

Quarante ans de débats autour des évaporites messiniennes de Méditerranée et de la crise qui leur est associée. Un défi scientifique passionnant, mais singulier et déroutant

Jean-Pierre Suc

Sorbonne Université, CNRS-INSU, Institut des Sciences de la Terre Paris,
ISTeP UMR 7193, 75005 Paris, France (jeanpierre.suc@gmail.com).

Résumé. Depuis 1970, lors de la reconnaissance initiale par forage de la partie sommitale des évaporites messiniennes en Méditerranée occidentale, la communauté scientifique débat âprement des causes et processus de dépôt de cette puissante série salifère. La mer Méditerranée s'est-elle subitement asséchée ? Comment ? Cet article retrace d'une part l'historique de la connaissance sur cet événement hors normes dénommé « Crise de salinité messinienne » qui dura à peine plus d'un demi-million d'années, d'autre part l'évolution de l'attitude des géologues devant une quantité inattendue d'informations nouvelles parfois surprenantes voire contradictoires.

Quatre périodes historiques sont ici disséquées :

- celle des indices prémonitoires à partir de la géologie des vallées du Rhône et du Nil ou de la paléontologie sicilienne ;
- de 1970 à 1990, phase d'élaboration des premiers scénarios conceptuels (bassin profond asséché, bassin non profond asséché, ou bassin profond non asséché) et d'enclenchement de la polémique où l'argument de l'érosion fluviale joua un rôle essentiel ;
- de 1991 à 2007, avec des avancées solides en matière de chronologie et de paléogéographie aboutissant à l'élaboration de nouveaux scénarios antagonistes (diachronie ou synchronisme entre évaporites des bassins périphériques et celles des bassins centraux) avec publication d'un état des lieux circonstancié connu comme « consensus » de la Commission Internationale pour l'Exploration scientifique de la mer Méditerranée (CIESM) ;
- de 2008 à 2018, période marquée par de nouveaux progrès amenant une recrudescence des tensions, notamment sur le ré-ennoiement marin du bassin méditerranéen signant la fin de la crise et sur les relations entre Méditerranée et Paratéthys, cette mer saumâtre adjacente dont la mer Noire est le résidu.

Le récit s'achève sur des indices permettant d'espérer de nouveaux progrès déterminants à venir qui permettraient de résoudre cette affaire ô combien énigmatique dans une ambiance dont il faut souhaiter qu'elle retrouve une certaine sérénité.

Mots-clés : évaporites – érosion – Messinien – polémique 1970 - 2018

Abstract. Since 1970, when the upper part of the Messinian evaporites were drilled in the Western Mediterranean, a heated debate has taken place in the geological community about the causes and processes involved in the deposition of these giant salt deposits. Did the Mediterranean Sea suddenly dry up? How such an event did arise? On the one hand, this paper aims to relate the history of knowledge on this outstanding

“Messinian Salinity Crisis” event and, on the other, of the evolution of the geologists' attitude before a wealth of new, surprising or even contradictory information.

Four historical periods are identified:

- that of premonitory signs revealed by geological studies in the Rhône and Nile valleys or by Sicilian paleontology;
- 1970-1990, when the first conceptual scenarios were published (desiccated deep basin, desiccated shallow basin, non-desiccated deep basin) and the controversy started, with special attention paid to fluvial erosion;
- 1991-2007, characterized by robust advances in chronology and paleogeography, resulting in the development of new contrasted scenarios (diachronous or synchronous evaporites in peripheral and central basins) but leading to a hotly discussed state-of-the-art (the so-called CIESM “consensus”);
- 2008-2018, marked by new advances and increasing stresses, particularly about the marine reflooding of the Mediterranean Basin that closed the crisis and the relationships between the Mediterranean and Paratethys, a brackish adjacent sea of which the Black Sea is the modern remnant.

The story ends in providing clues for forthcoming significant progresses in order to solve this so much enigmatic matter, if possible in a dispassionate atmosphere.

Key-words : evaporites – erosion – Messinian – controversy 1970 - 2018

1. Introduction

Retracer le demi-siècle de débats autour des évaporites du Miocène supérieur de Méditerranée revient à relater l'histoire de la Crise de salinité messinienne, tant celle-ci fut placée au centre de cet événement hors norme bien que n'en ayant pas été le seul fait d'importance. Malgré une volonté d'objectivité certaine, ce texte, résultant de vingt années d'observation relayées par près de trente années de participation active au débat, est néanmoins empreint de quelque partialité dont on voudra (peut-être) m'excuser. De même, le nombre de publications concernant cet événement est extrêmement élevé : le lecteur comprendra que je ne puisse citer que celles qui m'ont paru les plus significatives. L'entreprise, enthousiasmante, reste délicate car le débat évolue sans cesse, passant de phases aiguës à des phases de calme relatif voire de consensus, le premier état correspondant assez bien à la situation actuelle. Cette histoire complexe, aux multiples facettes, où se mêlent perceptions prémonitoires, découvertes, questionnements, confirmations et infirmations, a révélé l'attitude parfois surprenante des membres d'une communauté scientifique passionnée et, de ce fait, souvent perturbée et influencée par le poids de l'histoire et des écoles de pensée érigées en chapelles. Néanmoins, il est évident que l'évolution vers la compréhension de tous les aspects de cette crise est liée à ce cheminement en dents de scie, et que bien des avancées ont résulté directement de conditions conflictuelles qui, à ce titre, ne sauraient être regrettées. Cet état fait que tout nouveau venu dans cette communauté, lors d'un congrès par exemple, qu'il soit jeune ou scientifique senior, est immédiatement frappé par une ambiance caractérisée à la fois par un ardent plaisir à se retrouver, probablement pour en découdre intensément sur la base des convictions et des arguments nouveaux acquis entre temps par chacun. Ce modeste texte vise à restituer à travers la présentation historique des faits ce que j'ai vécu d'abord comme spectateur, puis comme acteur ayant voulu s'attaquer aux principaux problèmes.

2. Les perceptions prémonitoires, racines de la polémique

Si l'on veut fixer un début au débat sur la Crise de salinité messinienne, c'est incontestablement le 29 août 1970 lors du *Leg 13 du Deep Sea Drilling Project (DSDP)*, quand le *Glomar Challenger* pénétra pour la première fois dans les évaporites attribuées dès lors au Messinien par la micropaléontologie (Hsü *et al.*, 1973 ; Hsü, 1983).

Toutefois, plusieurs indices laissant supposer une régression importante de la mer Méditerranée étaient publiés depuis longtemps. Le premier à signaler cet événement fut Fontannes (1882) après son étude stratigraphique et paléontologique de la vallée du Rhône, dont on peut rappeler quelques passages significatifs ci-après : « *Les coupes montrent les terrains miocènes couronnés en stratification concordante par une vaste formation d'eau douce, et **profondément ravinés par les dépôts marins du Pliocène**... Un hiatus profond existe entre les faunes miocène et pliocène du bassin du Rhône : un nombre infime d'espèces se rencontrent à la fois dans les dépôts de ces deux périodes, malgré l'analogie des conditions biologiques attestée par la présence des mêmes genres. [...] Il a donc fallu un **événement considérable** pour chasser ou anéantir les espèces miocènes et un autre non moins important pour permettre aux espèces pliocènes de pénétrer dans la ria rhodanienne. [...] Ce double événement ne peut être autre qu'un exhaussement général du sol suivi, après une longue période, d'un affaissement de moindre amplitude* » (p. 141). Sur la même voie, Delafond et Depéret (1894) mirent l'accent sur l'emboîtement des dépôts pliocènes dans les dépôts miocènes suite à une forte érosion (Fig. 1) : « *Il y a donc eu dans la vallée du Rhône, aux environs de Vienne, après le dépôt du Miocène, un creusement d'au moins 200 mètres [valeur assurément très inférieure à la réalité]. [...] Notre travail montre, en tout cas, **combien est grande l'amplitude des phénomènes de ravinement et d'érosion qui se sont accomplis entre le Miocène supérieur et le Pliocène**, et combien peut être étendue la lacune qui existe dans la région entre les dépôts du Miocène et les dépôts du Pliocène* » (p. 69). Cependant, ces trois auteurs recherchaient la cause de l'érosion dans la surrection alpine.

C'est avant ce ravinement qu'il convient de situer les « *cailloux basaltiques roulés* » signalés par Gui de Mortessagnes Dauterac (1782) perchés sur les hauteurs dominant le Rhône au sud de Montélimar, ceci en relation avec le réseau hydrographique mis en évidence sous les coulées des Coirons par Naud et Suc (1975) comme l'ont décrypté Mergoil et Mergoil-Daniel (2012).

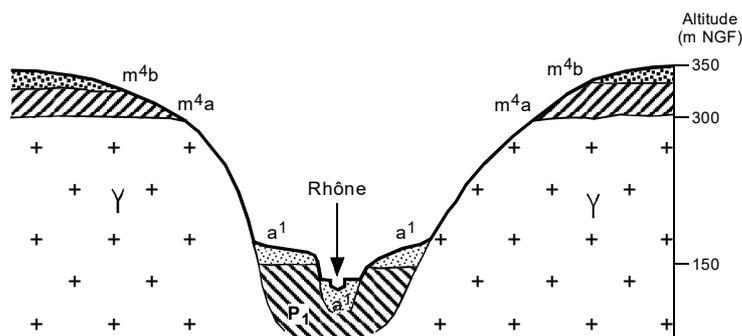


Fig. 1. Coupe de la vallée du Rhône à la latitude de Vienne, redessinée conformément à la figure 14 de Delafond et Depéret (1894)
Y, Granite ; m⁴a, Miocène sableux et marneux ; m⁴b, Miocène caillouteux ; P₁, Pliocène marin ; a¹, Quaternaire

Denizot (1952) reprit l'idée de l'emboîtement du Pliocène dans le Miocène sur la foi d'observations et de forages sur toute la longueur de la vallée du Rhône. Il ne rapporta pas cette anomalie à la tectonique mais à l'effondrement du niveau de base méditerranéen, comme l'atteste son texte de la page 331 : « *A la limite du Miocène et du Pliocène, et cela définit cette limite mieux que par d'assez rares éléments fauniques, il s'est produit dans l'Europe occidentale et l'Afrique du Nord **une grande régression marine**, portant les rivages très en dessous des positions actuelles. En outre, la Méditerranée s'est isolée.* » Peut-être cette dernière remarque a-t-elle été dictée par les résultats des travaux de Gentil (1918) sur l'arc de Gibraltar à propos duquel il écrivait page 729 : « *La communication entre l'océan Atlantique et la Méditerranée est donc établie, aussi bien en Espagne qu'au Maroc, par la transgression burdigalienne, qui atteignait son maximum au Tortonien. Puis, le retrait de la mer sahélienne, dans le détroit Sud-Rifain comme dans le détroit Nord-Bétique, indiquait la régression de la mer miocène, correspondant à la **fermeture simultanée des deux détroits.*** » Cette hypothèse fut soutenue par Beaufort *et al.* (1954) qui étudièrent les forages de Camargue tout en postulant par erreur que les canyons qui aujourd'hui entaillent le plateau continental du golfe du lion étaient les témoignages de la morphologie de la fin du Miocène. Cependant, Bonnet et Duboul-Razavet (1952), tout en confirmant la phase d'érosion, avaient attribué la paléogéographie contrastée qui en était héritée à une période antérieure (p. 129) : « *On conclut que le cycle sédimentaire pliocène est caractérisé par une transgression marine brutale, **noyant un relief accentué**, établissant une mer assez profonde et stable dans des bassins d'effondrement préparés dès l'Oligocène, **rajeunis par subsidence jusqu'au Miocène terminal.*** » On mesure ainsi combien, en 1970, les géologues français étaient partagés et n'étaient pas prêts à accepter dans leur très grande majorité la dessiccation de la Méditerranée alors que cette école favorisait l'impact de la tectonique suite à l'hypothèse de la « *flexure continentale* » de Bourcart (1950), qui aurait entraîné par exondation la formation des canyons découpant les marges actuelles de la Méditerranée occidentale (Cornet, 1968). Chumakov (1967) évoqua l'effondrement du niveau méditerranéen à la fin du Miocène en interprétant les forages d'implantation du barrage d'Assouan sur le Nil, ce qui lui valut quelques déboires avant d'être loué lorsque les résultats du Leg 13 furent connus.

L'isolement momentané du bassin méditerranéen fut également évoqué par Ruggieri (1967) qui écrivait page 286 à partir de ses travaux paléontologiques : « *Towards the **end of the Miocene, communications with the Atlantic Ocean ceased completely, and the Mediterranean was transformed into a series of lagoons, which either dried up, or became gradually desalinified, as the present day Caspian.** [...] It is possible that the marine Miocene fauna was able to survive in some parts of the Mediterranean, but it seems much more likely that it was totally destroyed by the adverse environmental conditions. [...] The tectonic deformation of the Betic-Rif massif continued until eventually the Straits of Gibraltar opened, and the waters of the Atlantic Ocean poured anew into the Mediterranean, destroying the *Melanopsis* fauna and reestablishing truly marine conditions.* » Il s'agissait des biofaciès saumâtres méditerranéens à congéries (*Dreissenidae*, bivalves) et *Melanopsis*

(Melanopsidae, gastéropodes), initialement dénommés « *Lac-Mer* » par Gignoux (1936) à partir de la littérature russe, puis appelés « *Lago-Mare* » par Ruggieri (1962).

3. Le bond en avant grâce au *Leg 13* du *DSDP* : ampleur de la polémique (1970-1990)

La présence d'évaporites sous le bassin ouest-méditerranéen était connue avant le *Leg 13* du *Deep Sea Drilling Project (DSDP)* (Hersey, 1965 ; Menard *et al.*, 1965 ; Alinat *et al.*, 1966 ; Glangeaud, 1966 ; Glangeaud *et al.*, 1966 ; Leenhardt, 1968 ; Mauffret, 1969 ; Leenhardt *et al.*, 1970). La réalisation de ce leg fut décidée suite à la thèse de William B. F. Ryan (1969). Mais on spéculait sur l'âge de ces évaporites : Trias (Glangeaud, 1966 ; Glangeaud *et al.*, 1966), Oligocène (Mauffret, 1969), Miocène indifférencié (Montadert *et al.*, 1970), Miocène terminal ou « Pontien » (Cornet, 1968).

Deux résultats majeurs des forages du *Leg 13* firent immédiatement consensus : **la présence d'évaporites incluant de la halite était confirmée et leur âge messinien établi par les foraminifères planctoniques**. Ces organismes plaident par ailleurs pour un bassin méditerranéen profond avant et après le dépôt des évaporites, ce qui n'empêcha pas deux modèles antagonistes de voir le jour pendant la mission océanographique puis dans la publication qui suivit : **le bassin profond asséché** (*shallow-water – deep-basin* : Hsü *et al.*, 1973) **s'opposant au bassin non profond asséché** (*shallow-water – shallow-basin* : Nesteroff, 1973) (Fig. 2). La polémique sur la Crise de salinité messinienne était dès lors enclenchée. Au retour de la campagne en mer, une publication dans *Nature Physical Science* est venue envenimer l'atmosphère (Auzende *et al.*, 1971) : cet article, soumis le 1^{er} décembre 1970, peu après la fin du *Leg 13* (18 août – 2 octobre 1970), affirme l'âge miocène supérieur du sel sans aucun élément de datation. Un de ses co-auteurs ayant participé au *Leg 13* (Guy Pautot) pendant lequel la micropaléontologie a attribué les évaporites au Messinien, l'article en question fut considéré comme un coup bas par certains des protagonistes du débat.

L'engrenage polémique prit une tournure publique pendant le 5^{ème} Congrès de stratigraphie du Néogène méditerranéen du *R.C.M.N.S. (Regional Committee on Mediterranean Neogene Stratigraphy)* à Lyon où, le 9 septembre 1971, Maria Bianca Cita fut invitée à donner une présentation impromptue des résultats du *Leg 13* qu'elle acheva par la phrase suivante : « *Si notre hypothèse est exacte, les fleuves comme le Rhône doivent avoir creusé de profondes vallées à la recherche du niveau de base méditerranéen.* » À l'audition de cette hypothèse, le débat s'enflamma dans l'amphithéâtre Depéret, les plus nombreux conduits par Paul Dubois (Directeur de l'exploration d'Elf-Aquitaine) prétendant que la position du Pliocène en vallée du Rhône résultait d'une structure en graben, quelques autres guidés par Georges Clauzon soutenant l'idée d'un creusement fluvial messinien jusqu'à Lyon.

Le premier des séminaires sur le Messinien, tenu à Utrecht, permit la présentation d'un troisième modèle de la Crise de salinité messinienne (Fig. 2) : **le bassin profond non asséché** (Selli, 1973). Puis, au gré des séminaires sur le Messinien et des congrès du *R.C.M.N.S.*, des variantes de

ces trois modèles ont pu être publiés (par exemple : Busson, 1979 ; Sonnenfeld, 1980 ; Jauzein, 1984) pendant que se développait la discussion autour de leurs avantages et inconvénients. On remarquera que **seul le modèle du bassin profond asséché** (Hsü *et al.*, 1973) **s'accorde avec la présence des canyons fluviaux remontant loin dans les terres**. L'argument de rejet qui, depuis, a été constamment avancé contre ce modèle réside dans la recherche d'une non-simultanéité du creusement fluvial et du dépôt des évaporites dans les bassins centraux. La phase d'assèchement fut invoquée pour les échanges de mammifères du nord au sud et vice versa (Azzaroli et Guazzone, 1979-1980).

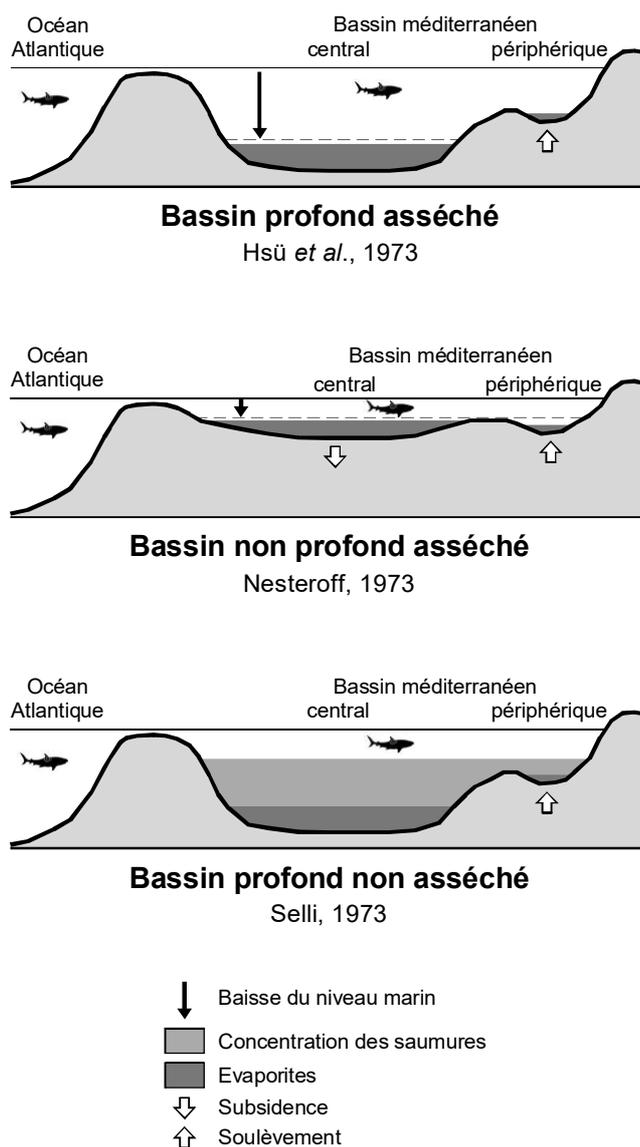


Fig. 2. Les premiers modèles explicatifs de la Crise de salinité messinienne

La période 1973-1991 a connu la plus grande vigueur dans la polémique, une énergie optimale étant dépensée pour critiquer, voire vilipender, le (ou les) modèle(s) adverse(s). Beaucoup de temps a ainsi été perdu pour faire avancer des questions essentielles et, malgré un foisonnement de publications de portée souvent secondaire, il était dans les années 1980 extrêmement difficile pour un

jeune chercheur de se lancer sur cette question, c'est-à-dire d'absorber l'abondante littérature au sein de laquelle le tri s'avérait très délicat et de s'efforcer de naviguer dans cet océan de disputes.

Néanmoins, des progrès essentiels ont pu être atteints dans un calme (éditorial) relatif : ils ont concerné la biostratigraphie, les évaporites, l'érosion et le climat.

Un premier effort a porté sur la **définition biostratigraphique de l'étage Messinien et de sa limite avec le Zancléen** (Pliocène inférieur) **à partir des foraminifères planctoniques et des nannofossiles calcaires** trouvés dans les coupes stratotypiques de Sicile (Cita *et al.*, 1973 ; Colalongo *et al.*, 1979). Simultanément, les études paléobiologiques et biostratigraphiques se développaient sur les forages en mer (par exemple : Benson, 1973, 1978 ; Bukry, 1973 ; Cita, 1973 ; Gartner, 1973 ; Cita *et al.*, 1978a, b ; Glaçon *et al.*, 1990 ; Müller, 1978, 1990). Précédemment à cette définition biostratigraphique, la communauté s'était déterminée sur un étage Messinien au détriment d'un étage atlantique, l'Andalousien proposé par Perconig (1974a, b) et Berggren et Haq (1976).

Le second effort porta sur les évaporites qui avaient déjà été décrites en Sicile (carbonate, dolomie, gypse, halite, anhydrite, sels de potassium et magnésium : Ogniben, 1957 ; Decima et Wezel, 1971 ; Hardie et Eugster, 1971 ; Schreiber, 1973 ; Longinelli, 1979-1980 ; Fig. 3) ou à Sorbas en Espagne du Sud-Est (Dronkert, 1976 ; Longinelli, 1979-1980 ; Montenat *et al.*, 1980), préludes aux études exhaustives, sédimentologique de Jean-Marie Rouchy (1976, 1982) et géochimique avec le concours de Catherine Pierre (Fontes *et al.*, 1973 ; Pierre et Catalano, 1976 ; Rouchy et Pierre, 1979), qui scellèrent l'origine marine des diverses évaporites avec des épisodes de dilution par les eaux continentales. L'étude des évaporites forées dans les puits *DSDP – ODP* déboucha sur des conclusions identiques, même s'il ne s'agissait que de la partie tout à fait sommitale de la série évaporitique des bassins méditerranéens centraux, carottée avec peu de récupération sur quelques mètres seulement (Hsü *et al.*, 1973 ; Nesteroff, 1973 ; Schreiber, 1973 ; Garrison *et al.*, 1978 ; Kuehn *et al.*, 1978), à la différence de la mer Tyrrhénienne où elle fut récupérée sur une épaisseur supérieure (Pierre et Rouchy, 1990). À l'issue de ces travaux, **un confinement plus ou moins intense comme milieu de dépôt des évaporites apparaissait évident, mais la question du rôle du climat restait alors entière** (Rouchy, 1989).

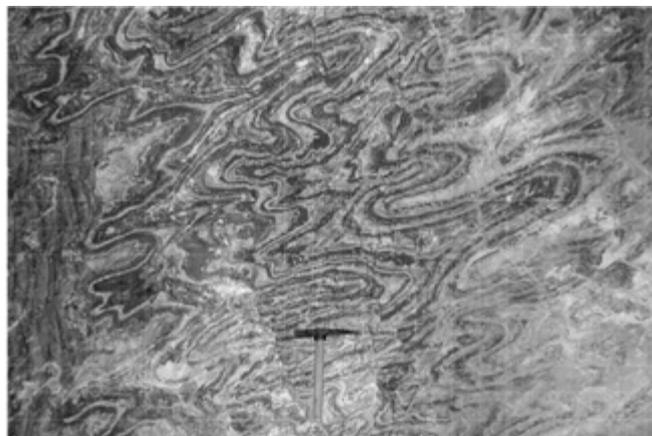


Fig. 3. Faciès salifères dans la mine exploitant le diapir de Realmonte (Sicile) (photographie J.-P. Suc)

Suite Ku *Leg 13* et à sa confirmation par le *Leg 42*, la chasse à la Surface d'érosion (ou discordance de ravinement) messinienne était ouverte à terre comme en mer (Fig. 4). C'est Georges Clauzon qui s'y employa avec le plus d'ardeur, s'efforçant notamment de dater son mur et son toit autant que possible, ce qui déboucha sur plusieurs publications remarquables (Clauzon, 1978, 1979-1980, 1982, 1990 ; Clauzon *et al.*, 1989). Même les détracteurs des interprétations découlant de ces travaux apportèrent leur contribution à la généralisation de la Surface d'érosion messinienne tout autour du bassin méditerranéen (Rouchy *et al.*, 1980 ; Montenat *et al.*, 1990 ; Delrieu *et al.*, 1993). **L'érosion messinienne était consacrée comme un des éléments constitutifs essentiels de la Crise de salinité.** Cette érosion fut aussi illustrée par la publication de Ryan et Cita (1978) où furent montrés les premiers profils l'illustrant en domaine marin et montrant aussi sa relation avec les évaporites des bassins centraux. Partant, d'une part de la différence morphologique entre lacs méridionaux et septentrionaux des Alpes italo-helvétiques, d'autre part de l'érosion messinienne reconnue par l'investigation pétrolière sous la plaine du Pô (profils sismiques, nombreux forages : Rizzini et Dondi, 1978), il a été proposé que les lacs italiens (Majeur, Lugano, Côme, Iseo, Garde) résultaient du creusement de canyons messiniens par les rivières qui les alimentaient (Bini *et al.*, 1978 ; Cita et Corselli, 1990). Cette hypothèse, étayée par des arguments géologiques et géomorphologiques, s'accorde avec l'observation des canyons messiniens remontant très loin le cours des deux grands fleuves méditerranéens : quelque 900 km pour le Nil (Chumakov, 1967, 1973), 260 km au moins pour le Rhône (Clauzon, 1973, 1982). Ainsi, les canyons messiniens des grands fleuves et les creusements de moindre ampleur sous la plaine du Pô (Rizzini et Dondi, 1978) ou en Lybie (Barr et Walker, 1973) illustraient-ils dès les années 1970 l'amplitude géographique de l'érosion intimement liée à la Crise de salinité.

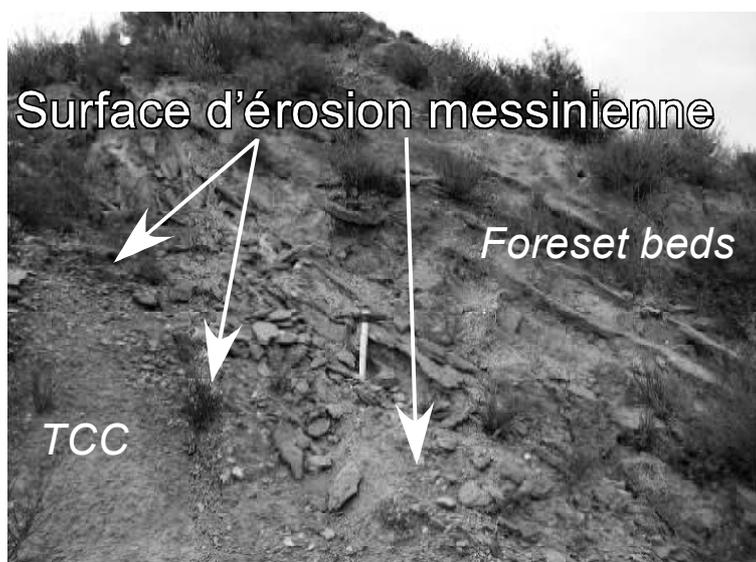


Fig. 4. *Foreset beds* du Pliocène Gilbert delta de la Cuesta de Cariatiz (bassin de Sorbas, Espagne méridionale) surmontant par discordance de ravinement les dépôts du *Terminal Carbonate Complex* (TCC) messinien (photographie J.-P. Suc)

Les investigations sismiques traquant la Surface d'érosion messinienne en mer n'en étaient qu'à leurs débuts mais déjà quelques images démonstratives étaient publiées par Genesseeux et Lefebvre (1980) pour le golfe du Lion, Savoye et Piper (1991) au large de Nice, Aleria (1980) pour la partie ouest de la mer Tyrrhénienne, Barber (1980) pour le delta du Nil. L'article de Savoye et Piper (1991) fut le premier à envisager les relations entre les évaporites en profondeur et l'érosion messinienne et les dépôts détritiques associés. Ce travail s'appuyait également sur des plongées sous-marines à bord de la *Cyana* qui avait déjà opéré au large de Saint-Tropez (Groupe Estocade, 1978) : **les conglomérats sus-jacents à la Surface d'érosion messinienne observés à plus de 2000 m de bathymétrie sont constitués de galets roulés avec une gangue rubéfiée, ce qui atteste leur dépôt subaérien.**

L'annonce par Montenat *et al.* (1976) de l'existence à Vera (Espagne méridionale) d'une coupe censée montrer le passage continu entre Messinien et Zancéen en milieu marin secoua considérablement le microcosme des « messiniologues ». La tenue d'un colloque international à Malaga l'année suivante avec une excursion dans le bassin de Vera donna lieu à des études dont les résultats remirent complètement en cause la notion de passage continu (Cita *et al.*, 1980 ; Clauzon, 1980 ; Geerlings *et al.*, 1980). Il fut démontré que la discordance de ravinement messinienne affectait seulement les bordures du bassin alors que sa partie centrale semblait avoir connu une sédimentation continue. Dans la coupe de Cuevas del Almanzora, dite du passage continu, la lacune était toutefois matérialisée par un conglomérat épais de 20 cm (Bernet Rollande *et al.*, 1979 ; Fortuin *et al.*, 1995) qui demeure observable (Popescu *et al.*, 2015). Cet épisode fut la dernière tentative, malheureuse, de discrédit de la Surface d'érosion messinienne.

Le caractère progradant du remblaiement sédimentaire zancéen dans le sud de la France avait été établi pour le Rhône (Yapaudjian, 1972) et le Roussillon (Suc, 1976 ; Cravatte *et al.*, 1982 ; Clauzon *et al.*, 1987a) mais les stratigraphes restaient indécis devant certains appareils sédimentaires énigmatiques (Clauzon *et al.*, 1987b). C'est lors de l'excursion internationale du *R.C.M.N.S.* en septembre 1987 que Jean-Loup Rubino révéla à Georges Clauzon que ces appareils sédimentaires étaient des Gilbert deltas avec les spécificités qui leur incombent, brièvement résumées ci-après. Clauzon (1990) a très bien décrit ces appareils et a exploité tout leur sens (Fig. 5) :

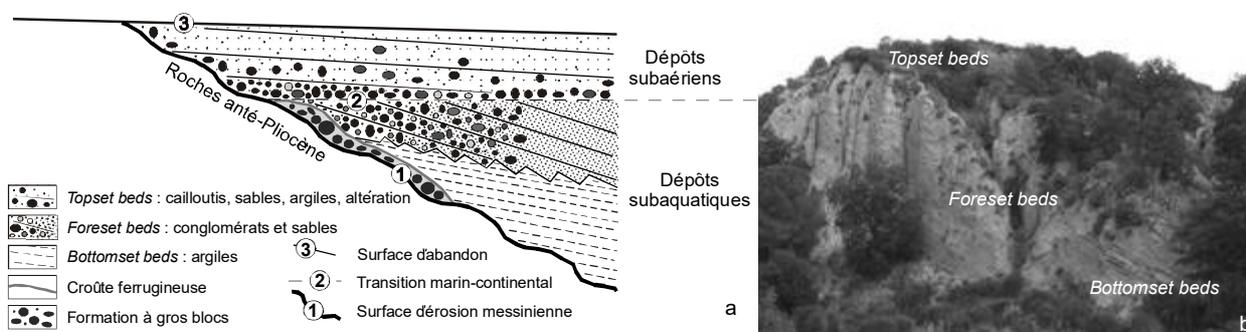


Fig. 5. Gilbert deltas zancéens du domaine méditerranéen
a, schéma organisationnel ; b, appareil des Estagnols, Néfiach (Roussillon) (photographie J.-P. Suc)

- trois surfaces les délimitent : la Surface d'érosion messinienne, isochrone, au mur ; la transition marin-continental, asynchrone, séparant les *bottomset beds* et *foreset beds* (marins) des *topset beds* (continentaux) ; la surface d'abandon, sommitale, isochrone, marquant la fin de l'aggradation de l'appareil lors des premiers refroidissements climatiques (début du creusement des vallées modernes) ;
- leurs caractères grossier et progradant soulignent l'instantanéité du ré-ennoiment marin qui mit fin à la Crise de salinité messinienne ;
- les paramètres altimétriques des trois surfaces et leur datation respective permettent d'apprécier la part qui revient à la néotectonique dans la morphologie de ces objets.

Il s'agit ici du dernier fait marquant de la fin de la décennie car les **Gilbert deltas, témoins de la soudaineté du retour de la mer** dans les anciennes vallées fluviales, allaient désormais être répertoriés en nombre au-dessus de la Surface d'érosion messinienne **dans la partie proximale des rias zancléennes tout autour du bassin méditerranéen.**

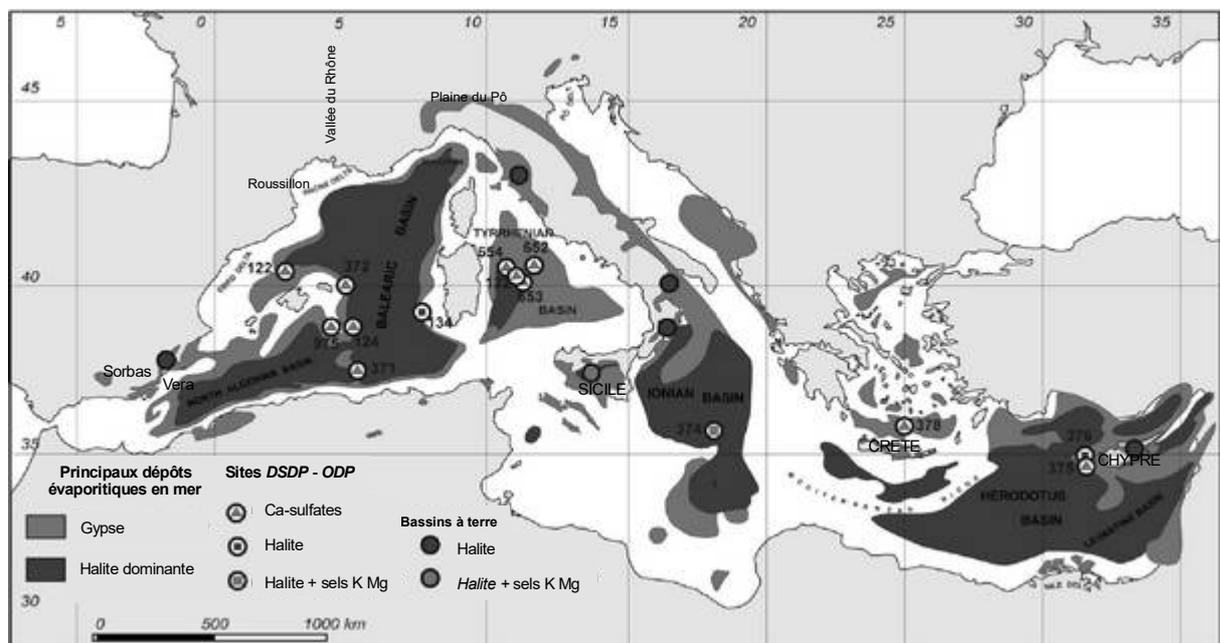


Fig. 6. Cartographie des évaporites messiniennes (complétée d'après Rouchy, 1982)

L'influence du climat, non étudiée systématiquement, faisait l'objet de spéculations cherchant à corréler les évaporites messiniennes (Fig. 6) avec les glaciations antarctiques et les baisses corrélatives du niveau océanique (Adams *et al.*, 1977 ; Van Gorsel et Troelstra, 1980 ; Müller et Hsü, 1987) localisées dans l'époque paléomagnétique 5 avec un possible commencement dans l'époque paléomagnétique 6 (Berggren, 1973 ; Cita et Ryan, 1973 ; Ryan *et al.*, 1974 ; Wright, 1979), ou avec parfois un débordement net dans l'époque paléomagnétique Gilbert (Van Couvering *et al.*, 1976 ; Müller et Hsü, 1987) (Fig. 7). Les études paléobotaniques étaient peu concluantes, les macroflores étant trop espacées dans le temps, les flores polliniques à un niveau botanique insuffisant (voir une synthèse dans : Heimann, 1979). La première investigation pollinique avec des informations concrètes sur le climat avant, pendant et après la Crise de salinité messinienne fut publiée par Suc et Bessais (1990) qui, à partir des coupes de référence siciliennes, montrèrent qu'il **n'y avait pas eu de**

modification du climat à l'origine de la phase évaporitique. Le climat de Méditerranée centrale était chaud et sec avant la crise, ce qui veut dire que la Méditerranée était climatiquement prédisposée à la dessiccation comme elle l'est toujours actuellement.

Ce dernier travail nous ramène à la Sicile, à propos de laquelle il faut dire qu'à la fin des années 1980 régnait un consensus pour voir dans sa série salifère l'équivalent des évaporites aujourd'hui enfouies sous les bassins profonds méditerranéens. Cela s'explique d'une part par la similitude présumée des faciès et, de l'autre, par l'analogie des épaisseurs des dépôts évaporitiques. **La série salifère de Sicile était donc considérée comme une portion des bassins profonds, émergée suite au soulèvement tectonique, et devait être distinguée des bassins périphériques** comme ceux de Sorbas ou de la plaine du Pô (Catalano *et al.*, 1975). La carte de Rouchy (1982) est le document qui convient le mieux pour illustrer les connaissances dans les années 1980 (Fig. 6). Alimentant la confusion, Georges Busson (1990) publiait une synthèse pour réhabiliter son scénario (Busson, 1979) mais elle ne reçut que peu d'écho.

Un dernier commentaire concerne la Paratéthys, ce bassin d'eaux saumâtres adjacent à la Méditerranée, ne comprenant plus au moment de la Crise messinienne que sa partie orientale, c'est-à-dire les bassins dacique (sud des Carpates méridionales) et euxinique (mer Noire) épisodiquement relié à la mer Caspienne. Le *Leg 42* fut consacré en partie à la mer Noire où les effets de la Crise messinienne commençaient à être recherchés (Hsü et Giovanoli, 1979-1980). Le domaine méditerranéen fut envahi par des organismes saumâtres paratéthysiens. Cet épisode, connu sous le terme *Lago Mare*, a déjà été évoqué au début de cet article. Une première synthèse de cet événement, classiquement placé à la fin de la phase évaporitique, a été publiée par Cita et Colombo (1979). Défini sur la seule base des faunes de mollusques (*Congerina*, *Dreissena*, *Limnocardium*, *Melanopsis*, etc.) et d'ostracodes (*Cyprideis*, *Loxoconcha*, *Amnicythere*, etc.), on le savait également caractérisé par des poissons (Gaudant et Ott d'Estevou, 1985). Ainsi Hsü *et al.* (1977) et Cita *et al.* (1978b) avaient proposé un **déversement des eaux paratéthysiennes dans la Méditerranée asséchée via un drainage** (en partie karstique) **au sein des Balkans** (par Niš, Skopje et le lac Ohrid : voir figure 3 de Hsü *et al.*, 1973).

4. Les progrès survenus entre 1991 et 2007 : chronologie et distinction des événements

Deux avancées nouvelles hors Méditerranée, mais déterminantes, ont marqué le début des années 1990 :

- l'étude biostratigraphique (foraminifères planctoniques et nannofossiles calcaires) détaillée de coupes atlantiques aux environs de Rabat, au Maroc, **aboutissant, en domaine marin à sédimentation continue** (c'est-à-dire soustrait à la Crise de salinité messinienne), **à l'étalonnage magnétostratigraphique de plusieurs événements paléobiologiques** (apparitions, disparitions, changements morphologiques) (Benson et Rakic-El Bied, 1991a, b) ; il est dommage que ce travail ait débouché sur une réinterprétation erronée de la série de Vera (Benson et Rakic-El Bied, 1991c)

en raison d'une interprétation malheureuse du paléomagnétisme ; mais surtout, en raison de quelques imperfections, il ne permit pas la révision de la limite Miocène-Pliocène à laquelle il pouvait prétendre (Suc *et al.*, 1997) ; cette biostratigraphie sera précisée par Sierro *et al.* (1993) ;

- l'élaboration d'une nouvelle échelle paléomagnétique dotée d'une chronologie affinée (Cande et Kent, 1992, 1995).

Le moment était venu de réaliser la magnétostratigraphie des séries méditerranéennes de référence allant du Tortonien supérieur au Pliocène inférieur, c'est-à-dire à travers l'intégralité des séries messiniennes. Georges Clauzon et moi-même confiâmes cette tâche inédite à François Gautier avec la mission de mesurer le paléomagnétisme du bassin marginal de Sorbas et de le comparer à celui du bassin supposé profond de Caltanissetta (Sicile). La publication de Gautier *et al.* (1994) souleva un tollé général : d'une part, **la Crise de salinité messinienne**, que chacun attendait dans l'époque paléomagnétique 5 (désormais appelé C3A par Cande et Kent, 1992, 1995), **débutait effectivement dans l'époque Gilbert rebaptisée depuis C3** (Fig. 7) ; d'autre part, résultat tout aussi inattendu, **la crise de salinité commençait simultanément dans les deux bassins**. De plus, étant donné que Grasso et Pedley (1988) avaient mis en évidence sur la bordure du bassin sicilien des récifs coralliens au sein des argiles immédiatement antérieures aux premières évaporites, son statut de bassin profond se trouvait remis en question.

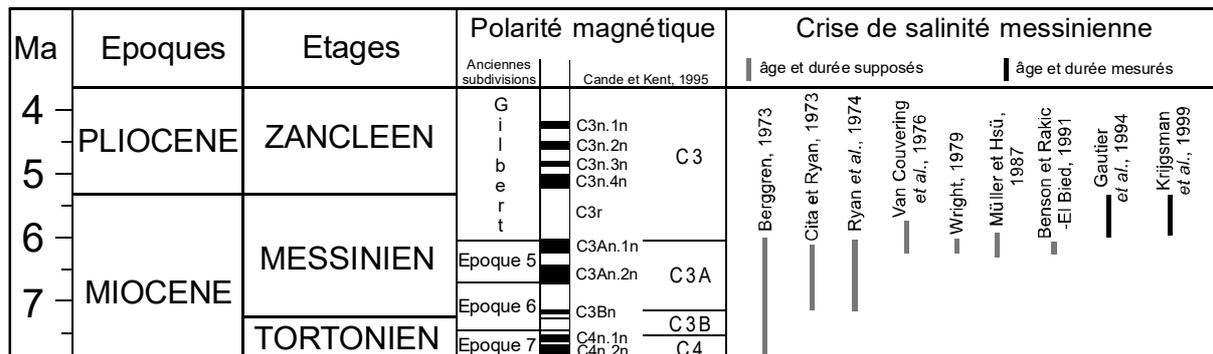


Fig. 7. Âge et durée de la Crise de salinité messinienne

Il fallait en conclure que **le bassin sicilien était lui aussi un bassin marginal** (Fig. 8) avec probablement une bathymétrie quelque peu supérieure à celui de Sorbas : seules les variations du niveau marin pouvaient en effet être la cause de deux faciès littoraux successifs (récifs, évaporites) séparés par des argiles marines déposées sous une tranche d'eau plus grande. Il était dès lors évident que la magnétostratigraphie ne pourrait plus apporter son concours à la résolution de l'énigme messinienne car l'intégralité des événements était survenue pendant la longue époque inverse C3r de la période Gilbert (Fig. 7).

Deux nouveaux scénarios de la crise furent publiés presque simultanément en ayant eu comme points communs la diachronie et la différence de statut entre le bassin sicilien et les bassins profonds (Fig. 9 ; Butler *et al.*, 1995 ; Clauzon *et al.*, 1996). Ils définissaient **deux temps de la crise, un stade**

marginal et un stade profond, mais se distinguaient par la position des Evaporites supérieures siciliennes (Fig. 8), après la phase profonde de dessiccation pour Butler *et al.* (1995), l'intégralité de la phase marginale (incluant les Évaporites supérieures de Sicile) précédant la phase profonde de dessiccation pour Clauzon *et al.* (1996) (Fig. 9).

C'est aussi un scénario en deux temps que proposait Riding *et al.* (1998), un temps marginal antérieur au temps profond, mais avec localisation de la Surface d'érosion messinienne sous les évaporites marginales de Sorbas (Fig. 9). Les détracteurs n'ont pas tardé à démanteler minutieusement cette idée saugrenue (Fortuin *et al.*, 2000).

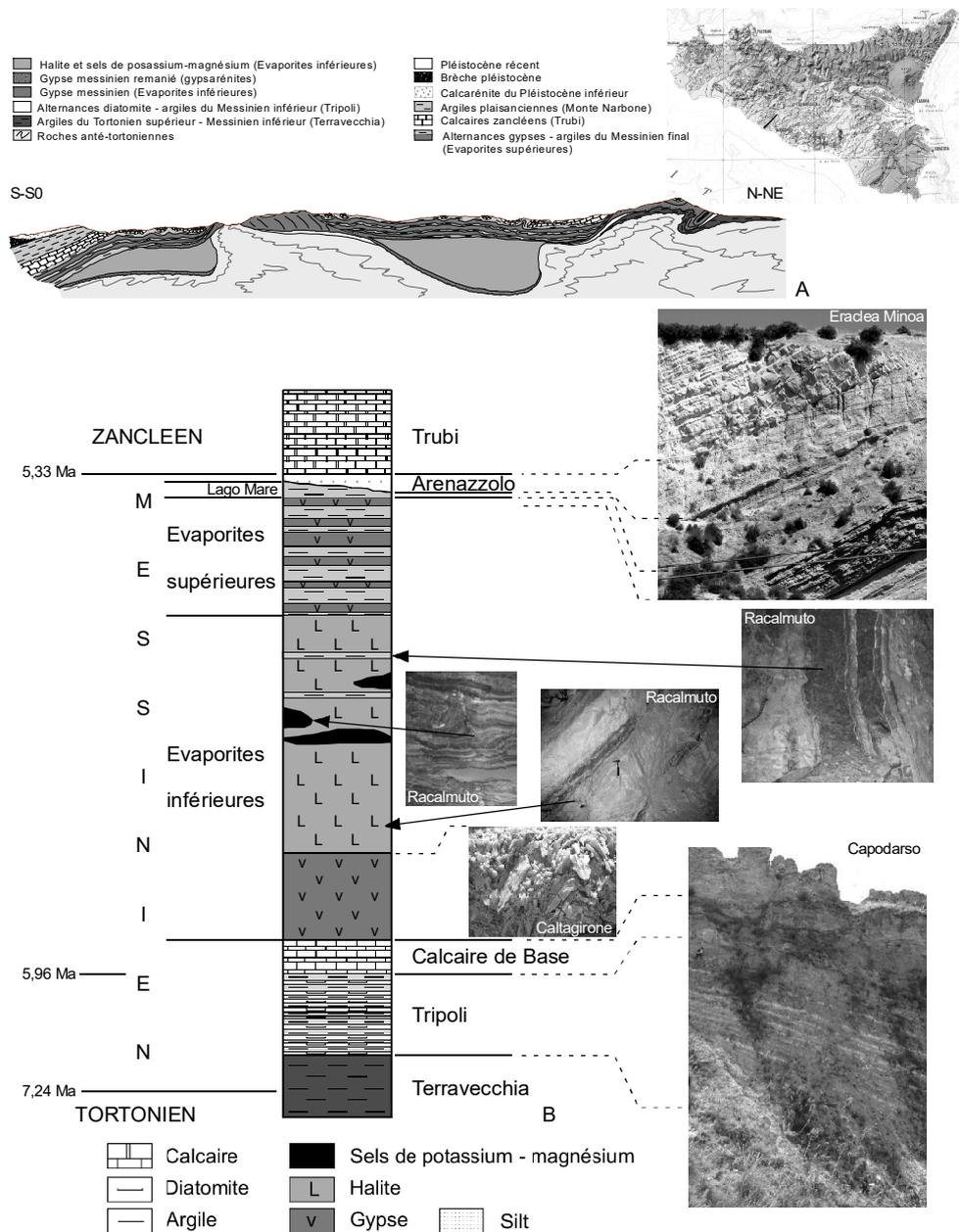


Fig. 8. Série messinienne de Sicile
A, coupe type du bassin salifère (Decima *et al.*, 1972) localisée sur la carte géologique, à proximité d'Agrigento (Bonomo, 2005)
B, illustration verticale de la série avec l'âge des différentes formations et photographies de quelques coupes et faciès (photographies J.-P. Suc)

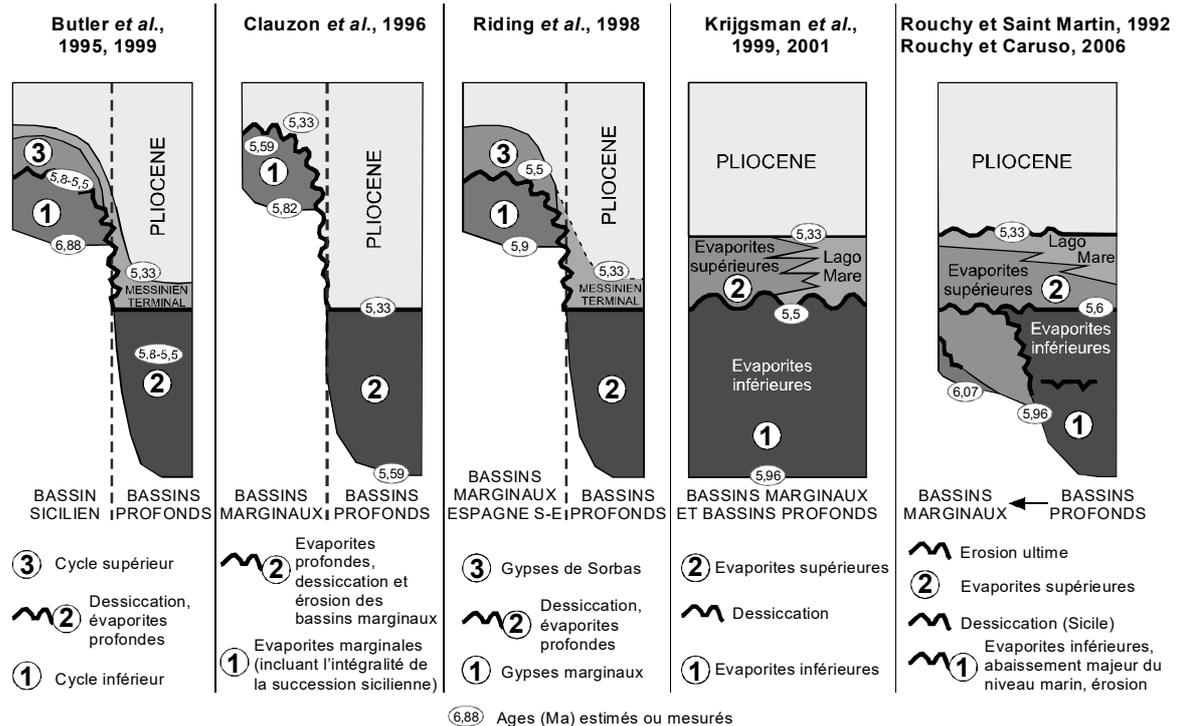


Fig. 9. Scénarios de la Crise de salinité messinienne discutés entre 1995 et 2006 (dessin modifié d'après Rouchy et Caruso, 2006)

Devant la polémique soulevée par les résultats paléomagnétiques de Gautier *et al.* (1994), Wout Krijgsman se proposa de refaire les mesures sur le bassin de Sorbas où, après une série d'échantillons infructueux, il sollicita mes conseils et préleva la coupe que je lui indiquai. À partir d'un nombre plus élevé d'échantillons, Krijgsman obtint le même résultat et toute la communauté acquiesça. Néanmoins, Krijgsman *et al.* (1999) publièrent leur magnétostratigraphie et une corrélation similaire avec la série sicilienne par cyclostratigraphie sans citer Gautier *et al.* (1994) : un détail de cette histoire dont le préjudice se mesure aujourd'hui au *Citation Index* ! Sur leur lancée, Krijgsman *et al.* (1999) dévoilaient leur scénario du déroulement de la crise (Fig. 9) qui obtint le blanc-seing immédiat, exclusif et inconditionnel de McKenzie (1999). Ce **scénario mêle bassins marginaux et bassins profonds pour le premier stade de la crise dont les évaporites seraient synchrones**. La phase érosive, correspondant à la dessiccation, aurait été de très courte durée et serait intervenue à la fin de ce premier stade. Le second stade serait constitué par les Évaporites supérieures (de Sicile comme celles des bassins profonds) qui seraient transgressives. Ce scénario acte le retour du bassin sicilien parmi les bassins profonds, faisant fi des cônes deltaïques remplissant des incisions fluviales mis en évidence par Butler *et al.* (1995) et des récifs coralliens dévoilés par Grasso et Pedley (1998). Voici l'émergence d'un comportement ne prenant en considération que les faits favorables au modèle défendu avec lequel il faudra s'habituer. Ce scénario ne nie pas l'érosion que deux de ses auteurs ont pu voir sur le terrain mais ne sait trop qu'en faire, s'agissant de toute évidence d'un argument contrariant.

Rouchy et Caruso (2006) développèrent un scénario complexe assez proche de celui de Krijgsman *et al.* (1999) mais introduisant une certaine diachronie entre bassins profonds et bassins

marginiaux, mettant en avant plusieurs phases d'érosion sans mettre en exergue celle qui fut prépondérante (Fig. 9).

La Surface d'érosion messinienne interpellant plusieurs des protagonistes, les investigations océanographiques sont venues montrer qu'il n'y en avait qu'une **éligible**, de façon évidente, dans le golfe du Lion où les profils sismiques abondaient déjà permettant l'élaboration de sa cartographie (Fig. 10 ; Guennoc *et al.*, 2000). La carte de la Fig. 11 illustre comment on pouvait imaginer la Méditerranée quasi asséchée. On y voit les canyons creusés par les grands fleuves, avec leur cône détritique de bas niveau marin, et les espaces lagunaires profonds où se seraient déposées les évaporites, y compris celles du bassin sicilien.

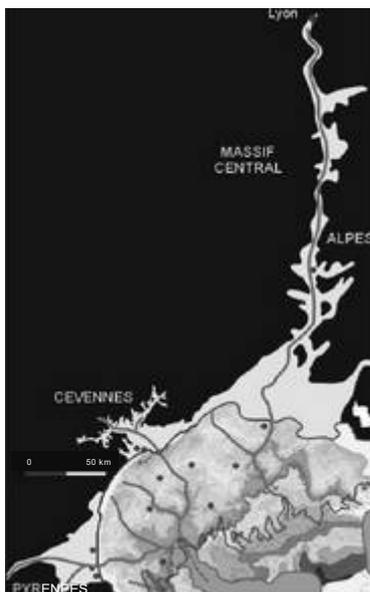


Fig. 10. Cartographie de la Surface d'érosion messinienne dans le golfe du Lion à partir des nombreux profils sismiques (d'après Guennoc *et al.*, 2000)

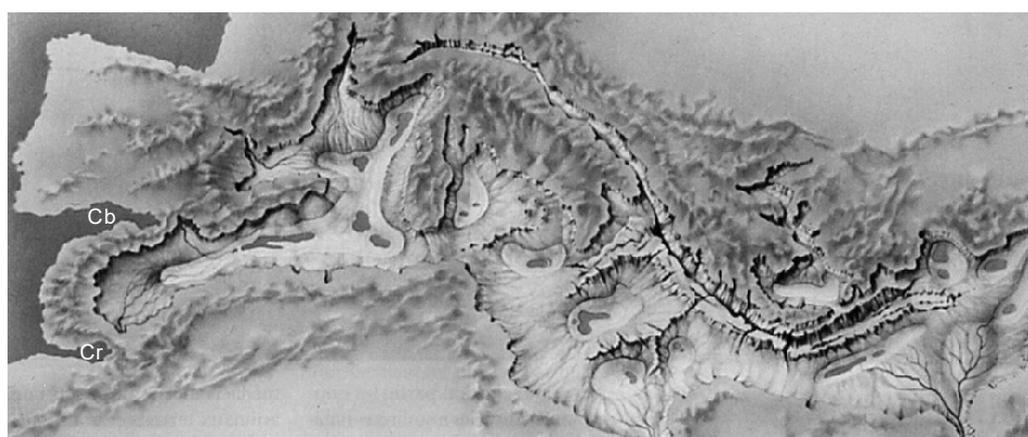


Fig. 11. Restitution de la Méditerranée quasi-asséchée (document fourni par G. Clauzon)
Cr, résidu du corridor rifain ; Cb, résidu du corridor bétique

Cette illustration pose le problème de la relation entre la Surface d'érosion messinienne et les évaporites des bassins profonds. Ce sont en particulier les travaux de thèse de Antonio Tadeu dos Reis (2001) et de Johanna Lofi (2003) qui éclairèrent cette interrogation en montrant que **la Surface**

d'érosion messinienne pouvait être suivie du littoral jusqu'aux évaporites profondes avec dépôt de sédiments détritiques produits par l'érosion (Fig. 12a ; dos Reis *et al.*, 2005 ; Lofi *et al.*, 2005). La nature subaérienne de cette surface étant indiscutable à terre où elle est suivie loin du littoral actuel tout comme dans les abysses au vu des conglomérats qui la surmontent (plongées au large de Nice, voir plus haut), le modèle proposé par Krijgsman *et al.* (1999) s'est trouvé ainsi sérieusement critiqué car **l'effondrement du niveau marin apparaît concomitant des évaporites profondes**. Dans les profils sismiques parallèles au littoral actuel, la relation entre les fleuves actuels et leur canyon messinien est tout aussi évidente (Fig. 12b ; Lofi *et al.*, 2005). Par contre, **l'attribution dogmatique des canyons sous-marins actuels au creusement messinien devait dès lors être définitivement bannie** comme l'illustre la Fig. 12c où se voient parfaitement le découplage entre le creusement messinien (subaérien) et l'entaille de la marge due à l'instabilité de son bord (coulées turbiditiques), après que celle-ci a été restituée au début du Pléistocène (Lofi *et al.*, 2003). La distinction entre canyons messiniens subaériens et canyons actuels sous-marins avait été d'ailleurs soutenue solennellement et publiquement par Gilbert Boillot lors de son exposé d'ouverture du Colloque 'Géosciences Marines' (Paris, 1993, Journées spécialisées de la Société géologique de France). Elle était désormais prouvée. Un autre apport de ce travail réside dans la mise en évidence de dépôts terrigènes progradants du Zancéen sus-jacents à la Surface d'érosion messinienne, prolongeant naturellement au large du Roussillon les Gilbert deltas identifiés à terre, mais cette fois en contexte marin permettant la reconstruction du plateau continental (Fig. 12c ; Rabineau, 2001 ; Lofi *et al.*, 2003).

Cette période a aussi été mise à profit pour réexaminer les données sur les corridors marins qui reliaient la Méditerranée à l'Atlantique et pour en acquérir de nouvelles. À partir d'une étude magnétostratigraphique du bassin de Taza-Guercif (Maroc), Krijgsman et Langereis (2000) arrivaient à la conclusion que le corridor rifain (Fig. 11) s'était fermé notablement avant le début de la crise (entre 6,7 et 6,0 Ma), quelque temps après la fermeture du corridor bétique (Fig. 11 ; Krijgsman, 2002). Warny *et al.* (2003) par une étude palynologique (kystes de dinoflagellés, grains de pollen) étalonnée sur la stratigraphie isotopique (Hodell *et al.*, 1994) suggéraient une restriction du corridor rifain en plusieurs étapes entre 6,26 et 5,4 Ma.

Plus délicate à aborder par manque d'observations *in situ*, la question de Gibraltar fut discutée par Blanc (2000, 2002) à partir des quelques informations disponibles mais surtout à partir de modélisations numériques qui faisaient une irruption remarquée dans le débat sur la Crise de salinité messinienne. Une arrivée d'eaux atlantiques par le détroit de Gibraltar préexistait-elle à la crise et donna-t-elle naissance à la cascade envisagée par Hsü *et al.* (1973) lors de la phase de dessiccation ? Pour Blanc (2002) puis Loget *et al.* (2005) enfin Loget et Van Den Driessche (2006), c'est un considérable **influx atlantique qu'aurait capturé la cuvette méditerranéenne quasi à sec**. La simulation aboutit à un ré-ennoiment complet du bassin méditerranéen en quelque 36 années (Blanc, 2002).

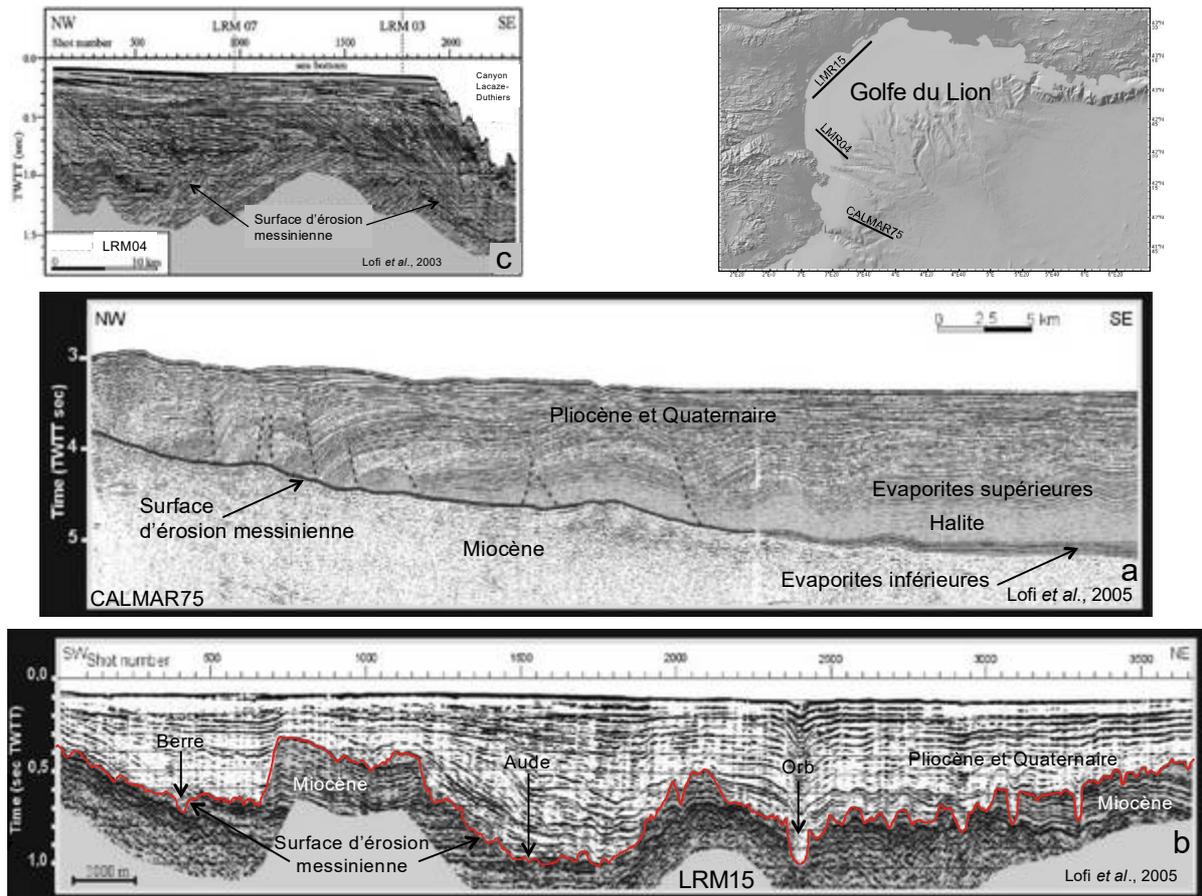


Fig. 12. Sélection de profils sismiques dans le golfe du Lion (d'après Lofi *et al.*, 2003, 2005)

Parmi les autres données marquantes, il faut signaler la mise en évidence en Calabre **d'un prisme marin transgressif messinien localisé immédiatement sous la Formation Trubi** signant le début du Zancléen (Cavazza et DeCelles, 1998) localement daté à 5,33 Ma au Monte Singa (Hilgen et Langereis, 1993).

Les intercalations argileuses dans la halite sicilienne exploitée dans les mines de Realmonte et Racalmuto (Fig. 8) ont été analysées micropaléontologiquement pour la première fois, mettant en évidence un environnement franchement marin interprété comme des **incursions momentanées et répétées d'eaux méditerranéennes de haut niveau dans le bassin de Caltanissetta isolé** pendant la phase évaporitique (Bertini *et al.*, 1998). Ce fut un résultat déterminant pour définitivement répertorier le bassin sicilien parmi les bassins marginaux.

À souligner également l'investigation de la phase pré-évaporitique en Sicile (Tripoli ; Fig. 8) avec la mise en évidence de la nature eustatique des alternances diatomites-argiles-carbonates (Suc *et al.*, 1995) et leur cyclostratigraphie astrochronologique (Hilgen et Krijgsman, 1999 ; Blanc-Valleron *et al.*, 2002), méthode sur laquelle il faudrait désormais s'appuyer pour mesurer le temps au sein de l'épisode inverse C3r auquel appartient la Crise de salinité messinienne (Fig. 7). Des résultats

analogues furent obtenus sur cette phase dans le bassin de Sorbas (Sierra *et al.*, 1999, 2001, 2003 ; Saint Martin *et al.*, 2001 ; Flores *et al.*, 2005) et sur l'île de Gavdos (Drinia *et al.*, 2007).

La progression sur la connaissance du climat a permis d'arborer une riche palette de sites polliniques sur tout le bassin méditerranéen s. l. (du Maroc atlantique à la mer Noire) antérieurs à la crise, concomitants et postérieurs à celle-ci (Fig. 13a).

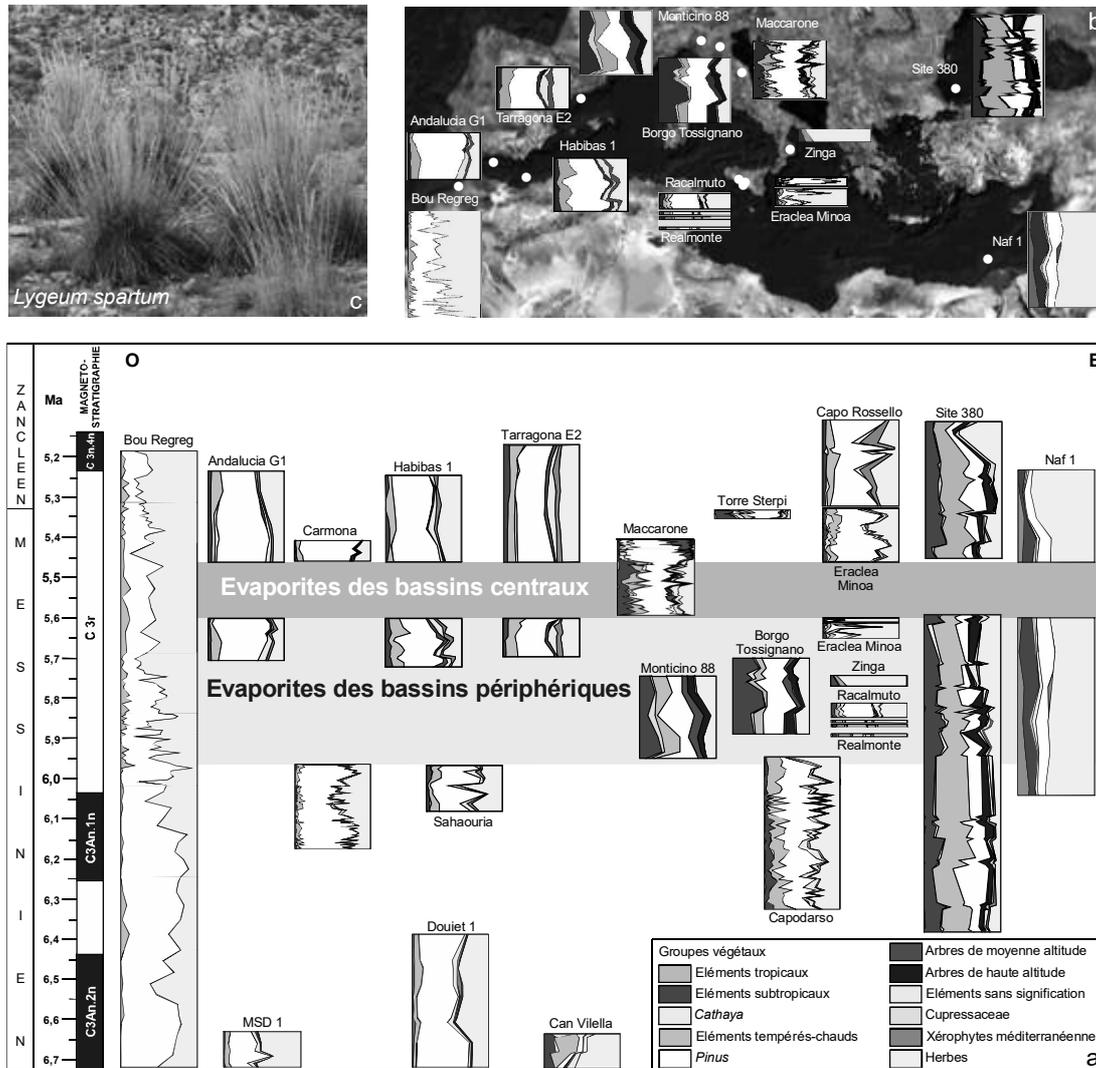


Fig. 13. Enregistrements polliniques et climat messiniens
a, Distribution chronologique des flores polliniques avant, pendant et après la Crise de salinité messinienne (Fauquette *et al.*, 2006) ; b, Répartition géographique des sites polliniques datant de la crise ; c, *Lygeum spartum*, une des plantes subdésertiques ayant migré vers le Nord lors du paroxysme de la crise (photographie S.-M. Popescu)

Plusieurs de ces sites sont contemporains des évaporites périphériques (bassins marginaux), une seule localité (Maccarone) est en majeure partie synchrone des évaporites centrales (bassins profonds). Ces données ont permis de confirmer qu'il n'y a pas eu de changement climatique majeur avant, pendant et après la Crise de salinité messinienne (Fauquette *et al.*, 2006). Les sites polliniques relevant d'un des deux temps de la crise sont localisés sur une carte qui montre que des

environnements forestiers (à éléments subtropicaux et tempérés-chauds) s'étendaient au nord du bassin méditerranéen tandis que les milieux ouverts à herbes subdésertiques occupaient les latitudes plus basses (Fig. 13b). La seule modification observée dans les témoignages de la paléovégétation fut **pendant le paroxysme de la crise la migration latitudinale de 3° vers le Nord des végétaux subdésertiques**, comme *Lygeum spartum* (Fig. 13c), probablement pour ne pas endurer la xéricité devenue trop forte des milieux méridionaux (Popescu *et al.*, 2007). Cette récolte de nouvelles données polliniques a débouché sur :

- la quantification du climat pendant le stade marginal de la crise (température moyenne annuelle supérieure à 21-22°C tout autour de la Méditerranée, précipitations annuelles de l'ordre de 1100 mm au nord pour 450 mm au sud ; Fauquette *et al.*, 2006) ;
- l'élaboration d'une carte de la végétation péri-méditerranéenne pour cette même phase (Favre *et al.*, 2007).

Une relation fut proposée entre la dessiccation méditerranéenne et l'abaissement du niveau marin global à la fin du Miocène à partir de l'étude isotopique d'une plateforme carbonatée du Pacifique sud permettant de suggérer que les cycles glacio-eustatiques avaient pu moduler les échanges Atlantique-Méditerranée pendant la crise (Aharon *et al.*, 1993).

Reconnaissables à leur aspect monumental, les récifs coralliens étaient depuis longtemps associés aux recherches sur la Crise de salinité messinienne (Esteban, 1979-1980), notamment pour l'estimation des variations du niveau marin qui la précédèrent (Braga et Martín, 1996 ; Saint Martin *et al.*, 1997). Ce sont Cornée *et al.* (2004, 2006) qui en fouillèrent leur signification en termes de stratigraphie séquentielle avant leur érosion lors du paroxysme de la crise, concluant à une baisse du niveau marin d'au moins 70 m. Rappelons à ce propos qu'une amplitude de 150 m se mesure pour la chute du niveau marin dans les bassins marginaux lors du premier temps de la crise (Fig. 14 ; Dronkert, 1976 ; Troelstra *et al.*, 1980 ; Clauzon *et al.*, 1996).

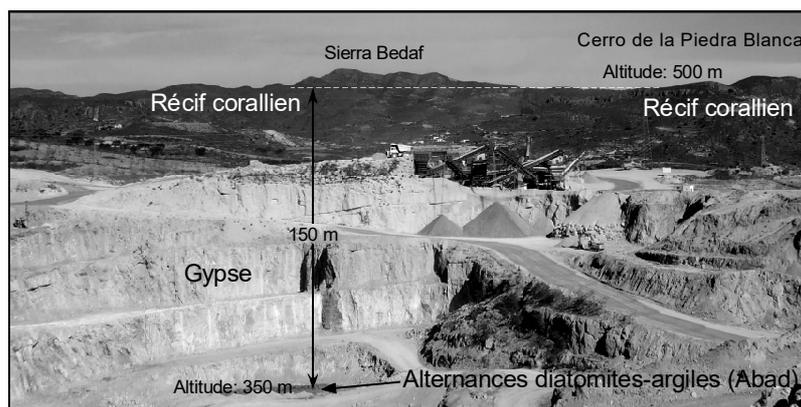


Fig. 14. Mesure de l'amplitude de la chute du niveau marin entre la fin de la construction des récifs coralliens et le début du dépôt du gypse à Sorbas, dans un secteur du nord du bassin non perturbé tectoniquement (photographie J.-P. Suc)

La restitution de l'histoire environnementale, géographique et tectonique de l'avant-fosse apenninique et de la plaine du Pô a repris de la vigueur avec les recherches conduites par le groupe de Marco Roveri soutenant un modèle régional se caractérisant par une surface d'érosion (subaérienne ?) affectant les gypses du premier temps de la crise et un maintien en eau pendant le paroxysme de la crise (Roveri *et al.*, 1998). En dépit du caractère atypique de cette région, ces auteurs ont voulu étendre à l'ensemble de la Méditerranée ce processus régional (Roveri *et al.*, 2001). Voici donc le retour en force du « bassin profond non asséché » pour le paroxysme de la crise ! Faire de l'avant-fosse apenninique, un bassin intensément impacté par la tectonique et la subsidence, le modèle de toute la Méditerranée était une gageure avancée d'abord avec hésitation puis malicieusement et vigoureusement entretenue jusqu'à ce que ce modèle, désormais étendu à l'ensemble de la Méditerranée (Manzi *et al.*, 2005) devienne incontournable et immuable pour beaucoup de géologues italiens (Roveri et Manzi, 2006). Pour les auteurs de ce scénario, les évaporites profondes des bassins centraux méditerranéens pourraient être remaniées comme le sont celles sédimentées au fond de l'avant-fosse apenninique (Manzi *et al.*, 2005). Un coup sévère lui fut cependant porté par Popescu *et al.* (2007) montrant que **le retour des eaux marines y précédait nettement le début du Zancléen** (5,33 Ma). Toute la contradiction de ce scénario s'étala au grand jour dans le commentaire qui s'en suivit (Roveri *et al.*, 2008) : alors que la Méditerranée ne se serait en rien asséchée pendant le paroxysme de la crise, comment refuser l'existence de conditions marines dans l'avant-fosse apenninique avant le grand jour du Zancléen ? En fait, il faut plutôt considérer ce bassin comme isolé par un seuil pendant la phase paroxysmale, rempli d'eau douce (en raison des abondants apports fluviaux alpins) après le premier temps de la crise et le début du second (Corselli et Grecchi, 1984 ; Cita et Corselli, 1990 ; Clauzon *et al.*, 1997, 2005 ; Popescu *et al.*, 2007).

Tout au long de la péninsule italienne jusqu'à la Sicile, la tectonique apenninique en extension fut omniprésente pendant tout le Néogène avec notamment la mise en place d'un seuil entre la Sicile et la Tunisie (Jolivet *et al.*, 2006). Une phase particulièrement violente caractérisa la fin du Miocène, c'est la **phase tectonique intra-messinienne** (Marabini et Vai, 1985 ; Roveri *et al.*, 2005). Les signes de cette phase sont indéniables mais n'a-t-elle pas été surexploitée pour tout expliquer comme, par exemple, la surface d'érosion et le creusement karstique qui affectent les gypses du domaine nord-apenninique (Fiorasco *et al.*, 2004 ; Roveri *et al.*, 2005) ? Cet emploi à tout propos d'une phase tectonique, mal contrainte chronologiquement et géographiquement, provoquait à son égard la qualification de *deus ex machina* par Georges Clauzon. Outre la confusion avec l'érosion subaérienne due à l'effondrement du niveau marin méditerranéen, cette phase obsessionnelle englobe probablement les effets encore sous-estimés des réajustements (rebonds) isostatiques liés à la dessiccation rapide du bassin méditerranéen suivie du dépôt des évaporites centrales, puis à sa remise en eau foudroyante (Norman et Chase, 1986 ; DeCelles et Cavazza, 1995 ; Cavazza et DeCelles, 1998).

Une interrogation habite quelques paléobiologistes à propos du **maintien des trois quarts de la biodiversité** (biota) **marine dans la faune benthique littorale** (échinides, bivalves, etc.) **après la**

Crise de salinité messinienne (Néraudeau et Saint-Martin, 2003). On sait que les coraux hermatypiques ne survivront pas à la crise (Saint-Martin, 1984) tout comme les constructions microbiennes qui leur sont associées (Saint-Martin *et al.*, 1997). Mais **on ignore comment ce biota méditerranéen a pu se préserver quasi intégralement** dans la mesure où aucune des provinces est-atlantiques proches de la Méditerranée n'en ont conservé la mémoire (Néraudeau, 2007).

Suite à la découverte de kystes de dinoflagellés paratéthysiens dans des dépôts *Lago Mare* de Toscane, notamment de l'espèce *Galeacysta etrusca* (Corradini et Biffi, 1988), il convenait de compléter le sens de ce biofaciès, ce qui fut fait pour ces micro-organismes représentatifs des eaux de surface par Bertini *et al.* (1995). Après leur étude des bassins chypriotes, Orszag-Sperber *et al.* (2000) et Rouchy *et al.* (2001) proposèrent une explication des dépôts de type *Lago Mare* par la formation de lacs sans connexion directe avec la Paratéthys mais alimentés par des apports importants d'eau douce favorisés par des conditions climatiques plus humides. Mais, les avancées décisives vinrent de la découverte de nombreux niveaux à nanoplancton calcaire méditerranéen dans le bassin dacique (Mărunțeanu et Papaianopol, 1998 ; Clauzon *et al.*, 2005 ; Snel *et al.*, 2006), de la Surface d'érosion messinienne surmontée d'un Gilbert delta daté du Zancéen inférieur par le nanoplancton calcaire le long du Danube à la sortie des Portes de fer (Clauzon *et al.*, 2005) et de la réalisation d'une magnétostratigraphie du Néogène supérieur du bassin dacique (Clauzon *et al.*, 2005 ; Popescu *et al.*, 2006 ; Snel *et al.*, 2006). Au vu de l'intervalle de temps (dans l'épisode paléomagnétique inverse C3r) où le nanoplancton calcaire méditerranéen pénétra dans le bassin dacique, on pouvait se demander (et d'aucuns l'ont fait) si la Méditerranée n'avait pas transgressé en Paratéthys orientale au plus fort de la Crise messinienne : c'eût été une preuve de sa non-dessiccation ! Ce mirage rapidement évanoui, il devint évident que les deux incursions d'eaux méditerranéennes avaient respectivement précédé et suivi la phase paroxysmale de la crise à l'occasion de deux hauts niveaux méditerranéens ayant franchi le seuil séparant les deux domaines (Fig. 15) : les eaux de surface paratéthysiennes, moins salées que les eaux méditerranéennes, auraient pénétré en Méditerranée avec leur cortège faunistique (mollusques, ostracodes) et floristique (dinoflagellés) ; les eaux de surface méditerranéennes, plus salées, seraient entrées en Paratéthys **au-dessous** des eaux de sortie avec leur microplancton (nanofossiles calcaires, dinoflagellés) (Fig. 15a et 15 b). Le premier des deux échanges croisés à haut niveau marin est situé au sommet des évaporites marginales, le second lors du ré-ennoisement mettant fin à la Crise messinienne.

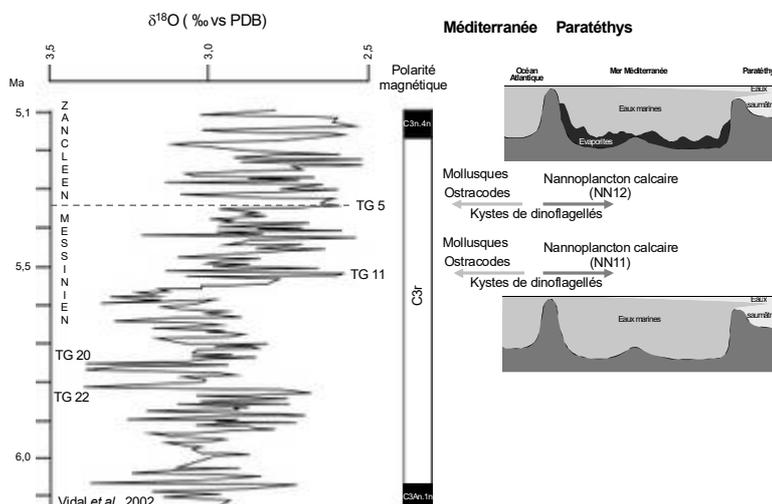


Fig. 15. Échanges croisés à haut niveau marin entre Méditerranée et Paratéthys (*Lago Mare* 1 et 3), corrélés avec la courbe isotopique de l'oxygène du Site ODP 1085 (Vidal *et al.*, 2002)
a, LM 1 vers 5,5 Ma
b, LM 2 vers 5,33 Ma (Clauzon *et al.*, 2005)

Cette réinterprétation signifie qu'il y aurait eu **plusieurs événements Lago Mare, deux consacrant des échanges à haut niveau marin (LM 1 et LM 3), et un troisième, intermédiaire situé au toit des évaporites profondes (LM 2), dont la cause restait encore énigmatique** (Clauzon *et al.*, 2005). Le travail de Fauquette *et al.* (2006) vint ensuite dissiper l'idée d'un lien entre faciès *Lago Mare* et augmentation des précipitations. L'étude des kystes de dinoflagellés de la coupe d'Eraclea Minoa en Sicile (Fig. 8) fournit un argument complémentaire à l'interprétation de Clauzon *et al.* (2005) : les kystes paratéthysiens (dont *Galeacyta etrusca*) ne se trouvaient pas dans les argiles du *Lago Mare* (Fig. 8) mais dans les diatomites de haut niveau relatif sous le dernier banc de gypse et dans les argiles sableuses de l'Arenazzolo considérées comme transgressives (Londeix *et al.*, 2007).

Plusieurs moments d'échanges réciproques de mammifères terrestres ont été repérés entre l'Afrique du Nord et la péninsule ibérique dans l'intervalle de temps incluant la Crise messinienne (Agustí *et al.*, 2006 ; Rook *et al.*, 2006 ; van der Made *et al.*, 2006) sans que les voies suivies aient pu être élucidées.

5. Bilan des accords et désaccords lors du colloque d'Almería (2007) ; ses conséquences jusqu'en 2018

Les conditions étaient réunies pour l'organisation d'une table ronde à l'initiative de la Commission Internationale pour l'Exploration scientifique de la mer Méditerranée (CIESM) qui se tint à Almería en novembre 2007, réunissant les principaux protagonistes sauf Jean-Marie Rouchy qui refusa d'y participer. Après des débats souvent tendus voire houleux, les trois français (Virginie Gaullier, Johanna Lofi, Jean-Pierre Suc) soutenus par Namik Çağatay parvinrent à convaincre les hollandais Wout Krijgsman et Gert De Lange, les italiens Marco Roveri, Stefano Lugli et Vinicio Manzi ainsi que Rachel Flecker, Francisco Javier Sierro et Christian Hübscher que (1) les **évaporites marginales étaient antérieures aux évaporites profondes** (déposées sous quelques dizaines de mètres d'eau comme proposé par Hardie et Lowenstein en 2004), et (2) **qu'elles étaient séparées par une surface d'érosion subaérienne**. Il n'y eut pas d'entente sur la compréhension du (ou des) événement(s) *Lago Mare*. La réunion déboucha sur un texte quelque peu abusivement qualifié de « consensus » préparé par tous les participants, qui avait néanmoins le mérite de faire un point circonstancié sur tous les aspects de la crise (CIESM, 2008). Ce « consensus » ne dura pas longtemps car aussitôt après était publiée une vision "conservatrice" de la série sicilienne synchrone de la série apenninique et, c'est un comble, de la succession profonde : nous étions subitement revenus 35 années en arrière (Roveri *et al.*, 2008a, b ; Manzi *et al.*, 2011) ! Seul bénéfice modeste de ce bref épisode de concertation, un petit progrès dans le vocabulaire, les évaporites de Sicile recevant les noms de Gypse primaire inférieur, Gypse inférieur resédimenté, Halite, et Gypse supérieur (Manzi *et al.*, 2009), ce qui les distingue dorénavant des évaporites des bassins profonds (centraux) pour lesquelles les termes Évaporites inférieures et Évaporites supérieures seront momentanément conservés jusqu'à ce que Lofi *et al.* (2011a, b) redéfinissent et renomment les différentes unités et réflecteurs sismiques (Fig. 16). Furent alors répertoriées **trois principales unités de dépôt** : l'Unité

inférieure (**LU** = *Lower Unit*) dont la composition est encore discutée, l'Unité mobile (**MU** = *Mobile Unit*) salifère essentiellement composée de halite, et l'Unité supérieure (**UU** = *Upper Unit*) à forte réflexion, transgressive, correspondant aux évaporites forées par les Legs 13 et 42A. En particulier, la Surface d'érosion messinienne est scindée en deux portions géographiques se prolongeant : une portion marginale (**MES** = *Margin Erosion Surface*) dont le caractère subaérien est réaffirmé, une portion profonde (tantôt **BS** = *Bottom Surface*, tantôt **BES** = *Bottom Erosion Surface*) dont la nature est confuse, ce qui constituera un argument pour les tenants du scénario du bassin non asséché.

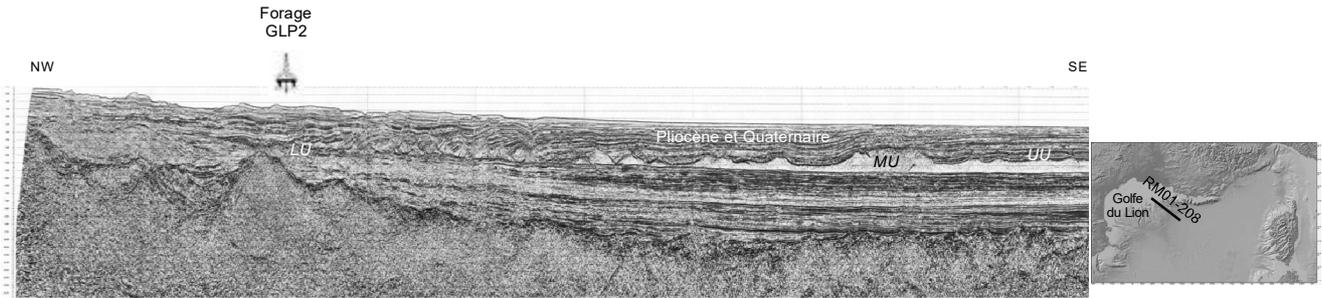


Fig. 16. Profil sismique RM01-208 de TGS-NOPEC montrant les principales unités messiniennes

Manzi *et al.* (2012) concluaient à un forçage des cycles solaires pour le dépôt de la halite de Sicile (alternances halite pure – impure contenant de l'argile ; Fig. 8B), ce qui avait déjà été avancé par Bertini *et al.* (1998) dont la référence est ignorée, une façon « élégante » de garantir la primeur d'un résultat !

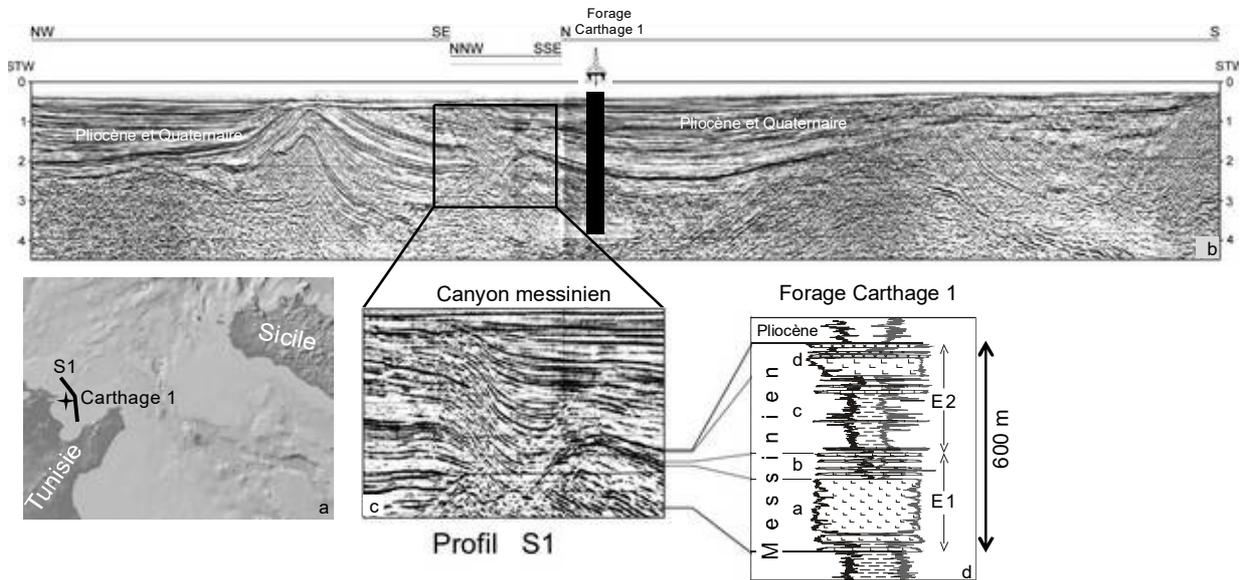


Fig. 17. Équivalent de la série évaporitique sicilienne au large de la Tunisie entaillée par le profond canyon fluvial messinien de la Medjerda (d'après El Euch-El Koundi *et al.*, 2009)

a, localisation d'un des profils sismiques et de l'un des forages étudiés ; b, ensemble du profil sismique S1 ; c, détail agrandi du profil S1 ; d, Log du forage Carthage 1 (E1, série corrélée avec le Gypse primaire inférieur et la halite de Sicile ; E2, série corrélée avec le Gypse supérieur de Sicile)

Un démenti flagrant fut infligé au scénario de Marco Roveri par une étude à terre en Tunisie et en mer dans le sud du détroit de Sicile (El Euch-El Koundi *et al.*, 2009) : une épaisse **série évaporitique marginale** (600 m) forée en mer (sondage Carthage 1), avec deux termes (E1 surtout

formé de halite, E2 formé d'alternances évaporites-argiles), **ressemblant fortement à la série sicilienne** tant pour l'épaisseur que les faciès, **entailée par un profond canyon (messinien) rempli de sédiments zancléens** (érosion par la rivière Medjerda dont on suit l'enfoncement depuis les reliefs des jebels Messeftine et Kechabta (Fig. 17).

Les scientifiques s'accordent pour estimer que le volume des évaporites déposées dans les bassins centraux (Fig. 6) équivaldrait à 8 fois le dépôt évaporitique potentiel d'une Méditerranée asséchée (Benson *et al.*, 1991 ; Blanc, 2000). Il faut donc envisager **soit (1) plusieurs phases de baisse cruciale du niveau marin** comme le proposaient Krijgsman *et al.* (1999) avec un forçage climatique lié à la précession ce qui ne transparait ni dans les profils sismiques de Méditerranée occidentale (Driussi *et al.*, 2015 ; Gorini *et al.*, 2015) ni dans les enregistrements polliniques (Fauquette *et al.*, 2006 ; Popescu *et al.*, 2015) **soit (2) une alimentation permanente en eaux océaniques** même pendant la phase paroxysmale d'assèchement (Bache *et al.*, 2015). L'idée d'évaporites centrales intégralement remaniées (Roveri *et al.*, 2014a ; Lugli *et al.*, 2015) se heurte à l'aspect homogène du faciès sismique de la halite en Méditerranée occidentale (Lofi *et al.*, 2011b). Cette hypothèse repose, d'une part sur l'extrapolation du scénario apenninique à l'ensemble de la Méditerranée (Roveri *et al.*, 2001 ; Roveri et Manzi, 2006), sévèrement remis en cause (Clauzon *et al.*, 2005 ; Pellen *et al.*, 2017), d'autre part sur la révision de quelques faciès de l'Unité supérieure (UU), seule à avoir été superficiellement pénétrée par les forages *DSDP* et *ODP*. En Méditerranée occidentale, l'unique sondage à avoir traversé l'Unité mobile (MU) est le puits GLP2 (Fig. 16) qui, là où cette unité se biseaute dans le golfe du Lion, n'a montré aucun signe de remaniement sur les 266 m où elle a été forée (Brun *et al.*, 1984 ; Bache *et al.*, 2015). En Méditerranée orientale, dans le bassin levantin (dit aussi d'Hérodote ; Fig. 6), l'Unité mobile est certes hétérogène, entrecoupée de niveaux argileux (Bertoni et Cartwright, 2006), mais aucun des forages implantés au large du delta du Nil publiés (Farouk *et al.*, 2014) ou dont j'ai pu observer le *log* ne témoignent d'évaporites remaniées.

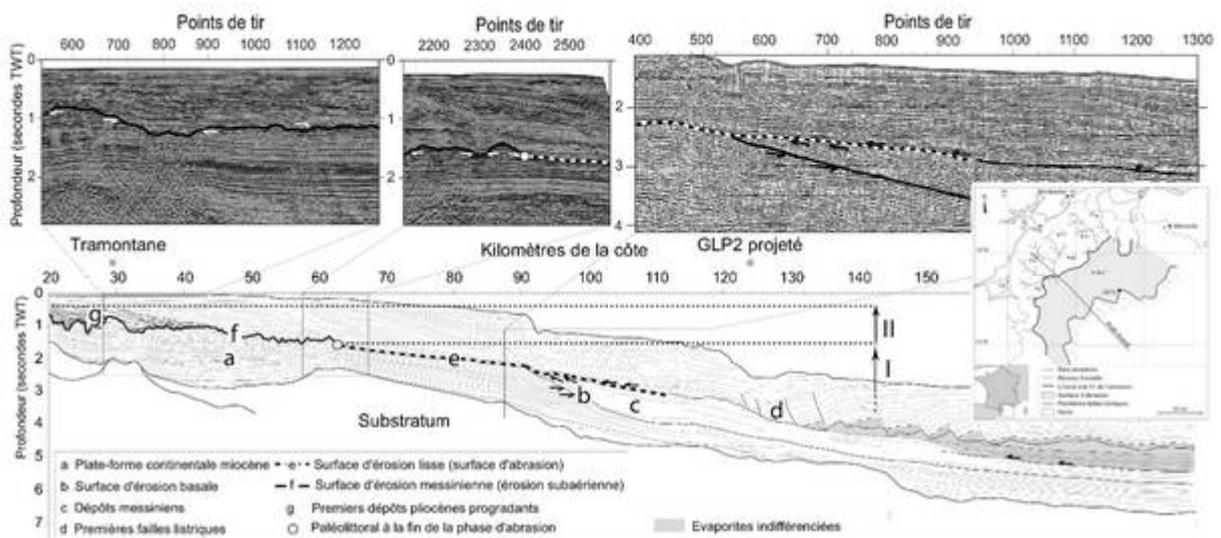


Fig. 18. Surfaces d'érosion et d'abrasion messiniennes identifiées sur un profil sismique traversant tout le golfe du Lion (d'après Bache *et al.*, 2012)

I, niveau marin atteint lors du premier temps (lent) de la remontée ; II, expression du deuxième temps de la remontée du niveau marin (ennoisement catastrophique)

Revenons à la Surface d'érosion messinienne et, en premier lieu, à son expression dans les bassins profonds. Bache *et al.* (2012) sont parvenus à discriminer les deux surfaces *MES* et *BES* décrites par Lofi *et al.* (2011a, b) : la première, dentée, est effectivement la surface d'érosion subaérienne dans le bassin asséché ; la seconde, plane et en pente douce, est une surface d'aplanissement, autrement dit d'abrasion par l'action des vagues, élaborée lors du **ré-ennoiement marin** qui **précéda l'effondrement du seuil de Gibraltar** à 5,33 Ma (Fig. 18). L'élaboration de la seconde surface concourut à l'estompage voire à l'effacement de la première. C'est à cette surface d'abrasion marine que l'on peut attribuer la surface mise en évidence par Bertoni et Cartwright (2006) dans le bassin levantin. Simultanément, les investigations en mer s'orientaient pour trouver les cônes détritiques induits par l'érosion subaérienne qui, d'après Clauzon (1982), devaient passer sous le biseau des évaporites. Un nouveau débat, âpre, s'enclencha alors : les corps détritiques trouvés par dos Reis *et al.* (2005) puis par Lofi et Berné (2008) dans le golfe du Lion sous la surface d'érosion et par conséquent attribués au Tortonien alors qu'ils étaient rapportés par dos Reis *et al.* (2005) puis par Bache *et al.* (2009, 2012) au Messinien, la surface les fossilisant n'étant pas la surface subaérienne mais la surface d'abrasion marine. La première cartographie réalisée de ces dépôts clastiques (Bache *et al.*, 2009) ouvrit la voie à leur reconnaissance dans le détail puis à leur quantification (>14 000 km³) et à leur modélisation (Leroux *et al.*, 2017). Dans le bassin levantin, de semblables cônes clastiques avaient été trouvés sous le sel messinien (Bertoni et Cartwright, 2007), mais, à l'ouest de Chypre et devant Nice, Gorini *et al.* (2015) illustraient des incursions clastiques au sein du sel messinien, respectivement peut-être en relation avec la puissance des apports du Nil ou la proximité des Alpes (Fig. 19), clarifiant par là-même l'interprétation de Savoye et Piper (1991).

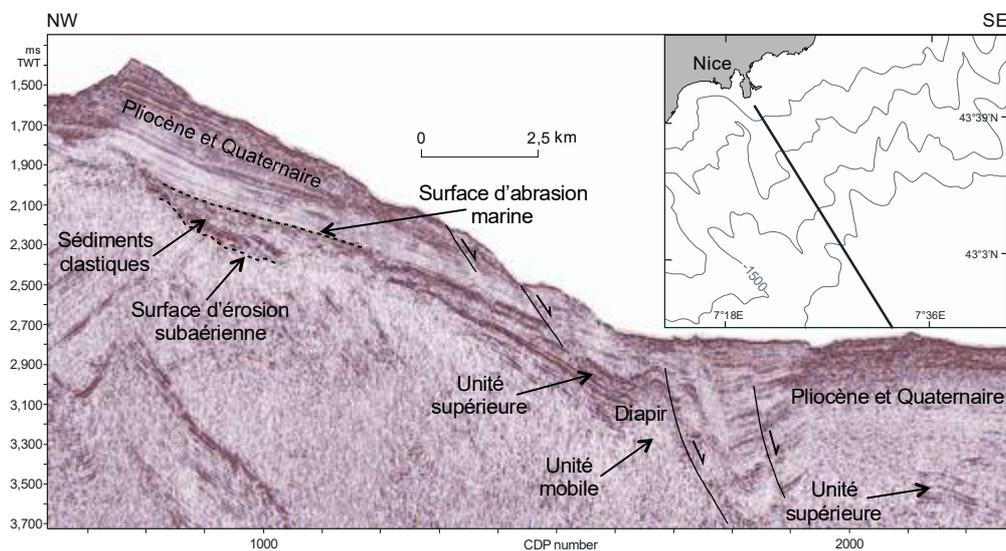


Fig. 19. Des dépôts clastiques aux évaporites devant Nice (d'après Gorini *et al.*, 2015)

Tandis que plusieurs travaux sur les **cavités karstiques** mettaient celles-ci en relation avec le **creusement subaérien messinien en domaine carbonaté comme évaporitique** (Mocochain *et al.*, 2006a, b, 2009 ; Tassy *et al.*, 2014 ; Clauzon *et al.*, 2015a), certaines interprétations faisaient toujours appel à la « phase tectonique intra-messinienne » pour expliquer ces karsts (Lugli *et al.*, 2010 ; De Waele et Pasini, 2013). Restait la conception sous-marine du creusement messinien défendue tantôt

ouvertement (Roveri *et al.*, 2014a, 2016) tantôt de façon plus sournoise (Roveri *et al.*, 2014b). Alors, comment expliquer l'incursion très loin dans les terres des sédiments marins zancléens profondément encaissés dans les dépôts miocènes ? À quelque 900 km du littoral actuel pour le Nil où les sédiments zancléens sont certes mal datés, à plus de 350 km du littoral actuel pour le Rhône. Clauzon (1999) faisait remonter l'érosion messinienne du Rhône au-delà de la cluse des Hôpitaux (sud du Jura), à la sortie de laquelle les sédiments bénéficient maintenant d'une datation zancléenne indiscutable (Suc *et al.*, en préparation).

La **remise en eau en deux temps** du bassin méditerranéen (Bache *et al.*, 2012), **lente au début** (élaboration de la surface d'abrasion) **puis violente** (rupture du seuil de Gibraltar), conduit à modérer l'instantanéité (moins de deux années) du ré-ennoisement défendue par Garcia-Castellanos *et al.* (2009). Dans les secteurs d'expansion maximale de la mer zancléenne, les canyons messiniens sont partout tapissés de blocs parfois gigantesques soudainement immobilisés par le niveau marin au plus haut (Bache *et al.*, 2012 ; Clauzon *et al.*, 2015a, b).

L'engouement s'accrut alors pour les **réajustements isostatiques en relation avec la Crise messinienne**, tout d'abord à travers la **modélisation** de deux des scénarios en compétition, celui de Clauzon *et al.* (1996) par Gargani (2004) et Gargani *et al.* (2010), celui de Krijgsman *et al.* (1999) par Govers (2009) et Govers *et al.* (2009), ensuite par des **observations convaincantes** (soulèvement de l'arc de Gibraltar : Silva *et al.*, 2011, 2012 ; glissements de terrain à partir du talus exondé et déstabilisé puis ré-immersé : Gargani *et al.*, 2014 ; écroulement de l'olistostrome de Prades sur le versant nord du Canigou : Clauzon *et al.*, 2015b ; soulèvement du seuil Gargano-Pelagosa isolant l'avant-fosse apenninique pendant le paroxysme : Pellen *et al.*, 2017 ; accroissement des émissions volcaniques : Sternai *et al.*, 2017 ; blocage puis déblocage de la propagation de la faille nord-anatolienne au niveau du détroit des Dardanelles : Karacaş *et al.*, 2018)... autant de travaux validant par ailleurs le scénario du « bassin profond asséché ».

Des progrès notables furent réalisés dans le calibrage chronologique de la Crise messinienne. L'âge du **déclenchement de la crise** fut affiné à **5,971 Ma** par l'usage de la cyclostratigraphie (Manzi *et al.*, 2013). Plusieurs résultats sont venus confirmer de façon éclatante que la remise en eau complète du bassin méditerranéen avait précédé significativement le début du Zancléen défini à 5,33 Ma (Carnevale *et al.*, 2006a, b, 2008, 2018 ; Cornée *et al.*, 2006 ; Popescu *et al.*, 2007 ; Melinte-Dobrinescu *et al.*, 2009 ; Bache *et al.*, 2012 ; Clauzon *et al.*, 2015b ; Karakitsios *et al.*, 2017). La démonstration repose sur la première présence d'espèces marqueurs biostratigraphiques chez les foraminifères planctoniques et surtout sur l'enregistrement simultané de *Triquetrorhabdulus rugosus* (= *Orthorabdus rugosus*) et *Ceratolithus acutus* (= *C. armatus*) dans le nannoplancton calcaire. Sur une même coupe, la succession maintes fois observée *T. rugosus* seul, puis conjointement *T. rugosus* et *C. acutus*, enfin *C. acutus* seul correspond aux fourchettes d'âges respectifs suivants : anté-5,345 Ma, 5,345-5,279 Ma, 5,279-5,040 Ma (Raffi *et al.*, 2006). Le nannoplancton calcaire vient combler en partie l'impossibilité de dater directement les ultimes couches du Messinien

méditerranéen. ***Ceratolithus acutus*** est un fossile très rare et il convient de déployer de gros efforts en temps d'analyse au microscope pour espérer l'observer. Néanmoins, il a été trouvé dans suffisamment de niveaux antérieurs à la base du Zancéen (même par ses détracteurs les plus acharnés : Marco Roveri *in* Karakitsios *et al.*, 2017) pour qu'il soit pris sérieusement en compte comme **indicateur fiable de la remise en eau du bassin méditerranéen avant 5,33 Ma** (Popescu *et al.*, 2017). En utilisant la cyclostratigraphie, Bache *et al.* (2012) ont proposé un âge de 5,460 Ma pour la remise en eau de l'ensemble du bassin méditerranéen défini à la base de l'Arenazzolo de Sicile, équivalent du prisme transgressif de Calabre décrit par Cavazza et DeCelles (1998), retardé à 5,360 Ma pour l'entrée des eaux marines dans l'avant-fosse apenninique.

À bien regarder, il n'y a plus que deux scénarios alimentant le débat : (1) celui de Clauzon *et al.* (1996), complété et daté plus précisément (Bache *et al.*, 2015 ; Clauzon *et al.*, 2015a) défendant un **processus asynchrone de dépôt des évaporites des bassins périphériques¹ et de celles des bassins centraux** ; (2) celui de Krijgsman *et al.* (1999) et Krijgsman et Meijer (2008) soutenant le **caractère synchrone de toutes les évaporites, tout au moins dans le premier stade de la crise** (Fig. 20). Outre des processus distincts, une autre différence est d'ordre stratigraphique et réside dans l'interprétation des Evaporites supérieures de Sicile, attribuées au second temps de la crise par Krijgsman *et al.* (1999), au premier temps de celle-ci par Clauzon *et al.* (1996) puis Bache *et al.* (2012). Marco Roveri et son groupe soutenaient tantôt le scénario de Wout Krijgsman (Roveri *et al.*, 2014b) tantôt leur propre scénario qui, difficilement crédible à lui seul car irréaliste vis-à-vis du creusement fluvial, s'apparentant au stade 1 du scénario de Krijgsman *et al.* (1999). On ne peut indéfiniment faire croire qu'un creusement fluvial long de plusieurs centaines de kilomètres avec un profil longitudinal convexe (Clauzon, 1982) n'est pas le fruit d'un abaissement considérable du niveau de base marin ! À noter que, n'étant pas à une contradiction ou un revirement près, Roveri *et al.* (2016) finirent par attribuer au bassin sicilien un statut intermédiaire entre bassin périphérique et bassin central. Les modélisations numériques sont venues en soutien des divers scénarios (Krijgsman et Meijer, 2008 ; Bache *et al.*, 2015). Toute la question réside, d'une part dans l'élucidation du moment où se sont déposées les évaporites des bassins centraux, d'autre part dans le moyen d'alimentation permanente en eau marine. Dans l'hypothèse du processus synchrone (Fig. 20), la Méditerranée aurait été en connexion à haut niveau marin avec l'océan Atlantique pendant le dépôt des 7/8^{èmes} des évaporites centrales (stade 1) ; le 1/8^{ème} restant des évaporites centrales se serait déposé pendant le stade 2 (dessiccation).

Dans l'hypothèse du processus asynchrone (Fig. 20), 1/8^{ème} des évaporites centrales se serait déposé au début de la phase de dessiccation (stade 2) ; la plupart des apports clastiques auraient alors atteint le fond du bassin asséché ; puis les 7/8^{èmes} des évaporites centrales se seraient déposés sous l'effet continu d'eaux atlantiques franchissant le seuil de Gibraltar et entraînant une progressive remontée de l'eau au fond du bassin méditerranéen pendant que les sédiments clastiques pouvaient se mêler aux évaporites précédant l'élaboration de la surface d'abrasion marine.

¹ Les évaporites de mer Tyrrhénienne n'appartiendraient-elles pas à un bassin périphérique ?

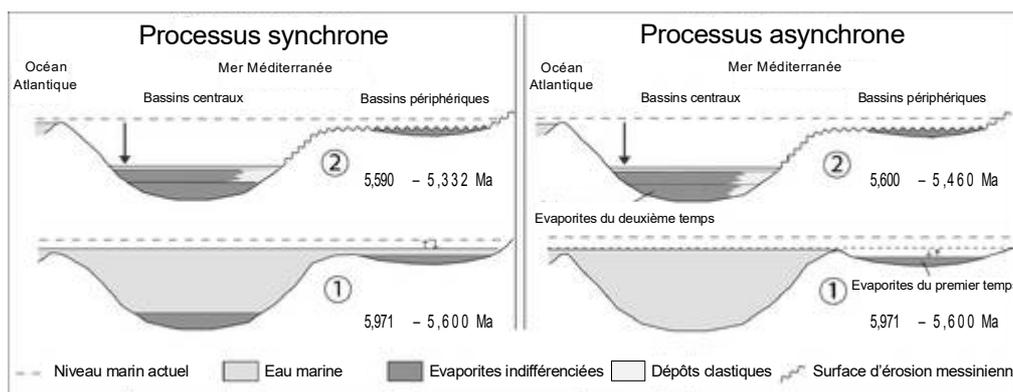


Fig. 20. Différences de conception entre les deux stades de la Crise de salinité dans un processus synchrone (Krijgsman *et al.*, 1999 ; Krijgsman et Meijer, 2008) ou asynchrone (Clauzon *et al.*, 1996, 2015a ; Bache *et al.*, 2015)

Le contexte morphologique du seuil entre Atlantique et Méditerranée au détroit de Gibraltar est donc capital pour déterminer quel processus a entraîné le bassin méditerranéen dans cette crise. Compte tenu que la fermeture des corridors bétique et rifain fut bien antérieure au déclenchement de la Crise de salinité messinienne, il faut admettre **qu'un corridor marin passant par Gibraltar lui préexistait** (Capella *et al.*, 2018). C'est l'enjeu des études tant stratigraphiques que tectoniques engagées dans ce secteur ayant eu comme objectif d'instructives restitutions paléogéographiques (Estrada *et al.*, 2011 ; Garcia-Castellanos et Villaseñor, 2011 ; Bache *et al.*, 2012 ; Do Couto, 2014 ; Capella *et al.*, 2018). Dans un tel contexte, pourquoi ne pas envisager l'intervention de causes globales de la Crise de salinité messinienne (Leroux *et al.*, 2018) ?

La connaissance sur le climat a progressé avec la première simulation numérique parvenue à modéliser le bassin méditerranéen affecté d'une baisse du niveau marin d'au moins 1500 m et à en estimer les conséquences climatiques sur la dépression continentale ainsi créée tout comme sur les terres voisines (Murphy *et al.*, 2009). Les **conditions hyper-arides simulées sur l'ensemble du bassin méditerranéen et son pourtour** s'accordent avec la migration des végétaux subdésertiques vers le nord au long de la péninsule italienne lors du paroxysme de la crise (Popescu *et al.*, 2007) et avec le développement contemporain de steppes à *Artemisia* au bord de la mer Noire (Popescu, 2006 ; Popescu *et al.*, 2016). L'analyse pollinique de niveaux argileux intercalés dans l'Unité évaporitique supérieure (UU) des deux sites DSDP 134 et ODP 978 montre la persistance de conditions très xériques dans le bassin (Popescu *et al.*, 2015). Les données géochimiques de Vasiliev *et al.* (2017) sont cohérentes avec les résultats exposés ci-dessus. La question d'un forçage climatique global et du glacio-eustatisme à l'origine de la crise a été de nouveau soulevée à partir de l'étude d'un forage sur la façade atlantique de la péninsule ibérique (Jiménez-Moreno *et al.*, 2013).

Depuis 2007, il y a eu peu d'avancées sur la question de la sauvegarde du biota marin benthique pendant le paroxysme de la crise. On peut toutefois se demander si la **recrudescence du volcanisme dans le bassin d'Alboran** (Sternai *et al.*, 2017) n'aurait pu, en érigeant des barrières, **créer des « vasques » suspendues**, alimentées en eau océanique via Gibraltar, à faune benthique méditerranéenne préservée ayant servi de point de départ à la reconquête des milieux littoraux après

le ré-ennoïement marin (Bache *et al.*, 2012). Pour Bache *et al.* (2015), l'élévation progressive du niveau marin après le paroxysme (dépôt de la majeure partie des évaporites centrales, puis élaboration de la surface d'abrasion) aurait résulté du débordement de ces vasques temporaires. Une découverte paléobiologique interpelle dans le prolongement des remarques de Gaudant (2002) : il s'agit de dents de poissons tropicaux (essentiellement des sélaciens) d'origine indo-pacifique juste au-dessus de la Surface d'érosion messinienne en Lybie (Pawellek *et al.*, 2012). Écartant leur entrée en Méditerranée lors de la rupture du seuil de Gibraltar, car cette faune est difficilement compatible avec une provenance atlantique du point de vue de la température des eaux, les auteurs envisagent qu'elle ait pu survivre pendant la crise en un secteur de Méditerranée où des eaux marines auraient pu être préservées : ne pourrait-il s'agir des vasques d'Alboran ? Une autre hypothèse pourrait être l'alimentation en eaux tropicales par un canyon messinien ayant atteint la mer Morte (alors connectée à la mer Rouge), exprimée dans les restitutions paléogéographiques de Bache *et al.* (2012). Cette hypothèse est suggérée d'une part par la présence de microplancton marin dans les intercalations argileuses au sein des évaporites forées au large du delta du Nil au vu du *log* que j'ai pu examiner et, de l'autre, par quelques observations réalisées sur des sédiments prélevés en Israël (Popescu *et al.*, 2017 ; Popescu, inédit).

Suite à l'alerte lancée par Gaudant (2002) sur la présence de poissons marins dans le biofaciès *Lago Mare*, on a assisté à une recrudescence des études de l'ichthyofaune et des kystes de dinoflagellés. Carnevale *et al.* (2006a, b, 2008, 2018) ont montré de façon indiscutable à partir des restes de poissons que le faciès *Lago Mare* était marin. Par ailleurs, l'étude approfondie du dinokyste *Galeacysta etrusca* a établi sa variabilité morphologique en fonction de la salinité avec des morphotypes différents selon la localisation méditerranéenne ou paratéthysienne des microflores étudiées et en fonction de leur âge respectif, antérieur (*Lago Mare* 1, *LM* 1) ou postérieur (*Lago Mare* 3, *LM* 3) à la phase de dessiccation (Popescu *et al.*, 2009). La prospection continuant, le nombre des sites à *LM* 1 et *LM* 3 s'est accru (Fig. 21 ; Do Couto *et al.*, 2014) puis l'étude des carottes *DSDP* – *ODP* est venue confirmer la succession temporelle des trois épisodes *Lago Mare*, tous marins (Fig. 21 ; Popescu *et al.*, 2015). Les ***Lago Mare* 1 et 3 étaient probablement des échanges à haut niveau marin entre Méditerranée et Paratéthys** (Fig. 15) appuyés par les résultats des analyses géochimiques de Sprovieri *et al.* (2008) et la présence de foraminifères planctoniques dans le bassin dacique (Suc *et al.*, 2011), un processus auquel se sont ralliés Stoica *et al.* (2016) en dépit de sérieuses divergences chronologiques. Le ***Lago Mare* 2 est supposé avoir résulté du déversement du bassin égéen**, possible réceptacle des eaux paratéthysiennes pendant la phase paroxysmale, par surverse au-dessus du seuil hellénique ou par rupture d'une partie de l'arc (Fig. 21 ; Popescu *et al.*, 2015). Il a été ainsi établi que **les kystes de dinoflagellés étaient les véritables marqueurs des incursions d'eaux paratéthysiennes** car associés aux eaux de surface, les autres organismes paratéthysiens (mollusques, ostracodes) pouvant se développer et se maintenir ultérieurement dans des lagunes (Fig. 22 ; Popescu *et al.*, 2009, 2015 ; Do Couto *et al.*, 2014).

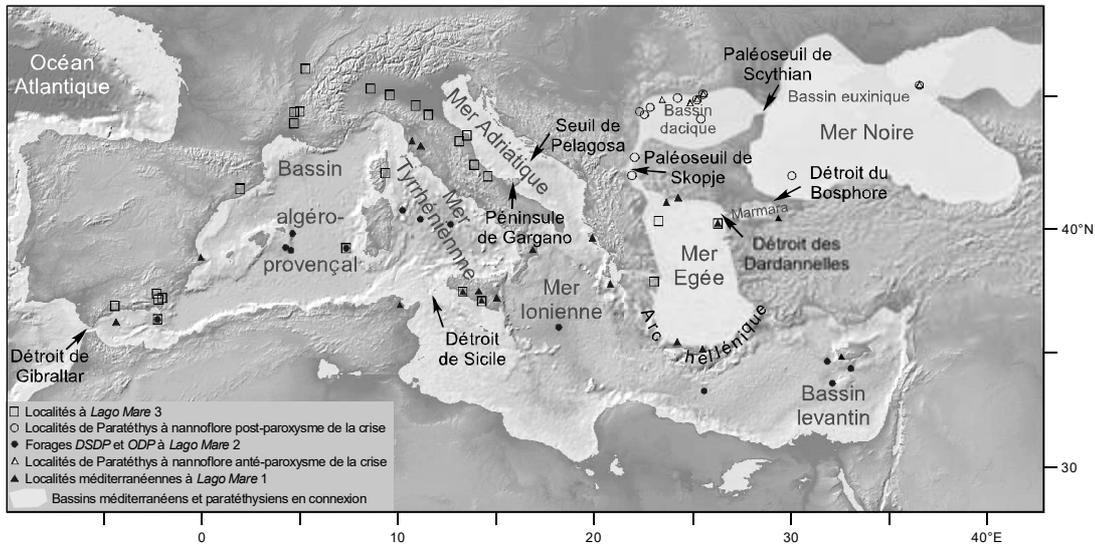


Fig. 21. La Méditerranée : une mer à (paléo-)détroits et (paléo-)seuils
Localisation des sites à *Lago Mare* (d'après Do Couto *et al.*, 2014) ; zone d'échanges avec la Paratéthys orientale (d'après Popescu *et al.*, 2009 ; Suc *et al.*, 2015a)

Classiquement, c'est le secteur de la mer de Marmara qui est pris en compte pour le passage des eaux paratéthysiennes (Popov *et al.*, 2006) mais les investigations menées dans cette région ont conduit à écarter ce passage potentiel (Melinte-Dobrinescu *et al.*, 2009 ; Suc *et al.*, 2015b) au profit d'un **corridor à travers les Balkans** passant par Skopje et Niš (Fig. 21 ; Popescu *et al.*, 2009 ; Suc *et al.*, 2011, 2015a).

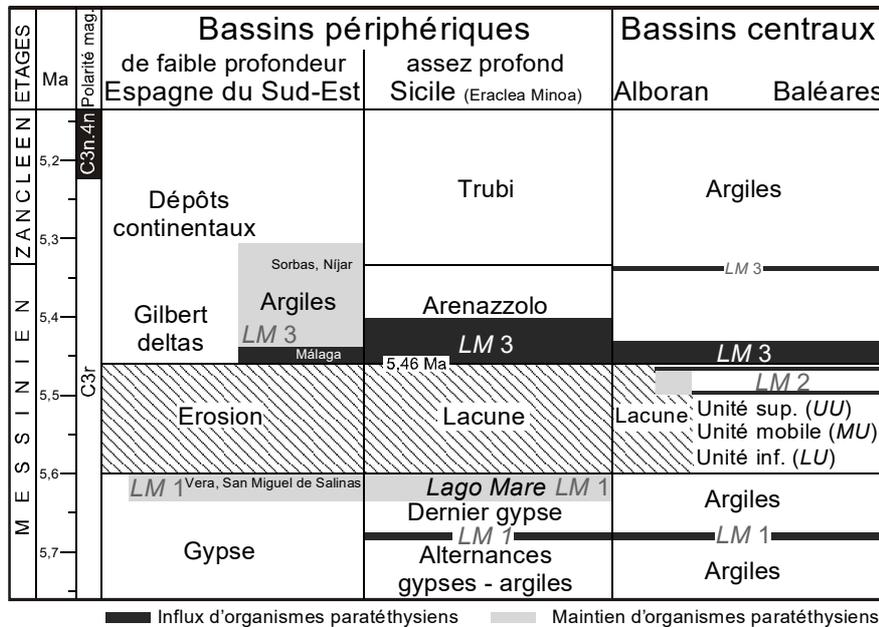


Fig. 22. Distribution spatio-temporelle des trois épisodes *Lago Mare* (LM) en relation avec la Crise de salinité messinienne et leur signification en termes d'écosystèmes (d'après Popescu *et al.*, 2009, 2015 ; Do Couto *et al.*, 2014)

Le débat reste intense sur l'impact de la Crise de salinité messinienne en mer Noire (Krijgsman *et al.*, 2010 ; Popescu *et al.*, 2016 ; Rostovtseva et Rybkina, 2017 ; Suc *et al.*, 2015b ; Vasiliev *et al.*, 2011 ; van Baak *et al.*, 2015, 2016) avec de fortes divergences d'ordre chronologique et d'interprétations. Néanmoins, grâce à l'exploration pétrolière et à la multiplication des campagnes sismiques et de forages, les progrès sont certains dans la connaissance de ce domaine (Tari *et al.*, 2015, 2016 ; Schleder *et al.*, 2016 ; Sipahioğlu et Bati, 2017).

Un dernier mot sur la lacune temporelle le plus souvent exprimée par la Surface d'érosion messinienne. Dans la partie centrale des bassins périphériques, la discordance est peu visible (on se rappellera du cas de la coupe de Cuevas del Almanzora dans le bassin de Vera) mais la biostratigraphie à haute résolution a permis la mise en évidence de la lacune qui a été nommée **discontinuité messinienne** par exemple sur la coupe d'Intepe dans les Dardanelles (Melinte-Dobrinescu *et al.*, 2009), à Eraclea Minoa (Bache *et al.*, 2012) ou dans le bassin de Sorbas (Clauzon *et al.*, 2015a).

La Méditerranée est une mer avec des détroits et des seuils (Blanc, 2000) où des paléo-détroits et les paléo-seuils existaient avant la Crise de salinité messinienne (Fig. 21). Outre l'avancée récente sur la fermeture du détroit rifain et l'existence probable du détroit-seuil de Gibraltar avant le déclenchement de la Crise messinienne (Capella *et al.*, 2018), de nouvelles informations significatives ont été acquises sur deux secteurs peu investis jusqu'alors :

- le **seuil de Pelagosa** dans le prolongement de la péninsule de Gargano qui est considéré avoir **isolé l'avant-fosse apenninique pendant le paroxysme de la crise**, cantonnant le modèle de Roveri *et al.* (1998, 2001, 2005) à ce seul secteur et le disqualifiant par là-même pour l'ensemble de la Méditerranée (Pellen *et al.*, 2017) ;
- le **seuil de Sicile existait lors du paroxysme** de la crise, à en croire le gigantesque dépôt chaotique sous-marin au pied de l'escarpement de Malte interprété comme témoignant de la ré-inondation du bassin oriental (Micallef *et al.*, 2018).

La barrière volcanique au travers du bassin d'Alboran envisagée par Sternai *et al.* (2017) a-t-elle pu constituer un **chapelet d'îles utilisées par les mammifères pour passer d'Europe en Afrique et réciproquement** ? C'est l'hypothèse proposée par Booth-Rea *et al.* (2016). Le seuil de Gargano-Pelagosa dont l'émersion au cours de la crise est proposée par Pellen *et al.* (2017) est supposé avoir servi périodiquement de jonction terrestre pour les mammifères.

Il faut signaler que la Crise de salinité messinienne et les variations physiographiques qu'elle a induites est souvent invoquée pour éclairer la biogéographie actuelle, la systématique et la phylogénie de végétaux (Caujapé-Castells et Jansen, 2003 ; Musacchio *et al.*, 2006 ; Bellusci *et al.*, 2010) et d'animaux (crustacés : Jelić *et al.*, 2016 ; poissons : Reyjol *et al.*, 2007 ; Ketmaier *et al.*, 2008 ; amphibiens : Wielstra *et al.*, 2010 ; mammifères : Colangelo *et al.*, 2010).

6. Conclusions - Quel futur pour progresser dans le déchiffrement de cette crise ?

Bien que différentes, les trois périodes qui ont guidé la subdivision de ce texte furent riches en résultats déterminants et en initiatives heureuses malgré l'âpreté du débat. Le Tableau 1 présente un récapitulatif des événements que je considère les plus importants. La communauté française y a pris une part importante avec le soutien des instances comme les ministères (Enseignement supérieur et Recherche, Affaires étrangères) pour les bourses de thèses, le CNRS à travers les programmes de l'INSU (RCP, DBT, SYSTER, ECLIPSE, MISTRALS-TERMEX), l'Agence nationale de la recherche (projet EGEO), de l'IFREMER (campagnes en mer), et de la recherche pétrolière (Elf-Aquitaine et Total). À mentionner tout particulièrement le vecteur exceptionnel que fut le programme « Marges » (Total, CNRS-INSU, BRGM, IFREMER) qui pendant près de 20 ans mobilisa et dynamisa un groupe de recherche sur la Méditerranée où le thème « Crise de salinité messinienne » occupait une place centrale.

Au terme de cette longue histoire qui est probablement encore loin de connaître son épilogue, peut-on avoir des regrets ? Certainement, si l'on regarde le temps et l'énergie perdus pour que les données ne soient pas utilisées selon une sélection partisane en vue de favoriser tel ou tel scénario. Que d'efforts faut-il fournir pour publier un travail face à l'adversité de quelques rapporteurs juges et parties, le plus souvent anonymes, souvent dévastateurs et malveillants mais soucieux avant tout de défendre leur modèle en asphyxiant le débat ! À moins que ce ne soit un moyen de masquer la faiblesse de leur argumentation ? On peut d'ailleurs se demander si ceux qui refusent la prise en considération de toutes les informations disponibles veulent vraiment avancer dans la solution de l'énigme messinienne, inquiets peut-être de voir s'estomper leur raison d'être ? Plutôt que développer des situations de tension à partir de la véhémence de certaines publications, des rapports sur projets d'articles ou des interventions dans les congrès, ne serait-il pas plus sage d'unir les potentialités de toutes et tous vers un but commun, la solution de ce problème qui a déjà coûté tant ? Pour aller vers de nouveaux progrès marquants, un minimum de sérénité s'avère nécessaire. Un individu, voire une équipe, ne parviendront pas seuls à démêler l'extrême complexité de la question à résoudre. Au lieu d'un article péremptoire (Roveri *et al.*, 2014b) visant à imposer une sorte de « modèle officiel », n'aurait-il pas été plus sage et constructif de publier avec tous les protagonistes de la réunion d'Almería une synthèse contradictoire où tous les points de vue et toutes les données auraient été discutés, ce qui aurait été extrêmement utile pour les jeunes chercheurs et aurait gratifié l'article CIESM (2008) d'une consécration scientifique ?

Pourtant, des réunions constructives ont permis d'avancer dans une prospection positive, comme ce fut le cas à Lyon lors de la remise du Prix Fontannes de la Société géologique de France à Georges Clauzon (mai 2008 ; Fig. 23), la préparation du projet de forage *IODP GOLD* à Banyuls (octobre 2010 ; Fig. 24), ou encore la préparation du projet de forages *IODP DREAM* à Brisighella (mai 2013 ; Fig. 25) (Rabineau *et al.*, 2015). Tout cela est encourageant et donne quelques raisons d'espérer.

Dates	Nature des événements	Ci	Publications
1882	Vallée du Rhône : emboîtement des sédiments pliocènes dans les dépôts miocènes		Fontannes, 1882
1952	Grande régression marine à la fin du Miocène, la Méditerranée se serait trouvée isolée		Denizot, 1952
1965 - 1968	Découverte d'évaporites en dômes sous le bassin ouest-méditerranéen		Hersey, 1965 - Menard <i>et al.</i> , 1965 Alinat <i>et al.</i> , 1966 - Glangeaud, 1966 Glangeaud <i>et al.</i> , 1966 - Leenhardt, 1968
28 août 1970	Première récupération par carottage d'évaporites, d'âge messinien, au sud-est des Baléares		Hsü <i>et al.</i> , 1973 - Nesteroff, 1973
9 septembre 1971	Première présentation par M.B. Cita à Lyon du modèle du "bassin profond asséché" ... "Le Rhône doit avoir creusé de profondes vallées à la recherche du niveau de base"		Clauzon, 1973 - Chumakov, 1973
2-4 mars 1973	Présentation par R. Selli à Utrecht du modèle du "bassin profond non asséché"		Selli, 1973
1973 - 1979	Définition biostratigraphique de la limite Messinien-Zancléen		Cita <i>et al.</i> , 1973 - Colalongo <i>et al.</i> , 1979
1973 - 1990	La sédimentologie et la géochimie concluent à un milieu de dépôt assez confiné des évaporites		Schreiber, 1973 - Rouchy, 1989 Pierre et Rouchy, 1990
1976 - 1980	La série sédimentaire de Vera illustre-t-elle un passage continu entre Messinien et Zancléen ?		Montenat <i>et al.</i> , 1976 - Clauzon, 1980 Cita <i>et al.</i> , 1980 - Geerlings <i>et al.</i> , 1980
1978	Lago Mare : déversement d'eaux paratéthysiennes dans la Méditerranée à sec par les Balkans		Cita <i>et al.</i> , 1978b
1978 - 1982	L'érosion fluviale (canyons), principal soutien du "bassin profond asséché"		Clauzon, 1978, 1979-80, 1982
1980 - 1991	Premières contributions significatives de l'océanographie au creusement fluviale messinien		Aleria, 1980 - Savoye et Piper, 1991
21 septembre 1987	Identification des Gilbert deltas, appareils sédimentaires progradants de fond de ria (Roussillon)		Clauzon, 1990
1990	Premières flores polliniques fiables (Sicile) : pas de changement du climat à l'origine de la crise		Suc et Bessais, 1990
1991	Calibrage bio-magnétostratigraphique d'une série atlantique (Maroc) à sédimentation continue		Benson et Rakic-El Bied, 1991a, b
1994	Bio-magnétostratigraphie : la crise débuta dans l'époque Gilbert (C3r) en Sicile et à Sorbas		Gautier <i>et al.</i> , 1994
1988 - 1994	Le bassin sicilien était un bassin marginal (récifs coralliens, simultanéité des évaporites)		Grasso et Pedley, 1988 Clauzon <i>et al.</i> , 1996
1995 - 1998	Scénarios en deux temps de la crise, marginal puis profond		Butler <i>et al.</i> , 1995 - Clauzon <i>et al.</i> , 1996 Riding <i>et al.</i> , 1998
1998	Prisme marin transgressif, messinien, sous le Trubi en Calabre		Cavazza et DeCelles, 1998
1999	Confirmation de l'âge du début de la crise dans l'épisode C3r à Sorbas comme en Sicile		Krijgsman <i>et al.</i> , 1999
1999 - 2006	Scénarios synchrones de dépôt des évaporites dans les bassins marginaux et profonds		Krijgsman <i>et al.</i> , 1999 Rouchy et Caruso, 2006
2000 - 2005	Suivi et cartographie de la Surface d'érosion messinienne de la terre aux abysses		Guennoc <i>et al.</i> , 2000 Lofi <i>et al.</i> , 2005
2000 - 2006	Capture d'un "fleuve atlantique" par la Méditerranée à sec		Blanc, 2000, 2002 - Loget <i>et al.</i> , 2005 Loget et Van Den Driessche, 2006
2005	Deux épisodes Lago Mare, LM 1 avant et LM 3 après la phase paroxysmale, échanges Méditerranée - Paratéthys à haut niveau marin		Clauzon <i>et al.</i> , 2005
2006	Confirmation de l'absence de changement de climat avant, pendant, après la crise		Fauquette <i>et al.</i> , 2006
1998 - 2006	L'avant-fosse apenninique proposée comme modèle pour toute la Méditerranée		Roveri <i>et al.</i> , 1998, 2001 Manzi <i>et al.</i> , 2005 Roveri et Manzi, 2006
2007	Mais le retour des eaux marines y précéda nettement le début du Zancléen		Popescu <i>et al.</i> , 2007
7-10 novembre 2007	"Consensus" discuté à la réunion d'Almería		CIESM, 2008
2009 - 2012	Remise en eau du bassin méditerranéen en deux temps, le premier lent, le second foudroyant		Garcia-Castellanos <i>et al.</i> , 2009 Bache <i>et al.</i> , 2012
2012 - 2013	Chronologie affinée de la crise (5,971 - 5,460 Ma)		Bache <i>et al.</i> , 2012 Manzi <i>et al.</i> , 2013
2009 - 2015	Les échanges avec la Paratéthys s'effectuaient par un corridor traversant les Balkans Les kyste de dinoflagellés sont les véritables marqueurs de ces échanges		Popescu <i>et al.</i> , 2009 - Bache <i>et al.</i> , 2012 Suc <i>et al.</i> , 2011, 2015a, b
2010 - 2016	Le débat est intense sur l'impact de la Crise de salinité messinienne sur la mer Noire, tant du point de vue conceptuel que de celui de la chronologie		Krijgsman <i>et al.</i> , 2010 Suc <i>et al.</i> , 2015b - Popescu <i>et al.</i> , 2016 van Baak <i>et al.</i> , 2015, 2016
2017	L'avant-fosse apenninique était isolée par le soulèvement d'un seuil pendant le paroxysme, son cas ne peut pas être étendu à tout le bassin méditerranéen		Pellen <i>et al.</i> , 2017
2018	Le détroit de Gibraltar était le seul corridor reliant Méditerranée et Atlantique avant la crise		Capella <i>et al.</i> , 2018

Ci = controversé induite : faible à nulle modérée forte

Tabl. 1. Événements constitutifs de l'histoire de la Crise de salinité messinienne



Fig. 23. Participants à la réunion « Géodynamique et paléogéographie de l'aire méditerranéenne au Mio-Pliocène : l'interférence eustatisme – tectonique », séance spécialisée de la Société géologique de France en l'honneur de G. Clauzon (Lyon, mai 2008). Sont mentionnés les noms des scientifiques connus pour leurs travaux sur la Crise de salinité messinienne (photographie fournie par les organisateurs)



Fig. 24. Participants au groupe de travail de préparation à la demande *GOLD* de forage profond dans le golfe du Lion (Banyuls, octobre 2010) après une journée d'excursion géologique en Roussillon achevée par une dégustation de vins de Rivesaltes. Sont mentionnés les noms des scientifiques connus pour leurs travaux sur la Crise de salinité messinienne (photographie fournie par les organisateurs)



Fig. 25. Participants au colloque *DREAM* de préparation à la demande de forages profonds en Méditerranée (Brisighella, Italie, mai 2013). Sont mentionnés les noms des scientifiques connus pour leurs travaux sur la Crise de salinité messinienne (photographie fournie par les organisateurs)

S'il est tout à fait judicieux de chercher à obtenir une nouvelle campagne de forages en mer profonde (*IODP*), il faut bien rappeler que les carottes à disposition à la suite de 5 *Legs* (47 forages ; Fig. 26) sont encore insuffisamment exploitées. Deux projets de forages ont été préparés : *GOLD* au centre du golfe du Lion qui demande un carottage complet de la série évaporitique (ceci jusqu'au substratum pour reconstituer l'histoire complète du bassin) et *DREAM* qui est axé sur plusieurs puits plus ou moins longs sur la marge baléarique d'une part et dans le bassin levantin d'autre part. Actuellement, les deux projets sont réunis sous une seule bannière (*Uncovering a salt giant*) connaissant des difficultés à aboutir.

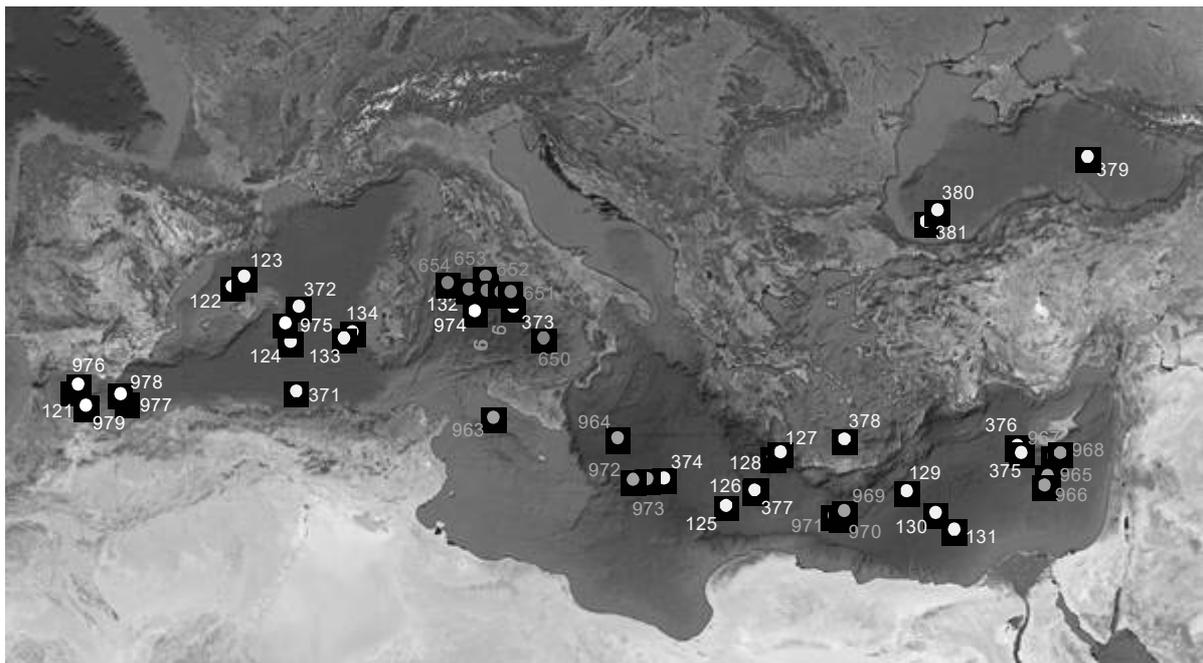


Fig. 26. Sites de forages *DSDP* – *ODP* en Méditerranée et mer Noire (*Legs* 13, 42, 107, 160, 161)

Les réponses les plus attendues que la campagne de forages demandée devrait fournir concernent :

- l'âge discuté du début des évaporites dans un bassin profond ;
- l'âge controversé de la remise en eau marine du bassin méditerranéen ;
- la relation géométrique entre dépôts clastiques produits par l'érosion et les évaporites ;
- le *Lago Mare* profond (LM 2) dont il convient d'éclaircir l'origine ;
- l'explication des intercalations argileuses marines dans le sel du bassin levantin.

Dans l'attente, nonobstant les recherches en cours développées par les différentes équipes, ne serait-il possible de conduire une action commune visant à ce que les informations pétrolières sur le bassin levantin tenues confidentielles soient enfin mises à la disposition de la communauté scientifique et que surtout des échantillons de la série messinienne (évaporites, argiles interstratifiées) puissent enfin lui être confiés pour analyse ? La recherche pétrolière utilise amplement les données acquises par la recherche académique, un retour concernant les zones productives serait bénéfique aux deux partenaires.

Tous les protagonistes semblant à présent s'accorder sur la présence à terre de la Surface d'érosion messinienne, ne serait-il possible d'avoir une action commune auprès des organismes de cartographie géologique afin que la figuration de son tracé soit désormais envisagée sur les cartes du pourtour méditerranéen ? Cela a été réalisé avec clarté sur la dernière édition de la Carte géologique de la France au 1.000.000^{ème} (Chantraine *et al.*, 2005) bien que l'expérience n'ait hélas pas été renouvelée au niveau des feuilles au 50.000^{ème} récemment parues (Céret : Wiazemsky *et al.*, 2010 ; Argelès-sur-Mer - Cerbère : Calvet *et al.*, 2015).

Enfin, dans le contexte du réchauffement climatique en cours et de l'appauvrissement attendu des ressources en eau du domaine péri-méditerranéen, une investigation des exutoires karstiques profonds, nécessairement en relation avec l'effondrement du niveau de base messinien, devrait être envisagée (Bakalowicz, 2010).

Remerciements

Je tiens à rendre un chaleureux hommage à Jean Gaudant qui m'a invité à présenter devant le COFRHIGEO une conférence sur l'histoire de la Crise messinienne le 11 mars 2015 et qui, malgré nos divergences de vue sur cet événement hors norme, a tenu à ce que j'écrive cet article. Marina Rabineau, François Bache et Damien Do Couto ont accepté de relire le manuscrit, je les remercie bien sincèrement pour leurs commentaires extrêmement profitables. Je dois à Christian Gorini la fourniture de quelques documents. Mes remerciements vont enfin à Philippe Grandchamp pour le grand soin avec lequel il a conduit l'édition de ce manuscrit.

Bibliographie

- ADAMS, C. G., BENSON, R. H., KIDD, R. B., RYAN, W. B. F., WRIGHT, R. C. (1977). The Messinian salinity crisis and evidence of late Miocene eustatic changes in the world ocean. *Nature*, **269**, p. 383-386.
- AGUSTÍ, J., GARCÉS, M., KRIJGSMAN, W. (2006). Evidence for African–Iberian exchanges during the Messinian in the Spanish mammalian record. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*, **238**, p. 5-14.
- AHARON, P., GOLDSTEIN, S. L., WHEELER, C. W., JACOBSON, G. (1993). Sea-level events in the South Pacific linked with the Messinian salinity crisis. *Geology*, **21**, p. 771-775.
- ALERIA (1980). Le canal de Corse et les bassins nord-tyrrhéniens au Miocène supérieur et terminal (Messinien) ; leur évolution plio-quadernaire. *Géol. médit.*, **7**, (1), p. 5-12.
- ALINAT, J., GIEMANN, G., LEENHARDT, O. (1966). Reconnaissance sismique des accidents de terrain en mer Ligure. *C. R. Acad. Sci, Paris, (B)*, **262**, p. 1311-1314.
- AUZENDE, J.-M., BONNIER, J., OLIVET ; J.-L., PAUTOT, G., MAUFFRET, A. (1971). Upper Miocene Salt Layer in the Western Mediterranean Basin. *Nat. phys. Sci*, **230**, p. 82-84.
- AZZAROLI, A., GUAZZONE, G. (1979-1980). Terrestrial mammals and land connections in the Mediterranean before and during the Messinian. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*, **29**, p. 155-167.
- BACHE, F., GARGANI, J., SUC, J.-P., GORINI, C., RABINEAU, M., POPESCU, S.-M., LROUX, E., DO COUTO, D., JOUANNIC, G., RUBINO, J.-L., OLIVET, J.-L., CLAUZON, G., DOS REIS, A. T., ASLANIAN, D. (2015). Messinian evaporite deposition during sea level rise in the Gulf of Lions (Western Mediterranean). *Mar. Petrol. Geol.*, **66**, p. 262-277.
- BACHE, F., OLIVET, J.-L., GORINI, F., RABINEAU, M., BAZTAN, J., ASLANIAN, D., SUC, J.-P. (2009). Messinian Erosional and Salinity Crises: View from the Provence Basin (Gulf of Lions, Western Mediterranean). *Earth planet. Sci. Lett.*, **286**, p. 139-157.
- BACHE, F., POPESCU, S.-M., RABINEAU, M., GORINI, C., SUC, J.-P., CLAUZON, G., OLIVET, J.-L., RUBINO, J.-L., MELINTE-DOBRIANESCU, M. C., ESTRADA, F., LONDEIX, L., ARMIJO, R., MEYER, B., JOLIVET, L., JOUANNIC, G., LEROUX, E., ASLANIAN, D., DOS REIS, A. T., MOCOCHAIN, L., DUMURDŽANOV, N., ZAGORCHEV, I., LESIĆ, V., TOMIĆ, D., ÇAĞATAY, M. N., BRUN, J.-P., SOKOUTIS, D., CSATO, I., UCARKUS, G., ÇAKIR, Z. (2012). A two-step process for the reflooding of the Mediterranean after the Messinian Salinity Crisis. *Basin Res.*, **24**, p. 125-153.

- BAKALOWICZ, M. (2010). Karst et ressources en eau souterraine : un atout pour le développement des pays méditerranéens. *Sécheresse en ligne*, **21**, (1e), p. 1-6.
- BARBER, P. M. (1980). Palaeogeographic evolution of the Proto-Nile delta during the Messinian salinity crisis. *Géol. médit.*, **7**, (1), p. 13-18.
- BARR, F. T., WALKER, B. R. (1973). Late tertiary channel system in Northern Libya and its implications on Mediterranean sea level changes. In "Leg 13", RYAN, W. B. F., HSÜ, K. J. *et al.*, édit., *Initial Reports of the Deep Sea Drilling Project*, **13**, Washington (U. S. Government Printing Office), p. 1244-1250.
- BEAUFORT, L., BRUNEAU, J., CRÉPIN, A., JULLIAN, Y. (1954). Ampleur de l'érosion pontienne et du comblement pliocène en Camargue. *Bull. Soc. géol. France*, (6), **4**, (1-3), p. 175-184.
- BELLUSCI, F., MUSACCHIO, A., PALERMO, A. M., PELLEGRINO, G. (2010). Exploring the history of *Serapias politisii* (Orchidaceae), a narrow endemic on the opposite coasts of the otranto channel: insights from molecular investigations. *Botanic. Journ. linn. Soc.*, **162**, p. 572-580.
- BENSON, R. H. (1973). Psychrospheric and continental ostracoda from ancient sediments in the floor of the Mediterranean. In "Leg 13", RYAN, W. B. F., HSÜ, K. J. *et al.*, édit., *Initial Reports of the Deep Sea Drilling Project*, **13**, Washington (U. S. Government Printing Office), p. 1002-1008.
- BENSON, R. H. (1978). The paleoecology of the ostracodes of DSDP Leg 42. In "Leg 42A", HSÜ, K. J., MONTADERT, L., édit., *Initial Reports of the Deep Sea Drilling Project*, **42**, (1), Washington (U. S. Government Printing Office), p. 777-783.
- BENSON, R. H., RAKIC-EL BIED, K. (1991a). An important current reversal (influx) in the Rifian Corridor (Morocco) at the Tortonian-Messinian boundary: the end of the Tethys Ocean. *Paleoceanography*, **6**, p. 164-192.
- BENSON, R. H., RAKIC-EL BIED, K. (1991b). Biodynamics, saline giants and late Miocene catastrophism. *Carbonates and evaporites*, **6**, p. 127-168.
- BENSON, R. H., RAKIC-EL BIED, K. (1991c). The Messinian parastratotype at Cuevas del Almanzora, Vera Basin, SE Spain: refutation of the deep-basin, shallow-water hypothesis? *Micropaleontology*, **37**, p. 289-302.
- BENSON, R. H., RAKIC-EL BIED, K., BONADUCE, G. (1991). An important current reversal (influx) in the Rifian Corridor (Morocco) at the Tortonian-Messinian boundary: the end of Tethys Ocean. *Paleoceanography*, **6**, p. 164-192.
- BERGGREN, W. A. (1973). Biostratigraphy and biochronology of the late Miocene (Tortonian and Messinian) of the Mediterranean. *Koninklijke Nederlandse Akademie Van Wetenschappen, Geodynamics Scientific Report*, **7**, p. 10-20.

- BERGGREN, W. A., HAQ, B. U. (1976). The Andalusian Stage (late Miocene): biostratigraphy, biochronology and paleoecology. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*, **20**, p. 67-129.
- BERNET ROLLANDE, M. C., CRAVATTE, J., MAURIN, A. F. (1979). Nouvelles données sédimentologiques sur les coupes de Carmona et de Vera (Espagne méridionale), 5^{ème} Séminaire sur le Messinien, Chypre, résumé.
- BERTINI, A., CORRADINI, D., SUC, J.-P. (1995). On *Galeacysta etrusca* and the connections between the Mediterranean and the Paratethys. *Roman. Journ. Strati.* **76**, (supplement 7, 1), p. 141-142.
- BERTINI, A., LONDEIX, L., MANISCALCO, R., DI STEFANO, A., SUC, J.-P., CLAUZON, G., GAUTIER, F., GRASSO, M. (1998). Paleobiological evidence of depositional conditions in the Salt Member, Gessoso-Solfifera Formation (Messinian, Upper Miocene) of Sicily. *Micropaleontology*, **44**, p. 413-433.
- BERTONI, C., CARTWRIGHT, J. A. (2006). Controls on the basinwide architecture of late Miocene (Messinian) evaporites on the Levant margin (Eastern Mediterranean). *Sedim. Geol.* **188-189**, p. 93-114.
- BERTONI, C., CARTWRIGHT, J. A. (2007). Clastic depositional systems at the base of the late Miocene evaporites of the Levant region, Eastern Mediterranean. In "Evaporites through space and time", SCHREIBER, B. C., LUGLI, S., BABEL, M., édité., *Geol. Soc. London, Special Publication*, **285**, p. 37-52.
- BINI, A., CITA, M. B., GAETANI, M. (1978). Southern Alpine lakes – Hypothesis of an erosional origin related to the Messinian entrenchment. *Mar. Geol.*, **27**, p. 271-288.
- BLANC, P.-L. (2000). Of sills and straits: a quantitative assessment of the Messinian Salinity Crisis. *Deep-Sea Res.*, (I), **47**, p. 1429-1460.
- BLANC, P.-L. (2002). The opening of the Plio-Quaternary Gibraltar Strait: assessing the size of a cataclysm. *Geodinamica Acta*, **15**, p. 303-317.
- BLANC-VALLERON, M.-M., PIERRE, C., CAULET, J. P., CARUSO, A., ROUCHY, J.-M., CESPUGLIO, G., SPROVIERI, R., PESTREA, S., DI STEFANO, E. (2002). Sedimentary, stable isotope and micropaleontological records of paleoceanographic change in the Messinian Tripoli Formation (Sicily, Italy). *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*, **185**, p. 255-286.
- BONNET, A., DUBOUL-RAZAVET, C. (1952). Contribution à la connaissance du Bas-Rhône. *Bull. Soc. géol. France*, (6), **2**, p. 123-130.
- BONOMO, B. (2005). Carta geologica d'Italia (Sicilia) 1/1 250 000. *Serv. geol. Italia*.

- BOOTH-REA, G., RANERO, C. R., GREVEMER, I. (2016). Role of the Alboran Sea volcanic arc choking the Mediterranean salinity crisis and foundering biota diversification in North Africa and Southeast Iberia. EGE General Assembly, Vienne, EPSC2016-16376, résumé, 1 p.
- BOURCART, J. (1950). La théorie de la flexure continentale. *C. R. 16^{ème} Congrès International de Géographie*, Lisbonne, p. 167-190.
- BRAGA, J. C., MARTÍN, J. M. (1996). Geometries of reef advance in response to relative sea-level changes in a Mediterranean (uppermost Miocene) fringing reef (Cariatiz reef, Sorbas basin, SE Spain). *Sedim. geol.*, **107**, p. 61-81.
- BRUN, L., CASTET, A., GROSDIDIER, P., MOREAU, P., PRESTAT, B., SEYVE, C., CUSSEY, R., FAJERWERG, R., BREVART, O., CHENNAUX, G., SÉVERAC, J. P., BARLIER, J., PALACIOS, C., POUMOT, C. (1984). Sondage Golfe du Lion profond n°2 GLP2, France, études de laboratoire. SNEA(P) Direction Exploration, Division recherches et applications en géologie, Boussens, 43 p.
- BUKRY, D. (1973). Coccolith stratigraphy Leg 13, Deep Sea Drilling Project. In "Leg 13", RYAN, W. B. F., HSÜ, K.J. *et al.*, édité., *Initial Reports of the Deep Sea Drilling Project*, **13**, Washington (U. S. Government Printing Office), p. 817-822.
- BUSSON, G. (1979). "Le Géant salifère" messinien du domaine méditerranéen : interprétation génétique et implications paléogéographiques. *Ann. géol. Pays helléniques*, (hors sér.), **1**, p. 227-238.
- BUSSON, G. (1990). Le Messinien de la Méditerranée... vingt ans après. *Géol. France*, **3-4**, 3-58.
- BUTLER, R. W. H., LICKORISH, W. H., GRASSO, M., PEDLEY, H. M., RAMBERTI, L. (1995). Tectonics and sequence stratigraphy in Messinian basins, Sicily: constraints on the initiation and termination of the Mediterranean salinity crisis. *Geol. Soc. America Bull.*, **107**, p. 425-439.
- BUTLER, R. W. H., MCCLELLAND, E., JONES, R. E. (1999). Calibrating the duration and timing of the Messinian salinity crisis in the Mediterranean: linked tectonoclimatic signals in thrust-top basins of Sicily. *Journ. geol. Soc. London*, **156**, p. 827-835.
- CALVET, M., AUTRAN, A., WIAZEMSKY, M., LAUMONIER, B., GUITARD, G. (2015). Carte géologique France (1/50.000), feuille Argelès-sur-Mer – Cerbère (1097). Orléans : BRGM. Notice explicative par LAUMONIER, B., CALVET, M., BARBEY, P., GUENNOG, P., LAMBERT, J., LENOBLE, J.-L., WIAZEMSKY, M. (2015), 149 p.
- CANDE, S. C., KENT, D. V. (1992). A new geomagnetic polarity time scale for the late Cretaceous and Cenozoic. *Journ. geophysic. Res.*, **97**, p. 13917-13951.

- CANDE, S. C., KENT, D. V. (1995). Revised calibration of the Geomagnetic Polarity Time Scale for the Late Cretaceous and Cenozoic. *Journ. geophysic. Res.*, **100**, p. 6093-6095.
- CAPELLA, W., BARHOUN, N., FLECKER, R., HILGEN, F. J., KOUWENHOVEN, T., MATENCO, L. C., SIERRO, F. J., TULBURE, M. A., YOUSFI, M. Z., KRIJGSMAN, W. (2018). Palaeogeographic evolution of the late Miocene Rifian Corridor (Morocco): reconstructions from surface and subsurface data. *Earth-Sci. Rev.*, **180**, p. 37-59.
- CARNEVALE, G., CAPUTO, D., LANDINI, W. (2006a). Late Miocene fish otoliths from the Colombacci Formation (Northern Apennines, Italy): implications for the Messinian 'Lago-mare' event. *Geol. Journ.*, **41**, p. 537-555.
- CARNEVALE, G., DELA PIERRE, F., NATALICCHIO, M., LANDINI, W. (2018). Fossil marine fishes and the 'Lago Mare' event: has the Mediterranean ever transformed into a brackish lake? *Newsletters on Stratigraphy*, **51**, p. 57-72.
- CARNEVALE, G., LANDINO, W., SARTI, G. (2006b). Mare versus Lago-mare: marine fishes and the Mediterranean environment at the end of the Messinian Salinity Crisis. *Journ. geol. Soc. London*, **163**, p. 75-80.
- CARNEVALE, G., LONGINELLI, A., CAPUTO, D., BARBIERI, M., LANDINI, W. (2008). Did the Mediterranean marine reflooding precede the Mio-Pliocene boundary? Paleontological and geochemical evidence from upper Messinian sequences of Tuscany, Italy. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*, **257**, p. 81-105.
- CATALANO, R., RUGGIERI, G., SPROVIERI, R., edit. (1975). Messinian evaporites in the Mediterranean. *Mem. Soc. Geol. ital*; **16**, 385 p.
- CAUJAPÉ-CASTELLS, J., JANSEN, R. K. (2003). The influence of the Miocene Mediterranean desiccation on the geographical expansion and genetic variation of *Androcymbium gramineum* (Cav.) McBride (Colchicaceae). *Molec. Ecol.*, **12**, p. 1515-1525.
- CAVAZZA, W., DECELLES, P. G. (1998). Upper Messinian siliciclastics rocks in southeastern Calabria (southern Italy): palaeotectonic and eustatic implications for the evolution of the central Mediterranean region. *Tectonophysics*, **298**, p. 223-241.
- CHANTRAINE, J., CHÊNE, F., NEHLIG, P., RABU, D. (2005). Carte géologique de la France à 1/1.000.000 6^{ème} édition révision 2003 – Fourniture des données numériques (Notice d'utilisation), BRGM/RP-54298-FR, 52 p.
- CHUMAKOV, I. S. (1967). Pliocene and Pleistocene deposits of the Nile Valley in Nubia and Upper Egypt. *Acad. Sci. USSR – geol. Inst. Trans.*, **170**, p. 1-113.

- CHUMAKOV, I. S. (1973). Pliocene and Pleistocene deposits of the Nile Valley in Nubia and Upper Egypt. In "Leg 13", RYAN, W. B. F., HSÜ, K. J. *et al.*, édit., *Initial Reports of the Deep Sea Drilling Project*, **13**, Washington (U. S. Government Printing Office), p. 1242-1243.
- CIESM, 2008. The Messinian Salinity Crisis from mega-deposits to microbiology – A consensus report. *CIESM Workshop Monographs*, **33**, p. 7-28.
- CITA M. B. (1973). Pliocene biostratigraphy and chronostratigraphy. In "Leg 13", RYAN, W.B.F., HSÜ, K.J. *et al.*, édit., *Initial Reports of the Deep Sea Drilling Project*, **13**, Washington (U. S. Government Printing Office), p. 1343-1379.
- CITA, M. B., COLALONGO, M. L., D'ONOFRIO, S., IACCARINO, S., SALVATORINI, G. (1978a). Biostratigraphy of Miocene deep-sea sediments (Sites 372 and 375), with special reference to the messinian/Pre-Messinian interval. In "Leg 42A", HSÜ, K. J., MONTADERT, L., édit., *Initial Reports of the Deep Sea Drilling Project*, **42**, (1), Washington (U. S. Government Printing Office), p. 671-685.
- CITA, M. B., COLOMBO, L. (1979). Sedimentation in the latest Messinian at capo Rossello (Sicily). *Sedimentology*, **26**, p. 497-522.
- CITA, M. B., CORSELLI, C. (1990). Messinian paleogeography and erosional surfaces in Italy: an overview. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*, **77**, p. 67-82.
- CITA, M. B., RYAN, W. B. F. (1973). Time scale and general synthesis. In "Leg 13", RYAN, W. B. F., HSÜ, K. J. *et al.*, édit., *Initial Reports of the Deep Sea Drilling Project*, **13**, Washington (U. S. Government Printing Office), p. 1405-1415.
- CITA, M. B., STRADNER, H., CIARANFI, N. (1973). Studi sul Pliocene e sugli strati di passaggio dal Miocene al Pliocene. III. Biostratigraphical investigations on the Messinian stratotype and on the overlying "Trubi" Formation. *Riv. ital. Paleont.*, **79**, (3), p. 393-446.
- CITA, M. B., VISMARA SCHILLING, A., BOSSIO, A. (1980). Studi sul Pliocene e sugli strati di passaggio dal Miocene al Pliocene. 12. Stratigraphy and paleoenvironment of the Cuevas del Almanzora section (Vera Basin). A re-interpretation. *Riv. ital. Paleont.*, **86**, (1), p. 215-240.
- CITA, M. B., WRIGHT, R. C., RYAN, W. B. F., LONGINELLI, A. (1978b). Messinian paleoenvironments. In "Leg 42A", HSÜ, K.J., MONTADERT, L., édit., *Initial Reports of the Deep Sea Drilling Project*, **42**, (1), Washington (U. S. Government Printing Office), p. 1003-1035.
- CLAUZON, G. (1973). The eustatic hypothesis and the pre-Pliocene cutting of the Rhône Valley. In "Leg 13", RYAN, W. B. F., HSÜ, K. J. *et al.*, édit., *Initial Reports of the Deep Sea Drilling Project*, **13**, Washington (U. S. Government Printing Office), p. 1251-1256.

- CLAUZON, G. (1978). The Messinian Var canyon (Provence, Southern France) – Paleogeographic implications. *Mar. Geol.*, **27**, p. 231-246.
- CLAUZON, G. (1979-1980). Le canyon messinien de la Durance (Provence, France): une preuve paléogéographique du bassin profond de dessiccation. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*, **29**, p. 15-40.
- CLAUZON, G. (1980). Révision de l'interprétation géodynamique du passage miocène-pliocène dans le bassin de Vera (Espagne méridionale) : les coupes d'Antas et de Cuevas del Almanzora. *Riv. ital. Paleont.*, **86**, (1), p. 203-214.
- CLAUZON, G. (1982). Le canyon messinien du Rhône : une preuve décisive du « *desiccated deep-basin model* » [Hsü, Cita et Ryan, 1973]. *Bull. Soc. géol. France*, (7), **24**, (3), p. 597-610.
- CLAUZON, G. (1990). Restitution de l'évolution géodynamique néogène du bassin du Roussillon et de l'unité adjacente des Corbières d'après les données écostratigraphiques et paléogéographiques. *Paléobiol. continent.*, **17**, p. 125-155.
- CLAUZON, G. (1999). L'impact des variations eustatiques du bassin de Méditerranée occidentale sur l'orogène alpin depuis 20 Ma? *Études Géogr. phys.*, **28**, p. 1-8.
- CLAUZON, G., AGUILAR, J.-P., MICHAUX, J. (1987a). Le bassin pliocène du Roussillon (Pyrénées-Orientales, France) : exemple d'évolution géodynamique d'une ria méditerranéenne consecutive à la crise de salinité messinienne. *C. R. Acad. Sci. Paris*, (2), **304**, (11), p. 585-590.
- CLAUZON, G., AGUILAR, J.-P., MICHAUX, J. (1989). Relation temps-sédimentation dans le Néogène méditerranéen français. *Bull. Soc. géol. France*, (8), **5**, (2), p. 361-372.
- CLAUZON, G., LE STRAT, P., DUVAİL, C., DO COUTO, D., SUC, J.-P., MOLLIEUX, S., BACHE, F., BESSON, D., LINDSAY, E. H., OPDYKE, N. D., RUBINO, J.-L., POPESCU, S.-M., HAQ, B. U., GORINI, C. (2015b). The Roussillon Basin (S. France): A case-study to distinguish local and regional events between 6 and 3 Ma. *Mar. Petrol. Geol.*, **66**, p. 18-40.
- CLAUZON, G., MARTINELL, J., AGUILAR, J.-P., SUC, J.-P. (1987b). Le bassin du Roussillon. Livret-guide des excursions (Roussillon, Penedès et Bax Llobregat), Interim-Colloquium du R.C.M.N.S. (Montpellier-Barcelone, 21-25 Septembre 1987), p. 1-46.
- CLAUZON, G., RUBINO, J.-L., CASERO, P., 1997. Regional modalities of the Messinian Salinity Crisis in the framework of two phases model. In "Neogene basins of the Mediterranean region: controls and correlation in space and time", R.C.M.N.S. Interim-Colloquium, Catania, Program and Abstracts, p. 44-46.
- CLAUZON, G., SUC, J.-P., DO COUTO, D., JOUANNIC, G., MELINTE-DOBRINESCU, M. C., JOLIVET, L., QUILLÉVÉRÉ, F., LEBRET, N., MOCOCHAIN, L., POPESCU, S.-M.,

- MARTINELL, J., DOMÉNECH, R., RUBINO, J.-L., GUMIAUX, C., WARNY, S., BELLAS, S. M., GORINI, C., BACHE, F., RABINEAU, M., ESTRADA, F. (2015a). New insights on the Sorbas Basin (SE Spain): The onshore reference of the Messinian Salinity Crisis. *Mar. Petrol. Geol.*, **66**, p. 71-100.
- CLAUZON, G., SUC, J.-P., GAUTIER, F., BERGER, A., LOUTRE, M.-F. (1996). Alternate interpretation of the Messinian salinity crisis: controversy resolved? *Geology*, **24**, p. 363-366.
- CLAUZON, G., SUC, J.-P., POPESCU, S.-M., MARUNTEANU, M., RUBINO, J.-L., MARINESCU, F., MELINTE, M. C. (2005). Influence of the Mediterranean sea-level changes over the Dacic Basin (Eastern Paratethys) in the Late Neogene. The Mediterranean Lago Mare facies deciphered. *Basin Res.*, **17**, p. 437-462.
- COLALONGO, M. L., DI GRANDE, A., D'ONOFRIO, S., GIANNELLI, L., IACCARINO, S., MAZZEI, R., ROMEO, M., SALVATORINI, G. (1979). Stratigraphy of late Miocene Italian sections straddling the Tortonian/Messinian boundary. *Boll. Soc. paleont. ital.*, **18**, (2), p. 258-302.
- COLANGELO, P., BANNIKOVA, A. A., KRYŠTUFEK, B., LEBEDEV, V. S., ANNESI, F., CAPANNA, E., LOY, A. (2010). Molecular systematics and evolutionary biogeography of the genus *Talpa* (Soricomorpha: Talpidae). *Molec. Phylogenet. Evol.*, **55**, p. 372-380.
- CORNÉE, J.-J., FERRANDINI, M., SAINT MARTIN, J. P., MÜNCH, P., MOULLADE, M., RIBAUD-LAURENTI, A., ROGER, S., SAINT MARTIN, S., FERRANDINI, J. (2006). The late Messinian erosional surface and the subsequent reflooding in the Mediterranean: new insights from the Melilla–Nador basin (Morocco). *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*, **230**, p. 129-154.
- CORNÉE, J.-J., SAINT MARTIN J.-P., CONESA, G., MÜNCH, P., ANDRÉ, J.-P., SAINT MARTIN, S., ROGER, S. (2004). Correlations and sequence stratigraphic model for Messinian carbonate platforms of the western and central Mediterranean. *Internat. Journ. Earth Sci.*, **93**, p. 621-633.
- CORNET, C. (1968). Le graben médian (zone A) de la Méditerranée occidentale pourrait être pontien. *C. R. séances Soc. géo. France*, **5**, p. 149-150.
- CORRADINI, D., BIFFI, U. (1988). Etude des dinokystes à la limite Messinien-Pliocène dans la coupe Cava Serredi, Toscane, Italie. *Bull. Centr. Rech. Explor. Prod. Elf-Aquitaine*, **12**, (1), p. 221-236.
- CORSELLI C. & GRECCHI G. (1984). The passage from hypersaline to hyposaline conditions in the Mediterranean Messinian: discussion of the possible mechanisms triggering the “Lago Mare” facies. *Paléobiol. continent.*, **14**, (2), p. 225-239.
- CRAVATTE, J., MATIAS, I., SUC, J.-P. (1982). Nouvelles recherches sur le Pliocène du Roussillon. *Géol. France*, **1-2**, p. 149-163.

- DECELLES, P. G., CAVAZZA, W. (1995). Upper Messinian conglomerates in Calabria, southern Italy: response to orogenic wedge adjustment following Mediterranean sea-level changes. *Geology*, **25**, p. 775-778.
- DECIMA, A., BOMMARITO, S., LA ROSA, N., AIELLO, R. (1972). Geological map of Agrigento (1/50,000). Carta Geologica d'Italia, **363**, *Serv. geol. Italia*.
- DECIMA, A., WEZEL, F. C. (1971). Osservazioni sulle evaporiti messiniane della Sicilia centro-meridionale. *Rivista mineraria siciliana*, **130-132**, p. 172-187.
- DELAFOND, F., DEPÉRET, C., 1894. *Les terrains tertiaires de la Bresse. Leurs gîtes de lignites et de minerais de fer*. Études des gîtes minéraux de la France, ministère des Travaux publics, 303 p.
- DELRIEU, B., ROUCHY, J.-M., FOUCAULT, A. (1993). 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), **316**, p. 527-533.
- DENIZOT, G. (1952). Le Pliocène dans la vallée du Rhône. *Rev. Géogr. Lyon*, **27**, (4), p. 327-357.
- DE WAELE, J., PASINI, G. (2013). Intra-Messinian gypsum palaeokarst in the Northern Apennines and its palaeogeographic implications. *Terra Nova*, **25**, p. 199-205.
- DINIA, H., ANTONARAKOU, A., TSAPARAS, N., KONTAKIOTIS, G. (2007). Palaeoenvironmental conditions preceding the Messinian Salinity Crisis: a case study from Gavdos Island. *Geobios*, **40**, p. 251-265.
- DO COUTO, D. (2014). *Évolution géodynamique de la Mer d'Alboran par l'étude des bassins sédimentaires*. Thèse Doct. Univ. (Sci.), Université Pierre et Marie Curie (Paris 6), 507 p.
- DO COUTO, D., POPESCU, S.-M., SUC, J.-P., MELINTE-DOBRINESCU, M. C., BARHOUN, N., GORINI, C., JOLIVET, L., POORT, J., JOUANNIC, G., AUXIETRE, J.-L. (2014). Lago Mare and the Messinian Salinity Crisis: Evidences from the Alboran Sea (S. Spain). *Mar. Petrol. Geol.*, **52**, p. 57-76.
- DOS REIS, A.T., GORINI, C., MAUFFRET, A. (2005). Implications of salt–sediment interactions on the architecture of the Gulf of Lions deep-water sedimentary systems–western Mediterranean Sea. *Mar. Petrol. Geol.*, **22**, p. 713-746.
- DRIUSSI, O., MAILLARD, A., OCHOA, D., LOFI, J., CHANIER, F., GAULLIER, V., BRIAIS, A., SAGE, F., SIERRA, F., GARCIA, M. (2015). Messinian Salinity Crisis deposits widespread over the Balearic Promontory: insights from new high-resolution seismic data. *Mar. Petrol. Geol.*, **66**, p. 41-54.

- DRONKERT, H. (1976). Late Miocene evaporites in the Sorbas basin and adjoining areas. *Mem. Soc. geol. ital.*, **16**, p. 341-361.
- EL EUCH-EL KOUNDI, N., FERRY, S., SUC, J.-P., CLAUZON, G., MELINTE-DOBRINESCU, M. C., GORINI, C., SAFRA, A., ZARGOUNI, F. (2009). Messinian deposits and erosion in northern Tunisia: inferences on Strait of Sicily during the Messinian Salinity Crisis. *Terra Nova*, **21**, p. 41-48.
- ESTEBAN, M. (1979-1980). Significance of the Upper Miocene coral reefs of the western Mediterranean. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*, **29**, p. 169-188.
- ESTRADA, F., ERCILLA, G., GORINI, C., ALONSO, B., VÁZQUEZ, J. T., GARCÍA-CASTELLANOS, D., JUAN, C., MALDONADO, A., AMMAR, A., ELABBASSI, M. (2011). Impact of pulsed Atlantic water inflow into the Alboran Basin at the time of the Zanclean flooding. *Geo-Mar. Lett.*, **31**, p. 361-376.
- FAROUK, S., ZIKO, A., EWEDA, S. A., SAID, A. E. (2014). Subsurface Miocene sequence stratigraphic framework in the Nile Delta. *Journ. afric. Earth Sci.*, **91**, p. 89-109.
- FAUQUETTE, S., SUC, J.-P., BERTINI, A., POPESCU, S.-M., WARNY, S., BACHIRI TAOUFIQ, N., PEREZ VILLA, M.-J., CHIKHI, H., SUBALLY, D., FEDDI, N., CLAUZON, G., FERRIER, J., 2006. How much did climate force the Messinian salinity crisis? Quantified climatic conditions from pollen records in the Mediterranean region. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*, **238**, p. 281-301.
- FAVRE, E., FRANÇOIS, L., FLUTEAU, F., CHEDDADI, R., THÉVENOD, L., SUC, J.-P. (2007). Messinian vegetation maps of the Mediterranean region using models and interpolated pollen data. *Geobios*, **40**, p. 433-443.
- FIORASCO, G., BICCHI, E., IRACE, A., BOANO, P. (2004). Manifestazioni carsiche nelle evaporiti messiniane del Monferrato e della Collina di Torino (Italia nord-occidentale) : analisi dei meccanismi genetici nel quadro dell'evoluzione pliocenico-quadernaria del bacino terziario piemontese. *Il Quaternario*, **17**, (2/2), p. 453-476.
- FLORES, J.-A., SIERRO, F. J., FILIPPELLI, G. M., BARCENA, M. Á., PÉREZ-FOLGADO, M., VÁZQUEZ, A., UTRILLA, R. (2005). Surface water dynamics and phytoplankton communities during deposition of cyclic late Messinian sapropel sequences in the western Mediterranean. *Mar. Micropal.*, **56**, p. 50-79.
- FONTANNES, M. F. (1882). Note sur l'Extension et la faune de la mer pliocène dans le Sud-Est de la France. *Bull. Soc. géol. France*, (3), **11**, p. 103-141.

- FONTES, J. C., LEPVRIER, C., MÉLIÈRES, F., PIERRE, C. (1973). Isotopes stables dans les carbonates évaporitiques du Miocène supérieur de Méditerranée occidentale. *Konink. nederl. Akad. Van Wetenschappen, Geodyn. scient. Rep.*, **7**, p. 91-100.
- FORTUIN, A. R., KELLING, J. M. D., ROEP, T. B. (1995). The enigmatic Messinian–Pliocene section of Cuevas del Almanzora (Vera Basin, SE Spain) revisited—erosional features and strontium isotope ages. *Sedim. Geol.*, **97**, p. 177-201.
- FORTUIN, A. R., KRIJGSMAN, W., HILGEN, F. J., SIERRA, F. J. (2000). Late Miocene Mediterranean desiccation: topography and significance of the ‘Salinity Crisis’ erosion surface on-land in southeast Spain: Comment. *Sedim. Geol.*, **133**, p. 167-174.
- GARCIA-CASTELLANOS, D., ESTRADA, F., JIMÉNEZ-MUNT, I., GORINI, C., FERNÁNDEZ, M., VERGÉS, J., DE VICENTE, R. (2009). Catastrophic flood of the Mediterranean after the Messinian salinity crisis. *Nature*, **462**, p. 778-781.
- GARCIA-CASTELLANO, D., VILLASEÑOR, A. (2011). Messinian salinity crisis regulated by competing tectonics and erosion at the Gibraltar arc. *Nature*, **480**, p. 359-363.
- GARGANI, J. (2004). Modelling the erosion in the Rhône valley during the Messinian crisis (France). *Quatern. internat.*, **121**, p. 13-22.
- GARGANI, J., BACHE, F., JOUANNIC, G., GORINI, C. (2014). Slope destabilization during the Messinian Salinity Crisis. *Geomorphology*, **213**, p. 128-138.
- GARGANI, J., RIGOLLET, C., SCARSELLI, S. (2010). Isostatic response and geomorphological evolution of the Nile valley during the Messinian salinity crisis. *Bull. Soc. géol. France*, **181**, p. 19-26.
- GARRISON, R. E., SCHREIBER, B.C., BERNOULLI, D., FABRICIUS, F. H., KIDD, R. B., MÉLIÈRES, F. (1978). Sedimentary petrology and structures of Messinian evaporitic sediments in the Mediterranean Sea, Leg 42A, Deep Sea Drilling Project. In “Leg 42A”, HSÜ, K. J., MONTADERT, L., édit., *Initial Reports of the Deep Sea Drilling Project*, **42**, (1), Washington (U. S. Government Printing Office), p. 571-611.
- GARTNER, S., Jr. (1973). Calcareous nannofossil age determinations, Deep Sea Drilling Project, Leg 13. In “Leg 13”, RYAN, W. B. F., HSÜ, K. J. et al., édit., *Initial Reports of the Deep Sea Drilling Project*, **13**, Washington (U. S. Government Printing Office), p. 822-827.
- GAUDANT, J. (2002). La crise messinienne et ses effets sur l'ichthyofaune néogène de la Méditerranée : le témoignage des squelettes en connexion de poissons téléostéens. *Geodiversitas*, **24**, p. 691-710.

- GAUDANT, J., OTT D'ESTEVOU, P. (1985). Première découverte d'*Aphanius crassicaudus* (Agassiz) (poisson téléostéen, Cyprinodontidae) dans le Messinien post-évaporitique d'Andalousie. *Estud. geol.*, **41**, p. 93-98.
- GAUTIER, F., CLAUZON, G., SUC, J.-P., CRAVATTE, J., VIOLANTI, D. (1994). Âge et durée de la crise de salinité messinienne. *C. R. Acad. Sci. Paris*, (2), **318**, p. 1103-1109.
- GEERLIKINGS, L. P. A., DRONKERT, H., VAN DE POEL, H. M., VAN HINTE, J. E. (1980). Non-marine interval in Mio-Pliocene sequence at Cuevas del Almanzora (SE Spain). *Géol. médit.*; **7**, (1), p. 67-70.
- GENESSEAU, M., LEFEBVRE, D. (1980). Le Golfe du Lion et le Paléo-Rhône Messinien. *Géol. médit.*; **7**, (1), p. 71-80.
- GENTIL, L. (1918). Sur le synchronisme des dépôts et des mouvements orogéniques dans les détroits Nord-Bétique et Sud-Rifain (Espagne méridionale et Maroc). *C. R. Acad. Sci. Paris*, **167**, p. 727-730.
- GIGNOUX, M. (1936). *Géologie Stratigraphique*. 2^{ème} édition, Masson édit., Paris, 709 p.
- GLAÇON, G., VERGNAUD GRAZZINI, C., IACCARINO, S., REHAULT, J.-P., RANDRIANASOLO, A., SIERRO J. F., WEAVER, P., CHANNELL, J., TORII, M., HAWTHORNE, T. (1990). Planktonic foraminiferal events and stable isotope records in the upper Miocene, Site 654. In "Leg 107", KASTENS, K. A., MASCLE, J., édit., *Proceedings of the Ocean Drilling Program, Scientific Results*, **107**, (1), College Station, TX (Ocean Drilling Program), p. 415-427.
- GLANGEAUD, L. (1966). Les grands ensembles structuraux de la Méditerranée occidentale d'après les données de Géomède 1. *C. R. Acad. Sci. Paris*, (D), **262**, p. 2405-2408.
- GLANGEAUD, L., ALINAT, J., POLVÈCHE, J., GUILLAUME, A., LEENHARDT, O. (1966). Grandes structures de la mer Ligure : leur évolution et leurs relations avec les chaînes continentales. *Bull. Soc. géol. France*, (7), **8**, p. 921-937.
- GORINI, C., MONTADERT, L., RABINEAU, M. (2015). New imaging of the salinity crisis: dual Messinian lowstand megasequences recorded in the deep basin of both the eastern and western Mediterranean. *Mar. Petrol. Geol.*, **66**, p. 278-294.
- GOVERS, R. (2009). Choking the Mediterranean to dehydration: the Messinian salinity crisis. *Geology*, **37**, p. 167-170.
- GOVERS, R., MEIJER, P., KRIJGSMAN, W. (2009). Regional isostatic response to Messinian Salinity Crisis events. *Tectonophysics*, **463**, p. 109-129.

- GRASSO, M., PEDLEY, H. M. (1998). The sedimentology and development of Terravecchia Formation carbonates (Upper Miocene) of North Central Sicily: possible eustatic influence on facies development. *Sedim. Geol.*, **57**, p. 131-149.
- GROUPE ESTOCADE (1978). Messinian subaerial erosion of the Stoechades and Saint Tropez canyons – A submersible study. *Mar. Geol.*, **27**, p. 247-269.
- GUENNOG, P., GORINI, C., MAUFFRET, A. (2000). Histoire géologique du golfe du Lion et cartographie du rift oligo-aquitain et de la surface messinienne. *Géol. France*, **3**, p. 67-97.
- HARDIE, L.A., EUGSTER, H. P. (1971). The depositional environment of marine evaporites: a case for shallow, clastic accumulation. *Sedimentology*, **16**, p. 187-220.
- HARDIE, L. A., LOWENSTEIN, T. K. (2004). Did the Mediterranean Sea dry out during the Miocene? A reassessment of the evaporite evidence from DSDP Legs 13 and 42A cores. *Journ. sedim. Res.*, **74**, p. 453-461.
- HEIMANN, K. O. (1979). La flore et le climat dans la région ionienne pendant le Messinien. *Bull. Muséum nat. Hist. nat.*, (4), **1**, (C), (1), p. 19-24.
- HERSEY, J. B. (1965). Sedimentary basins of the Mediterranean Sea. *Woods Hole Oceanogr. Instit. Contrib.*, **1628**, p. 75-91.
- HILGEN, F. J., KRIJGSMAN, W. (1999). Cyclostratigraphy and astrochronology of the Tripoli diatomite formation (pre-evaporite Messinian, Sicily, Italy). *Terra Nova*, **11**, p. 16-22.
- HILGEN, F. J., LANGEREIS, C. G. (1993). A critical re-evaluation of the Miocene/Pliocene boundary as defined in the Mediterranean. *Earth planet. Sci. Lett.*, **118**, p. 167-179.
- HODELL, D. A., BENSON, H. B., KENT, D. V., NOERSMA, A., RAKIC-EL BIED, K. (1994). Magnetostratigraphic, biostratigraphic, and stable isotope stratigraphy of an Upper Miocene drill core from the Salé Briqueterie (northwestern Morocco): a high-resolution chronology for the Messinian stage. *Paleoceanography*, **9**, p. 835-855.
- HSÜ, K. J. (1983). *The Mediterranean was a desert. A voyage of the Glomar Challenger*. Princeton University Press, 197 p.
- HSÜ, K. J., CITA, M. B., RYAN, W. B. F. (1973). The origin of the Mediterranean evaporites. In "Leg 13", RYAN, W. B. F., HSÜ, K. J. et al., édité., *Initial Reports of the Deep Sea Drilling Project*, **13**, Washington (U. S. Government Printing Office), p. 1203-1231.
- HSÜ, K. J., GIOVANOLI, F. (1979-1980). Messinian event in the Black Sea. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*, **29**, p. 75-93.

- HSÜ, K. J., MONTADERT, L., BERNOULLI, D., CITA, M. B., ERICKSON, A., GARRISON, R. E., KIDD, R. B., MÉLIÈRES, F., MÜLLER, C., WRIGHT, R. (1978). History of the Mediterranean salinity crisis. *Nature*, **267**, p. 399-403.
- JAUZEIN, A. (1984). Sur la valeur de quelques hypothèses relatives à la genèse des grandes séries salines. *Rev. Géogr. phys. Géol. dyn.*, 25, (3), p. 149-155.
- JELIĆ, M., KLOBUČAR, G.I.V., GRANDJEAN, F., PUILLANDRE, N., FRANJEVIĆ, D., FUTO, M., AMOURET, J., MAGUIRE, I., (2016). Insights into the molecular phylogeny and historical biogeography of the white-clawed crayfish (Decapoda, Astacidae). *Molec. Phylogenet. Evol.*, **103**, p. 26-40.
- JIMÉNEZ-MORENO, G., PÉREZ-ASENSIO, J. N., LARRASOÑA, J. C., AGUIRRE, J., CIVIS, J., RIVAS-CARBALLO, M. R., VALLE-HERNÁNDEZ, M. F., GONZÁLEZ-DELGADO, J. A. (2013). Vegetation, sea-level, and climate changes during the Messinian salinity crisis. *Geol. Soc. America Bull.*, **125**, p. 432-444.
- JOLIVET, L., AUGIER, R., ROBIN, C., SUC, J.-P., ROUCHY, J.-M. (2006). Lithospheric-scale geodynamic context of the Messinian salinity crisis. *Sedim. Geol.*, **188-189**, p. 9-33.
- KARACAŞ, C., ARMIJO, R., LACASSIN, R., SUC, J.-P., MELINTE-DOBRINESCU, M. C. (2018). Crustal strain in the Marmara pull-apart region associated with the propagation process of the North Anatolian Fault. *Tectonics*, 37, 17 p., doi: 10.1029/2017TC004636.
- KARAKITSIOS, V., ROVERI, M., LUGLI, S., MANZI, V., GENNARI, R., ANTONARAKOU, A., TRIANTAPHYLLOU, M., AGIADI, K., KONTAKIOTIS, G., KAFOUSIA, N., DE RAFELIS, M. (2016). A record of the Messinian salinity crisis in the eastern Ionian tectonically active domain (Greece, eastern Mediterranean). *Basin Res.*, **29**, p. 203-233.
- KETMAIER, V., BIANCO, P. G., DURAND, J.-D. (2008). Molecular systematics, phylogeny and biogeography of roaches (*Rutilus*, Teleostei, Cyprinidae). *Molec. Phylogenet. Evol.*, **49**, p. 362-367.
- KUEHN, R., HSÜ, K. J. (1978). Chemistry of halite and potash salt cores, DSDP Sites 374 and 376, Leg 42A, Mediterranean Sea. In "Leg 42A", HSÜ, K.J., MONTADERT, L., édit., *Initial Reports of the Deep Sea Drilling Project*, **42**, (1), Washington (U. S. Government Printing Office), p. 613-619.
- KRIJGSMAN, W. (2000). The Mediterranean: *Mare Nostrum* of Earth Sciences. *Earth planet. Sci. Lett.*, **205**, p. 1-12.

- KRIJGSMAN, W., FORTUIN, A. R., HILGEN, F. J., SIERRO, F. J. (2001). Astrochronology for the Messinian Sorbas basin (SE Spain) and orbital (precessional) forcing for evaporite cyclicity. *Sedim. Geol.*, **140**, p. 43-60.
- KRIJGSMAN, W., HILGEN, F. J., RAFFI, I., SIERRO, F. J., WILSON, D. S. (1999). Chronology, causes and progression of the Messinian salinity crisis. *Nature*, **400**, p. 652-655.
- KRIJGSMAN, W., LANGEREIS, C. G. (2000). Magnetostratigraphy of the Zobzit and Koudiat Zarga sections (Taza-Guercif basin, Morocco): implications for the evolution of the Rifian Corridor. *Mar. Petrol. Geol.*, **17**, p. 359-371.
- KRIJGSMAN, W., MEIJER, P. T. (2008). Depositional environments of the Mediterranean "Lower Evaporites" of the Messinian salinity crisis: constraints from quantitative analyses. *Mar. Geol.*, **253**, p. 73-81.
- KRIJGSMAN, W., STOICA, M., VASILIEV, I., POPOV, V. V. (2010). Rise and fall of the Paratethys Sea during the Messinian Salinity Crisis. *Earth planet. Sci. Lett.*, **290**, p. 183-191.
- LEENHARDT, O. (1968). Le problème des dômes de la Méditerranée occidentale : étude géophysique d'une colline abyssale, la structure A. *Bull. Soc. géol. France*, (7), **10**, p. 497-509.
- LEENHARDT, O., PIERROT, S., REBUFFATTI, A., SABATIER, R. (1970). Sub-sea floor structure south of France. *Nature*, **226**, p. 930-932.
- LEROUX, E., ASLANIAN, D., RABINEAU, M., PELLEN, R., MOULIN, M. (2018). The late Messinian event: a worldwide tectonic revolution. *Terra Nova*, sous presse, doi: 10.1111/ter.12327.
- LEROUX, E., RABINEAU, M., ASLANIAN, D., GORINI, C., MOLLIEUX, S., BACHE, F., ROBIN, C., DROZ, L., MOULIN, M., POORT, J., RUBINO, J.-L., SUC, J.-P. (2017). High-resolution evolution of terrigenous sediment yields in the Provence Basin during the last 6 Ma: relation with climate and tectonics. *Basin Res.*, **29**, p. 305-339.
- LOFI, J. (2003). *La Crise de salinité messinienne : conséquences directes et différées sur l'évolution sédimentaire de la marge du Golfe du Lion*. Thèse Doct. Univ. (Sci.), Université des Sciences et Technologies de Lille, 262 p.
- LOFI, J., BERNÉ, S. (2008). Evidence for pre-Messinian submarine canyons on the Gulf of Lions slope (Western Mediterranean). *Mar. Petrol. Geol.*, **25**, p. 804-817.
- LOFI, J., DÉVERCHÈRE, J., GAULLIER, V., GILLET, H., GORINI, C., GUENNOG, P., LONCKE, L., MAILLARD, A., SAGE, F., THINON, I. (2011b). Seismic atlas of the "Messinian Salinity Crisis" markers in the Mediterranean and Black seas. Commission for the geological map of the World, *Mém. Soc. géol. France*, (n.s.), **179**, 72 p.

- LOFI, J., GORINI, C., BERNÉ, S., CLAUZON, G., DOS REIS, A. T., RYAN, W. B. F., STECKLER, M. S. (2005). Erosional processes and paleo-environmental changes in the Western Gulf of Lions (SW France) during the Messinian Salinity Crisis. *Mar. Geol.*, **217**, p. 1-30.
- LOFI, J., RABINEAU, M., GORINI, C., BERNÉ, S., CLAUZON, G., CLARENS, P. de, DOS REIS, A. T., MOUNTAIN, G. S., RYAN, W. B. F., STECKLER, M. S., FOUCHET, C. (2003). Plio-Quaternary prograding clinoform wedges of the western Gulf of Lion continental margin (NW Mediterranean) after the Messinian Salinity Crisis. *Mar. Geol.*, **198**, p. 289-317.
- LOFI, J., SAGE, F., DÉVERCHÈRE, J., LONCKE, L., MAILLARD, A., GAULLIER, V., THINON, I., GILLET, H., GUENOC, P., GORINI, C. (2011a). Refining our knowledge of the Messinian salinity crisis records in the offshore domain through multi-site seismic analysis. *Bull. Soc. géol. France*, **182**, p. 163-180.
- LOGET, N., VAN DEN DRIESSCHE, J. (2006). On the origin of the Strait of Gibraltar. *Sedim. Geol.*, **188-189**, p. 341-356.
- LOGET, N., VAN DEN DRIESSCHE, J., DAVY, P. (2005). How did the Messinian Salinity Crisis end ? *Terra Nova*, **17**, p. 414-419.
- LONDEIX, L., BENZAKOUR, M., SUC, J.-P., TURON, J.-L. (2007). Messinian paleoenvironments and hydrology in Sicily (Italy): The dinoflagellate cyst record. *Geobios*, **40**, p. 233-250.
- LONGINELLI, A. (1979-1980). Isotope geochemistry of some Messinian evaporites: paleoenvironmental implications. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*, **29**, p. 95-123.
- LUGLI, S., MANZI, V., ROVERI, M., SCHREIBER, B. C. (2010). The Primary Lower Gypsum in the Mediterranean: a new facies interpretation for the first stage of the Messinian salinity crisis. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*, **297**, p. 83-99.
- LUGLI, S., MANZI, V., ROVERI, M., SCHREIBER, B. C. (2015). The deep record of the Messinian salinity crisis: evidence of a non-desiccated Mediterranean Sea. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*, **433**, p. 201-218.
- MANZI, V., GENNARI, R., HILGEN, F., KRIJGSMAN, W., LUGLI, S., ROVERI, M., SIERRO, F. J. (2013). Age refinement of the Messinian salinity crisis onset in the Mediterranean. *Terra Nova*, **25**, p. 315-322.
- MANZI, V., GENNARI, R., LUGLI, S., ROVERI, M., SCAFETTA, N., SCHREIBER, C. (2012). High-frequency cyclicity in the Mediterranean Messinian evaporites: evidence for solar-lunar climate forcing. *Journ. sedim. Res.*, **82**, p. 991-1005.

- MANZI, V., LUGLI, S., RICCI LUCCHI, F., ROVERI, M. (2005). Deep-water clastic evaporites deposition in the Messinian Adriatic foredeep (northern Apennines, Italy): did the Mediterranean ever dry out? *Sedimentology*, **52**, p. 875-902.
- MANZI, V., LUGLI, S., ROVERI, M., SCHREIBER, B. (2009). A new facies model for the Upper Gypsum of Sicily (Italy): chronological and palaeoenvironmental constraints for the Messinian salinity crisis in the Mediterranean. *Sedimentology*, **56**, p. 1937-1960.
- MANZI, V., LUGLI, S., ROVERI, M., SCHREIBER, B., GENNARI, R. (2011). The Messinian "Calcare di base" (Sicily, Italy) revisited. *Geol. Soc. America Bull.*, **123**, p. 347-370.
- MARABINI, S., VAI, G. B. (1985). Analisi di facies e macrotettonica della Vena del Gesso in Romagna. *Boll. Soc. geol. ital.*, **104**, p. 21-42.
- MĂRUNȚEANU, M., PAPAIANOPOL, I. (1998). Mediterranean calcareous nannoplankton in the Dacic Basin. *Romanian Journ. Stratigraphy*, **78**, p. 115-121.
- MAUFFRET, A. (1969). Les dômes et les structures "anticlinales" de la Méditerranée occidentale au Nord-Est des Baléares. *Rev. Instit. franç. Pétrole*, **24**, (9), p. 953-960.
- MCKENZIE, J.A. (1999). From desert to deluge in the Mediterranean. *Nature*, **400**, p. 613-614.
- MELINTE-DOBRINESCU, M. C., SUC, J.-P., CLAUZON, G., POPESCU, S.-M., ARMIJO, R., MEYER, B., BILTEKIN, D., ÇAĞATAY, M. N., UCARKUS, G., JOUANNIV, G., FAUQUETTE, S., ÇAKIR, Z. (2009). The Messinian Salinity Crisis in the Dardanelles region: Chronostratigraphic constraints. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*, **278**, p. 24-39.
- MENARD, H. W., SMITH, S. M., PRATT, R. M. (1965). The Rhone Deep-sea Fan. In "Submarine Geology and Geophysics", Whittard, W. F., Bradshaw, R., édit., *Colston Papers*, **17**, p. 271-285.
- MERGOIL, J., MERGOIL-DANIEL, J. (2012). Des "cailloux roulés" basaltiques haut perchés à l'histoire du Rhône : observations et speculations de Gui de Mortessagnes (1782). *Comptes Rendus Geoscience*, **344**, p. 526-534.
- MICALLEF, A., CAMERLINGHI, A., GARCIA-CASTELLANOS, D., CUNARRO OTERO, D., GUTSCHER, M.-A., BARRECA, G., SPATOLA, D., FACCHIN, L., GELETTI, R., KRASEL, S., GROSS, F., URLAUB, M. (2018). Evidence of the Zanclean megaflood in the eastern Mediterranean Basin. *Scientific Reports*, **8**, (1), 8 p, doi:10.1038/s41598-018-19446-3.
- MOCOCHAIN, L., AUDRA, P., CLAUZON, G., BELLIER, O., BIGOT, J.-Y., PARIZE, O., MONTEIL, P. (2009). The effect of river dynamics induced by the Messinian Salinity Crisis on karst landscape and caves: example of the Lower Ardèche river (mid Rhône valley). *Geomorphology*, **106**, p. 46-61.

- MOCOCHAIN, L., CLAUZON, G., BIGOT, J.-Y. (2006a). Réponses de l'endokarst ardéchois aux variations eustatiques générées par la crise de salinité messinienne. *Bull. Soc. géol. France*, **177**, p. 27-36.
- MOCOCHAIN, L., CLAUZON, G., BIGOT, J.-Y., BRUNET, P. (2006b). Geodynamic evolution of the peri-Mediterranean karst during the Messinian and the Pliocene: evidence from the Ardèche and Rhône Valley systems canyons, Southern France. *Sedim. Geol.*, **188-189**, p. 219-233.
- MONTADERT, L., SANCHO, J., FAIL, J.-P., DEBYSER, J., WINNOCK, E. (1970). De l'âge tertiaire de la série salifère responsable des structures diapiriques en Méditerranée Occidentale (Nord-Est des Baléares). *C. R. Acad. Sci. Paris, (D)*, **271**, p. 812-815.
- MONTENAT, C., BIZON, G., BIZON, J.-J., CARBONNEL, G., MÜLLER, C. (1976). Continuité ou discontinuité de sédimentation marine mio-pliocène en Méditerranée occidentale. L'exemple du bassin de Vera. *Rev. Instit. franç. Pétrole*, **31**, (4), p. 613-633.
- MONTENAT, C., OTT D'ESTEVOU, P., LA CHAPELLE, G. de (1990). Le bassin de Níjar-Carboneras et le couloir du Bas-Andarax. *Doc. Trav. Instit. géol. A. de Lapparent*, **12-13**, p. 129-164.
- MONTENAT, C., OTT D'ESTEVOU, P., PLAZIAT, J. C., CHAPEL, J. (1980). 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**, (1), p. 81-90.
- MORTESAGNES DAUTEIRAC, G. (1782). Collection d'autographes E. Chaper. Ms 1643, Bibliothèque municipale de Grenoble.
- MÜLLER, C. (1978). Neogene calcareous nannofossils from the Mediterranean—Leg 42A of the Deep Sea Drilling Project. In "Leg 42A", HSÜ, K.J., MONTADERT, L. *et al.*, édit., *Initial Reports of the Deep Sea Drilling Project*, **42**, (1), Washington (U. S. Government Printing Office), p. 727-751.
- MÜLLER, C. (1990). Nannoplankton biostratigraphy and paleoenvironmental interpretations from the Tyrrhenian Sea, ODP Leg 107 (Western Mediterranean). In "Leg 107", KASTENS, K.A., MASCLE, J., *et al.*, édit., *Proceedings of the Ocean Drilling Program, Scientific Results*, **107**, (1), College Station, TX (Ocean Drilling Program), p. 495-511.
- MÜLLER, D.W., MUELLER, P. A., MCKENZIE, J. A. (1990). Strontium isotopic ratios as fluid tracers in Messinian evaporites of the Tyrrhenian Sea (Western Mediterranean Sea). In "Leg 107", KASTENS, K. A., MASCLE, J., édit., *Proceedings of the Ocean Drilling Program, Scientific Results*, **107**, (1), College Station, TX (Ocean Drilling Program), p. 613-619.

- MÜLLER, D. W., HSÜ, K. J. (1987). Event stratigraphy and paleoceanography in the Fortuna Basin (Southeast Spain): a scenario for the Messinian Salinity Crisis. *Paleoceanography*, **2**, p. 679-696.
- MURPHY, L. N., KIRK-DAVIDOFF, D. B., MAHOWALD, N., OTTO-BLIESNER, B. (2009). A numerical study of the climate response to lowered Mediterranean Sea level during the Messinian Salinity Crisis. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*, **279**, p. 41-59.
- MUSACCHIO, A., PELLEGRINO, G., CAFASSO, D., WIDMER, A., COZZOLINO, S. (2006). A unique *Anacamptis palustris* lineage across the Otranto strait: botanical evidence for a past land-bridge? *Plant System. Evol.*, **262**, p. 103-111.
- NAUD, G., SUC, J.-P. (1975). Contribution à l'étude paléofloristique des Coirons (Ardèche) : premières analyses polliniques dans les alluvions sous-basaltiques et interbasaltiques de Mirabel (Miocène supérieur). *Bull. soc. géol. France*, (7), **17**, 5, p. 820-827.
- NÉRAUDEAU, D. (2007). Les bioaccumulations néogènes (calcaires à algues, faluns) d'Europe occidentale et leurs relations avec la crise messinienne. *C. R. Paleovol*, **6**, p. 59-71.
- NÉRAUDEAU, D., SAINT-MARTIN, J.-P. (2003). La Méditerranée à sec. *La Recherche*, (hors sér.), **11**, p. 52-55.
- NESTEROFF, W. D. (1973). Mineralogy, petrography, distribution, and origin of the Messinian Mediterranean evaporites. In "Leg 13", RYAN, W. B. F., HSÜ, K. J. et al., édité., *Initial Reports of the Deep Sea Drilling Project*, **13**, Washington (U. S. Government Printing Office), p. 673-694.
- NORMAN, S. E., CHASE, C. G. (1986). Uplift of the shores of the western Mediterranean due to Messinian desiccation and flexural isostasy. *Nature*, **322**, p. 450-451.
- OGNIBEN, L. (1957). Petrografia della serie solfifera siciliana e considerazioni geologiche relative. *Mem. descritt. Carta geol. Italia*, **33**, 275 p.
- ORSZAG-SPERBER, F., ROUCHY, J.-M., BLANC-VALLERON, M.-M. (2000). La transition Messinien–Pliocène en Méditerranée orientale (Chypre) : la période du *Lago-Mare* et sa signification. *C. R. Acad. Sci. Paris*, (Sciences de la Terre et des planètes), **331**, p. 483-490.
- PAWELLEK, T., ADNET, S., CAPPETTA, H., METAIS, E., SALEM, M., BRUNET, M., JAEGER, J.-J. (2012). Discovery of an earliest Pliocene relic tropical fish fauna in a newly detected cliff section (Sabratih Basin, NW Libya). *Neu. Jahrb. Geol. Paläont. - Abhandlungen*, **266**, p. 93-114.
- PELLEN, R., POPESCU, S.-M., SUC, J.-P., MELINTE-DOBRINESCU, M. C., RUBINO, J.-L., RABINEAU, M., MARABINI, S., LOGET, N., CASERO, P., CAVAZZA, W., HEAD, M. J., ASLANIAN, D. (2017). The Apennine foredeep (Italy) during the latest Messinian: Lago Mare

reflects competing brackish and marine conditions based on calcareous nannofossils and dinoflagellate cysts. *Geobios*, **50**, p. 237-257.

PERCONIG, E. (1974a). Etat actuel de nos connaissances sur l'étage Andalousien. *Mémoires du Bureau de Recherches Géologiques et Minières*, **78**, (2), p. 659-662.

PERCONIG, E. (1974b). Mise au point du stratotype de l'Andalousien. *Mém. BRGM*, **78**, (2), p. 663-673.

PIERRE, C., CATALANO, R. (1976). Stable isotopes (^{18}O , ^{13}C , ^2H) in the evaporitic sequence of the Ciminna Basin (Sicily). *Mem. Soc. geol. Ital.*, **16**, p. 55-62.

PIERRE, C., ROUCHY, J.-M. (1990). Sedimentary and diagenetic evolution of Messinian evaporites in the Tyrrhenian Sea (ODP Leg 107, Sites 652, 653, and 654): petrographic, mineralogical, and stable isotope records. In "Leg 107", KASTENS, K.A., MASCLE, J., édit., *Proceedings of the Ocean Drilling Program, Scientific Results*, **107**, (1), College Station, TX (Ocean Drilling Program), p. 187-201.

POPESCU, S.-M. (2006). Late Miocene and early Pliocene environments in the southwestern Black Sea region from high-resolution palynology of DSDP Site 380A (Leg 42B). *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*, **238**, p. 64-77.

POPESCU, S.-M., DALIBARD, M., SUC, J.-P., BARHOUN, N., MELINTE-DOBRINESCU, M. C., BASSETTI, M. A., DEACONU, F., HEAD, M. J., GORINI, C., DO COUTO, D., RUBINO, J.-L., AUXIETRE, J.-L., FLOODPAGE, J. (2015). Lago Mare episodes around the Messinian–Zanclean boundary in the deep southwestern Mediterranean. *Mar. Petrol. Geol.*, **66**, p. 55-70.

POPESCU, S.-M., KRIJGSMAN, W., SUC, J.-P., CLAUZON, G., MĂRUNȚEANU, M., NICA, T. (2006). Pollen record and integrated high-resolution chronology of the Early Pliocene Dacic Basin (Southwestern Romania). *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*, **238**, p. 78-90.

POPESCU, S.-M., MELINTE-DOBRINESCU, M.C., SUC, J.-P. (2016). Objective utilization of data from DSDP Site 380 (Black Sea). *Terra Nova*, **28**, p. 228-229.

POPESCU, S.-M., MELINTE-DOBRINESCU, M. C., SUC, J.-P., DO COUTO, D. (2017). *Ceratolithus acutus* Gartner and Bukry 1974 (= *C. armatus* Müller 1974), calcareous nannofossil marker of the marine reflooding that terminated the Messinian Salinity Crisis: Comment on "Paratethyan ostracods in the Spanish Lago-Mare: More evidence for interbasinal exchange at high Mediterranean sea level" by Stoica et al., 2016. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*, **441**, p. 854-870. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*, **485**, p. 986-989.

- POPESCU, S.-M., SUC, J.-P., MELINTE, M., CLAUZON, G., QUILLÉVÉRÉ, F., SÜTŐ-SZENTAI, M., 2007. Earliest Zanclean age for the Colombacci and uppermost Di Tetto formations of the "latest Messinian" northern Apennines: New palaeoenvironmental data from the Maccarone section (Marche Province, Italy). *Geobios*, **40**, p. 359-373.
- POPOV, S. V., SHCHERBA, I. G., ILYINA, L. B., NEVESSKAYA, L. A., PARAMONOVA, N. P., KHONDKARIAN, S. O., MAGYAR, I. (2006). Late Miocene to Pliocene palaeogeography of the Paratethys and its relation to the Mediterranean. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*, **238**, p. 91-106.
- RABINEAU, M. (2001). *Un modèle géométrique et stratigraphique des séquences de dépôts quaternaires de la plate-forme du Golfe du lion : enregistrement des cycles glacioeustatiques de 100 000 ans*. Thèse Doct. Univ. (Sci.), Université Rennes 1 et IFREMER, 462 p.
- RABINEAU, M., CLOETINGH, S., KURODA, J., ASLANIAN, D., DROXLER, A., GORINI, C., GARCIA-CASTELLANOS, D., MOSCARIELLO, A., BUROV, E., SIERRA, F., LIRER, F., ROURE, F., PEZARD, P. A., MATENCO, L., HELLO, Y., MART, Y., CAMERLINGHI, A., TRIPATI, A., THE GOLD AND DREAM WORKING GROUPS (2015). Probing connections between deep earth and surface processes in a land-locked ocean basin transformed into a giant saline basin: the Mediterranean GOLD project. *Mar. Petrol. Geol.*, **66**, p. 6-17.
- RAFFI, I., BACKMAN, J., FORNACIARI, E., PÄLIKE, H., RIO, D., LOURENS, L., HILGEN, F. (2006). A review of calcareous nannofossil astrobiochronology encompassing the past 25 million years. *Quatern. Sci. Rev.*, **25**, p. 3113-3137.
- REYJOL, Y., HUGUENY, B., PONT, D., BIANCO, P. G., BEIER, U., CAIOLA, N., CASALS, F., COWX, I., ECONOMOU, A., FERREIRA, T., HAIDVOGL, G., NOBLE, R., DE SOSTOA, A., VIGNERON, T., VIRBICKAS, T., (2007). Patterns in species richness and endemism of European freshwater fish. *Glob. Ecol. Biogeogr.*, **16**, p. 65-75.
- RIDING, R., BRAGA, J. C., MARTÍN, J. M., SÁNCHEZ-ALMAZO, I. M. (1998). Mediterranean Messinian Salinity Crisis: constraints from a coeval marginal basin, Sorbas, southeastern Spain. *Mar. Geol.*, **146**, p. 1-20.
- RIZZINI, A., DONDI, L. (1978). Erosional surface of Messinian age in the subsurface of the Lombardian Plain (Italy). *Mar. Geol.*, **27**, p. 303-325.
- ROOK, L., GALLAI, G., TORRE, D. (2006). Lands and endemic mammals in the Late Miocene of Italy: constraints for paleogeographic outlines of Tyrrhenian area. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*, **238**, p. 263-269.
- ROSTOVTSEVA, Y. V., RYBKINA, A. I. (2017). The Messinian event in the Paratethys: astronomical tuning of the Black Sea Pontian. *Mar. Petrol. Geol.*, **80**, p. 321-332.

- ROUCHY, J.-M. (1976). Sur la genèse de deux principaux types de gypse (finement lité et en chevrons) du Miocène terminal de Sicile et d'Espagne méridionale. *Rev. Géol. dyn. Géogr. phys.*, 18, (4), p. 347-364.
- ROUCHY, J.-M. (1982). La genèse des évaporites messiniennes de Méditerranée. *Mém. Mus. nat. Hist. nat.*, **50**, 267 p.
- ROUCHY, J.-M. (1989). Sur la signification paléogéographique des évaporites messiniennes du domaine méditerranéen : une mise au point. *C. R. séances Soc. Biogéogr.*, **65**, (3), p. 107-122.
- ROUCHY, J.-M., CARUSO, A. (2006). The Messinian salinity crisis in the Mediterranean basin: a reassessment of the data and an integrated scenario. *Sedim. Geol.*, **188-189**, p. 35-67.
- ROUCHY, J.-M., ORSZAG-SPERBER, F., BIZON, G., BIZON, J.-J. (1980). Mise en évidence d'une phase d'émersion fini-messinienne dans le bassin de Pissouri (Chypre) : une modalité de passage Miocène-Pliocène en Méditerranée orientale. *C. R. Acad. Sci. Paris, (D)*, **291**, p. 729-732.
- ROUCHY, J.-M., ORSZAG-SPERBER, F., BLANC-VALLERON, M.-M., PIERRE, C., RIVIÈRE, M., COMBOURIEU-NEBOUT, N., PANAYIDES, I. (2001). Paleoenvironmental changes at the Messinian–Pliocene boundary in the eastern Mediterranean (southern Cyprus basins): significance of the Messinian Lago-Mare. *Sedim. Geol.*, **145**, p. 93-117.
- ROUCHY, J.-M., PIERRE, C. (1979). Données sédimentologiques et isotopiques sur les gypses des séries évaporitiques messiniennes d'Espagne méridionale et de Chypre. *Rev. Géol. dyn. Géogr. phys.*, 21, (4), p. 267-280.
- ROUCHY, J.-M., SAINT MARTIN, J.-P. (1992). Late Miocene events in the Mediterranean as recorded by carbonate-evaporite relations. *Geology*, **20**, p. 629-632.
- ROVERI, M., BASSETTI, M. A., RICCI LUCCHI, F. (2001). The Mediterranean Messinian salinity crisis: an Apennine foredeep perspective. *Sedim. Geol.*, **140**, p. 201-214.
- ROVERI, M., BERTINI, A., CIPOLLARI, P., COSENTINO, D., DI STEFANO, A., FLORINDO, F., GENNARI, R., GLIOZZI, E., GROSSI, F., IACCARINO, S., LUGLI, S., MANZI, V. (2008). Comment on "Earliest Zanclean age for the Colombacci and uppermost Di Tetto formations of the « latest Messinian » northern Apennines: new palaeoenvironmental data from the Maccarone section (Marche Province, Italy)" by Popescu et al. (2007) *Geobios* 40 (359-373). *Geobios*, **41**, p. 669-675.
- ROVERI, M., FLECKER, R., KRIJGSMAN, W., LOFI, J., LUGLI, S., MANZI, V., SIERRO, F. J., BERTINI, A., CAMERLENGHI, A., DE LANGE, G., GOVERS, R., HILGEN, F. J., HÜBSCHER,

- C., MEIJER, P. T., STOICA, M. (2014b). The Messinian Salinity Crisis: past and future of a great challenge for marine sciences. *Mar. Geol.*, **352**, p. 25-58.
- ROVERI M., GALLO, A. B., ROSSI, M., GENNARI, R., IACCARINO, S. M., LUGLI, S., MANZI, V., NEGRI, A., RIZZINI, F., TAVIANI, M. (2005). The Adriatic foreland record of Messinian events (Central Adriatic Sea, Italy). *GeoActa*, **4**, p. 139-157.
- ROVERI, M., GENNARI, R., LUGLI, S., MANZI, V., MINELLI, N., REGHIZZI, M., RIVA, A., ROSSI, M. E., SCHREIBER, B.C. (2016). The Messinian salinity crisis: open problems and possible implications for Mediterranean petroleum systems. *Petrol. Geosci.*, **22**, p. 283-290.
- ROVERI, M., LUGLI, S., MANZI, V., SCHREIBER, C. (2008b). The Messinian Sicilian stratigraphy revisited: new insights for the Messinian salinity crisis. *Terra Nova*, **20**, p. 483-488.
- ROVERI, M., MANZI, V. (2006). The Messinian salinity crisis: looking for a new paradigm? *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*, **238**, p. 386-398.
- ROVERI, M., MANZI, V., BASSETTI, M. A., MERINI, M., RICCI LUCCHI, F. (1998). Stratigraphy of the Messinian post-evaporitic stage in eastern-Romagna (northern Apennines, Italy). *Giorn. Geol.*, (3), **60**, p. 119-142.
- ROVERI, M., MANZI, V., BERGAMASCO, A., FALCIERI, F. M., GENNARI, R., LUGLI, S., SCHREIBER, B.C. (2014a). Dense shelf cascading and Messinian canyons: a new scenario for the Mediterranean Salinity Crisis. *American Journ. Sci.*, **314**, p. 751-784.
- ROVERI, M., MANZI, V., GENNARI, R., IACCARINO, S. M., LUGLI, S. (2008a). Recent advancements in the Messinian stratigraphy of Italy and their Mediterranean-scale implications. *Boll. Soc. paleont. ital.*, **47**, (2), p. 71-85.
- RUGGIERI, G. (1962). La serie marine pliocenica e quaternaria della Val Marecchia. *Atti Accad. Sci., Lett. Arti Palermo*, **19**, p. 1-169.
- RUGGIERI, G. (1967). The Miocene and later evolution of the Mediterranean Sea. In "Aspects of the Tethyan Biogeography", *System. Assoc. London*, **7**, p. 283-290.
- RYAN, W. B. F. (1969). *The Floor of the Mediterranean*. Thèse, Université de Columbia, New York, 196 p.
- RYAN W. B. F., CITA, M. B. (1978). The nature and distribution of messinian erosional surfaces – Indicators of a several-kilometer-deep Mediterranean in the Miocene. *Mar. Geol.*, **27**, p. 193-230.
- RYAN, W. B. F., CITA, M. B., DREYFUS RAWSON, M., BURCKLE, L. H., SAITO, T. (1974). 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 Messinian "Salinity Crisis". *Riv. ital. Paleont.*, **80**, (4), p. 631-688.
- SAINT-MARTIN, J.-P. (1984). Le phénomène récifal Messinien en Oranie (Algérie). *Geobios*, **Mém. Spéc. 8**, p. 159-166.
- SAINT MARTIN, J.-P., ANDRÉ, J.-P., MULLER, J., LAPOINTE, P. (1997). Géométrie de la plateforme carbonate d'âge Messinien de Malte : mise en évidence de l'élévation du plan d'eau méditerranéen au cours du Messinien. *C. R. Acad. Sci. Paris*, (IIa), **324**, p. 729-736.
- SAINT-MARTIN, J.-P., CORNÉE, J.-J., MULLER, J., CONESA, G., ANDRÉ, J.-P. (1997). Les constructions microbiennes du Messinien de Méditerranée. *Geobios*, **Mém. spéc. 20**, p. 463-470.
- SAINT MARTIN, J.-P., PESTREA, S., CONESA, G. (2001) Les assemblages de diatomées des niveaux infra-gypseux du bassin Messinien de Sorbas (Espagne). *Cryptogamie Algologie*, **22**, p. 127-149.
- SAVOYE, B., PIPER, D. J. W. (1991). The Messinian event on the margin of the Mediterranean Sea in the Nice area, southern France. *Mar. Geol.*, **97**, p. 279-304.
- SCHLEDER, Z., KREZSEK, C., LAPADAT, A., BEGA, Z., IONESCU, G., TARI, G. (2016). Structural style in a Messinian (intra-Pontian) gravity-driven deformation system, western Black Sea, offshore Romania. *Petrol. Geosci.*, **22**, p. 400-410.
- SCHREIBER, B. C. (1973). Survey of the physical features of Messinian chemical sediments. *Konink. Nederland. Akad. Van Wetenschappen, Geodyn. scient. Rep.*, **7**, p. 101-110.
- SELLI, R. (1973). An outline of the Italian Messinian. *Konink. Nederland. Akad. Van Wetenschappen, Geodyn. scient. Rep.*, **7**, p. 150-171.
- SIERRO, F. J., FLORES, J. A., CIVIS, J., GONZÁLEZ DELGADO, J. A., FRANCÉS, G. (1993). Late Miocene globorotaliid event-stratigraphy and biogeography in the NE-Atlantic and Mediterranean. *Mar. Micropal.*, **21**, p. 1543-168.
- SIERRO, F. J., FLORES, J. A., FRANCÉS, G., VÁZQUEZ, A., UTRILLA, R., ZAMARREÑO, I., ERLLENKEUSER, H., BARCENA, M. A. (2003). Orbitally-controlled oscillations in planktic communities and cyclic changes in western Mediterranean hydrography during the Messinian. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*, **190**, p. 289-316.
- SIERRO, F. J., FLORES, J. A., ZAMARREÑO, I., VÁZQUEZ, A., UTRILLA, R., FRANCÉS, G., HILGEN, F. J., KRIJGSMAN, W. (1999). Messinian pre-evaporitic sapropels and precession-induced oscillations in western Mediterranean climate. *Mar. Geol.*, **153**, p. 137-146.

- SIERRO, F. J., HILGEN, F. J., KRIJGSMAN, W., FLORES, J. A. (2001). The Abad composite (SE Spain): a Messinian reference section for the Mediterranean and the APTS. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*, **168**, p. 141-169.
- SILVA, P. G., HUERTA, P., ELEZ, J., CIVIS, J., PERUCHA, M. Á., ZAZO, C., GOY, J. L., DABRIO, C. J., BARDAJÍ, T. (2012). The Zanclean flooding in the Gibraltar arc (South Spain): Proxy data on Pliocene induced seismicity by the Mediterranean Sea refilling. 3rd INQUA – IGCP-567 International Workshop on “Active Tectonics, Paleoseismology and Archaeoseismology”, Morelia, Mexico, p. 169–173.
- SILVA, P. G., RIBÓ, A., BENTACOR, M. M., HUERTA, P., PERUCHA, M. Á., ZAZO, C., GOY, J. L., DABRIO, C. J., BARDAJÍ, T. (2011). Relief production, uplift and active tectonics in the Gibraltar Arc (South Spain) from the late Tortonian to the Present. 2nd INQUA – IGCP-567 International Workshop on “Active Tectonics, Earthquake Geology, Archaeology and Engineering”, Corinthe, Grèce, p. 227–230.
- SIPAHIOĞLU, N. Ö., BATI, Z. (2017). Messinian canyons in the Turkish western Black Sea. *In “Petroleum Geology of the Black Sea”*, SIMMONS, M. D., TARI, G. C., OKAY, A. I., édit., Geological Society, London, *Special Publications*, **464**, 27 p.
- SNEL, E., MĂRUNȚEANU, M., MACALEȚ, R., MEULENKAMP, J. E., VAN VUGT, N. (2006). Late Miocene to Early Pliocene chronostratigraphic framework for the Dacic Basin, Romania. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*, **238**, p. 107-124.
- SONNENFELD, P. (1980). Postulates for massive evaporite formation. *Géol. médit.*, **7**, (1), p. 103-114.
- SPROVIERI, M., RIBERA D'ALCALÀ, M., MANTA, D. S., BELLANCA, A., NERI, R., LIRER, F., TABERNER, C., PUEYO, J. J., SAMMARTINO, S. (2008). Ba/Ca evolution in water masses of the Mediterranean late Neogene. *Paleoceanography*, **23**, PA3205, 17 p.
- STERNAL, P., CARICCHI, L., GARCIA-CASTELLANOS, D., JOLIVET, L., SHELDRAKE, T. E., CASTELLTORT, S. (2017). Magmatic pulse driven by sea-level changes associated with the Messinian salinity crisis. *Nature Geoscience*, **10**, p. 783-787.
- STOICA, M., KRIJGSMAN, W., FORTUIN, A., GLIOZZI, E. (2016). Paratethyan ostracods in the Spanish Lago-Mare: more evidence for interbasinal exchange at high Mediterranean sea level. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*, **441**, p. 854-870.
- SUC, J.-P. (1976). Apports de la palynology à la connaissance du Pliocène du Roussillon (sud de la France). *Geobios*, **9**, p. 741-771.

- SUC, J.-P., BESSAIS, E. (1990). 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.
- SUC, J.-P., CLAUZON, G., GAUTIER, F. (1997). The Miocene-Pliocene boundary: present and future. In "*Miocene Stratigraphy - An integrated Approach*", MONTANARI, A., ODIN, G. S., COCCIONI, R. (édit.), Elsevier Sc. B. V., Amsterdam, p. 149-154.
- SUC, J.-P., DO COUTO, D., MELINTE-DOBRINESCU, M. C., MACALEȚ, R., QUILLÉVÉRÉ, F., CLAUZON, G., CSATO, I., RUBINO, J.-L., POPESCU, S.-M. (2011). The Messinian Salinity Crisis in the dacic basin (SW Romania) and early Zanclean Mediterranean – Paratethys high sea-level connection. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*, **310**, p. 256-272.
- SUC, J.-P., DROMART, G., RUBINO, J.-L., POPESCU, S.-M., FAUQUETTE, S., MOLLIEUX, S., BODET, L., CAMERLYNCK, C., SCHAMPER, C., LOGET, N., MELINTE-DOBRINESCU, M. C., JIMÉNEZ-MORENO, G., SORREL, P., LEROUX, E., DUVAIL, C., SICILIA, D., HIPPOLYTE, J.-C., MOCOCHAIN, L., RABINEAU, M., LE STRAT, P., BELLIER, O., FERRY, S., CHIROL, B., KALIFI, A., DO COUTO, D., HEAD, M. J. (en préparation). The Messinian erosion in the Upper Rhône River network (SE France) and the following Pliocene sedimentary filling. A soumettre au *Bull. Soc. géol. France – Earth Sci. Bull.*
- SUC, J.-P., GILLET, H., ÇAĞATAY, M. N., POPESCU, S.-M., LERICOLAIS, G., ARMIJO, R., MELINTE-DOBRINESCU M. C., ŞEN, Ş., CLAUZON, G., SAKINÇ, M., ZABCI, C., UCARKUS, G., MEYER, B., ÇAKIR, Z., KARAKAŞ, Ç., JOUANNIC, G., MACALEȚ, R. (2015b). The region of the Strandja Sill (North Turkey) and the Messinian events. *Mar. Petrol. Geol.*, **66**, p. 149-164.
- SUC, J.-P., POPESCU, S.-M., DO COUTO, D., CLAUZON, G., RUBINO, J.-L., MELINTE-DOBRINESCU, M. C., QUILLÉVÉRÉ, F., BRUN, J.-P., DUMURDŽANOV, N., ZAGORCHEV, I., LESIĆ, V., TOMIĆ, D., SOKOUTIS, D., MEYER, B., MACALEȚ, R., RIFELJ, H. (2015a). Marine gateway vs. fluvial stream within the Balkans from 6 to 5 Ma. *Mar. Petrol. Geol.*, **66**, p. 231-245.
- SUC, J.-P., VIOLANTI, D., LONDEIX, L., POUPOT, C., ROBERT, C., CLAUZON, G., TURON, J.-L., FERRIER, J., CHIKHI, H., CAMBON, G., GAUTIER, F. (1995). Evolution of the Messinian Mediterranean environments: the Tripoli Formation at Capodarso (Sicily, Italy). *Rev. Palaeobot. Palynol.*, **87**, p. 51-79.
- TARI, G., FALLAH, M., SCHELL, C., KOSI, W., BATI, Z., SIPAHIOĞLU, Ö., KREZSEK, Cs., SCHLEDER, Zs., KOZHUHAROV, E., KITCHKA, A. (2016). Why are there no Messinian evaporites in the Black Sea? *Petroleum Geoscience*, **22**, p. 381-391.
- TARI, G., FALLAH, M., KOSI, W., FLOODPAGE, J., BAUR, J., BATI, Z., SIPAHIOĞLU, N. Ö. (2016). Is the impact of the Messinian Salinity Crisis in the Black Sea comparable to that of the Mediterranean? *Mar. Petrol. Geol.*, **66**, p. 135-148.

- TASSY, A., FOURNIER, F., MÜNCH, P., BORGOMANO J., THINON, I., FABRI, M.-C., RABINEAU, M., ARFIB, B., BEGOT, J., BESLIER, M.-O., CORNÉE, J.-J., FOURNILLON, A., GORINI, C., GUENNOG, P., LÉONIDE, P., OUDET, J., PAQUET, F., SAGE, F., TOULLEC, R. (2014). Discovery of Messinian canyons and new seismic stratigraphic model, offshore Provence (SE France): implications for the hydrographic network reconstruction. *Ma. Petrol. Geol.*, **57**, p. 25-50.
- TROELSTRA, S. R., VAN DE POEL, H. M., HUISMAN, C. H. A., GEERLINGS, L. P. A., DRONKERT, H. (1980). Paleocological changes in the latest Miocene of the Sorbas Basin, SE Spain. *Géol. médit.*, **7**, p. 115-126.
- VAN BAAK, C. G. C., RADIONOVA, E. P., GOLOVINA, L. A., RAFFI, I., KUIPER, K. F., VASILIEV, I., KRIJGSMAN, W. (2015). Messinian events in the Black Sea. *Terra Nova*, **27**, p. 433-441.
- VAN BAAK, C. G. C., RADIONOVA, E. P., GOLOVINA, L. A., RAFFI, I., KUIPER, K. F., VASILIEV, I., KRIJGSMAN, W. (2016). Objective utilization of data from DSDP Site 380 (Black Sea). *Terra Nova*, **28**, p. 230-231.
- VAN COUVERING, J. A., BERGGREN, W. A., DRAKE, R. E., AGUIRRE, E., CURTIS, G. H. (1976). The terminal Miocene event. *Mar. Micropal.*, **1**, p. 263-286.
- VAN DER MADE, J., MORALES, J., MONTROYA, P. (2006). Late Miocene turnover in the Spanish mammal record in relation to palaeoclimate and the Messinian Salinity Crisis. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*, **238**, p. 228-246.
- VAN GORSEL, J. T., TROELSTRA, S. R. (1980). Late Neogene climate changes and the Messinian salinity crisis. *Géol. médit.*, **7**, (1), p. 127-134.
- VASILIEV, I., IOSIFIDI, A. G., KHRAMOV, A. N., KRIJGSMAN, W., KUIPER, K., LANGEREIS, C. G., POPOV, V. V., STOICA, M., TOMSHA, V. A., YUDIN, S. V. (2011). Magnetostratigraphy and radio-isotope dating of upper Miocene–lower Pliocene sedimentary successions of the Black Sea Basin (Taman Peninsula, Russia). *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*, **310**, p. 163-175.
- VASILIEV, I., MEZGER, E. M., LUGLI, S., REICHART, G.-J., MANZI, V., ROVERI, M. (2017). How dry was the Mediterranean during the Messinian salinity crisis? *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*, **471**, p. 120-133.
- VIDAL, L., BICKERT, T., WEFER, G., RÖHL, U. (2002). Late Miocene stable isotope stratigraphy of SE Atlantic ODP Site 1085: relation to Messinian events. *Mar. Geol.*, **180**, 71-85.

- WARNY, S. A., BART, P. J., SUC, J.-P. (2003). Timing and progression of climatic, tectonic and glacioeustatic influences on the Messinian Salinity Crisis. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*, **202**, p. 59-66.
- WIAZEMSKY, M., CALVET, M., LAUMONIER, B., GUITARD, G., AUTRAN, A., LLAC, F., BAUDIN, T. (2010). Carte géologique France (1/50.000), feuille Céret (1096) Orléans : BRGM. Notice explicative par LAUMONIER, B., CALVET, M., WIAZEMSKY, M., BARBEY, P., MARIGNAC, C., LAMBERT, J., LENOBLE, J.-L. (2015), 164 p.
- WIELSTRA, B., ESPREGUEIRA THEMUDO, G., GÜÇLÜ, Ö., OLGUN, K., POYARKOV, N. A., ARNTZEN, J. W. (2010). Cryptic crested newt diversity at the Eurasian transition: the mitochondrial DNA phylogeography of Near Eastern *Triturus* newts. *Molec. Phylogenet. Evol.*, **56**, p. 888-896.
- WRIGHT, R. C. (1979). Messinian correlation: salinity crisis. *Episodes*, **2**, (3), p. 12-15.
- YAPAUDJIAN, L. (1972). Une approche actualiste en géologie sédimentaire (quelques données d'interprétation des séquences de plate-forme). *Mém. BRGM*, **77**, p. 715-744.