37-48 - De Wever:Mise en page 1 19/03/08 11:42 Page 1

Temps de la Terre, temps de l'homme

Ô mondaine inconstance
Cer qui est ferme est par le temps détruit
Et ce qui fuit au temps fait résistance
Bellay (Du)

Les jours sont peut-être égaux pour un horloge, mais pas pour un homme
Proust (Marcel)

DE
Patrick De Wever

La notion de temps est difficile à définir, tant elle relève d'approches différentes. Le temps de l'histoire est celui qui intéresse plus particulièrement celui du géologue. La stratigraphie est le livre de l'histoire de la Terre. Ce livre est lu depuis longtemps, chaque lecteur essayant d'en améliorer la compréhension générale. Dans le fil de ces améliorations successives, un saut significatif fut la découverte du "temps long". Cette notion de temps long fut difficile à imposer et eut des implications en géologie, certes, mais aussi en biologie, en philosophie etc..

Envisager les différentes approches successives offre en outre la possibilité de porter un regard sur une attitude de l'Homme face à certaines questions ou affirmations purement scientifiques. Cette attitude garde toute son actualité : le scientifique est d'abord un Homme, il est donc sensible à la société de son temps, il a tendance à adopter des conduites analogues, sans qu'il en soit réellement conscient.

Introduction : le temps ?

Le temps possède diverses acceptions. Il peut être ressenti comme cyclique (le renouvellement des saisons) ou comme vectoriel (la flèche du temps qui passe). Prenons de nombreuses photographies d'une amie soufflant sur une fleur de pissenlit, puis mélangeons les clichés. Nous réussirons à reconstituer la succession de ces événements instantanés car ils se déroulent dans un sens unique : le temps est irréversible. De nombreuses appréhensions du temps sont possibles selon les cultures, selon les religions et les sciences. Le temps est parfois abordé comme un temps social, un temps psychologique, un temps de la conscience. Il représente une valeur objective, puisqu'il se mesure. Et pourtant, il nous arrive de l'interpréter comme une grandeur subjective. Là où une petite fille trouve le temps long, sa maman ne voit pas le temps passer. Ces acceptions ont chacune leur raison d'être, leur champ d'étude et d'application. La notion du temps la plus fréquente reste celle du temps vectoriel, celui de l'histoire. C'est celui dont il est question ici.

Le temps n'est ni de la matière que l'on peut toucher, ni de l'espace que l'on peut parcourir, ni des ondes, ni de l'énergie ou de la chaleur que l'on peut ressentir. Il n'est directement perceptible par aucun des cinq sens, et pourtant il a une réalité. La notion de temps relève d'une fulgurance et pourtant il demeure, encore aujourd'hui, une notion évanescente, un peu comme du sable qui disparaît lorsque l'on en serre une poignée pour mieux le sentir. De même, la vie nous paraît un concept évident alors qu'un biologiste ne peut la définir de façon simple et concise. Saint Augustin avait déjà cette réflexion : **"qu'est-ce que le temps ? Si personne ne me le demande, je le sais, mais si on me le demande et que je veuille l'expliquer, alors je ne le sais plus".** On n'a pas trouvé meilleure définition.

Figure 1
Alignement de menhirs de Carnac (Morbihan). © JY Reynaud

Le temps a d'abord été mesuré grâce à des cycles, le plus simple étant celui du jour et de la nuit. Le plus simple ? Voire ! car le jour et la nuit n'ont pas la même durée. Qui plus est, leur rapport varie tout au long de l'année et selon les latitudes.

Les Chinois ont utilisé des cierges qui brûlent pour se repérer. Ils ont poussé la sophistication jusqu'à faire brûler des bâtons d'encens avec des parfums différents ; ainsi on ne lisait pas le temps, on le humait ! Le temps n'existe pas en soi, il nous apparaît grâce à des enregistrements ; il peut être appréhendé grâce à des repères. Le sablier en est la représentation la plus commune et la plus pertinente : il est du temps matérialisé dans l'espace.

Du calendrier à la montre

Les astronomes ont précisé notre localisation temporelle. Après ceux fondés sur les cycles lunaires, Jules César imposa un calendrier «solaire», qui repose, en fait, sur le lever et le coucher des constellations traversées par le soleil durant sa course apparente dans le ciel. Et nous employons, depuis la Renaissance, le calendrier que le pape Grégoire XIII adopta pour rectifier les décalages accumulés au fil des années avec le calendrier julien. La Révolution française a tenté de supprimer cette planification du temps instauré par l'Eglise au profit d'un calendrier "pratique", raisonné, basé sur une semaine de 10 jours. Mais la nature s'accorde difficilement avec la rationalité humaine et l'on est revenu au bon vieux calendrier grégorien.

Le temps de l'horloge, qui rythme inéluctablement nos jours, a construit le temps social : journée de 8 heures en 1919, avant les congés payés, et aujourd'hui, les 35 heures liées à l'ARTT. Ce temps humain, bien que mécanisé, reste vécu de manière personnelle par chaque individu, car, comme l'énonçait Arletty dans le film «Hôtel du Nord», «il y a des moments qui durent longtemps» !

Affrontement des temps

Le paradoxe du temps a, d'ailleurs, inspiré de nombreux artistes. Citons les "Montres molles" de Salvador Dali, illustration de notre perplexité devant ce temps qui, depuis Einstein, est devenu relatif. Évoquons la mythique Pénélope, peinte par Bassano, qui, défaisant la nuit l'ouvrage qu'elle construit le jour, tente de repousser le temps. Cependant, je pense que «Chronos mangeant ses enfants», représenté par Francisco Goya, symbolise bien la paradoxale autodestruction du temps. Ici Chronos, alias Saturne, dieu du temps, dévore sa propre descendance, de même que les secondes s'éteignent dès qu'elles sont passées.

C'est peut-être ce paradoxe, mêlé d'une angoisse de mort, qui conduit l'homme à tenter de maîtriser le temps. Le chronoscaphe du Professeur Mortimer, dessiné par Edgard Jacobs en donne un petit exemple. Un autre s'impose avec la spiritualité. Le tympan des églises s'orne de sculptures qui condensent des temps à diverses échelles (fig. 2a). Y sont symbolisés l'arrivée à la vie spirituelle et le temps cyclique de l'homme, à travers des représentations des saisons et du zodiaque, ce qui témoigne d'une quête d'infini. Mais on y trouve, de plus, le temps instantané du graveur et les millions d'années de la roche. Ici se rencontrent et

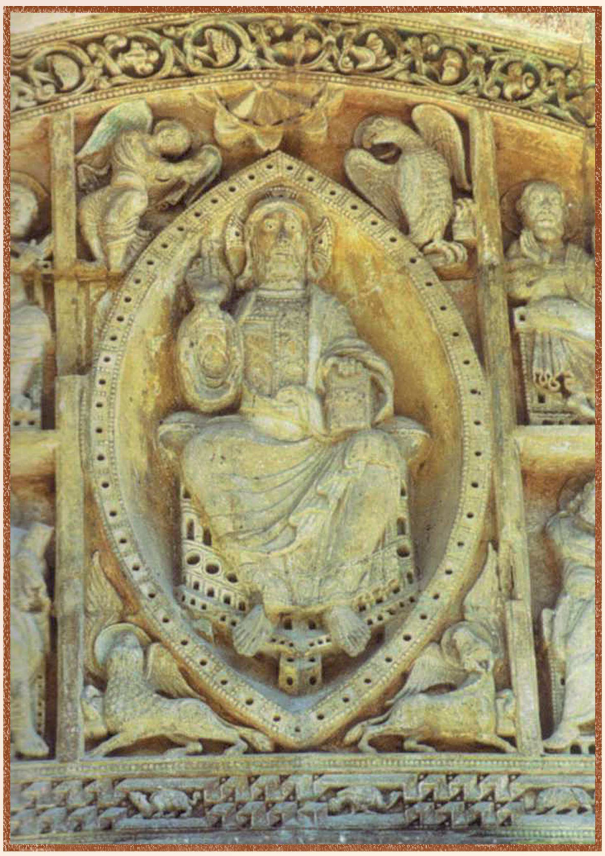


Figure 2a *- Tympan d'église*
L'église Saint-Pierre de Carennac (Lot) possède un portail orné d'un célèbre tympan. Au centre, le Christ dans une mandorle (forme d'amande) est entouré des quatre évangélistes représentés symboliquement par l'ange, le lion, le taureau et l'aigle. Ces figurent correspondent aussi aux quatre saisons : l'ange pour l'hiver (constellation du Verseau, être qui verse de l'eau), le taureau pour le printemps, le lion pour l'été et l'aigle pour l'automne (constellation du Scorpion). Photographie J. Rameau.

s'affrontent le temps humain, simple et intelligible tant qu'il reste court, et le temps profond de la Terre et de l'espace. Pour prendre conscience de ce temps-là, la mémoire devient indispensable.

Les tympans montrent l'affrontement et l'intégration de temps différents : des millions d'années de la roche à l'instantané du graveur, pour représenter l'arrivée à la vie et le cyclique de l'Homme, tous deux témoignent d'un infini, une quête d'absolu.

Figure 2b *- Le zodiaque*

Le zodiaque est fondamentalement une représentation de repères temporels basés sur le ciel : la position de constellations. L'Homme cherche à se positionner devant un infini.

Le temps est généralement simple et compréhensible quand il est court, il devient plus flou, plus difficile d'accès quand il est long. Il est alors nécessaire de disposer de repères. La mémoire collective permet d'amplifier la dimension du temps accessible. On peut dire : "autrefois, c'est là-bas et non ici que coulait la rivière". Des exemples se trouvent sur les côtes de la Manche : des blockhaus (fig.3). de la deuxième guerre mondiale, construits en arrière des dunes littorales, sont aujourd'hui sur la plage. Il est bien évident, même pour les générations qui ne les ont pas vus construire, qu'ils étaient sur la terre ferme. Alors que le recul de la côte n'est pas perceptible à l'œil nu, un marqueur spatial, tel qu'un blockhaus, démontre cette réalité. On pourrait encore citer tel séisme qui a détruit Lambesc, ou l'éruption volcanique qui a anéanti Pompéi… Notons que les transformations, engendrées par des phénomènes subits comme les tremblements de terre ou les explosions de volcans, ont très tôt montré aux naturalistes pionniers que les paysages évoluent. Or, ces modifications instantanées sont les manifestations en surface de mouvements qui se font en profondeur à raison de quelques centimètres par an. Le comprendre prit du temps puisque la tectonique des plaques est admise depuis moins de 50 ans. Heureusement, le passage du temps ne s'inscrit pas seulement dans la mémoire des êtres dotés de la conscience du temps. Une vague a laissé son empreinte sur une plage desséchée bien avant l'époque des dinosaures (fig 4).

Figure 3 *- Blockhaus.*
On a beau regarder la côte, on ne la voit pas reculer. Pourtant un repère spatial : le blockhaus, construit par les allemands durant la guerre 39-45, sert de repère temporel et atteste du mouvement, de l'érosion du littoral qui a transformé le site. © De Wever P.

Figure 4 *- Des traces, sur plage de l'ère Primaire (450 millions d'années) - Les ondulations gravées dans la pierre représentent les rides de sable observables sur la plage lorsque la mer se retire, ces dernières, bien que fugaces, sont ici enregistrées depuis 450 millions d'années (péninsule de Crozon, Bretagne). © De Wever P.*

37-48 - De Wever:Mise en page 1 19/03/08 11:42 Page 4

La recherche du temps est une notion fondamentale de l'approche de la nature. Il est en effet ce qui caractérise l'approche scientifique du géologue. Le physicien par exemple cherche à comprendre une loi, qui est valable quel que soit le moment, quel que soit l'instant, quand bien même le processus qu'elle explique s'inscrit dans la durée (voir le champ de la mécanique, par exemple). Le temps physique est généralement un paramètre extrinsèque dont la variation est indépendante de la loi qu'il permet de révéler. Le temps géologique, en revanche, est une variable intrinsèque, qui commande les lois géologiques.

Le fait que la physique explique théoriquement toutes les lois de la nature (même celles qui ne sont pas encore formulées) signifie seulement que cette opposition résulte d'un saut d'échelle. Le géologue prend intuitivement le temps en compte comme acteur et l'unité qu'il utilise est couramment le million d'années, dimension qui lui est propre. Et ceci, dans un cadre plus général, trahit peut-être un rapport particulièrement étroit entre science et humanité. Car la Terre et le temps sont liés dès l'Antiquité grecque, le dieu Chronos est né de Gaïa, la Terre, suite à son union violente avec Ouranos, le ciel.

La biodiversité et l'environnement actuels ne sont que la dernière image d'un film que les géologues reconstituent. Certaines images anciennes s'estompent, ou ont été gommées, ou n'ont jamais été enregistrées. Le travail du géologue est de restaurer le film à partir de données fragmentaires, d'où certaines méthodes spécifiques.

Temps stratigraphique, un temps rabouté

En stratigraphie, seules sont gardées dans les terrains, et nous sont donc accessibles, des traces du temps et non le temps lui-même. Un phénomène même fugace, s'il est enregistré, nous parvient.

C'est ainsi par exemple que l'on trouve des traces de gouttes d'une pluie tombée il y a plus de 250 millions d'années (fig.5), événement d'une fugacité extrême, mais qui a néanmoins été enregistré dans des sédiments. Des instants qui traversent le temps. Le géologue travaille avec des objets exceptionnels !

Figure 5 - *Un temps fugace mais enregistré Impacts de gouttes de pluie sur une vase durcie (Pernien du Bassin de Lodève). Le début, ou le bord d'une averse a imprimé quelques gouttes, et quelques gouttes seulement sinon les traces eussent été gommées. Puis un certain temps de calme permet à un voile bactérien de se développer et d'ainsi créer une sorte de vernis protecteur qui va mouler la surface précédemment imprimée, tout cela il y a plusieurs millions d'années. © MNHN, Serrette.D*

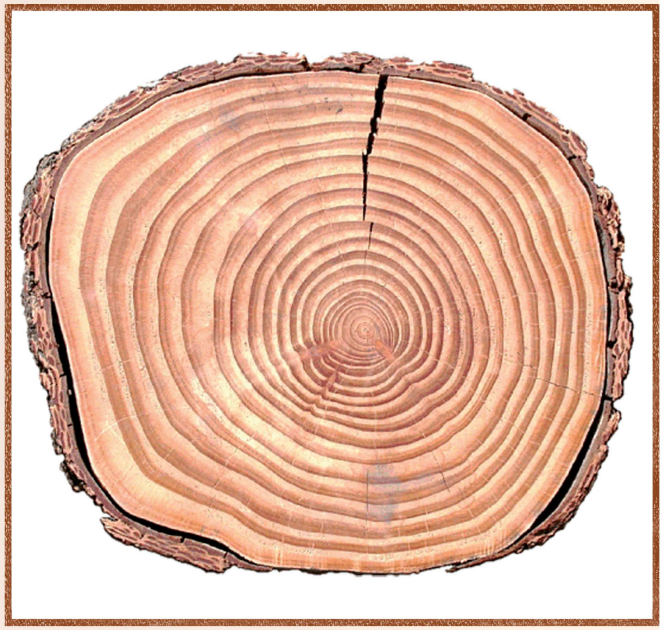


Figure 6 - *Merveilleuse précision dans un monde d'incertitude. Coupe transversale d'un tronc de gymnosperme silicifié (ø 21 cm) Cénozoïque © MNHN, Serrette. D*

Autre témoin de phénomènes passés, ce tronc silicifié nous raconte avec ses cernes la succession des saisons sèches et humides qu'il a connues au Tertiaire. Il nous délivre quelques deux siècles de son époque. Mais quand cela se passait-il exactement ? L'erreur qu'entache sa datation ne nous permet pas de "caler" ces deux siècles. Phénomène fréquent en géologie, on obtient des informations très précises, mais sur des objets dont l'âge reste très imprécis.

En fait, cet arbre nous offre des traces du temps mais non le temps lui-même.

37-48 - De Wever:Mise en page 1 19/03/08 11:42 Page 5

Un manque dans les archives géologiques

Les couches de terrain empilées aperçues dans les paysages actuels se formèrent sous la mer, il y a très longtemps. Dans les cas les plus simples, une couche est plus jeune que celle qu'elle recouvre. L'empilement a enregistré le passage du temps, mais l'échelle qu'il dessine reste relative (plus jeune, plus vieux), et cette échelle ne constitue pas forcément un enregistrement continu du temps.

Ainsi, le Grand Canyon du Colorado (fig. 7) montre une fantastique superposition de terrains, sur près de 2 000 mètres de haut. En bas, les couches du Précambrien ont environ 2 000 millions d'années, alors qu'en haut elle n'ont que 6 000 ans. L'ensemble s'étale sur une tranche d'histoire qui couvre une moitié de l'histoire de la Terre. Mais les archives demeurent incomplètes : on y détecte de nombreuses lacunes. Ici, les couches ont été plissées puis érodées : il y a lacune. Là la mer ayant déserté les lieux momentanément il manque des sédiments entre 2 strates : il y a hiatus.

Ce type d'observations devient aujourd'hui commun pour le géologue. On s'aperçoit de plus en plus, que le temps, que l'on croyait autrefois enregistré avec seulement quelques lacunes, n'est, en fait, que parfois seulement enregistré.

Le temps géologique est un temps passé que l'on tente de recomposer car on ne le saisit pas directement.

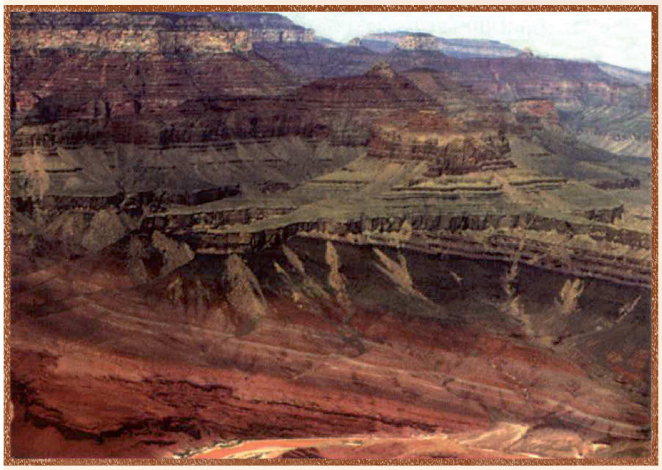


Figure 7 *- Le grand Canyon au Colorado*
Des couches butent contre d'autres (discordance), des strates sont donc absentes sur certaines verticales de l'empilement : ici et là, des dizaines de millions d'années n'ont pas été archivées. L'enregistrement sédimentaire, comme partout sur la Terre, présente des lacunes.
Photographie P. De Wever

Compter les couches

Le spécialiste doit se contenter de ce qui existe pour reconstruire toute l'histoire. La superposition des couches délivre une échelle relative du temps, l'échelle stratigraphique, et certains de ces dépôts servent de référence, à valeur régionale, voire internationale.

D'Orbigny introduisit l'idée de ces couches-étalons, appelées stratotypes, à partir des fossiles qu'elles renferment. Parfois le contenu fossilifère change d'une couche à l'autre, comme s'il s'était produit une catastrophe. Parfois, les animaux que l'on y décèle se retrouvent dans des strates, très éloignées sur le globe. De tels repères spatiaux nous autorisent à faire des corrélations temporelles sur l'ensemble de la planète. Ces couches-étalons représentent des durées, des témoins de l'enregistrement du temps irremplaçables. Un stratotype ne peut être enfermé dans un

Figure 8 *- Stratotype*
Un stratotype est un étalon de temps pour le géologue. Comme il ne peut être enfermé dans le pavillon de Breteuil, où se trouve le mètre-étalon, il reste dans la nature. Il convient donc de le préserver sur place, car il constitue un patrimoine géologique. Sur les 43 stratotypes situés en France, seuls une douzaine sont protégés, comme celui du Stampien à Etrechy (91)
Photographie : P. De Wever, MNHN

37-48 - De Wever:Mise en page 1 19/03/08 11:42 Page 6

pavillon de Breteuil, au même titre que d'autres étalons de mesure, il doit rester sur place, dans la nature. Aussi convient-il de le préserver et, par cette notion de temps, on accède tout naturellement à la notion de patrimoine géologique (fig. 8). Les stratotypes permettent de découper le temps, mais fournissent aussi une échelle discontinue par nature, puisqu'elle repose sur l'identification de ruptures biostratigraphiques majeures (ubiquistes et significatives d'un important changement).

Les premiers stratigraphes européens s'attachent donc à décrire des histoires locales. Parmi eux, William Smith (1769-1839) est considéré comme le fondateur de la stratigraphie et même de la biostratigraphie ; il voit en effet dans la succession des dépôts sédimentaires une figuration de l'écoulement du temps ; il reconnaît leur continuité dans l'espace et a recours aux fossiles pour distinguer entre elles des couches lithologiquement semblables.

Alcide d'Orbigny (1802- 1857), suivant en cela Georges Cuvier, affirmait que chacun des étages qui se sont succédés dans les âges du monde renferme sa faune spéciale, bien tranchée, distincte des faunes inférieures et supérieures, et que ces faunes ne se sont pas succédées par passage de forme, ou par remplacement graduel, mais par un "anéantissement brusque" (1842, 1847). Alcide d'Orbigny va même plus loin que Cuvier sur cette voie : si ce dernier admettait peu de catastrophes (car il admettait des migrations), d'Orbigny admet seulement "la création successive des espèces à chaque époque géologique". Ce radicalisme a pû gêner, à la fois ceux de ses collègues athées qui voyaient dans ces créations une voie ouverte sur l'intervention divine dans l'élaboration du monde et ceux qui, dévots, pouvaient en déduire que Dieu avait dû s'y reprendre à plusieurs fois pour parachever sa Création. Cette brutalité de changements a été adoucie par la suite, surtout après les travaux de Gosselet (1832-1916) qui a révélé l'existence de faunes de transition, qui signifient que les changements sont beaucoup moins brutaux que ce qu'ils étaient supposés être jusque-là. Cette découverte mit un terme au catastrophisme de Cuvier et d'Orbigny.

Temps compté

A mesure qu'on approfondissait les connaissances sur les temps anciens et qu'on s'enfonçait dans le passé de la Terre, la question de l'âge absolu de ces terrains se posait avec une acuité croissante, et avec elle celle de l'âge de la Terre. La stratigraphie, en étudiant de proche en proche les terrains superposés, déterminait leur âge relatif et permettait de les disposer en une colonne comme l'avaient fait les géognostes, mais sans pouvoir dire leur durée et leur ancienneté en années.

Le mouvement lent des étoiles dans le ciel nous enseigne un temps long, astronomique, et nous, par rapport à ces astres, nous avons conscience de n'appartenir qu'à un temps court. Ainsi le temps terrestre est un temps court. Pourtant, même à l'échelle humaine, on constate que la Terre change : le temps court a donc comme corollaire des événements brefs, violents, des catastrophes. Toute prête dans les esprits, tenue pour historique, la catastrophe du déluge est très tôt apparue comme une nécessité.

De fait, depuis longtemps se heurtaient les tenants de la durée "courte" et ceux de la durée "longue". Dans la mythologie indoue, bien avant notre ère, le concept de temps long semble accepté : "chez les jaïns, le temps est représenté par une roue qui fait une révolution complète en deux quadrillions d'océans d'années … au cours de chaque avasarpini (tranche de temps) apparaissent l'un après l'autre 24 grands sages, les tirthamkaras … le 23è est réputé être venu au monde, à Bénarès, 84 000 après la mort de son prédécesseur" (P. Grimal, 1963).

Hérodote (env. 484-425 avant J.C.) évoquait des phénomènes qui puissent s'étendre sur 20 000 ans pour expliquer certains aspects de la sédimentation du Nil. Au lycée d'Athènes encore (vers 350-200 avant J.C.) puis au musée d'Alexandrie (280-100 avant J.C.), Aristote, Straton et Ovide se penchèrent sur le rôle du temps en géologie. Ils pensaient déjà que l'accumulation de petites causes suffisait à produire de grands effets. Mais la pensée gréco-romaine, en matière de durée des temps géologiques, va péricliter au Moyen-Age, relayée par les enseignements bibliques des pères de l'Eglise.

Dans notre monde occidental, empreint d'une culture chrétienne, le monde a été créé par Dieu : il ya donc un commencement et le temps est orienté, vectoriel.

37-48 - De Wever:Mise en page 1 19/03/08 11:42 Page 7

Mais comment appréhender l'âge de la Terre ? La Bible, livre de vérité dans nos civilisations, donne des informations qui pouvaient être exploitées pour évaluer l'âge de la Terre. Les âges des générations de patriarches additionnés permettent de calculer une date pour le commencement. En sommant les âges des patriarches décrits dans la Bible, certaines écoles ont cherché à calculer l'âge de la Création. La plus célèbre proposition est celle de l'évêque Ussher, qui, au milieu du XVII[e] siècle, avait calculé que la Terre avait été créée le 22 octobre, en 4004 avant notre ère [(1)]. Cet âge était admis comme une vérité : Shakespeare, dans la pièce "As you like it" fait dire à Rosalin "this poor world is almost six thousand years old". Cet âge fait sourire aujourd'hui, et pourtant... C'était là le résultat de données réputées très solides, celles de la bible, le livre de la Vérité par excellence, qui avaient été traitées selon des méthodes mathématiques très élaborées. Le résultat ne pouvait être que solide ! Ne trouve-t-on pas aujourd'hui des déclarations très doctes, issues de calculs effectués par des gens très crédibles sur des machines très élaborées et qui ont, pour ces seules raisons, force de vérité ?

A la fin du XVII[e] siècle, l'affirmation d'immenses durées (millions d'années) a parfois un caractère volontairement subversif, qu'il relève ou non d'une approche scientifique. L'affirmation va se transformer en démonstration au XVIII[e] siècle. Les naturalistes ont alors depuis longtemps observé que des événements pluvieux provoquent des épisodes d'érosion-transport-sédimentation qui se matérialisent par de fins dépôts dans les plaines alluviales et les lacs (varves). A cette époque, la lamination des varves est déjà reliée à la récurrence saisonnière des pluies. En les comptant on peut donc connaître l'âge du remplissage de telle ou telle vallée. Utilisant ce principe, Jean-Etienne Guettard avait ainsi calculé en 1779 que les vallées de la région d'Etampes avaient plus de dix mille ans. Bien plus que les 6 000 ans admis pour l'âge de la Terre. Profondément religieux, Guettard en déduisit que sa méthode n'était pas fiable. Outre Manche, l'abbé Needham était parvenu à la même conclusion en 1769 et avait reculé également devant cet abîme temporel. La science est faite par des Hommes, elle est donc soumise aux pressions culturelles et sociales, et elle l'est toujours, bien évidemment.

Mais d'autres persévèrent. Georges Louis Leclerc, comte de Buffon, applique le même principe dans ses terres de Bourgogne. Il trouve alors que les vallées ont beaucoup plus de 10 000 ans, et qu'a fortiori la Terre est encore bien plus âgée. Quelques décennies auparavant, H. Gautier avait calculé "combien de vase les rivières emportent des continents chaque année dans les mers" et il en avait déduit le temps nécessaire pour éroder les continents (1721). On notera d'abord qu'il était précurseur en ce domaine. On relèvera ensuite qu'il avait proposé un age de 35 000 ans, "... j'ai trouvé par mes différens calculs de réduction, que la terre des continents pouvait être toute entraînée dans les mers environ dans les trente-cinq mille ans de temps". Et pourtant, si on reprend les données livrées par Gautier, on ne peut pas trouver moins de quelques millions d'années. Cette étrangeté peut s'expliquer de deux façons : soit il ne savait pas compter, ce qui peut paraître surprenant pour un ingénieur des mines, soit il a volontairement affiché une résultat faux qui lui permettait de proposer sa méthode sans risquer l'ire des institutions pour lesquelles il était établi que le Terre avait 6 000 ans.

En suivant une méthode proche de celle de Gautier, l'abbé Palassou (1784) était arrivé à dire qu'il faut au moins un million d'années pour éroder les Pyrénées. L'abbé Soulavie (1784), à partir de l'étude de l'altération, estime qu'il faut plus de 6 millions d'années pour araser une seule coulée de lave. Cuvier, en 1812, parle également de "milliers de siècles" pour caractériser la durée des créations successives.

La nécessité de longues durées géologiques traduit finalement un mouvement collectif de la pensée, qui s'appuie de plus en plus sur la phénoménologie physico-chimique. Une estimation de la durée des temps géologiques est tentée par l'astronome Halley, en 1715, sur la base de calculs fondés sur l'accroissement inexorable de la salinité de l'eau de mer depuis la condensation de l'océan primitif. Ses travaux sont repris par Joly à la fin du XIX[e] siècle (1899) qui aboutit à un âge de 90 millions d'années.

Pour résumer, jusque vers 1750, seuls quelques «mal-pensants» isolés affirment les longues durées.

37-48 - De Wever:Mise en page 1 19/03/08 11:42 Page 8

Buffon et la première approche expérimentale de la mesure du temps

Intrigué par le résultat fourni par le comptage des varves (la Terre a bien plus de 10 000 ans), Buffon veut le tester avec une autre méthode. Il part de l'observation de mineurs : la température augmente lorsque l'on s'enfonce dans les entrailles de la Terre. Il en tire une hypothèse de travail : c'est parce que la Terre originelle était une sphère de matière en fusion. Il se tourne alors vers la physique, et partant d'une publication de Newton sur la propagation de la chaleur, il définit un protocole expérimental rigoureux. Il fait forger des boulets de fer, dans ses forges de Bourgogne, dont le diamètre varie. Il les fait ensuite chauffer à la limite de leur point de fusion et mesure la durée de leur refroidissement. Les mesures obtenues montrent une corrélation positive entre diamètre des boulets et durée de refroidissement, ce dont Buffon tire une régression graphique qui lui permet d'extrapoler la durée de refroidissement d'un boulet dont la taille serait celle de la Terre.

Dans une première publication, "Les époques de la Nature", en 1779, Buffon annonce ainsi que la Terre doit avoir 25 000 ans, un âge bien plus important que celui admis alors par l'Eglise. La hardiesse de la pensée de Buffon, pour l'époque, confine à la témérité. D'ailleurs, à la sortie de son ouvrage, Buffon écrit de Paris à un ami : "Je mets donc pour le moment présent mon salut dans la fuite et je pars dimanche pour arriver à Montbard" (son fief de Bourgogne). Après quelques temps et quelques lettres d'excuses aux instances ecclésiastiques, il put revenir sur Paris. Mais il continue ses travaux et publie successivement 50 000 puis 75 000 ans. Mêmes motifs, mêmes punitions, exils en Bourgogne ! Les carnets de Buffon révèlent quant à eux que ses expériences donnent à la Terre plus de 10 millions d'années. Buffon n'a jamais publié ce chiffre, est-ce encore la pression sociale et morale qui l'a contraint à cette "discrétion" ? Mais sa conviction était intacte et les résultats de son étude transparaissent dans la dernière phrase de son livre : "Le temps semble fuir et s'étendre à mesure que nous cherchons à le saisir (…) plus nous étendrons le temps et plus nous approcherons de la vérité et de la réalité de l'emploi qu'en a fait la nature". S'il s'en tient finalement à une chronologie officielle plus courte, il ne peut s'empêcher d'en expliquer la cause en ces termes : "néanmoins il faut raccourcir autant qu'il est possible pour se conformer à la puissance limitée de notre intelligence."

Les expériences de Buffon ont un retentissement important sur la pensée de son époque : c'est tout à la fois la réémergence et la démonstration de la notion de longue durée des temps géologiques. Certains de ses contemporains le soutiennent d'autres s'opposent à lui. Buffon bénéficiait de soutiens tel celui de Jean-Baptiste Lamarck et avec lui le temps long fait également irruption en biologie. C'est un progrès fondamental, qui ouvre la porte à la théorie de l'évolution des espèces. En effet, s'il est difficile d'admettre que les espèces ont pu évoluer en 6 000 ans, on conçoit facilement qu'elles ont pu le faire si elles ont disposé de plusieurs dizaines de milliers d'années. Les idées de Buffon seront également reprises en Angleterre par Charles Lyell (1830) : "si on est convaincu de l'immense durée des temps géologiques, les catastrophes deviennent superflues et tout peut s'exprimer par une évolution lente : évolution et non révolution". La reconnaissance d'un temps long n'invalide pas pour autant les catastrophes en tant que facteur de changement global, mais cette idée ne sera à nouveau dominante que dans le courant du XX^{e} siècle, avec le débat sur les crises biologiques.

L'avènement de la physique

Buffon fait figure de pionnier pour avoir contribué à développer le concept de temps et la notion de la durée en histoire naturelle. Il s'exprime sans ambiguïté sur ce sujet : "Tout s'opère parce qu'à force de temps tout se rencontre. Le grand ouvrier de la nature c'est le temps, par degrés, par nuances, par succession, il fait tout". Il dit encore : "pour juger de ce qui est arrivé et même de ce qui arrivera, nous n'avons qu'à examiner ce qui arrive. Rien n'autorise à s'écarter des effets qui arrivent tous les jours. La géologie, comme l'histoire humaine, est la résurrection du passé à la lumière du présent». Ceci pourrait constituer l'une des premières formulations de l'actualisme.

37-48 - De Wever:Mise en page 1 19/03/08 11:42 Page 9

Au XIX[e] siècle, les géologues vont développer considérablement leurs travaux sur le terrain. L'essor de la paléontologie stratigraphique va leur livrer des points de repères (apparitions et extinctions des fossiles), permettant des corrélations au niveau d'un pays, puis d'un continent. Cependant, l'utilisation des fossiles, eu égard aux théories de l'époque sur l'évolution des êtres vivants, ne va pas sans poser d'importantes et lancinantes interrogations sur le temps nécessaire à cette évolution et, partant, sur la durée des époques distinguées à partir des fossiles. Darwin (1859) va s'y essayer dans "L'origine des espèces" et propose l'écoulement du temps de l'ordre de 300 millions d'années depuis la fin du Secondaire. Ce temps, obtenu à partir d'un calcul sur la durée nécessaire au creusement d'une vallée dans le sud-est de l'Angleterre, est trop long, mais l'ordre de grandeur est correct. Cependant, quelques années avant la fin du XIX[e] siècle, l'âge de la Terre reste encore très indéterminé. Les propositions vont de quelques millions à des centaines de millions d'années.

Albert de Lapparent, à la fin du XIX[e] siècle, écrit qu'un âge entre 90 et 100 millions d'années "semble raisonnable", ce qui sera admis par la plupart des géologues français mais montre clairement le vide méthodologique qui demeure.

Ce sont les physiciens qui vont le combler. Déjà, en 1820, dans une approche comparable à celle de Buffon (refroidissement par rayonnement d'énergie), mais uniquement fondée sur le calcul, Fourier aboutit lui aussi à un âge de plusieurs dizaines de millions d'années. Lord Kelvin propose en 1864 un âge de 98 millions d'années dans une fourchette comprise entre 20 et 400 Ma. Après beaucoup de révisions il se prononcera en faveur d'un âge de 24 millions d'années [(2)]. Kelvin, en tant que physicien, combat farouchement les principes formulés par Charles Lyell et tout particulièrement la notion de temps très long. En effet, au nom du principe de la conservation de l'énergie et compte tenu de l'existence aisément vérifiable du gradient géothermique, le Terre perd de la chaleur. Or l'énergie d'un système est finie. L'activité terrestre liée à cette dissipation d'énergie va donc en diminuant au cours du temps. Pour Kelvin, l'idée d'une activité terrestre cyclique est donc fausse sur le plan fondamental. Pour contrer l'attaque de Kelvin, Lyell propose alors qu'il y ait création d'énergie à l'intérieur de la Terre : intuition géniale mais écartée par Kelvin

Le saut qualitatif et quantitatif dans la nuit des temps se produit après la découverte de la radioactivité par Becquerel, en 1896. Rutherford montre que la désintégration radioactive est calculable en fonction du temps, ce qui en fait une horloge potentielle [(3)]. Avec lui, Holmes établit une échelle chronologique absolue. On estime alors l'âge de la Terre à au moins 3 milliards d'années. C'est le début du XX[e] siècle. On s'aperçoit au passage que Lyell avait raison et que Kelvin avait tort : l'énergie nécessaire à un renouvellement des processus géologiques est bel et bien produite dans les matériaux terrestres.

La radiochronologie et ses retombées disciplinaires

Avec la radiochronologie [(4)], le géologue accède à des âges chiffrés et cela va tout changer. Les étages ne se placent plus seulement dans le calendrier en vertu de leur contenu en fossiles mais aussi de leur âge chiffré. Sur le terrain, les roches sédimentaires azoïques et les roches cristallines prennent subitement place dans l'histoire géologique. Grâce à l'aptitude à dater systématiquement, un modèle géologique global est en marche, ce qui autorise le géologue à calculer la durée des phénomènes, à donner des âges, à recomposer, enfin, un temps continu qui s'énumère en millions d'années. Certes, celui qui connaît les roches s'habitue à jongler avec ce temps profond, vertigineux mais l'appréhende-t-il pour autant ? En fait, oui, mais indirectement, par les effets de ce temps profond, difficilement compréhensibles autrement. Par exemple, l'homme dispose-t-il d'un moyen pour tordre une pierre sans la briser ? Essayons de plier une ardoise, elle cassera. Pourtant, la nature exhibe partout des roches plissées (fig. 9). Mais la Terre prendra son temps, tous les millions d'années nécessaires à plier l'ardoise. Beaucoup de temps, et un peu de chaleur, font fléchir la pierre. Avec le temps, les contraintes terrestres réussissent à plier les cailloux et à déplacer les montagnes, les continents, au rythme de quelques centimètres par an. Le géologue, muni du temps profond, comprend mieux les paléogéographies qui se sont succédé sur la Terre au fil des centaines de millions d'années.

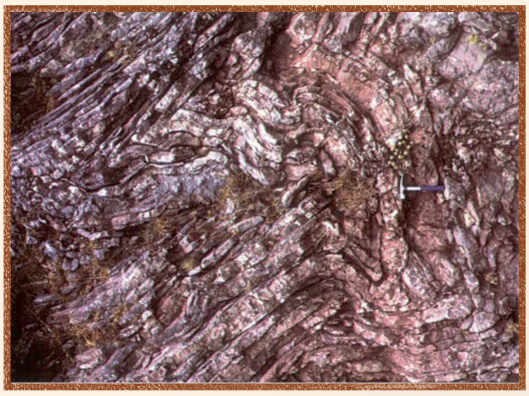


Figure 9 - Dures comme du roc ?
Avec le temps des roches aussi dures que les calcaires se plissent parfois tellement qu'elles ressemblent à du papier chiffonné (Crétacé de Grèce)
Photographie F. Meilliez, USTL

Une expérience à l'échelle humaine permet de prendre conscience du phénomène. Dans certains cimetières des plaques un peu anciennes portant le nom du défunt, bien que clouées sur la tombe, sont bombées. Il arrive, en effet, que ces morceaux de pierre gravés soient rapidement extraits d'une carrière avant d'être taillés. Or ces blocs, désolidarisés des roches alentour, ne subissent plus la pression "lithostatique" : ils ont tendance à se détendre, à augmenter de volume. Si la pierre se retrouve clouée avant d'avoir eu le temps de complètement décompresser, elle flambe.

En ce qui concerne la stratigraphie, l'avalanche de données quantitatives liées à la mise en œuvre systématique de datations chiffrées a forcé les scientifiques à produire de nouvelles théories paléontologiques où du moins à préciser les anciennes. Le concept stratigraphique fondateur ayant le plus bénéficié de ces avancées est sans conteste la notion de lacune stratigraphique (de hiatus temporel). La présence de lacunes stratigraphiques n'était pas implicite dans la reconnaissance de discontinuités, de ruptures. Auparavant les ruptures étaient considérées au contraire comme les points de passage du temps stratigraphique. Dater une discontinuité n'avait, dans la théorie des stratotypes, que le sens de préciser la date du passage de la série inférieure à la série supérieure. La connaissance, par âges chiffrés, des strates bordant les discontinuités a permis de comprendre que, généralement, elles ne sont pas des points mais des segments du temps unidimensionnel : des lacunes (fig. 10).

Souvent, les dépôts qu'observe le géologue résultent de cycles (astronomiques, lunaires avec les marées ...). La Terre dans sa course autour du Soleil modifie lentement son orientation. Alors, l'insolation en un même lieu de la planète évolue au fil des milliers d'années, ce qui se ressent dans la nature des sédiments qui s'accumulent dans l'eau.

Figure 10 - Ici près de Castellane, les sédiments du Crétacé dessinent des alternances de calcaire et de marne. Ces dépôts répétés traduisent des cycles astronomiques de 20 000, 40 000 et 100 000 ans correspondant aux modifications des paramètres orbitaux de la Terre : inclinaison de son axe, rotation comme une toupie (précession), éloignement du soleil. De tels dépôts se rencontrent, en fait, sur tout le globe et à toutes les époques, mais il faut l'œil du spécialiste pour en tirer des informations temporelles.

Les réflexions sur l'évolution des espèces ont également profité de la découverte de lacunes aux limites d'étages. En particulier, certains exemples de la théorie des équilibres ponctués ont été rejetés car ils ont été développés à partir d'enregistrements biostratigraphiques non linéaires (une stase pouvant alors correspondre à un intervalle de dilatation de l'enregistrement de la modification graduelle et un saut à une phase de condensation de cet enregistrement) (fig. 11).

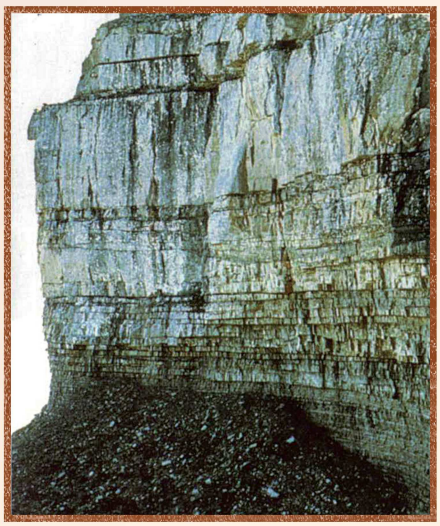
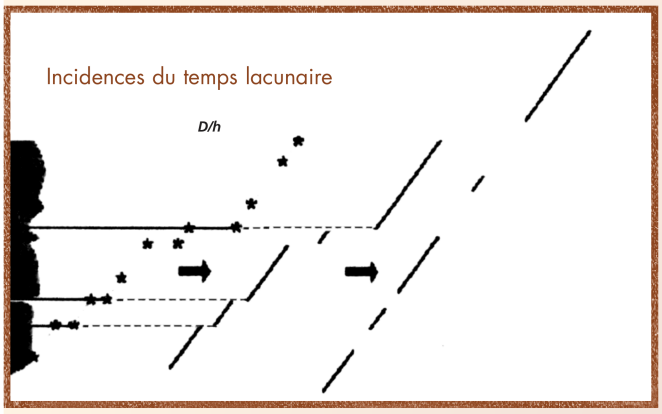


Figure 11 - Ici, la falaise de grès d'Annot, près de Castellane, montre des gros bancs durs et des interbancs plus tendres. Ces dépôts résultent de tempêtes. Certaines barres se sont déposées en quelques heures ou semaines alors que les interlits entre les barres ont parfois mis des milliers d'années à se former. L'épaisseur d'un enregistrement ne transpose pas "simplement" l'écoulement du temps.

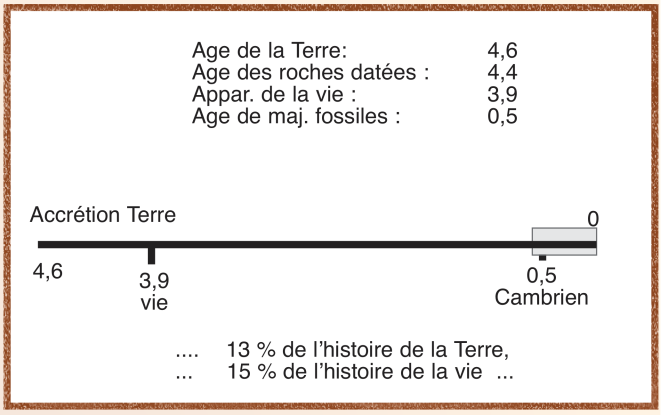
Le prélèvement de fossiles dans une pile de couches (à gauche) révèle une évolution d'un rapport longueur sur largeur d'un fossile qui évolue graduellement mais avec quelques petites variations brutales (croix reliées par un trait fin). Cette forme peut être interprétée (au milieu) par une illustration de la théorie des équilibres ponctués définie par Eldredge et Gould. Cependant, les mêmes mesures, reportées en fonction du temps (à droite) s'alignent cette fois, sur une droite interrompue par des manques d'enregistrement.



On peut aujourd'hui dater les séries marines et continentales (fossiles et minéraux authigènes), les chaînes de montagnes (minéraux isobares), les subductions (phases fluides), le volcanisme (point de cristallisation) etc... Des bases de données chronologiques trans-disciplinaires fondées sur un référentiel en âges absolus sont constituées, sur lesquelles reposent les nouvelles chartes stratigraphiques internationales, ainsi que des progrès conceptuels, notamment en ce qui concerne les couplages biosphère-géosphère et, dans les "temps courts", le fonctionnement de la machine thermique de l'océan. Dans les "temps longs", un modèle "géognosique" global se dessine, reliant les grandes étapes et les grands rythmes de l'évolution des enveloppes, même profondes, du globe à celles de la biosphère. Les progrès les plus récents dans ce domaine concernent les grandes crises de la paléobiodiversité. Ils tendent à montrer la rétroaction, par le biais du volcanisme, des cycles des supercontinents sur la composition de l'atmosphère et de l'océan et, par là, sur les extinctions en masse.

Curieux retour de l'histoire, l'accès au temps mesuré a permis de se défaire de l'idée (fausse) d'instantanéité des crises biologiques, correspondant, vers la fin du XX^{e} siècle, à un retour des théories catastrophiques (l'exemple le plus célèbre étant celui de la grande météorite du Yucatan pour expliquer la disparition des grands reptiles à la limite Crétacé/Tertiaire).

La barre des âges



La barre illustre la durée d'existence de la Terre. A gauche, l'origine de notre planète, il y a 4 600 millions d'années. Les premières traces de vie attestées datent de 3 500 millions d'années mais les plus anciennes coquilles connues datent du Cambrien : 550 millions d'années. Le monde fossilifère représente donc 12 % seulement de l'histoire de notre globe. Il convient alors de ne pas confondre l'histoire de la Terre et celle que l'on obtient à partir des fossiles.

Pour prendre encore du recul, noter que le Big Bang qui engendra l'univers connu s'est produit il y a 12 à 15 milliards d'années et que le soleil s'éteindra dans moins de 5 milliards d'années.

Conclusion

L'histoire de la géologie découle de la connaissance d'une chronologie, elle-même liée à une technique : la géochronologie.

Les "techniques", en ce sens, sont porteuses de développements conceptuels. La géologie historique, y compris la grande géologie alpine qui mène à la tectonique des plaques en passant par la théorie des géosynclinaux, a toujours une origine stratigraphique. Et le fondement de la géologie stratigraphique est un intérêt consubstantiel pour le temps de la Terre. La perspective d'un temps long, présente dans les mythologies et dans la culture méditerranéenne de l'Antiquité, a été supplantée au Moyen-Âge par une vision biblique, révélée, de l'Histoire de la Terre, qui impliquait 1) sa Création par Dieu ex nihilo ;

37-48 - De Wever:Mise en page 1 19/03/08 11:42 Page 12

2) un âge "historique" de la Terre (6 000 ans). Un des objectifs de la science en marche, à partir de Galilée, a été de substituer à l'histoire biblique de la Terre une histoire fondée sur la mesure des objets naturels, reliques des temps passés. Après une première étape, paléontologique, de la compréhension de la Terre passée (les Créations de Cuvier), de sa nécessaire durée (Buffon) et de l'immanence des principes en œuvre (Lyell), le décryptage du temps fut l'œuvre de la physique -mais n'appelait-on pas déjà "physique" l'approche scientifique ?. La mise en œuvre de datations absolues, établissant définitivement la validité des temps longs, a en outre eu des répercussions théoriques sur tous les champs disciplinaires de la géologie. Elle a permis de réévaluer l'importance relative des découpages stratigraphiques anciens. L'importance des lacunes stratigraphiques, que les datations chiffrées ont en particulier révélée, a été au cœur du développement de la stratigraphie séquentielle et des mécanismes de l'évolution de la biodiversité.

Notre connaissance du temps profond influence nos conceptions scientifiques. Mais notre vécu social, à l'échelle humaine, module également nos préjugés. La fin des monarchies dans nos sociétés occidentales n'a-t-elle pas pu aider les hommes de science à envisager le changement comme un élément normal de la nature ? La dialectique soviétique, qui explique qu'une accumulation de tensions conduit à la rupture d'un système, n'a-t-elle pas pu pousser les scientifiques de l'URSS à adopter un point de vue paléontologique proche de celui des équilibres ponctués ? Gradualisme et catastrophisme sont probablement nécessaires pour rendre compte de l'ensemble des observations. La science de demain le précisera peut-être car la science aussi évolue dans le temps.

Temps profond du géologue, comparable à celui de l'astronome, qui lui commence, paraît-il, il y a 15 milliards d'années. Et avant ? Pour l'astrophysicien, le temps et l'espace prennent des proportions si gigantesques que l'on finit par définir les distances en années-lumière. Van Gogh, avec son tableau intitulé "La nuit étoilée à Arles", nous a finalement offert une représentation moderne du temps. Ici, en effet, lumière, temps et espace se rejoignent ; or le mètre est officiellement défini, depuis 1986, à l'aide du temps : le mètre est la distance parcourue dans le vide par la lumière en une durée de 1/299 792 458 de seconde…

Références citées

• Buffon G-L Leclerc (1779) - Les époques de la Nature. *Paris Imp. Royale. 2 vol.*
• Cuvier G. (1812) - Recherches sur les ossements fossiles des quadrupèdes où l'on établit les caractères de plusieurs espèces d'animaux que les révolutions du Globe paroissent avoir détruites. *Paris.*
• Darwin C.R. (1859) - On the Origin of Species by means of Natural Selection, or Preservation of Favoured Races in the Struggle for Life. *J. Murray, Londres*
• d'Orbigny A. (1842-1860) - Paléontologie Française, *Paris, 9 volumes.*
• d'Orbigny (1849-1852) - Cours élémentaire de paléontologie et de géologie stratigraphiques. *3 volumes.*
• Gautier H. (1721) - Nouvelles conjectures sur le globe terrestre. *A. Cailleau, Paris.*
• Gosselet J. (1857) - Note sur le terrain dévonien de l'Ardenne et du Hainaut. *Bull. Soc. Géol. Fr., 2, t.14, p.364.*
• Grimal P. (1963) - Mythologies de la Méditerranée au Gange. *Larousse ed. 283p.*
• Guettard J.E. (1779) - Mémoire sur la minéralogie du Dauphiné, *2 vol.*
• Guettard J.E. (1779) - Mémoires sur différentes parties des sciences et des arts, *6 vol. Paris*
• Omalius d'Halloy J.B. (1839) - Eléments de géologie, ou seconde partie des éléments d'inorganomie particulière, *3ème ed., Paris, Pitois-Levrault, 759p.*
• Omalius d'Halloy J.B. (1816) - Mémoire sur l'étendue géographique du terrain des environs de Paris.
• Lyel Ch. (1830) - Principle of geology : being an attempt to explain the former changes of the earth's surface, by reference to causes now in operation., londres, J.Murray, *3vol.*
• Needham J.T. (1767) - Nouvelles recherches physiques et métaphysiques sur la nature et la religion, avec une nouvelle théorie de la Terre et une mesure de la hauteur des Alpes, Londres et Paris, *294p.*
• Palassou P.B. (1784) - Essai sur la minéralogie des monts Pyrénnées, *Didot, Paris, 210p.*
• Smith W. (1815) - , A memoir to map and delineation of the strata of England and Wales (1815)
• Soulavie J-L.G. (1784) - Histoire Naturelle de la France méridionale, *Quillot, Paris.*

Le texte ci-dessus est un extrait de :
De Wever (P.), Labrousee (L.), Raymond (D.), Schaaf (A.), 2005,- La mesure du temps dans l'histoire de la Terre. *SGF-Vuibert, coll. Enseigner les sciences de la Terre ; 160 p.*

Quelques autres références :
Au fil du temps, Découverte, *Revue du palais de la découverte, n° 315, Février 2004, 72 pp*
De Wever & al. (2002) - Le temps mesuré par les sciences, L'Homme à l'échelle géologique ; *Vuibert-MNHN, 160 p.*
Richet (1999) - L'âge du monde ; *Seuil, 381 p.*
Klein (1995) - Le temps ; *Domino*
Bernard & al. (1995) - Le temps en géologie, Synapses, *Hachette ; 156p*

(1) Pour être tout à fait précis sur les faits et la date, le calcul a été formalisé en 1654 par l'archevêque James Ussher qui est remonté jusqu'à Adam et Eve, puis repris et affiné quelques années plus tard à Cambridge par le Dr John Lightfoot, qui écrivit : "*Heaven and Earth, center and circumference, were made in the same instance of time, and clouds full of water, and man was created by the Trinity on the 26th of October 4004 B.C. at 9 o'clock in the morning*".

(2) On notera que l'ordre est bien de 400 vers 20 millions d'années et non l'inverse comme cela est mentionné.

(3) Il est amusant de noter que lorsque Rutherford voulut présenter sa méthode de datation des roches basée sur la désintégration radioactive, Lord Kelvin, farouche opposant, mais personnage respecté, et craint, était présent à cette séance de la Royal Society. Pour éviter des éclats inutiles, Rutherford se livra à un subterfuge : il commença par un long panégyrique de Lord Kelvin, qui finit par s'endormir ; alors Rutherford présenta ses travaux devant une assemblée apaisée.

(4) La radiochronologie est une technique parfois appelée "datation absolue" car elle fournit un âge chiffré en bout de course. Il s'agit néanmoins d'un abus de langage car ce qui est obtenu est un rapport de valeurs (entre élément père et élément fils). Mais ces valeurs doivent d'abord être interprétées avec beaucoup de soin car de nombreux facteurs peuvent les modifier (contamination, fuites du système).