

# ECLIPSE II 2004

**Coordinateurs du projet (nom, prénom et qualité) :** DEVERCHÈRE Jacques\*, PR ; GORINI Christian\*\*, MCF

**Laboratoire/Unité** (intitulé, appartenance, coordonnées) :

\* Domaines Océaniques (UMR 6538, CNRS-UBO-IUEM) - Place Nicolas Copernic 29200 PLOUZANÉ

Directeur: Pascal TARITS

Tél. : 02.98.49.87.20

Fax : 02.98.49.87.60

Email : jacdev@univ-brest.fr

\*\* PBDS (UMR 8110, CNRS-USTL1)

Université des Sciences et Technologies de Lille 1 - Bâtiment SN5 59 655 Villeneuve d'Ascq

Directeur: Jean-Luc POTDEVIN

Tél. : 03.20.33.61.08 / 06 61 18 97 27

Fax : 03.20.43.49.10

Email : gorini@univ-lille1.fr

## **Titre du Projet : Vers une évaluation spatio-temporelle détaillée de l'impact de la Crise de Salinité Messinienne et de ses facteurs de contrôle**

**Résumé du Projet en français:** Ce projet vise à affiner via l'observation géométrique (imagerie sismique et terrain) et l'étude des environnements océaniques (analyse de forages et de plateformes) les facteurs de contrôle de la Crise de Salinité Messinienne. Nous disposons depuis peu de données nouvelles qui nous permettront notamment de caractériser l'évolution des seuils qui ont probablement joué un rôle majeur en début et fin de crise et de modéliser l'érosion régressive au cours du Messinien. Nous proposons d'aborder quatre thèmes spécifiques au cours des 3 années du projet, correspondant à des besoins d'analyse précise de la Crise de Salinité et à son évaluation paléoclimatique et paléoenvironnementale : (1) Relations Terre-Mer: Evolution spatio-temporelle des surfaces et masses sédimentaires ; (2) Mise en évidence du rôle des seuils morphologiques au cours de la Crise; (3) Caractérisation multi-échelles des cyclicités de la Crise de Salinité; et (4) Impact de la Crise de Salinité dans l'environnement océanique. Ces 4 thèmes feront l'objet d'évaluations croisées au cours du Projet.

**English abstract:** The target of this project is, through geometric observations (seismic image and field) and oceanic-environmental studies (core and basin-platforms relationships analysis), to get a better understanding of the salinity crisis control factors. Since recently, we have in our position new data that will permit us to characterise evolution of the steps which have probably had an important role in the beginning and the end of crisis. We attempt to model the regressive erosion during the Messinian crisis. First of all, we suggest 4 specific investigation themes, corresponding to a high resolution analyses of the salinity crisis and its paleoclimatic and paleoenvironmental evaluation around the Mediterranean Sea and the World Ocean: (1) Onshore-offshore relations : Evaluation of sedimentary volumes and erosional surfaces through time and space; (2) Show up the role of the morphologic steps during the salinity crisis; (3) Characterisation at various scales of the cyclicity of the salinity crisis; (4) Impact of the salinity crisis in the Atlantic environment. These four themes will be the objects of cross evaluations during the project.

**Mots clés** (maximum 5) : Crise de salinité messinienne, Relations Terre-Mer, Evolution spatio-temporelle des surfaces et masses sédimentaires, Seuils, cyclicités, environnement océanique.

**Key words** : Messinian Salinity Crisis, Land-Sea connections, space-time evolution of sedimentary surfaces and bodies, sills, cyclicities, oceanic environment

**Liste des personnes** (nom, prénom, qualité; préciser les départements et sections du comité national concernées) **et des Equipes de Recherches** (intitulé, organismes) **associées au projet:** UMR 8110 – USTL Université de Lille 1 et Artois (C. Gorini) ; UMR 6538 Domaines Océaniques - Université de Brest (J. Déverchère) ; Orsayterre (FRE 2566), Université de Paris-Sud (C. Colin) ; Université Aix-Marseille I - FRE 6019-DRPC (G. Conesa) ; UMR 5125-PEPS-Université Cl. Bernard - Lyon 1 (J-J. Cornée) ; UMR5143-Museum d'Histoire Naturelle de Paris (J.M. Rouchy) ; UMR5626 GeoAzur (F. Sage) ; UMR 5563-UPS Toulouse (A. Maillard) ; CEREGE II (Aix) (G. Clauzon) ; UMR 5573 USTL Montpellier (L. Briquieu) ; Géosciences-Rennes, CNRS-UMR 6118 (J. Van Den Driessche) ; LEGEM Perpignan (V. Gaullier) ; LODYC Paris (C. Pierre) ; UPES-EA 2644 Université d'Angers (J-P. André) ; LSCE - UMR1572 Gif/Yvette (D. Blamart) ; et 20 Laboratoires partenaires, sans demande de financement ici (dont Algérie, Maroc, USA, Bulgarie, Italie, Roumanie, Brésil)

**Durée du projet : 3 ans**

**Budget demandé : 2004 : 32 000 €- TOTAL sur 3 ans : 89 500 €**

**Avis obligatoire du  
Directeur de Formation**

**Signature du demandeur**

## 1. Intérêt Scientifique

Cette demande intervient à la suite d'un effort de 3 ans d'une large équipe de 70 chercheurs portant sur les modalités et les conséquences de la Crise de Salinité Messinienne. Après ce travail en commun, les problèmes à traiter et les objectifs à atteindre sont devenus plus évidents et ont pu être précisés. Ce projet nouveau s'appuie sur les résultats majeurs de ces travaux. Il propose une série d'actions cohérentes, novatrices par rapport aux 3 précédentes années, qui seront axées sur les aspects thématiques et basées principalement sur l'approche sismique couplée avec l'enregistrement à terre (terrain) et en mer (forage). Cette demande vise d'abord à combler le déficit de "vision" des bassins "offshore" par une reconstitution des topographies-bathymétries et des transferts de masse solide dans les bassins profonds au cours de la crise au sens large. La dernière année de ce projet est consacrée au renforcement de l'interaction entre analystes et modélisateurs.

En effet, des incertitudes importantes pèsent encore sur l'âge, le paléoenvironnement ou la paléoaltitude de témoins fondamentaux de la crise messinienne. Dans la perspective de la réalisation de forages profonds, une analyse exhaustive sur des secteurs suffisamment étendus et la confrontation des observations doivent permettre de restaurer, ou à tout le moment de réduire, les incertitudes sur la géométrie des marges méditerranéennes au Messinien et de mettre ainsi en évidence les effets à diverses échelles de cet événement majeur et bref sur leur évolution.

La restauration des segments de marges méditerranéennes au Messinien doit notamment prendre en compte la quantification des déformations successives qui ont été très contrastées en Méditerranée (extension arrière-arc et/ou effondrement gravitaire dans un contexte géotectonique globalement compressif): ce travail consiste donc en l'analyse de l'impact d'un événement paléogéographique majeur sur des segments de marges en contextes d'évolution structurale et géodynamique variés. A ce titre le Tortonien est une période annonciatrice de la crise et y contribue au moins en influençant le climat (bilan du CO<sub>2</sub>, carbonate, etc.), c'est pour cela que nous étendons cette étude offshore-onshore au Tortonien. Au-delà de la recherche, la caractérisation et la datation de témoins clés qui a été abordée dans le Projet *Eclipse* précédent, la reconstitution des conditions et des effets de la crise messinienne implique que soient identifiés et quantifiés les principales modifications subies par les principaux ensembles (arrière-pays, marge s.s. et bassin), qu'elles soient tectoniques ou gravitaires, et qu'elles impliquent des processus d'érosion, de transport fluvial et sous-marin par érosion/sédimentation et précipitation/dissolution. Ces reconstitutions doivent être basées sur la synthèse d'un grand nombre d'informations concernant :

- Les dépôts et paléosurfaces à terre ;
- L'évolution pré- et post-messinienne de différents secteurs de marge ;
- L'étude, la cartographie et la modélisation 3D de la surface d'érosion messinienne enfouie ou affleurante sur les marges ;
- La géométrie et le volume des dépôts pliocènes et quaternaires des marges et du bassin dans les secteurs proches ;
- Les caractéristiques (faciès, profondeur, déformation, relations géométriques) des formations évaporitiques en pied de marge ;
- La géométrie de la croûte et des séries sédimentaires le long de grands transects au niveau des principaux secteurs du bassin océanique.

**Nous proposons d'aborder quatre thèmes spécifiques au cours des 3 années du projet, correspondant à des besoins d'approfondissement des connaissances qui nous semblent dignes d'intérêt et au fort potentiel dans la compréhension de la Crise de Salinité Messinienne et son évaluation paléoclimatique et paléoenvironnementale :**

**1. Relations Terre-Mer en Méditerranée : Evolution spatio-temporelle des surfaces et masses sédimentaires**

**2. Mise en évidence du rôle des seuils morphologiques au cours de la Crise de Salinité**

**3. Caractérisation multi-échelles des cyclicités de la Crise de Salinité**

**4. Impact de la Crise de Salinité dans l'environnement océanique**

**Ces 4 thèmes sont bien sûr fortement interconnectés et feront l'objet d'évaluations croisées au cours du Projet.**

### 1.1. Relations Terre-Mer en Méditerranée : Evolution spatio-temporelle des surfaces et masses sédimentaires

Seront abordés ici : (1) le problème des surfaces d'érosion et de la comparaison entre surface identifiées sur les marges sous-marines et à terre ; (2) les relations spatio-temporelles entre Surfaces d'érosion, détritisme, sel et Evaporites Supérieures ; (3) les bilans érosion-sédimentation, aussi précisément que possible, notamment dans l'environnement immédiat des seuils.

#### 1.1.1. Problème scientifique :

Les études entreprises dans le bassin Méditerranéen nord occidental ont montré que l'érosion était polyphasée et que les relations entre des cônes détritiques et évaporites montraient des produits d'une érosion soit précoce (anté-évaporites), soit syn-dépôt des évaporites, soit même post-dépôt du sel. Par exemple, dans la mer d'Alboran, l'érosion y est intense, mais on ne sait pas encore où se sont accumulés les produits de cette érosion. Un canyon messinien très profond (500 m) de direction E-W a été tracé en face du détroit de Gibraltar (Campillo et al., 1992; Mulder and Parry, 1977). On ne connaît pas son

prolongement vers l'Est et sa relation avec le bassin profond évaporitique qui se situe au large de l'Algérie. On ne connaît pas non plus sa relation avec le détroit de Gibraltar : cataracte géante (Hsü et al., 1973) ou détroit lui-même, généré par des mouvements tectoniques ou creusé par l'érosion messinienne ? (canyon messinien, Blanc, 2002).

Les évaporites profondes sont corrélées en position marginale avec un marqueur sismique (horizon M) qui enregistre l'érosion de la marge pendant le(s) effondrement(s) du niveau du plan d'eau méditerranéen lors de la crise de salinité (Hsü et al., 1973) ; cette érosion a donné lieu au surcreusement du réseau hydrographique périméditerranéen sous la forme de profonds canyons (Clauzon, 1975). Cet horizon M a été classiquement rapporté à la " dessiccation " de la Méditerranée. Or on sait aujourd'hui que la crise de salinité est un événement complexe qui a donné lieu à plusieurs phases d'abaissement important du plan d'eau dont l'enregistrement peut être **diachrone** selon la position dans les différents bassins, voire le long des marges. Ce marqueur a donc été aussi interprété comme étant en fait la trace sismique d'une surface **polygénique** résultant de différents événements hydrologiques intervenus pendant l'épisode messinien ainsi que d'une phase pré-messinienne (Rouchy, 1984).

### 1.1.2. Etat de la question :

Les nombreuses études menées à terre ont en effet montré l'existence de plusieurs surfaces d'érosion majeures liées à des phases successives d'effondrement du plan d'eau. On peut retenir deux hypothèses qui sont directement reliées aux scénarios qui ont été proposés pour la crise de salinité. La première considère que l'érosion majeure est globalement liée au dépôt du sel dans les parties profondes du bassin méditerranéen (Rouchy, 1984; Rouchy et Saint Martin, 1992) et peut être corrélée avec celle qui entaille les plates-formes carbonatées récifales antérieurement au dépôt du Complexe carbonaté terminal. Plusieurs phases d'érosion d'importance limitée se seraient également succédées pendant le dépôt des évaporites supérieures avant une nouvelle phase majeure, bien marquée dans tous les bassins marginaux, qui est contemporaine du développement des conditions laguno-lacustres terminales. Dans la seconde hypothèse (Clauzon et al., 1995), l'érosion majeure se serait produite pendant le dépôt des évaporites profondes, qui serait intervenu au cours d'une deuxième phase évaporitique. Les investigations sismiques récentes, notamment sur la marge du golfe du Lion, ont révélé que les profils longitudinaux des fleuves messiniens présentaient plusieurs ruptures de pente (Lofi, 2002). Elles tendent à confirmer l'existence d'une phase d'érosion " pré-crise " de salinité, qui pourrait être d'âge tortonien. A terre, on note que le Tortonien basal est une période de profonde réorganisation paléogéographique, notamment dans les bassins d'Espagne méridionale et du Maroc, et que des épisodes érosifs liés à des phases d'émersion ont affecté les dépôts de plate-forme carbonatée (Franseen and Goldstein, 1996). La relation entre ces différents événements appelle donc une attention particulière.

En " offshore ", l'histoire messinienne du bassin méditerranéen tout entier se joue probablement dans la mer d'Alboran : Les phases successives d'effondrement du plan d'eau en Méditerranée sont la conséquence d'un événement paléogéographique majeur avec une fermeture des communications avec l'Atlantique au niveau des détroits nord bétique et sud rifain. La fermeture de ces détroits pendant le Tortonien supérieur-Messinien inférieur est attribuée à des causes tectoniques (Weijermars, 1988). Toutefois plusieurs causes peuvent être évoquées. Une compression qui commence autour de la mer d'Alboran au Tortonien (Comas et al., 1992; Comas et al., 1999 ; Piqué et al., 1998) peut provoquer la fermeture des détroits. Toutefois dans le bassin de Mellila une activité volcanique intense peut avoir induit la fermeture du bassin de Mellila (Maroc) qui est situé à l'extrémité Est du détroit sud-rifain (Münch et al., 2001; Roger et al., 2000). Dans une récente hypothèse (Duggen et al., 2003) la fermeture serait due à la délamination de la lithosphère sous le bassin d'Alboran avec une remontée de 1 km de part et d'autre de la mer d'Alboran.

Du côté espagnol le dépôt d'évaporites dans les bassins les plus internes (Lorca et Fortuna) est antérieur (7.8-7.6 Ma, Tortonien) au Messinien et certains auteurs évoquent une accumulation dans des bassins rhomboédriques contrôlés par des décrochements orientés NE-SW (Garcés et al., 2001; Krijgsman et al., 2000). Les bassins périphériques pourraient avoir une sédimentation évaporitique antérieure à celle du bassin profond (Clauzon et al., 1996) ou postérieure (Riding et al., 1998). Dans les bassins espagnols, l'érosion est supposée contemporaine du dépôt de sel dans le bassin profond (Clauzon et al., 1996; Martin et al., 1999; Riding et al., 1998).

Le bassin algérien présente des similarités et des différences importantes avec le bassin provençal. Le diapirisme existe comme en mer Ligure, mais de gros dômes et des murs de sel sont localisés au pied de la pente algérienne (Mauffret et al., 1987; Deverchère et al., 2003). Le sel n'est pas partout présent en particulier entre Minorque et l'Algérie où il existe un haut de socle qui pourrait être une ride d'accrétion résultant de l'ouverture E-W du bassin algérien pendant le Miocène (16-8 Ma) (Mauffret, 2003; Mauffret et al., 2003). L'épaisseur des séries plio-quatérnaires (1.6 km) et miocènes (1.8 à 4.5 km) est aussi beaucoup plus faible dans le bassin algérien. Le sel messinien est impliqué dans la tectonique en compression qui est à l'origine de forts séismes et du début de formation d'un complexe d'accrétion au pied de la pente algérienne (El Robrini, 1986).

Les données antérieures, y compris des données sismiques de très bonne qualité fournies par la compagnie TOTAL montrant les déformations compressives sont en cours d'étude (Mauffret, en préparation). Les données sismiques de la campagne MARADJA, dirigée par J. Déverchère, montrent également l'implication du sel messinien et sa déformation en compression jusque dans la plaine abyssale.

### 1.1.3. Méthodologie et stratégie :

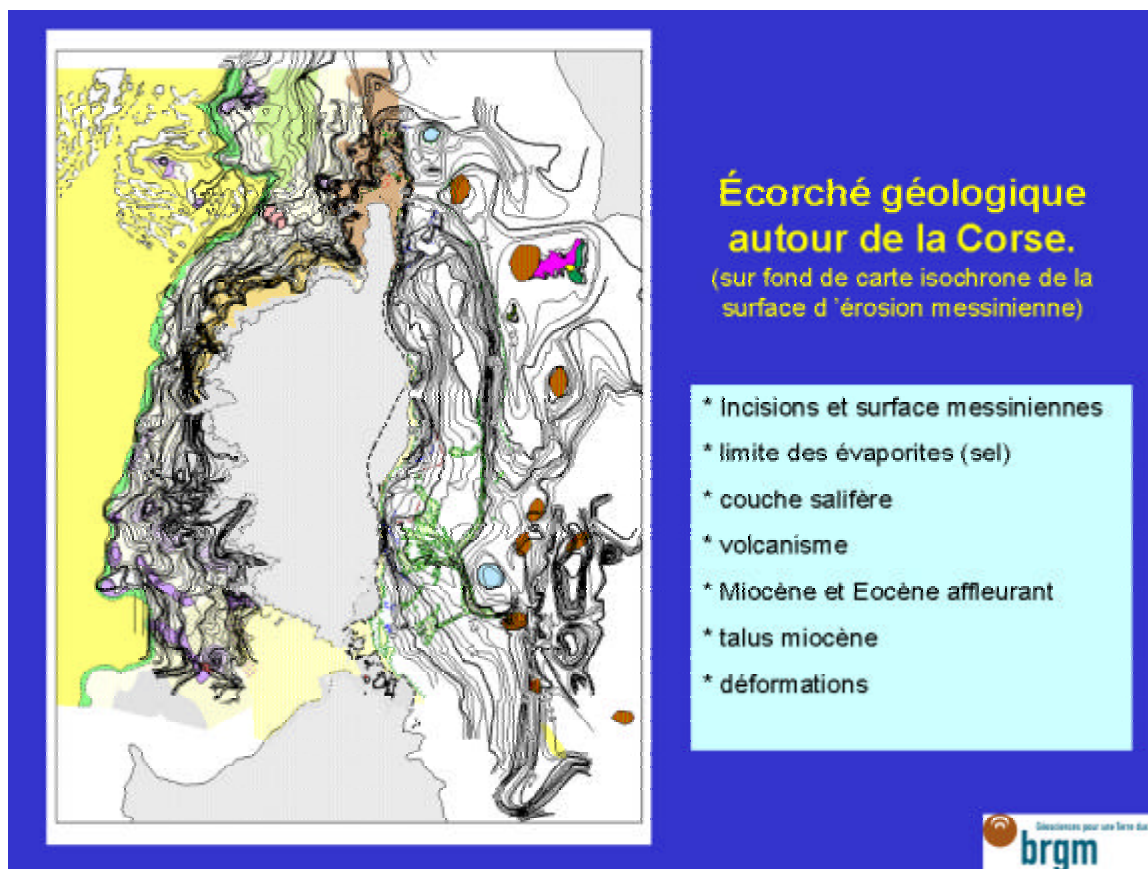
#### A. L'approche générale

La compréhension des relations entre ces surfaces d'érosion et les différents épisodes hydrologiques et sédimentaires qui composent la crise de salinité (évaporites inférieures, sel massif, évaporites supérieures, lagoon-mare) est une nécessité pour une bonne interprétation des changements de l'environnement en Méditerranée au cours de la crise messinienne et de leurs

conséquences. Elle conditionne en effet la restitution de l'amplitude des fluctuations verticales du plan d'eau méditerranéen et la quantification des volumes érodés sur les marges.

L'objectif est donc la caractérisation de ces surfaces et de leurs relations avec les évaporites tant par la sismique que par les investigations à terre, l'évaluation de leur importance et leur hiérarchisation. Une analyse détaillée des données sismiques récentes ou plus anciennes à notre disposition permettent l'identification des séquences et géométries sur l'ensemble des marges offshore. Les calages des profils sismiques par les diagraphies (quand cela est possible) permettront une étude plus haute résolution, en termes de stratigraphie séquentielle, et une quantification des effets de la tectonique sur l'accommodation. L'imagerie sismique fournira le lien avec les évaporites inférieures, le sel massif et les évaporites supérieures dans les parties profondes, et surtout les relations avec les appareils clastiques qui proviennent de l'érosion de la marge à chacune des étapes. C'est également par la sismique que l'on pourra évaluer l'importance de la composante pré-messinienne qu'il faudra ensuite confronter avec les données concernant les événements tectoniques de la limite Serravalien-Tortonien qui sont connus à terre dans de nombreux bassins marginaux de Méditerranée occidentale. Les études à terre permettront une meilleure discrimination des différentes composantes de l'érosion messinienne et un calage chronologique précis. Si la surface terminale liée à l'événement Lago-Mare est aujourd'hui bien documentée, l'effort devra porter sur les séries évaporitiques épaisses de Sicile et sur la surface qui, dans certaines plates-formes carbonatées, sépare la plate-forme à dominante corallienne du complexe carbonaté terminal.

La cartographie détaillée de la surface M, définie parfois comme le toit du Messinien, et parfois comme l'érosion basale, est possible car celle-ci est le plus souvent bien visible sur les lignes sismiques. Elle est par exemple bien avancée dans le golfe du Lion et autour de la Corse (**Figure 1**). Concernant la remise en eau, la similitude entre des faciès sismiques de levée pliocène basal et des évaporites supérieures rend l'exercice moins aisé (voir Sage et al., soumis). La base de la série messinienne est le plus souvent également identifiable, à condition bien sûr que toutes les équipes travaillant en mer parlent des mêmes objets lorsqu'il s'agit de donner un nom aux séquences de bassin profond. L'objectif est de faire la distinction entre zones d'érosion et zones de dépôt, et de se caler avec les observations réalisées à terre et les résultats obtenus lors d'éclipse 1, mais aussi de profiter de l'opportunité de réunir les équipes travaillant en mer dans ce projet pour construire un véritable atlas de stratigraphie sismique du Messinien autour des marges méditerranéennes et téthysiennes. Cette synthèse comprendra à terme la mise à des formats communs des données étudiées par les divers laboratoires engagés, le rassemblement ou la réalisation de cartes des horizons, unités et surfaces sous SIG permettant une approche locale et régionale, et l'étude des géométries 3D. Partout où la densité des données le permettra, nous effectuerons une modélisation 3D et in fine la reconstitution des paléotopographies par corrections des principaux effets calculés ou supposés (surchage, soulèvement, érosion...).



**Figure 1** : Exemple de cartographie géologique bien avancée dans le bassin nord-occidental de la Méditerranée : le pourtour de la Corse (Document BRGM).

## **B. Les chantiers**

Dans le golfe du Lion, l'identification précise des séquences syn- à post-rift miocènes et pliocènes établie à partir des corrélations stratigraphiques a permis l'interprétation en terme de stratigraphie séquentielle des forages offshore (logs et diagraphies) étendue sur 2 transects transverses et longitudinaux. Nous voulons étendre cette méthodologie à d'autres marges de façon à élaborer les corrélations haute résolution à terre comme en mer et d'en tirer les géométries suivant des transitionnels terre-mer. Cette approche permettra d'élaborer les géométries 1D, 2D, 3D pour les séries du miocène supérieur. Les études récentes réalisées dans le cadre du GDR Marges sur le chantier Golfe du Lion ont démontré en effet l'importance d'une analyse étendue à un continuum terre-mer depuis l'arrière-pays jusqu'au domaine profond mais aussi à une zone large comprenant différents segments de marge. Nous nous appuyons sur cette expérience pour proposer une quantification de la production carbonatée en réponse aux facteurs de contrôle climatique, tectonique, eustatique et un bilan érosion/sédimentation. Cette étude est menée principalement à partir des profils sismiques existants, du bassin Provençal et Algérien depuis la Sardaigne et éventuellement la Sicile jusqu'à l'entrée de la mer d'Alboran et la liaison avec les bassins adjacents (**Figures 1 et 2**). Le Golfe du Lion, la Provence, La Corse et la Sardaigne ne font pas ici l'objet d'un développement spécifique car sont intégrés au GDR MARGES, mais les collaborations sont établies pour intégrer les résultats intéressants à cette demande ECLIPSE.

- **Mer d'Alboran (Figure 2)**: Plusieurs sites autour de la mer d'Alboran, qui ont déjà fait l'objet d'investigations préliminaires, ont montré l'importance des surfaces séparant coraux et carbonates et surfaces polygéniques. L'avantage de cette région est de disposer d'une imagerie sismique en mer très abondante et mieux répartie depuis peu, des résultats du récent Leg ODP 161 et de très nombreuses données dans les bassins émergés. La question pourra donc être traitée par l'exploitation de la documentation existante et par des missions de terrain orientées très précisément vers l'étude de ces surfaces dans les plates-formes carbonatées de Melilla au Maroc et Nijar-Sorbas-Vera dans les cordillères bétiques. Les plates-formes carbonatées du bassin de Lorca offrent quant à elles la possibilité de caractériser les surfaces d'érosion qui ont affecté les plates-formes carbonatées pendant le Tortonien et qui ont été identifiées dans la région du Cabo de Gata par Franseen and Goldstein (1996) et d'approcher ainsi la relation avec la phase d'érosion pré-messinienne reconnue en mer. Un effort particulier d'intégration des données de terrain et de subsurface marine (sismique-puits) sera menée dans cette région qui y est favorable. Cette intégration doit permettre une calibration stratigraphique des réflecteurs sismiques dans le cadre d'une interprétation sismo-stratigraphique séquentielle haute résolution.

- **Bassin algérien** : Afin de permettre la liaison entre mer d'Alboran et bassin algérien, nous proposons, dans un premier temps, avec nos collègues de Grenade (M. C. Comas, thèse de Guillermo Marro) de reconnaître les canyons messiniens depuis Gibraltar jusqu'au bassin salifère algérien, de faire la jonction entre les bassins terrestres aussi bien du côté espagnol (Almeria, Sorbas, Vera, San Miguel de Salinas) que Marocain (Mellila) et enfin de rechercher les produits de l'érosion que l'on soupçonne déjà sous les évaporites aux confins du bassin Est Alboran à la limite du bassin salifère algérien à partir de données de sismiques existantes (figure 2, plans de positions sur les zones). La liaison avec la terre, indispensable, permettra de mettre en évidence la continentalisation progressive, en liaison avec la tectonique compressive des bassins de Murdjadjo (sud d'Oran, Roger et al., 2000; Thomas, 1985) et du Chelif (Meghraoui et al., 1986; Meghraoui et al., 1996).

- **Golfe de Valence** : il est un complément indispensable de la mer d'Alboran et du bassin algérien. C'est en effet un domaine de rift avorté qui constituait au Messinien un niveau intermédiaire dont on soupçonne qu'il a enregistré mieux qu'ailleurs certaines phases de descente et remontée du niveau marin. Les données sismiques sont très détaillées (Maillard and Mauffret, 1999; Maillard et al., 1992) et de plus il existe de nombreux forages qui ont traversé la surface d'érosion et même parfois les évaporites messiniennes (Lanaja, 1987).

- **Bassin Levantin** : Bien que l'essentiel de notre effort porte sur le bassin occidental et la Mer Noire, la campagne BLAC (réalisée en novembre 2003, chef de mission Jean Benkhelil, Perpignan) offre l'opportunité d'éclairer l'événement messinien dans la zone de la Méditerranée orientale comprise entre Chypre et la marge syrienne. Elle a permis de suivre en continu le réflecteur M, interprété comme le toit du Messinien. La série messinienne, dont la base est le plus souvent également identifiable, épaisse et salifère dans les bassins, varie en épaisseur, profondeur et intensité de déformation selon différents domaines structuraux; du Sud, avec le bassin Levantin, Au Nord-Est de l'ensemble de la zone d'étude, ou l'on retrouve alors une séquence messinienne épaisse avec d'intenses déformations diapiriques dans un bassin profond. La transition érosion/dépôt est clairement visible et se réduit à une surface d'érosion sur l'arc de Chypre. Ces toutes nouvelles données permettent de faire la liaison terre mer, avec l'avantage d'une série messinienne largement étudiée à Chypre et des collaborations en Syrie et au Liban.

- **Sicile** : Une des interrogations majeures avant le choix définitif du bon scénario (Clauzon *et al.*, 1996; Krijgsman *et al.*, 1999) pour rendre compte à l'échelle de la Méditerranée de la crise de salinité messinienne concerne le statut de la Sicile : le bassin sicilien de Caltanissetta correspond-il à une partie du bassin méditerranéen profond aujourd'hui porté à l'affleurement par l'activité tectonique régionale intense (conception classique défendue par Krijgsman *et al.*, 1999) ou n'est-il qu'un bassin marginal (certes plus profond que le bassin andalou de Sorbas par exemple) aujourd'hui émergé (conception nouvelle proposée par Clauzon *et al.*, 1996) ? Le secteur clé pour lever cette incertitude se trouve en Sicile, dans le secteur d'Enna, entre le village de Cacchiamo et la mine de sel de Capodarso. En effet, sur une distance de 8 km seulement, on passe d'un environnement littoral (marqué par un récif corallien frangeant) au bassin dans lequel se sont déposées les évaporites (gypse, halite et sels de potassium). Entre les deux niveaux bathymétriques "0" soulignés d'une part par le récif corallien frangeant (littoral contemporain du bassin dans lequel se déposaient encore des argiles et des diatomites), puis d'autre part par les dépôts évaporitiques, il est possible de reconstruire par le biais de la méthode palinspastique la morphologie du bassin (et par

conséquent de calculer sa paléobathymétrie) avant la crise de salinité. Une faible bathymétrie ferait pencher la balance en faveur de Clauzon *et al.* (1996), une bathymétrie forte en faveur de Krijgman *et al.* (1999). De nombreux levés de terrain détaillés dans cette zone nécessaires à une telle investigation ont déjà été effectués en 1992 au cours d'une mission réalisée par les trois demandeurs sous la conduite de G. Clauzon et J. Muller (DR CNRS). Les levés ont été poursuivis et achevés (au cours de plusieurs missions étalées entre 1993 et 1997) par J. Muller, qui a depuis pris sa retraite. Nous disposons de tous les documents établis au cours de ces missions qu'il suffit à présent de dépouiller, synthétiser puis vérifier sur le terrain. Nul doute que de cet effort sortira une publication de première importance pour la suite de la discussion sur la signification du bassin sicilien et pour le choix du scénario à retenir pour la crise de salinité messinienne.

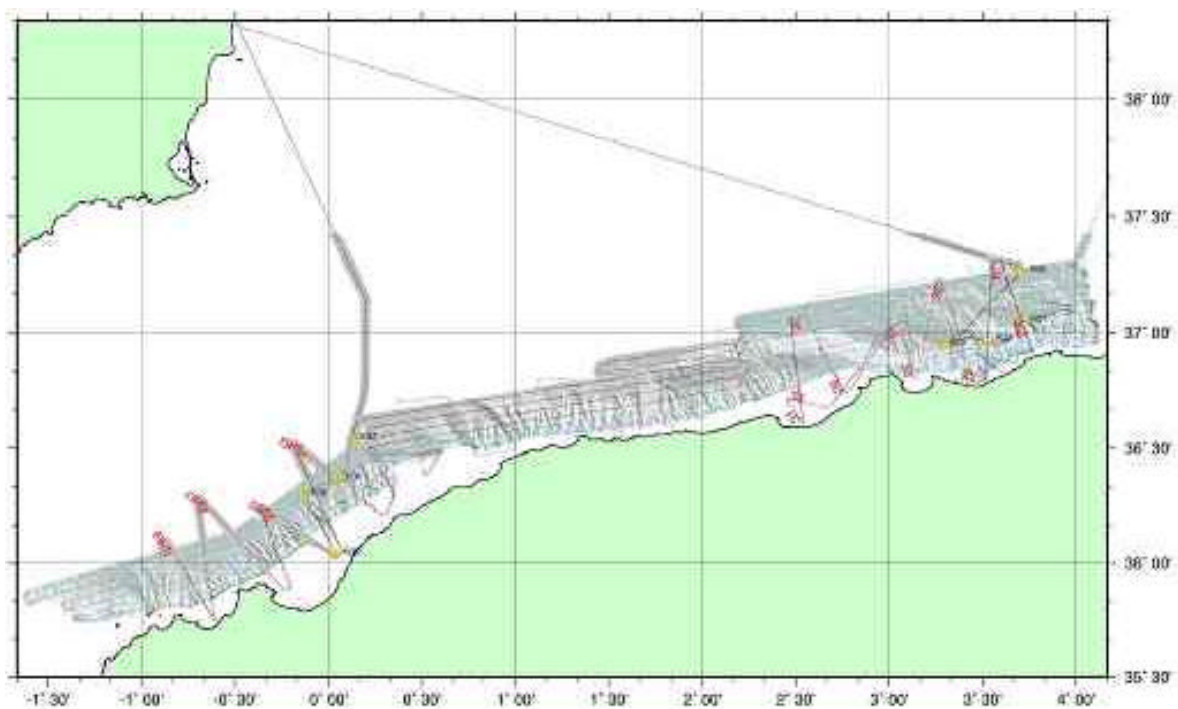
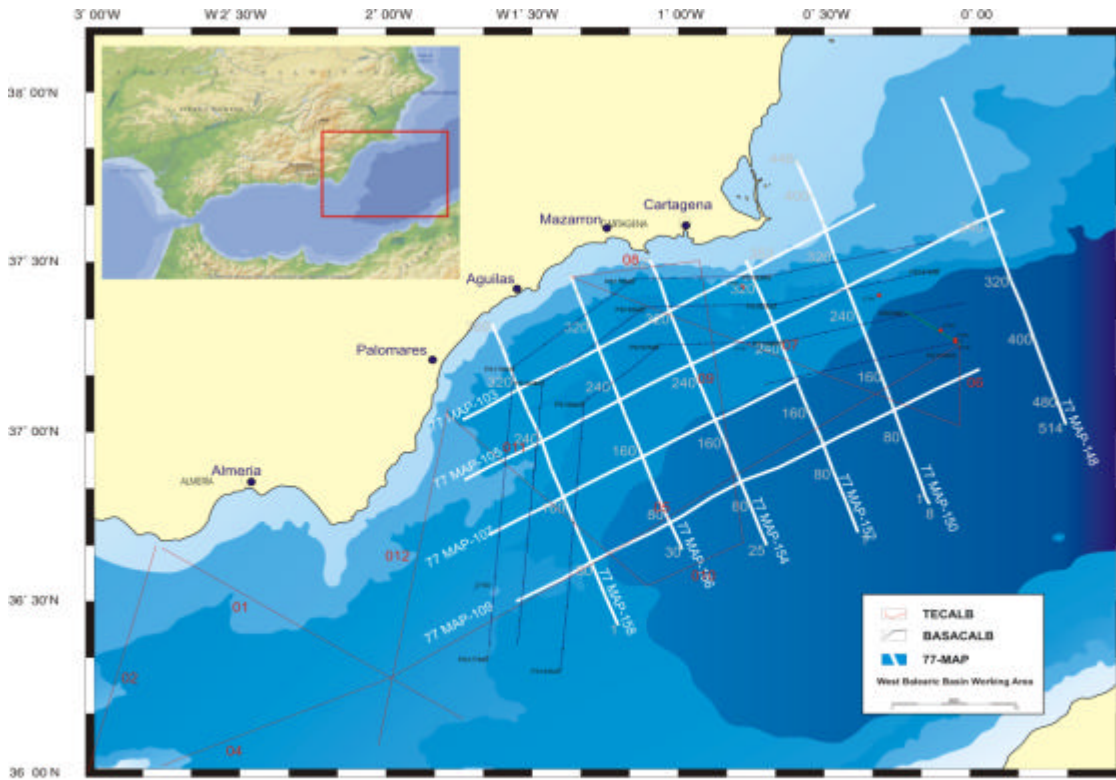


Figure 2 : Données de sismique pétrolière et académiques autour de la liaison Alboran-Bassin Algérien

## 1.2. Mise en évidence du rôle des seuils morphologiques au cours de la Crise de Salinité

Seront abordés : (1) les relations Méditerranée-Atlantique ; (2) les relations Méditerranée-Mer Noire (Paratéthys) ; (3) les relations entre surfaces d'érosions polyphasées et événements pré-crise : quantifications et modèles.

### 1.2.1. Les communications entre l'Océan Atlantique et la Mer Méditerranée:

#### 1.2.1.1 Problématique scientifique :

Pendant le Néogène, les communications entre l'Océan Atlantique et la Mer Méditerranée ont été soumises à d'importantes fluctuations ayant conduit à la Crise de Salinité Messinienne. Ces communications s'effectuaient par différents corridors qui ont été progressivement obstrués. La dernière et principale voie de communication fini-messinienne correspondrait au Couloir Sud-Rifain sur la marge Nord-Africaine. Par la suite, à la fin de la Crise, la réouverture des échanges avec l'Atlantique a fait l'objet d'hypothèses encore très discutées, portant surtout sur l'aspect tectonique. Notre problématique est donc double : (A) Préciser les modalités de la fermeture du "sillon sud-rifain" ; (B) tester le scénario de remise en eau du bassin par érosion régressive :

**A. Modalités de la fermeture du sillon sud-rifain :** Pendant tout le Néogène, des échanges océaniques y ont été enregistrés dans les complexes carbonatés littoraux et dans les dépôts profonds où ils peuvent être : (1) mis en évidence et caractérisés par l'étude détaillée des événements biosédimentologiques et (2) calibrés chronologiquement. Nous proposons donc, de manière complémentaire des travaux menés en imagerie sismique (voir §1.1) de mener une étude des facteurs de contrôle de l'obstruction du sillon sud-rifain : il s'agit de proposer un modèle des communications atlanto-méditerranéennes entre -8 et -3 millions d'années par le sillon sud-rifain, en étudiant les enregistrements paléocéanographiques depuis le côté Atlantique jusqu'à la marge Nord-Africaine de la Méditerranée, et de déterminer les mécanismes majeurs ayant conduit à la fermeture de ce sillon. Le suivi du détroit rifain – l'évolution du détroit de Gibraltar, la liaison avec la Péninsule Ibérique, les relations entre les détroits rifain et sud Bétiques sont encore mal compris. Les causes tectoniques tortonniennes sont évoquées dans l'évolution paléogéographique de ce secteur. Il est donc important d'inclure le Tortonien, période annonciatrice de la crise par la tectonique et les changements climatiques (bilan du CO<sub>2</sub>, carbonate, etc.). En ce qui concerne les corridors rifains et sud Bétiques, les signaux sont identiques quant aux paléocirculations, en Algérie et au Maroc, et les événements sont bien calés par les associations de diatomées. L'étude quantitative (analyses statistiques multi variées) et qualitative des marqueurs biosédimentologiques des variations paléocéanographiques (phytoplanctons : diatomées, nannoplanctons, benthos : échinides, astérides et bivalves) est un bon contrôle de l'obstruction du sillon. Nous prendrons en compte pour l'interprétation le rôle de la tectonique et notamment de l'olistostrome sud-rifain, des mouvements verticaux et des zones décrochantes à la limite du Moyen Atlas. Nous établirons une corrélation et calibration radiochronologique (datations Argon-Argon) des événements biosédimentologiques et environnementaux.

**B. Test du rôle de l'érosion régressive sur la ré-inondation post-messinienne de la Méditerranée :** Si un grand nombre de travaux se sont intéressés aux causes de l'assèchement de la Méditerranée au cours du Messinien, très peu ont abordé les modalités de la ré-inondation de celle-ci au début du Pliocène. Les mécanismes généralement invoqués considèrent des forçages externes tels que la tectonique ou l'eustatisme, ou encore une combinaison des deux. A notre connaissance aucune étude n'a jusqu'ici démontré de manière convaincante l'existence d'un effondrement tectonique pliocène du seuil de Gibraltar. De même le haut eustatique invoqué pour expliquer le re-ennoyage de la Méditerranée intervient 170 000 ans avant celui-ci (Hodell et al., 2001). Peu d'attention a été portée sur les mécanismes d'évolution interne au cours de la Crise : c'est ce que nous nous proposons de modéliser. Le modèle de bilan hydrologique et salin de la crise de salinité (Blanc 2000, Deep Sea Research Part I, 47-8.), publié avant le début du projet "La crise de salinité messinienne : modalités, conséquences régionales et globales, quantification" dans le programme Eclipse-1, amélioré dans le cadre de ce projet (Blanc 2003, Palæogeogr., Palæoclim. & Palæoecology, accepté) a été construit à partir d'un bilan de la sédimentation évaporitique découlant de données vieilles de 25 ans, largement maximaliste et non testé par l'analyse sismique. Tel quel, il démontre qu'une crise de salinité est possible sous un climat proche de celui de la Méditerranée actuelle.

#### 1.2.1.2. Etat de la question :

**A. Corridor sud-rifain :** Après les déformations alpines majeures (Rif, Bétiques), la période miocène supérieur-pliocène (de -8 Millions d'années à -2 Millions d'années environ) est marquée par le développement d'une importante sédimentation dans des bassins soit en position d'avant-pays, soit en discordance sur les éléments déformés du Rif. Une révolution majeure s'opère alors : le sillon sud-rifain, entre Rabat et Oujda, devient le lieu privilégié des transits hydrologiques entre l'Océan Atlantique et la Mer Méditerranée, suite à la fermeture des corridors du Sud-Est de l'Espagne. L'ouverture du sillon est établie vers 8Ma, en revanche sa fermeture est toujours mal contrainte (entre 6,7 et 5,8 Ma). Par ailleurs, la question d'éventuelles communications à travers le Rif, par le couloir de Taouinate-Boudinar, reste toujours en suspens. De plus, les mécanismes ayant conduit à la rupture des communications atlanto-méditerranéennes sont encore mal connus et les rôles respectifs des divers facteurs de contrôle (tectonique, eustatisme, comblement sédimentaire, progradation des faciès littoraux) sont encore largement débattus (e.g. : Benson et al., 1991 ; Cunningham et al., 1997 ; Gelati et al., 1999 ; Krijgsman et al., 1999a et b ; Roger et al., 2000 ; Cornée et al., 2002 ; Cunningham et Collins, 2002 ; Münch et al., 2003 ; Rouchy et al., 2003), faute d'une étude sur l'ensemble de la zone. Dans le cadre du programme Eclipse I, nous avons réalisé des travaux dans le bassin de Melilla-Nador qui se situe au débouché méditerranéen du sillon sud-rifain. Ces travaux ont permis de caractériser, et de calibrer chronologiquement, l'enregistrement des circulations paléocéanographiques dans le bassin (Saint-Martin et al., 2003) et les plates-formes

carbonatées (Münch et al., 2001 ; Cornée et al., 2002 ; Münch et al., 2003 ; Garcia et al., 2003 ; Münch et al., sous presse). Ces travaux font suite à de nombreuses années d'étude de notre équipe dans cette région en collaboration avec les Universités de Fez et de Tétouan. Dans l'optique d'étendre cette approche à l'ensemble de la zone du sillon sud-rifain, nous disposons également d'études antérieures (Saint-Martin et al., 1992 ; Cornée et al., 1994 ; Mansour et al., 1995 ; Saint-Martin et al., 1995 ; Mansour et Saint-Martin, 1999) dans le prolongement vers l'Est du sillon (Algérie). Ces études ont été réalisées en collaboration avec l'Université d'Oran.

**B. Remise en eau :** Alors que l'une des conséquences les plus marquantes de l'assèchement de la Méditerranée est la ré- incision drastique des réseaux fluviaux pré-messiniens (e.g. Clauzon, 1978, 1982), la capture des eaux atlantiques par érosion régressive au niveau du seuil de Gibraltar n'a été envisagée que très récemment par P.L. Blanc (2001) sur la base d'arguments géomorphologiques et hydrologiques. Notre objectif est d'apporter une contribution via la modélisation numérique à cette question. Il s'agira d'abord de procéder à un ajustement aux bilans de masse réactualisé par les différents chantiers. Si le bilan de masse évaporitique s'avère beaucoup plus faible que celui qui a été utilisé dans Blanc (2001), cela signifiera que la fermeture des détroits atlantiques, quels qu'ils aient été, aura été plus rapide que les 370 000 ans auxquels le modèle aboutit actuellement. Cela conduirait aussi à allonger la durée allouée au Lago Mare et au cours de laquelle le détritisme peut atteindre même les bassins profonds. En ce qui concerne les effets de seuils, il faut rappeler que c'est la profondeur du seuil interne à la Méditerranée (appelé Seuil de Sicile ou Seuil Siculo-Tunisien, et séparant le bassin oriental du bassin occidental), qui détermine la répartition relative des dépôts salifères dans le bassin occidental et le bassin oriental – et réciproquement, la répartition des dépôts évaporitiques est l'une des informations permettant, grâce à la modélisation, de contraindre la profondeur de ce seuil. L'ajustement des bilans de masse des évaporites a donc des implications directes sur l'évaluation de la profondeur de ce seuil.

#### 1.2.1.3. Méthodologie :

**A. Corridor sud-rifain :** Ce travail nécessite une approche pluridisciplinaire : (1) Etude quantitative (analyses statistiques multivariées) et qualitative des marqueurs biosédimentologiques des variations paléocéanographiques (phytoplanctons : diatomées, nanoplanctons, benthos : échinides, astérides et bivalves). (2) Etude des facteurs de contrôle de l'obstruction du sillon sud-rifain : tectonique (rôle de l'olistostrome sud-rifain, mouvements verticaux, rôle des zones décrochantes à la limite du Moyen Atlas) ; eustatisme et dynamique sédimentaire (anatomie, hiérarchisation des discontinuités, taux de sédimentation, stratigraphie séquentielle). Corrélation et calibration radiochronologique (datations Argon-Argon) des événements biosédimentologiques et environnementaux. Modélisation numérique des séquences de dépôt (Carbonate 3D, Dionisos et gOcad) sur les nouvelles données de terrain et à partir des données existantes sur le bassin de Melilla afin de tester l'influence des facteurs de contrôle (cf. 3.2), géométrie de la surface érosive sur toute la plate-forme et l'estimation des hiatus et volumes érodés. L'étude de l'évolution du détroit sud rifain se fera à terre sur *trois ateliers* :

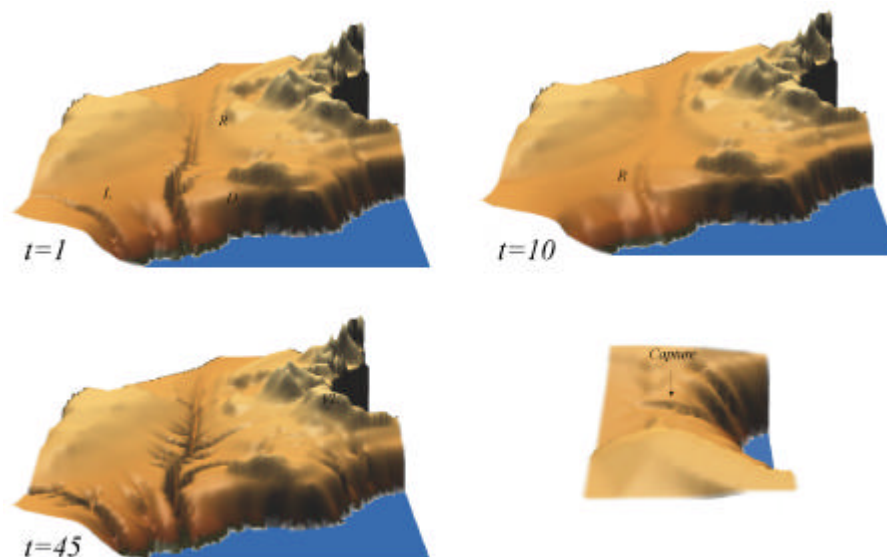
- *La Partie occidentale du sillon sud-rifain* (golfe de Skoura, Région de Fez, Maroc) est choisie pour continuer la recherche sur mécanismes d'édification de la plate-forme du Tortonien supérieur-messinien inférieur (cyclicité des formations récifales, signaux océanographiques dans les faciès marneux associés, foraminifères, ostracodes, éventuellement diatomées).

- *Le Sillon intra-Rif* (secteur Taouate-Boudinar, Maroc) et la détermination de l'âge (datations Argon-Argon) et de la nature du remplissage miocène supérieur du sillon intra Rif, permettra de mieux appréhender le timing de la fermeture et de la continentalisation des dépôts (signaux océanographiques par le phytoplancton). Les résultats obtenus sur ce chantier seront comparés à ceux déjà disponibles au débouché du sillon (secteur Melilla) et l'ensemble sera intégré dans le thème Liaison Terre-Mer au travers de la participation de la FRE 6019 à ce thème (modélisation et stratigraphie sismique).

- *Pour la partie méditerranéenne* (bassin du Chélif, Algérie) les signaux océanographiques à la transition plate-forme-bassin (Murdjadjjo-Tessala) dans les marnes et diatomites (prélèvement de terrain réalisé par nos partenaires de l'Université d'Oran), la calibration radiochronologiques (datations Argon-Argon) des événements biosédimentaires.

**B. Remise en eau :** Dans la phase ECLIPSE précédente il a été proposé, modélisé et justifié par l'analyse géomorphologique, le mécanisme du "cataclysme zancéen" qui aurait creusé le détroit actuel et remis en eau la mer Méditerranée (Blanc, 2002). De nouvelles études pour valider ce modèle (en particulier un complément de données multibeam dans la zone de Gibraltar) seront déterminantes. Il faudra notamment mieux déterminer la profondeur des glissements que la géomorphologie seule ne peut résoudre. Les résultats de campagnes géophysiques effectuées récemment sur ce seuil de Gibraltar (collaboration avec Barcelone et Malaga) devrait permettre de mieux contraindre le problème. Nous proposons de tester l'hypothèse de l'érosion régressive par deux voies : (1) par l'approche, affinée, déjà développée par P-L. Blanc ; (2) à l'aide du modèle numérique EROS (Davy et Crave, 2000 ; Crave et Davy, 2001 ; Davy et al., 2003) développé à Rennes : des travaux préliminaires ont permis de déterminer des valeurs pertinentes pour les paramètres de la loi d'érosion générique incorporée dans le modèle, à partir des données disponibles sur l'incision du Rhône messinien et à travers une simulation de celle-ci (Loget et al. 2003a). Ces valeurs devront être affinées par l'acquisition de données (largeur et profondeur de l'incision) sur des réseaux messiniens d'échelles variées. Elles seront ensuite utilisées pour la simulation de la dynamique de l'érosion messinienne à l'échelle de la Méditerranée occidentale, puis pour la modélisation de l'évolution du réseau hydrographique au niveau de Gibraltar et la capture à terme par celui-ci des eaux atlantiques, tel que suggéré par des simulations préliminaires (Loget et al. 2003b) (**Figure 3**). Le but recherché est de montrer le rôle à notre sens sous-estimé de l'érosion régressive sur le ré-ennoyage des grands domaines asséchés au cours de l'histoire récente de la Terre. Les nouvelles données synthétisées dans le cadre de ce projet offre une opportunité unique d'apporter les contraintes nécessaires à la modélisation de la remise en eau zancéenne en Méditerranée.





**Figure 3: Simulation de l'incision messinienne du Rhône (t=1 à 45). Le stade 45 correspond à l'incision finie réelle messinienne du Rhône. La figure en bas à droite montre l'incision du seuil de Gibraltar au même stade (Géosciences Rennes).**

## 1.2.2. Les communications entre la Mer Noire (Paratéthys) et la Mer Méditerranée

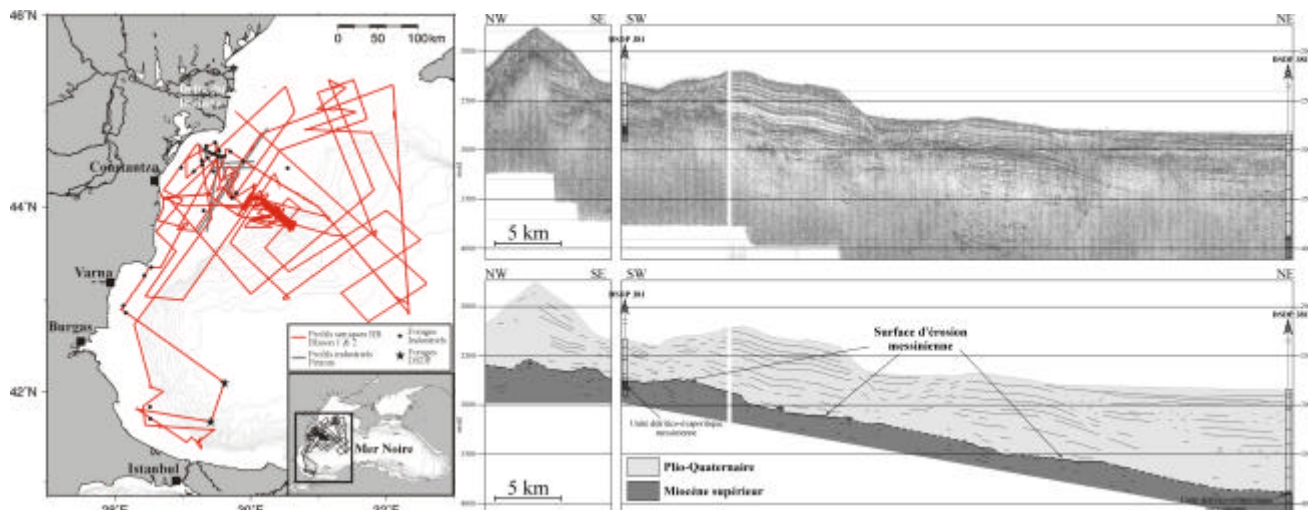
### 1.2.2.1. Problème scientifique

Les bouleversements tectoniques impliqués par la fermeture de l'océan Téthys aboutissent dès la fin de l'Eocène à l'individualisation, de part et d'autre de l'orogène alpin, de deux nouveaux domaines de sédimentation : la Paratéthys, au Nord, et la Méditerranée, au Sud. L'évolution oligo-miocène de la mer épicontinentale paratéthysienne, qui en réponse à la surrection des massifs alpins va progressivement se disloquer et se combler, est ponctuée par de nombreux épisodes de connexion/déconnexion avec sa voisine Méditerranée. A la fin du Miocène, juste avant la Crise de Salinité Messinienne, la Paratéthys se retrouve relativement isolée de l'océan mondial. Seule sa partie orientale, incluant alors la future mer Noire, communique avec le domaine méditerranéen, via le seuil nord-égéen (Meulenkamp et al., 2000; Rögl, 1999). Au regard de cette situation, il semblait essentiel de s'interroger sur l'impact (en termes de variation du niveau marin) qu'a pu avoir sur la Paratéthys orientale la Crise de Salinité Messinienne reconnue en Méditerranée (Hsü et al., 1973). En 1975, les forages du leg DSDP 42B (Ross and Neprochnov, 1978) ont révélé la présence, dans les sédiments du bassin de la mer Noire, d'une fine couche de brèches et de carbonates évaporitiques datées du Messinien. Cette unité lithologique caractérisant un milieu de dépôt peu profond a été interprétée comme la signature sédimentaire d'une chute majeure du niveau de la mer Noire en réponse à la Crise Messinienne méditerranéenne (Hsü and Giovanoli, 1979). Alors qu'il est avéré que cet événement a fait l'objet d'un double enregistrement (sédimentaire et érosif) en Méditerranée, l'enregistrement érosif de cet événement n'avait encore jamais été clairement mis en évidence au sein même du bassin de la mer Noire, laissant le débat sur sa 'dessiccation' ouvert.

### 1.2.2.2. Etat de la question

Une étude stratigraphique basée sur les données sismiques multitraces haute résolution des récentes missions Blason 1 et 2 de l'Ifremer est actuellement en cours d'achèvement (Thèse UBO-Ifremer d'Hervé Gillet). L'analyse de ces données, corrélées avec des forages d'explorations off-shore roumains et les forages DSDP, a d'ores et déjà permis d'identifier localement, sur les marges occidentales de la mer Noire, une surface d'érosion messinienne, validant ainsi dans ces grandes lignes l'hypothèse d'une chute drastique du niveau marin dans ce bassin au Messinien (Gillet et al., 2003; **Figure 4**). Parallèlement à ces travaux, des incisions messiniennes associées à des Gilberts deltas pliocènes ainsi que la présence d'un bassin périphérique partiellement resté en eau ont clairement été identifiés à terre (bassin dacien, Roumanie) (Clauzon et al., sous presse). Des incursions épisodiques répétées d'eaux marines de surface méditerranéenne ont été repérées depuis 14 Ma (moment de la séparation entre Méditerranée et Paratéthys) jusqu'à 3 Ma; elles sont particulièrement bien documentées en Paratéthys orientale [bassin Dacique (Roumanie méridionale) et Crimée] par des influx de nannoplancton méditerranéen (Marunteanu & Papaionopol, 1998). Les travaux de Clauzon *et al.* (sous presse) ont montré que ces brèves connexions entre Paratéthys orientale et Méditerranée s'effectuaient lors de phases eustatiques à haut niveau marin et pouvaient avoir un écho en Méditerranée (épisodes d'incursion d'organismes paratéthysiens en Méditerranée, notamment des dinokystes et/ou des congéries). La micropaléontologie (nannoplancton, kystes de dinoflagellés, diatomées) est assurément la discipline capable de restituer fidèlement ces échanges furtifs entre Paratéthys orientale et Méditerranée. En effet, les dinokystes du bassin Dacique et de mer Noire documentent très précisément les échanges entre ces deux mers épicontinentales: les dinoflores endémiques (eau saumâtre) sont soudainement remplacées par des dinoflores marines méditerranéennes (eau salée) dont la morphologie se modifie très vite par des adaptations au milieu saumâtre (Popescu, sous presse). L'analyse des kystes de dinoflagellés de mer

Noire (Site DSDP 380A ; Popescu, sous presse) et du nannoplancton de Crimée (M. Marunteanu, communication personnelle) a montré que l'entrée des eaux superficielles méditerranéennes ne s'était pas effectuée par le secteur du Bosphore mais, très probablement, via le Bassin Dacique (Roumanie méridionale). Dès lors, c'est à travers la plate-forme Méotienne (Bulgarie) qu'il faut envisager ces échanges à haut niveau marin entre la Méditerranée et la Paratéthis (Clauzon *et al.*, sous presse) comme le suggéraient quelques travaux antérieurs (Kojumdjieva, 1987; Marinescu, 1992). Aussi, de nouvelles investigations sont-elles indispensables pour augmenter les données afin d'apporter des réponses aux questions posées: comment et à quels moments précis les échanges à haut niveau marin entre Méditerranée et Paratéthis du Miocène terminal et du Pliocène basal se sont-ils opérés ? Dans quel contexte géographique régional ?



**Figure 4 : La surface d'érosion messinienne en mer Noire. Interprétation de la sismique haute résolution Blason 2 en pied de pente au large du Bosphore. Calage par les forages du leg DSDP 42 B (Sites 380 et 381).**

### 1.2.2.3. Méthodologie

Nous envisageons :

- des campagnes complémentaires d'acquisition aussi bien à terre qu'en mer, pour établir un scénario précis du déroulement de la Crise Messinienne dans la Paratéthis et de comprendre les interactions Méditerranéen/Paratéthis lors de cet événement.

Les travaux à envisager dans un premier temps concernent:

- La cartographie sismique de la surface d'érosion dans les zones où elle a déjà pu être reconnue (plateau roumano-ukrainien et marge bulgaro-turque).
- L'identification, la cartographie puis la quantification des produits détritiques issus de cette érosion.
- La prospection à terre des traces de surcreusements fluviaux messiniens dans les reliefs surplombant déjà le bassin au Messinien (Balkans côtiers, Pontides, Crimée, Caucase) ainsi que dans les zones où ils ont déjà pu être signalés (Péninsules de Kerch et Taman) (Chumakov, 2000). Outre les études fondamentales de terrain (repérage des sédiments néogènes, de leur environnement paléogéographique dans le contexte tectonique régional comme la surrection du massif du Rhodopes, échantillonnages micropaléontologiques), nous réaliserons une importante investigation micropaléontologique nouvelle (nannoplancton : M. Marunteanu ; dinokystes : S.-M. Popescu ; diatomées : S. Saint-Martin) des terrains du Néogène supérieur afin de comparer les microflores (coccolithes, dinoflagellés, diatomées) avec celles déjà connues des bassins Dacique et Euxinique (mer Noire) et, plus généralement, avec celles de la Paratéthis orientale. Nos investigations porteront en particulier sur les bassins de Cotsedelchev, Razloo et Sofia où quelques indices précurseurs existent (I. Zagorchev, communication personnelle).
- La prospection en mer (sismique réflexion) de la surface d'érosion messinienne sur les marges pour l'instant non étudiées (mer Noire orientale). Demande de mission INSU prévue Pour janvier 2004.

Ce travail consiste à élaborer les corrélations haute résolution à terre comme en mer et d'en tirer les géométries suivant des transitionnels terre mer. Cette approche permettra d'élaborer les géométries 1D, 2D, 3D pour les séries du mio-plio-quaternaire. La synthèse de toutes ses nouvelles informations permettra d'envisager dans un second temps le calcul des bilans érosion/sédimentation intégrant des travaux de back stripping des marges.

L'ensemble de ces objectifs pourrait d'une part s'appuyer sur les jeux de données dont nous disposons déjà en mer (sismique Blason 1 et 2, forages off-shore roumains, bulgares, turques et DSDP, quelques lignes industrielles de la société roumaine Petrom, **Figure 4**) ainsi que sur l'énorme quantité de données sismiques industrielles de plusieurs compagnies. qui semble en partie accessible. La cartographie de la surface d'érosion nécessitera l'acquisition de nouvelles données sismiques haute résolution et va faire l'objet d'une demande de mission en mer Noire pour 2005 (demande INSU sous le label Eclipse). Les travaux à terre impliqueront aussi la réalisation de missions sur les sites évoqués.

### 1.3. Caractérisation multi-échelles des cyclicités de la Crise de Salinité

Cette étude porte sur la mise en évidence des cyclicités à différentes échelles de temps et des variations spatiales de ces phénomènes liées aux perturbations diverses (eaux douces, zones d'apport et de drainages, climat à une échelle plus détaillée, effets de seuil, etc...)

#### 1.3.1. Problématique scientifique

Les cyclicités qui s'observent dans les dépôts messiniens traduisent la réponse du système hydrologique méditerranéen aux variations des échanges Atlantique-Méditerranée et aux changements du bilan hydrique régional. La cause tectonique de l'isolement du bassin étant un fait acquis, le déroulement complexe de la crise sous forme de variations cycliques fait nécessairement appel à l'interaction de divers facteurs. Le contrôle tectonique se marque par des pulsations dans la progression de la restriction des zones de communication jusqu'au début des conditions évaporitiques à partir duquel leur enregistrement sédimentaire devient moins apparent. Les variations cycliques, observées en sismique dans les évaporites supérieures, et éventuellement dans les évaporites inférieures, ainsi qu'à terre dans la totalité de la succession évaporitique et dans les dépôts du Complexe carbonaté terminal, répondent quant à elles à des modifications périodiques du bilan hydrique régional. Elles correspondent à des variations du volume des entrées d'eau marine au niveau des zones de transfert avec l'Atlantique et des seuils qui séparent les sous-bassins d'une part, et à des fluctuations du bilan évaporation/apports d'eau douce d'autre part. Elles mettent donc en jeu l'interaction de facteurs eustatiques et climatiques. Ce sont ces fluctuations qui gèrent directement les variations verticales du niveau du plan d'eau méditerranéen, les phases de remplissage/dessiccation, mais aussi les variations d'activité des systèmes hydrographiques et qui conditionnent donc l'importance des processus d'érosion sur les marges. Leur étude est donc indispensable à la quantification des bilans érosion/sédimentation.

Un autre volet de l'étude est le Zancéen (remise en eau) abordé par l'équipe de Montpellier (L. Briquieu) : à l'issue de la crise de salinité, et faisant suite à la courte période du "Lago-Mare" (Rouchy et al., 2001), l'ennoyage des deux compartiments de la Méditerranée fut un événement majeur (Blanc, 2002) qui a entraîné une reprise quasi instantanée de la sédimentation marine de type pélagique dans les grands fonds. La campagne 160 du programme ODP a permis de l'échantillonner en continu en plusieurs points du bassin levantin, de la mer ionienne (site 964) au mont Erasthostène (site 967) en passant par la ride ensédimentée (site 969). A bord du Joides Resolution, les carottes ont été systématiquement digitalisées à l'aide d'un spectrophotomètre de type Minolta CM-2002, délivrant des traces couleur dans le référentiel absolu L\*, a\*, b\* ainsi que 30 enregistrements des composantes couleurs entre 400 et 700 nm. Le pas d'échantillonnage sur les carottes est de 2cm. Pour chacun des trois sites évoqués ci-dessus, nous avons assemblé des logs composites continus (Sakamoto et al., 1997) pour ces différents signaux photométriques.

#### 1.3.2. Etat de la question

Le problème des cyclicités, notamment celles qui sont contraintes par les variations des paramètres astronomiques à haute fréquence, a été particulièrement bien documenté pour la période allant du Tortonien au début de la crise de salinité, ainsi que pour le Pliocène (Hilgen and Krijgsman, 1995; Sprovieri et al., 1999). Sur la base de ces données, les différentes étapes de la restriction et les changements hydrologiques qui en découlent pendant le dépôt de la séquence préévaporitique couvrant le dépôt du tripoli et des sédiments de transition comme le calcaire de base de Sicile, ont été caractérisés du point de vue hydrologique et replacés dans un cadre chronologique précis (Suc et al., 1995; Seidenkranz et al., 2000; Bellanca et al., 2000; Blanc-Valleron et al., 2002). Si cette période, dite de l'installation de la crise et qui a été l'un des objectifs principaux du précédent contrat Eclipse sur le Messinien, est aujourd'hui relativement bien connue, il n'en est pas de même des variations cycliques qui ont affecté la Méditerranée pendant la crise évaporitique elle-même qui demeure encore très incertaine. Or ce sont celles-ci qui intéressent plus particulièrement les objectifs de ce projet orienté plus particulièrement vers l'enregistrement de la crise de salinité dans les parties profondes du bassin. Leur interprétation a été approchée en partant de l'hypothèse que les cyclicités pendant la crise ne pouvaient qu'obéir au même motif que celles observées pendant les périodes qui encadrent la crise, impliquant *ipso facto* qu'elles étaient contrôlées par des fluctuations climatiques forcées par la précession astronomique. Ceci aboutit à une vision réductrice qui ne peut expliquer les changements de grande amplitude.

#### 1.3.3. Méthodologie

L'étude des cyclicités proposée ici est indissociable de celles des surfaces d'érosion et sera abordée par une approche couplée de l'enregistrement en mer et à terre. Dans les enregistrements sismiques des séries évaporitiques profondes, la cyclicité des dépôts est plus particulièrement marquée, dans les évaporites inférieures –sous réserve de leur nature intégralement évaporitique- et supérieures, par des successions rythmées par des réflecteurs bien marqués. La signification de ces réflecteurs pourra être approchée à partir des données tirées de l'étude des séries des bassins émergés d'une part, et des sondages DSDP/ODP qui ont traversé une partie au moins des évaporites supérieures d'autre part. La série du bassin central sicilien, la plus comparable en termes de successions sédimentaires à celle des bassins profonds fournira un enregistrement continu des variations cycliques pendant la crise de salinité. Des données abondantes existent déjà qui devront être valorisées par de nouvelles analyses sédimentologiques, microfaunistiques et isotopiques à haute résolution sur les différents types de cycles. Au niveau du Complexe carbonaté terminal, les plates-formes carbonatées offrent également l'opportunité d'étudier l'enregistrement cyclique de la sédimentation qui pourra être mené en commun avec l'étude des surfaces d'érosion, dans les régions de Melilla au Maroc et de Nijar-Sorbas-Vera en Espagne.

Concernant le Zancéen, nous nous appuyerons sur les données des forages 967 et 969 (ODP160) qui montrent qu'au centre du bassin, sur la ride méditerranéenne, la porteuse basse fréquence des deux limites stratigraphiques (entre le Messinien et le

Zancléen et entre le Zancléen et le Plaisancien) peut être directement comparée à l'enveloppe des oscillations du signal d'insolation (excentricité) (Laskar et al., 1993). La présence de niveaux de sapropèle dès l'interface Messinien-Zancléen, leur corrélation avec les maxima d'insolation (cycle de la précession des équinoxes) permet d'établir une cyclostratigraphie précise de la sédimentation dans cette partie du bassin dès sa remise en eau marine. Le modèle d'âge ainsi obtenu est compatible avec ceux issus des études biostratigraphiques (Spezzaferri and Spiegler, 1998, Castradori, 1998, Di Stephano, 1998). L'objectif est de tester la cohérence de ces observations qui montreraient qu'en dépit du régime de convergence et d'accrétion, la série sédimentaire est préservée depuis le pliocène inférieur. Par contre, la sédimentation marine zancléenne est enregistrée différemment sur les flancs du mont Erathostène (site 967). Si le Plaisancien peut être directement corrélé entre les deux sites il n'en est pas de même pour le Zancléen qui, en particulier, ne comporte pas là de niveau de sapropèle permettant une cyclostratigraphie aussi précise que celle possible dans le site 969, à moins que la sédimentation ne reprenne plus tardivement. Dans ce cas, le hiatus serait de l'ordre de 1,3Ma.

## 1.4. Impact de la Crise de Salinité dans l'environnement océanique

### 1.4.1. Problématique scientifique :

L'objectif est d'étudier les enregistrements climatiques de cette crise en domaine océanique extra-méditerranéen par l'étude de sites ODP principalement localisés en Atlantique équatorial. Le site ODP 659 (18°05'N, 21°02'W, 3070 m de bathymétrie) du Leg 108 localisé au large de l'Afrique du Nord constituera le support principal de cette étude pour ces taux d'accumulation relativement importants (3 à 5 cm/ka) induits par de forts apports éoliens provenant des domaines Sahélien et Saharien et une forte productivité carbonatée de surface (Tiedemann et al., 1994).

### 1.4.2. Etat de la question :

Des travaux récents ont mis en évidence que la crise de salinité du Messinien était synchrone sur l'ensemble de la Méditerranée et ont permis d'en établir une chronologie précise (5,96 et 5,33 Ma) (**Gautier et al., 1994 ; Clauzon et al., 1996 ; Krijgsman et al., 2002**) autorisant enfin des corrélations avec les changements climatiques globaux tels qu'ils sont enregistrés dans les domaines océaniques. Nous proposons d'examiner les relations existant : (1) entre la circulation océanique mondiale et cette crise, qui a conduit à l'assèchement de la Méditerranée et au dépôt d'épaisses séries évaporitiques, (2) le climat global et cet événement notamment à travers ses conséquences sur les milieux tropicaux suggérées par les modélisations déjà effectuées (F. Fluteau, résultats obtenus dans ECLIPSE 1).

### 1.4.3. Méthodologie :

Une étude intégrant les informations des fractions biogéniques (micro-paléontologie,  $\delta^{18}\text{O}$  et  $\delta^{13}\text{C}$ ) et terrigènes (granulométrie, palynologie et cortèges argileux) sera réalisée à très haute résolution (pas temporel de l'ordre de 2-4 ka) sur la période de temps mio-pliocène afin :

1) de réaliser une échelle d'âge orbitale de référence pour la communauté scientifique paléo-océanographique travaillant sur la période de temps comprise entre 7 et 5 Ma. Pour le site ODP 659, une courbe de  $\delta^{18}\text{O}$  a déjà été réalisée pour les 5 derniers Ma faisant office de courbe de référence pour la construction d'échelle d'âge (Tiedemann et al., 1994). Cette courbe a été mise en âge par calage orbital des flux terrigènes éoliens provenant du continent africain dont la variabilité est très nettement forcée par la précession des équinoxes (19 et 23 ka). Nous utiliserons la même démarche pour réaliser une échelle d'âge de référence de la période de temps comprise entre 5 et 7 Ma.

2) de déterminer, à partir de l'utilisation des isotopes stables ( $\delta^{18}\text{O}$  et  $\delta^{13}\text{C}$ ) sur des foraminifères benthiques, la variabilité des conditions hydrologiques des eaux profondes ainsi que les changements climatiques en domaine Atlantique pour la période mio-pliocène. Une compilation de données isotopiques issue de sites ODP localisés aux Nord et au Sud de l'Atlantique (Hodell et al., 2001 ; Vidal et al., 2002) permettra une reconstruction, à plus large échelle, des modèles de circulation océanique en utilisant des gradients de  $\delta^{13}\text{C}$  entre les hautes et basses latitudes. Nous chercherons, d'une part à établir les proportions relatives des principales masses d'eau et donc leur provenance, et d'autre part, à tester et évaluer si le modèle de circulation observé actuellement est applicable à la période mio-pliocène. Nous chercherons, entre autres, à déterminer l'éventuel impact sur la crise de l'émergence de l'isthme de Panama récemment établi à partir de 6,6 et 6 Ma (Billups et al., 2002). Une étude complémentaire à plus basse résolution sur des sites ODP et DSDP situés au large des Bahamas et à proximité du détroit de Gibraltar est fortement envisagée dans le but : (a) de tracer la sortie des masses d'eau Méditerranéenne en Atlantique équatorial ; (b) de déterminer les effets potentiels de seuil du détroit de Gibraltar durant la crise de salinité et (c) d'estimer le rôle des variations glacio-eustatiques sur les processus initiateurs de la crise.

3) de reconstruire les changements climatiques locaux affectant le continent Nord Africain à l'échelle des cyclicités de Milankovitch afin de déterminer les conditions d'aridification du continent Nord africain qui sont étroitement contrôlées par les mouvements du front intertropical. Ce dernier volet sera réalisé sur la base d'une étude sédimentologique (granulométrie laser), minéralogique (cortèges argileux, MEB) géochimique (éléments traces) et pollinique des sédiments du site ODP 659. Ce site est situé dans la zone de balancement actuelle du front intertropical et est particulièrement sensible à la migration latitudinale de ce dernier sous l'influence des changements climatiques globaux. Cet axe de recherche fait l'objet de la thèse de Farid Segueni (débuté en octobre 2003 au labo. Orsayterre sous la direction de G. Siani et C. Colin). Son sujet est : "Reconstruction des conditions paléo-environnementales du Mio-Pliocène à partir d'enregistrements sédimentaires : impacts de la crise de salinité messinienne en domaine extra-méditerranéen".

## 2. Plan de Recherche et calendrier

### 2.1. Investigations analytiques à terre et en mer-terrain, acquisition, et traitement des données géophysiques marines

#### 1<sup>ère</sup> année

**Mission Sicile** : surfaces d'érosion, cyclicités : Inventaire et dépouillement des données déjà acquises, interprétation. Une mission de terrain en Sicile pour vérifications (7 jours, 3 personnes).

#### **Analyses et campagnes de terrains autour du détroit sud rifain :**

Datations Argon-Argon des niveaux volcaniques des coupes du bassin du Chelif (Algérie).

Mission de terrain dans la région de Boudinar (Maroc) → [Diatomites, nannoplancton, benthos, niveaux volcaniques et surface d'érosion].

Début de l'étude des bio-marqueurs paléo-océanographiques.

#### **Golfe du Lion-Valence-Alboran :**

#### **Traitement des nouvelles données de sismiques, Campagnes Mauresc et Campagne Tecalb (Alboran)**

*La campagne MAURESC (Provence) fait l'objet d'une demande au GDR Marges et n'est donc pas considérée ici.*

L'analyse à terre porte sur près de 3000 forages destructifs et carottés. Certains sont diagraphiés (près de 250). L'analyse en mer porte sur 11 forages pétroliers diagraphiés et 9 profils sismiques majeurs de la plate forme offshore. Le calcul des volumes des prismes de bordures de plateforme et /ou cône détritiques clairement identifiés en pied de marge comme syn dépôts évaporitiques sont en cours de finition (travail effectué par Johanna Lofi pour la partie Ouest de la marge).

Le Pointé en 3D de toutes les surfaces en liaison avec la discontinuité messinienne dans le golfe du Lion (étude Miocène réalisée par François Bache dans le cadre d'un DESR à Lille en collaboration avec TOTAL.

Calcul des volumes d'évaporites à partir des isopaques sur le Bassin Provençal la mer d'Algérie et Levant (Dans le cadre de la thèse de F. Bache et G. Marro).

Tracé des canyons messiniens depuis Gibraltar jusqu'au bassin salifère algérien, et jonction entre les bassins terrestres aussi bien du côté espagnol (Almeria, Sorbas, Vera, San Miguel de Salinas) que Marocain (Mellila). Cartographie et volumes des produits de l'érosion que l'on soupçonne déjà sous les évaporites aux confins du bassin est Alboran à la limite du bassin salifère algérien à partir de données de sismiques existantes (figure 2, Plans de positions sur les zones).

#### 2<sup>ème</sup> année

- Mission Melilla (Afrique)

- Mission Espagne - Bétiques (Lorca)

- Back stripping du Plio-quatenaire et restitution de la géométrie des marges au Messinien dans le Golfe du Lion (D. Graindorge, Lamont) : synthèse sous la responsabilité de M. Rabineau et J-L. Olivet (Brest), et Gorini (Lille).

- Mission de terrain dans la partie occidentale du sillon sud-rifain (Maroc) :

- Etude des bio-marqueurs paléocéanographiques.

- Datations Argon-Argon des niveaux volcaniques des coupes marocaines.

- Mise en route et réalisation d'une publication sur la Sicile.

- Réunion de travail à Marseille des chercheurs sur le thème 1.2.1 en début d'année : Synthèse des contraintes géométriques sur les corps détritiques, le sel, les Evaporites supérieures et leurs transitions aux marges.

- Atelier de travail de toutes les équipes travaillant en mer, lieu géographique à préciser.

- Réunion Eclipse 2 mi-parcours de tous les chercheurs, à Paris, sur deux jours.

- Mission océanographique complémentaire en mer Noire.

### 3<sup>ème</sup> année

Exploitation des données mer noire : Traitement, interprétation, intégration aux données précédentes, synthèse avec les travaux effectués en Méditerranée.

Mission Espagne (Sorbas-Nijar-Vera)

#### - Bilan des opérations Terre-Mer – Confrontation des résultats.

## 2.2. Travaux de quantification et de modélisation (incluant les investigations, à terre comme en mer, Bilans érosion sédimentation).

### 1<sup>ère</sup> année (2004)

- Début de la modélisation numérique à partir des données issues de Eclipse I (bassin de Melilla, Maroc).

- Démarrage des calculs de volume (à partir de la stratigraphie sismique) en liaison avec thème 1.

Les objectifs de cette modélisation stratigraphique directe sont de tester les scénarios plausibles, d'estimer les niveaux d'incertitudes et d'assurer la cohérence interne des modèles géologiques proposés. La méthodologie peut être résumée de la manière suivante : (1) Interprétation sismo-stratigraphique sur station de travail (logiciel Kindom Suite ou Charisma), en intégrant les données de terrain et de puits. Cette étape de l'interprétation doit permettre de distinguer les surfaces génétiques majeures, les discontinuités stratigraphiques et les séquences sismo-stratigraphiques ; (2) Conversion temps-profondeur des horizons dans le cas où la sismique n'est pas migrée ; (3) Typologie des faciès sismiques au sein des séquences sismo-stratigraphiques et interprétation en sédimentologie calibrée par les puits disponibles et les études d'affleurements ; (4) Intégration des données numériques 3D, 2D et 1D dans le logiciel gOcad : surfaces, corps stratigraphiques, failles, attributs sismiques, faciès. Cette étape résultera dans la réalisation numérique 3D, statique, des objets géologiques interprétés et de leur propriétés associées (faciès, lithologie, impédance acoustique, ...). Selon la qualité de la sismique et les relations entre faciès et impédance acoustique, une inversion pourra être envisagée ainsi que des analyses d'attributs sismiques en utilisant les filtres disponibles dans gOcad ; (5) Manipulation géostatistique spatiale dans des données numériques et reconstruction palinspastique (gOcad) permettant éventuellement la réalisation de bilans volumétriques de transfert de solide.

### 2<sup>ème</sup> année

- Modélisation numérique 3D et stratigraphie sismique (suite) : Intégration des données Alboran-Marge algérienne - Marge Baléare. Modélisation numérique des séquences de dépôt sur les nouvelles données de terrain et à partir des données existantes sur les bassins à terre et en mer, ceci afin de tester l'influence des facteurs de contrôle, reconstituer les géométries de surface érosive sur toute les plate-formes étudiées et estimer les hiatus et volumes érodés. Intégration des données numériques 3D, 2D et 1D dans les logiciels gOcad : surfaces, corps stratigraphiques, failles, attributs sismiques, faciès.

### 3<sup>ème</sup> année

- Modélisation numérique et de stratigraphie sismique : **L'ajustement des modèles aux bilans de masse des évaporites** définis par les différents ateliers de ce projet ne pourrait évidemment intervenir que dans la dernière année du programme, lorsque les données obtenues par les ateliers de quantification des bilans de masse sédimentaires seront disponibles sous une forme à peu près définitive.

Côté espagnol, Les bassins marginaux tortono-messiniens d'Espagne et plus particulièrement ceux de Lorca et Sorbas (et autres) ont été choisis car ils représentent d'excellents chantiers afin de **quantifier la production carbonatée en réponse aux facteurs de contrôle climatique, tectonique, eustatique** et d'établir un bilan érosion/sédimentation. Au cours de cet intervalle, les changements majeurs de la production carbonatée sont particulièrement bien enregistrés en domaine de plate-forme. Dans cette étude, la quantification s'appuiera sur la caractérisation des producteurs primaires, secondaires, des importations et exportations d'éléments constitutifs des assemblages floro-fauniques, des faciès carbonatés et de la diagenèse. L'installation du "Terminal Complex" au Messinien, qui voit le développement de nouvelles communautés récifales microbiennes, fait suite à une importante érosion des plates-formes et correspond à un remplacement de communauté fossile. La succession des communautés semble reproductible à l'échelle de la Méditerranée et deux associations floro-fauniques (à coraux et à microbialites) dominantes se succèdent au Tortonien/Messinien. Toutefois, l'absence de ce remplacement dans certains bassins semble répondre à des contrôles tectoniques locaux liés à leur fermeture précoce avec la Méditerranée. Dans ce projet, il s'agit de quantifier le flux de carbonate attribué aux variations d'abondance et de diversification des producteurs carbonatés et de mieux caractériser les remplacements de communautés en liaison avec les surfaces d'érosion.

## Références bibliographiques des demandeurs (trois dernières années)

- André J.-P., Cornée J.-J., Saint Martin J.-P. et Lapointe P., 2002. Organisation séquentielle de la plate-forme carbonatée messinienne du seuil pélagien à Lampedusa (Méditerranée centrale). *Geodiversitas*, 24, 3: 625-639.
- Aunay B. & Le Strat P. avec la collaboration de Aguilar J-P., Camus H., Clauzon G., Dörfliger N., 2002 – Introduction à la géologie du karst des Corbières. Rap. BRGM/RP-51595-FR, 80 p.
- Aunay B., 2000 - Géologie du karst nord nîmois ; méthode d'étude, calibrage, interprétation. Rapport interne inédit BRGM / EAU / RMD, Montpellier. 54 p.
- Aunay B., Le Strat P., Duvail C., Dörfliger N. & Ladouche B., 2003 – Méthode d'analyse géologique sur la karstification de Corbières Orientales et influence des événements néogènes (Tortonno-messiniens). IAHS publ. n°278, pp. 124-129.
- Aunay, B. & Le Strat, P., 2003 – Introduction to the geology of the Corbières karst (France). In *Climate changes : the karst record III*, 3rd international conference, Montpellier, France, 11th to 14th May 2003. Ed. by Bakalowicz M., Causse C., Genty D., 2003.
- Bache, F. Gorini, C. Olivet, J.L. Rabineau, M. Duvail, C. Le Strat, P. Lofi, J. Mauffret, A. - 2003 - Le Miocène du Golfe du Lion: Description des unités sismiques et évolution de la marge. 9ème congrès français de sédimentologie, 14-16 octobre 2003 – Livre des résumés, ASF publ. n°38 – Bordeaux. pp.18-19.
- Bellanca A., Caruso A., Ferruzza G., Neri R., Rouchy J.M., Sprovieri M. and Blanc-Valleron M.-M., 2001. Sedimentary record of the transition from marine to hypersaline conditions in the Messinian Tripoli Formation in the marginal areas of the Sicilian Basin. *Sedimentary Geology*, 139, 3-4: 87-106.
- Blanc P.-L. 2000 b. Of sills and straits: a quantitative assessment of the Messinian Salinity Crisis. *Deep Sea Research Part I*, 47-8, 1429-1460.
- Blanc P.-L. 2002. The opening of the Plio-Quaternary Gibraltar Strait : assessing the size of a Cataclysm. *Geodinamica Acta* 15, 303-317.
- Blanc P.-L. 2003. Improved Oceanographic Modelling of the Messinian Salinity Crisis & conceptual implications. *Palæogeogr., Palæoclim. & Palæoecology*, [ESF/ eeden special issue. ms. 29 p. accepté].
- Blanc, P.L., 2002. The opening of the Plio-Quaternary Gibraltar Strait: assessing the size of a cataclysm. *Geodyn. Acta*, 15: 303-317.
- Blanc-Valleron M.-M., Pierre C., Caulet J.-P., Caruso A., Rouchy J.-M., Gespuglio G., Sprovieri R., Pestrea S. and Di Stefano E., 2002. Sedimentary, stable isotope and micropaleontological records of paleoceanographic change in the Messinian Tripoli Formation (Sicily, Italy). *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*, 185: 255-286.
- Bonnet, S., Besnard, M. and Van den Driessche, J., 2001, Drainage network expansion of the Salagou drainage basin (S. France): an example of relief response to recent climate change?: *Terra Nova*, 13, p. 214-219.
- Bonnet, S. and Crave, A., 2003, Landscape response to climate change: Insights from experimental modelling and implications for tectonic versus climatic uplift of topography: *Geology*, v.31, n°2, p. 123-126.
- Borgomano J.R.F & J. Peters, 2003, Outcrop and seismic expressions of coral reefs, carbonate platforms and adjacent deposits in the Tertiary of the Salalah Basin, South Oman, in press in AAPG special publication "Carbonate seismic atlas" G. Eberli, E. Sarg & J. Massaferrero (eds).
- Borgomano J.R.F & J. Peters, in press, Outcrop and seismic expressions of coral reefs, carbonate platforms and adjacent deposits in the Tertiary of the Salalah Basin, South Oman, in press in AAPG special publication "Carbonate seismic atlas" G. Eberli, E. Sarg & J. Massaferrero (eds).
- Borgomano J.R.F, J.P. Masse & S. Al Maskiry, 2002, The lower Aptian Shuaiba carbonate outcrops in Jebel Akhdar, norther Oman: impact on static modeling of Shuaiba petroleum reservoirs. *AAPG Bull.*, v. 86, no. 9, p. 1513-1529.
- Borgomano J.R.F., 2000, The Upper Cretaceous carbonates of the Gargano-Murgia region (southern Italy): a model of platform-to-basin transition. *AAPG Bull.*, v. 84, no. 10, p. 1561-1588.
- Boyer J., Duvail C., Le Strat P., 2003 - Le delta du Rhône : géodynamique postglaciaire. Rapport BRGM/RP-52179-FR, 99p.
- Boyer J., Duvail C., Le Strat P., Barrier P. , 2003– Le delta du Rhône : géodynamique postglaciaire. 9ème congrès français de sédimentologie, 14-16/10/2003 – Livre des résumés, ASF publ. n°38 – Bordeaux. pp. 83-84.
- Boyer, J., Duvail, C. & Le Strat, P., 2003– Genetic stratigraphy and sequence stratigraphy in the Holocene systems tracts since the last glacial maximum, in the onshore Rhône deltaic fans (France). In *Climate changes : the karst record III*, 3rd international conference, Montpellier, France, 11th to 14th May 2003. Ed. by Bakalowicz M., Causse C., Genty D., 2003.
- Calais E., Vergnolle M., and Déverchère J., Are post-seismic effects of the M=8.4 Bolnay earthquake (July 12, 1905) still influencing GPS velocities in the Mongolia-Baikal area?, *Geophys. J. Int.*, 149, 157-168, 2002.
- Calais E., Galisson L., Stéphan J.F., Delteil J., Déverchère J., Larroque C., Mercier de Lépinay B., and Sosson M., Crustal strain in the Southern Alps, France, 1948-1998, *Tectonophysics*, 319(1), 1-17, 2000.
- Chemenda, A., Déverchère J., and Calais E., Three-dimensional laboratory modelling of rifting : Application to the Baikal rift, Russia, *Tectonophysics*, 356, 253-273, 2002.
- Campillo, A.C., Maldonado, A. and Mauffret, A., 1992. Stratigraphic and tectonic evolution of the western Alboran sea: late Miocene to Present. In: A. Maldonado (Editor), *The Alboran Sea*. *Geomarine Letters*, special issue, pp. 165-172.
- Castelltort, S. and Van den Driessche, J., 2003, How plausible are high-frequency sediment supply-driven cycles in the stratigraphic record?: *Sedimentary Geology*, 157, p. 3-13.

- Chumakov, I.S., 2000. The problem of the Miocene-Pliocene boundary in the Euxinian region. *Stratigraphy and Geological Correlation*, 8(4): 396-404.
- Clauzon, G. et al., Accepted. Influence of the Mediterranean Sea Eustasy over the Dacic Basin (Central Paratethys) in the Late Neogene. *Basin Research*.
- Clauzon, G., 1975. The eustatic hypothesis of the Pre-Pliocene cutting of the Rhône Valley. In: W.B.F. Ryan, K.J. Hsü et al., *Init. Repts. DSDP*, 13, Washington (U.S. Govt. Printing Office), pp.1251-1256.
- Clauzon, G., 1978, The Messinian Var canyon (Provence, Southern France). *Paleogeographic implications: Mar. Geol.*, v. 27, p. 231-246.
- Clauzon, G., 1982, Le canyon messinien du Rhône : une preuve décisive du "dessicated deep basin model" (Hsü, Cita et Ryan, 1973): *Bull. Soc. Geol. France*, v. 24, p. 231-246.
- Clauzon, G., Suc, J.P., Gautier, F., Berger, F. and Loutre, M.F., 1996. Alternate interpretation of the Messinian salinity crisis: cotroversy resolved? *Geology*, 24: 363-366.
- Clauzon G., Suc J.-P., Popescu S.-M., Marunteanu M., Rubino J.-L., Marinescu F. et Jipa D., accepté. Influence of the Mediterranean Sea sea-level changes over the Dacic Basin (Eastern Paratethys) in the Late Neogene. *Basin Research* (sous presse).
- Comas, M.C., Garcia-Duenas, V. and Jurado, M.J., 1992. Neogene tectonic evolution of the Alboran Sea from MCS data. *Geo-Marine Lett.*, 12: 157-164.
- Comas, M.C., Platt, J.P., Soto, J.L. and Watts, A.B., 1999. The origin and tectonic history of the Alboran basin: insights from Leg 161 results. In: R. Zahn, M.C. Comas and A. Klaus (Editors), *Proceeding of the Ocean Drilling Results, Sientific results*, pp. 555-580.
- Conesa, G., Favre, E., Münch, P., Dalmaso, H. & Chaix, C., accepté sous réserves de modifications. Facies, architectural and paleoenvironmental evolution of the southern Marion Platforms from middle to late Miocene age (NE Australia, ODP leg 194, Sites 1196 and 1199).
- Cornée JJ, Saint Martin JP, Conesa G., Münch P., André JP., Saint Martin S. et Roger S. A proposal to correlate the late Tortonian-Messinian carbonate platforms of the western and central Mediterranean. *Int. J. Earth Sci.*, accepté sous réserves de modifications.
- Cornée, J.J., Roger, S.S., Münch, P., Saint-Martin, J.P., Féraud, G., Conesa, G. & Pestrea-Saint-Martin, S., 2002. Messinian events : new constraints from sedimentological investigations and new 40Ar/39Ar ages in the Melilla-Nador Basin (Morocco). *Sedimentary Geology*, 151 : 127 - 147.
- Cornée, J.-J., Villeneuve, M. Ferrandini, M. Hirschberger, F., Malod, J.A., Matsumara K., Ribaud-Laurenti, A. & Rehault, JP, 2002. Oligocene reefal deposits in the Pisang Ridge and the origin of the Lucipara Block (Banda Sea, eastern Indonesia)", *Geo-Marine Letter*, 22, p 66-74.
- Cortis A., W. Asyee, J.R.F Borgomano et al., 2001, Comparative seismo-statigraphic studies of two Cretaceous platform sequences: influence of local tectonics and sea level fluctuations on development of reservoir architecture, *SPE 68145*, p. 1-10.
- Crave, A., and Davy, P., 2001, A stochastic "precipiton" model for simulating erosion/sedimentation dynamics: *Computers & Geosciences*, v. 27, p. 815-827.
- Davy, P., and Crave, A., 2000, Upscaling Local-Scale Transport Processes in Large-Scale Relief Dynamics: *Physics and Chemistry of the Earth (A)*, v. 25, p. 533-541.
- Deverchère J., and the MARADJA Cruise Party, 2003, Active Deformation Along the Algerian Margin (MARADJA Cruise): Framework of the May 21, 2003, Mw-6.8 Boumerdes Earthquake, AGU 2003 Fall Meeting, 8-12 December 2003, San Francisco, USA.
- Déverchère J., Petit C., Gileva N., Radziminovitch N., Melnikova V., and San'kov V., Depth distribution of earthquakes in the Baikal rift system and its implications for the rheology of the lithosphere, *Geophys. J. Int.*, 146, 714-730, 2001.
- Duggen, S., Hoernie, K., Van Bogaar, P., Rüpke, L. and Moran, J.P., 2003. Deep roots of the Messinian salinity crisis. *Nature*, 422: 602-605.
- Duvail C. & Le Strat P., 2000a - Évolution géodynamique du bassin du Roussillon : Analyse des profils sismiques calibrés par les sondages profonds de ELNE 1 et de CANET 1. Rapport GEO-TER : GTR/BRGM/1200-137
- Duvail C., Le Strat P. & Bourguine B. (2001a) - Atlas géologique des formations plio-quaternaires de la plaine de Roussillon (Pyrénées-Orientales). Rapport BRGM : BRGM/RP-51197-FR
- Duvail C. & Le Strat P. avec la collaboration de Gorini C., Lofi J. & G. Clauzon , 2002 - Architecture et géométrie haute résolution des prismes sédimentaires plio-quaternaires au droit du Roussillon suivant un profil terre-mer. Rapport Brgm / RP-51972-FR, 71 p.
- Duvail C., Gorini C., Lofi J, Le Strat P., Berné S., Clauzon G. & Dos Reis T. – (accepted) - Pliocene-quaternary correlations between onshore and offshore domains at the Roussillon Basin level (Eastern Pyrenees, France). *Marine and Petroleum Geology*.
- Duvail C., Le Strat P. & Bourguine B., 2001a - Atlas géologique des formations plio-quaternaires de la plaine de Roussillon (Pyrénées-Orientales). Rapport BRGM : BRGM/RP - 51197 - FR
- Duvail C., Le Strat P. et al. (à paraître) - Cartographie à 1/100 000 des terrains sédimentaires du bassin du Roussillon.
- Duvail C., Le Strat P., Bache F., Gorini C., Olivet J.L., Rabineau M., Lofi J., Mauffret A., Berné S. , 2003 – Stratigraphie génétique des géométries sismiques du Golfe du Lion selon des transects terre-mer. 9ème Congrès des Sédimentologues Français – 14-16 octobre 2003 – Livre des résumés, ASF publ. n°38 -Bordeaux. p.183.
- Duvail C., Le Strat P., Clauzon G., Bourguine B. & Vairon J., 2001b - Cartographie et modélisation 3D du remplissage cénozoïque du bassin du Roussillon. 8ème Congrès français de Sédimentologie - Livre des résumés, 2001, Publ. ASF, Paris, n°36, p. 375



- Duvail, C, Le Strat, P. & Clauzon, G., 1999 - Géométrie et corrélation des formations quaternaires de la vallée du Tech. Implications pour la cartographie géologique des cartes à 1/50 000 d'Argelès-sur-Mer et de Céret. Rapport interne BRGM, inédit, Montpellier. 99 p.
- El Hatimi, I., M. Achab et B. El Moumni (2002). Impact des émissaires et canalisation sur l'environnement de la baie de Tanger : approche pluridisciplinaire. Bull. Inst. Sci., sect. Sci. Terre, n°24., 49-58pp.
- Fuchey Y. & Le Strat P., 2001 - Modélisation géologique des dépôts plio-quaternaires de la basse vallée de l'Hérault. Rapport BRGM : BRGM/RP-50770-FR
- Fuchey Y., Le Strat P., Ambert P., Bourguine B. & Vairon J. (2001) - Synthèse cartographique et modélisation 3D du remplissage cénozoïque du Bassin de l'Hérault et de l'Orb. 8ème Congrès Français de Sédimentologie - Livre des résumés, 2001, Publ. ASF, Paris, n°36, p. 375
- Garcia, F., Conesa, G., Münch, P., Cornée, J.-J., Saint-Martin, J.P. & André, J.P., sous presse n°02/52. Evolution des environnements littoraux du bassin de Melilla-Nador (Nord-Est Maroc) au Messinien supérieur entre -6,0 et 5,77 Ma. Géobios.
- Gillet, H., Lericolais, G., Rehault, J.P. and Dinu, C., 2003. La stratigraphie oligo-miocène et la surface d'érosion messinienne en mer Noire, stratigraphie sismique haute résolution. The Oligo-Miocene stratigraphy and the Messinian erosional surface in Black Sea, high-resolution seismic stratigraphy. C.R. Acad. Sci., 335(12): 907-916.
- Gorini C., Duvail C., Lofi J., Dos Reis T., Guennoc P., Berné S., Le Strat P., Mauffret A., The Late Messinian (5.6- 5.32 Ma) salinity crisis and Late Miocene tectonism : interaction and consequences on the physiography and post-rift evolution of the Gulf of Lions margin, accepted in Marine and Petroleum Geology (2003).
- Goubert E., Néraudeau D., Rouchy J.-M. et Lacour D., 2001. Foraminiferal record of environmental changes: Messinian of the Los Yesos area (Sorbas basin, SE Spain). Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology, 175: 61-78.
- Hodell, D.A., Curtis, J.H., Sierro, F.J., and Raymo, M.E., 2001, Correlation of late Miocene to early Pliocene sequences between the Mediterranean and North Atlantic: Paleoceanography, v. 16, p. 164-178.
- Krijgsman W., Blanc-Valleron M.M., Flecker R., Hilgen F.J., Kouwenhoven T.J., Merle D., Orszag-Sperber F. and Rouchy J.M., 2001. The onset of the Messinian salinity crisis in the eastern Mediterranean (Pissouri basin, Cyprus). Earth. Planetary and Science Letters, 194: 299-310.
- Lacour D., Lauriat-Rage A., Saint Martin J.-P., Videt B., Néraudeau D., Goubert É. et Bongrain M., 2002. Les associations de bivalves (Mollusca, Bivalvia) du Messinien du bassin de Sorbas (SE Espagne). Geodiversitas, 24, 3: 641-657.
- Lamarche J., Scheck M., Lewerenz B., 2003- Heterogeneous tectonic inversion of the Mid-Polish Basin related to crustal architecture, sedimentary patterns and structural inheritance. Tectonophysics, 373, p.75-92.
- Lamarche, J., Scheck, M., Lewerenz & B., Bayer U., 2003 - Structural model of the intra-continental Polish Basin: subsidence and inversion due to changing stress patterns. EGS-AGU-EUG Joint Assembly, Volume 5, Nice.
- Lanaja, J.M., 1987. Contribucion de la exploracion petrolifera al conocimiento de la geologia de Espana. IGME, Serv. Publ. Minnis. Industri. Energ., Madrid, 465 pp.
- Lofi, J., Gorini, C., Berné, S., Clauzon, G., Tadeu Dos Reis, A., Ryan, W.B.F. and Steckler, M.S. "Short-term consequences of the Messinian Salinity Crisis event on the evolution of the Gulf of Lions margin (France)", Marine Geology, accepted.
- Lofi, J., Rabineau, M., Gorini, C., Berne, S., Clauzon, G., De Clarens, P., Dos Reis, A.T., Mountain, G.S., Ryan, W.B.F., Steckler, M.S. and Fouchet, C., 2003. Plio-Quaternary prograding clinofold wedges of the Western Gulf of Lion continental margin (NW Mediterranean) after the Messinian Salinity Crisis. Marine Geology, 198, 289-317.
- Loget, N., Davy, P. and Van Den Driessche, J., 2003a, Large scale erosion processes and parameters derived from a modelling of the Messinian salinity crisis: Geophysical Research abstracts, vol. 5, 10718, European Geophysical Society 20003.
- Loget, N., Van Den Driessche, J. and Davy, P., 2003b, How did the Messinian Crisis end up?: a test of the internal hypothesis: Geophysical Research abstracts, vol. 5, 11214, European Geophysical Society 2003.
- Maillard A., Gaullier V., Vendeville B. and Odonne F., 2003. Influence of differential compaction above basement steps on salt tectonics in the Ligurian-Provençal basin, northwest Mediterranean, Marine and Petroleum Geol. 20, p13-27.
- Maillard, A. and Mauffret, A., 1999. Crustal structure and riftogenesis of the Valencia Trough (north-western Mediterranean Sea). Sedimentary basins, 11: 357-379.
- Maillard, A. et al., 1992. Tertiary sedimentary history and structure of the Valencia Trough (Western Mediterranean). In: E. Banda and P. Surinach (Editors), Geology and Geophysics of the Valencia Trough, Western Mediterranean. Tectonophysics, pp. 57-75.
- Mansour, B. et Saint-Martin, J.-P., 1999. Conditions de dépôt des diatomites messiniennes en contexte de plate-forme carbonatée d'après l'étude des assemblages de diatomées : exemple du Djebel Murdjadjo (Algérie). Geobios 32 : 395-408.
- Martin, J.M., Braga, J.C. and Sancez-Almazo, I.M., 1999. The Messinian record of the outcropping marginal Alboran Basin deposits: significance and implications. In: R. Zahn, M.C. Comas and A. Klaus (Editors), Proceeding of the Ocean Drilling Results, Scientific results, pp. 543-551.
- Mauffret, A., 2003. Structural analysis of the Algerian Basin. EGS-AGU-EUG Joint Assembly. Nice, 2003, EAE03-A-05295; TS36-1WE20-010: 264.
- Mauffret, A., El-Robrini, M. and Genesseeux, M., 1987. Indice de la compression récente en mer Méditerranée: un bassin losangique sur la marge nord-algérienne. Bull. Soc. géol. France, 3: 1195-1206.
- Mauffret, A., Maillard, A. and Gorini, C., 2003. Structure of the Algerian Basin and its Western Margin. Bull. Soc. géol. Fr., submitted.

- Merle D., Lauriat-Rage A., Gaudant J., Pestrea S., Courme-Rault M.-D., Zorn I., Blanc-Valleron M.-M., Rouchy J.-M., Orszag-Sperber F. et Krijgsman W., 2002. Les paléopeuplements marins du Messinien pré-évaporitique de Pissouri (Chypre, Méditerranée occidentale) : aspects paléocéologiques précédant la crise de salinité messinienne. *Geodiversitas*, 24, 3: 669-689.
- Moissette P., Saint Martin J.-P., André J.-P. et Pestrea S., 2002. L'association microbialite-bryozoaires dans le Messinien de Sicile et de Sardaigne. *Geodiversitas*, 24, 3: 611-623.
- Münch P., Roger S., Cornée J.-J., Saint Martin J.-P., Féraud G. et Moussa A.B., 2001. Restriction des communications entre l'Atlantique et la Méditerranée au Messinien : apport de la téphrochronologie dans la plate-forme carbonatée et le bassin de Melilla-Nador (Rif nord-oriental, Maroc), *C.R.Acad. Sc. Paris*, 332 : 569-576.
- Münch, P. et al., 2001. Restriction des communications entre l'Atlantique et la Méditerranée au Messinien: apport de la téphrochronologie dans la plate-forme carbonatée et le bassin de Mellila-Nador (Rif nord-oriental, Maroc). *C.R. Acad. sci.*, 332: 569-576.
- Münch, P., Saint-Martin, J.P., Cornée, J.-J., Féraud, G., Saint-Martin-Pestrea, S., Roger, S., & Conesa, G., 2003. Controls on facies and sequence stratigraphy of an upper Miocene carbonate ramp and platform, Melilla basin, NE Morocco: comment. *Sedimentary geology*.
- Néraudeau D., Goubert E., Lacour D. et Rouchy J.-M., 2001. Evolution of the biodiversity of Mediterranean irregular echinoids from the Messinian to the Present-Day. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*, 175: 43-60.
- Néraudeau D., Videt B., Courville P., Goubert E. et Rouchy J.-M., 2002. Corrélation des niveaux fossilifères marins interstratifiés dans les gypses messiniens, entre la carrière de Los Yesos et la carrière de Molinos de Aguas (bassin de Sorbas, SE Espagne). *Geodiversitas*, 24, 3: 659-667.
- Neuhaus D., J.R.F Borgomano, J.C. Jauffred, C. Mercadier, S. Olotu & J. Grötsch, 2003, Quantitative Seismic Reservoir Characterization of an Oligocene-Miocene Carbonate Build-Up, Malampaya Field, Philippines, in press in AAPG special publication "Carbonate seismic atlas" G. Eberli, E. Sarg & J. Massaferrero (eds).
- Orszag-Sperber F. et Krijgsman W., 2002. Les paléopeuplements marins du Messinien pré-évaporitique de Pissouri (Chypre, Méditerranée occidentale) : aspects paléocéologiques précédant la crise de salinité messinienne. *Geodiversitas*, 24, 3: 669-689.
- Orszag-Sperber F. et Rouchy J.-M., 2000. The transition Messinian-Zanclean in the Pissouri area (Cyprus): a well documented section in the Eastern Mediterranean. In "Proc. Of the Third International Conference on the Geology of the Eastern Mediterranean", Panayides I., Xenophontos C. et Mlpas J. éd.: 243-247.
- Orszag-Sperber F., Rouchy J.-M. et Blanc-Valleron M.-M., 2000. La transition Messinien-Pliocène en Méditerranée orientale (Chypre): la période du Lago-Mare et sa signification. *Comptes Rendus de l'Académie des Sciences de Paris*, 331, 493-490.
- Pestrea S., 2000. Les assemblages de diatomées dans le contexte de l'évolution paléogéographique du domaine paratéthysien au cours du Miocène en Roumanie. *Cryptogamie-Algologie*, vol.21, 3, p. 220-221.
- Pestrea S. et Saint Martin J.-P., 2002. La microflore de diatomées du Messinien de Gibesllina (Sicile occidentale, Italie). *Geodiversitas*, 24, 3: 585-610.
- Pestrea S., Blanc-Valleron M.-M. et Rouchy J.-M., 2002. Les assemblages de diatomées des niveaux infra-gypseux du Messinien de Méditerranée (Espagne, Sicile, Chypre) *Geodiversitas*, 24, 3: 543-583.
- Petit C., Déverchère J., Calais E., San'kov, V., and Fairhead, D., Deep structure and mechanical behavior of the lithosphere in the Hangai-Hövsgöl region, Mongolia: New constraints from gravity modeling, *Earth Planet. Sci. Lett.*, 197, 133-149, 2002.
- Popescu, S.-M., 2001. Repetitive changes in Early Pliocene vegetation revealed by high-resolution pollen analysis: revised cyclostratigraphy of southwestern Romania. *Review of Palaeobotany and Palynology*, 120: 181-202.
- Popescu S.-M., Upper Miocene and Lower Pliocene environments in the southwestern Black Sea region from high-resolution palynology of DSDP Site 380A (Leg 42B). *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology* (sous presse).
- Popescu S.-M., Krijgsman W., Suc J.-P., Clauzon G., Marunteanu M. et Nica T., accepté. Pollen record and integrated high-resolution chronology of the Early Pliocene Dacic Basin (Southwestern Romania). *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology* (sous presse).
- Ribaud-Laurenti, A., Hamelin, B., Montaggioni, L., Cardinal, D., 2001. Diagenetic perturbations of Sr/Ca ratio in Holocene Acropora corals., *International Journal of Earth Sciences (Geol Rundsch)*, v 90, p 452-469.
- Roger, S. et al., 2000.  $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$  of the pre-evaporitic Messinian marine sequence of the Melilla basin (Morocco): a proposal for some biosedimentary events as isochrons around the Alboran Sea. *Earth Planet. Sci. Lett.*, 179: 101-113.
- Roger, S., Münch, Ph., Cornée, J.J., Saint-Martin, J.P., Féraud, G., Pestrea, S., Conesa, G. et Ben Moussa, A., 2000.  $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$  dating of the pre-evaporitic Messinian marine sequences of the Melilla basin (Morocco) : A proposal for some bio-sedimentary events as isochrons around the Alboran Sea. *Earth and Planetary Science. Letters*, 179 : 101-113.
- Rollet N., Déverchère J., Beslier M-O., Guennoc P., Réhault J-P., Sosson M., and Truffert C., Tectonic inheritance, volcanism and back-arc extension: the Ligurian ocean, Mediterranean Sea, *Tectonics*, 21(3), 10.1029/2001TC900027, 2002.
- Rouchy J.M., 1984. Crise de salinité messinienne. In Synthèse géologique du sud-est de la France. BRGM, Mémoire 125, p. 510-513.
- 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. *Sedimentary Geology*, 145, 93-117.
- Rouchy J.M., Pierre C., Et-Touhami M., Kerzazi K., Caruso A. and Blanc-Valleron M.M., in press. Late Messinian to early Pliocene changes in the Melilla Basin (NE Morocco) and their relations to Mediterranean evolution. *Sedimentary Geology*.

- Sage F, Von Gronefeld G, Deverchère J, Gaullier V, Maillard A and Corini G: A record of the Messinian Salinity Crisis on the western Sardinia margin, Northwestern Mediterranean, soumis à *Marine and Petroleum Geol.*
- Saint-Martin, J.P., Néraudeau, D., Lauriat-Rage, A., Goubert, E., Secretan, S., Babinot J.F., Boukli-Hacene, S., Pouyet, S., Lacour, D., Pestrea, S. et Conesa G., 2000. Les faunes interstratifiées dans les gypses messiniens du bassin de Sorbas. *Geobios*, 33, 5, 14 p.
- 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, 1, p. 127-149.
- Saint-Martin, S., Conesa, G. & Saint-Martin, J.P., 2003. Les assemblages de diatomées du Messinien dans le bassin de Melilla-Nador (Rif nord-oriental, Maroc). *Revue de micropaléontologie*, 46 : 161-190.
- San'kov V., Déverchère J., Gaudemer Y, Houdry F. and Filippov A., Geometry and rate of faulting in the North Baikal rift, Siberia, *Tectonics*, 19(4), 707-722, 2000.
- Seidenkrantz M.-S., Kouwenhoven T.J., Jorissen F.J., Shackleton N.J., van der Zwaan G.J., 2000. Benthic foraminifera as indicators of changing Mediterranean-Atlantic water exchange in the late Miocene. *Marine Geology*. 163, 387-407.
- Sprovieri, R., Di Stefano, E. and Sprovieri, M., 1996. High resolution chronology for late Miocene Mediterranean stratigraphic events. *Riv. Ital. Paleont. Stratigr.*, 102: 77-104.
- Suc, J.-P., Violanti, D., Londeix, L., Poumot, C., Robert, C., Clauzon, G., Gautier, F., Turon, J.-L., Ferrier, J., Chikhi, H., Cambon, G., 1995. Evolution of the Messinian Mediterranean environments: the Tripoli Formation at Capodarso (Sicily, Italy). *Rev. Palaeobot. Palyn.* 87, 51-79.
- Vennin, E., Rouchy, J.-M., Chaix, C., Blanc-Valleron, M.-M. and Rommevaux, V.. Palaeoecological constraints on reef coral morphologies in the Tortonian-early Messinian of the Lorca Basin (SE Spain). *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*, accepté, en cours de révision.
- Villier L. & Eble G. J. accepté. Disparity estimates, scale, and taxonomic level: comparisons between genus- and species-level analyses in spatangoid echinoids. *Paleobiology*.
- Villier L. Systématique du genre *Heteraster* : un oursin spatangue largement répandu au Crétacé. *Géodiversitas*. accepté.
- Villier L., Blake D. B., Jagt J. W. & Kutscher M. The first fossil record of Pterasteridae (Echinodermata, Asteroidea) from the Late Cretaceous of Germany and Belgium. *Paläontologische Zeitschrift*. accepté.
- Villier L., Kutscher M. & Mah C. sous-presse. Systematics, palaeoecology, and evolutionary significance of Middle Toarcian Asteroidea (Echinodermata) from the 'Seuil du Poitou', Western France. *Geobios*.
- Villier L., Néraudeau D., Clavel B., Neumann C. & David B. Phylogeny of early Cretaceous spatangoids (Echinoidea: Echinodermata) and taxonomic implications. *Palaeontology*. sous-presse.
- Warny S.A., Bart P.J. et Suc J.-P., accepté. Tectonic and glacioeustatic influences on the Messinian Salinity Crisis: salt for thought. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology* (sous presse).

*Annexe n° 1*

**MOYENS DONT DISPOSENT LES DEMANDEURS  
ET QUI SERONT AFFECTÉS A LA RÉALISATION DU PROJET**

**1. Personnels et Laboratoires impliqués**

**Université de Lille 1 et Artois**

NOM	LABORATOIRE	RÔLE	%
GORINI, Christian	PBDS – UMR 8110 USTL	Stratigraphie sismique Bilan érosion et sédimentation : synthèse	30
LONCKE, Lies	UMR 8110	Stratigraphie sismique Bilan érosion et sédimentation	20

**UMR 6538 Domaines Océaniques - Université de Brest**

NOM	LABORATOIRE	RÔLE	%
DEVERCHERE, Jacques	DOMAINES Océaniques UMR6538 – UBO-IUEM – Plouzané, Brest	Interprétation sismique - Bilan érosion et sédimentation : synthèse (notamment sur l'Alboran)	25
LE ROY, Pascal	idem	idem	10
REHAULT, Jean-Pierre	idem	idem	10
RABINEAU Marina	idem	Stratigraphie sismique et séquentielle, modélisation - Lien avec l'atelier Golf du Lion du Programme GDR MARGES	20

**Laboratoire Orsayterre (FRE 2566), Université de Paris-Sud**

NOM	LABORATOIRE	RÔLE	%
COLIN, Christophe, MCF	Orsayterre, FRE 2566	Géochimie sédimentaire et minéralogie	40
SIANI, Giuseppe, MCF	Orsayterre, FRE 2566	Isotopes stables (O et C)	40
SEGUENI Farid, Thésard	Orsayterre, FRE 2566	Thésard depuis le 09/2003	100
ORSZAG-SPERBER Fabienne, MCF	Orsayterre, FRE 2566	Sédimentologie	30

**Université Aix-Marseille I**

NOM	LABORATOIRE	RÔLE	%
BORGOMANO, Jean	FRE 6019-DRPC	modélisation stratigraphique 3D, sismique, pétrophysique	10
CONESA, Gilles	FRE 6019-DRPC	biosédimentologie quantitative, diagenèse, paléoenvironnements	20
LAMARCHE, Juliette	FRE 6019-DRPC	modélisation stratigraphique 3D, tectonique	20
MUNCH, Philippe	FRE 6019-DRPC	chronostratigraphie, radiochronologie	20
RIBAUD, Anne	FRE 6019-DRPC	marqueurs paléocéologiques, (benthos : bivalves)	10
VILLIER, Loïc	FRE 6019-DRPC	marqueurs paléocéologiques (benthos : échinides-astérides)	10

**Laboratoire PaléoEnvironnements et PaléobioSphère (UMR 5125), Université Cl. Bernard - Lyon 1**

NOM	LABORATOIRE	RÔLE	%
CORNEE, Jean-Jacques	UMR 5125-PEPS	anatomie sédimentaire, stratigraphie séquentielle, tectonique	20
SUC, Jean-Pierre	UMR 5125-PEPS	Synthèse paléo-environnementale et étude des échanges Méditerrané-Paratéthys	20
POPESCU Speranta-Maria	UMR 5125-PEPS	Post-doctorant avec J-P. Suc - échanges Méditerrané-Paratéthys	70

#### Museum d'Histoire Naturelle de Paris et LODYC

NOM	LABORATOIRE	RÔLE	%
PIERRE Catherine	UMR 7617, LODYC, UPMC, Paris	Cyclicités sédimentaires, géochimie isotopique	20
BLANC-VALLERON Marie-Madeleine	UMR 5143, MNHN Paris	Surfaces d'érosion terre-mer, cyclicités	30
ROUCHY Jean Marie	UMR 5143, MNHN Paris	Surfaces d'érosion terre-mer, cyclicités	30
VENNIN Emmanuelle	UMR 5143, MNHN Paris	Plates-formes carbonatées, productivité carbonatée	20

#### UMR 6526 Géosciences Azur - Universités de Nice et Paris 6

NOM	LABORATOIRE	RÔLE	%
FERAUD, Gilbert	UMR 6526, Géosciences Azur	radiochronologie	5
SAGE Françoise	UMR 6526, Géosciences Azur	Traitement sismique et interprétation - Connexions avec le Programme GDR Marges (campagne MAURESC)	40

#### Faculté de Géologie et Géophysique, Bucarest (Roumanie)

NOM	LABORATOIRE	RÔLE	%
SAINT MARTIN, Simona	Géologie et Paléontologie	marqueurs paléocéanographiques (phytoplancton siliceux)	10

#### Université d'Oran (Algérie)

NOM	LABORATOIRE	RÔLE	%
MANSOUR, Bouhameur	Institut des Sciences de la Terre	marqueurs paléocéanographiques (phytoplancton siliceux)	10

#### Laboratoire des Mécanismes et Transferts en Géologie (UMR UPS-CNRS n°5563)

NOM	LABORATOIRE	RÔLE	%
MAILLARD Agnès	LMTG de Toulouse université P. Sabatier UMR UPS-CNRS n°5563	Enregistrement océanique de la crise Bilan érosion et sédimentation Lien avec la tectonique Comparaison mer/terre	30

#### Centre Européen de Recherches et d'Enseignement en Géosciences de l'Environnement (CEREGE II)

NOM	LABORATOIRE	RÔLE	%
CLAUZON Georges	CEREGE – Aix en Provence	Analyse canyons messiniens, Gilbert-deltas en Méditerranée orientale	20

#### Muséum d'Histoire Naturelle de Paris

NOM	LABORATOIRE	RÔLE	%
SAINT MARTIN, Jean-Paul	Paléontologie	biosédimentologie, paléoenvironnements	20

#### Laboratoire UPES EA 2644 - Université d'Angers

NOM	LABORATOIRE	RÔLE	%
ANDRE, Jean-Pierre	EA 2644-Géologie	sédimentologie des carbonates, stratigraphie séquentielle	20

#### Université de Montpellier II

NOM	LABORATOIRE	RÔLE	%
DUVAIL Cédric	Laboratoire de dynamique de la lithosphère	Doctorant	40
SERANNE Michel	Laboratoire de dynamique de la lithosphère	Maître de conférences	20
BRIQUEU, Louis	Laboratoire de Dynamique de la Lithosphère (UMR 5573)	Traitement du signal et analyses isotopiques de Sr	20

#### Géosciences-Rennes, CNRS-UMR 6118, Université Rennes

NOM	LABORATOIRE	RÔLE	%
Bonnet Stéphane	Géosciences-Rennes	MC univ. Rennes	20
Davy Philippe	Géosciences-Rennes	DR CNRS	10
Loget Nicolas	Géosciences-Rennes	Doctorant	100
Van Den Driessche Jean	Géosciences-Rennes	PR univ-Rennes 1	50

Principaux laboratoires associés extérieurs (sans demande de financement dans ce projet):

#### LEGEM – Université de Perpignan

NOM	LABORATOIRE	RÔLE	%
GAULLIER Virginie	LEGEM	Interprétation sismique – Connexions avec le Programme GDR Marges pour ce qui concerne le Messinien	20

#### IFREMER, Centre de Brest, Plouzané

NOM	LABORATOIRE	RÔLE	%
Lericolais Gilles	Environnements Sédimentaires DROGM	Synthèse en Mer Noire et seuil Paratéthys-Méditerranée	25
Gillet Hervé	Environnements Sédimentaires DROGM	Synthèse en Mer Noire et seuil Paratéthys-Méditerranée	30 ?
Olivet Jean-Louis	Environnements Sédimentaires DROGM		

#### Institut de Radioprotection et Sûreté Nucléaire, Fontenay-aux-Roses

NOM	LABORATOIRE	RÔLE	%
Blanc Paul-Louis	D.E.I. Service d'Analyse des Risques liés à la Géosphère.	Modélisation : ajustement du modèle de la crise de salinité aux bilans observés. rôle des seuils dans le contrôle des flux d'eau et de sel en direction des bassins méditerranéens.	10 ?

#### B.R.G.M. (CDG/MA), Orléans et Montpellier

NOM	LABORATOIRE	RÔLE	%
Le Strat	Service Géologique Régional Montpellier	Géologue régional	20
Guennoc Pol	Orléans	Géologue marin	10
Thinon Isabelle	CDGMA	Traitement des données, modélisation 3 D	20

#### Laboratoire des Sciences du Climat et de l'Environnement (LSCE) (UMR1572), Gif/Yvette

NOM	LABORATOIRE	RÔLE	%
Blamart, Dominique	LSCE	Isotopes stables (O et C)	10

#### Université d'Oran (Algérie)

NOM	LABORATOIRE	RÔLE	%
Bessedik, Mustapha	Institut des Sciences de la Terre	marqueurs paléocéanographiques (micropaléontologie)	5
Mansouri, Mohamed El Havib	Institut des Sciences de la Terre	marqueurs paléocéanographiques (nannoplancton)	5

#### Université Abdelmalek Essaâdi, Tétouan (Maroc)

NOM	LABORATOIRE	RÔLE	%
BEN MOUSSA Abdelkhalak	Faculté des Sciences	marqueurs paléocéanographiques (benthos : bivalves)	5

#### Université Sidi Mohamed Ben Abdellah, Fez (Maroc)

NOM	LABORATOIRE	RÔLE	%
EL HAMZAOU, Omar	Faculté des Sciences Dhar El Mehraz	biosédimentologie	5
LACHKHEM, Hassan	Faculté des Sciences Dhar El Mehraz	marqueurs paléocéanographiques (benthos : échinides)	5

#### Ecole Nationale de Géologie de Nancy

NOM	LABORATOIRE	RÔLE	%
MALLET Jean-Laurent	Département gOcad	Modélisation numérique	5

#### Université de Granada (Espagne)

NOM	LABORATOIRE	RÔLE	%
COMAS Menchu	Instituto Andaluz de Ciencias de la Tierra CSIC- Universidad de Granada	Interprétation sismique , géologie structurale	20
MARRO Guillermo	Instituto Andaluz de Ciencias de la Tierra CSIC- Universidad de Granada	Traitement sismique et stratigraphie sismique	60

#### Faculté de Géologie, Bucarest (Roumanie)

NOM	LABORATOIRE	RÔLE	%
MARUNTEANU Mariana	Institut de Géologie et Géophysique, Bucarest	Analyse du nannoplancton	5%
SAINT-MARTIN Simona	Faculté de Géologie, Bucarest	Analyse des diatomées	5%

#### Geological Institute, Sofia (Bulgarie)

NOM	LABORATOIRE	RÔLE	%
Zagorchev I.	Institut de Géologie	Participation aux investigations de terrain	5%

#### Université de Palerme (Italie)

NOM	LABORATOIRE	RÔLE	%
CARUSO Antonio	Département Géologie-Géodésie, Université Palerme	Cyclicités, surfaces d'érosion, biostarigraphie	20
SPROVIERI Rodolfo	Département Géologie-Géodésie, Université Palerme		5

**CNR (Conseil National de la Recherche) – (Italie)**

NOM	LABORATOIRE	RÔLE	%
LOFI Johanna	Istituto di Scienze Marine - CNR, Bologne.	Stratigraphie sismique (notamment dans le golfe de Valence) - Interprétation	20

**TOTAL, Pau**

NOM	LABORATOIRE	RÔLE	%
RUBINO, Jean-Loup		Isolement des bassins suspendus à partir des lignes sismiques	5%

**Lamont Doherty Observatory, New York**

NOM	LABORATOIRE	RÔLE	%
GRAINDORGE David	Lamont Doherty Observatory, New York	Backstripping des series post-messiniennes	100

**Université Mohamed 1<sup>er</sup>, Oujda (Maroc)**

NOM	LABORATOIRE	RÔLE	%
ET-TOUHAMI Mohamed	Sciences de la Terre	Surfaces d'érosion (Melilla)	10

**MEDIAS-France, Toulouse**

NOM	LABORATOIRE	RÔLE	%
HOEPFFNER Michel		Elaboration des bases de données	

**Université Mohamed V RABAT, INSTITUT SCIENTIFIQUE (Maroc)**

NOM	LABORATOIRE	RÔLE	%
MHAMMDI, Nadia	Physique du Globe (Unité Géosciences marines)	Sismique réflexion, multibeam sédimentologie	20
ACHAB, Mohamed	Cartographie et de géomorphologie	Géologie marine	5

**Université de l'État de Rio de Janeiro (UERJ), Institut de Géosciences (Brésil)**

NOM	LABORATOIRE	RÔLE	%
DOS REIS, Antonio Tadeu	Département d'Océanographie et Hydrologie		30



## 2. Equipement disponible pour la réalisation du projet

### **Département Histoire de la Terre, Muséum National Histoire naturelle de Paris (UMR 5143)**

Atelier lames minces, microscope électronique à balayage et microanalyse EDS, diffractomètres RX Siemens, cathodoluminescence, microscopes photoniques, matériels pour extraction de microfossiles.

### **Laboratoire PaléoEnvironnements et PaléobioSphère (UMR 5125), Villeurbanne.**

MEB, Microscopie photonique, 4 lignes d'extraction de gaz pour l'analyse des isotopes stables des éléments légers (H,C et O) dans les eaux, carbonates et phosphates- une salle de chimie blanche- une ICP-MS pour l'analyse des concentrations d'éléments en traces- 2 spectromètres de masse pour l'analyse des isotopes stables des éléments légers (Finnigan Delta E et GV Isoprime). Matériel pour extraction de microfossiles, microscopes photoniques, banques de données iconographiques (pollens, dinokystes, bryozoaires)Bureautique. Microscope électronique à balayage. Matériel pour investigations de terrain (GPS, altimètre, etc.). Matériel de dessin cartographique.

### **Laboratoire P.B.D.S. (UMR 5125), USTL Lille1.**

Modélisation Mapinfo et vertical mapper, éditeur géologique, Moyens de traitement et interprétation (logiciels sismage), Modélisation analogique stations de travail Sun, et PC sous Linux. Station de simulation 3D, , diffractomètre RX Philips PW1730, MEB Environnemental.

### **Paléontologie et Stratigraphie (ERS ex UPRESA 7073), Paris, et Orsay Terre (UMR 8616), Orsay**

Atelier lames minces, microscope électronique à balayage Jeol et microanalyse EDS, diffractomètres RX Siemens, spectromètre infra-rouge, cathodoluminescence, granulométrie laser, microscopes photoniques, matériels pour extraction de microfossiles.

### **Laboratoire de Paléomagnétisme, Institut de Physique du Globe de Paris (URA 729).**

McIntosh G4, Futkisu VPP 5000. Accès au supercalculateur du CEA.

### **Laboratoire Orsayterre (FRE 2566), Orsay**

Atelier lames minces, microscope électronique à balayage Jeol et microanalyse EDS, diffractomètres RX Siemens, spectromètre infra-rouge, cathodoluminescence, granulométrie laser, microscopes photoniques, matériels pour extraction de microfossiles.

### **Laboratoire des Sciences du Climat et de l'Environnement (LSCE), UMR 1572**

3 spectromètres de masse en phase gazeuse pour la mesure des rapports  $^{18}\text{O}$  et  $^{13}\text{C}$  sur carbonates  
Delta Plus dual Inlet Carbo Kiel II, VG Optima Isocarb Manifold, Finnigan Mat 251 Carbo Kiel I.

### **Laboratoire PaléoEnvironnements et PaléobioSphère (UMR 5125), Villeurbanne.**

Matériel pour extraction de microfossiles, microscopes photoniques, banques de données iconographiques (pollens, dinokystes), bureautique. Microscope électronique à balayage. Ouvrages de valeurs climatiques et de phytosociologie.

### **Biogéosciences et Laboratoire de Paléobiodiversité et Préhistoire (UMR 5561), Dijon.**

Informatique (G4, Stats), mesuroscope.

### **Dynamique des récifs et des plates-formes carbonatées (FRE 6019), Marseille**

Microscope électronique à balayage Philips ESEM XL-30 environnemental, microanalyse ESAX DX4. Microscopie photonique, Cathodoluminescence, Station de travail (Sun), Traitement échantillons (lames minces), modélisation numérique (Carbonate 3D, gOcad, Dionisos).

### **Laboratoire Océanographie Dynamique et Climatologie LODYC (UMR 7617), Paris**

Spectromètre de masse. Optima avec système automatique Isocarb et manifold, spectromètre de masse Sira 9-VG, lignes de préparation à 25°C pour les carbonates.

### **Géosciences Azur (UMR 6526), Nice - Villefranche-sur-mer – Sophia Antipolis :**

Chaîne sismique: sources (canon à air, à eau), compresseur 60 m<sup>3</sup>/h, flûte 8 traces, acquisition numérique et analogique pour la campagne en mer au large de la Sardaigne occidentale. Moyens de traitement (logiciels Geovecteur et Claritas), stations de travail Sun, HP et PC sous Linux. Lasers de puissance CO<sub>2</sub> et Argon, deux lignes de chauffage/purification et deux spectromètres de masse phase gazeuse

### **Total (Pau)**

Modélisation 3 D

### **BRGM Montpellier**

Banque des données du sous sol : 15 000 forages en banque de données sur le Languedoc Roussillon. Possibilité d'accéder aux banques de données du sous sol de PACA (notamment sur la Camargue)  
Cartographie régionale, 1/50 000, 1/250 000, 1/ 1 000 000

### **BRGM Orléans**

Modélisation Gocad et éditeur géologique

**Museum d'Histoire Naturelle de Paris**

MEB, Microscopie photonique, Traitement échantillons (extraction microfaune, lames minces)

**Domaines océaniques (UMR 6538), Brest**

Moyens de traitement des lignes sismiques.

**Laboratoire "Bioindicateurs actuels et fossiles"(UPES EA 2644), Université d'Angers**

Matériel pour extraction des microfossiles, loupes binoculaires, banques de données (foraminifères), microscope électronique à balayage (Centre Commun de Microscopie électronique de l'Université d'Angers).

**Géosciences Rennes CNRS-UMR 6118, Université Rennes 1**

Moyens de modélisation numérique

### 3. Autres financements attribués ou demandés sur le même thème dans le cadre d'autres programmes

- 2003-2006 : Programme ACI Risques Naturels : Soutien à la campagne MARADJA sur la marge Algérienne (montant inconnu au 05/12/03, mais demande acceptée)
- Programme GDR MARGES Volet Golfe du Lion : Soutien demandé à l'exploitation de la campagne en mer MAURESC – Echanges prévus sur l'interprétation de l'évolution post-messinienne des séries du Golfe du Lion (post-doc au Lamont)
- 2003-2007 : Programme CMEP franco-algérien pour réunions de travail et interprétation de la déformation de la marge algérienne
- 2003-2007 : Accord-Programme franco-algérien entre l'Université d'Aix-Marseille I (FRE 6019-DRPC) et l'Université d'Oran, Responsable côté français : Jean-Paul SAINT MARTIN
- Demande en mars 2003 d'une Action Intégrée franco-marocaine entre l'Université d'Aix-Marseille I (FRE 6019-DRPC) et l'Université de Tétouan (Laboratoire de géologie des bassins sédimentaires), Responsable côté français : Gilles CONESA
- Intégration de plusieurs chercheurs (A. Mauffret, J. Déverchère, J.P. Réhault, M. Comas) dans les Programmes ESF EUROCORE - EUROMARGINS (Programmes WESTMED avec M. Fernandez, Barcelone et N. Zitellini, Bologne) permettant des contacts fréquents avec les partenaires espagnols et français, ce qui est capital pour l'utilisation de données sismiques pertinentes en mer d'Alboran, Baléares, Corse, Tyrrhénienne, Sicile).

<b>BUDGET</b>
---------------

## 1. Fonctionnement

### BRGM Montpellier et Orléans

Priorités	Montant (€)
Corrélations haute résolution acquisitions diagraphies, scannérisation	500
Modélisation mission BRGM, TFE, Ifremer Lille	1000
publications congrès et séminaires	1000

<b>Total HT :</b>	<b>2500</b>
-------------------	-------------

### Laboratoire Orsayterre (FRE 2566), Université de Paris -Sud

Priorités	Montant (€)
Analyses granulométriques laser (produits chimiques)	1500
Analyses d'argiles par DRX	3000
Dosage des carbonates	500
Dosages minéralogiques par spectroscopie IR	1500

<b>Total HT :</b>	<b>6500</b>
-------------------	-------------

### Laboratoire des Sciences du Climat et de l'Environnement (LSCE) (UMR1572), Gif/Yvette

Priorités	Montant (€)
Analyses des isotopes stables ( $\delta^{18}\text{O}$ et $\delta^{13}\text{C}$ )	6000

### Laboratoire PaléoEnvironnements et PaléobioSphère (UMR 5125), Université Cl. Bernard - Lyon 1

Priorités	Montant (€)
Produits chimiques pour traitements palynologiques	1500

### Département Histoire de la Terre (MNHN, UMR 5143) (Rouchy et coll.)

Priorités	Montant (€)
Consommables, ouvrages, séances microscopie, achat de cartes	2000

### Lodyc, UPMC Paris

Priorités	Montant (€)
Analyses isotopiques $^{18}\text{O}$ , $^{13}\text{C}$	4000

### CEREGE Aix en Provence et PEPS Lyon

Priorités	Montant (€)
Aide à la publication (en 2005)	1000

### Laboratoire PBDS (UMR 8110), Université de Lille 1

Priorités	Montant (€)
Stockage et reproduction de données sismiques	3000

### LMTG de Toulouse, université P. Sabatier - UMR UPS-CNRS 5563

Priorités	Montant (€)
Consommables et traitement de lignes sismiques	2000

### Géosciences-Rennes, CNRS-UMR 6118, Université Rennes 1

Priorités	Montant (€)
Temps calcul et matériel informatique (2004)	2000
Projection pour 2005-2006	3000

<b>Total HT :</b>	<b>5000</b>
-------------------	-------------

#### Laboratoire FRE 6019-DRPC - Université Aix-Marseille I

Priorités	Montant (€)
Analyses à la Microsonde électronique: 2 journées (Montpellier) → caractérisation minéralogique nécessaire pour datations	600
Vacations MEB (6 journées) → séparation minérale pour datations	600
Mise à jour logiciel modélisation carbonate 3D et de logiciels sismiques	3000
<b>Total HT :</b>	<b>4200</b>

#### Laboratoire Géosciences Azur (UMR 6526), Nice

Priorités	Montant (€)
Datations : analyses argon-argon d'intercalations volcaniques en Algérie et au Maroc : calibrage d'événements biosédimentologiques messiniens à l'échelle de la marge nord-africaine, en rapport direct avec les circulations océaniques (intercalations dans des séries de bassin à diatomites)	9000

**TOTAL FONCTIONNEMENT: 46 700 €**

## 2. Missions

#### Département Histoire de la Terre (MNHN, UMR 5143)

Priorités	Montant (€)
Missions de terrain Sicile (4 personnes, 2 semaines)	4500
Missions de terrain Maroc (3 personnes, 1 semaine)	4000
Missions de terrain Espagne : 2 missions de 15 jours pour 3 personnes	3800
Mission Maroc 1 personne (J.P. Saint Martin), 7 jours dans la région de Boudinar : levés de coupes avec échantillonnage dans des séries bassinales diatomitiques (phytoplancton) du sillon Sud-Rifain.	1400
<b>Total HT :</b>	<b>13700</b>

#### CEREGE Aix en Provence - PEPS Lyon UMR 5125 – Orsayterre (FRE 2566) Univ. Orsay

Priorités	Montant (€)
Une mission de terrain en 2004 pour trois personnes (Georges CLAUZON, Jean-Jacques CORNEE, Jean-Pierre SUC) pendant 7 jours: voyages, séjour, location voiture	3500
Trois missions de 4 jours chacune de Georges CLAUZON à Lyon deux en 2004, une en 2005) pour dépouillement des résultats (2004) et leur publication (2005)	900
Une mission de terrain (5 personnes : G. Clauzon, F. Orszag-Sperber, J.-P. Suc, S.-M. Popescu, S. Saint-Martin) de deux semaines en Bulgarie en compagnie de I. Zagorchev (Inst. Géol. Sofia) dans des secteurs où existent déjà quelques indices d'incursion d'eaux marines méditerranéennes (Coût total : 5000 Euro).	5000
<b>Total HT :</b>	<b>9400</b>

#### Laboratoire FRE 6019-DRPC - Université Aix-Marseille I

Priorités	Montant (€)
Mission Maroc 1 personne (P. Münch), 7 jours dans la région de Boudinar : étude des systèmes sédimentaires et échantillonnage du benthos, échantillonnage des intercalations volcaniques dans les dépôts bassinaux.	1420
Mission Maroc 2 personnes (G. Conesa, P.Münch), 10 jours : étude des systèmes sédimentaires et échantillonnage en vue des modélisations numériques, échantillonnage des intercalations volcaniques dans les dépôts bassinaux.	3650
Mission Nancy 1 personne (J. Lamarche), 3 semaines, travail au sein de l'équipe gOcad (Modélisation)	930
<b>Total HT :</b>	<b>6000</b>

#### Géosciences-Rennes - CNRS-UMR 6118, Université Rennes 1

Priorités	Montant (€)
Missions pour cartographie GPS des surfaces aériennes messiniennes (Var, Gibraltar)	3000

**Domaines Océaniques – UBO – IUEM - Brest**

<b>Priorités</b>	<b>Montant (€)</b>
1 Réunion à Nice ou Brest pour synthèse des profils sismiques Alboran et Golfe de Valence (5 personnes) (2004)	1500
1 réunion de synthèse sur Ligure-Provence (2004)	500
1 réunion en 2005	1000
1 réunion de synthèse en 2006 regroupant les principaux intervenants du Projet	3500
<b>Total HT :</b>	<b>6500</b>

**Laboratoire PBDS (UMR 8110) - Université de Lille 1**

<b>Priorités</b>	<b>Montant (€)</b>
1 WorkShop à Lille ou Brest pour synthèse des profils sismiques Mer Noire en 2003 (6 personnes)(2003)	<b>2800</b>
2 Workshops à l'Université de Granada (2004-2005)	

**Laboratoire UPES EA 2644 - Université d'Angers**

<b>Priorités</b>	<b>Montant (€)</b>
Mission Maroc 1 personne (J.-P. André), 10 jours : étude spécifique des systèmes sédimentaires du Sillon Sud-Rifain	<b>1400</b>

**TOTAL MISSIONS: 42 800 €**

<b>Total des crédits demandés pour les 3 années (2004-2005-2006) en H.T. (€) :</b>	<b>89 500</b>
<b>Total des crédits demandés pour l'année en cours (2004) en H.T. (€):</b>	<b>32 000</b>

**RAPPORT SUR L'AVANCEMENT DES TRAVAUX POUR LES PROJETS DEJA FINANCES PAR ECLIPSE  
LORS DU PRECEDENT APPEL D'OFFRE ECLIPSE 2000-2003.**

(3 pages maximum)

**Rapport Préliminaire par J.-M. Rouchy et J.-P. Suc**

## **2. Bilan du projet Messinien 2001-2003**

### **1. Le déroulement des travaux et la coordination des opérations**

L'ampleur de l'objectif et la diversité des ateliers et des équipes impliquées qui faisaient la spécificité de notre projet portaient aussi en germe un risque important de dispersion des opérations que les différents rapporteurs de notre projet avaient souligné. Le respect des objectifs et la cohérence du projet ne pouvaient donc être assurés que par un effort permanent de coordination et de recentrage des orientations, et de dialogue entre des groupes qui travaillaient jusqu'alors séparément. Ceci a été l'une des préoccupations permanentes des responsables du projet qui, en plus de leurs rencontres, ont organisé trois réunions plénières. La première s'est tenue à Lyon (26/6/2001), immédiatement après la notification des crédits, pour orienter les travaux vers les actions les plus pertinentes par rapport à la problématique du projet. La deuxième qui a eu lieu à Paris (24-25/1/2002) a non seulement permis de dresser le bilan scientifique des travaux à l'issue de la première année, mais aussi de recentrer les orientations vers une intégration accrue des personnes issues des deux groupes antérieurs. Elle a clairement montré que la volonté de tous les participants de travailler ensemble s'était concrétisée dans les faits. La troisième réunion (Villefranche sur mer, 27-29/1/2003) a permis de dresser le bilan scientifique des deux premières années de fonctionnement et a surtout donné lieu à un riche échange de vues entre les spécialistes des différentes disciplines permettant de mieux définir les cibles futures autour de projets novateurs et coordonnés.

Cette démarche a atteint son objectif en conduisant à une **bonne intégration des équipes** au travers **d'opérations communes, constamment recentrées à la suite de discussions collectives** et en permettant de **respecter la programmation fixée au début du projet, tant en ce qui concerne le calendrier que les résultats attendus**. Elle a aussi permis de mettre en œuvre une **réflexion collective pour préparer l'avenir des recherches** sur le sujet et **inscrire la collectivité nationale dans les grands enjeux scientifiques à venir**, comme le sondage profond du projet Odysseus (voir Programme de la 3ème année). Le fait que **cinq chercheurs** (avec leurs collaborateurs et élèves), extérieurs au projet et de spécialités différentes, aient demandé à nous rejoindre, montre que **notre projet s'est montré très attractif pour la communauté**. Nous avons invité ces chercheurs dont la participation augmente encore le potentiel du projet à participer à notre réunion de Villefranche sur mer, ce qui a permis de les intégrer dans la programmation future.

**En résumé, toutes les opérations de terrain et les programmes analytiques programmés au cours des trois années ont été exécutés conformément aux objectifs fixés et les publications spécifiques sur chaque objectif réalisées pour la plus grande partie. Au total, ce sont 39 articles qui ont été publiés, sous presse ou soumis, dont 20 dans des revues internationales. Trois thèses ou diplômes qui ont fait l'objet d'un soutien de notre projet se sont achevés en 2001 et 2002 et une thèse (F. Garcia) mise en place spécifiquement dans le cadre de nos activités sur l'enregistrement des événements messiniens est en cours d'achèvement.**

Enfin, la phase 2001-2003 du projet sera concrétisée par l'organisation d'un **colloque international qui se tiendra à Corte du 20 au 24 juillet 2004 dont la première circulaire a déjà été diffusée auprès des spécialistes étrangers** impliqués dans les recherches sur la crise de salinité messinienne. Ce colloque fournira une large audience internationale aux travaux qui ont été menés dans le cadre de notre projet et d'insérer les recherches à venir dans un cadre international élargi, notamment dans la perspective de la préparation du projet Odysseus.

### **2. Les résultats des deux premières années**

**1. Lago Mare.** Il s'agissait de l'un des enjeux fondamentaux de notre projet. Les investigations menées, respectivement en Méditerranée et dans la zone d'échange entre la Méditerranée et la Paratéthys ont confirmé les hypothèses émises au sein de notre groupe qui prévoyaient l'existence de plusieurs épisodes correspondant à des mécanismes hydrologiques différents.

Les travaux réalisés dans le Bassin Dacique par G. Clauzon et J.-P. Suc auxquels s'est joint F. Orszag-Sperber ont apporté un éclairage nouveau sur les relations Méditerranée-Paratéthys. Deux épisodes majeurs de Lago Mare correspondant chacun à un échange à haut-niveau marin entre les deux bassins, ont eu lieu respectivement avant la dessiccation des bassins profonds et au début du Pliocène après la crise de salinité (5).

En Méditerranée, les études menées à la fois dans les bassins marginaux (Chypre, Crète, îles Ioniennes, Melilla) et profonds (Sites ODP 160, 161) (J.-M. Rouchy, F. Orszag-Sperber, C. Pierre, M.-M. Blanc-Valleron, P. Moissette, D. Merle) ont montré que la dilution généralisée de la fin du Messinien correspond à un épisode distinct de Lago-Mare; il est intervenu en réponse à une inversion du bilan hydrique contrôlé par la fermeture des communications avec l'Atlantique et par une possible modification climatique ayant entraîné une recrudescence de l'action fluviale (26, 27).

Le scénario polyphasé qui peut être proposé à la suite de ces travaux se substitue à l'idée classique d'un événement unique lié au déversement d'eaux paratéthysiennes dans une Méditerranée asséchée.

Conformément à la programmation initiale des actions, les investigations sur le Lago Mare s'achèveront en 2003 par une opération sur le bassin centro-sicilien qui représente un secteur-clé à la transition entre les domaines occidental et oriental, permettant alors d'obtenir une vision globale du problème intégrant les différentes hypothèses antérieurement émises au sein du groupe.

## 2. Vision séquentielle de la crise et l'évolution des écosystèmes marins.

Un premier volet portant sur la succession des événements qui ont affecté le milieu marin et leur chronologie a été traité par deux approches différentes. La première a consisté en une étude à haute résolution de différents marqueurs (micropaléontologie, minéralogie, isotopes stables), appuyée sur une chronologie cyclostratigraphique très précise, de coupes types continues à la transition marin/hypersalin en Sicile et à Chypre (M.-M. Blanc-Valleron, F. Orszag-Sperber, C. Pierre et J.-M. Rouchy, en collaboration avec des spécialistes italiens et hollandais). L'évolution vers les conditions évaporitiques s'opère par paliers liés à des modifications du volume des transferts d'eau océanique gérés par la tectonique globale et l'eustatisme (2, 4, 13).

Le deuxième volet orienté vers la réponse du biota marin aux contraintes engendrées par les effets de la crise s'est appuyé sur une analyse de la diversité des communautés des communautés benthiques et de l'ichtyofaune. L'étude *des peuplements benthiques (mollusques, échinides, foraminifères)* des séries messiniennes et pliocènes d'Espagne (D. Néraudeau, Ph. Courville, B. Videt, D. Lacour, D. Merle, J.-P. Saint-Martin) a apporté un éclairage nouveau sur les communications marines pendant la crise et permis d'approcher les variations thermiques des eaux de plateforme (12, 14 à 16, 20, 21, 28, 30). L'ichtyofaune étudiée par J. Gaudant en Espagne (Sorbas, Nijar, Murcie) montre un profond changement des assemblages entre les marnes diatomitiques préévaporitiques dans lesquelles s'observent des espèces de poissons marins exigeant des conditions de profondeur élevée (*Myctophum licatae*, *Maurolicus muelleri*) alors que les dépôts post-évaporitiques ne comportent qu'un assemblage monospécifique à *Aphanius*, typique de milieu à salinité variable, en bon accord avec la dessalure généralisée de la fin du Messinien (9, 10). L'étude de la *plate-forme carbonatée* de la presqu'île du Sinis en Sardaigne (mission J.-P. Saint Martin, J.-P. André, P. Moissette, J.-J. Cornée, F. Garcia) (thèse F. Garcia en cours) a conduit à mieux définir l'architecture de cette plate-forme atypique à constructions à microbialites et vermetes et à fournir des données paléobathymétriques à partir des assemblages de *bryozoaires* (16). Des résultats nouveaux ont également été obtenus sur d'autres plates-formes carbonatées (1), sur la signification des assemblages de diatomées des dépôts pré- et intra-évaporitiques (23, 24). L'étude des dinokystes de la série de Bou Regreg (Maroc) a permis de préciser le moment de fermeture définitive du corridor Rifain qui a pu, elle-même, être située dans le cadre de l'évolution climatique (39).

3. L'évolution séquentielle de la crise, sa chronologie, les évaporites et les canyons fluviaux. Il s'agit également d'un objectif majeur sur lequel nous nous étions engagés à produire un effort particulier et qui rejoint le problème du Lago Mare. Le travail a mis en jeu une double approche comportant à la fois des travaux de terrain (Sardaigne) et des investigations océanographiques sur la marge du golfe du Lion et sur la marge ouest sarde (mission SESAME, 2001) qui a fait l'objet d'un soutien direct de notre projet. Parallèlement, on a mené un programme de datations radiochronologique des étapes de l'édification de la plate-forme carbonatée du bassin de Melilla au Maroc, couplé avec une approche de stratigraphie séquentielle (J.-J. Cornée, J.-P. Saint-Martin, Ph. Münch, J. Féraud) qui ont précisé l'âge de la fin de l'édification récifale (5,95 Ma) et surtout du Complexe Carbonaté Terminal (TTC) qui se met en place entre 5,85 Ma et 5,76 Ma avant la phase d'érosion fini-messinienne (6, 8, 18, 19, 35).

Sur la marge du golfe du Lion, les travaux de quantification (J. Lofi, S. Berné, C. Gorini) ont été réalisés à partir des profils sismiques disponibles (22, 32) et ont donné lieu à une estimation sommaire du volume de sédiments érodés au cours de l'incision messinienne, à leur cartographie, à l'estimation de leur volume et de leurs relations avec les "évaporites inférieures" et à la restitution des profils longitudinaux des principaux systèmes fluviaux qui montrent un creusement polyphasé sous contrôle entièrement eustatique. Ces travaux ont fait l'objet de la thèse de J. Lofi soutenue en 2002 (32).

La campagne océanographique SESAME (F. Sage, J. Deverchère, G. Von Gronfeld, C. Gorini, V. Gaullier, A. Maillard) a conduit à préciser l'extension initiale du dépôt du sel dans le bassin permettant l'estimation du retrait éventuel, la profondeur maximale de la surface d'érosion, l'épaisseur de l'édifice détritique et la localisation des paléocanyons (38). La partie amont du canyon a été explorée à terre, en Sardaigne, par G. Clauzon montrant que le canyon recherché avait servi d'exutoire au fleuve Terso qui drainait le fossé du Campidano, avec une structuration locale de la série zancéléenne en faciès de Gilbert delta et une brèche plaquée contre la surface de ravinement. Cette double approche a permis d'obtenir, pour la première fois, un cadre cohérent pour l'interprétation de l'érosion messinienne en établissant notamment un lien direct entre l'enregistrement de l'érosion fluviale à terre et son expression sismique dans les bassins profonds.

Les actions menées sur le Lago Mare dans le bassin Dacique, en Crète et à Melilla, ont également apporté des éléments complémentaires sur cette thématique en confirmant l'importance de l'érosion fluviale fini-messinienne sur les marges méditerranéennes (5, 27).

Si le programme des investigations à terre est achevé conformément aux engagements de départ, l'effort devra porter pendant la troisième année, et par la suite, sur les investigations océanographiques coordonnées entre les secteurs sur lesquels opèrent les différentes équipes (golfe du Lion, marge de Sardaigne, mer Ligure et marge corse et le golfe de Valence).

4. Le Climat. Les implications de la crise de salinité sur le climat régional et global, constituent une question importante que le projet a abordé d'une part par les études réalisées en mer Noire et par les travaux de quantification et de modélisation dont les résultats sont exposés dans le paragraphe suivant. Les conséquences de l'assèchement de la Méditerranée sur la mer Noire ont été explorées par S. Popescu à partir de l'étude pollinique de la série du Site DSDP 380A situé en mer Noire, près du Bosphore, à la limite entre deux provinces floristiques contrastées et dans lequel la crise de salinité messinienne est enregistrée

par des dolomies stromatolithiques. Une chronologie à très haute résolution permet de situer avec précision la succession des événements: passage, au Miocène terminal, d'une flore pollinique dominée par les arbres thermophiles à une flore marquée par une augmentation des halophytes en relation avec le rapprochement du littoral lors de la baisse du niveau marin; "phase de réchauffement" puis de refroidissement, au Pliocène inférieur, en parfaite concordance avec l'évolution climatique du Pliocène européen, retard de l'entrée des dinokystes méditerranéennes en mer Noire ce qui pose la question du trajet des communications (25, 33).

Quantification des données et modèles climatiques. Le développement de ces approches était primordial pour notre projet. Les premiers résultats, que notre groupe détenait seul au niveau international, témoignaient de l'originalité et de l'importance des apports de cette démarche qui vise à répondre à l'interrogation fondamentale sur les répercussions de la crise de salinité sur le climat régional, européen, global. Deux types de quantifications ont été mises en œuvre qui utilisent la distribution des faunes de rongeurs (S. Legendre, S. Montuire) et les données polliniques (S. Fauquette).

En ce qui concerne les faunes de rongeurs d'Europe de la fin du Miocène au Pliocène (MN 11 à MN 15), différents modèles complémentaires basés notamment sur les Arvicolinae, les Murinae et les Sigmodontinae ont été appliqués pour la quantification de certains paramètres climatiques. Ainsi, la distribution des Cricetidés fossiles européens et les Sigmodontinés du Nouveau Monde a servi de modèle pour évaluer les relations entre paramètres climatiques (températures et précipitations) et richesse spécifique (17, 37).

Les données polliniques ont servi de base à une quantification climatique en utilisant la "méthode des amplitudes climatiques" basée sur les exigences climatiques actuelles des plantes pour interpréter les données. Les séquences polliniques disponibles pour la région méditerranéenne et notamment celles du bassin suspendu isolé Pô-Adriatique où la sédimentation a été continue durant toute la crise de salinité, ont fourni un enregistrement complet et montré qu'il n'y a pas de variation climatique à l'origine de la crise de salinité (7).

Les simulations paléoclimatiques (LMD et AGCM) (F. Fluteau) concernent différents scénarios (mer Méditerranée, plaine du Pô et Paratéthis orientale pleines d'eau; mer Méditerranée et mer Noire asséchées, mer Adriatique et plaine du Pô en eau, bassin Dacique en partie en eau). Parmi les premiers résultats, l'assèchement de la mer Méditerranée entraînerait une élévation du niveau de l'océan global de l'ordre de 8 m et une arrivée plus massive sur le domaine méditerranéen des masses d'air atlantiques qui sont détournées vers le Nord dans le cas d'une Méditerranée pleine d'eau. La crise de salinité modifie modérément la température dans le sud-est de la Méditerranée et au nord-est de l'Eurasie, elle modifie assez fortement les précipitations en Asie tropicale notamment. Sur cette base, le modèle CARAIB de modélisation de la végétation (L. François, M. Ghislain) a été appliqué au Messinien en utilisant en entrée les sorties climatiques des modèles de circulation générale LMD et AGCM (31, 36). Malgré des variations significatives selon les cas, les simulations préliminaires indiquent une extension des semi-déserts, des prairies et des forêts tropicales et une réduction des forêts tempérées et boréales.

5. La modélisation hydrologique de la Méditerranée et le problème du remplissage marin pliocène. P.-L. Blanc a fait porter l'effort sur l'amélioration du modèle océanographique qu'il a développé (34). Ce modèle apporte des informations sur la montée des salinités et la baisse des niveaux, l'isolement et l'assèchement des bassins marginaux, l'érosion des tributaires fluviaux, le rôle du seuil de Sicile sur l'hydrologie des bassins, la répartition des dépôts évaporitiques entre les deux principaux bassins et la généralisation diachrone des faciès lac-mer. Le remplissage marin de la Méditerranée au début du Pliocène a également fait l'objet d'une nouvelle théorie qui s'appuie à la fois sur la modélisation hydrologique et sur une analyse cartographique de la morphologie du détroit de Gibraltar qui prévoit que le remplissage pliocène résulterait de la capture des eaux atlantiques par l'érosion régressive d'un fleuve qui, initialement, coulait vers le fond de la Méditerranée asséchée. Ceci serait à l'origine de l'ouverture du détroit plio-quatenaire et le remplissage en quelques années de la Méditerranée pliocène (cataclisme zancléen) (3).

Les aspects 6 (Confrontation entre les enregistrements discontinus méditerranéens et les enregistrements continus en domaine atlantique) et 7 (Banque de données) feront spécifiquement l'objet de nos efforts en 2003.

6. Les principaux résultats ont été implantés sur le site Eclipse géré par MEDIAS-France fournissant ainsi une vitrine des recherches de l'ensemble de la communauté française spécialisée sur la crise de salinité messinienne