

Xavier LE PICHON

*Géophysicien, membre de l'Académie des sciences, directeur du laboratoire
de géologie de l'École normale supérieure de Paris (URA 13-16).*

L'OCÉANOGRAPHIE EN TEMPS RÉEL

La Terre est maintenant considérée comme un ensemble interactif dans lequel l'atmosphère, l'hydrosphère, la biosphère et la lithosphère, entendue au sens large et comprenant croûte, manteau et noyau, forment un système transitoire complexe gouverné par des constantes de temps très variables.

C'est du moins ce que nous affirmons. Mais, nous, océanographes, l'avons-nous pris suffisamment en compte dans nos méthodes de travail à la mer et dans notre stratégie scientifique ?

J'ai commencé mes recherches il y a plus de 30 ans en océanographie physique. A l'époque, même en ce domaine, l'océan n'était vraiment étudié que dans son régime permanent. La plupart des observations pouvaient être utilisées indépendamment de l'année durant laquelle elles avaient été effectuées, même s'il fallait tenir compte de la saison pour certains phénomènes plus superficiels. Que dire alors des sciences géologiques ? Nous admettions que la plu-

part des processus agissant dans les océans avaient des constantes de temps de milliers, voire de millions d'années alors que nous avons découvert que pour certains d'entre eux, et non des moindres, il s'agit d'années, de semaines, voire de jours. Heureusement, la plupart des phénomènes varient suffisamment lentement pour que leur enregistrement se fasse de manière relativement sûre dans la mémoire des océans que forment les couches sédimentaires. L'océan couvre les deux tiers de notre planète mais il contient bien plus des deux tiers de l'information nécessaire pour en reconstruire l'évolution globale. C'est évident lorsqu'on cherche à obtenir les données qui permettraient de valider les modèles climatiques. D'ailleurs les possibilités éventuelles de prédiction climatique dépendent des constantes de temps du domaine océanique, heureusement beaucoup plus longues que celles de l'atmosphère.

Les processus océaniques constituent donc des phénomènes transitoires dont les constantes de temps sont généralement suffisamment longues pour que leur étude soit possible sans difficultés majeures mais suffisamment courtes pour que l'approximation d'un régime permanent conduise à des impasses. En ce sens, on peut dire que toutes les disciplines s'intéressant à l'océan se trouvent confrontées à des problèmes semblables, même si les modalités techniques d'appréhension des problèmes diffèrent. Le concept de base qui paraît unifier la stratégie vers laquelle se dirige l'océanographie repose sur des observations systématiques en temps réel obtenues à l'échelle globale. Ces observations doivent être prolongées par des observations puisées



POINT DE VUE

dans la mémoire des océans pour valider les modèles d'évolution. Elles doivent être complétées par des observations locales à haute résolution qui permettent de mieux comprendre les processus modélisés. Temps réel, globalité, base de données, modèles, observations locales à haute résolution, processus physiques, chimiques et biologiques forment les mots clés de cette nouvelle stratégie.

Géosciences et raisonnement transitoire

Je connais évidemment mieux le dossier dans le cas des sciences géologiques. Y intégrer un raisonnement de type transitoire y sera probablement plus difficile que dans le cas des sciences physiques. Pourtant, la stratigraphie fine qui révolutionne nos disciplines nous a appris que certaines transitions paléocéanographiques majeures s'étaient produites en un laps de temps ne dépassant pas quelques dizaines d'années. L'océan paraît capable de basculer d'un état à l'autre quasiment instantanément. Et nous ne sommes qu'au tout début des surprises. Les grands carottages, les forages haute résolution type HPC (Hydraulic Piston Coring), les mesures dans les puits de forage, la sismique haute résolution ne font que débiter. Ils ont été la justification première du programme Néréis maintenant discuté dans le cadre européen.

Sur les dorsales médio-océaniques, nous commençons à comprendre qu'activités volcanique et tectonique ne sont pas simultanées mais qu'elles se succèdent et que les intervalles de temps entre manifestations successives sont de l'ordre de la centaine d'années. Nous savons maintenant que des éruptions sous-marines gigantesques se produisent et nous pensons qu'elles ont eu des conséquences dramatiques sur l'environnement océanique. La circulation hydrothermale qui affecte de manière significative le bilan chimique océanique est probablement modulée par le cycle tectono-volcanique bien que nous ne sachions pas grand chose à ce sujet. Un système hydrothermal donné est d'ailleurs un système transitoire dont la durée de vie est courte.

De la même manière, dans les zones de subduction où se dissipent plus de 90 % de l'énergie sismique terrestre, le cycle sismique, qui se caractérise par une évolution continue des champs de contrainte et de déformation, a une constante de temps de

l'ordre de la centaine d'années. Nous soupçonnons de plus en plus que ce cycle module la circulation des fluides dans le prisme d'accrétion en bordure des fosses océaniques. Nous avons enregistré des variations importantes de cette circulation sur quelques semaines à l'échelle locale. Mais la corrélation avec un cycle sismique reste à faire. Dès à présent, en tout



cas, les observations obtenues permettent d'affirmer qu'on ne peut faire une étude valable de cette circulation qu'en la considérant comme transitoire.

Nous avons découvert les preuves d'une érosion extrêmement active dans les fonds océaniques mais les processus qui la produisent nous restent inconnus. Des gradients de pression superhydrostatiques ont été mesurés dans les deux premiers mètres de sédiment de bassins où l'on envisageait de disposer des déchets radioactifs. Ces mesures suggèrent que des quantités de fluide importantes peuvent s'échapper des bassins sédimentaires profonds.

En résumé, nous avons longtemps considéré que l'environnement des grands fonds océaniques se caractérisait par des constantes de temps très longues. Nous pensions que les bassins sédimentaires comme la croûte océanique constituaient des

Prise de vue : Garrett par 4.924 mètres de fond sur la dorsale du Pacifique

corps quasi fossiles que n'affectait qu'un vieillissement très lent. Nous savons maintenant que ces idées étaient fausses. Le fond des océans est un lieu d'échanges actifs entre lithosphère, hydrosphère et biosphère. Il est affecté par de nombreux phénomènes ayant une courte constante de temps. Bassins et croûte constituent des corps vivants parcourus par

puits de forage du programme ODP (Ocean Drilling Program) ont été faites dès 1990 avec le Nautile et Nadia (NAvette de DIAgraphie) grâce à la technologie développée par IFREMER. Mais nous sommes encore loin de l'installation d'un réseau global. Comment seront installés les observatoires ? Comment transmettront-ils leurs données ? Nous ne le savons pas mais il est raisonnable de penser qu'un réseau de 15 à 20 stations pourrait être constitué durant la prochaine décennie.

Bien sûr, on ne se contentera pas d'observations sismologiques. On collectera également des données sur la température dans les puits de forage, la pression de fluide, la contrainte, la déformation et la chlorinité. En attendant les observatoires permanents, les observatoires semi-permanents vont se multiplier et se multiplient déjà, qu'ils soient thermiques, électriques, biologiques ou chimiques. Mais ces observatoires n'ont de sens que si leurs observations s'intègrent dans un cadre à trois dimensions. Ils doivent donc être incorporés dans des réseaux denses et à haute résolution d'observations temporaires. Il faut développer la capacité d'exploration et de manipulation à trois dimensions dans l'océan profond. Le sous-marin et les engins traînés près du fond deviennent et deviendront de plus en plus des porte-robots. Il faut posséder une plate-forme d'interventions multiples sur le fond telle Néréis. Mais nos laboratoires sont-ils capables de développer l'instrumentation nécessaire ? Ont-ils le niveau informatique suffisant pour exploiter ce type de données ? Pratiquent-ils suffisamment l'interdisciplinarité indispensable à ce genre de recherches ? Associent-ils suffisamment les observateurs, les mesureurs et les modélisateurs ? Quelle place doivent prendre, dans ce contexte, les grands programmes internationaux et quelle est la spécificité des programmes français ?

Bien sûr, les levés plus traditionnels qui ignorent les phénomènes transitoires ont encore de beaux jours devant eux. Mais l'évolution de la science est irréversible. L'océanographie en temps réel ne peut que se développer dans les années à venir. Deux risques alors se présentent à nous. Ou bien l'ignorer et risquer de se marginaliser par rapport à la science active, ou bien s'y engager résolument mais en privilégiant les tâches d'observation de routine, devenant des collecteurs d'informations pour les autres. Dès à présent, il nous faut, dans notre stratégie d'emploi des moyens lourds nationaux, intégrer cette préoccupation à la place qui lui revient, la première. ■



une circulation fluide active qui les modifie ainsi que la distribution globale des éléments chimiques. Cette circulation est concernée par les cycles tectoniques et magmatiques de la lithosphère. Et le système océanique dans sa globalité, fonds océaniques, bassins et croûte inclus, peut être considéré comme un réservoir possédant une compartimentation très complexe.

Encore beaucoup de questions...

Dans la pratique, où nous mène cette évolution ? A terme, nous avons besoin d'un réseau d'observatoires permanents ou semi-permanents sur le fond ou sous le fond dans des forages. Ceci est déjà sérieusement envisagé pour le réseau sismologique global et les premières expériences utilisant un