
STRATIGRAPHIE

Corrélat

ARCHÉEN

CÉNOZOÏQUE

GÉOCHRONOLOGIE

GÉOLOGIE

MÉSOZOÏQUE

OCÉAN ET MERS

PALÉOCLIMATOLOGIE

PALÉOANTHROPOLOGIE

PALÉONTOLOGIE

PALÉOZOÏQUE

PROTÉROZOÏQUE

ROCHES

SÉDIMENTOLOGIE

TECTONIQUE

Gilles Serge

ODIN

La stratigraphie (du latin *stratum*, “couche”, et du grec *graphein*, “écrire”) a pour objectif, commun à d'autres disciplines géologiques, de retracer l'histoire de la planète. Pour cela, elle étudie l'agencement dans l'espace et la situation dans le temps des couches externes de la planète. Les strates, ou couches géologiques, ont enregistré, lors de leur formation, les multiples caractéristiques de leur environnement proche et/ou lointain. Ces strates correspondent aux pages d'un livre écrites en langages divers et que l'on tente de décrypter. Leur étude débouche sur des considérations environnementales (reconstitution des milieux), chronologiques (corrélation et position dans le temps) et paléogéographiques (reconstitution des paysages). Le stratigraphe est historien et géographe des roches (lithosphère) mais aussi de l'hydrosphère, de l'atmosphère et de la biosphère sur la Terre, voire sur d'autres planètes.

La stratigraphie est une science en voie de renouvellement. En effet, elle étudie aujourd'hui les séries sédimentaires avec une approche plus diversifiée et plus globale que par le passé, le terme “global” faisant référence à l'étude des phénomènes à l'échelle de la planète. Ce renouveau crée des nécessités: une approche par des outils multiples, dont il résulte une stratigraphie dite intégrée; un consensus sur les objectifs, dont l'ambition peut être la prédiction des changements futurs proches ou lointains; une coordination des données acquises sur les domaines émergés avec les données recueillies dans les bassins océaniques actuels, rendus accessibles par des techniques nouvelles. Les résultats ainsi obtenus, appliqués aux sédiments émergés, ont notablement enrichi la connaissance.

La stratigraphie est pluridisciplinaire car elle combine des connaissances et des raisonnements à diverses échelles, depuis l'ensemble sédimentaire (le bassin de dépôt) jusqu'à l'isotope. Plusieurs domaines scientifiques (géologie, géophysique, astronomie, physique, chimie, mathématiques) sont mis à contribution. Dans chacun d'eux, diverses disciplines sont impliquées (par exemple, sédimentologie, paléontologie, tectonique,

volcanologie, pétrographie, etc., pour la géologie). Enfin, ces connaissances sont acquises par l'utilisation de techniques d'analyse dont les résultats sont traités par des procédés intuitifs, logiques ou mathématiques.

Le stratigraphe travaille sur le terrain, soit en surface sur des affleurements de couches dans les coupes naturelles (réalisées par les phénomènes d'érosion) ou artificielles (carrières, bords des routes), soit sur des prélèvements par sondage (sondages géologiques carottés à terre ou en mer), soit par observation indirecte (investigation sismique).

1 *Formation des strates*

Facteurs qualitatifs

La formation des terrains géologiques met en jeu un agent de production, un agent de transport et un milieu de dépôt. Chacun d'eux imprime son empreinte dans la roche qui se constitue. Les strates formées permettront au stratigraphe des reconstitutions environnementales fondées sur la reconnaissance de ces empreintes.

Le milieu le plus répandu de mise en place des strates est le milieu océanique au fond duquel s'accumulent les sédiments marins. L'océan intervient encore comme agent de transport mais aussi comme siège d'une production non négligeable d'éléments sédimentaires (tests carbonatés, phosphatés, siliceux). Les sédiments peuvent être constitués de particules solides provenant de l'érosion: ce sont les sédiments détritiques (sable, argile détritique); ils peuvent provenir de l'accumulation de produits issus de réactions chimiques (sels, oxydes, hydroxydes, carbonates, voire silicates comme les argiles authigènes c'est-à-dire formées sur place): ce sont les sédiments authigènes; enfin, ils peuvent résulter de l'accumulation de constituants d'origine biologique: ce sont les sédiments biogènes. D'autres milieux liquides (lacs, fleuves, marais) donnent lieu à des accumulations sédimentaires.

L'atmosphère peut intervenir comme agent de transport (actif ou passif) dans la réalisation de sédiments: sédiments détritiques éoliens, cendres volcaniques produisant des niveaux pyroclastiques (cinérites sur le continent, bentonites dans les océans). Un agent de production (gaz, liquides chargés d'ions, roches) original est l'activité magmatique qui transfère des éléments localisés dans les zones profondes de la Terre vers ses couches externes.

Principe de superposition

Pour reconstituer l'histoire de la Terre d'après les strates, le stratigraphe étudie des successions dans lesquelles il applique le principe de superposition. Celui-ci utilise le fait que les couches se sont déposées les unes au-dessus des autres au cours du temps. Valable pour les couches résultant d'un dépôt horizontal, le principe comporte des exceptions, notamment en milieu fluvial où des relations complexes peuvent s'établir (stratification entrecroisée). Des relations complexes sont également illustrées par les ensembles d'origine magmatique dans lesquels la dernière roche produite recoupe les plus anciennes.

Conditions de la sédimentation

Si les facteurs qualitatifs (apports, transport et milieu) jouent un rôle dans la formation des strates, l'espace disponible pour l'accumulation des dépôts joue un rôle fondamental sur le plan quantitatif dans les bassins peu profonds de la plate-forme continentale et sur le continent. Cet espace varie dans le temps en fonction de la subsidence et de l'eustatisme. La subsidence consiste en un creusement progressif du bassin de collecte des dépôts sans lequel un bassin de plate-forme serait rapidement comblé, stoppant l'accumulation. L'eustatisme décrit les fluctuations du niveau marin qui conditionnent, pour une large part, la possibilité de dépôt et sa nature.

Modifications des strates après leur dépôt

Les relations géométriques, la composition chimique et les propriétés physiques originelles des dépôts sont modifiées au cours de leur histoire. La bioturbation est l'action des organismes fouisseurs qui peuvent déranger l'ordre des dépôts sur des épaisseurs atteignant le mètre. Sur les pentes, de vastes ensembles déposés sont parfois remis en mouvement par simple gravité; les sédiments se redéposent alors plus bas sous la forme de turbidites (alternance de matériaux de granulométrie très différente reflétant le phénomène de décantation des particules transportées par brusques effondrements).

Après le dépôt, les sédiments subissent des modifications géochimiques qui les transforment en roches sédimentaires: c'est la diagenèse (cf._ROCHES). Plus profondément dans la pile sédimentaire, des modifications de grande ampleur peuvent intervenir: c'est le métamorphisme (cf._METAMORPHISME). Enfin, les mouvements de la croûte terrestre, la tectonique, constituent le plus efficace moteur de déformation géométrique des strates (cf._TECTONIQUE).

2 Faciès, organisation et interprétation des strates

Notion de faciès

L'aspect et la composition d'une roche constituent son faciès. Cette notion géologique, strictement descriptive, permet au stratigraphe de reconnaître et classer les roches sédimentaires. Le faciès est caractérisé par les propriétés visibles sur le terrain: lithologie, faune. Cette notion est souvent étendue à l'échelle microscopique (microfaciès), voire géochimique. Grâce à la reconnaissance du faciès, le stratigraphe peut mettre en œuvre le principe de continuité qui consiste à admettre qu'une couche est de même âge en tout point.

L'application du principe de continuité n'est pas sans difficulté. C'est ainsi que le même faciès peut migrer latéralement au cours du temps en fonction de facteurs climatiques ou eustatiques; on dit que le faciès est diachrone. Par ailleurs, au même moment, il peut se déposer des couches de faciès différent dans deux régions du même bassin. On dit qu'il y a passage de faciès et la contemporanéité devra être établie par l'observation d'autres indices que le faciès.

Interprétation des faciès: principe d'uniformitarisme

L'intérêt des faciès est qu'ils sont liés à des conditions de dépôt. Pour les interpréter, on se base sur le principe d'uniformitarisme. Selon ce principe, les faciès anciens se sont formés dans les mêmes circonstances que les faciès actuels. Ainsi, pour reconstituer l'environnement des premiers, il suffit d'observer celui des faciès actuels qui leur ressemblent. Cette comparaison est cependant délicate. En effet, une même lithologie apparente peut résulter d'environnements différents; seule une analyse détaillée permet de suggérer des équivalences. Par ailleurs, les espèces fossiles ne sont pas les mêmes que les espèces actuelles, tandis que les exemples sont nombreux de formes dont l'écologie s'est modifiée au cours du temps. Ainsi, certaines espèces soumises à la concurrence dans un biotope globalement favorable sont amenées à se réfugier dans des biotopes moins favorables (cavernes, océan profond) et l'interprétation de leur présence peut différer selon l'âge des couches.

Successions de faciès

Les successions de faciès obéissent à une logique qui est celle d'un continuum de dépôt. Chaque strate s'interprète alors par rapport à celles qui l'entourent. Le stratigraphe décrit ainsi des séquences verticales de faciès qui reproduisent en partie les variations de faciès latérales contemporaines. Par exemple, lors d'une transgression marine sur un bassin au fond pentu, la succession verticale (dans le temps) des faciès de plus en plus profonds reproduira pour l'essentiel les variations de faciès latérales liées à la profondeur à un moment donné. Le géologue utilise cette stratigraphie en trois dimensions pour élaborer une stratigraphie séquentielle qui fait intervenir des faits mais aussi des

interprétations: la strate s'appréhende en tant que corps sédimentaire en trois dimensions, membre d'une succession logique proposée dans un modèle théorique. Le développement de la stratigraphie sismique, qui repère des réflecteurs sismiques liés aux limites entre corps sédimentaires, a permis des observations indirectes qui ont largement facilité l'analyse de ces corps sédimentaires. Ces derniers comprennent l'ensemble des dépôts réalisés dans un bassin durant un intervalle de temps. Les discontinuités sismiques limitant ces corps sédimentaires sont des surfaces qui ont une signification chronologique.

Les changements du niveau marin constituent l'une des causes majeures de l'évolution temporelle des contenus et des limites des corps sédimentaires. Une autre cause influant significativement sur la nature des sédiments est le climat. Celui-ci est sous l'influence de l'insolation de notre planète, qui varie de façon cyclique en fonction de paramètres orbitaux; ce sont les cycles de Milankovitch qui régissent de nombreux dépôts cycliques de période proche de 20, 40 ou 100_ka (l'unité kiloannée correspondant à 1f000_ans). Les saisons annuelles influent aussi sur certains dépôts comme les varves glaciaires.

3 Outils stratigraphiques de chronologie

Approches chronologiques

L'aspect chronologique de la stratigraphie est abordé par les approches lithologique, géochimique, paléomagnétique, paléontologique et géochronologique. Chacune se fonde sur des principes géologiques propres et dépend de facteurs externes et de facteurs locaux.

L'approche lithologique considère la nature de la roche qui dépend des apports (facteur externe) et du milieu de dépôt (facteur local). L'étude débute sur le terrain et se poursuit par une caractérisation pétrographique, minéralogique, sédimentologique, puis par l'étude de l'organisation horizontale et verticale des strates. Cette approche débouche sur une chronologie fondée sur le principe de superposition et, pour l'aspect corrélatif (réalisation de lignes isochrones), sur le principe de continuité. La lithostratigraphie décrit donc les sédiments dans leur composition, leur individualisation en unités lithostratigraphiques et leurs relations géométriques.

L'approche géochimique s'intéresse aux éléments, aux rapports isotopiques, aux molécules de la matière organique fossile. Elle obéit aux mêmes principes et facteurs que ceux de la lithologie. L'évolution temporelle de la composition chimique des milieux de dépôt est reconstituée et l'identité latérale de ces compositions est recherchée. Les variations sont dictées par des facteurs externes, apports variables liés à des phénomènes de surrection tectonique, d'activité magmatique, de changement climatique, et par des facteurs locaux tels qu'une quantité plus ou moins grande d'oxygène dissous. Les changements peuvent être continus ou brutaux. Ces accidents géochimiques sont repérés sur les diagrammes d'analyse en fonction du temps. Selon leur ampleur, ils sont appelés excursions géochimiques (ampleur modérée) ou anomalies géochimiques (grande ampleur). La chimiostratigraphie décrit donc la composition géochimique des roches, établit des relations de succession et de contemporanéité entre ces roches et interprète les variations observées.

L'approche paléomagnétique considère les propriétés magnétiques des roches qui dépendent, au moment de leur formation, du champ magnétique terrestre et qui sont parfois préservées dans les sédiments lorsque ces derniers contiennent des composés porteurs de magnétisme (composés ferrières). Au cours du temps, le champ magnétique terrestre a varié en intensité, en direction et, surtout, en sens (inversion de polarité). Il était soit dans le même sens qu'aujourd'hui –_l'aiguille aimantée indiquant le Nord, on parle de polarité normale_–, soit en sens contraire –_l'aiguille aimantée montrant alors le Sud actuel, on parle de polarité inverse. La magnétostratigraphie retrace donc des lignes de corrélation correspondant aux inversions du champ magnétique ancien.

L'approche paléontologique considère les traces et restes biologiques fossilisés dans les sédiments. Elle se base sur le principe d'identité paléontologique qui consiste à admettre, d'après Jean Aubouin, qu'un ensemble de strates de même contenu paléontologique est de même âge, ce qui est correct lorsque les fossiles ont une vitesse d'évolution rapide (fossiles dits bons fossiles

stratigraphiques). La biostratigraphie détermine une date (datation relative) du calendrier stratigraphique.

L'*approche géochronologique* envisage la chronologie numérique (cf. GEOCHRONOLOGIE). Elle se fonde essentiellement sur les effets de la décroissance radioactive des isotopes instables naturels. Les isotopes radioactifs (“éléments pères”), emprisonnés dans les minéraux au cours de leur cristallisation, se désintègrent en isotopes radiogéniques (“éléments fils”) dans le réseau cristallin. Si le système constitué par le minéral est fermé, le rapport isotope radioactif/isotope radiogénique permet de mesurer son âge. Ainsi, l'isotope radiogénique argon₄₀ (⁴⁰Ar) s'accumule à partir de l'isotope radioactif potassium₄₀ (⁴⁰K) qui se désintègre. D'autres principes sont utilisés (thermoluminescence, altération chimique); ils ont tous en commun un facteur dépendant du temps écoulé, ce qui permet une datation absolue, c'est-à-dire un résultat chiffré exprimé en années ou en multiples d'années. La géochronologie stratigraphique détermine donc l'âge numérique des roches.

Chacun de ces outils conduit à une ou plusieurs échelles chronologiques. Les échelles lithologiques sont constituées de successions locales de formations. Les échelles géochimiques traduisent l'évolution de chacun des signaux analysables: il existe ainsi une échelle des teneurs en manganèse, une autre du rapport isotopique de l'oxygène, de celui du carbone, de celui du strontium. L'échelle magnétostratigraphique relate la succession, unique, des inversions plus ou moins espacées du champ magnétique terrestre. De nombreux groupes fossiles ont servi pour établir des échelles paléontologiques. Bivalves, ammonites, oursins sont utilisés parmi d'autres, mais ce sont surtout les microfossiles (foraminifères, kystes de dinoflagellés, nanofossiles calcaires, etc.) qui livrent des échelles commodes car les indicateurs sont présents en grand nombre: plus ils sont petits, plus ils sont communs. L'échelle géochronologique ajoute des âges aux échelles précédentes.

Caractéristiques des approches

Quatre critères caractérisent les signaux décrits: l'unicité, la précision, l'universalité et la fréquence (tabl. 1).

Unicité

L'unicité du signal correspond à son caractère univoque (c'est-à-dire non répétitif: à une caractéristique correspond un seul moment de l'histoire) ou plurivoque (répétitif: à une caractéristique peuvent correspondre plusieurs moments de la succession sédimentaire).

Les outils litho-, chimio- et magnétostratigraphiques fournissent des signaux plurivoques. Ainsi, par exemple, un même faciès se retrouve à divers moments de l'histoire de la Terre. Pourtant, plus la qualification lithologique est précise ou plus la lithologie est exceptionnelle, plus le caractère plurivoque est atténué. Ainsi, des grès rouges ou des argiles bariolées correspondront à un moment de dépôt repérable localement car peu commun. En chimiostratigraphie, une valeur sera commune à divers moments de l'histoire géochimique. En revanche, des excursions ou des anomalies géochimiques constituent des signaux exceptionnels. Ainsi, une anomalie d'iridium atteignant une teneur plusieurs dizaines de fois supérieure à la teneur usuelle ne pourra correspondre qu'à un seul moment connu, la fin du Crétacé, liée à ce qu'une majorité d'experts considère comme l'impact de météorites. En magnétostratigraphie, le caractère plurivoque est accentué puisque le sens du signal du champ magnétique est binaire (normal ou inverse).

La paléontologie et la géochronologie considèrent des signaux univoques grâce au caractère unidirectionnel et irréversible de l'évolution biologique, d'un côté et de la décroissance radioactive, de l'autre. La première de ces deux approches aboutit à des dates (âges dits relatifs), l'autre à des âges (âges absolus ou numériques). Une date est, par définition, dépendante d'un calendrier qui établit des subdivisions et des repères conventionnels. Un âge, quant à lui, est intangible, c'est une “quantité” de temps. Par exemple, 1972 est une date de type biostratigraphique (relative à la convention qu'est le calendrier grégorien; dans une autre convention, le calendrier hégirien par exemple, la date correspondant plus ou moins à ce même moment est 1393); 25 ans est un âge de type géochronologique.

En lithostratigraphie, la précision des signaux est variable. Par leur diachronisme potentiel, la base ou le sommet d'une formation repère un moment qui peut varier d'un ou plusieurs millions d'années (Ma). Par exemple, lors d'une transgression marine provoquant à sa base le dépôt de sables et de galets, chaque point inondé le sera à des instants différents et la base de la formation de sables et de galets n'aura pas le même âge partout. En revanche, les dépôts cycliques résultant de changements climatiques liés aux paramètres orbitaux du Soleil donnent des signaux de période 100, 40 ou 20_ka de bonne précision. Enfin, très précis sont les horizons pyroclastiques qui résultent de paroxysmes volcaniques explosifs dont la durée peut se limiter à quelques semaines et provoquer la formation d'une fine couche de sédiment très caractéristique car elle contient un spectre spécifique de composés tels que des cristaux de quartz bipyramidé, de biotite hexagonale, de feldspath, ainsi que de fines baguettes de zircon et d'apatite. Ces niveaux, riches d'information, sont recherchés par les stratigraphes.

En chimiostratigraphie, les variations continues de composition permettent une résolution du temps avec une précision de l'ordre du Ma, qui peut être réduite à 0,1_Ma lorsque l'évolution est rapide. Les événements géochimiques peuvent apporter instantanément des quantités considérables de matières à l'océan; la limite de résolution sera alors dictée par le processus d'enregistrement du phénomène dans les dépôts, qui comprend le temps d'homogénéisation du système océanique (ou temps d'équilibre) et le temps nécessaire au dépôt même des matières apportées (ou temps de résidence). Le temps de résidence est de l'ordre de 10 à 20_ka.

De leur côté, les inversions magnétiques se réalisent en un temps du même ordre de grandeur (5_ka) mais l'enregistrement du signal magnétique n'est pas instantané et une incertitude sur les signaux de l'ordre de 10_ka en résulte.

L'outil paléontologique est susceptible de fournir des signaux variés: apparition ou disparition de formes, passage entre deux formes. Ces signaux représentent une durée de l'ordre de 100_ka, parfois moins mais leur enregistrement n'est pas toujours synchrone et des incertitudes pouvant atteindre le million d'années sont possibles.

Les résultats géochronologiques ont une précision dont la durée est fonction de l'âge. Des précisions de l'ordre du pour mille sont atteintes par les techniques analytiques récentes, mais il s'y ajoute souvent un problème de calibrage des appareillages et de valeur des constantes de désintégration tels que la justesse des mesures ne peut être appréciée à mieux que 0,5 à 1 p._100 de l'âge; de ce fait les âges parfois proposés pour les limites d'unités stratigraphiques affichant des précisions meilleures que 1 p._100 ne sont pas très réalistes.

La précision de plusieurs outils est de l'ordre de 10_ka. Lorsqu'ils peuvent être appliqués, on atteint une stratigraphie de haute résolution.

Universalité

La lithologie dépend surtout de la nature des apports et du milieu de dépôt local. Il existe cependant des lithologies caractéristiques. Ainsi la craie s'est-elle déposée au Crétacé supérieur sur de vastes étendues du domaine boréal. Le cas des dépôts pyroclastiques est intéressant. Par transport aérien, une fine couche de cendres se dépose dans les lacs, les fleuves ou l'océan voisin. Des successions d'horizons pyroclastiques sont reconnaissables à l'échelle de certains bassins: par exemple, au Miocène au Japon, de l'Éocène au Miocène dans les Apennins. Il en existe aussi aux États-Unis (Ordovicien de l'Alabama, du Tennessee et du Kentucky) qui se retrouveraient jusqu'en Suède (Kinnekulle) et qui ont été datés partout autour de 450_Ma.

Lorsqu'elle s'adresse à des composés solubles et à des bassins océaniques, la géochimie peut caractériser des facteurs communs à une grande partie de la planète. Cependant, les teneurs et les rapports isotopiques sont souvent influencés par des facteurs locaux, notamment près des agents d'alimentation du système océanique.

Les signaux paléontologiques dépendent du milieu de vie qui limite l'extension des aires de répartition des faunes et flores (aires paléobiogéographiques). Cette extension peut être restreinte à

une zone réduite d'un bassin mais peut s'étendre aussi à toute une zone climatique du globe si le mode de vie est pélagique. Des poissons grands voyageurs comme certains requins, ou encore des foraminifères planctoniques transportés par les courants océaniques sont des exemples de fossiles de large répartition.

Les signaux magnétostratigraphiques et les âges géochronologiques sont globaux. Les premiers sont les mieux à même de déterminer un moment précis et les seconds, des relations temporelles. Ils s'adressent à des roches variées: sédiment marin ou continental, dépôt volcanique ou roche magmatique.

Fréquence

Les possibilités d'application d'un outil dépendent de la fréquence des signaux mesurables et de la disponibilité de matériel analysable. L'approche lithologique est applicable à toutes les couches mais beaucoup de successions homogènes ne renferment pas de signaux significatifs. En revanche, les successions litées cycliquement produisent de nombreux signaux utiles. Les signaux géochimiques peuvent être déterminés dans beaucoup de dépôts mais ils ne débouchent que rarement sur une information d'intérêt chronologique. La magnétostratigraphie livre des signaux dont l'intérêt est contrasté quant à leur fréquence. D'abord, ils sont assez souvent perturbés par l'histoire du dépôt. Quand ils sont préservés, ils peuvent être très peu fréquents: ainsi, durant la période magnétique normale du Crétacé longue de plus de 40_Ma, aucune information n'est obtenue. Durant certains intervalles de temps, comme au Miocène, il y a jusqu'à dix inversions par million d'années: l'information est alors difficile à interpréter. La biostratigraphie est l'approche qui livre le plus de signaux utiles et les successions fossilifères sont très largement répandues. L'application géochronologique est relativement exceptionnelle dans les séries sédimentaires en raison de la rareté des composants datables de qualité.

Pour quatre approches, des unités de base ont été définies: les formations, pour l'approche lithologique; les chimiozones pour l'approche géochimique; les magnétozones pour l'approche paléomagnétique; les biozones pour l'approche paléontologique. Pour ces dernières soulignons que le rapport hiérarchique autrefois pratiqué entre elles et les unités conventionnelles décrites ci-dessous est aujourd'hui abandonné. En effet, on admettait, jusque dans les années 1980 que les étages étaient des ensembles de biozones, ce qui est incorrect puisque les étages et les biozones sont des unités de nature différente: les étages sont conventionnels et relèvent d'une convention arbitraire, les biozones sont objectives et relèvent d'une connaissance.

4 Calendrier de l'histoire de la Terre

Trois stratigraphies

Établir le calendrier de l'histoire de la planète Terre, c'est proposer un découpage conventionnel de cette histoire continue. En fonction de l'âge des roches étudiées, la nature de l'information stratigraphique diffère. Ainsi, des deux approches univoques, la géochronologie stratigraphique est cardinale et constitue pratiquement la seule approche disponible pour établir la chronologie des dépôts antérieurs aux fossiles à squelette (avant 540_Ma), tandis que la biostratigraphie est cardinale pour la chronologie des temps phanérozoïques. Ces temps fossilifères sont représentés, du plus ancien au plus récent, par le Primaire ou Paléozoïque, le Secondaire ou Mésozoïque, le Tertiaire ou Cénozoïque et le Quaternaire, cette dernière unité faisant l'objet de vives discussions concernant sa position, voire même sa nécessité (cf. encadré *Débats autour du Quaternaire*). Les autres approches sont plus rarement utilisables ou plus coûteuses à mettre en œuvre. Par ailleurs, pour les derniers cinq millions d'années (comprenant le Pliocène, ainsi que le Pléistocène et l'Holocène – ces deux dernières unités constituant classiquement le Quaternaire), il est communément possible d'appliquer toute une variété d'approches, chacune livrant une information largement suffisante pour une chronologie précise, ce qui permet, au moins pour le Quaternaire, de s'affranchir des unités

conventionnelles relatives, lesquelles ne se justifient plus que pour des désignations régionales (Gélasien, Pliocène, Villafranchien...).

Il découle de ces constatations que trois stratigraphies se succèdent au cours du temps. Pour les temps précambriens (Hadéen, Archéen et Protérozoïque), c'est-à-dire antérieurs à quelques 540_Ma, l'affaire est simple: les unités conventionnelles admises aujourd'hui sont limitées par des âges numériques choisis de telle sorte qu'ils correspondent à des intervalles pendant lesquels des phénomènes géologiques particuliers ont été repérés. Pour les temps récents (de —f5_Ma à aujourd'hui), les conventions sont largement superflues puisque chaque approche est susceptible de livrer des successions d'événements géologiques et, donc, des échelles correspondantes qui sont des faits d'observation. Entre les deux (de —f540_Ma à —f5_Ma), un calendrier conventionnel, en révision depuis les années 1980, est en cours d'achèvement. Celui-ci est fondé sur quelques principes évoqués ci-après.

Stratigraphie par étages

Très tôt, les stratigraphes ont décrit sous le nom d'étages des corps de roche caractérisés par un contenu fossilifère distinct. Chaque bassin sédimentaire a ainsi donné lieu à un découpage en étages régionaux. Depuis les années 1980, la communauté stratigraphique tente d'élaborer une succession unique d'étages d'usage universel (tabl._2). Ces étages constituent la plus petite unité conventionnelle globale et sont regroupés en séries déposées durant des époques; les séries sont, à leur tour, rassemblées en systèmes déposés durant des périodes, lesquels systèmes se regroupent en ératèmes déposés durant des ères. Ces ères subdivisent le Phanérozoïque en trois larges portions anciennement reconnues comme ère des trilobites (correspondant au Paléozoïque ou ère primaire), ère des dinosaures (Mésozoïque ou ère secondaire) et ère des mammifères (Cénozoïque ou ère tertiaire), séparées par deux crises biologiques fondamentales: l'une à la fin du Permien (vers —f250_Ma); l'autre, à la fin du Crétacé (vers —f65_Ma). Il s'y ajoute une portion de faible durée mais d'importance considérable qui est usuellement définie par le concept de Quaternaire. Pour sa faible durée, certains auteurs ont négligé, voire “déclassé”, cette unité. Une réaction significative se fait jour depuis quelques années afin de tenir compte de l'influence prépondérante d'une seule espèce (l'homme) sur l'ensemble de la biosphère, cette emprise monospécifique n'ayant jamais été réalisée dans toute l'histoire de la planète (tabl._3), ce dont il conviendrait de tenir compte en maintenant à cette unité commençante sa signification géologique majeure.

Le nom des étages est lié à leur lieu de définition qui constitue le stratotype historique: c'est un ensemble de couches qui représente un intervalle de temps souvent compris entre deux intervalles de non dépôt (interruption de sédimentation, encore appelée lacune ou hiatus); le calendrier obtenu est donc discontinu. Pour cette raison, les stratotypes historiques sont complétés aujourd'hui par la notion de points stratotypiques mondiaux (P.S.M.): ce sont des points choisis dans des successions de terrains déposés continûment pour définir le niveau conventionnel des limites entre les étages. C'est à la définition de ces P.S.M. que la communauté des stratigraphes apporte actuellement son attention en tentant de caractériser précisément les couches entourant le P.S.M. par le maximum d'approches stratigraphiques. Cette connaissance diversifiée conditionne le repérage de ce niveau de définition dans l'ensemble des dépôts de même âge sur la planète.

Bibliographie

J._AUBOUIN, R._BROUSSE & J.fP._LEHMAN, *Précis de géologie*, t._II, *Stratigraphie*, Dunod, Paris, 4^e éd. 1979_/ F._LETHIERS, *Évolution de la biosphère et événements géologiques*, Gordon & Breach Sciences Publishers, 1998_/ G.fS._ODIN, “Geological time scale”, in *C.R. Acad. Sci.*, Paris, n^o_318, 1994_/ G.fS._ODIN et al., “Stage boundaries, global stratigraphy, and the time scale: towards a simplification”, in *Carnets de géologie*, Brest, 2004, http://paleopolis.rediris.es/cg/CG2004_A02/index.html_/ G.fS._ODIN, N._LIMONDIN-LOZOUET & J.-P._BRUGAL, “Principes de subdivision stratigraphique de l'histoire de la terre; le cas du Quaternaire, sa signification et son rang hiérarchique”, Actes du colloque A.F.E.Q.-I.N.Q.U.A.-Le

Quaternaire, limites et spécificités, in *Quaternaire*, vol._18, n°_1, 2007_/ J._REMANE et al., “Revised guidelines for the establishment of global chronostratigraphic standards by the International Commission of Stratigraphy (I.C.S.)”, in *Episodes*, n°_19, 1996_/ J._REY dir., *Stratigraphie, terminologie française*, Bull. Centres Rech. Explor.-Prod. Elf Aquitaine, Mémoire 19, 1997_/ J._ZALASIEWICZ et al., “Simplifying the stratigraphy of time”, in *Geology*, vol._32, pp._1-4, 2004.