

temps, les dorsales médio-océaniques sont plus larges si l'expansion océanique est plus rapide. À quantité d'eau océanique constante, ces gonflements des fonds sous-marins relèvent le niveau marin absolu.

Les variations de la vitesse d'expansion océanique provoquent des fluctuations du niveau marin sur de longues durées, plusieurs dizaines de millions d'années, avec de grandes amplitudes, jusqu'à 350 mètres, et à vitesse moyenne, quatre centimètres tous les 10 000 ans. Ce phénomène doit jouer un rôle fondamental pour les évolutions à long terme, des premier et deuxième ordres. En revanche, il n'est pas directement relié aux cycles du troisième ordre.

Aucune de ces explication prise isolément ne nous permet de comprendre les variations du niveau marin à l'échelle du million d'années. Nous devons en rechercher les causes dans la dynamique interne et externe de notre planète, mais les mécanismes qui résultent de tels systèmes sont complexes et interdépendants. Les climats sont sous la double influence de facteurs astronomiques et tectoniques. Les topographies créées par la tectonique des plaques conditionnent le climat, mais ce dernier modèle les formes du relief. Les changements de climat font varier le niveau marin, mais les transgressions et les régressions marines agissent sur le climat en modifiant la répartition des terres et des mers. L'accumulation des sédiments provoque l'affaissement des fonds marins, qui favorise à son tour l'accumulation des sédiments.

Le chaos mis à jour

Au total, les enregistrements sédimentaires des variations du niveau marin présentent des caractéristiques des systèmes chaotiques tels que les physiciens et les mathématiciens les décrivent : répétitions quasi périodiques, emboîtement de séquences d'échelles temporelles différentes, alternance de deux états (bas et haut niveau marin) séparés par de rapides transitions de phases (chutes brusques du niveau marin), dépendance vis-à-vis des conditions initiales (les caractéristiques d'une séquence de dépôt dépendent de la séquence précédente).

Nous avons démontré que des variations de la composition des populations de foraminifères (dont nous



8. CES EMPREINTES DE DINOSAURE se sont imprimées sur un fond marin en train de durcir, sous quelques mètres d'eau. La montée du niveau marin empêchait alors la sédimentation.

avons vu qu'elles sont liées aux variations du niveau marin) possèdent ces caractéristiques. Un traitement mathématique, réalisé avec Louis Bonnet, de l'Université Paul Sabatier, à Toulouse, montre une oscillation du système autour de deux états, qui correspondent au haut et au bas niveau marin. Une transition rapide entre ces deux états coïncide avec une régression forcée du niveau marin, dans une séquence datant de 185 millions d'années (voir la figure 6).

Il serait vain de rechercher une explication unique aux fluctuations du niveau marin et encore moins à leur expression dans les successions de roches sédimentaires. Dans le système dynamique qui contrôle le niveau absolu des mers, la modification, même faible, de l'un des paramètres provoque un changement brusque et non prédictible de ce niveau. Selon les bassins, selon les conditions sédimentaires et topographiques locales, cette variation est plus ou moins nettement enregistrée dans l'organisation séquentielle des dépôts, sur des épaisseurs différentes et avec de possibles décalages chronologiques.

Les variations du niveau marin qui rythment, aux diverses échelles, l'histoire de la Terre ont des conséquences importantes sur les reliefs et sur les climats. Aux bas niveaux marins sont associés des climats relativement

froids ; aux hauts niveaux marins, des climats plus chauds. On estime les températures passées des eaux à partir du rapport d'abondance des deux isotopes de l'oxygène, l'oxygène 18 et l'oxygène 16 (dont le noyau contient respectivement 12 et 10 neutrons, en plus des 8 protons), dans le carbonate de calcium de fossiles marins : ce rapport est d'autant plus élevé que les eaux sont plus chaudes. Ces estimations ont confirmé le lien entre la température des eaux et les cycles de deuxième ordre et, dans les rares cas déjà étudiés, de troisième ordre. Les variations du niveau marin nous incitent donc à penser qu'au-delà des cycles climatiques aux périodicités comprises entre 20 000 et 100 000 ans, il doit exister des fluctuations climatiques apériodiques de plus longues durées, de l'ordre du million et de la dizaine de millions d'années, résultant de l'interaction de facteurs astronomiques et de la dynamique terrestre interne.

Les proliférations du plancton dans les mers chaudes et largement étalées des périodes de montée des eaux produisent en quantité importante les matières organiques à l'origine des hydrocarbures. Ces phases sont en outre caractérisées par l'accumulation de sédiments fins, mal oxygénés, favorables à la préservation de cette matière organique. En revanche, les régressions, normales ou forcées, permettent l'accumulation locale de dépôts sableux qui forment ensuite des roches poreuses où migrent et sont stockés les hydrocarbures. Ainsi alternent, dans la succession des dépôts sédimentaires marins, des roches mères et des roches réservoirs d'hydrocarbures dont la localisation, la géométrie et l'âge sont finalement conditionnés par les variations du niveau marin.

Les grandes compagnies pétrolières sont, pour cette raison, particulièrement attentives aux recherches fondamentales et appliquées sur l'enregistrement par les sédiments des variations du niveau marin. L'élaboration de modèles de séquences de dépôt de troisième ordre dans les divers contextes environnementaux de notre planète et le recensement de toutes ces séquences dans les grands bassins sédimentaires fournissent des moyens efficaces pour localiser les gisements potentiels et pour améliorer le pourcentage des forages productifs.

Par ailleurs, des modifications biologiques se déroulent au rythme des séquences de troisième ordre. Outre l'augmentation brusque du taux de renouvellement des foraminifères pendant les phases de baisse et de montée du niveau marin, des phénomènes comparables ont été récemment découverts dans des groupes beaucoup plus complexes, comme les céphalopodes (le groupe des pieuvres et des calmars).

Ces changements climatiques, associés aux variations de l'épaisseur de la tranche d'eau et des étendues respectives des terres et des mers, ont des conséquences importantes sur les écosystèmes. En milieu marin, les baisses brusques des eaux isolent certaines mers, favorisent les apports trophiques d'origine continentale et diminuent les profondeurs. Dans la zone littorale, les fonds sont mieux éclairés et plus agités. À l'inverse, les montées du niveau marin en période transgressive développent les communications entre mers, modifient les tracés des courants, diminuent les arrivées de matières nutritives issues des terres voisines et augmentent l'épaisseur de l'eau entre la surface et les fonds, plus sombres et plus calmes. Les variations du niveau marin ont donc joué un rôle dans l'évolution de la vie, par leurs conséquences sur les renouvellements de la faune, par effets de stress, adaptations à de nouvelles niches écologiques et migrations de populations.

Jacques REY est professeur à l'Université Paul Sabatier, à Toulouse. René CUBAYNES est professeur agrégé au Lycée Lapeyrouse, à Albi.

P. VAIL, J.-P. COLIN, R. JAN du CHENE, J. KUCHLY, F. MEDIAVILLA et U. TRIFILIAFF, *La stratigraphie séquentielle et son application aux corrélations chronostratigraphiques dans le Jurassique du bassin de Paris*, in *Bulletin de la Société géologique de France*, vol. 8, n° 3, pp. 1301-1321, 1987.

C. WILGUS, B. HASTINGS, C. KENDALL, H. POSAMENTIER, C. ROSS et J. VAN WAGONER, *Sea-Level Changes : an Integrated Approach*, in *Soc. Economic Paleontologists and Mineralogists*, Sp. Public, n° 42, 1988.

J. REY, L. BONNET, R. CUBAYNES, A. QAJOUN et C. RUGET, *Sequence Stratigraphy and Biological Signals : Statistical Studies of Benthic Foraminifera from Liassic Series*, in *Paleogeography Palaeoclimatology-Palaeoecology*, vol. 111, pp. 149-171, 1994.
