Zeitschrift: Bulletin de la Société Fribourgeoise des Sciences Naturelles = Bulletin der Naturforschenden Gesellschaft Freiburg

Herausgeber: Société Fribourgeoise des Sciences Naturelles

Band: 85 (1996)

Heft: 1-2

Artikel: La crise de salinité messinienne, une histoire fabuleuse

Autor: Suc, Jean-Pierre / Clauzon, Georges

DOI: https://doi.org/10.5169/seals-308744

Nutzungsbedingungen

Die ETH-Bibliothek ist die Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften auf E-Periodica. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Zeitschriften und ist nicht verantwortlich für deren Inhalte. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern beziehungsweise den externen Rechteinhabern. Das Veröffentlichen von Bildern in Print- und Online-Publikationen sowie auf Social Media-Kanälen oder Webseiten ist nur mit vorheriger Genehmigung der Rechteinhaber erlaubt. Mehr erfahren

Conditions d'utilisation

L'ETH Library est le fournisseur des revues numérisées. Elle ne détient aucun droit d'auteur sur les revues et n'est pas responsable de leur contenu. En règle générale, les droits sont détenus par les éditeurs ou les détenteurs de droits externes. La reproduction d'images dans des publications imprimées ou en ligne ainsi que sur des canaux de médias sociaux ou des sites web n'est autorisée qu'avec l'accord préalable des détenteurs des droits. En savoir plus

Terms of use

The ETH Library is the provider of the digitised journals. It does not own any copyrights to the journals and is not responsible for their content. The rights usually lie with the publishers or the external rights holders. Publishing images in print and online publications, as well as on social media channels or websites, is only permitted with the prior consent of the rights holders. Find out more

Download PDF: 17.07.2025

ETH-Bibliothek Zürich, E-Periodica, https://www.e-periodica.ch

La crise de salinité messinienne, une histoire fabuleuse

par JEAN-PIERRE SUC[1] et GEORGES CLAUZON[2]

[1] Centre de Paléontologie stratigraphique et Paléoécologie (UMR 5565 CNRS), Université Lyon 1, F-69622 Villeurbanne Cedex (France)
[2] Institut de Géographie (URA 903), 29, avenue Robert Schuman, F-13621 Aix-en-Provence Cedex (France)

1. Introduction

La crise de salinité messinienne qui conclut le Miocène en Méditerranée fut un événement d'une dimension exceptionnelle. Par le volume des roches salifères (évaporites) qui en rendent compte et par la polémique qui a agité le microcosme géologique, on peut sans nul doute y voir un phénomène hors du commun. Son attrait ne s'arrête pas là car son investigation possède un intérêt pétrolier certain. S'agissant d'un épisode parfaitement reproductible dans un futur imprévisible, chacun saisira combien il est essentiel d'en connaître les causes et les modalités.

2. La découverte de 1970: le début de la querelle

Le Glomar Challenger, navire qui exécuta en 1970 la campagne 13 du Deep Sea Drilling Project en Méditerranée occidentale, pénétra pour la première fois le toit des évaporites messiniennes (RYAN et al., 1973). Aussitôt, la masse salifère soupçonnée sous les plaines abyssales de la Méditerranée (Fig. 1) par W.B.F. RYAN à partir de profils sismiques fut-elle assimilée aux évaporites bien connues en Sicile (affleurements et exploitations minières). Eclata alors une vive polémique opposant les tenants d'un «bassin profond asséché» (HSÜ et al., 1973) aux partisans d'un «bassin non profond asséché» (NESTEROFF, 1973), polémique qui devait empoisonner et, d'une certaine manière, stériliser la commumauté scientifique concernée pendant plus de vingt années. L'idée du modèle sicilien pour comprendre les évaporites enfouies sous les plaines abyssales se trouva confortée par les profils sismiques obtenus en Méditerranée occidentale par MONTADERT et al. (1978) qui offraient la possibilité d'un parallélisme assez frappant de succession des faciès (Fig. 2).

Si la découverte des évaporites messiniennes sous le plancher méditerranéen engendra une très vive querelle, patente dans la plupart des publications et flagrante surtout dans les nombreux colloques des années 70, elle eut par ailleurs le mérite d'astreindre les paléontologistes à un effort de caractérisation biostratigraphique de l'étage Messinien et, de façon plus partielle, de la crise de salinité (COLALONGO et al., 1979; IACCARINO & SALVATORINI, 1982).

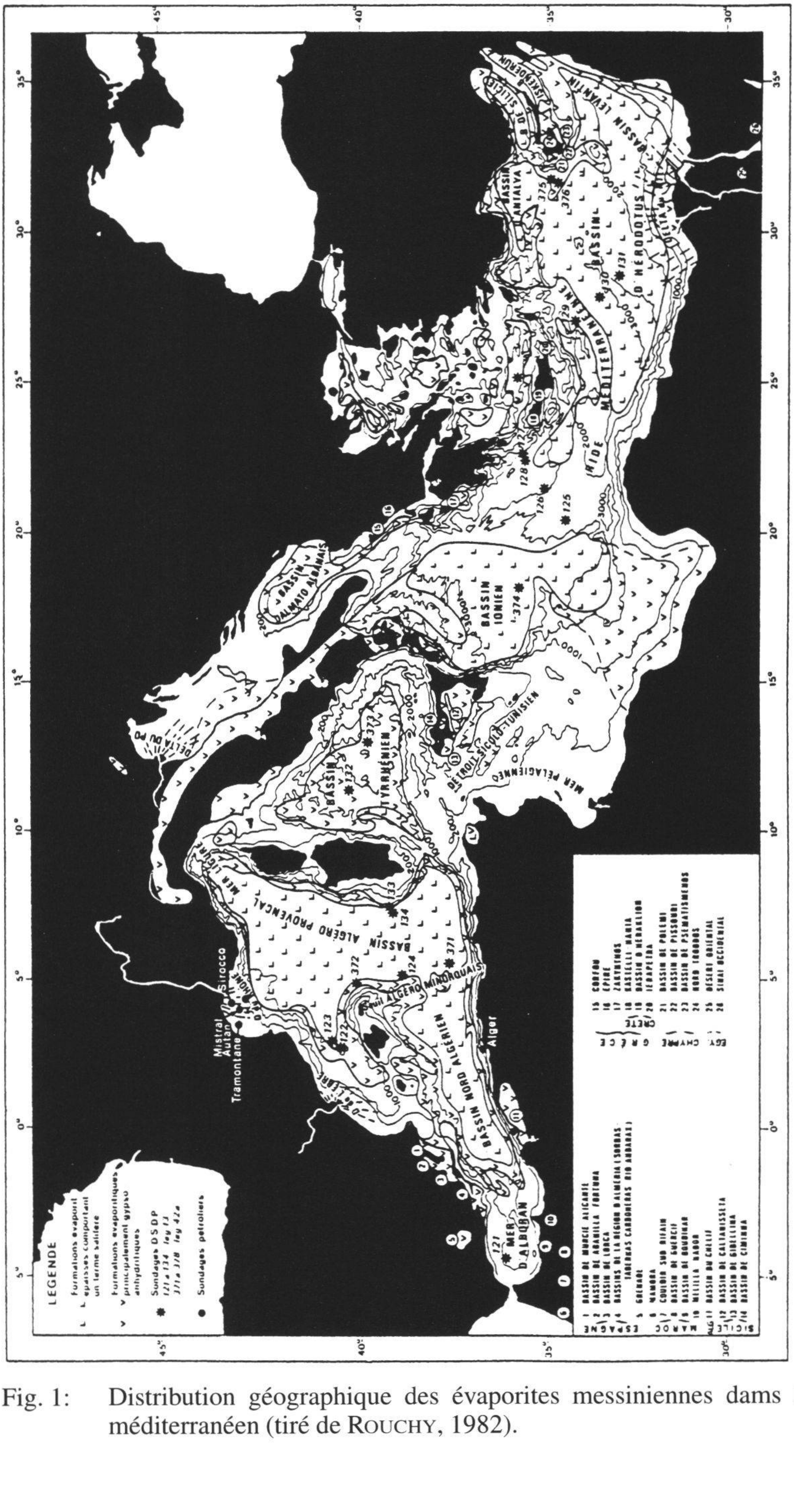


Fig. 1: Distribution géographique des évaporites messiniennes dams le bassin méditerranéen (tiré de ROUCHY, 1982).

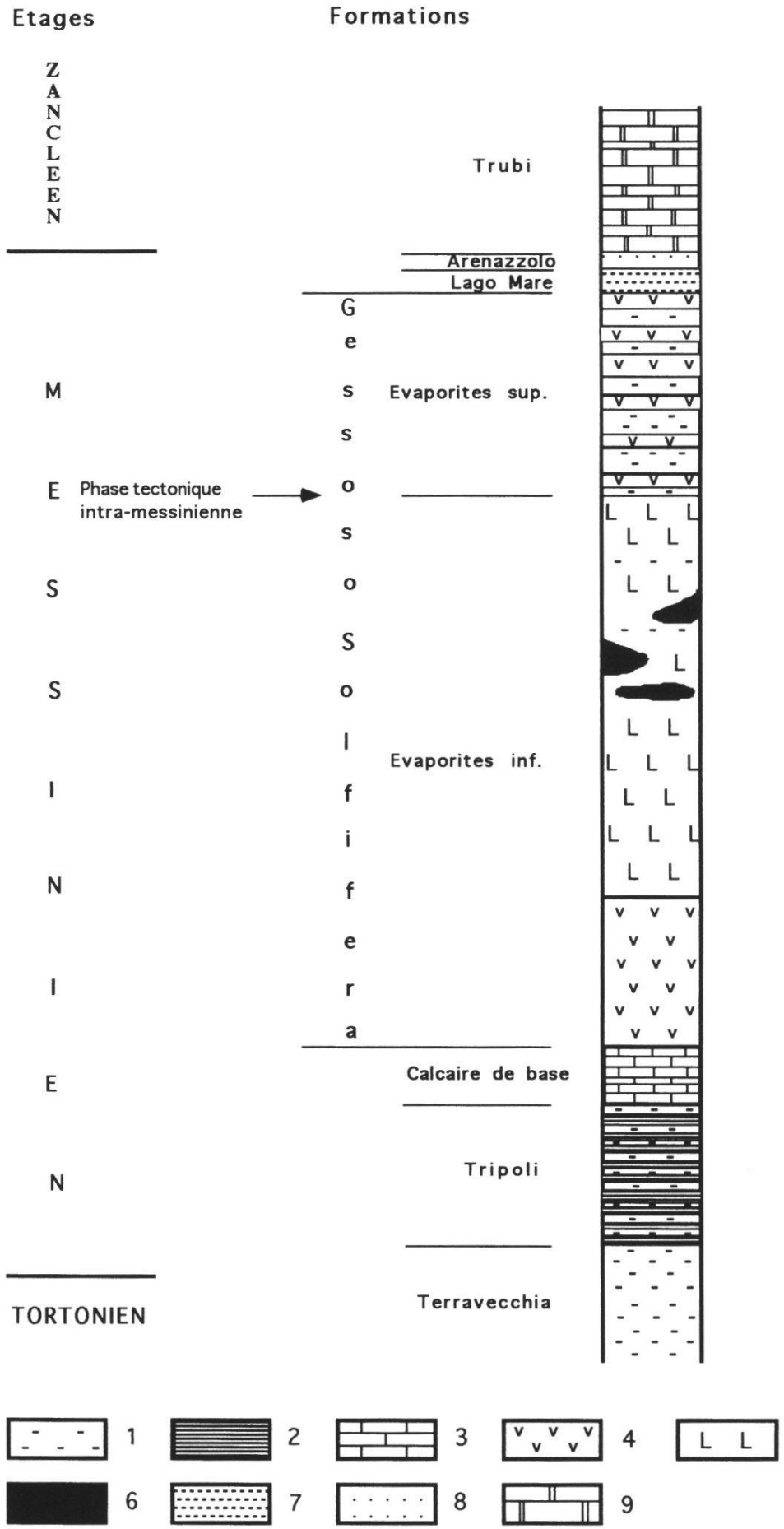


Fig. 2: La série messinienne de Sicile.
1, argile; 2, diatomite; 3, calcaire; 4, gypse; 5, halite; 6, sels de potasse; 7, facies argileux du Lago Mare à faune paratéthysienne (congéries, etc.); 8, faciès silteux de l'Arenazzolo; 9, calcaire du Trubi.

3. La série sicilienne et les autres manifestations à terre de la crise de salinité

La série sicilienne (bassin de Caltanissetta), épaisse de plusieurs centaines de mètres, montre plusieurs termes qui recouvrent les argiles tortoniennes (Formation de Terravecchia) (DECIMA & WEZEL, 1973) (Fig 3):

- des argiles messiniennes (appartenant à la même Formation de Terravecchia) mais caractérisées par la présence du foraminifère planctonique *Globorotalia conomiozea*;
- la Formation de Tripoli (une alternance de niveaux argileux et de niveaux diatomitiques) souvent considérée comme un terme illustrant un certain confinement (ROUCHY, 1982);
- le Calcaire de base qui est la première évaporite;
- la Formation Gessoso-Solfifera, elle-même constituée de plusieurs membres:
  - les Evaporites inférieures qui comprennent des gypses surmontés de halite (jusqu'à 800 m d'épaisseur) incluant des couches riches en sels potassiques;

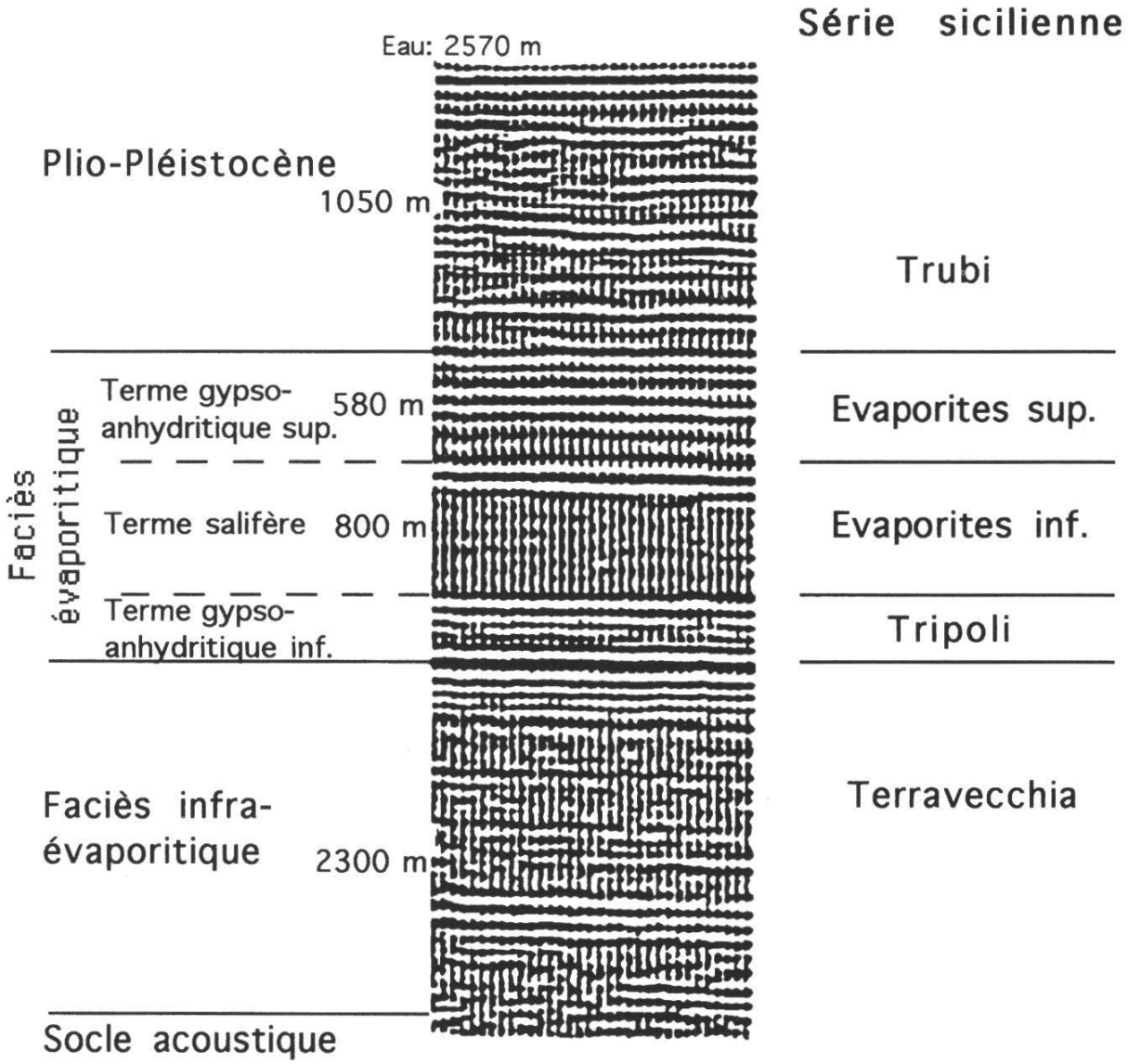


Fig. 3: Coupe sismique typique de la plaine abyssale de Méditerranée occidentale (MONTADERT et al., 1978) et assimilation avec la série sicilienne.

- les Evaporites supérieures qui sont des alternances de gypse et d'argiles et qui se terminent par les épisodes du Lago Mare (correspondant à l'invasion d'organismes originaires de bassins orientaux endoréïques de la Paratéthys) et de l'Arenazzolo (remontée de l'eau);
- le Trubi qui correspond à la remise en eau du bassin méditerranéen au Pliocène basal.

Beaucoup de bassins périphériques présentent des séries analogues à celle de la Sicile mais incomplètes (formation diatomitique réduite, absence de la halite, moindre épaisseur des gypses) ou différentes dans leur partie supérieure.

Certains autres secteurs de la marge méditerranéenne ne recèlent pas d'évaporites mais arborent deux types de manifestation de la crise de salinité:
- sur les plate-formes carbonatées comme en Algérie (CORNEE et al., 1994), on peut restituer le développement et le déplacement des constructions recifales au gré des variations eustatiques;
- au débouché des fleuves, le creusement de profonds canyons (certains dépassent 1000 m) qui seront par la suite remblayés par les sédiments marins du Pliocène inférieur (CHUMAKOV, 1973; CLAUZON, 1973, 1978, 1979, 1982 et 1990; BARBER, 1981).

La concomitance impossible de la permanence de conditions marines (récifs coralliens) et du creusement des canyons (traduisant l'effondrement du niveau de base marin) avait quelque chose de diabolique (CLAUZON et al., 1996) et aggrava l'acuité de la polémique en introduisant une querelle dans la querelle des modèles.

4. Les modèles en présence

Trois modèles principaux ont été proposés entre 1973 et 1982 (Fig. 4) et ont fait l'objet d'un âpre débat.

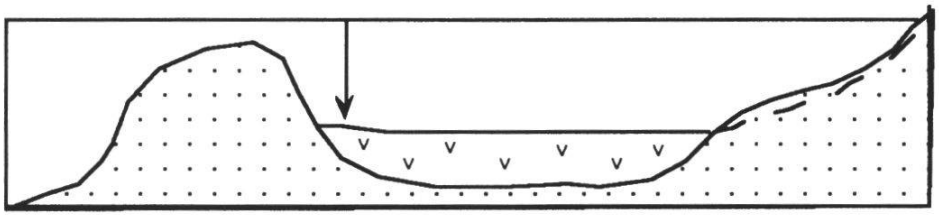
4.1. Le bassin profond asséché

Ce modèle (HSÜ et al.,1973) repose sur la présence de faunes d'eau profonde immédiatement après le dépôt des évaporites. La physiographie du bassin méditerranéen était sensiblement semblable à la physiographie actuelle. La dessiccation aurait été provoquée par la fermeture, d'origine tectonique, de ses communications avec l'océan Atlantique, ceci sans variation du climat. Ce modèle, qui prend exclusivement en compte une importante baisse du niveau de la mer, explique le creusement des canyons mais ne peut éclairer sur le maintien de biotopes marins (récifs coralliens) sur les bordures.

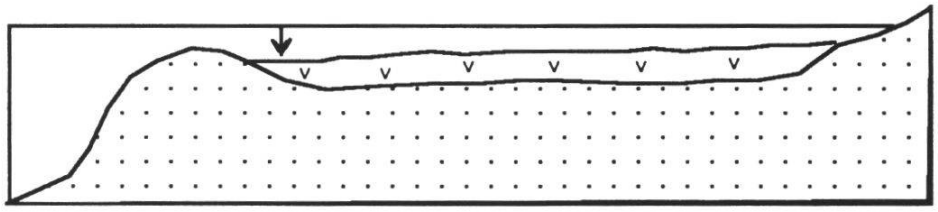
4.2. Le bassin non profond asséché

Ce modèle (NESTEROFF, 1973) est fondé sur un approfondissement du bassin méditerranéen ultérieurement au Messinien. Il n'invoque pas de variation sensible du plan d'eau. S'il rend compte de la permanence de conditions marines sur les marges (récifs coralliens), il ne peut surtout pas expliquer le creusement des canyons ni l'existence de faunes marines profondes dès la base du Pliocène.

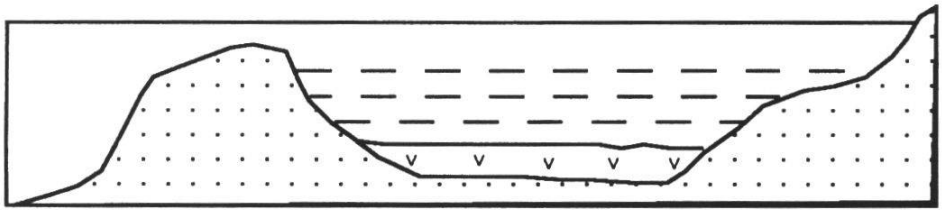
Atlantique Méditerranée



Bassin profond asséché (HSÜ et al., 1973)



Bassin non profond asséché (NESTEROFF, 1973)



Bassin profond avec stratification de l'eau (ROUCHY, 1980)

Abaissement du niveau de la mer Méditerranée

Evaporites

Erosion

Fig. 4: Les principaux modèles antagonistes.

4.3. Bassin profond avec stratification de l'eau

Imaginé au plus fort de la polémique, ce modèle (ROUCHY, 1980) visait de toute évidence à gommer certaines incompatibilités entre les deux modèles antérieurs. Il prend en compte le maintien des conditions marines sur la bordure du bassin pendant la crise et l'existence de faunes profondes immédiatement après. Toutefois, il occulte le creusement des canyons. Le processus invoqué exige un changement du climat caractérisé par une forte augmentation de la xéricité.

D'autres modèles ont été suggérés mais représentent pour l'essentiel des variantes des trois principaux rappelés sommairement ci-dessus. La bataille des modèles fut extrêmement rude, les parties en cause allant jusqu'au quolibet dans un grand quotidien.

Pour l'élaboration de tout modèle, on doit avoir présent à l'esprit les caractéristiques du bilan hydrologique actuel de la Méditerranée. Celui-ci est fortement négatif car l'océan Atlantique supplée l'eau perdue par évaporation (environ 2 200 km^3 par an). Ceci signifie que la Méditerranée se trouverait à sec en 1600 ans seulement si l'apport d'eau par le détroit de Gibraltar s'interrompait. La Méditerranée évaporée entraînerait le dépôt de 130 000 km^3 de sels. Or, le volume total des sels déposés pendant la crise messinienne est de l'ordre de 1 000 000 km^3, ce qui suppose soit huit évaporations successives de la Méditerranée soit un apport d'eau marine constant pendant la phase de dessiccation.

Il va sans dire combien cette période fut troublée et, en tout cas, peu propice à l'émergence de nouvelles approches, de nouvelles idées, les territoires des groupes impliqués dans le conflit étant farouchement délimités et gare à qui chercherait à en sortir! Si les publications sur le sujet paraissaient en très grand nombre, leur profusion masquait la stérilisation de la communauté. On donnait dans le détail, chacun apportait sa contribution à la controverse, mais en somme rien de vraiment neuf marqua les années 80. On imagine mal l'acuité des contradictions qui agitaient alors la communauté scientifique, contradictions sur lesquelles on passait parfois avec beaucoup d'aisance: par exemple l'existence pour les foraminiféristes d'une Zone «non-distinctive» correspondant aux évaporites dépourvues de témoignages biologiques (et pour cause!) (IACCARINO & SALVATORINI, 1982) pendant que pour d'autres devait exister un milieu marin normal (MONTENAT et al., 1980). C'est avec la disparition, le vieillissement ou la lassitude des principaux protagonistes que l'on verra poindre les premiers progrès en 1990, œuvre de scientifiques peu ou pas compromis dans cette «guerre de religion».

5. Les investigations nouvelles

Le déclic est venu de deux démarches totalement indépendantes. Elles ont en commun la volonté systématique d'une approche écostratigraphique intégrée s'appuyant, chose nouvelle pour le Messinien, sur des échantillonnages très denses.

5.1. L'enregistrement sédimentaire continu au Maroc atlantique

R.H. BENSON & K. RAKIC-EL BIED) ont établi une chronologie très fine de la série marocaine de Bou Regreg (région de Rabat) où la sédimentation marine a été conti-

nue pendant tout l'étage du Messinien, utilisant tous les moyens modernes disponibles (micropaléontologie: foraminifères, ostracodes; magnétostratigraphie; stratigraphie isotopique; corrélations avec les cycles astronomiques; BENSON et al., 1991; HODELL et al., 1994; RAKIC-EL BIED & BENSON, 1996). Ainsi, certains bio-événements reconnaissables également parce qu'antérieurs à la crise, comme le changement d'enroulement du foraminifère planctonique *Neogloboquadrina acostaensis*, ont-ils, pour la première fois, reçu une assignation chronologique précise. Dès lors s'imposait la relecture des séries méditerranéennes.

5.2. Une nouvelle investigation, en détail, des séries de référence méditerranéennes

Celle-ci a débuté avec l'outil palynologique qui a très rapidement démontré qu'il n'y avait pas eu de changement climatique majeur avant et pendant la crise messinienne. En Sicile, le climat était continuellement chaud (subtropical à tropical) et xérique, ce qui signifie que la mer Méditerranée se trouvait prédisposée à la dessiccation (SUC & BESSAIS, 1990; BERTINI et al., sous presse). La même constatation a été faite sur la série atlantique de Carmona (Andalousie) ainsi que sur d'autres sites de Méditerranée méridionale (SUC, inédit). Le modèle de ROUCHY (1980) s'est trouvé de fait disqualifié. Parallèlement, la contribution conjointe des dinokystes, du palynofaciès, du pollen et des foraminifères démontra que les Tripoli de Capodarso (Sicile) représentaient un haut niveau marin relatif: le bassin méditerranéen était connecté avec l'océan Atlantique (SUC et al., 1995). Un coup final était donc porté à l'idée (idée lancée sans analyses paléobiologiques détaillées) que les Tripoli illustraient un environnement confiné.

La puissance de l'outil paléomagnétique allait permettre d'aller encore plus loin. Pour la première fois, on allait connaître l'âge exact du commencement de la crise de salinité (5,8 Ma, début de l'épisode inverse Gilbert; GAUTIER et al., 1994) et mettre fin aux spéculations antérieures (RYAN et al., 1974). On peut d'ailleurs se demander pourquoi a-til fallu attendre si longtemps pour disposer des premiers calibrages magnétostratigraphiques du Messinien atlantique et méditerranéen. Outre le fait que la crise de salinité débutait plus tard que ce que l'on proclamait généralement, l'événement inattendu est venu du fait que la crise débutait exactement au même moment dans un bassin marginal (celui de Sorbas en Andalousie) et en Sicile, réputée appartenir au domaine marin profond. Or, GRASSO & PEDLEY (1988) avaient découvert, en Sicile, des constructions récifales coralliennes localisées géographiquement à quelques kilomètres seulement des dépôts de halite, stratigraphiquement quelques mètres sous la première évaporite, le Calcaire de base. Cette découverte était passée pratiquement inaperçue (était-ce le fait d'un certain aveuglement dû à l'intensité de la polémique ou le résultat d'une volonté d'écarter toute donnée ne servant pas le dogme?). Ces deux résultats, d'ordre respectivement chronologique et paléoenvironnemental, prouvaient qu'il fallait définitivement abandonner l'idée d'une Sicile «équivalent émergé du bassin profond»!

Si l'on ajoute à cela la trouvaille de canyons entaillant les évaporites messiniennes de Crète (DELRIEU et al., 1993) venant corroborer des observations antérieures dans le canal de Corse (ALERIA, 1980), le moment était venu d'édifier un nouveau modèle (CLAUZON et al., 1996).

6. Le modèle en deux temps de la crise de salinité: le nouveau paradigme

Ce nouveau modèle (CLAUZON et al., 1996) présente l'avantage de prendre en compte d'une façon constructive toutes les données disponibles et de réduire à néant les contradictions qui les opposaient. Il n'y a pas eu une crise de salinité, mais deux. La première, de 5,8 à 5,7 Ma, n'a concerné que les marges de la Méditerranée. Elles se sont trouvées asséchées en raison d'une baisse globale du niveau marin en relation avec deux événements glaciaires antarctiques assez prononcés (stades isotopiques TG22 et TG20; SHACKLETON et al., 1995); cela provoqua la précipitation d'évaporites dans tous les bassins perchés y compris les Evaporites inférieures de Sicile. Puis, après une remontée sensible de l'eau (dépôt des Evaporites supérieures de Sicile) qui dura guère plus de 100 000 ans, l'activité tectonique très intense dans le secteur des corridors rifain et bétique (qui reliaient, respectivement au sud et au nord de Gibraltar, la Méditerranée à l'Atlantique) a entraîné une très forte réduction des entrées d'eaux atlantiques. Du fait de son bilan hydrique négatif, le niveau de base méditerranéen s'est abaissé instantanément (à 5,6 Ma) mais les immenses lagunes qui se formèrent dans les anciennes plaines abyssales ont pu être alimentées sans cesse en eaux marines atlantiques car l'océan global était alors en haut niveau (stades isotopiques TG15 à TG5). C'est à 5,32 Ma (stade isotopique TG5) (HILGEN & LANGEREIS, 1993) que se ralentit l'intensité tectonique (par déplacement des lignes de contraintes) et que le «déluge» pliocène qui s'en suivit permit à la Méditerramée de redevenir une mer. Les conditions marines ont effectivement perduré pendant la première crise, celle qui a affecté les marges du bassin. Les fleuves ont creusé les canyons pendant la seconde partie de la crise, celle qui concernait l'ensemble du bassin. Ces canyons seront immédiatement inondés dès le début du Pliocène, se transformant en profondes rias. Les constructions coralliennes appartiennent à la première partie, marginale, de la crise; les canyons relèvent de la seconde partie, profonde, de la crise. L'ambiguïté vieille de plus de 25 ans est enfin levée! Tous les termes de ce nouveau modèle sont illustrés dans les figures 5 et 6. L'avantage de ce nouveau modèle est de démontrer la disjonction chronologique entre des données hautement incompatibles (maintien des conditions marines sur le littoral et creusement de canyons jusqu'aux plaines abyssales). L'imbroglio est enfin démêlé.

On peut affirmer qu'il s'agit bien de l'établissement d'un paradigme car d'autres auteurs étaient parvenus simultanément (travaux présentés lors du Congrès du Néogène méditerranéen de Bucarest, 1995) à des conclusions approchantes (bien que moins approfondies et non calibrées chronologiquement) en utilisant l'outil de la stratigraphie séquentielle (BUTLER et al., 1995). De plus, d'autres spécialistes impliqués depuis longtemps dans ce problème ont immédiatement pris en compte le nouveau modèle (RAKIC-EL BIED & BENSON, 1996) tandis que des confirmations d'ordre chronologique étaient fournies dans le domaine des plate-formes carbonatées (CUNNINGHAM et al., 1997).

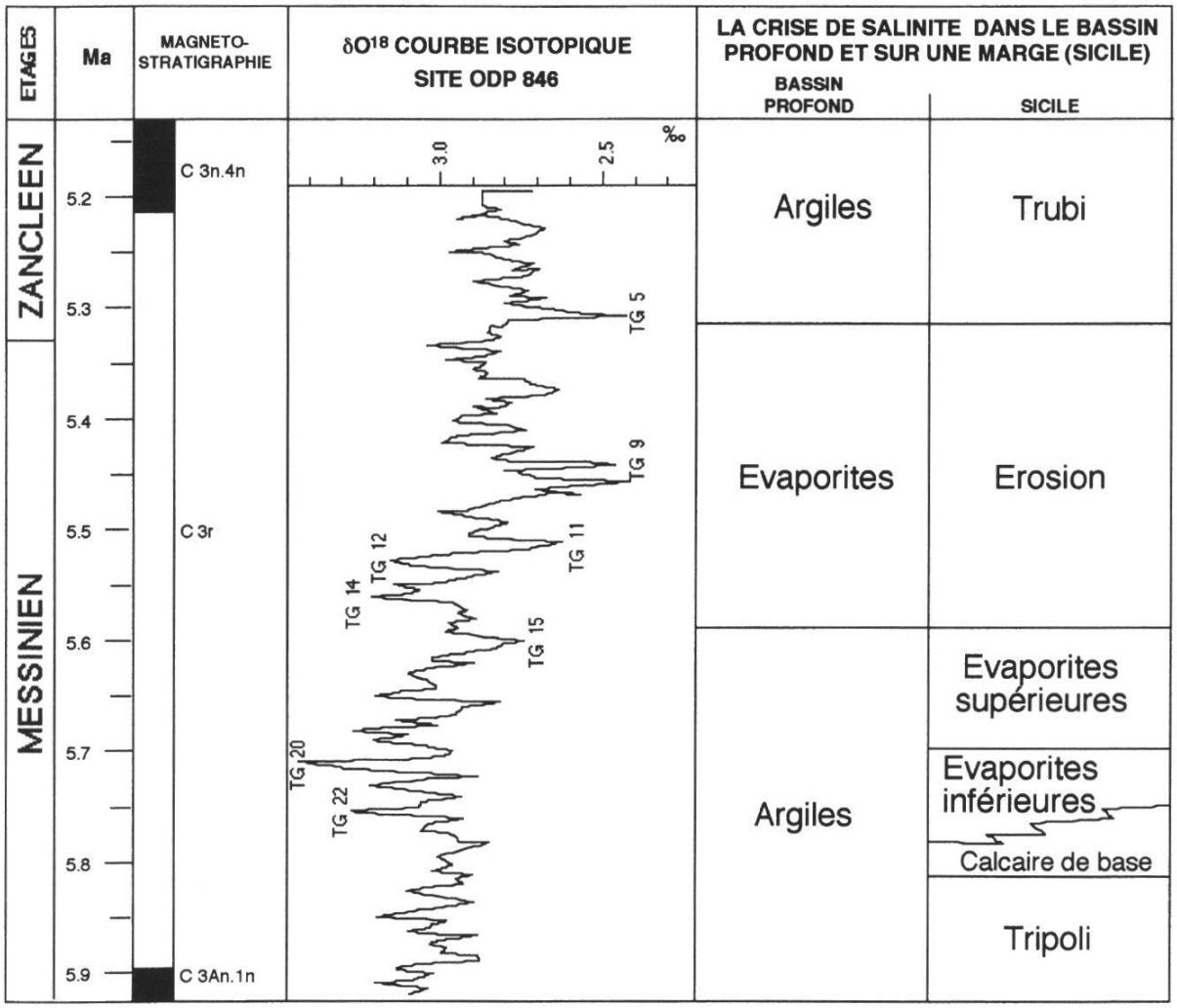


Fig. 5: Le modèle fédérateur de CLAUZON et al. (1996). Evolution différenciée du bassin méditerranéen profond et d'un bassin marginal (Sicile) dans le repérage chronologique fourni par la courbe δO^{18} de SHACKLETON et al. (1995).

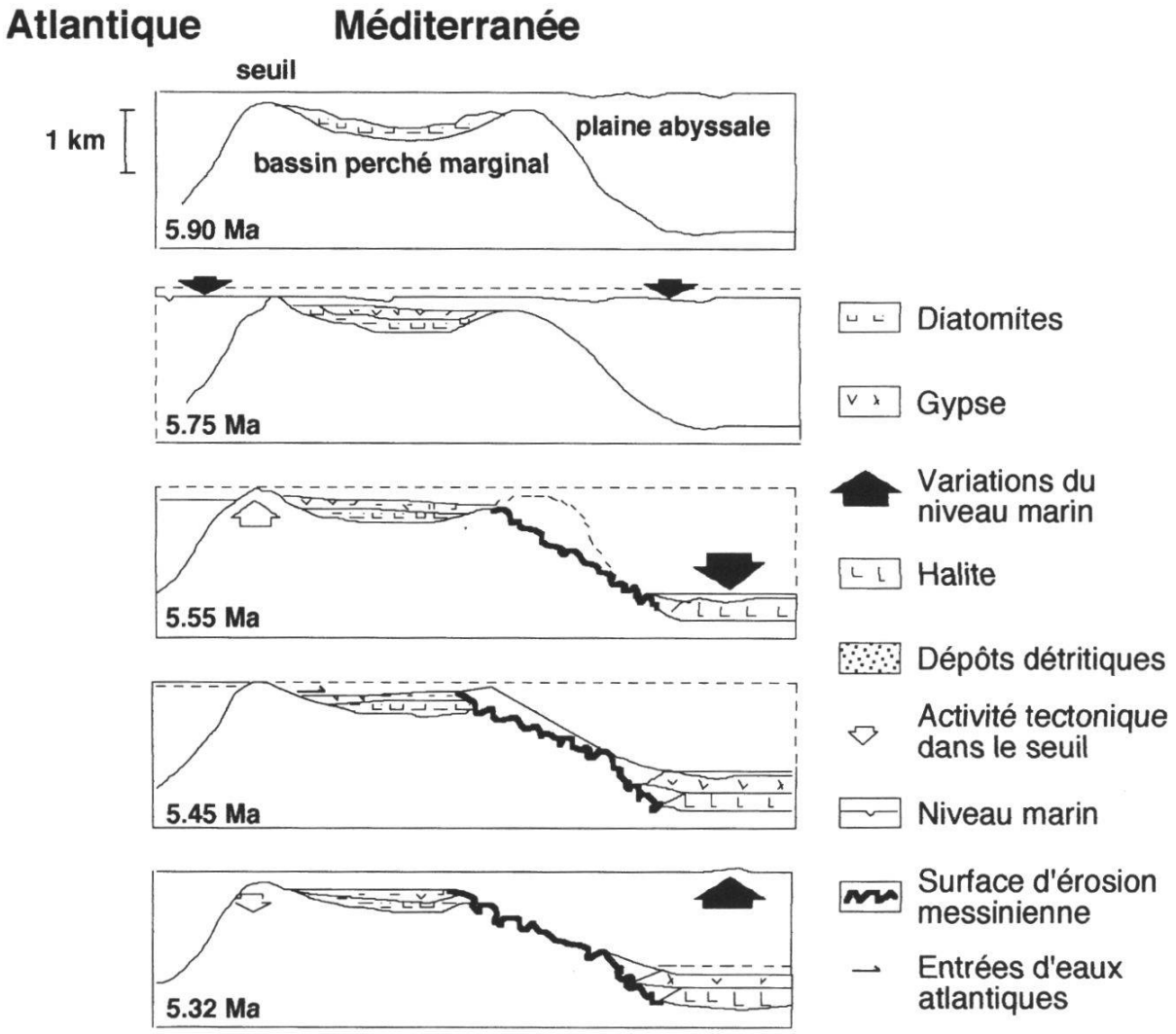


Fig. 6: Les cinq temps majeurs du modèle de CLAUZON et al. (1996).

7. Conclusion

Il n'y eut pas une crise de salinité messinienne, mais deux.

La première affecta seulement les marges méditerranéennes entre 5,8 et 5,6 Ma et a résulté d'une baisse globale du niveau marin; son origine est glacio-eustatique. Les organismes marins (poissons, coraux, plancton, etc.) ont perduré en Méditerranée pendant cet épisode. Tous les effets de cette crise sont actuellement perceptibles sur le pourtour méditerranéen (évaporites, récifs coralliens qui se déplacèrent au gré des fluctuations du niveau marin, etc.).

La seconde concerna l'ensemble du bassin méditerranéen (marges et plaines abyssales) et intervint entre 5,6 et 5,32 Ma. Elle fut causée par la fermeture tectonique quasi totale des corridors qui permettaient les échanges avec l'océan Atlantique. Elle est intervenue alors que le niveau global des océans était élevé, ce qui rendait possible une faible mais constante alimentation en eau du bassin méditerranéen asséché. Les fleuves ont alors creusé de profonds canyons pendant que se déposait le sel dans les

plaines abyssales devenues d'immenses lagunes. L'amplitude de cette crise ne se conçoit qu'à travers l'investigation sismique du bassin et l'intense érosion de ses marges.

Du fait de la situafion des océans à un haut niveau, la Méditerranée s'est remplie «instantanément» dès que les contraintes géophysiques se sont modifiées dans la région du détroit de Gibraltar.

Malgré son côté exceptionnel, cet événement ne fut en rien un accident. Il a toute chance de se reproduire si la compression tectonique venait à s'accentuer en mer d'Alboran. On a toute raison de craindre, compte tenu de l'intensité répétitive des cycles glacio-eustatiques et des faibles dimensions (largeur, profondeur) du détroit de Gibraltar, qu'il s'agisse alors de la fin dramatique de la Méditerranée.

Au plan du comportement d'une communauté scientifique, le cas de la crise de salinité messinienne est exemplaire. En effet, après une découverte extraordinaire (en 1970), la communauté s'est infatigablement appliquée à se déchirer, ce qui a entraîné une certaine stérilité pendant pratiquement 20 années (ceci en dépit d'une très intense production en matière de publications, portant hélas sur beaucoup d'aspects très secondaires). Sur la paralysie née de la polémique est venue se greffer l'erreur, difficilement évitable à l'époque, de l'assimilation du bassin sicilien au bassin méditerranéen profond. Ceci n'a fait qu'augmenter le caractère diabolique de certains aspects de cette «affaire». A présent, une génération est passée et la sérénité revenue semble permettre, enfin, de nouveaux progrès consistants parce que construits sur des démarches analytiques fondamentales qui avaient été plus ou moins oubliées.

8. Résumé - Zusammenfassung - Abstract

Résumé

La découverte prodigieuse des évaporites profondes messiniennes (en 1970) sous le plancher méditerranéen provoqua une vive dispute au sein de la communaute géologique. Les modèles s'affrontaient et aucun ne pouvait résoudre l'antagonisme d'une mer à la fois à sec et remplie d'eau. Après plusieurs années de relative stérilité scientifique, la solution est venue d'une fine approche chronologique montrant le diachronisme d'événements inconciliables. Deux crises de salinité se sont en fait succédées, l'une sur la marge, l'autre dans le bassin profond. La communauté si longtemps divisée adhère à l'édification de ce nouveau paradigme.

Zusammenfassung

Die hochinteressante Entdeckung von Messinischen Evaporiten unter dem Boden des Mittelmeeres im Jahre 1970 verursachte eine sehr große Kontroverse unter den Geologen. Es wurden sich widersprechende Modelle entworfen, die aber die Frage nicht klären konnten, warum das Mittelmeer zur gleichen Zeit ausgetrocknet und wassergefüllt war. Nach einigen Jahren wissenschaftlicher Sterilität wurde kürzlich dank einer akkuraten chronostratigraphischen Untersuchung eine plausible Lösung gefunden. Es wurde gezeigt, daß die widersprüchlichen Ereignisse diachron stattgefunden hatten. Es folgten zwei Versalzungskrisen aufeinander, die erste betraf nur die

Ränder des Mittelmeeres, die zweite das ganze tiefe Mittelmeerbecken. Dieses neue Modell erhielt weitgehende Zustimmung der bisher zerstrittenen Wissenschaftler.

Abstract

The wonderful discovery in 1970 of the deep Mediterranean Messinian evaporites caused a very strong controversy between geologists. Antagonist models were proposed without amy solution to the question: how the Mediterranean Sea could be in the same time desiccated and filled with marine waters? After several years of relative scientific sterility a reliable solution was recently proposed thanks to an accurate chronostratigraphic investigation, showing that the inconsistent events were diachronous. Two successive salinity crises occurred, the first concerned the margins, the second concerned the whole basin including the abyssal plains. This model is destined to receive the largest agreement within a scientific community so long divided.

9. Bibliographie

ALERIA: Le canal de Corse et les bassins nord-tyrrhéniens au Miocène supérieur et terminal (Messinien); leur évolution plio-quaternaire. Géol. Medit. *7*, 5-12 (1980).

BARBER, P.M.: Messinian subaerial erosion of the Proto-Nile delta. Mar. Geol. *44*, 253-272 (1981).

BENSON, R.H., RAKIC-EL BIED, K., & BONADUCE, G.: An important current reversal (influx) in the Rifian corridor (Morocco) at the Tortonian-Messinian boundary: The end of the Tethys ocean. Paleoceanography *6*, 164-192 (1991).

BERTINI, A., LONDEIX, L., MANISCALCO, R., DI STEFANO, A., SUC, J.-P., CLAUZON, G., GAUTIER, F., & GRASSO, M.: Environment deposition of the Salt Member of the Gessoso-Solfifera Formation in Sicily (Messinian) according to new paleobiological records. Micropaleontology (sous presse).

BUTLER, R.W.H., LICKORISH, W.H., GRASSO, M., PEDLEY, H.M., & RAMBERTI, L.: Tectonics and sequence stratigraphy in Messinian basins, Sicily: Constraints on the initiation and termination of the Mediterranean «salinity crisis». Geol. Soc. Amer. Bull. *107*, 425-439 (1995).

CHUMAKOV, I.S.: Pliocene and Pleistocene deposits of the Nile valley in Nubia and upper Egypt. Init. Rep. Deep Sea Drill. Proj. *13*, 1242-1243 (1973).

CLAUZON, G.: The eustatic hypothesis and the pre-Pliocene cutting of the Rhone valley. Init. Rep. Deep Sea Drill. Proj. *13*, 1251-1256 (1973).

-- : The Messinian Var canyon (Provence, Southern France). Paleogeographic implications. Mar. Geol. *27*, 231-246 (1978).

-- : Le canyon messinien de la Durance (Provence, France): une preuve paléogéographique du bassin profond de dessiccation. Palaeogeogr. Palaeoclimatol. Palaeoecol. *29*, 15-40 (1979).

-- : Le canyon messinien du Rhône: une preuve décisive du «desiccated deep-basin model» (Hsü, Cita et Ryan, 1973). Bull. Soc. geol. France *(7) 24*, 597-610 (1982).

– – : Restitution de l'évolution géodynamique néogène du bassin du Roussillon et de l'unité adjacente des Corbières d'après les données écostratigraphiques et paléogéographiques. Paleobiol. cont. *17*, 125-155 (1990).

– – , SUC, J.-P., GAUTIER, F., BERGER, A., & LOUTRE, M.-F.: Alternate interpretation of the Messinian salinity crisis: Controversy resolved? Geology *24*, 363-366 (1996).

COLALONGO, M.L., DI GRANDE, A., D'ONOFRIO, S., GIANELLI, L., IACCARINO, S., MAZZEI, R., ROMEO, M., & SALVATORINI, G.: Stratigraphy of the Late Miocene Italian section stradding the Tortonian-Messinian boundary. Bol. Soc. Paleontol. Ital. *18*, 258-302 (1979).

CORNEE, J.-J., SAINT-MARTIN, J.-P., CONESA, G., & MULLER, J.: Geometry, palaeoenvironments and relative sea-level (accommodation space) changes in the Messinian Murdjadjo carbonate platform (Oran, western Algeria): Consequences. Sedim. Geol. *89*, 143-158 (1994).

CUNNINGHAM, K.J., BENSON, R.H., RAKIC-EL BIED, K., & MCKENNA, L.W.: Eustatic implications of late Miocene depositional sequences in the Melilla Basin, northeastern Morocco. Sedim. Geol. *107*, 147-165 (1997).

DECIMA, A., & WEZEL, F.C.: Late Miocene evaporites of the Central Sicilian Basin, Italy. Init. Rep. Deep Sea Drill. Proj. *13*, 1234-1240 (1973).

DELRIEU, B., ROUCHY, J.-M., & FOUCAULT, A,: La surface d'érosion finimessinienne en Crète centrale (Grèce) et sur le pourtour méditerranéen: Rapports avec la crise de salinité méditerranéenne. C.R. Acad. Sci. Paris *(2) 2*, 527-533 (1993).

GAUTIER, F., CLAUZON, G., SUC, J.-P., CRAVATTE, J., & VIOLANTI, D.: Age et durée de la crise de salinité messinienne. C. R. Acad. Sci. Paris *(2) 318*, 1103-1109 (1994).

GRASSO, M., & PEDLEY, H.M.: The sedimentology and development of Terravecchia Formation carbonates (Upper Miocene) of north central Sicily: Possible eustatic influence on facies development. Sed. Geol. *57*, 131-149 (1988).

HILGEN, F.J., & LANGEREIS, C.G.: A critical re-evaluation of the Miocene/Pliocene boundary as defined in the Mediterranean. Earth Planet. Sci. Lett. *118*, 167-179 (1993).

HODELL, D.A., BENSON, R.H., KENT, D.V., BOERSMA, A., & RAKIC-EL BIED, K.: Magnetostratigraphy, biostratigraphy, and stable isotope stratigraphy in upper Miocene drill core from the Salé Briqieterie (northwestern Morocco): a high resolution chronology for the Messinian Stage. Paleoceanography *9*, 835-855 (1994).

HSÜ, K.J., CITA, M.B., & RYAN, W.B.F.: The origin of the Medterranean evaporites. Init. Rep. Deep Sea Drill. Proj. *13*, 1203-1231 (1973).

IACCARINO, S., & SALVATORINI, G.: A framework of planktonic foraminiferal biostratigraphy for Early Miocene to Late Pliocene Mediterranean area. Paleontol. Stratigr. Evol. *2*, 115-125 (1982).

MONTADERT L., LETOUZEY, J., & MAUFFRET, A.: Messinian event: Seismic evidence. Init. Rep. Deep Sea Drill. Proj. *42*, 1037-1050 (1978).

MONTENAT, C., OTT D'ESTEVOU, P., PLAZIAT, J.-C., & CHAPEL, J.: La signification des faunes marines contemporaines des évaporites messiniennes dans le sud-est de l'Espagne. Conséquences pour l'interprétation des conditions d'isolement de la Méditerranée occidentale. Géol. Médit. *7*, 81-90 (1980).

NESTEROFF, W.D.: Un modèle pour les évaporites messiniennes en Méditerranée, des bassins peu profonds avec des dépôts d'évaporites lagunaires. Init. Rep. Deep Sea Drill. Proj. *13*, 68-81 (1973).

RAKIC-EL BIED, K., & BENSON, R.H.: La stratigraphie à haute résolution: théorie et application au Néogène supérieur du Maroc. Notes Mem. Serv. géol. Maroc *383*, 5-50 (1996).

ROUCHY, J.-M.: Le genèse des évaporites messiniennes de Méditerranée: un bilan. Bull. Centre Rech. Pau-Soc. nat. Elf-Aquitaine (Prod.) *4*, 511-545 (1980).

– – : La crise évaporitique messinienne de Méditerranée: nouvelles propositions pour une interprétation génétique. Bull. Mus. natn. Hist. nat. Paris *(4) 4, C*, 107-136 (1982).

RYAN, W.B.F., CITA, M.B., DREYFUS RAWSON, M., BURCKLE, L.H., & SAITO, T.: A paleomagnetic assignment of Neogene stage boundaries and the development of isochronous datum planes between the Mediterranean, the Pacific and Indian oceans in order to investigate the response of the world ocean to the Mediterranean «salinity crisis». Riv. Ital. Paleont. *80*, 631-688 (1974).

– – , HSÜ, K.J., CITA, M.B., DUMITRICA, P., LORT, J.M., MAING, W., NESTEROFF, W.D., PAUTOT, G., STRADNER, H., & WEZEL, F.C. (édit.): Init. Rep. Deep Sea Drill. Proj. *13*, 1447 p. (1973).

SHACKLETON, N.J., HALL, M.A., & PATE, D.: Pliocene stable isotope stratigraphy of Site 846. Proc. Ocean Drill. Progr. *138*, Sci. res., 337-355 (1995).

SUC, J.-P., & BESSAIS, E.: Pérennité d'un climat thermo-xérique en Sicile avant, pendant, après la crise de salinité messinienne. C. R. Acad. Sci. Paris *(2) 310,* 1701-1707 (1990).

SUC, J.-P., VIOLANTI, D., LONDEIX, L., POUMOT, C., ROBERT, C., CLAUZON, G., GAUTIER, F., TURON, J.-L., FERRIER, J., CHIKHI, H., & CAMBON, G.: Evolution of the Messinian Mediterranean environments: the Tripoli Formation at Capodarso (Sicily, Italy). Rev. Palaeobot. Palyynol. *87*, 51-79.