

**Session 8 : Observatoires inhabités du fond de la mer**

**La prise d'échantillons géologiques sur les fonds sous-marins :  
nécessité urgente d'une instrumentation nouvelle**

Jacques Girardeau\*, Jean-Marie Auzende\*\*, Gilbert Boillot\*\*\*

- \* Laboratoire de Pétrologie Physique, IPGP-Univ.P7, Paris, France
- \*\* IFREMER, Centre de Brest, BP 70, 29280 Plouzané, France
- \*\*\* Laboratoire de Géodynamique Sous-marine, Univ.P6, Villefranche-sur-Mer, France

Pour les géologues, le submersible Nautille permet (1) l'observation et la prise de vue des structures géologiques sous-marines, (2) la prise d'échantillons à l'aide de ses bras articulés et (3) la mesure directe de différents paramètres physiques ou chimiques à l'aide d'instruments tenus ou déposés sur le fond à l'aide des bras. C'est par conséquent un outil essentiel pour étudier et comprendre les structures géologiques sous-marines et en particulier pour dresser des cartes lithologiques et structurales des fonds sous-marins.

L'observation directe et la prise d'échantillons ne suffisent cependant pas pour comprendre les mécanismes de formation des structures géologiques étudiées, qui pour la plupart d'entre elles sont des zones tectoniques récentes comme les rifts océaniques et les marges continentales actives ou passives.

Il est actuellement impossible à l'aide du submersible Nautille de mesurer l'orientation dans l'espace des structures planaires ou linéaires observées in situ, comme par exemple les plans de faille dans les rifts océaniques ou les directions des stries dans ces plans particuliers, avec une précision suffisante, la mesure de ces structures ne pouvant être estimée que visuellement (précision inférieure à 40 degrés). Ceci interdit donc toutes études micro-tectoniques de ces systèmes.

Les échantillons prélevés permettent l'analyse de leur composition chimique et l'observation de leurs structures internes. Dans les échantillons ayant été déformés, l'étude de la géométrie des structures internes devrait permettre de retracer leur évolution tectonique et ainsi de comprendre les processus de leur formation et/ou de leur mise en place. Les échantillons n'étant malheureusement pas prélevés orientés, l'orientation réelle de ces structures dans leur contexte géodynamique propre ne peut être connue.

Ces deux exemples précis montrent la nécessité urgente de la mise au point d'un système de contrôle de l'orientation d'un des bras articulés du submersible Nautille pour exploiter pleinement les données et rentabiliser l'utilisation de ce submersible pour les études géologiques sous-marines. Cela permettra de passer du stade actuel, principalement qualitatif, à un stade plus quantitatif.

---

**Résumé**

*Pour réaliser des études tectoniques et paléomagnétiques de qualité sur les fonds océaniques à l'aide de submersibles de type Nautille, il est nécessaire de pouvoir mesurer précisément des orientations de plans ou de lignes et de pouvoir prélever des échantillons orientés dans l'espace, ce qui nécessite la mise au point d'une instrumentation nouvelle. Ces points sont développés à partir d'exemples concrets.*

Pour les géologues et géophysiciens, le submersible permet 1) l'observation et la photographie de structures géologiques sous-marines, 2) la prise d'échantillons à l'aide de ses bras articulés et 3) la mesure directe de différents paramètres physiques ou chimiques grâce à des instruments tenus par les pinces ou posés sur le fond. C'est en conséquence un outil essentiel pour étudier les roches et les structures géologiques sous-marines et ainsi comprendre la géodynamique des fonds océaniques. Les études par submersible ont permis de réaliser de grandes découvertes sur la structure de ces fonds marins. C'est en effet grâce à ces sous-marins qu'on a découvert et étudié l'activité magmatique et hydrothermale de la ride médio-Atlantique, c'est avec le Nautille qui permet de plonger à plus de 5000 m de profondeur qu'on a pu étudier les fosses sous marines et, en particulier, mettre en évidence l'activité hydrothermale associée à la subduction des plaques océaniques. Ces submersibles sont pour les géologues qui étudient les fonds océaniques des outils indispensables, ils ont depuis longtemps acquis leur lettres de noblesse, nul ne peut en douter et nul n'oserait prétendre le contraire.

Toutefois, si l'observation des structures géologiques, leur photographie et l'étude des échantillons permettent de dresser des cartes lithologiques des fonds sous-marins et de comprendre les processus magmatiques liés à leur formation ou destruction, ces informations ne suffisent pas pour comprendre les mécanismes de formation des structures tectoniques majeures des océans que sont les rifts océaniques, les failles transformantes ou les zones de subduction. Des améliorations doivent être apportées au submersible : il est en effet impératif de pouvoir mesurer des orientations précises et prélever des échantillons orientés dans l'espace pour réaliser des études tectoniques et paléomagnétiques de qualité. Mesurer l'orientation d'un plan nécessite de connaître la position de ce plan par rapport au Nord magnétique (ou géographique) et par rapport à un plan horizontal. Un échantillon sur lequel on définit l'orientation d'une de ses faces est un échantillon dit orienté.

Les méthodes de la Tectonique reposent sur l'analyse et la mesure de différentes structures, macroscopiques ou microscopiques (failles ou schistosité par exemple) imprimées dans les roches. Cette analyse géométrique permet de connaître l'orientation des axes de l'ellipsoïde de déformation finie et dans certains cas d'en estimer l'intensité. Elle se complète par une analyse cinématique qui, pour la plupart des cas doit être réalisée à partir d'échantillons orientés, analyse permettant de déterminer la nature des mouvements à l'origine des structures tectoniques. De ces résultats, on peut alors définir un champ de déformation à l'échelle d'une région et ainsi remonter au processus

fondamentaux à l'origine des déformations .D'observations et de mesures "ponctuelles", on passe alors au cadre géodynamique plus global.

Or, à l'aide du submersible Nautile, il s'avère actuellement impossible de mesurer l'orientation dans l'espace de structures planaires ou linéaires observées et photographiées *in situ* comme par exemple les plans de failles ou les directions de stries dans ces plans particuliers, structures visibles à l'axe des rifts océaniques. Les mesures effectuées par les tectoniciens sont réalisées par visée et l'imprécision que l'on peut estimer sur ces mesures est toujours grande, atteignant dans beaucoup de cas une quarantaine de degrés. Celles-ci sont encore accentuées dans le cas des failles à faible pendage, ce qui peut entraîner de graves erreurs dans l'interprétation de ces structures. Ceci est illustré sur la figure 1 qui montre une faille F1 le long de laquelle aurait été récolté un échantillon (orienté) E1 ayant subi une déformation cisailante impliquant un mouvement de l'Ouest vers l'Est. Dans ce schéma, cette structure est une faille inverse dont la formation pourrait être reliée à des mouvements compressifs (C). L'imprécision (40 degrés) sur les mesures faites en visée fait, malheureusement, que cette faille peut en fait avoir un pendage opposé (F2) : ce serait alors une faille normale liée non pas à un mouvement compressif.mais distensif (D). Cet exemple montre la difficulté que rencontre le géologue marin pour interpréter avec justesse les observations et les mesures faites avec le submersible.

L'étude des échantillons de roche prélevés dans les océans permet de dresser leur histoire magmatique et leur évolution métamorphique, apports là encore critiques pour la compréhension de la dynamique profonde des domaines océaniques. On peut en plus y étudier précisément la géométrie de leurs structures internes et ainsi comprendre leur évolution tectonique. Mais, du fait que les échantillons ne sont pas orientés dans l'espace pendant l'échantillonnage (comme cela se fait pour les études réalisées à terre avec une précision inférieure à 5 degrés), leurs caractéristiques microstructurales ne peuvent malheureusement pas être utilisées pour contraindre les mécanismes à l'origine des structures étudiées. Ces problèmes se sont posés à plusieurs reprises lors de l'étude des péridotites du Banc de Galice échantillonné pendant la campagne Galinaute du submersible Nautile (Boillot et al., 1986; Beslier et al., 1990). Les échantillons récoltés étaient pour la plupart des roches déformées montrant des structures acquises lors de déformations cisailantes intenses, structures permettant aisément de retrouver les directions et sens de mouvement à l'origine des déformations. Les figures 2 A et B montrent que de telles structures ne sont parlantes en terme de géodynamique que si celles-ci sont orientées dans l'espace : dans le cas A la figure d'enroulement indique un

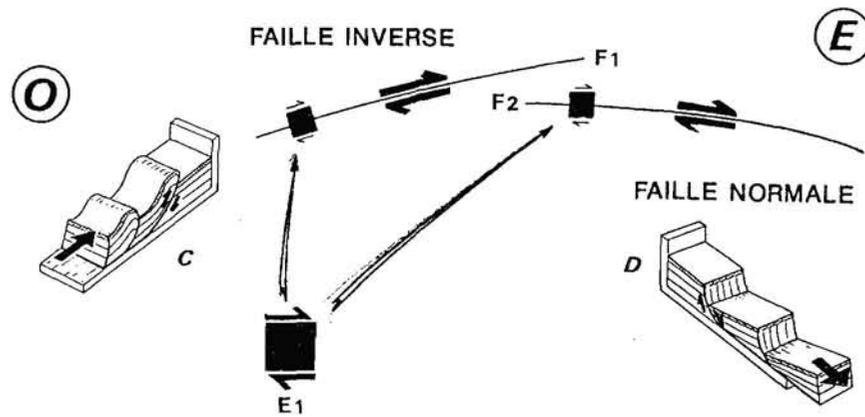


Fig. 1 : Exemple d'erreurs d'interprétations pouvant résulter de l'imprécision dans l'orientation d'une faille à faible pendage. Compte tenu des difficultés d'observations par les hublots du submersible et de l'erreur sur les mesures ( $\pm 20$  degrés), on peut envisager qu'une faille F1 à pendage faible (15 degrés) vers l'Ouest peut en fait avoir un pendage Est d'une quinzaine de degrés (F2). L'interprétation que l'on peut en donner est alors très différente, faille inverse dans le premier cas lié à un épisode compressif (C), faille normale dans le second cas liée à une distension (D). D'après Mattauer, 1989 (modifié).

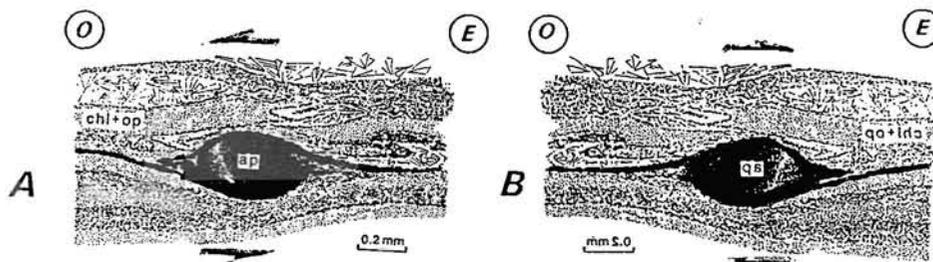


Fig. 2 : Exemple de structure indiquant le sens de cisaillement dans un roche. Dans le cas A, la figure d'enroulement indique un mouvement de l'Est vers l'Ouest et dans le cas B de l'Ouest vers l'Est. Ce type de renseignement, fondamental pour comprendre les mécanismes à l'origine des déformations et donc la tectonique d'une région étudiée, ne peut être utilisé si les échantillons n'ont pas été prélevés orientés. D'après Beslier et al., 1990 (modifié).

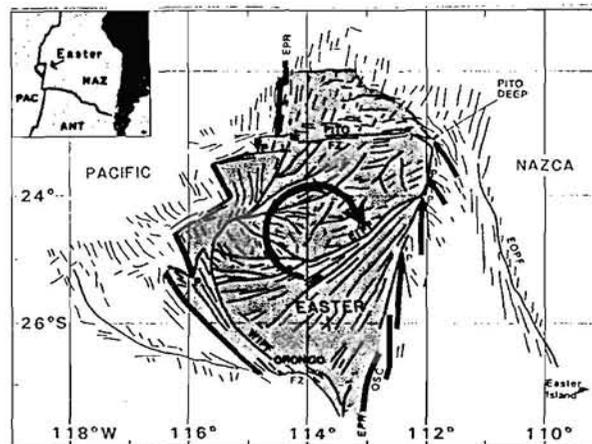


Fig. 3 : Interprétation tectonique de la microplaque de l'île de Paques (ride Est-Pacifique) à partir de données de sonar GLORIA et SeaMARK II. Les lignes en gras indiquent les limites de plaques. Cette microplaque aurait subi une rotation dextre. D'après D'Searle et al., 1989. Nature, 341, 6244, 701-7045.

mouvement de l'Est vers l'Ouest, dans le cas B de l'Ouest vers l'Est. On voit donc que lorsque les échantillons ne sont pas pris "orientés", une partie de l'information qu'ils contiennent, ne peut être reliée au contexte géodynamique global, ou bien alors, qu'avec d'extrêmes précautions.

Le besoin d'un matériel de prélèvement d'échantillons orientés se fait également ressentir dans le domaine du paléomagnétisme. Cette discipline a largement démontré, ces dernières années, son utilité en terme de marqueur géodynamique: quantification des déplacements relatifs et absolus en latitude des plaques continentales, des quantités de raccourcissement intracontinental associés aux collisions (voir l'exemple de la collision Inde-Asie), ainsi que des rotations relatives et absolues, de l'échelle d'une plaque à celle de domaines continentaux de taille restreinte. Pour des raisons évidentes de facilité d'accès, les études paléomagnétiques n'ont jusqu'à présent été effectuées qu'en domaine continental, ou océanique émergé, du moins en ce qui concerne les applications tectoniques de cette discipline. En effet, en domaine océanique, seule la magnétostratigraphie est actuellement accessible par l'étude de l'inclinaison magnétique et de l'intensité de l'aimantation dans les carottes marines. Cependant, l'absence de réelle orientation de ces carottes n'autorise pas les études paléomagnétiques plus complètes. Il apparaît depuis peu un besoin grandissant d'étendre ce type d'étude au fond des océans.

On prendra pour exemple les résultats récents de l'étude tectonique et géodynamique de la microplaque Ile de Paques, sur la ride Est-Pacifique (Fig. 3). Le traitement et l'interprétation de données bathymétriques, magnétiques et gravimétriques obtenues sur le N.O. J. Charcot, ont conduit Francheteau et al (1988) et Zukin et Francheteau (1990) à proposer un modèle cinématique de fonctionnement de cette microplaque, privilégiant un comportement essentiellement rigide de celle-ci. Ce modèle implique notamment d'importantes rotations rigides de l'ensemble de la microplaque depuis son apparition, rotations dont les vitesses ont, de plus, varié dans le temps. Une étude paléomagnétique de cette microplaque, seule méthode directe permettant de remonter aux quantités de rotation, et éventuellement à leurs vitesses, permettrait de tester ce modèle.

La précision des résultats obtenus dépend de manière directe de la précision de l'orientation des échantillons prélevés. Les techniques d'échantillonnage à terre permettent d'atteindre une précision de l'orientation des échantillons de l'ordre de 1° à 3°. Du fait des possibles déviations apportées à la boussole par un affleurement de roches

très aimantées, comme par exemple les basaltes ou les péridotites, il faut souligner que l'on ne peut se contenter de mesurer l'orientation des échantillons par rapport au Nord Magnétique, mais qu'il est nécessaire de pouvoir la mesurer par rapport au Nord Géographique. A terre, ce problème est résolu par la mesure de l'azimut du soleil au moment du prélèvement, ce qui permet de déterminer la déclinaison magnétique exacte à l'endroit de ce prélèvement. Il est donc nécessaire de disposer d'une technologie particulière (de type compas gyroscopique ?) pour mesurer des azimuths géographiques en l'absence de soleil, et ce, avec une précision minimum de l'ordre de 5°.

Grâce au développement de submersibles de type Nautille, les fonds des océans sont maintenant accessibles à l'échantillonnage *in situ*. Il n'y a par conséquent pas de barrière technologique majeure au développement des études paléomagnétiques en domaine océanique, sinon le manque actuel de matériel d'échantillonnage et d'orientation adapté aux contraintes de cette méthode. Le développement d'un système de contrôle de l'orientation d'un des bras articulés du submersible Nautille permettrait l'obtention de données nouvelles et ainsi d'exploiter et rentabiliser pleinement l'utilisation de ce submersible par la communauté géologique et géophysique. Cela permettrait de passer au stade actuel, principalement qualitatif en ce qui concerne les études tectoniques, à un stade plus quantitatif.

## REFERENCES

- M-O Beslier, J. Girardeau, G. Boillot. 1990. Kinematics of peridotite emplacement during continental rifting, Galicia. Tectonophysics 184, 321-343.
- G. Boillot, M. Comas, J. Girardeau, J. Kornprobst JP. Loreau, J. Malod J., M. Moullade 1986. Fonds sous-marins basaltiques et ultramafiques au pied d'une marge stable: résultats de la campagne Gallinaute. C. R. Acad. Sci. Paris, 303, II, 19, 1719-1724.
- J. Francheteau, P. Patriat, J. Segoufin, R. Armijo, M. Doucoure, A. Yelles-Chaouche, J. Zekin, S. Calmant, D.F. Naar and R.C. Searle (Rapanui Scientific Party) : Pito and Orongo fracture zones: the northern and southern boundaries of the Easter microplate (southeast Pacific). Earth Planet. Sci. Lett., 89, 363-374, 1988.
- M. Mattauer. 1989. Monts et merveilles. Editions Hermann, 267pp.
- J. Zekin and J. Francheteau. A tectonic test of instantaneous kinematics of the Easter microplate. Oceanol. Act., 10, 1-16, 1990.
- R.C. Searle, R.I. Rusby, J. Engeln, R.N. Hey, J. Zekin, P.M. Hunter, T.P. LeBas, H.J. Hoffman, R. Livermore. 1989. Nature 341, 6244, 701-705.