g/l), fig. 2].

Les formes transportées dans le salin sont elles aussi toujours représentées en très petit nombre (1 à 2 individus pour quelques centaines de Foraminifères), et appartiennent aux espèces les plus fréquentes dans

la mer voisine, avec peu de différences dans la composition des associations transportées le long du circuit N ou sur les circuits central et S (Fig. 2). Les espèces reconnues sont :

*Elphidium crispum*  
*Nonion asterizans*  
*Ammonia beccarii*  
*Quinqueloculina aspera/rugosa*  
*Quinqueloculina lata/oblonga*  
 Miliolidae indet.  
*Elphidium groenlandicum*  
*Bulimina elongata* (1 individu dans la localité 1.8')  
*Lenticulina* sp.,

cette dernière n'ayant pourtant pas été observée dans la mer, et deux Foraminifères planctoniques

*Turborotalia incompta* (Cifelli)  
*Orbulina universa*.

Ces dernières formes, rencontrées dans l'échantillon 1.45 ont sans doute été transportées par des vagues capables de franchir par gros temps la digue qui sépare la mer du Vieux-Rhône. Il est vrai que des Foraminifères planctoniques n'ont été récoltés à l'intérieur du salin que lors de la campagne de février 1981, assurément entraînés vers la côte au cours des tempêtes hivernales.

### 3. Le transport à l'intérieur du salin

Les résultats très partiels qui sont présentés n'intéressent que le circuit N du salin, l'étude n'ayant pas été poursuivie pour les circuits central et S.

Les difficultés d'appréciation du transport à l'intérieur du salin proviennent d'une part du fait que les distances sur lesquelles ce transport peut s'effectuer sont limitées, d'autre part de l'assemblage lui-même des Foraminifères qui comprend toujours des formes vivantes et des formes mortes, toutes étant observées dans tous les bassins où ces organismes sont présents. Ainsi, des traces d'érosion sur un test ne signifient pas nécessairement les effets d'un long transport ; car l'usure d'un test se produit aussi par simple roulement dans le sédiment qui a constitué le milieu de vie des Foraminifères.

Des conditions par ailleurs toutes particulières sont observées dans le salin, qui sont créées en hiver par la redistribution artificielle, sur l'ensemble des étangs, des saumures accumulées au cours de l'été précédent ou des eaux de lavage des tables salantes. Cette redistribution produit un courant inverse du courant normal dans le salin, qui sans doute joue un rôle dans le transport à l'intérieur même du salin, mais qui pourrait aussi être à l'origine d'un déplacement de faunes depuis les étangs les plus externes, jusque vers la mer (voir ci-dessous).

Pour toutes ces raisons, le transport à l'intérieur du salin ne peut réellement être apprécié, bien qu'il soit difficile de ne pas concevoir son existence à tous les niveaux, qu'au-delà de salinités de l'ordre de 2,5 à

3 (Cl<sup>-</sup>) mole/l (150 à 175 g/l NaCl), où les Foraminifères vivants ne sont plus représentés. Les tests occasionnellement rencontrés dans les bassins à concentration aussi élevée ne peuvent donc s'y trouver accumulés qu'à l'état transporté.

### 4. Le transport du salin vers la mer

Il s'agit du transport sans doute le plus limité du milieu étudié et, de ce fait, le plus difficile à saisir, à moins qu'il ne soit directement lié à la redistribution hivernale des saumures dans le salin.

Pourtant, on peut aisément démontrer l'arrivée de microfaunes confinées, qui atteignent la mer à l'état transporté. Dans les sables littoraux de Beauduc par exemple, il n'est pas rare de rencontrer des tests appartenant à des espèces du salin : *Elphidium alvarezianum*, *Elphidium camarguense* et d'autres Foraminifères, ou même des œufs d'*Artemia*, toujours vides de leur contenu. On ne saurait toutefois affirmer que ces organismes proviennent précisément du salin de Giraud, étant donné que le rivage de la Camargue est en effet doublé d'un cordon d'étangs intérieurs en communication avec la mer, qui contiennent les mêmes microfaunes que celles du domaine étudié (Kruit, 1955 b). Ces étangs à salinité variable ont d'ailleurs une extension beaucoup plus large de part et d'autre du littoral camarguais et on les retrouve pratiquement sans discontinuer des Pyrénées orientales au Massif des Maures (Le Calvez et Le Calvez, 1951 ; Lévy, 1966). C'est dire que le transport des Foraminifères depuis ces étendues salines subcontinentales vers la mer fait appel à un mécanisme plus complexe que le simple passage du salin à la mer, mécanisme qui résulte à la fois de la configuration même de la côte méditerranéenne dans la région étudiée et au-delà de celle-ci, et de l'interférence des courants marins côtiers qui assurent un transport important d'E en W, avec une dominante du SE (Kruit, 1955 b), tout le long du littoral.

### C. L'origine des microfaunes

Une réflexion sur l'origine des microfaunes étudiées nécessite tout d'abord une analyse comparative des Foraminifères de la mer et du salin.

A l'origine du peuplement du salin, comme d'ailleurs à l'origine du peuplement de tout système marin confiné, il semble bien y avoir la mer. A ce propos, J. et Y. Le Calvez (1951, p. 238) remarquent : " La faune de Foraminifères qui se développe dans de tels milieux est en général constituée par des espèces de mer libre mais euryhalines, calcaires ou arénacées et à grand pouvoir adaptatif. La taille des animaux est souvent réduite, leur test est mince et, chez les formes calcaires, transparent et peu orné. Le peuplement de ces eaux saumâtres s'explique aisément puisqu'il y a toujours une relation permanente ou temporaire entre elles et les eaux marines ".

En effet, à l'origine du peuplement envisagé, il est logique de placer des microfaunes marines, venues

peu à peu envahir les systèmes confinés côtiers à salinité variable. De même, à l'origine des adaptations, il est aussi bien fondé de penser que des formes euryhalines seules ont été capables d'accepter les contraintes des conditions nouvelles offertes aux Foraminifères dans les étangs hypo et hypersalins du littoral méditerranéen. Mais, dans le mécanisme du peuplement et de l'adaptation des espèces marines euryhalines à des conditions anormales de salinité, il semble ne pas être répondu à deux questions. La première consiste à s'interroger sur l'époque au cours de laquelle les peuplements de ces divers bassins seraient intervenus. Ensuite, pour le cas où les peuplements et les adaptations ne se seraient pas effectués en une fois et de manière irréversible pour chaque système, on peut se demander si ces phénomènes se poursuivent sous nos yeux, dans les conditions naturelles par le biais " d'une relation permanente ou temporaire " entre l'eau des étangs et les eaux marines, et dans le salin, sous l'effet des variations brusques de salinités artificiellement entretenues tous les hivers lors de la redistribution des saumures. Ce qui reviendrait à conclure, dans les deux cas, à un renouvellement permanent des microfaunes dans les lagons confinés, et, dans les conditions particulières du salin, à un renouvellement complet, selon un rythme annuel.

Il n'est guère aisé de donner des réponses à toutes ces interrogations, en particulier au problème de l'irréversibilité de l'adaptation, c'est-à-dire du non-retour des espèces confinées à la mer, sans savoir si ces dernières ont été efficacement isolées pour avoir adopté déjà une orientation sur la voie de la spéciation. Par ailleurs, beaucoup de formes confinées observées dans les étangs n'existent pas dans la mer et ne sauraient donc avoir directement cette origine.

Aussi notre effort vers la résolution du problème sera plus modeste et limité à une tentative d'exclure de notre interprétation certaines invraisemblances sur la base de données ou d'observations qui sont les suivantes :

- l'analyse comparative de la faune actuelle de la mer et d'un système confiné, dans le cas particulier le salin de Giraud ;
- les données de la littérature concernant les relations entre les Foraminifères des systèmes marins confinés et de la mer libre, par comparaison avec la situation dans le salin ;
- l'évolution des microfaunes en fonction des variations saisonnières artificielles des salinités dans le salin de Giraud.

#### 1. La faune actuelle de la mer et du salin

Nos planches 1, 2 (Foraminifères de la mer) et 3, 4 (Foraminifères du salin) suffisent à démontrer la non-identité des microfaunes marines et de celles observées dans le salin de Giraud.

On peut remarquer tout d'abord que les Foraminifères du salin ne sont pas représentés par des

espèces endémiques de ce milieu particulier entretenu artificiellement, mais qu'ils constituent la microfaune autochtone des étangs à salinité inférieure à 2,5 ( $\text{Cl}^-$ ) mole/l (150 g/l NaCl), que l'on retrouve dans les lagons mixohalins naturels du littoral méditerranéen ou même dans d'autres régions, avec des variations locales.

Il est donc inexact de penser que les Foraminifères du salin appartiennent à des espèces marines pénétrant lors du pompage annuel des eaux et qui se développeraient, le temps d'une saison, dans les conditions particulières du salin pour disparaître à nouveau lors de la redistribution hivernale des saumures. Si un réensemencement complet des étangs étudiés existe réellement à chaque printemps, ce qui est peu probable en raison de la tolérance des Foraminifères du salin à des salinités élevées, il importe d'insister sur le fait que ce repeuplement ne peut se faire aux dépens des microfaunes marines.

Car en effet, entre les Foraminifères des sables côtiers de Beauduc et ceux du salin, on observe des différences trop importantes. Par exemple :

- *Trochammina inflata* et *Jadammina macrescens*, deux espèces cosmopolites des environnements marins confinés, n'existent pas dans la mer ;
- les représentants du genre *Elphidium* dans le salin et dans la mer, appartiennent à des espèces différentes (pl. 1, 4 et voir remarque ci-dessous concernant *Elphidium waddense*) ;
- les familles des Textulariidae, des Discorbidae, des Buliminidae, des Cibicidae et peut-être des Nonionidae (voir ci-dessous), ainsi que les genres *Buccella* ?, *Pyrgo*, *Massilina*, etc., si caractéristiques de l'association marine, n'ont pas de représentants dans le salin ;
- enfin les formes calcaires (*Rotaliina* et *Miliolina*) adaptées au milieu particulier des étangs subcontinentaux présentent les particularités des microfaunes confinées, avec des tests de petite taille, minces, transparents, dépourvus d'ornementation. Ils sont aussi souvent déformés.

Des différences aussi marquées dans la composition de l'association totale de la mer et du salin donnent à penser que l'adaptation directe de formes marines euryhalines aux conditions du salin ne sauraient se faire en l'espace d'une saison et que d'autres formes, adaptées aux variations de salinité du milieu, ne retournent jamais à la mer. Ce serait le cas par exemple de *Trochammina inflata*, de *Jadammina macrescens*, de quelques représentants du genre *Elphidium* et sans doute aussi de certains Miliolidae que l'on ne rencontre pas dans des conditions marines franches. Il reste toutefois à démontrer que quelques formes, parmi les *Rotaliina* seulement : *Ammonia beccarii tepida*, *Elphidium waddense*, "*Nonion depressulum* ", sont capables de passer du salin à la mer et inversement sans être autrement affectés par le

changement des conditions qu'en subissant les modifications phénotypiques habituelles, liées au confinement du salin : diminution de la taille, disparition de l'ornementation, faible calcification des tests, etc.

A ce sujet, Kruit (1955 b, p. 113) remarque qu'il n'a pas été possible d'établir si "*Nonion depressulum*" vit dans la mer ou s'il s'y trouve à l'état transporté. Nos observations tendraient à montrer que l'espèce, rencontrée en très grand nombre et avec des tests bien conservés dans les sables de Beauduc, vit effectivement dans cette localité. Mais s'agit-il réellement de la même espèce que celle du salin, dont elle ne se distingue pas extérieurement ? La même remarque peut être faite à propos d'*Elphidium waddense*, dont on ne saurait reconnaître des différences majeures dans les tests prélevés dans le salin ou dans les sables de Beauduc.

Enfin, *Ammonia beccarii* est bien connue pour ses limites très larges de variabilité. Solidement calcifiée et fortement ornementée dans la mer, l'espèce est transparente dans le salin, dépourvue d'ornementation et son test, plus petit, présente une périphérie délicatement galbée (pl. 4, Fig. 5, 6). Mais ici encore, s'agit-il des mêmes organismes, capables d'adaptations rapides dans le salin ou dans la mer, à l'occasion d'un transport dans un milieu ou dans l'autre ?

## 2. L'évolution des microfaunes en fonction des variations saisonnières artificielles des salinités dans le salin de Giraud

Le salin, on le sait, diffère d'un système confiné naturel en ce que les étangs qui le composent sont coupés de leur communication naturelle avec la mer pour favoriser l'évaporation. De plus, les saumures accumulées au cours d'un été et n'ayant pas abouti à la précipitation de sel, sont conservées dans certains partènements et redistribuées au printemps suivant sur l'ensemble du salin.

Ces conditions très particulières entraînent une alternance régulière et saisonnière de variations progressives (en été) et brusques (en hiver) de la salinité, dont les effets sont loin d'être négligeables sur les faunes établies dans les étangs du salin, en particulier dans les étangs les plus externes. Il en est bien ainsi sans doute pour la macrofaune du salin, qui se présentait en février 1981 sous la forme d'une véritable hécatombe de *Cardium*, d'*Hydrobia* et de crabes divers, accumulés par milliers sur les rives de l'étang du Vaisseau ou le long du Vieux-Rhône.

L'interprétation qui est donnée de cette disparition annuelle massive de la faune du salin est la suivante : les organismes, en provenance de la mer, pénètrent dans le salin à l'état larvaire lors du pompage des eaux au printemps de chaque année ; ils poursuivent leur développement dans les étangs externes du salin où les conditions sont les plus proches de celles de la mer, ceci durant tout l'été et jusqu'à l'automne de la même année, au moment où

s'amorce le déclin des faunes sous l'effet de l'élévation brutale de la salinité lors de la redistribution des saumures ou de la mise à sec de certains bassins. Il en résulte que l'ensemble de la macrofaune du salin (Mollusques, Crustacés Décapodes, Annélides Polychètes), avec peut-être quelques exceptions dans des endroits protégés, ne dépasseraient jamais l'âge de 6 mois.

En est-il de même des Foraminifères ?

On a vu que le peuplement du salin en Foraminifères ne peut être envisagé à partir de la mer, pour la simple raison que les Foraminifères de la mer sont différents de ceux du salin (pl. 1, 2 et 3, 4), et qu'ils sont uniquement représentés par des espèces benthoniques, incapables d'être entraînées par le courant du pompage des eaux, comme cela est possible pour les larves planctoniques de la macrofaune d'Invertébrés. Si la microfaune de tout le salin devait se trouver elle aussi renouvelée de manière complète à chaque printemps, il faudrait concevoir au moins pour les Foraminifères, un mécanisme différent de celui de la voie directe à partir de la mer. De quel mécanisme pourrait-il bien s'agir ?

Beaucoup d'auteurs se sont interrogés sur le mode d'établissement des microfaunes dans les eaux subcontinentales ou même dans les eaux continentales. Peu de réponses se sont avérées réellement satisfaisantes, si ce n'est l'hypothèse avancée depuis Darwin et sans cesse reprise, d'un transport par les oiseaux. Pour ce qui concerne les Foraminifères, on conçoit assez bien que ces microorganismes pourraient se trouver accrochés aux pattes boueuses des échassiers, ceux-ci, au cours de leurs migrations, mettant en communication des étangs isolés, favorisant ainsi le peuplement des étendues marines confinées.

Certes l'avifaune ne manque pas dans les étangs externes du salin de Giraud et il est probable que les oiseaux contribuent aussi à l'enrichissement du salin en Foraminifères, introduits à partir des étangs avoisinants, ou de localités plus lointaines. Si ce mécanisme toutefois se trouvait être le seul en jeu pour assurer l'établissement des Foraminifères dans le salin de Giraud, le repeuplement total des étangs deviendrait alors difficilement concevable en l'espace d'une seule saison. Car en effet, si des millions de larves de *Cardium* par exemple entrent dans le salin à chaque printemps à travers les pompes de Beauduc, il est difficile de concevoir un apport aussi important de Foraminifères au moyen du seul transport par les oiseaux. Puis encore, comment expliquerait-on la présence de deux associations distinctes de Foraminifères dans le salin (Galabert et Vaisseau/Vieux-Rhône), dont l'implantation doit être obligatoirement plus longue qu'une saison, les oiseaux ne pouvant en aucun cas devenir les agents sélecteurs d'espèces dont le développement se trouverait favorisé sur les circuits central et S, plutôt que sur le circuit N du salin, ou inversement. Admettre par ailleurs que

l'ensemencement des Foraminifères par les oiseaux serait uniforme au printemps dans tout le salin et que la différenciation des associations observées se ferait au cours de la même année, consécutivement à l'élimination de certaines espèces ou au contraire à leur développement intensif en fonction des conditions du milieu, nous semble pousser un peu loin la spéculation.

En fait, il nous apparaît plutôt que les Foraminifères du salin, à l'exemple de ces mêmes organismes dans les conditions naturelles de milieux comparables, sont parfaitement capables de supporter des écarts importants de la salinité ambiante. En effet, la tolérance des Foraminifères lagunaires aux concentrations élevées de chlorures, ou à des variations saisonnières importantes de la salinité, a été souvent observée dans des conditions naturelles.

Pour ne retenir que des exemples choisis à proximité du domaine étudié, on peut citer les salinités qui ont atteint 70 g/l NaCl dans l'étang de Canet (J. et Y. Le Calvez, 1951) et 132 g/l dans l'étang de la Roque (Kruit, 1955b, p. 10) au cours du même été 1950.

Dans d'autres régions également, on connaît des conditions d'hypersalinité qui ne semblent pas affecter le développement des Foraminifères. Citons la Laguna Madre, au Texas, dans laquelle Murray (1968, p. 445) note des salinités maximales de 80 g/l NaCl.

Si l'on compare ces hypersalinités relevées dans la littérature avec les concentrations hivernales consécutives à la redistribution des saumures dans le salin de Giraud, on constate que les valeurs sont concordantes (avec toutefois des concentrations plus élevées en hiver qu'en été dans le salin de Giraud et une situation inversée dans les conditions naturelles, avec des salinités plus élevées pendant les grosses chaleurs des étés secs), et rien ne devrait s'opposer à la survie et au développement des Foraminifères dans les conditions enregistrées dans le salin.

Dans l'étang de Galabert, par exemple, des salinités de l'ordre de 50 (été 1979) à 80 (hiver 1981) g/l NaCl ont été mesurées, qui ne sont pas en contradiction avec les valeurs citées en référence, qui sont celles de conditions naturelles.

Dans l'étang du Fangassier, une seule mesure a été effectuée, qui a montré une salinité de l'ordre de 60 g/l en été 1979. Des Foraminifères vivent pourtant dans cette localité.

Enfin dans l'étang de La Gargatte, la salinité en été 1979 était d'environ 150 g/l, mais l'état vivant des Foraminifères dans des concentrations aussi élevées reste douteux.

On peut néanmoins conclure de ces observations que la limite de la tolérance des Foraminifères à l'hypersalinité se situe dans le salin de Giraud entre 60 et 90 g/l NaCl (peut-être jusqu'à 150 g/l) en notant que l'augmentation de la salinité influe peu sur

l'aspect qualitatif de l'association totale des Foraminifères (Fig. 2), mais qu'elle agit davantage sur le volume des associations respectives. Les variations qualitatives des associations sont, elles, plutôt liées à des phénomènes de microdistribution des Foraminifères qu'à une élévation progressive, ou même brusque, de la salinité.

#### IV. REMARQUES TAXONOMIQUES

(avec la collaboration de Paul Brönnimann)

Une étude taxonomique plus détaillée étant en cours, il ne sera discuté ici que de quelques points particuliers soulevés lors de cette étude préliminaire.

*Textulariina* Delage et Hérouard, 1896

Lituolacea de Blainville, 1825

Trochamminidae Schwager, 1877

*Jadammina* Bartenstein et Brand, 1938

*Jadammina macrescens* (Brady, 1870).

pl. 3, Fig. 1-5

1870. *Trochammina inflata* (Montagu) var. *macrescens* Brady, pl. 2, Fig. 5 a-c.

1938. *Jadammina polystoma* Bartenstein et Brand, p. 382, Fig. 1, 2 ; p. 384, Fig. 3.

Conformément à la remarque de Murray (1971, p. 41) et après avoir réexaminé le matériel-type de *Trochammina inflata* var. *macrescens* Brady, 1870, au British Museum (Nat. Hist.), Londres, nous pouvons également conclure à l'identité de cette forme avec l'espèce de l'Allemagne du N, *Jadammina polystoma* Bartenstein et Brand, 1938.

Un lectotype de *Jadammina macrescens* (Brady) sera prochainement désigné par P. Brönnimann et J.E. Whittaker.

*Rotaliina* Delage et Hérouard, 1896

Rotaliacea Ehrenberg, 1939

Elphidiidae Galloway, 1933

*Elphidium littorale* Le Calvez et Le Calvez, 1951 ? (non illustré).

1951. *Elphidium littorale* Le Calvez et Le Calvez, Fig. 5a, b.

Nous avons retenu cette espèce, toutefois assortie d'un doute, pour l'association du Vaisseau/Vieux-Rhône, bien que Madame Y. Le Calvez elle-même (*vide* Lévy, 1966, p. 4) ait déjà considéré *E. littorale* comme un synonyme d'*Elphidium gunteri* Cole, 1931, après examen de topotypes de cette dernière espèce.

*Elphidium littorale* ?, qui apparaît rarement dans les associations du salin, se distingue nettement d'*Elphidium camarguense* Kruit et d'*Elphidium waddense* Voorthuysen, par ses sutures bien marquées, portant des ponts suturaires réguliers, qui descendent près des ombilics ; ceux-ci couvrent une surface réduite et sont granuleux.

En Camargue, cette forme n'a pas été observée dans la mer ; J. et Y. Le Calvez (1951, p. 251) la considéraient également limitée aux étangs de Canet et de Salses.

Par ce mode de vie, de même que par ses caractères structuraux *Elphidium littorale* ? ne semble pas s'identifier à *Elphidium gunteri* Cole du Pliocène de Floride.

*Elphidium camarguense* Kruit, 1955 b  
pl. 4, Fig. 2, 3, 7 ?

1955, *Elphidium lidoense* Cushman var. *camarguensis* Kruit, pl. 2, Fig. 9 a, b.

Nous avons retenu au niveau de l'espèce, *Elphidium camarguense*, qui ne semble pas se rapporter à *Elphidium lidoense* Cushman.

Nos spécimens sont identiques à ceux que Kruit (1955 b) illustre en pl. 2, Fig. 9 a, b, et qui se caractérisent, comme les exemplaires du salin, par l'asymétrie du test avec une dernière loge quelque peu déjetée sur l'un des côtés. Cette asymétrie est bien visible sur nos spécimens pl. 4, Fig. 2, 3, de même que sur l'exemplaire de Kruit, 1955 b, pl. 2, Fig. 9 b. *Elphidium camarguense* est aussi caractérisé par des zones ombilicales lisses, grossièrement perforées où aboutissent les sutures, entièrement recouvertes de ponts suturales, larges et espacés.

L'espèce, assez fréquente dans les étangs du salin, n'a été rencontrée sur la plage de Beauduc qu'à l'état transporté.

*Elphidium waddense* Voorthuysen, 1951  
pl. 4, Fig. 4, 8.

1951, *Elphidium gunteri* Cole var. *waddensis* Voorthuysen, pl. 2, Fig. 16 a, b.

Cette espèce, pas plus qu'*Elphidium littorale* ne semble s'apparenter à *Elphidium gunteri* Cole. En revanche, nos spécimens sont identiques à ceux qu'illustre Haynes (1973, pl. 24, Fig. 4, 10), à défaut d'avoir pu comparer les formes du salin avec le matériel-type de la mer du Watt. Le test, riche en granules dans les régions ombilicales, celles-ci s'étendant largement sur les deux faces du test, se caractérise par des ponts suturales peu nombreux, concentrés sur la périphérie du test. L'espèce diffère donc d'*Elphidium camarguense* par un test symétrique, des ponts suturales en nombre réduit et localisés en périphérie, et par des zones ombilicales granuleuses.

*Elphidium waddense* a été observé dans le salin, où l'espèce abonde dans certaines localités, et dans les sables littoraux de Beauduc où cette forme semble également présente à l'état vivant.

"*Nonion depressulum*" (Walker et Jacob, 1798)  
pl. 4, Fig. 13-17 (18-20 ?)

Cette espèce est placée ici dans la famille des Elphidiidae, plutôt que dans celle des Nonionidae, car il est probable qu'il s'agisse en réalité de *Protelphidium anglicum* Murray, 1965 (voir remarque à ce sujet in Murray, 1971, p. 169). Un examen de la microstructure du test de "*Nonion depressulum*" est toutefois nécessaire pour confirmer ce point.

L'espèce a été rencontrée dans le salin et dans les sables de Beauduc, observation qui renouvelle celle de Kruit (1955). Comme cet auteur d'ailleurs, il ne nous a pas été possible de confirmer l'état vivant de "*Nonion depressulum*" dans la mer.

## BIBLIOGRAPHIE

- H. Bartenstein et E. Brand (1938). — Die Foraminiferen Fauna des Jade-Gebiete. I. *Jadammina polystoma*, n. gen., n. sp., aus dem Jade Gebiete (For.). *Senckenbergiana*, 20, pp. 381-385, Frankfurt am Main.
- J.-Cl. Bidet, Ch. Carruesco et B. Gensous (1977). — Un milieu sédimentaire actuel : la lagune de Moulay-bon-Salham (côte atlantique marocaine). *Bull. Int. Géol. Bassin Aquitaine*, 22, pp. 189-230, Bordeaux.
- Bik, E.T.A. (1964). — An aberrant nonionid from the Miocene of the Mayence bassin. *Hess. Landesamt. Bodenf., Notizbl.*, 92, pp. 71-73, Wiesbaden.
- L. Blanc-Vernet (1958). — Les milieux sédimentaires littoraux de la Provence occidentale (Côte rocheuse). Relations entre la microfaune et la granulométrie du sédiment. *Bull. Inst. océanogr. Monaco*, 112, pp. 1-45, 10 pl., Monaco.
- L. Blanc-Vernet (1969). — Contribution à l'étude des Foraminifères de Méditerranée. *Recl. Trav. Stn. Mar. Endoume*, 48, pp. 5-281, Endoume.
- L. Blanc-Vernet, P. Clairefond et P. Orsolini (1979). Les Foraminifères. In : La mer pélagienne. *Géologie méditerranéenne*, *Ann. Univ. Provence*, 6/1, pp. 171-209, Marseille.
- H.B. Brady (1870). — "Foraminifera". In : G.S. Brady, D. Robertson et H.B. Brady : The Ostracoda and Foraminifera of tidal rivers. *Ann. Mag. nat. Hist.*, ser. 4, 6, pp. 273-306, Londres.
- M. Caralp, A. Lamy et M. Pujos (1970). — Contribution à la connaissance de la distribution bathymétrique des Foraminifères dans le Golfe de Gascogne. *Rev. Esp. Micropal.*, 2/1, pp. 55-84, Madrid.
- M.A. Chierici, M.T. Busi et M.B. Cita (1962). — Contribution à une étude écologique des Foraminifères dans la mer Adriatique. *Revue Micropal.*, 5/2, pp. 123-142, Paris.

## PLANCHE 1

— Foraminifères des sables côtiers de Beauduc (Textulariina et Rotaliina).

1, 2 — *Elphidium crispum* (Linne, 1798).

3, 4 — *Nonion asterizans* (Fichtel et Moll, 1798).

5 — *Elphidium groenlandicum* Cushman, 1933.

6, 7 — *Elphidium* sp., forme provenant du salin ?

8 — *Cibicides lobatulus* (Walker et Jacob, 1798), transporté sur la plage de Beauduc depuis les herbiers avoisinants.

9, 10 — *Discorbis mira* Cushman, 1922.

11 — *Textularia sagittula* DeFrance in De Blainville, 1824.

12, 13 — *Bulimina elongata* d'Orbigny, 1846.

14 — *Rosalina globularis* d'Orbigny, 1826.

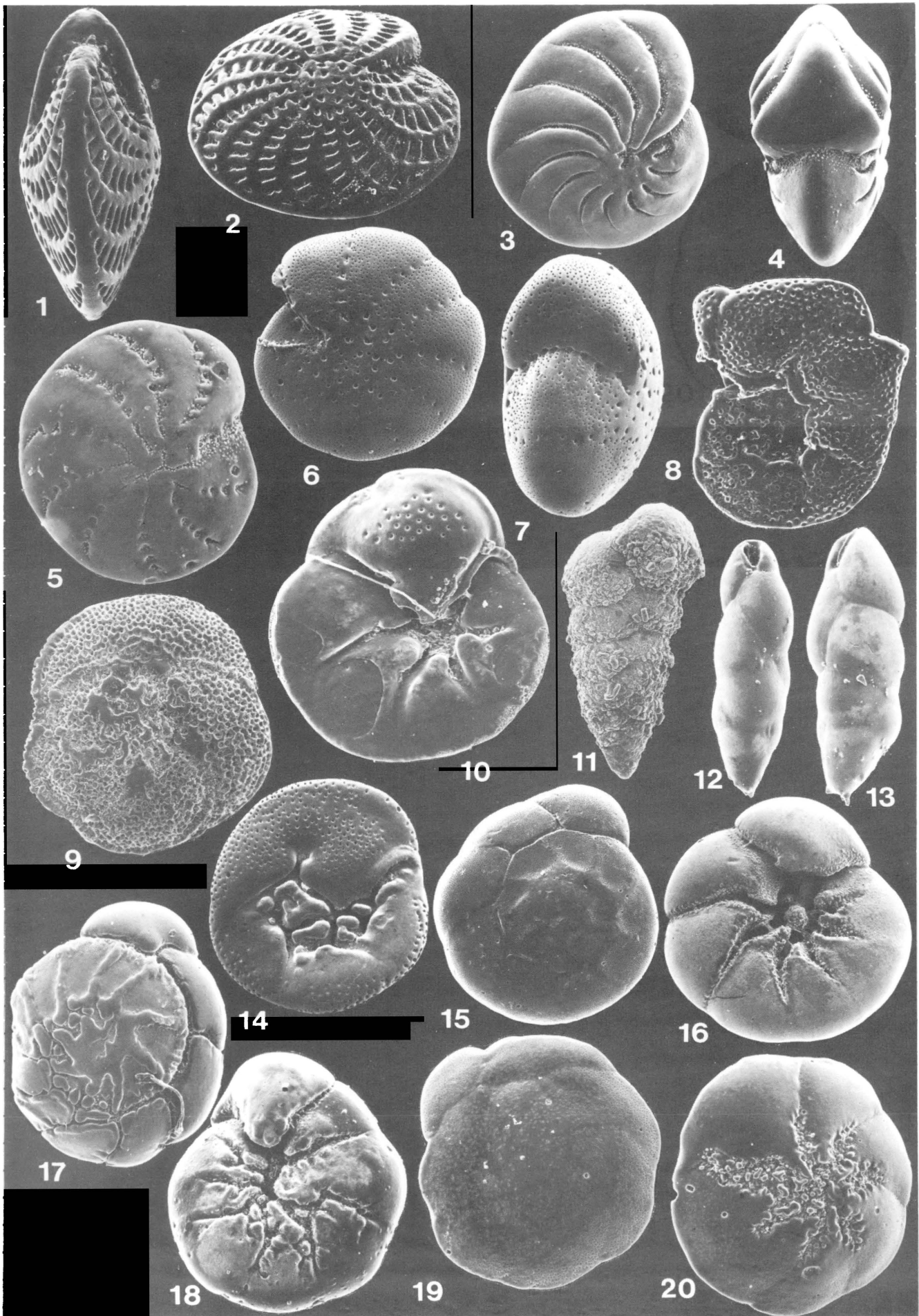
15, 16 — *Ammonia beccarii* (Linne, 1758).

17, 18 — *Ammonia batava* (Hofker, 1951).

19, 20 — *Buccella ? faramanensis* (Kruit, 1955).

Localité : Pompes de Beauduc, échantillons 9.1, 0.1 et 1.9 (1979, 1980, 1981).

1, 8, 14, 90 x ; 2, 85 x ; 3, 15, 95 x ; 4, 16, 100 x ; 5, 160 x ; 6, 10, 20, 135 x ; 7, 170 x ; 9, 80 x ; 11, 17, 60 x ; 12, 13, 100 x ; 18, 70 x ; 19, 145 x.



## PLANCHE 2

— Foraminifères des sables côtiers de Beauduc (Miliolina)

1,2 — *Quinqueloculina aspera/rugosa* d'Orbigny, 1826 et d'Orbigny, 1852, respectivement

3,4 — *Quinqueloculina aspera/rugosa* ?, formes à périphérie anguleuse.

5 — *Triloculina* ? sp.

6 — *Massilina* ? sp.

8?, 12 — *Quinqueloculina cliarensis* Heron-Allen et Earland, 1930.

9, 13 — *Quinqueloculina longirostra* d'Orbigny, 1826.

10 — *Quinqueloculina* ? sp.

11 — *Triloculina trigonula* (Lamarck, 1804).

14?, 15?, 16, 17, 22 — *Triloculina inflata* d'Orbigny, 1826

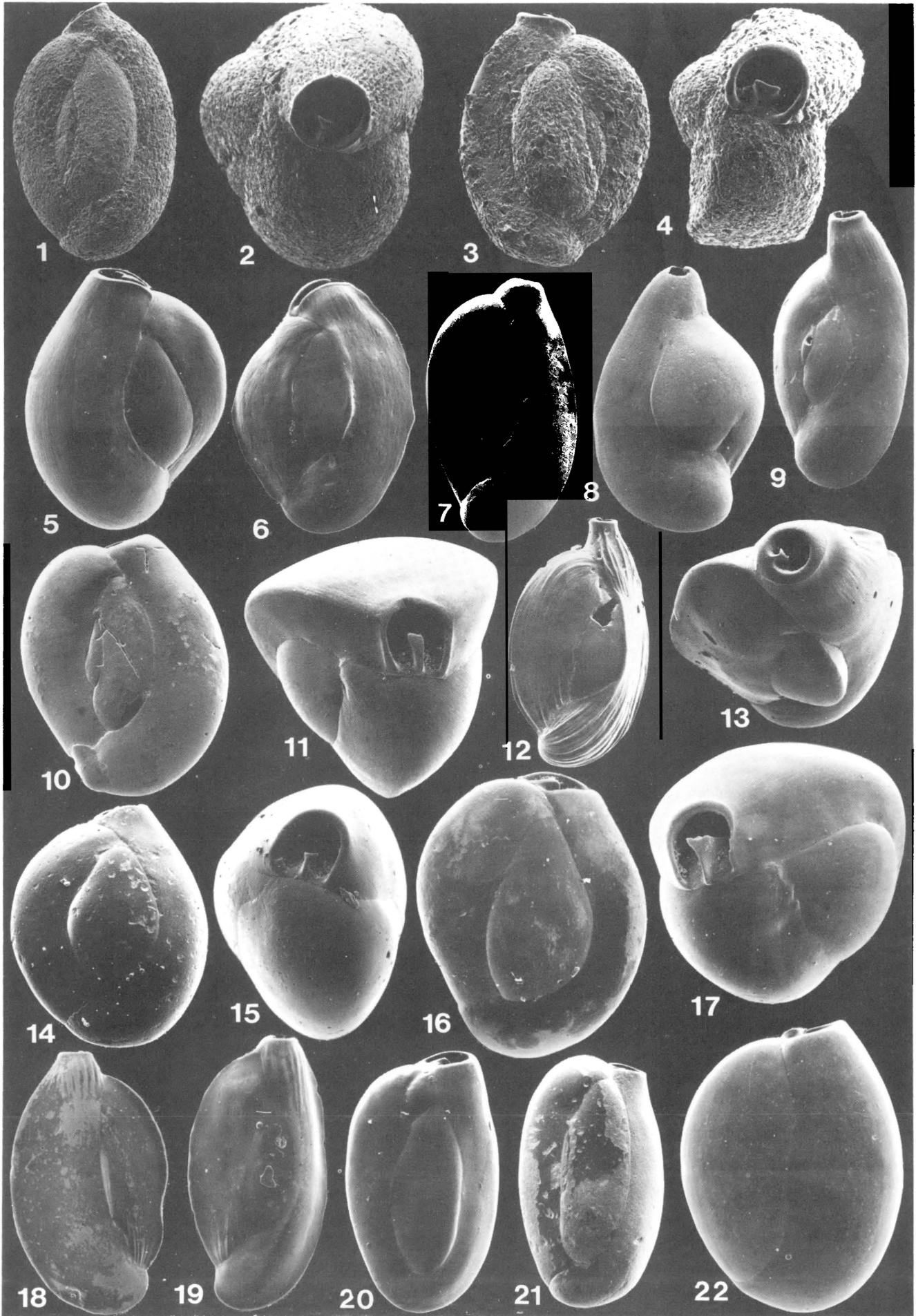
18, 19 — *Triloculina* ? sp. 4.

20, 21 — *Quinqueloculina lata/oblonga* Terquem, 1876 et (Montagu, 1803), respectivement.

Localité : 1-20, 22, pompes de Beauduc, échantillons 9.1, 0.1 et 1.9 (1979, 1980, 1981).

21, étang de Galabert, échantillon 9.2 (1979), forme marine transportée. On notera l'usure du test par rapport au spécimen fig. 20.

1, 20, 21, 100 x ; 2, 140 x ; 3, 90 x ; 4, 14, 120 x ; 5, 9, 95 x ; 6, 50 x ; 7, 60 x ; 8, 70 x ; 10, 12, 60 x ; 11, 17, 125 x ; 13, 15, 160 x ; 16, 22, 100 x ; 18, 19, 70 x.



## PLANCHE 3

— Foraminifères du Salin-de-Giraud (Textulariina et Miliolina)

1-5 — *Jadammina macrescens* (Brady, 1870).

6-8, 12 — *Trochammina inflata* (Montagu, 1808).

9-11, 13, 14 — *Triloculina* ? sp. 1.

16 — *Triloculina* ? sp. 2.

17 — *Pateoris haurinoides* (Rhumbler, 1936).

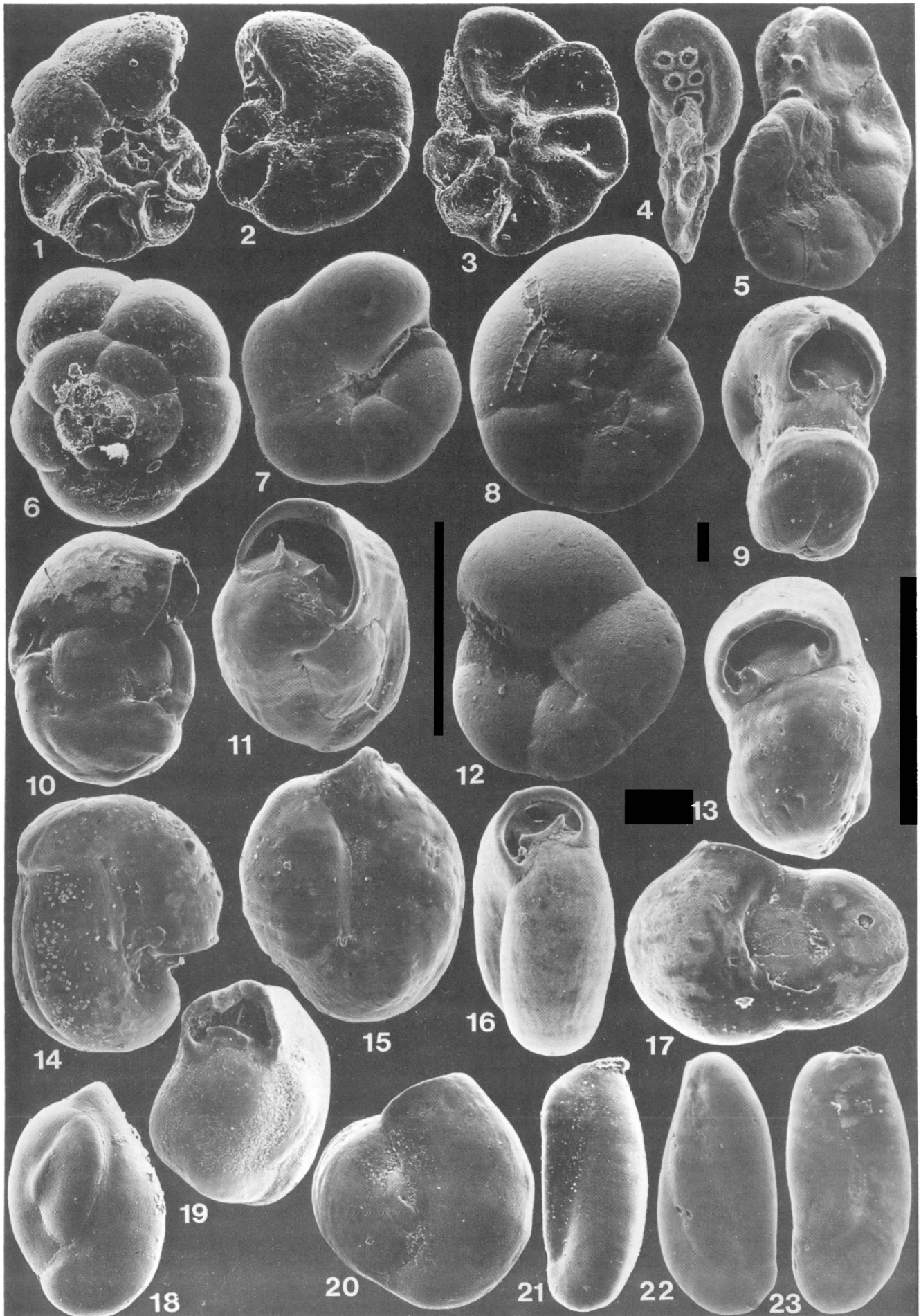
15, 18-20 — Petits Miliolidae indéterminés

21-23 — *Triloculina* ? sp. 3.

1-3, 5, 18, 21 — échantillon 9.2, étang de Galagert, clos 2 (1979) ; 4 échantillon 1.46 (1), sur tapis algair dans l'étang du Vaisseau, clos 1 (1981) ;

6-8, 10.12, 13, 16, 17 échantillon 9.19, Vieux-Rhône S (1979) ; 9, 11, 14, 15 échantillon 1.6, étang de Galabert, clos 2 (1981) ; 19, 20 échantillon 9.3, étang de Galabert, clos 2 (1979) ; 22, 23 échantillon 1.46, étang du Vaisseau, clos 1 (1981).

1, 160 x ; 2, 3, 5, 17, 22, 23, 110 x ; 4, 13, 21, 260 x ; 6, 70 x ; 7, 90 x ; 8, 12, 95 x ; 9, 11, 14, 100 x ; 10, 100 x ; 15, 85 x ; 16, 260 x ; 18, 240 x ; 19, 250 x ; 20, 225 x.



## PLANCHE 4

— Foraminifères du Salin-de-Giraud (Rotaliina)

1 — *Elphidium alvarezianum* (d'Orbigny).

2, 3 — *Elphidium camarguense* Kruit, 1955

4, 8 — *Elphidium waddense* Voortuysen, 1951.

5, 6 — *Ammonia beccarii tepida* (Cushman, 1926).

7 — *Elphidium camarguense* Kruit ?, spécimen roulé sur la plage de Beauduc.

9-12 — *Rotaliina* gen. et sp. indet. (correspond peut-être à *Anomalina globigerinoides* ? Egger (in Kruit, 1955, pl. 3, fig. 1).

13-17 — «*Nonion depressulum*» (Walker et Jacob, 1798) correspond probablement à *Protelphidium anglicum* Muray, 1965) ; 8, forme déformée.

18-20 — «*Nonion*» sp. (variants possibles de la forme précédente, à périphérie moins galbée).

1, 9-12 — Echantillon 9.19, Vieux-Rhône S (1979)

2, 3 — Echantillon 1.42, Vieux-Rhône N (1981) ;

4, 8 — Echantillon 1.41, Vieux-Rhône S (1981) ;

5, 6, 15, 16 — Echantillon 9.2, étang de Galabert, clos 2 (1979) ;

7 — Echantillon 9.1, plage de Beauduc (1979) ;

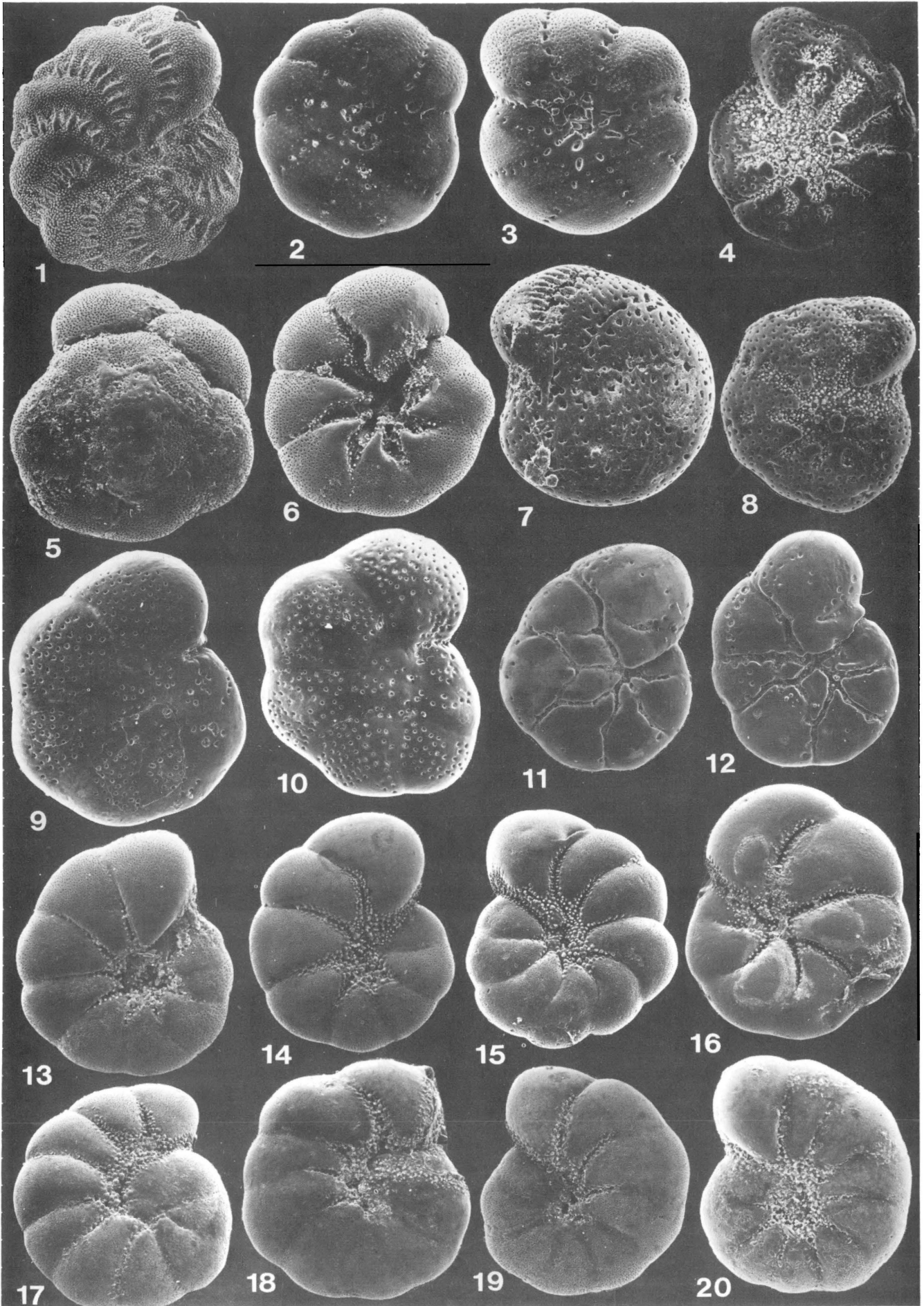
13, 17 — Echantillon 9.3, étang de Galabert, clos 2 (1979) ;

14, 18, 19 — Echantillon 9.4, étang de Fangassier (1979) ;

20 — Echantillon 0.2, étang de Galabert, clos 2 (1980).

1, 9, 11, 12, 90 x ; 2, 3, 100 x ; 4, 260 x ; 5, 260 x ; 6, 8, 13, 170 x ; 7, 310 x ; 10, 85 x ; 14, 18, 140 x ; 15, 20, 110 x ; 16, 17, 140 x ; 19, 120 x.

L'auteur remercie Anne Crapon de Caprona pour la réalisation des travaux en microscopie électronique à balayage.



- D. Closs et M.L. Madeira** (1968). — Seasonal variations of brackish Foraminifera in the Patos Lagoon, Southern Brazil. *Esc. Geol. P. Alegre*, Publ. Esp. n° 15, pp. 1-51, Porto Alegre.
- P.A. Dupeuble** (1963). — Aperçu sur la répartition des principales familles de Foraminifères dans trois faciès de la région de Roscoff (Finistère). *Revue Micropal.*, 5/4, pp. 277-279, Paris.
- J.R. Haynes** (1973). — Cardigan Bay Recent Foraminifera (Cruises of the R.V. Antur, 1962-1964). *Bull. British Museum (Nat. Hist.)*, Zoology, suppl. 4, 245 p., 33 pl., Londres.
- J. Hofker** (1951). — The Foraminifera of the Siboga Expedition ; Part III. Siboga-Exped. Monogr., n° 4B, pp. 1-513, Leiden.
- C. Kruit** (1955 a). — Sediments of the Rhone Delta. I : Grainsize and microfauna. *Verh. k. ned. geol.-mijnb. genoot.*, 15, pp. 357-499, Mouton & Co, 's-Gravenhage.
- C. Kruit** (1955 b). — Sediments of the Rhone Delta. Grainsize and microfauna. 141 p., 6 pl., Mouton & Co, 'S-Gravenhage.
- J. Le Calvez et Y. Le Calvez** (1951). — Contribution à l'étude des Foraminifères des eaux saumâtres. I : Etangs de Canet et de Salses. *Vie et Milieu* (Bull. Lab. Arago, Univ. Paris), 2/2, pp. 237-254, Paris.
- J. Le Calvez et Y. Le Calvez** (1958). — Répartition des Foraminifères dans la Baie de Villefranche. I : Miliolidae. *Ann. Inst. océanogr. Monaco*, 35/3, pp. 159-234, Monaco.
- J. Le Campion** (1968). — Foraminifères des principaux biotopes du Bassin d'Arcachon et du proche Océan (Inventaire faunistique). *Bull. Cent. Etud. Rech. Sc.*, 7/2, pp. 207-231, Biarritz.
- A. Lévy** (1966). — Contribution à l'étude écologique et micropaléologique de quelques *Elphidium* (Foraminifères) du Roussillon. Description d'une nouvelle espèce : *E. cuvillieri*, n. sp. *Vie et Milieu* (Bull. Lab. Arago, Univ. Paris), sér. A : Biologie marine, 17/1A, pp. 1-8, Paris.
- J.W. Murray** (1965). — Two species of British Recent Foraminiferida. *Contr. Cushman Fdn. Foram. Res.*, 16, pp. 148-150, Washington.
- J.W. Murray** (1968). — Living Foraminifera in lagoons and estuaries. *Micropaleontology*, 14, pp. 435-455, New York.
- J.W. Murray** (1971). — An Atlas of British Recent Foraminiferids. Heinemann, 244 p., Londres.
- J.W. Murray** (1973). — Distribution and Ecology of living benthic Foraminiferids. Heinemann Educational Books Ltd., 274 p., Londres.
- F.B. Phleger et R.R. Lankford** (1957). — Seasonal occurrences of living benthonic Foraminifera in some Texas Bays. *Contr. Cushman Fdn. Foram. Res.*, 8, pp. 93-105, Washington.
- G. Richter** (1964 a). — Zur Ökologie des Foraminiferen. I : Die Foraminiferen-Gesellschaften des Jadegebietes. *Natur. Mus. Frankf.*, 94, pp. 343-353, Frankfurt am Main.
- J.H. van Voorthuysen** (1951). — Recent (and derived Upper Cretaceous) Foraminifera of the Netherlands Wadden Sea (tidal flats). *Meded. Geol. Sticht.*, n.s., 5, pp. 23-32, 's-Gravenhage.