

LES MYSTÈRES DE L'HISTOIRE DE LA TERRE : REGARD SUR LA GÉOLOGIE DU PAYS D'APT ET DU LUBERON

par Jean Philip¹

CET ARTICLE EST LE RÉSUMÉ D'UNE CONFÉRENCE DONNÉE À APT POUR l'association Archipal, le 8 février 2008. Il a pour objectif d'évoquer quelques-uns des grands mystères de l'histoire de la Terre et d'en éclairer la signification en prenant pour exemples les paysages géologiques de la région d'Apt et du Luberon.

Trois thèmes sont abordés, qui font actuellement débats de société. Tout d'abord l'âge de la Terre, dont l'évaluation scientifique est rejetée par certains fondamentalismes religieux, au nom d'une lecture littérale de la Bible. Ensuite, la question du changement climatique aux importantes conséquences humaines et économiques. Enfin, les événements exceptionnels ou catastrophiques, aux causes imprévisibles, qui sont susceptibles d'affecter des régions étendues de la Terre et y provoquer des dévastations de grande ampleur.

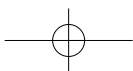
I. L'ÂGE DE LA TERRE, LES ÂGES DE LA VIE

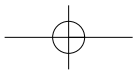
« *Qu'est-ce que le temps ? Si personne ne me le demande, je le sais, mais si on me le demande et que je veuille l'expliquer, alors je ne sais plus* » disait saint Augustin au IV^e siècle.

L'un des premiers grands mystères de la géologie et de l'histoire de la Terre, qui déchaîne encore les passions, est celui du temps. Quel est l'âge de la Terre, comment peut-on dater les événements qui s'y sont déroulés ?

L'importance du temps est telle qu'au moins un dieu lui a toujours été dédié. Les Égyptiens vénéraient Thot, dieu régulateur du temps. Les Iraniens (2000 av. J.-C.) avaient Zervan qui était issu d'une durée infinie. En Inde, existait Kala dieu du temps, assimilé à l'année (en tant que symbole du temps cyclique). Dans la religion judéo-chrétienne, c'est Dieu (Yahvé)

■ ¹Professeur Emérite de Géologie à l'Université de Provence.





qui est le maître du temps puisqu'il est éternel et c'est lui qui crée la Terre « ex nihilo ».

Le temps représente une valeur objective puisqu'il se mesure. Et pourtant, il nous arrive de l'interpréter comme une valeur subjective (le petit garçon ou la petite fille trouvent le temps long alors que leur maman « ne voit pas le temps passer »).

Chacun d'entre nous possède un passé, un présent et un futur, bref une histoire ; le temps nous apparaît linéaire et même orienté, vectoriel : on parle parfois de la flèche du temps qui passe. Il en est de même pour l'histoire de la Terre.

Mais aussi chacun d'entre nous naît, meurt, et une autre génération prend le relais ; il y a aussi les jours qui succèdent aux nuits, le printemps qui succède à l'hiver. Le temps apparaît alors cyclique. L'histoire de la Terre a été jalonnée par des cycles de durée et de fréquence variables : cycles orogéniques, variations du champ magnétique, cycles climatiques, oscillations du niveau des mers etc.

Les premières évaluations de l'âge de la Terre

Pour évaluer l'âge de la Terre les partisans de la durée « courte » se sont souvent heurtés aux tenants de la durée « longue ».

Dans la mythologie hindoue, bien avant notre ère, le concept de temps long de plusieurs dizaines ou centaines de milliers d'années semblait accepté. Très tôt, le monde oriental admit un temps qui se renouvelait, cyclique donc, et un monde très ancien.

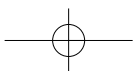
La Bible, dont l'écriture remonte au VI^e siècle avant Jésus-Christ (-587 à -537), décrit une séquence en six jours de la création de la Terre et des êtres vivants qui l'habitent, mais elle ne fixe pas à quelle date cette création s'est produite. Le texte biblique sert cependant de référence aux adeptes du temps court ; le Déluge aurait joué un rôle essentiel dans la formation des roches et sédiments à la surface de la Terre.

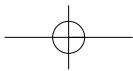
Au milieu du XVII^e siècle, l'archevêque Ussher croit trouver le jour de la création de la Terre en additionnant l'âge des patriarches de la Bible : il en déduisit que la création débuta en 4004 avant J.-C., un 22 octobre !

L'observation de phénomènes géologiques (comme l'érosion des chaînes de montagne, le dépôt des sédiments fluviaux), commença cependant à ébranler chez certains esprits logiques la conviction d'une Terre âgée de quatre mille ans à peine.

Ainsi, en comptant le nombre de dépôts de varves¹ saisonnières dans une vallée fluviale, J. Étienne Guettard avait calculé en 1779 que les vallées de la région d'Etampes avaient plus de 10 000 ans. Mais comme il était profondément croyant et, constatant que cela contredisait la Bible, il en

■ ¹Varves : dépôts lacustres finement lités.





conclura que sa méthode n'était pas fiable. L'abbé Palassou (1784) était arrivé à dire qu'il faudrait plus de 6 millions d'années pour éroder la chaîne des Pyrénées. L'abbé Soulavie (1784) estimait qu'il faudrait de même plus de six millions d'années pour que l'érosion naturelle détruise une seule coulée de lave. Ce qui lui vaudra quelques ennuis.

Avec Buffon (1779) naissent les premières expériences pour évaluer l'âge de la Terre. En mesurant le temps de refroidissement de boulets de fer de différentes tailles et en extrapolant à la dimension du globe terrestre, le grand savant annonce que la Terre doit avoir 25 000 ans ; puis il déclare successivement 50 000 et 75 000 ans. Les carnets de Buffon révèlent cependant que ses expériences l'avaient amené à attribuer à la Terre un âge de plus de 10 millions d'années. Durée vertigineuse pour son époque, que les pressions sociales et morales lui avaient sans doute interdit de publier.

Pour résumer, jusque vers le milieu du XVIII^e siècle, seuls quelques penseurs isolés affirment les « longues » durées de l'âge de la Terre.

Au XIX^e siècle, les géologues développent une chronologie relative détaillée des terrains et des roches formant les continents. Mais l'absence de technique de datation directe autorise des appréciations variées de l'âge de la Terre. Albert de Lapparent à la fin du XIX^e siècle, dit qu'un âge oscillant entre 90 et 100 millions d'années semble raisonnable.

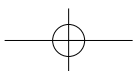
Les physiciens vont combler ce vide méthodologique. Lord Kelvin, d'abord, en calculant le temps de refroidissement de la Terre obtient un âge de 24 millions d'années, mais il commet une erreur en supposant une Terre en refroidissement constant depuis sa création.

C'est Rutherford (prix Nobel de Chimie 1908) qui montre que la chaleur de la Terre vient de la radioactivité des éléments et que la désintégration radioactive est calculable en fonction du temps ce qui en fait une horloge potentielle. En outre, l'énergie nécessaire à un renouvellement (cyclique) des processus géologiques est bel et bien produite dans les matériaux des profondeurs terrestres. Le concept de cycle géologique devient ainsi plausible.

À la suite des travaux de Rutherford on estime alors l'âge de la Terre à 3 milliards d'années, chiffre pas très éloigné de l'estimation actuelle (4,5 milliards d'années).

La mesure du temps par les sciences de la Terre

Mesurer le temps de l'histoire de la Terre, c'est pouvoir donner un âge aux roches et aux paysages. Quel est l'âge respectif des différentes couches géologiques qui constituent notre planète ? Combien de temps a-t-il fallu pour qu'elles se forment sous la mer ou dans des lacs ? Pour qu'elles deviennent roches ? Enfin pour qu'elles soient exhumées, plissées pour parvenir jusqu'à nous ? Voilà les questions que se poserait le géologue qui viendrait



à parcourir la région d'Apt. Questions que, bien évidemment, il se pose pour toutes les régions du globe, pour les roches des continents, du plancher des océans et de l'intérieur de la Terre. Quel gigantesque objectif!

Le principe de superposition est un moyen commode d'établir une chronologie des couches sédimentaires. Ce principe énonce que toute couche superposée à une autre est plus récente que cette dernière et vice-versa. Ainsi, l'empilement des couches a enregistré le passage du temps, mais la chronologie qu'on en tire reste relative (plus jeune, plus vieux) et non chiffrée.

Si nous considérons les couches géologiques de la région d'Apt, nous voyons qu'il y a d'abord les roches calcaires qui constituent le plateau de Vauchuse ou le massif du Luberon, au-dessus les marnes bleues de la région de Gargas et de Saint-Saturnin-lès-Apt, recouvertes par les grès verts et les ocres de Rustrel, eux-mêmes recouverts par les calcaires jaunes en plaquettes de la région de Céreste riches en poissons, au-dessus desquels se placent les calcaires roux de la combe de Lourmarin et de Buoux. On établit ainsi (ici de manière simplifiée), une chronologie relative des ensembles géologiques de la région aptésienne.

L'examen du contenu en fossiles des couches permet aussi de comparer l'âge de terrains géographiquement très éloignés. Deux couches sont de même âge si elles ont en commun les mêmes espèces de fossiles. La vie évolue de façon irréversible; Il suffit donc de connaître l'arbre généalogique des êtres vivants pour déterminer l'âge relatif des couches. Des couches à trilobites sont forcément du Primaire, donc plus anciennes que des couches

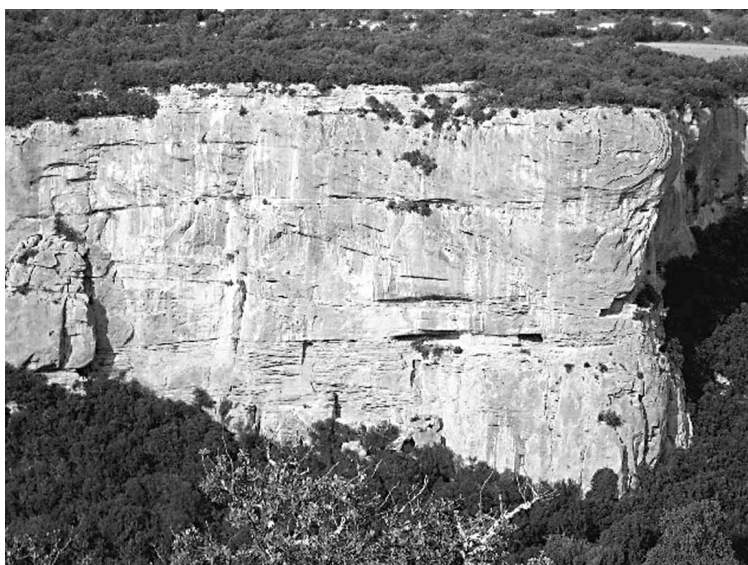
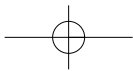


Fig. 1. La molasse miocène de Buoux.



à ammonites du secondaire. Les fossiles du géologue sont ainsi comme les « pièces de monnaie » de l'archéologue ou de l'historien : ils sont les jalons de l'histoire de la Terre, des « donneurs » de temps.

Enfin, la radiochronologie, basée sur la désintégration naturelle de certains éléments radioactifs (carbone 14, rubidium, potassium, uranium, etc.), permet de dater les roches qui les renferment et donc d'établir un calendrier de l'histoire de la Terre avec des dates chiffrées. On parle de chronologie absolue (bien que les dates fournies soient entachées d'une marge plus ou moins grande d'erreur, inhérente aux difficultés techniques de détection et de mesure des éléments radioactifs ou de leurs produits de désintégration). La méthode au carbone 14 permet de remonter l'horloge géologique jusqu'à 50 000 ans avant le présent, les autres jusqu'à l'origine de la Terre.

Le calendrier géologique

Le temps est généralement simple et compréhensible quand il est court ; il devient plus flou, plus difficile d'accès quand il est long. Le géologue prend intuitivement le temps en compte car il retrace l'histoire de la terre (donc le temps vectoriel) et l'unité qu'il utilise est couramment le million d'années, dimension qui lui est propre.

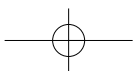
D'où la nécessité de disposer de repères ou de comparaisons. Le calendrier géologique est comparé au calendrier de l'année civile car le temps profond est difficilement compréhensible et l'unité du million d'années n'est pas à l'échelle humaine.

L'âge de la Terre déterminé par la datation radiochronologique des météorites pierreuses est estimé aujourd'hui à environ 4,5 milliards d'années. Durée immense, que l'esprit humain est incapable d'appréhender !

Mais dont on peut se faire une idée si, par comparaison, on fait coïncider la création de la Terre avec le 1^{er} janvier d'une année civile. L'apparition de la vie est datée d'environ 3 milliards d'années : nous sommes fin avril. L'ère primaire qui voit l'éclosion des organismes possédant un squelette, débute il y a 545 millions d'années : le 18 novembre. L'ère secondaire, au cours de laquelle ont proliféré les dinosaures et les ammonites, a duré 186 millions d'années (du 11 au 26 décembre). L'apparition des hominidés sur la Terre ne date au plus que de 3 millions d'années (soit le 31 décembre à 21 heures.).

En appliquant aux roches et paysages de la région d'Apt les méthodes de la radiochronologie, voici les âges que l'on peut donner aux différents ensembles géologiques.

Les couches les plus anciennes sont celles qui constituent le cœur du Grand Luberon (Bastide du Bois, Vitrolles) : elles sont dites de l'étage Valanginien et sont datées de 130 millions d'années. Abstraction faite des dépôts du quaternaire,



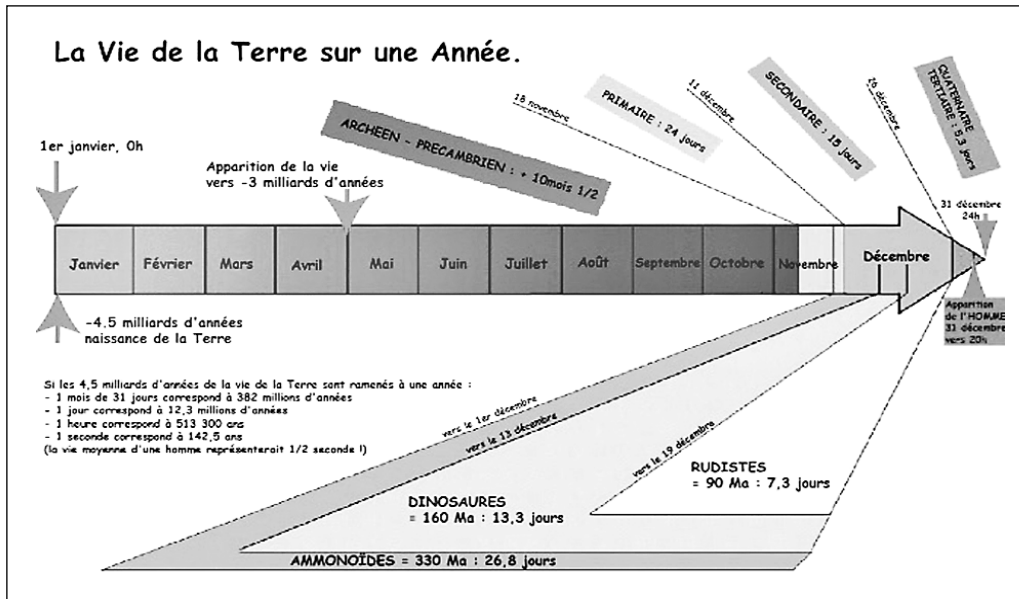


Fig. 2. La flèche du temps géologique.

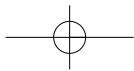
les couches les plus récentes existent dans les anfractuosités du canyon du Régalon, sont dites du Pliocène et âgées de 5 millions d'années. Entre ces deux âges-limites se trouvent d'autres couches, d'origine marine ou continentale, et ainsi la durée de l'histoire géologique du pays d'Apt est de 125 millions d'années environ, ce qui, comparé à l'âge de la Terre de 4,5 milliards d'années, n'est que les 2,7 % de la durée de son histoire. Comparés à la durée d'une année ces 2,7 % correspondraient à la période comprise entre le 21 et le 31 décembre !

Les cycles géologiques

Revenons à notre pays d'Apt ; toutes les couches qui s'y superposent ne sont pas déposées dans le même environnement. Certaines sont marines : on y trouve des fossiles comme des nautilus, des ammonites, des oursins, des coraux etc. Ce sont les couches calcaires du plateau du Vaucluse, les marnes de Gargas et de Saint-Saturnin les Apt, les molasses de Cucuron, de Cabrières d'Aigues ou de Buoux ; d'autres sont lacustres, comme les couches de Vachères ou de Céreste, d'autres sont continentales comme les ocres ou le minerai de fer de Rustrel.

La mer a ainsi occupé la région d'Apt pendant le crétacé inférieur (milieu du secondaire), jusqu'à 108 millions d'années, ensuite elle s'est retirée, puis elle n'est revenue qu'au Miocène il y a environ 11 millions d'années, pour se retirer définitivement il y a 2 millions d'années.

Depuis le début du Primaire, la Terre a connu un grand nombre d'oscillations cycliques du niveau marin, que les géologues appellent cycles de



transgression et de régression marine. La cause des oscillations du niveau marin dépend des époques. Au quaternaire par exemple, le niveau marin est contrôlé par les alternances de phases glaciaires et de phases de réchauffement. Au cours de la dernière glaciation (-20 000 ans), le niveau marin était en Méditerranée à -120 m par rapport au niveau actuel. À l'ère secondaire, c'est au contraire l'activité des dorsales océaniques qui régit l'élévation ou la chute du niveau marin.

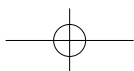
La formation des chaînes de montagnes obéit aussi à des cycles. La Terre connaît des cycles à la fin desquels, durant une période de crise (de convulsion) relativement brève, se forment des grandes chaînes de montagne. Les géologues appellent cela des cycles orogéniques. Depuis sa création, la Terre a connu une douzaine de cycles orogéniques, dont les trois derniers (cycles calédonien, hercynien, au Primaire ; cycle alpin au Secondaire et au Tertiaire) nous sont familiers, car ils sont en France à l'origine des chaînes anciennes comme le massif Armoricain, le Massif Central, l'Ardenne, les Vosges et des chaînes récentes : Alpes, Pyrénées, et Provence.

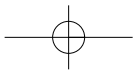
Le pli du Luberon et celui de Pont Mirabeau se sont formés vers la fin du cycle alpin, sous la poussée des Alpes externes entre 8,5 et 5,6 MA.

Un cycle orogénique (déroulement entre 150 à 200 millions d'années) comprend en général trois phases : la première la formation des matériaux : sédiments puis roches dans des grands bassins océaniques créés par distension de la croûte terrestre. Ensuite, formation de la chaîne de montagne par raccourcissement de la croûte, comme si celle-ci voulait expulser le trop



Fig. 3. Le pli anticlinal de Pont Mirabeau.





plein de matériaux accumulés. Et enfin érosion de la chaîne jusqu'à une pénélaine où la mer pourra à nouveau déposer des sédiments et inaugurer un nouveau cycle orogénique.

La découverte de la tectonique des plaques a permis de mieux comprendre le déroulement et la succession des cycles orogéniques. La valse des continents sur l'asthénosphère¹, portés par le tapis roulant des planchers océaniques, alimentés par le volcanisme des dorsales océaniques (qui transfère l'énergie de l'intérieur du globe à sa surface) a donné un cadre explicatif convaincant à l'orogénèse. Les chaînes de montagne (Himalaya, Andes, Alpes), se sont formées par collision des grandes plaques, comme la plaque indienne poinçonnant le continent asiatique pour former l'Himalaya.

Une réflexion philosophique et métaphysique sur le temps « profond »

Le temps « profond » a permis à la Terre de devenir une planète habitable pour accueillir la vie. Il a fallu des milliards d'années pour que naisse une atmosphère avec de l'oxygène moléculaire ; des millions d'années pour instaurer la biodiversité ; des millions d'années pour que se construisent les ressources du sous-sol (pétrole, charbon) ; des centaines de millions d'années pour voir l'avènement de l'homme (fruit du hasard ou flèche de l'évolution ?).

Au regard de l'âge de la Terre, la durée de l'espèce humaine et, a fortiori, celle d'un individu sont d'une infinie petitesse, ce qui devrait relativiser à nos yeux beaucoup de choses et tempérer bien des passions.

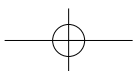
Le texte de la Bible sur la Genèse, sur la chronologie et l'ordre des créations successives, ne doit apparaître au regard de la science que comme un très bel hymne à la Création, reflet des connaissances du temps où le texte a été écrit. Comme le faisait remarquer le pape Léon XIII en 1893 : « *Les auteurs bibliques n'ont jamais prétendu étudier les phénomènes naturels ; pour les décrire ils adoptent la manière de parler de leur temps.* »

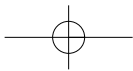
La négation du temps « profond » par les créationnistes est une attitude intellectuelle de défiance injustifiée envers la science, qui les conduit à se voiler la face devant la vérité des faits.

Les adeptes du « dessein intelligent », défendent l'idée d'un Dieu Créateur insufflant un élan de vie à la matière (une direction ?). On est proche de la philosophie d'un Bergson, ou d'un Teilhard de Chardin. Une sorte de logique interne du vivant qui accomplit un programme tracé à l'avance et dont la finalité est l'Homme.

Pour Christian de Duve, prix Nobel de médecine, une vision naturaliste de l'origine de la vie n'exclut pas nécessairement la croyance en un

■ ¹ Asthénosphère : couche plastique du manteau supérieur.





créateur : « Pourquoi ne pas imaginer un dieu qui aurait créé d'emblée un monde capable de donner spontanément naissance à la vie par le simple déroulement des lois naturelles? »

Concernant les athées ou les agnostiques, le temps « long » est un fait qui ne détruit en rien leur idée sur l'évolution de la vie (fruit du déterminisme chimique, du hasard des mutations ou des aléas de l'histoire de la vie et de la sélection naturelle par rapport aux contraintes du milieu). L'homme n'est pas le but de l'évolution mais le fruit du hasard et de la nécessité (J. Monod).

Le débat sur les origines et le pourquoi des choses reste ouvert. Pour reprendre un propos de Galilée, la science explique « comment est le ciel mais ne dit pas comment on va au ciel ».

Il convient dès lors d'appliquer à ce débat de notre époque, le sage précepte de « l'honnête homme » de Montaigne et le non moins important précepte de Stephen Jay Gould, dit du NOMA : le non-empiètement des magistères respectifs de la science et des religions. C'est là le prix de la sérénité de ce débat et de son objectivité.

II. LE « CHAUD ET LE FROID » : LES FLUCTUATIONS DU CLIMAT AU COURS DE L'HISTOIRE DE LA TERRE

La question du « réchauffement climatique », ou « du changement climatique », constitue le grand débat scientifique et sociétal du début du XXI^e siècle.

Les hommes s'aperçoivent qu'il s'agit d'un phénomène global, qui intéresse toutes les régions de la Terre, même si ce changement ne s'y traduit pas de la même façon ou avec la même intensité. Dans le golfe du Mexique et les Caraïbes c'est la recrudescence et la violence des ouragans ; en Europe, ce sont les étés torrides et secs ; au pôle c'est la fonte de la banquise se réduisant comme peau de chagrin ; au Pérou, au Chili ce sont des pluies catastrophiques engendrées par le phénomène El Niño, etc.

Les hommes craignent aussi que ce bouleversement soit trop rapide pour être naturel et ils se demandent si, imprudemment, ils n'auraient pas joué les apprentis sorciers en rejetant dans l'atmosphère des gaz à effet de serre provenant d'une consommation effrénée des combustibles fossiles (pétrole, gaz, charbon), de la déforestation et de l'agriculture intensive.

Que nous disent sur cette question les archives de la Terre ?

Ne quittons pas la région d'Apt. Les couches géologiques ont enregistré des conditions climatiques très différentes des conditions actuelles.

Au milieu du secondaire, les calcaires du plateau du Vaucluse (calcaires urgoniens) se sont déposés dans une mer chaude, tropicale où pouvaient prospérer des coraux et de gros coquillages appelés rudistes, fréquents dans les

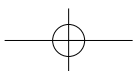




Fig. 4. La croûte de fer de Rustrel.

calcaires de la crête du Ventoux. Si Apt avait été une île on aurait pu se baigner dans une eau à la température oscillant entre 20 et 26°. Les ocres d'Apt ou le minerai de fer de Rustrel se sont élaborés à la fin du crétacé et au début du tertiaire dans des sols comparables à ceux qui se forment actuellement sur le vieux socle africain sous climat tropical humide.

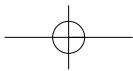
Les calcaires à poissons de Céreste ou les couches de sel de Manosque de l'oligocène se sont déposés dans un environnement de type tropical avec une forte aridité.

Enfin, les conditions froides du quaternaire, marquées en Luberon par des éboulis, ou en Durance par des terrasses fluviales, se sont établies très progressivement à partir de 2 millions d'années.

On retire déjà un constat : dans une même région le climat change, mais ce changement s'opère de façon très lente. Lorsqu'un régime climatique s'est établi, sa durée est de l'ordre de plusieurs millions d'années (de plusieurs dizaines de milliers d'années au quaternaire). Le phénomène climatique est doté d'une grande inertie.

Pourquoi le climat global de la planète change-t-il ? À cela plusieurs raisons.

1. Les continents et les océans n'ont pas toujours eu la même répartition. Au milieu du primaire (carbonifère, 300 millions d'années), les continents étaient rassemblés au pôle sud et recouverts d'une immense calotte glaciaire. Au secondaire, il existait une grande ceinture marine inter-



tropicale appelée la Téthys qui permettait une circulation d'eau chaude tout autour de la Terre et, comme les continents étaient aplanis, peu étendus, des conditions relativement chaudes régnaient sur toute la Terre : il n'y avait alors pas de calottes glaciaires. À la fin du tertiaire le climat s'est détérioré car se sont dressées des chaînes de montagne à haut relief.

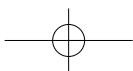
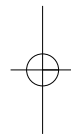
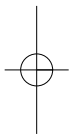
2. L'atmosphère terrestre a été plus ou moins chargée en gaz à effet de serre. C'est grâce à l'effet de serre que la température moyenne de la Terre est de 33°C plus chaude que s'il n'existait pas, à 15°C au lieu de -18°C. L'émission naturelle du dioxyde de carbone (CO₂; le plus redoutable des gaz à effet de serre) provient en majeure partie du volcanisme. Au Secondaire, il y a eu formation de grands plateaux océaniques ou de grandes coulées à Terre (Inde), et dégagement de CO₂, qui est alors venu renforcer le climat chaud de cette époque. L'émission de méthane (CH₄) à partir de sédiments du fond de l'océan est parfois également invoquée pour expliquer le réchauffement du climat à certaines périodes.

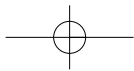
3. L'inclinaison de l'axe de la Terre sur le plan orbital est sujette à des variations périodiques de 100 000 ans, 40 000 ans, 25 000 ans (cycles de Milankovich). Au quaternaire, ces variations ont joué un rôle important sur les alternances de périodes chaudes et de périodes froides. Lorsque l'hémisphère nord reçoit le moins d'insolation, il y a déclenchement d'une période froide par suite d'une grande extension des glaciers sur les continents de l'hémisphère nord.

4. La circulation océanique assure des transferts de masses d'eaux chaudes ou froides. Cette circulation peut se ralentir ou s'amplifier. L'ouverture du détroit de Drake entre Amérique du Sud et Antarctique a généré un courant circumpolaire qui a isolé l'Antarctique et produit une première grande glaciation il y a 30 millions d'années.

5. L'intensité du rayonnement solaire est variable. Le soleil présente à sa surface des taches (expression du champ magnétique) qui apparaissent et disparaissent suivant un cycle bien connu d'environ onze ans. Les mesures par satellites semblent toutefois montrer que la variation d'intensité solaire n'excède pas 0,15. Selon certains chercheurs, il faudrait une diminution dix fois plus importante de la luminosité du soleil pour un refroidissement de 1 °C de la Terre. D'autre part, le soleil émet plutôt dans l'ultraviolet et ce rayonnement affecterait plutôt les couches supérieures de l'atmosphère que la surface de la Terre. La diminution du rayonnement solaire (minimum de Maunder) a cependant été évoquée pour expliquer le petit âge glaciaire (1645-1715), lequel a affecté la totalité de l'hémisphère nord; mais qu'en était-il de l'hémisphère sud ?

6. Le volcanisme. Les volcans peuvent éjecter au cours de leur activité paroxysmale une grande quantité de poussières et de dioxyde de soufre





dans l'atmosphère. Ces nuages peuvent se déplacer autour de la terre et intercepter le rayonnement solaire. Des périodes de refroidissement, mais de courte durée, peuvent ainsi s'en suivre.

L'espèce humaine qui, si l'on en croit les préhistoriens, est apparue il y a 3,5 millions d'années environ, a connu des changements climatiques importants dont la périodicité est maintenant bien située grâce à l'étude des archives des sédiments marins ou continentaux et même des glaces du pôle nord et du pôle sud, objets de grands forages comme celui de Vostok en Antarctique. L'homme a ainsi vécu des périodes très froides (ou glaciaires), au cours desquelles son habitat a été restreint, et des périodes de réchauffement. Ces différentes périodes ont des durées différentes, mais les interglaciaires sont curieusement les plus courts (environ 10 000 ans) et nous vivons précisément depuis 10 000 ans une période de réchauffement dite holocène qui a succédé à la grande période froide du Würm qui a duré environ 80 000 ans. Au cours de l'holocène s'est même produite une phase plus chaude, appelée optimum climatique, il y a 6 000 à 8 000 ans. En Europe occidentale, la température estivale était supérieure d'environ 2 à 3 °C à celle observée de nos jours. Inversement, au cours du petit âge glaciaire, l'Europe a connu des hivers très rigoureux.

Si l'on en croit les prédictions géologiques, nous serions cependant vers la fin d'une période clémente et nous devrions nous diriger vers une période de grand froid.

Or, il n'en est rien. Alors, connaissons-nous un dernier soubresaut (certes accéléré) de cette période chaude, un nouvel « optimum climatique » ? Ou subissons-nous un réchauffement de cause anthropique ? C'est tout le débat actuel des conférences internationales (Rio de Janeiro, Johannesburg, Kyoto), du Grenelle de l'Environnement, etc.

Les faits objectifs du réchauffement actuel, visibles et mesurables, sont de trois sortes.

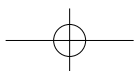
a) La fonte des glaciers et de la calotte arctique s'effectue sous nos yeux à un rythme accéléré.

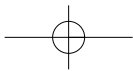
b) La remontée du niveau marin met en péril des îles du Pacifique et de l'Océan Indien et des régions côtières. L'élévation globale du niveau marin est due à la conjonction de la dilatation thermique des océans et de la fonte des glaciers continentaux.

c) Les quantités de CO₂ et de méthane dans l'atmosphère suivent depuis plusieurs décennies une courbe régulièrement ascendante.

Quelles sont les actions à mener pour réduire les émissions de gaz à effet de serre ?

Elles sont nombreuses, d'ordre géopolitique (puisque le phénomène est mondial) et économique, et nous ne saurions en faire une présentation





exhaustive. Évoquons cependant une mesure qui touche à la géologie et qui concerne le stockage des émissions de CO₂ prises à leur source.

L'idée est de retenir le gaz émis par les plus grosses sources : centrales thermiques, cimenteries, usines chimiques. En piégeant 90 % du CO₂ s'échappant des cheminées d'usine on pourrait réduire d'environ un tiers nos émissions globales. Mais il faut tempérer ce bel optimisme car les procédés de capture consomment de l'énergie, ce qui génère à nouveau du CO₂. On a diverses façons de « cacher sous le tapis » le gaz indésirable, la plus simple étant de l'enfouir dans les couches profondes du sous-sol en espérant qu'il y restera sagement pendant quelques milliers d'années. L'argument principal c'est que ce stockage existe déjà dans la nature. On connaît en effet des gisements souterrains de CO₂ pur, quelques-uns étant même exploités pour la fabrication de boissons gazeuses. Beaucoup de formations géologiques se prêtent au stockage, à commencer par les anciens gisements de pétrole ou de gaz naturels épuisés, les nappes aquifères profondes (bénéficiant d'un couvercle argileux étanche) et les couches sédimentaires poreuses pouvant, après expulsion de l'eau qu'elles contiennent, absorber durablement comme des éponges de très grandes quantités de CO₂. En France des prospections ont lieu dans les couches de grès du Bassin parisien (à une profondeur supérieure à 1 500 m).

Il existe sur la planète pas moins de 7 887 sites industriels à équiper de systèmes de récupération et relâchant annuellement 13,4 milliards de tonnes de gaz.

On estime aujourd'hui à 50 euros le prix de chaque tonne de CO₂ épargnée à l'atmosphère par enfouissement.

On songe aussi à piéger le CO₂ sous forme de carbonates artificiels (par utilisation de bactéries). Il ne faudra pas se priver non plus de mettre la nature à contribution (arbres à longue durée de vie, coquillages de culture, etc.). En effet, dans chaque kilo de coquille d'huîtres il n'y a pas moins de 400 g de CO₂ soustrait à l'atmosphère. Avis aux consommateurs de coquillages : ne brûlez pas les coquilles, mais enfouissez-les !

III. LA TERRE EST-ELLE À L'ABRI D'UN ÉVÉNEMENT EXCEPTIONNEL OU D'UNE CATASTROPHE PLANÉTAIRE ?

Il existe un événement exceptionnel de grande ampleur, relativement proche de nous dans le temps, et auquel la géologie du pays d'Apt fournit des réponses. Cet événement, c'est celui de l'assèchement de la Méditerranée, il y a 5 millions d'années environ.

Rendons-nous en un lieu connu et pittoresque, le canyon du Régalon : cette incision profonde et étroite qui entaille les calcaires du massif du Luberon

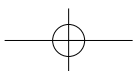
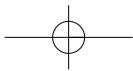




Fig. 5. L'entaille du anyon de Régalon.

occidental. Un examen superficiel pourrait faire croire que ce canyon a été creusé pendant le quaternaire lors des périodes glaciaires où le niveau de base étant plus bas, les cours d'eau ayant alors surcreusé leur lit pour rétablir un profil d'équilibre. Mais détrompons-nous ; un examen attentif montre que les grandes cavités rocheuses qui se trouvent à mi-parcours du canyon sont remplies de marnes dans lesquelles on trouve des fossiles marins du pliocène (environ 4 millions d'années). Donc, ce canyon a été creusé avant que la région ne soit recouverte par la dernière grande transgression marine qui s'est avancée dans la vallée de la Durance et dans la basse vallée du Rhône jusqu'à Lyon.

En fait, les géologues ont montré que ce creusement date d'environ 5,6 millions d'années, en pleine période de la fin du miocène et qu'il est dû à un abaissement considérable (environ 1 500 m) du plan d'eau de la Méditerranée qui s'est presque entièrement asséchée. Cet événement considérable (appelé l'événement messinien du nom de la cité sicilienne où il



a été décrit) s'est déroulé en 500 000 ans environ, quasiment le temps (450 000 ans) qui nous sépare de l'homme de Tautavel. Cette chute dramatique du niveau marin est due à la conjonction de deux facteurs : un abaissement du niveau global des mers par suite d'une première phase de glaciation ; accompagné de mouvements tectoniques entre l'Afrique et l'Europe qui ont fait surgir une chaîne à l'emplacement actuel du détroit de Gibraltar. Il s'en est suivi le dépôt d'une couche de sel (épaisseur environ 1 000 m) sur le fond de la Méditerranée, que les prospections géophysiques ont parfaitement mise en évidence.

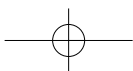
Imaginons l'emplacement de la Méditerranée comme un grand lac salé, une sorte de gigantesque Mer Morte il y a 5,6 millions d'années et toutes les terres autour surplombant cette gigantesque cuvette, avec les fleuves ou rivières : Rhône, Durance, Nil, Danube surcreusant leur lit pour se jeter dans cet immense creux. C'est de cette manière que le canyon du Régalon s'est formé.

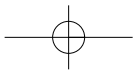
Après cet événement exceptionnel, le verrou de Gibraltar a cédé, pour laisser le flot marin de l'Atlantique se déverser, remplissant, comme on remplit une bassine, l'espace méditerranéen asséché. Le niveau marin est monté très vite (tel un véritable déluge), peut être en quelques centaines d'années, la mer envahissant alors les vallées creusées pendant l'épisode de régression du messinien, s'avancant par exemple dans la vallée de la Durance jusqu'à Mirabeau.

Revenons une dernière fois à la région aptésienne. Entre l'époque où la mer a abandonné la région d'Apt (au milieu du crétacé, il y a 90 millions d'années), et celle où la mer a de nouveau envahi la région (au miocène, il y a 22 millions d'années), il s'est passé sur la Terre beaucoup d'événements, que les couches géologiques, en particulier les couches marines, ont enregistrés ailleurs dans le monde.

L'un de ces événements a été très médiatisé : il concerne la disparition des dinosaures à la fin de l'ère secondaire, il y a 65 millions d'années. Les couches à dinosaures ne se sont pas déposées dans la région d'Apt, mais elles sont particulièrement bien développées et très riches en fossiles dans le bassin de l'Arc, au pied de la Sainte-Victoire. Pourquoi les dinosaures ont-ils disparu brutalement, avec beaucoup d'autres organismes ? Voici un mystère passionnant et qui conduit à s'interroger sur le propre avenir de l'humanité. Sommes-nous à l'abri d'un cataclysme planétaire ? Pourrions-nous l'éviter ou le combattre ? Viendrait-il du ciel ? De l'intérieur de la Terre ? Ou de nos propres armes de destruction massive ?

L'événement qui s'est produit à la fin du secondaire a non seulement conduit à la disparition brutale des dinosaures, mais aussi de nombreuses espèces du plancton, des ammonites, des bélemnites et des rudistes. Bref une crise globale des écosystèmes terrestres et marins. Les géologues l'appellent la crise de la limite crétacé-tertiaire, ou crise K/T.





De nombreux arguments plaident en faveur de l'impact d'une gigantesque météorite (environ de 10 km de diamètre). Le cratère de l'impact aurait été localisé à Chicxulub dans la péninsule du Yucatan. Les couches géologiques de la limite K/T possèdent des quartz choqués, des tectites (éléments formés par la fusion de roches lors de l'impact de météorites), une teneur anormale en iridium et magnétite nickélicifère (des éléments abondants dans les météorites). La chute de cette impressionnante météorite aurait provoqué des dévastations sur toute la surface de la Terre, affectant gravement les chaînes alimentaires basées sur la photosynthèse et provoquant ainsi des extinctions massives. Certains groupes, moins inféodés à un régime herbivore (crocodiles, tortues, lézards, serpents, poissons d'eau douce), ont cependant survécu à la crise.

Une autre hypothèse privilégie une gigantesque éruption volcanique en Inde qui aurait injecté dans l'atmosphère une grande quantité de poussières et de CO₂ capable de modifier dramatiquement la composition de l'atmosphère et le climat.

IV. CONCLUSIONS

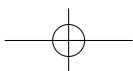
Quels enseignements tirer de ces vicissitudes de l'histoire géologique de la planète ?

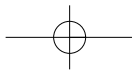
D'abord que la Terre est partie intégrante du système solaire et n'est pas à l'abri des caprices de l'astre du jour, ni d'un bombardement de météorites ou de comètes qui peuvent occasionner des extinctions massives et de graves dommages sur l'environnement global de la planète. Pas à l'abri non plus de cataclysmes d'origine interne comme une éruption volcanique majeure ou un tsunami géant.

Ensuite, que la modification, même lente, de certains facteurs naturels peut occasionner d'importants changements à la surface de la Terre et influencer sur le climat. Il faut être attentif à la fonte sournoise, mais inexorable, de la calotte arctique, attentif aussi aux grands mouvements des masses océaniques comme le Gulf Stream ou les transferts de masses d'eau chaude dans le Pacifique (El Niño).

Actuellement, les scientifiques en sont au stade des observations, des mesures, aux modèles numériques; il ne leur est pas encore possible d'effectuer des prévisions indiscutables de l'évolution de ces phénomènes et de leurs causes. Encore moins de préconiser des remèdes à apporter à ces désordres.

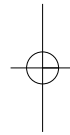
L'homme se trouve aujourd'hui comme un spectateur des grondements de la nature; il commence à en comprendre les mécanismes, mais il ne peut pas faire grand-chose pour les contrôler. L'humanité s'est-elle comportée





comme le couple Adam et Ève et va-t-elle payer les fautes qu'elle a commises envers la Nature ? Ou bien est-elle l'objet d'un univers aveugle qui évolue suivant ses propres lois et se moque des petits êtres qui peuplent la planète bleue en se déchirant bien trop souvent.

L'homme victime ou maître de son destin ?



Références bibliographiques

- Collectif (1998). *Découverte géologique du Luberon*, Éditions BRGM.
- Courtillot V. (1995). *La vie en catastrophes*, Fayard.
- De Duve C. (2002). *À l'écoute du vivant*, Odile Jacob.
- De Wever P., Labrousse L., Raymond D., Schaaf A. (2005). *La mesure du temps dans l'histoire de la Terre*, Vuibert.
- Deconinck J.-F. (2006). *Paléoclimats*, Collection « Interactions », Société Géologique de France-Vuibert Éditions.
- Gould S.J. (2000). *Et Dieu dit : « Que Darwin soit »*, Seuil.
- Joussaume S. (1993). *Climat. D'hier à demain*, CNRS Éditions.

