

**Armand RENIER**

Membre de l'Académie royale de Belgique  
Chef du Service géologique de Belgique

---

**Promenade géologique  
à travers  
l'Ouest des États-Unis**

---

*Revue du Cercle des Alumni de la Fondation Universitaire*  
(Extrait du tome V, nos 5-6, juin-août 1934)

---

**BRUXELLES**  
Rue d'Egmont, 9

---

1934



## Promenade géologique à travers l'Ouest des Etats-Unis

C'est une promenade que je me propose de vous faire faire ce soir. Je précise : une assez lointaine et, même, une assez longue promenade. Je ne vais pas jusqu'à dire que ce soit la plus lointaine et, surtout, la plus longue promenade qui puisse se faire, en l'espace d'une heure, aux États-Unis d'Amérique. Je m'en garde bien, d'abord parce que cela n'est pas certain, ensuite parce que, d'emblée, vous me taxeriez d'exagération, d'une forme d'exagération prétendument transatlantique. Tout de même, je ne serais nullement étonné si vous emportiez de cette promenade la conviction que tout Européen acquiert rapidement dès qu'il parcourt les terres du Nouveau Monde, à savoir qu'il existe réellement une dimension américaine, que l'échelle des grandeurs est là-bas autre qu'en sa terre natale et que, en dernière analyse, des conceptions qui souvent nous étonnent, parfois jusqu'à stupeur, n'y sont que le reflet de situations naturelles. Les exemples abondent ; nous ne les rechercherons pas ; ils s'offriront à nous chemin faisant. Tenons-nous-en, pour l'instant, au seul fait que la distance à vol d'oiseau d'Est en Ouest, de l'Atlantique au Pacifique, à travers les seuls États-Unis d'Amérique, est de plus de 4,000 kilomètres, donc telle que, par les voies les plus rapides, on ne la franchit, présentement encore, qu'en quatre journées de voyage ininterrompu en chemin de fer ou en quelque trente heures de course en avion.

Toutes impressionnantes qu'elles soient, ces données numériques peuvent cependant ne pas être pleinement appréciées d'ici même. La raison en est, sans doute, que la pensée ne se trouve en rien gênée par la distance. C'est instantanément que nous nous voulons en ce moment transportés, par-delà l'Océan, la chaîne des Appalaches et

les grandes plaines du Mississipi, jusqu'au cœur des Montagnes Rocheuses, au faite même des bassins hydrographiques des deux grands océans. Notre promenade pourra ainsi se poursuivre à travers une série de parcs nationaux : Yellowstone, Crater Lake, Grand Canyon. Toujours à haute altitude, nous ne cesserons d'évoluer dans un cadre aussi proche que possible de l'état spontané, dans une atmosphère d'une sérénité parfaite où l'air, idéalement sec, est tellement pur que la vue porte sans peine à 100 ou 150 kilomètres et même au-delà. La voilà bien, cette fois, la dimension américaine!

\* \* \*

La superficie du parc du Yellowstone, institué le 1<sup>er</sup> mars 1872, est d'environ 9,000 km<sup>2</sup>, soit l'ensemble de trois provinces belges. Sa forme a été primitivement celle d'un rectangle long de 100 kilomètres suivant le méridien et large de 80 kilomètres. Une accommodation plus étroite aux situations topographiques a entraîné des retouches à ses limites septentrionale et orientale, avec, pour conséquence, un accroissement de plus de 13 % en superficie.

La plus grande partie du parc du Yellowstone est un plateau dont l'altitude atteint 2,500 mètres. Il est bordé de chaînes de montagnes dont les sommets le dominant de 1,000 à 1,500 mètres. Dans son intérieur, on remarque spécialement un pic isolé, le mont Washburn, haut de 3,150 mètres.

La presque totalité du parc appartient au versant atlantique; mais les abords de la ligne de partage, soigneusement piquetée sur le terrain, sont plutôt plats et parsemés de lacs. Le plus grand d'entre eux, qui ne compte pas moins de 160 kilomètres de tour, a pour principal tributaire le cours supérieur de la rivière Yellowstone, dont la source est au Sud, en dehors du parc, et pour émissaire le cours inférieur de cette même rivière. D'abord relativement lent sur une bonne quinzaine de kilomètres, l'émissaire ne tarde pas à devenir torrentiel. Aux rapides succèdent deux chutes, dont la seconde, haute de 95 mètres, marque décidément son entrée dans la gorge qui a valu leur nom à la rivière, au lac et, finalement, au parc tout entier.

Quelle splendeur que celle de la gorge du Yellowstone ou de la

« Pierre Jaune », lorsqu'on contemple celle-ci une fois, deux fois, dix fois sous les feux d'un soleil d'été ! Profonde, par endroits, de 360 mètres, entaillée à pic dans le vaste plateau qui ne s'abaisse que très lentement vers le Nord sur une distance de 30 kilomètres, elle a ses parois rocheuses largement découvertes ; la forêt de pins qui couvre le plateau, ne parvient que très localement à y prendre pied. Déchiquetée par le gel durant de longs et rigoureux hivers et d'ailleurs profondément altérée dans sa masse, la roche a pris, non seulement les formes les plus audacieuses où l'oiseau de proie aime à poser son nid, mais aussi les teintes les plus extraordinaires, allant du jaune d'or au rutilant vermillon.

Les explorateurs signalent que du haut au bas des flancs, aux abords de la chute inférieure et sur une grande longueur, la roche est une rhyolite, c'est-à-dire une coulée de lave déjà ancienne. Cette même coulée recouvre de vastes espaces sur le plateau. Le parc presque tout entier n'est, en effet, qu'un district volcanique. Là où le sol est à nu, on ne voit guère que laves ou amas stratifiés de cendres et de lapillis. Cependant les géologues ignorent encore l'exacte position de la ou des bouches qui ont vomi ces amas de pierres. Certains pensent que le mont Washburn, qui en est l'un des plus hauts édifices, pourrait être le témoin d'un vaste cratère. Mais peut-on être affirmatif en ce pays de forêts vierges où des centaines de kilomètres carrés restent inexplorés ?

La lave à travers laquelle la rivière a trouvé son chemin est profondément altérée. Cette altération, origine de son étonnant coloris superficiel, elle la doit à l'action de vapeurs et de gaz venus des profondeurs du sous-sol. Des sources thermales, encore fumantes, s'observent au fond de la gorge. Comme elles sont innombrables dans l'ensemble du parc, nous leur préférons celles de la région occidentale. Leur spectacle ne laisse pas d'être impressionnant, surtout aux premières heures du jour quand dans l'atmosphère calme, mais souvent très refroidie, s'élèvent, par centaines, traînes et panaches de fumées blanches émises par les torrents d'eau chaude. On se croirait parmi de vastes usines installées au cœur d'épaisses forêts. Usines de produits chimiques assurément, car, en maint endroit, l'impression se trouve renforcée par des émanations de gaz nauséabonds.

L'amateur de sources n'a d'ailleurs que l'embarras du choix, depuis les bassins aux eaux cristallines jusqu'aux mares de boues tellement visqueuses qu'il semblerait qu'elles ne puissent être agitées d'un continuel bouillonnement. La merveille, ce sont les sources intermittentes où l'eau bouillante s'élève en colonne, le plus souvent verticale, à des hauteurs parfois formidables, 60 mètres et même davantage chez les plus puissantes, et avec une durée de jet qui, dans certains cas, est de plusieurs heures. Ces fontaines éruptives ont longtemps été connues exclusivement en Islande. On sait aujourd'hui que la Nouvelle-Zélande en possède également et, elle aussi, dans un district volcanique. Le nom de geyser qu'on leur donne collectivement est celui de la principale source islandaise. C'est d'ailleurs en Islande que furent surtout poursuivies les observations méthodiques qui ont abouti à l'établissement d'une théorie satisfaisante du fonctionnement des geysers. Cette théorie repose sur la constatation, aisée à faire dans tout laboratoire de physique, que la température d'ébullition d'une eau est d'autant plus élevée que sa charge ou pression est, elle-même, plus forte. En conséquence, si par un artifice quelconque on abaisse instantanément la pression en-dessous de celle correspondant à l'ébullition pour la température réelle de l'eau, l'ébullition se produit, d'autant plus violente que l'abaissement de charge est plus important.

Or, voici ce qui s'observe. Aussitôt après le jeu d'un geyser, on peut s'approcher de son évent ou orifice et constater qu'il se prolonge dans le sol par un canal tubulaire, façon de puits dans lequel le regard ou la sonde ont pu, dans certains cas, plonger jusqu'à une vingtaine de mètres; mais il est en réalité beaucoup plus profond. Vide durant quelque temps, cette cheminée ne tarde pas à se remplir d'eau venue de la profondeur. Eau plutôt froide cependant et que les observateurs s'accordent à considérer comme d'origine météorique, car, tout comme les sources ordinaires, les geysers sont localisés dans des points bas, là où les eaux de pluie, qui ont pénétré dans le sol, doivent tout naturellement en sortir. Néanmoins, dans un district volcanique d'âge assez récent, tel celui du Yellowstone, l'accroissement de la température en profondeur est particulièrement rapide. Les eaux météoriques peuvent s'y échauffer plus vivement au cours de leur

circulation souterraine. Elles sont, en outre, mais en certains points seulement, influencées par la rencontre de vapeurs ou de gaz chauds qui s'échappent de laves encore mal refroidies, voire d'événements volcaniques. Là gît le caractère particulier des sources geysériennes. Effectivement, les sondages thermométriques pratiqués dans les cheminées des geysers ont permis de constater que la température de l'eau y croît avec la profondeur et que, peu avant l'éruption, cette température atteint, par exemple à 13<sup>m</sup>50 sous la surface de l'eau qui remplit la cheminée, 121°8 centigrades, alors que la température d'ébullition déterminée au laboratoire pour la charge correspondant à cette hauteur d'eau serait légèrement plus élevée, soit 123°8. Mais comme dans le cas plus spécialement envisagé, celui du geyser Strokr (Islande), une fissure latérale déverse continuellement de la vapeur chaude à cette profondeur de 13<sup>m</sup>50, la température de l'eau ne cesse de s'élever rapidement et localement, tant et si bien que, finalement, l'ébullition s'y produit. D'où la projection de la tranche de la colonne d'eau située au-dessus de la profondeur de 13<sup>m</sup>50.

Du coup, l'explosion est amorcée : les tranches inférieures, subitement déchargées, peuvent à leur tour entrer en ébullition, si leur température se trouve être déjà assez élevée. La violence de l'explosion dépendra, pour une part, de la section et de la longueur de la cheminée d'échappement, mais aussi et surtout de l'importance de la masse d'eau qui entrera en jeu. Telle est l'explication des variétés d'allure et, surtout chez les geysers les plus puissants, de ces essais ou façons de ratés qui précèdent immédiatement les pleines éruptions. Des tranches surchauffées relativement superficielles explosent avant que la masse principale, beaucoup plus profonde, ne soit à point. Quand celle-ci est suffisamment chaude, c'est, à la grande joie des spectateurs, la formidable éruption sous forme d'explosion en fusée.

Tel est le cas du plus célèbre des geysers du parc de Yellowstone, l'Old Faithful ou « Vieux Fidèle ». Présentement encore, il joue très régulièrement, toutes les 63 minutes environ, durant un peu plus de quatre minutes et avec une hauteur de jet qui atteint jusqu'à 45 mètres. La plupart des autres fontaines sont, ou moins puissantes, ou d'allure, soit plus capricieuse, soit moins majestueuse. Mais il en est de très diverses sortes.

Les eaux des sources thermales sont ordinairement chargées de matières minérales qu'elles ont enlevées aux roches rencontrées dans leur circulation souterraine. Par contre, elles ont tendance à les abandonner en se refroidissant. Les incrustations superficielles de ce genre sont fréquentes au parc du Yellowstone. Certaines marquent, comme un tapis, l'emplacement de sources aujourd'hui disparues. A l'orifice des geysers, elles prolongent souvent le conduit souterrain en une véritable cheminée.

L'accumulation de ces dépôts est surtout remarquable sur la retombée septentrionale du plateau du Yellowstone. Là se voient, aux sources Mammoth, des séries de terrasses étagées avec, au débouché des sources, des vasques circulaires, remplies d'eau limpide, où des algues filamenteuses s'incrustent progressivement de cristaux. Ces sortes de rochers, ici d'un blanc éclatant, là teintés de jaune ou de vert, ne laissent toutefois pas d'avoir pour certains yeux des aspects qui leur rappellent par trop ceux des dépôts de résidus des usines de produits chimiques. Peut-être un cadre moins dénudé, plus habilement décoratif, permettra-t-il, quelque jour proche, de mieux mettre en valeur ce coin de parc que dépare, de nos jours, la proximité de constructions et de bassins artificiels.

Une dernière merveille du parc du Yellowstone, ce sont ses forêts fossiles. Les débris s'en rencontrent à vingt lieues à la ronde. Les plus beaux d'entre ces gisements sont, eux aussi, à la bordure septentrionale du parc, mais dans sa région orientale, au voisinage de la rivière. Montons donc au sommet de la Specimen Ridge ou « Colline aux Échantillons », jadis dotée du nom par trop tentant de « Montagne aux Améthystes ». Une colonne pierreuse de 9 mètres de tour et haute de 3<sup>m</sup>60 s'y dresse. Sa texture superficielle rappelle étonnamment celle d'un tronc d'arbre écorcé et même quelque peu entamé. Aussi a-t-on, d'un trait de scie, prélevé en travers de la colonne un éclat qu'on a travaillé, aminci jusqu'à le rendre translucide. Et voici que portant cette lame mince sous le microscope, nous y distinguons clairement la structure cellulaire d'un bois : files radiales de trachéides ; rayons médullaires ; zones annuelles : bois de printemps aux fibres largement calibrées, bois d'hiver aux fibres étroites. Pour un connaisseur, ce bois est celui d'un *Sequoia magnifica*. Détail remar-

quable : la largeur des zones de bois d'hiver ou des périodes de sécheresse prolongée est loin d'être la même pour chaque anneau. Conclusion : Aux temps où a vécu l'arbre dont voici le tronc, les saisons étaient loin d'avoir la régularité que, de nos jours, les citadins se plaisent à réclamer avec insistance. Or, pareil Sequoia doit avoir atteint mille ans d'âge et cela à l'époque déjà reculée que les géologues nomment miocène, c'est-à-dire il y a un million d'années ou davantage. Ce n'est donc pas d'hier que datent les irrégularités des saisons.

Mais ce Sequoia magnifica n'est plus simplement en bois. Ses cellules ont été comblées dans leur intimité par de la silice, ce minéral que la plupart des sources du Yellowstone déposent aux abords de leur griffon. Ici la solution minérale a pénétré à travers les parois des cellules pour embaumer ou, très exactement, confire le bois de l'arbre sur pied, car les matériaux qui l'enserrent encore partiellement, jusque et y compris ses racines, ne sont autres que des cendres et des lapillis. La forêt dont il faisait partie, a été ensevelie au cours d'une éruption du grand volcan du Yellowstone. Ce sont les eaux qui, circulant dans cet amas de cendres, — qui sait? encore chaudes —, s'y sont chargées de silice pour aller la déposer au sein des cellules ligneuses de l'arbre.

La colline aux échantillons, haute de 600 mètres est, jusqu'à sa base, constituée de cendres et lapillis. On y compte pour le moins, du haut au bas, douze niveaux à troncs d'arbres silicifiés, encore debout. Ce sont les ultimes témoins d'une lutte qui s'est poursuivie, à n'en pas douter, durant plusieurs dizaines de milliers d'années. Puis les activités volcaniques ont cessé. Les eaux courantes ont pu, tout à leur aise, déblayer le terrain et ouvrir à travers les amas de cendres ces vastes fouilles que sont les vallées. C'est ainsi que, sortant de leurs tombeaux, débarrassés, pour ainsi dire, de leurs linceuls, ces fantômes de forêts fossiles se dressent une dernière fois dans la lumière jusqu'à ce que, à défaut du marteau des géologues, dont le jeu est à présent réglementé en ce parc national, se dégageant par trop de la gangue qui, en les conservant, les soutenait tout de même, ils s'écroulent définitivement.

Rien que de très naturel dans cette manifestation d'érosion

sélective, qui laisse ainsi en relief les masses les plus résistantes. En certains endroits elle aboutit, non moins naturellement, à des formes de terrains assez surprenantes. Tel est le cas de ces témoins en forme de pyramides élancées ou pinacles, parfois coiffés d'un gros caillou, dont de remarquables exemples résultent, dans des pays relativement secs, du déblayage des flancs de ravins torrentiels ouverts au sein d'une masse de cendres et de lapillis volcaniques, analogue à celle de la colline aux échantillons.

\* \* \*

Mais déjà, sans crier gare, je vous ai fait franchir la porte d'entrée du parc national du Lac-cratère. Notre seconde étape est en plein Far-West, en l'État d'Oregon, dans la chaîne des Cascades, au climat presque désertique. La chute d'eau n'y atteint que quelques centimètres par an et l'hiver y est très long, si long qu'en cet an de grâce 1933, la neige ne disparut qu'au début du mois d'août des flancs de cette montagne, en forme de cône très plat, qu'il nous reste à gravir pour atteindre notre but. C'est, en effet, aux flancs raides des profondes gorges du versant méridional de la montagne que s'observent les curieuses pyramides de terre signalées à l'instant. Nous sommes ici à 16 kilomètres de l'entrée du parc. Il nous en reste une douzaine à parcourir, par une route en lacets, pour atteindre, par 2,200 mètres d'altitude, les bords du cratère.

Des bords du cratère on jouit, en tous points, d'une vue magnifique sur le lac inséré au cœur de la montagne. De forme parfaitement circulaire, la nappe d'eau est d'une étendue telle que l'agglomération bruxelloise y disparaîtrait tout entière. Supposez l'église de Forest placée au bord sud, celle d'Evere serait exactement au bord nord, celle de Berchem-Sainte-Agathe au bord ouest et celle de Woluwe-Saint-Pierre au bord est. Dominé de toutes parts par des parois abruptes de teinte sombre, aux reflets rougeâtres, hautes de 300 à 600 mètres, le lac (à l'altitude de 1,850 mètres) ne possède aucun tributaire. Entouré de vastes forêts qui s'étendent loin au delà des limites du parc, il n'est alimenté que par l'eau du ciel. C'est tout au plus si, une fois l'an, le vent y sème, en une pluie de soufre, le gras

pollen des pins, qu'il se hâte tout aussitôt de rassembler en de longues traînées d'un jaune sale faisant tache sur le miroir des eaux jusqu'à ce que, coulant à pic, cette poussière aille, sur le fond, contribuer à la formation de sporite ou de sapropèle. Quoi qu'il en soit de ce trait tout accidentel, la protection qu'assure au lac sa ceinture de falaises est tellement efficace qu'à le voir si pur et si calme, dans cette atmosphère de lumière et de silence, on se sent porté à le considérer comme vraiment unique au monde.

Crater Lake, « lac-cratère » ! Ne conviendrait-il pas, avant de faire un examen rapide de ses parois rocheuses, de nous expliquer brièvement au sujet des volcans ? Bien qu'il y en ait de diverses sortes, il suffira de rappeler que le type classique est une montagne conique au sommet de laquelle s'ouvre une cheminée. C'est du sommet de cette cheminée ou cratère que s'échappent, presque en tout temps, les gaz et les vapeurs qui s'élèvent des profondeurs de l'écorce terrestre et, en période d'activité, les cendres et pierrailles ou lapillis, transportées dans le torrent gazeux. Projetées par les explosions à des hauteurs parfois telles que les éléments les plus ténus atteignent la stratosphère, cendres et pierrailles retombent, la plupart en pluie, sur les flancs de la montagne ; elles ne cessent de contribuer ainsi à son exhaussement par la formation de couches plus ou moins inclinées. De temps à autre, des coulées de lave s'échappent du volcan. Le plus souvent, ces torrents de pierre en fusion se font jour à partir de bouches adventives qui s'ouvrent aux flancs de la montagne. De là, ils s'écoulent dans les vallées préexistantes. Ces laves doivent — cela va de soi — s'élever, elles aussi, des profondeurs de l'écorce terrestre. Mais la nature des voies qu'elles suivent n'a pu jusqu'ici être définie par l'observation directe au cours même des éruptions.

A présent, soit du haut des falaises, du ras de l'eau, ou du bord d'un canot à moteur, examinons les parois abruptes qui enserrant le lac. Leur constitution nous apparaîtra distinctivement : ce ne sont partout qu'empilements de lits de cendres, avec lapillis, et de coulées de lave, tous plongeant vers l'extérieur. Deci-delà, ils sont traversés, sur toute la hauteur découverte, par des murailles d'allure redressée, parfois même verticale. L'une d'entre elles, faisant saillie de façon spécialement frappante, a été nommée l'« échine du diable ». A n'en

pas douter, nous sommes en présence des canaux d'effusion, finalement bouchés par la solidification de la lave qui les emplissait. Certaines coulées sont d'ailleurs remarquables pour leur masse, telle celle du rocher abrupt de L'lao, haut de plus de 300 mètres et dont la base, déprimée, a moulé le fond d'une ancienne vallée.

Il paraît vraisemblable que ces parois, ouvertes comme à l'emporte-pièce à travers des coulées de lave aussi épaisses, et surtout leurs canaux d'amenée souterraine, ne peuvent être celles du cratère actif. Celui-ci a été remanié. Il pourrait l'avoir été par une explosion gigantesque qui aurait emporté le sommet du cône. Semblable accident est fréquent chez les volcans, mais peu probable dans ce cas, étant donnée l'absence d'amas superficiels de cendres : celles qu'aurait fournies la pulvérisation du sommet, auraient dû recouvrir le pays environnant. Aussi admet-on que le cratère a plutôt été bouleversé par effondrement, phénomène qui a déjà été observé directement sur d'autres volcans. Cette seconde explication est aussi considérée comme plus vraisemblable en raison de la profondeur de la nappe d'eau qui atteint par endroits 600 mètres. Néanmoins cet événement, qui a eu pour conséquence la formation de la cuvette et bientôt celle du lac, ne semble pas avoir été le dernier. Une éruption tardive, à l'intérieur même du grand cratère, a donné naissance à une petite montagne, l'île Wizard, haute de 260 mètres. Sa forme est celle du volcan classique, en cône aplati. Ses flancs sont couverts de cendres si fraîches qu'on les croirait d'hier, bien que déjà la forêt de pins commence à prendre possession du minuscule cratère, profond de 25 mètres et large de 120 mètres. Comme la chute annuelle d'eau dépasse l'évaporation, le niveau du lac se relève lentement. Mais notre expérience à ce sujet est encore limitée. Le lac cratère n'est connu que depuis 1853, n'a reçu son nom qu'en 1859, et n'a été exploré qu'en 1886, pour être finalement décrété parc national en 1902.

Au moment de quitter ces lieux, une dernière question se pose : un volcan éteint aussi récemment ne pourrait-il avoir de réveil ? Jugez-en. Du bord sud du lac cratère, il n'est pas rare d'apercevoir, dans le lointain, par delà les lacs de Klamath, la cime neigeuse d'un autre volcan éteint, le mont Shasta, haut de 4,400 mètres et distant

de 160 kilomètres. Si la vue pouvait s'étendre une centaine de kilomètres plus loin, nous apercevions peut-être un troisième volcan, le mont Lassen. Longtemps on l'avait tenu pour éteint, car, deux siècles durant, tout y était resté dans le calme. Mais en juillet 1914 une explosion du sommet marqua le début d'une période de grande activité qui se poursuivit jusqu'en 1916. Classé dès lors comme parc national, le mont Lassen est présentement le seul volcan actif aux États-Unis d'Amérique. Rien ne permet d'affirmer qu'un pareil réveil ne se manifesterà pas, dans un avenir plus ou moins proche, demain peut-être, au Crater Lake ou en quelque autre endroit de ces régions, car loin vers le Nord, jusqu'à la rivière Columbia, limite des États d'Oregon et de Washington, et même au delà, le Far-West n'est, à cent kilomètres de distance du Pacifique, qu'un vaste champ, long de 1,000 kilomètres du Sud au Nord et large de 500 kilomètres d'Ouest en Est, couvert de laves souvent d'aspect encore frais. Tel quel il se classe parmi les districts volcaniques d'âge récent les plus étendus qui soient sur Terre.

\* \* \*

La région plus méridionale qu'il nous faut à présent traverser en pensée, pour atteindre notre dernière étape, est relativement plus tranquille. On peut, en effet, y signaler au passage les parcs nationaux Muir, Sequoia et Général Grant, où se voient des représentants, encore nombreux, de ces espèces de conifères étonnants par leur taille et leur longévité, dont nous avons reconnu des témoins fossiles dans le parc du Yellowstone, aux flancs de la butte aux échantillons. Ici, encore vivants, ils sont hauts de 75 à 80 mètres ou plus, et vieux de quelque 4,000 ans. Au moins leur attribue-t-on cet âge d'après le relevé des zones annuelles qui a pu être pratiqué sur ceux d'entre eux, abattus par la tempête ou de main d'homme. Il semble donc bien qu'on puisse affirmer en toute certitude que, les eucalyptus australiens exceptés, les États-Unis d'Amérique possèdent les plus gigantesques et les plus âgés des êtres continentaux de notre époque : Quatre-vingts mètres! Quatre mille ans! Cela compte.

Quel séjour enchanteur pour un philosophe ou un historien serait celui de ces régions, si ces arbres millénaires pouvaient parler! Quelles

leçons de toutes sortes ne donneraient-ils pas? Mais les arbres ne parlent point; il faut s'y résigner. Cependant, puisqu'ils laissent tout venant lire leur âge sur la tranche de leur tronc, ne pourrait-on vraiment tenter de leur en demander davantage? Un savant de l'Arizona n'en a pas douté. Qui mieux est, il a réussi, sans doute parce que son inspiration était céleste en certaine façon. Ne vous étonnez pas : c'est à un astronome, M. André Douglas, que nous sommes redevables de ce progrès. Le fait n'est point pour déplaire aux partisans de la culture générale. Quant à moi, je n'aurai pas, — rassurez-vous — à sortir longuement de ma discipline, encore que l'histoire soit, à tout prendre, un domaine commun à de nombreuses sciences. Pour plonger en imagination jusqu'au plus profond des époques à jamais révolues, le géologue ne peut, en aucune façon, négliger les faits des temps très récents et même présents. C'est grâce à leur connaissance qu'il peut interpréter raisonnablement le passé et que, pour sa propre satisfaction ou à la demande, parfois anxieuse, des autres humains, ses frères, il peut s'appliquer à prévoir l'avenir.

Donc, le Dr Andrew Ellicott Douglas, directeur de l'observatoire Steward de l'État d'Arizona, étudiait les taches solaires. Et vous de me dire : « Que nous voilà loin! » Et moi de vous rassurer : « Pas du tout! », car il se lit couramment dans les feuilletons scientifiques que les taches solaires ne sont pas sans influence sur les variations climatiques. Certains astronomes admettent même qu'il existe une loi dans l'apparition des grains de beauté de l'astre du jour; la période serait de onze années.

Or, sur le plateau du Colorado, notre dernière étape, par 2,000 mètres d'altitude, le climat varie énormément d'une année à l'autre. La preuve des variations climatiques — le Dr Douglas ne l'ignorait pas, — est fournie non seulement par les tables météorologiques, fruit de longues années d'observation méthodique, mais encore par l'examen des anneaux ligneux des arbres. Sur le plateau, à l'altitude de Flagstaff, au pied des monts San Francisco, ces arbres sont surtout des pins; à une altitude un peu moindre, ce sont des genévriers.

Le Dr Douglas eut tôt fait de découvrir, dans les forêts très étendues de la région, des arbres fraîchement abattus, dont la date

de décès était ainsi certaine, et qui étaient vieux de quelques centaines d'années. Leur comparaison permit de constater la réelle constance d'enregistrement des variations climatiques et cela sur de vastes espaces, en sorte que, par cette voie, il fut possible d'étendre, loin dans le passé, les tables chronologiques des périodes sèches et des périodes humides. Finalement le tronc le plus âgé se trouva être vieux de 640 ans.

A ce moment intervint une vérification. Un astronome anglais, informé des recherches du D<sup>r</sup> Douglas l'avertit que leur base était inconsistante si elles n'aboutissaient pas à la conclusion de l'absence de taches solaires entre les années 1645 et 1715, ce fait ayant pu être démontré par une tout autre voie. Or, précisément l'un des résultats les plus curieux des recherches du D<sup>r</sup> Douglas était, déjà à ce moment, l'absence d'anomalies climatiques entre 1650 et 1725, chaque millésime étant défini par le décompte des zones annuelles. 1715 et 1725 d'un côté, 1645 et 1650 de l'autre : différences insignifiantes ! La critique apportait donc une confirmation des plus nettes de l'exactitude de la méthode.

Il fallait toutefois pousser plus avant. Comme les Sequoia millénaires de la Californie se montraient rebelles ou aberrants, force était de trouver autre chose. Descendant du plateau de Flagstaff aux bords du petit Colorado, pour bientôt franchir cette rivière et pénétrer dans les horizons grandioses du désert coloré — le Painted Desert, aux argiles bariolées de rouge, — le D<sup>r</sup> Douglas et ses collaborateurs s'en furent à la recherche de troncs d'arbres plus anciens. Ils les trouvèrent, non point dans la savane tout imprégnée de la forte odeur de l'armoise, mais chez les Indiens qui, aujourd'hui encore, occupent de vastes réserves en ce pays de serpents à sonnette. Certains d'entre eux étant nomades, les Navajos, ne bâtissent, à l'aide de pierres sèches et de pisé, que de misérables huttes en forme de cloche ; mais il en est d'autres, les Hopis, qui, étant agriculteurs, construisent des villages ou *pueblos*, tel l'actuel Moenkopi, près de Tuba-City. Or, ces Indiens ont, de tout temps, fait usage, pour la construction des planchers de leurs demeures, de troncs d'arbres abattus dans les forêts voisines. Entrer en négociations avec les chefs des villages, obtenir d'eux l'autorisation de prélever, tout au bout des poutres

faisant saillie sur les murs, des échantillons de troncs de pins, ce ne fut qu'un jeu pour l'habile D<sup>r</sup> Douglas, qui ne s'en tint pas là; il explora de nombreux *pueblos* aujourd'hui abandonnés, voire ruinés. Il en vint même à étudier la section en travers de troncs calcinés et à y poursuivre la lecture des zones annuelles. Possesseur de toutes ces données et raccordant successivement les uns aux autres, par voie de recouvrement de leurs tronçons extrêmes, tous ces relevés chronologiques — j'allais dire stratigraphiques — où se marquent distinctement les années de grande sécheresse, le D<sup>r</sup> Douglas put établir une table qui s'étend sur une période de 1,200 ans, soit, suivant sa propre remarque, jusqu'aux temps où Charles Martel gagnant la bataille de Poitiers, arrêtait en Europe l'invasion musulmane et sauvait la civilisation chrétienne (1).

Cette méthode originale d'établir sur des bases botaniques, — on pourrait presque dire paléobotaniques — des tables qui, en définitive, intéressent presque plus les historiens que les météorologistes et les astronomes, le D<sup>r</sup> Douglas s'emploie à présent à l'étendre, s'il se peut, à l'identification des constructions ensevelies sous des pluies de cendres, en apparence assez récentes, émises par des volcans du groupe des monts San Francisco qui dominent le plateau de Flagstaff. Ces éruptions remontent, dans le passé, jusqu'aux temps miocènes; les plus anciennes sont donc, comme celles du Yellowstone, vieilles de quelques millions d'années. Jusqu'où le D<sup>r</sup> Douglas pourra-t-il poursuivre l'établissement d'éphémérides climatiques? Nul ne le sait, mais il reste acquis que sa méthode a pris rang dans les études stratigraphiques à côté de celle imaginée il y a quelque cinquante ans et depuis lors brillamment appliquée par son inventeur, le Suédois Gérard de Geer, à propos des zones annuelles des dépôts glaciaires.

Longtemps les géologues n'avaient pu définir que l'âge relatif

---

(1) Cf. A. E. DOUGLAS. The Secret of the Southwest solved by talkative tree rings. Horizons of American History are carried back to A.D. 700 and a calendar for 1,200 years established by National Geographic Society expeditions. *The National Geographic Magazine*, t. LVI, n<sup>o</sup> 6, pp. 736-770.

Je dois la connaissance de cet article à mon excellent ami et compagnon de voyage, M. R. Cambier.

des roches qui constituent l'écorce terrestre, en tout premier lieu, pour ce qui est des dépôts sédimentaires, en se basant sur l'ordre de leur superposition originelle, puis, en ce qui concerne les formations éruptives, par considération de leurs relations avec les dépôts sédimentaires. Les découvertes relatives à la transformation de métaux radioactifs, puis, de façon plus générale, à la transmutation des éléments chimiques, enfin l'évaluation de la rapidité de vieillissement, tout au moins pour quelques-uns d'entre eux, ont fourni la base d'une évaluation de l'âge absolu, c'est-à-dire chiffré en années solaires, de certaines roches éruptives. Les chimistes ne laissent pas d'être encore en plein travail à ce sujet. Somme toute, on convient que l'approximation de ces mesures est encore imprécise. Cependant, comme dans leur ensemble les résultats acquis concordent bien avec les conclusions fournies au sujet de l'âge relatif par la seule exploration des formations sédimentaires, on ne peut leur refuser créance.

\* \* \*

Grâce à cet aboutissement, ce ne sera pas inutilement — on en jugera bientôt —, que nous nous serons laissés détourner un peu longuement. A présent, dirigeons-nous à travers les forêts nationales de Tusayan vers notre but final, l'incomparable tranchée naturelle que sont, dans le nord de l'Arizona, les gorges fameuses du Colorado.

Fleuve long de 2,500 kilomètres, le Colorado a ses sources dans les Montagnes Rocheuses, dans les États de Wyoming et de Colorado, et son embouchure au fond du Golfe du Mexique, dans la mer Vermeille. Dirigé dans son ensemble du Nord au Sud, il subit dans son cours moyen une déviation sinueuse de l'Est vers l'Ouest en même temps qu'il s'enfonce dans le plateau. Aussi la longueur des Canyons est-elle de 650 kilomètres et celle du Grand Canyon de 350 kilomètres — plus que la distance de Bruxelles à Paris —, avec une largeur oscillant entre 12 et 15 kilomètres. Sa plus grande profondeur, environ 1,400 mètres, est aux abords du terminus de l'embranchement Williams-Grand Canyon de la ligne Chicago-Los Angeles du chemin de fer de Santa Fé. Le plateau septentrional ou de Kaibab domine de

300 mètres le rebord méridional ou plateau de Coconino où nous cheminons.

Au sortir de la forêt de Tusayan, le débouché presque brutal au bord du gouffre produit une impression inoubliable. C'est en vain que l'œil, scrutant les parois et les pentes, cherche à découvrir, parmi ces escaliers gigantesques, une voie de descente vers la rivière. L'obstacle est tellement décisif que, au témoignage des naturalistes, il forme une limite très nette dans la répartition des plantes et des animaux. Le fond de la gorge connaît d'ailleurs un climat tropical qui se rattache à ceux du Mexique, et la température y est le plus souvent tellement élevée que la pluie y est très rare.

Nul étonnement donc quand on apprend que les premiers explorateurs qui parvinrent en cet endroit, en l'an 1540, soit quarante-huit années après la découverte de l'Amérique par Christophe Colomb, ne purent aller au delà et que durant deux cent trente-six ans, jusqu'en 1776, les gorges du Colorado ne reçurent plus de visiteurs et restèrent infranchies. Les premières explorations géologiques datent de 1858 et le levé méthodique de 1869, avec la reconnaissance, par descente en barque, de l'ensemble des gorges du Colorado inaugurée par le major Powell, premier directeur du Service géologique des États-Unis. Dès lors l'image a popularisé, tout au moins dans le monde des géologues, la connaissance du Grand Canyon; mais combien les premiers dessins publiés apparaissent aujourd'hui stylisés et naïfs quand on les compare aux ensembles panoramiques que la photographie est, de nos jours, parvenue à fixer dans leurs aspects mouvants.

A la suite de la création du parc national du Grand Canyon, — réalisée en 1919 seulement, car nombreuses et importantes furent les difficultés à vaincre —, les voies et moyens de circulation ont été grandement améliorés. Il existe à présent dans la gorge même d'assez nombreuses pistes, par endroits entaillées dans le roc; la circulation, soit à pied, soit à dos de mule, y est des plus aisée. Le Colorado est franchi entre parois à pic sur un pont suspendu. Enfin, peu à l'aval du pont, tout au fond de la gorge, dans la verdoyante Bright Angel Creek, est installé un groupe de cabanes, la Phantom Ranch, l'« Auberge Fantôme », où certaine nuit de septembre 1924 rêva, tout

à l'aise, le géopète Pierre Termier (1). De Phantom Ranch, il est loisible au voyageur de compléter la coupe transversale de la vallée en gagnant le plateau septentrional, d'où les échappées sont, dit-on, non moins grandioses.

La simple vue de quelques panoramas du Grand Canyon permet de deviner que le sous-sol de la région est, sur une certaine profondeur, de constitution relativement simple : sur 1,100 mètres environ, à la hauteur de la Bright Angel Creek, l'allure des strates est sensiblement horizontale. Malgré l'existence de quelques failles redressées qui semblent avoir orienté certains traits orographiques, les allures sont manifestement tranquilles.

Les calcaires massifs, qui affleurent aux plateaux sur de vastes étendues, renferment une abondante faune de brachiopodes. A cette altitude (2,000 mètres et davantage) la présence de restes autochtones d'animaux marins pose le problème classique des mouvements de l'écorce terrestre. Avant d'en dire quelques mots, il faut signaler que ces calcaires sont d'âge permien, donc vieux d'environ deux cents millions d'années, d'après les évaluations tentées jusqu'ici à l'aide des minéraux de roches éruptives de cet âge en d'autres points du globe. Sous les dépôts permien, la succession se poursuit vers le bas par le Carboniférien, puis, deci-delà, par du Dévonien, enfin par du Cambrien moyen, le Silurien tout entier et le Cambrien supérieur faisant défaut.

Les trois cents mètres inférieurs sont rangés, pour une part dans l'Algonkien, pour l'autre dans l'Archéen. L'Algonkien est ici essentiellement sédimentaire, étant fait de roches argileuses ou sableuses de teinte rouge, bariolées de vert, avec intercalation de coulées de lave. Recouvert en discordance par le Cambrien, il est, lui-même, discordant sur l'Archéen. Très développé vers l'amont, au point d'y masquer entièrement son substratum, il n'est plus représenté à l'aval de la Bright Angel Creek, la Granite-Gorge de Powell prenant alors son plein développement. L'Archéen est, en effet, constitué de roches hautement métamorphiques, c'est-à-dire recristallisées, de

---

(1) Cf. P. TERMIER, Une visite au Grand Canyon du Colorado. *Revue Universelle*, Paris, 1924. Reproduit dans P. TERMIER, *La Joie de connaître*. Un vol. in-8°. Paris, Desclée-De Brouwer et C<sup>ie</sup>, pp. 27-58.

micaschistes à mica noir ou à chlorite, plus rarement d'amphibolites en strates grossières, très redressées, injectées de filons presque verticaux d'une pegmatite à feldspath rose, vieille peut-être d'un milliard d'années (1).

Ces pegmatites sont tenues pour les correspondants à grande profondeur des dykes volcaniques que nous avons vus aux parois du Lac-cratère; les micaschistes ou les amphibolites sont regardés comme les descendants, tantôt de formations sédimentaires, tantôt de roches éruptives, les unes et les autres profondément altérées dans la profondeur de l'écorce terrestre. Il en résulte que l'histoire de la région du Canyon ne nous est connue, quant aux temps les plus anciens, que de façon très fruste : cette région aurait été, aux temps préalgonkiens, occupée par de hautes montagnes que traversaient des cheminées volcaniques et qui se trouvèrent profondément arasées au début de l'ère algonkienne, quand se déposèrent conglomérats, grès, quartzites et argiles de couleur vive au sein desquelles on n'a jusqu'ici recueilli, en fait de fossiles, que des masses globuleuses considérées comme des restes d'algues. La présence d'épaisses nappes de laves dans ce complexe, puissant de 3,000 mètres, est d'ailleurs à souligner. Après une période de mouvements du sol aboutissant à une émerision, la mer envahit la région. La découverte, au sein de schistes verts, de certains trilobites caractéristiques en témoigne abondamment. On est au Cambrien moyen. Puis voici à nouveau une émerision, soulignée par une importante lacune. Les formations dévoniennes à *Coccosteus*, étant sporadiques, témoignent de complications encore mal définies. Puis au début du Carboniférien, la mer revient sur le pays et pour longtemps : d'où la formation d'une masse calcaire épaisse de 150 à 180 mètres, toute pétrie des restes de brachiopodes. La région passe ensuite au régime continental durant les premiers temps permien, ainsi qu'en témoigne la présence d'une flore terrestre autochtone, associée à des restes d'insectes. Enfin la mer revient encore sur la fin du Permien pour déposer les 150 mètres de calcaire à brachiopodes.

---

(1) D'après HOLMES, certain granit de l'Ontario serait vieux de 1500, un autre de Llan Co. au Texas, de 1600, un autre des Black Hills de 2,200 millions d'années. (Cf. *Comptes rendus de la réunion internationale pour l'étude du Précambrien*, Helsingfors, 1933, p. 15.)

Deci-delà sur le plateau, mais surtout à l'est du Colorado, dans le Painted Desert, la série se poursuit du Triasique au Crétacique, le plus souvent avec des formations continentales : argiles à troncs silicifiés du Triasique ; grès à pistes de reptiles du Jurassique ; couches de houille du Crétacique entremêlées de lits à coquilles marines. Ce sont les dernières formations de ce faciès, connues dans la région. Dans le sud de l'Utah, quelques dépôts d'âge éocène sont de faciès lacustre. Au Miocène, un peu partout, s'allument des volcans.

Dans l'entre-temps le sol a commencé de se soulever, non pas sans doute par un simple exhaussement, car dans la flexure très nette qui, au sud du petit Colorado, marque la retombée nord-orientale du plateau de Coconino, on relève des allures verticales et des indices de l'existence de charriages analogues à ceux qui se voient plus au Nord dans la chaîne des Rocheuses, et dont la connaissance va se précisant.

Simultanément, l'érosion a fait son œuvre en entamant et même en détruisant totalement, sur de vastes surfaces, le revêtement mésozoïque dont il ne subsiste plus à présent que de rares témoins. Parvenue au niveau des calcaires du Kaibab, à la fois massifs et perméables, elle a changé d'allure et s'est concentrée désormais aux abords plus immédiats du principal cours d'eau.

Revenus à notre point de départ, sur le bord méridional de ces vastes gorges, nous pouvons terminer notre promenade par des routes ou des sentiers tracés sur le plateau, en nous rendant de point de vue en point de vue, sur une distance de plus de cinquante kilomètres, de la tour indienne, peu à l'aval du confluent du Grand et du Petit Colorado, jusqu'au repos de l'Ermite. Surtout aux abords de ce site, le trait qui nous paraît dominer dans l'ensemble, c'est la ligne d'horizon, c'est l'immensité prodigieuse du plateau qui s'étend à perte de vue dans toutes les directions, surmonté çà et là de taupinières qui, comme les monts San Francisco, sont de tardifs massifs volcaniques. Incorporés, nous semble-t-il, à cette surface, c'est sans effroi que nous abaïssons à présent nos regards pour scruter les abîmes. Peut-être le sentiment de tranquillité sereine qui envahit ici notre être tout entier, n'est-il dû qu'à une accoutumance rapidement acquise grâce aux bons soins dont le Service des parcs nationaux entoure les visiteurs. Cette sensation ne laisse cependant pas de paraître assez

naturelle au géologue, surtout en cette terre américaine où, le présent important avant tout, le passé se considère avec plus de détachement.

Et voici que, scrutant paisiblement jusqu'au plus profond des abîmes que nous côtoyons, nous y voyons et, même, nous y entendons fuir la rivière aux eaux troubles, le Colorado. Elle emporte au loin vers les plaines de la Basse-Californie — dans un avenir proche, ce ne sera plus que jusqu'au bassin de retenue du barrage Hoover édifié à l'aval du Canyon — la poussière définitivement arrachée à ces immenses régions. Vraie scie à sable, elle continue d'user son lit, bien qu'il soit, par endroits, plus dur que l'acier. Poursuivant un travail commencé il y a plusieurs millions d'années, elle n'a pas cessé de s'encaisser dans ce plateau qui, dans son ensemble, allait se soulevant assez tranquillement.

Il ne fait, en vérité, nul doute que les assises dont l'empilement apparaît si nettement aux flancs du Canyon, n'aient, s'étant pour une bonne part constituées dans la mer, recouvert originellement de façon continue, à la façon de tapis superposés, de très vastes espaces. Même sous les contre-jours qui les enveloppe d'un voile d'azur diaphane, les mises successives, diversement colorées, tranchent nettement les unes sur les autres, bien plus nettement que ne le font voir dessins ou photographies unicolores. Du haut au bas de ces escaliers titanesques, c'est un contraste violent de rouge, de blanc, de rouge encore, de vert, par endroits de vermillon, de vert sombre et de violet. Au long du jour, les continuels jeux de lumière y ajoutent encore, au désespoir des peintres qui tentent de fixer les traits de cette fouille énorme.

Ainsi qu'à un spectacle grandiose, on ne se lasse pas de suivre les transformations du décor, l'orage grondât-il en quelque coin du pays, comme il est presque de règle au cours des chaudes journées de l'été. Quand la nuit est bien close, on se reprend encore à vouloir sonder l'abîme du regard ou de l'ouïe comme si, cette fois dans un rêve, on subissait le mystérieux attrait de ces cimetières marins dont le plus récent, celui que nous foulons au pied, date, dit-on, de quelque deux cents millions d'années et, le plus ancien, peut-être, d'un milliard d'années ou plus encore.