CARTOGRAPHIE PAR SONDEUR MULTIFAISCEAUX DE LA RIDE MÉDITERRANÉENNE ET DES DOMAINES VOISINS

Par Benoît LOUBRIEU , Catherine SATRA**

Ifremer, Institut français de recherche pour l'exploitation de la mer
Département géosciences marines
BP70, 29 280 Plouzané

Mots clés

Méditerranéenne orientale, bathymétrie, imagerie acoustique

INTRODUCTION

Le groupe de cartographie du département Géosciences Marines de l'Ifremer a pour vocation principale de traiter les données de bathymétrie et d'imagerie acoustique des fonds marins pour l'élaboration de documents cartographiques exploités par les chercheurs, géologues en particulier, dans le cadre de programmes scientifiques. Certaines zones océaniques ont fait l'objet de campagnes successives de reconnaissance au cours des dernières années : l'accès à une quantité importante de données sur une même zone a conduit le groupe de cartographie à mettre en place des projets de synthèse.
Plusieurs campagnes scientifiques du navire océanographique de l'Ifremer, *N/O L'Atalante*, utilisant le sondeur multifaisceaux Simrad EM12D, ont été réalisées en Méditerranée orientale. Les levés cartographiques de ces campagnes recouvrent une grande partie de la Ride Méditerranéenne et des domaines voisins que sont le delta profond du Nil (au large de l'Egypte), les monts Anaximandre (au sud de la Turquie), le mont Eratosthène et la ride de Florence (respectivement au sud et à l'ouest de Chypre) et enfin le prisme calabrais du bassin ionien. Cette quantité importante de données collectées ainsi que le niveau de résolution et l'intérêt prononcé des équipes scientifiques concernées, ont motivé la réalisation d'une synthèse cartographique de la Ride Méditerranéenne et des domaines voisins. Les représentations cartographiques, issues du processus de traitement, apportent une vision nouvelle de cette partie de la Méditerranée orientale.

ACQUISITION DES DONNÉES

Les données proviennent de quatre campagnes océanographiques (*Figure 1*) qui se sont déroulées à bord du navire océanographique de l'Ifremer, *N/O L'Atalante*. Ces campagnes, menées par différents laboratoires français et hollandais, ont été réalisées entre 1992 et 1998 avec pour objectif la reconnaissance cartographique de la Ride Méditerranéenne. Elles représentent une durée totale de travaux à la mer de 70 jours et une surface cartographiée de l'ordre de 375 000km2.

Liste des campagnes à la mer :

Campagnes	Année	Chef de mission	Organisme
Héralis	1992	J.P. Foucher	Ifremer
Médée	1995	N. Chamot-Rooke	CNRS/Insu
Anaxiprobe	1995	J. Woodside	NWO
Prismed2	1998	J. Mascle	CNRS/Insu

Le navire océanographique *N/O L'Atalante* est équipé du sondeur multifaisceaux Simrad EM12D (Hammerstad, 1991).

Ce sondeur multifaisceaux (*Figure 2*) fonctionne par émission/réception d'un signal acoustique. Les mesures produisent deux types d'information :

- le relief sous-marin,
- la réponse acoustique du fond marin.

A chaque cycle d'acquisition, le traitement du signal fournit, perpendiculairement à la route du navire, 162 sondes bathymétriques, calculées à partir du temps d'aller-retour du signal. De plus, le sondeur mesure le niveau de rétrodiffusion du signal acoustique sur le fond qui est dépendant de la nature du sédiment et de la morphologie. Le couloir couvert par le sondeur EM12D à chaque passage du bateau peut atteindre 7 fois la hauteur d'eau ; il

* *Benoit.Loubrieu@ifremer.fr, Catherine.Satra@ifremer.fr*

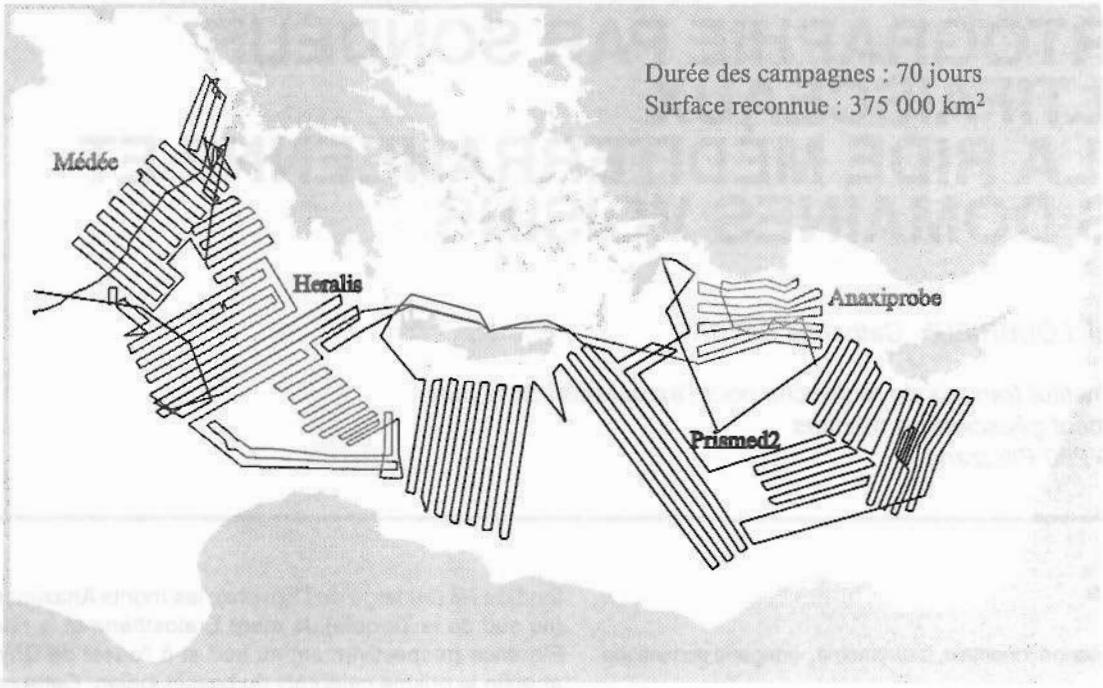

Figure 1 : Routes des navires suivies au cours des campagnes océanographiques du N/O L'Atalante en Méditerranée orientale

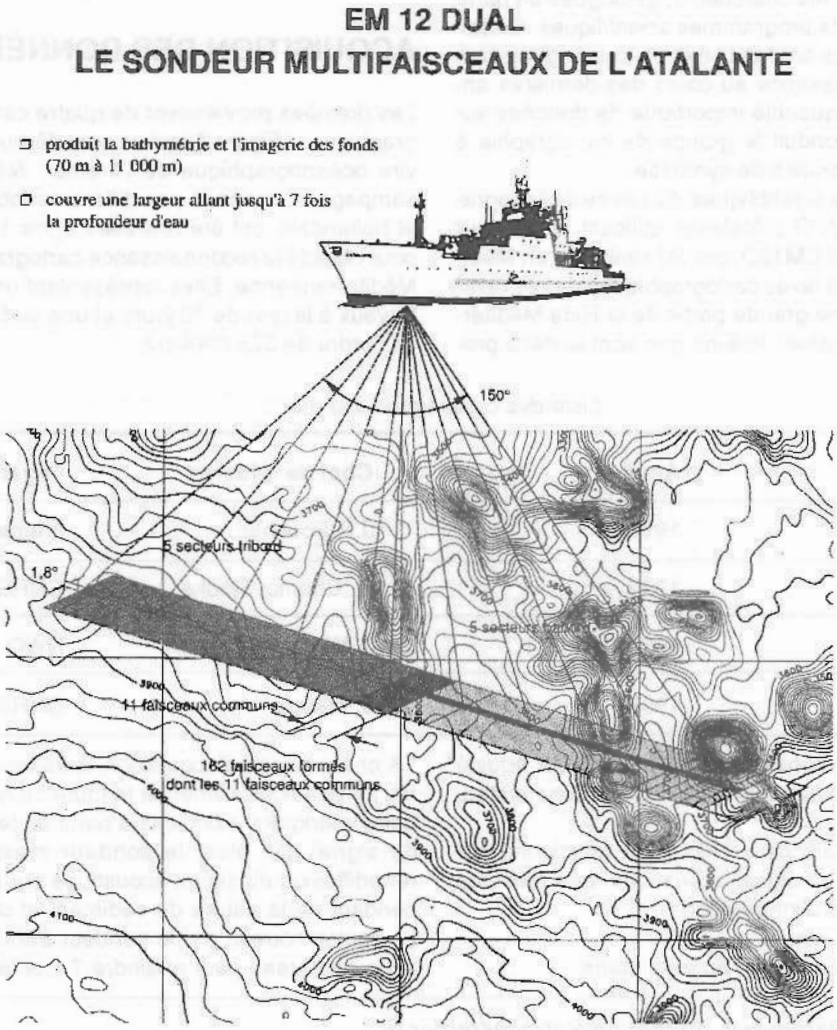

Figure 2 : Schéma de principe du sondeur multifaisceaux Simrad EM12D

est de l'ordre de 15km à une profondeur de 2500 mètres. La vitesse usuelle du navire en opération est de 10 nœuds (environ 18 km/h) et la cadence d'acquisition est de l'ordre de 10 secondes à une profondeur d'eau de 2500 mètres. Dans ces conditions, l'espacement des sondes acquises est de 80 à 100 mètres sur le fond, avec une précision de 0.3 à 0.5%.

Ces caractéristiques font du sondeur multifaisceaux EM12D de *L'Atalante* un outil de reconnaissance cartographique régionale rapide et précis.

TRAITEMENT DES DONNÉES

Le traitement des données du sondeur multifaiceaux a deux finalités :

- le calcul d'un modèle numérique de terrain, résultant des mesures de bathymétrie. Un modèle numérique de terrain est une grille régulière de valeurs bathymétriques interpolées à partir des données brutes du voisinage.
- la constitution d'une mosaïque d'images acoustiques, résultant de l'exploitation de la réflectivité du signal acoustique sur le fond. Chaque pixel de la mosaïque correspond à une surface élémentaire sur le fond associée à un niveau de rétrodiffusion exprimé en décibels.

Les traitements sont réalisés à l'aide des logiciels Caraïbes et Imagem, développés par l'Ifremer (www.ifremer.fr/caraibes).

Traitement des données de bathymétrie

Les étapes essentielles du traitement des données de bathymétrie sont (Bourillet, 1996) :

- *Le contrôle, la validation et le filtrage des données brutes.* Les données brutes peuvent être dégradées soit par la présence de sondes aberrantes, soit par des bruits de mesure. Les bruits de mesure sont généralement liés aux paramètres d'environnement que sont en particulier l'attitude, le positionnement du navire et la mesure de la célérité du son dans l'eau.
- *La constitution du modèle numérique de terrain.* La qualité du modèle numérique de terrain est directement liée à la qualité des données brutes et aux opérations d'élimination d'erreurs appliquées à celles-ci, ainsi qu'au choix du pas de grille qui permet d'adapter le modèle à l'espacement des sondes et à l'échelle de la carte.
- *Le lissage des modèles numériques de terrain.* Des opérations sont appliquées directement au modèle numérique de terrain pour éliminer certains artéfacts liés aux données brutes et qui n'ont pu être corrigés antérieurement.

Dans le cadre d'un projet de synthèse, il est également indispensable de procéder au contrôle de l'homogénéité des données issues de campagnes différentes : ce contrôle est possible lorsque des zones communes ont été cartographiées permettant la comparaison des données brutes. Dans le cas de la Ride Méditerranéenne, les campagnes ont été réalisées avec les mêmes outils (navire et sondeur) et le processus de traitement est identique pour l'ensemble des données, ce qui assure l'homogénéité du modèle numérique de terrain final.

Traitement des données de réflectivité

Les données de réflectivité du signal acoustique sur le fond sont exploitées selon les opérations principales suivantes (Augustin,1994) :

- *La modélisation des cycles d'acquisition des données pour le calcul des courbes de correction des secteurs angulaires d'émission du signal.* Cette opération permet d'homogénéiser les données des cinq secteurs angulaires du sondeur. Cette modélisation est calculée sur des séries de cycles correspondant à une réponse acoustique homogène sur le fond.
- *La réalisation d'une mosaïque d'images acoustiques.* Les pixels d'imagerie acoustique sont positionnés à partir des données de navigation, de bathymétrie et de célérité. Les courbes de correction des secteurs angulaires sont appliquées en même temps que le mosaïquage des données.
- *Interpolation des mosaïques.* La taille du pixel est choisie en fonction de l'échelle cartographique. Aux échelles habituelles de traitement, cette taille est inférieure à l'espacement entre deux cycles consécutifs d'acquisition sondeur. Dans ce cas, une interpolation est nécessaire : elle est faite à l'aide d'un algorithme d'interpolation qui tient compte du voisinage.
- *Réhaussement de contraste.* La visualisation des mosaïques d'images acoustiques se fait classiquement en niveaux de gris : l'application d'un réhaussement de contraste permet d'utiliser au mieux la palette de gris en fonction de l'histogramme des valeurs des pixels, pour une meilleure lisibilité des images obtenues.

Dans le cadre du projet de synthèse cartographique de la Ride Méditerranéenne, le résultat des traitements est le calcul d'un modèle numérique de terrain dont le pas de grille correspond à 250 mètres sur le fond et la constitution d'une mosaïque dont la taille du pixel est de 62.5 mètres. Cette résolution est compatible avec la résolution des données acquises et permet d'atteindre des échelles maximales de représentation cartographique de l'ordre du 1/250000e. Sur certaines structures morphologiques particulières, une échelle 1/100000e est également possible.

Le projet de cartographie de la Ride Méditerranéenne prévoit l'acquisition de nouvelles données. L'intégration de ces données aux résultats obtenus actuellement pourra se faire par application des mêmes procédures pour assurer l'homogénéité des résultats.

RÉSULTATS CARTOGRAPHIQUES ET APPORTS AUX ÉTUDES GÉOLOGIQUES

Puisque le processus de traitement aboutit à l'obtention de fichiers numériques, l'exploitation des données permet aussi bien différents types de représentation cartographique que des études numériques spécifiques telles que les études de pente ou les études de caractérisation des fonds. L'échelle choisie pour les cartes de synthèse de bathymétrie et de réflectivité (Edition Ifremer et CIESM, 2001) est le 1/1500000e. La carte morpho-bathymétrique est établie sur la base d'un modèle numérique de terrain au pas de grille de 500 mètres (par réduction du modèle numérique

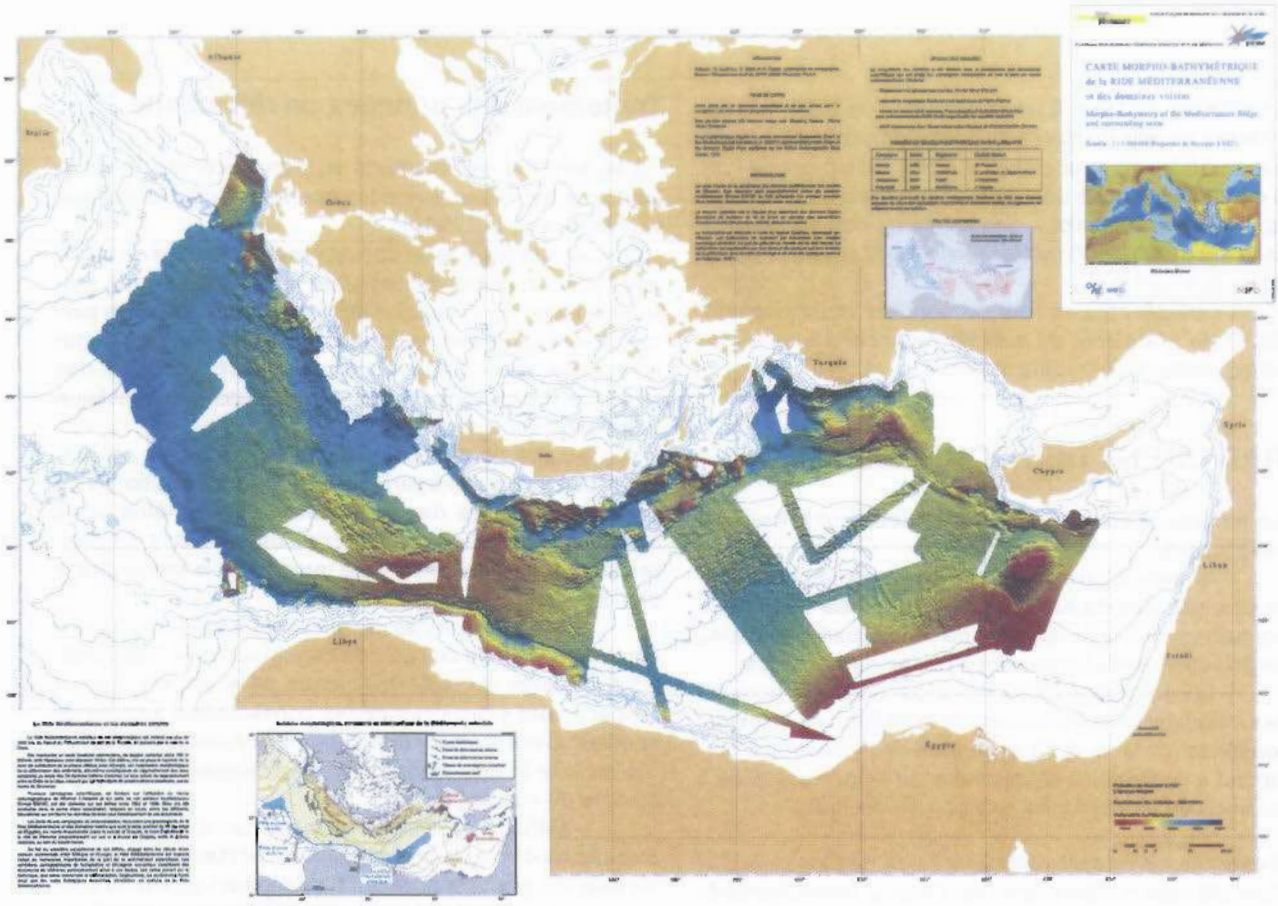

Figure 3 : Carte morphobathymétrique de la Ride Méditerranéenne et des domaines voisins (d'après édition Ifremer et CIESM, 2001)

Figure 4 : Mosaïque d'images acoustiques de la Ride Méditerranéenne et des domaines voisins (d'après édition Ifremer et CIESM, 2001)

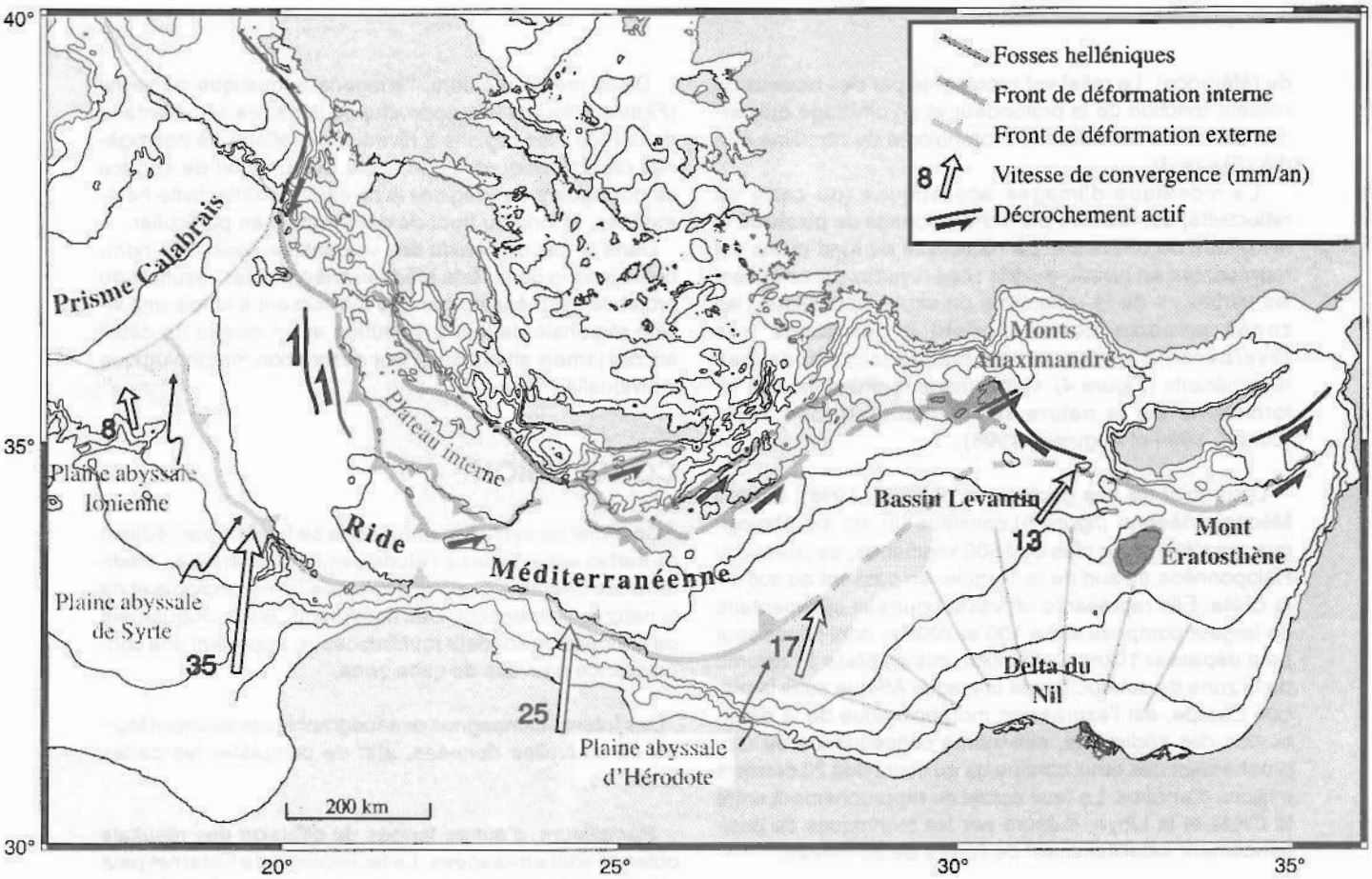

Figure 5 : Schéma morphologique et structural de la Méditerranée orientale

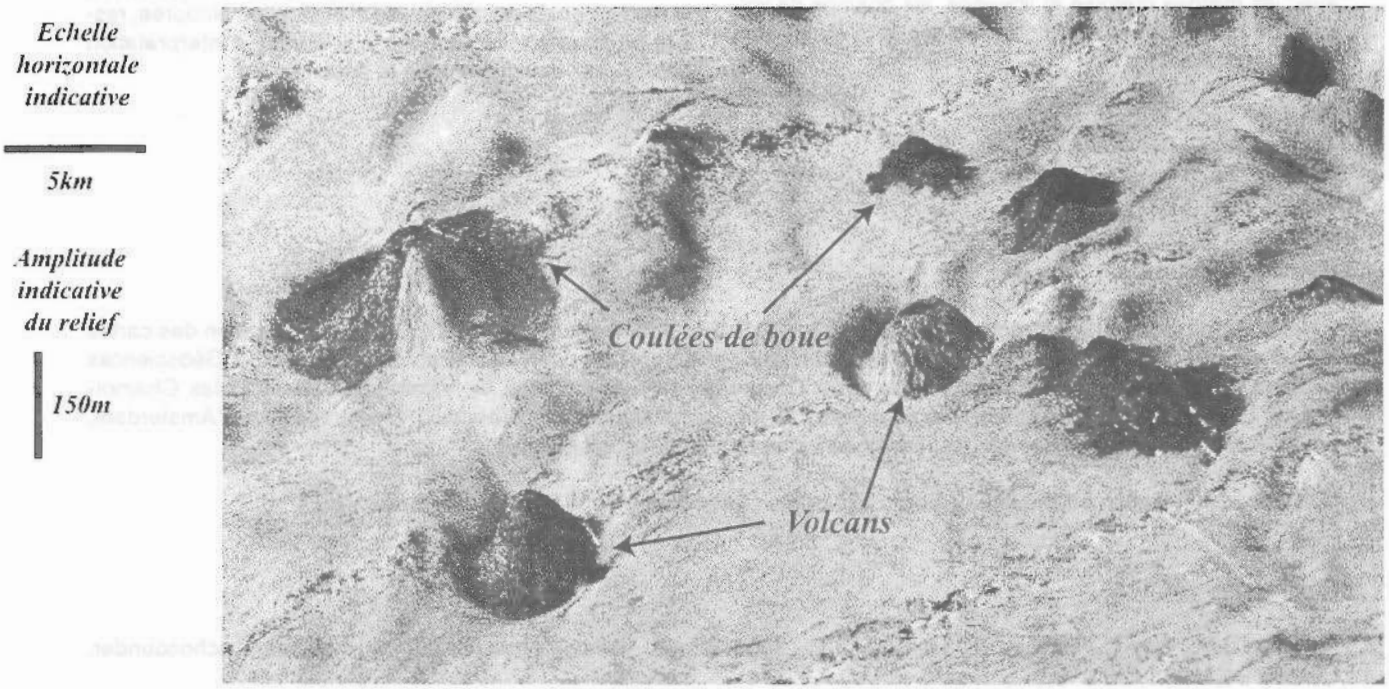

Figure 6 : Vue 3D de la morphologie et l'imagerie acoustique du champ de volcans de boue Olympie sur la Ride Méditerranéenne au sud de la Crète

de référence). Le relief est représenté par des niveaux de couleur fonction de la profondeur et un ombrage qui permet de mettre en valeur la morphologie du domaine étudié (*Figure 3).*

La mosaïque d'images acoustiques (ou carte de réflectivité) est réalisée par échantillonage de pixels de la mosaïque de référence. La réflectivité du fond marin est représentée en niveau de gris : ces niveaux caractérisent les variations de la réflectivité du signal acoustique, les zones sombres correspondent à des fonds très réverbérants et les zones claires aux fonds peu réverbérants (*Figure 4).* Cette image fournit donc des informations sur la nature sédimentaire du fond marin (Lurton, 1994 et Augustin, 1996).

D'un point de vue géologique (CIESM, 1998), la Ride Méditerranéenne *(figure 5)* constitue un arc morphologique qui s'étend sur plus de 1500 kilomètres, de l'ouest du Péloponnèse au sud de la Turquie, en passant au sud de la Crète. Elle représente un vaste bourrelet sédimentaire de largeur comprise entre 100 et 200km, dont l'épaisseur peut dépasser 10km. Cet édifice, mis en place à l'aplomb de la zone de subduction de la plaque Afrique sous la plaque Europe, est l'expression morphologique de la déformation des sédiments, elle-même conséquence du rapprochement des deux continents au cours des 20 derniers millions d'années. Le taux actuel du rapprochement entre la Crète et la Libye, mesuré par les techniques de positionnement satellitaire, est de l'ordre de 30 mm/an.

La carte morpho-bathymétrique *(figure 3)* fournit une vision nouvelle du relief de la Méditerranée orientale : certaines caractéristiques structurales sont très bien mises en évidence, grâce d'une part à la résolution des données et d'autre part au mode de visualisation. Le front de déformation de la Ride Méditerranéenne, le contact de la Ride avec les marges crétoise et libyenne, les champs de volcans de boue, le réseau de chenaux du delta du Nil sont bien identifiables.

De la même manière, l'imagerie acoustique générale (*Figure 4)* fournit une approche de la nature sédimentaire de la Ride : les régions à niveaux de réflectivité homogènes caractéristiques d'une faible déformation de surface se distinguent des régions à niveaux de réflectivité hétérogènes, le long du front de déformation en particulier.

Dans le cas de l'étude des volcans de boue, très nombreux le long de la Ride Méditerranéenne, les résultats du projet de synthèse numérique fournissent à la fois une vision régionale de leur distribution et un niveau de détail encore jamais atteint dans leur description morphologique individuelle (*Figure 6*).

CONCLUSION

Ce projet de synthèse numérique se finalise par l'édition de cartes essentielles à l'étude des fonds marins en Méditerranée orientale du point de vue de la morphologie et de la nature sédimentaire. Ces documents, issus uniquement de données de sondeur multifaisceaux, apportent une connaissance nouvelle de cette zone.

Des futures campagnes océanographiques pourront fournir de nouvelles données, afin de compléter les cartes actuelles.

Par ailleurs, d'autres formes de diffusion des résultats obtenus sont envisagées. La technologie de l'internet peut permettre de mettre à disposition la richesse de l'information fournie par ce type de données, sous forme de fichiers numériques. Le niveau de résolution adopté au cours du processus de traitement permet en particulier la production de cartes ou images plus détaillées, afin de se focaliser sur certaines cibles d'intérêt pour les utilisateurs.

Ces travaux techniques, de la cartographie classique à la production de documents de visualisation élaborée, restent toujours étroitement liés aux études d'interprétation géologique, morphologique et sédimentaire.

Remerciements

Nous remercions particulièrement Monsieur Frédéric Briand pour le soutien de la CIESM* à la réalisation des cartes qui ont servi de base à cette publication. Nous remercions également Messieurs Jean-Paul Foucher, Ifremer Géosciences Marines, Jean Mascle, UMR Géosciences Azur, Observatoire océanologique de Villefranche/Mer, Nicolas Chamot-Rooke, Laboratoire de géologie, Ecole normale supérieure de Paris et John Woodside, Université libre d'Amsterdam, pour l'accès aux données des campagnes océanographiques qu'ils ont dirigées.

*CIESM : Commission Internationale pour l'Exploration Scientifique de la mer Méditerranée

Références

Augustin J.M., Edy C., Savoye B., Le Drezen E., 1994. Sonar mosaic computation from multibeam echosounder. Oceans'94, Vol2: 433-438.

Augustin J.M., Le Suavé R., Lurton X., Voisset M., Dugelay S., Satra C., 1996. Contribution of the multibeam acoustic imagery to the exploration of the sea-bottom. Marine Geophysical Researches 18 : 459-486.

Bourillet J.F, Edy C., Rambert F., Satra C., Loubrieu B., 1996. Swath mapping system processing : bathymetry and cartography. Marine Geophysical Researches 18 : 487-506.

Hammerstad E. ,Ohner F., Parthiot F. and Bennett J., 1991. Field testing of a new deep water multibeam echosounder. Oceans'91, Vol2: 743-749.

Lurton X., Dugelay S., Augustin J.M., 1994. Analysis of multibeam echo-sounder signals from the deep seafloor. Oceans'94, Vol3 : 213-218.

CIESM,1998. Workshop - Multibeam swath mapping of the Mediterranean, Rapport Comm. Int. Mer Médit.,35 (1) : 34-45

Loubrieu B., Satra C., Cagna R., 2001. Cartographie par sondeur multifaisceaux de la Ride Méditerranéenne et des domaines voisins. Edition Ifremer et CIESM, 2 cartes pliées à l'échelle 1/1500000e.

Pour obtenir les cartes

Les cartes " Cartographie par sondeur multifaisceaux de la Ride Méditerranéenne et des domaines voisins " à l'échelle 1/1500000e sont éditées par l'Ifremer et la CIESM sous forme de 2 cartes pliées, avec lunettes de visualisation 3D :
Editions Ifremer, Plouzané (Fr) tél. 33 (0) 2 98 22 40 13, editions@ifremer.fr
Editions CIESM, Monaco, tél. 377 93 30 38 79, ciesm@ciesm.org

CARTOGRAPHIE DES DRAPEAUX A TRAVERS LE MONDE

Par Pierre LACROIX, Ecole Nationale des Sciences Géographiques, cycle des Ingénieurs Géographes

Le Petit Larousse définit le drapeau de la manière suivante : " pièce d'étoffe attachée à une hampe, portant l'emblème, les couleurs d'une nation, d'une unité militaire, d'un groupe, et servant de signe de ralliement ".

Ainsi, un drapeau revêt souvent une forte connotation historique : il peut symboliser un pays réel ou imaginaire (bande dessinée, jeux de rôle), une nation, une ville (armoiries), une région, un message (drapeau blanc), une signalisation (drapeau à damiers en Formule 1), une organisation (ONU)...

L'étude présente se cantonne à la représentation des différents États du monde à travers la symbolique de l'espace et de la géographie. Les significations de chaque objet et de chaque couleur présents sur les drapeaux de tous les états ont été regroupées en six thèmes :

-l'union avec d'autres pays,
-la culture et les ethnies,
-la géographie et la nature,
-l'histoire, l'idéologie et la politique,
-la religion,
-l'emblème du pays.

Il peut arriver que pour un état donné, on trouve plusieurs objets ou couleurs appartenant au même thème.

I L'union avec d'autres pays

Les drapeaux de la Tanzanie et de Singapour arborent les couleurs de la fraternité et de l'unité des peuples, respectivement le noir et le rouge.

Une quinzaine de drapeaux d'Afrique noire sont aux couleurs panafricaines : le rouge rappelle l'indépendance – dans la plupart des cas, la décolonisation- tandis que le vert renvoie à la forêt et le jaune à la savane.

Pour cinq pays situés autour du Rift africain, le noir est apparenté au peuple ; ce sont le Ghana, le Kenya, le Malawi, l'Ouganda et la Zambie.

Le bleu du drapeau tchadien affirme les liens avec la France.

Huit États africains ou asiatiques, voisins de la mer Rouge, sont aux couleurs panarabes : rouge, blanc, noir, vert.

La plupart des pays d'Amérique Centrale portent les couleurs de l'unité centraméricaine : bleu et blanc. La Colombie se joint à eux, avec du jaune.

De même, quatre pays des Balkans adhèrent à l'unité panslave grâce au bleu, au blanc et au rouge.

Ces États sont tous situés dans des points chauds du monde ou l'ont été au cours des dernières décennies.

Au total, une quarantaine de pays sont concernés par ce premier thème (voir carte n°1), la grande majorité d'entre eux au moyen de bandes colorées.

II La culture et les ethnies

Une quinzaine d'États apparaissent sur la carte n°2.

Cinq pays d'Afrique orientale, plus l'Azerbaïdjan et la Dominique honorent les diverses ethnies ou les ethnies majoritaires par des bandes et des étoiles de différentes couleurs.

Cinq pays tropicaux (Antigua-et-Barbuda, Cap-Vert, Guyana, Mauritanie, Trinidad-et-Tobago) rendent hommage à certaines caractéristiques de la population : couleur de peau, dynamisme, volonté, ardeur, détermination, vitalité, énergie, ténacité. Ces pays ont connu ou connaissent encore l'esclavage.

Le motif central du drapeau du Kirghizistan, une tente de nomade, symbolise le style de vie des habitants, tandis que l'ombrelle royale, les ailes et les mains ouvertes du drapeau du Bruneï sont à l'image de rites encore très ancrés dans la vie quotidienne en Insulinde.

III La géographie et la nature

Fortement représenté par des états le plus souvent peu peuplés et relativement sauvages, ce thème est illustré sur les cartes n°3.1 et 3.2.

Sur une vingtaine de drapeaux, des formes géométriques (étoiles, losanges, tuiles ...) revêtent un caractère administratif ; le nombre d'étoiles ou de branches sur une étoile peut indiquer le nombre de provinces dans le pays ou le nombre d'îles de l'archipel.

Une vingtaine de drapeaux s'intéresse aux astres et au ciel. On trouve des disques pour représenter le soleil, des étoiles pour la Croix du Sud, du bleu pour l'azur, ou encore une ligne pour marquer l'équateur.

Pas moins de vingt-six États rendent hommage à l'eau sous toutes ses formes (mer, neiges, glaces, fleuves ...), qu'ils soient côtiers, enneigés ou désertiques. Le blanc, le bleu et l'utilisation de bandes conviennent parfaitement pour décrire ce sous-thème.

Quatre pays rendent hommage aux montagnes et volcans : Hongrie, Islande, Sainte-Lucie, Slovénie. Les deux premiers le font par la couleur (vert, rouge, bleu), les deux autres par la forme (arrondi, pointe).

Les richesses, ressources naturelles, la fertilité, les exploitations forestières sont représentées sur une vingtaine de drapeaux. On retrouve principalement le vert, le jaune