mettait obstacle à la navigation. Ce grand œuvre fut accompli avec beaucoup de peine dans l'espace de quatre ans.

Le professeur Dana rapporte qu'un autre raft célèbre de la rivière Rouge avait atteint, en 1854, une longueur de 48 kilomètres, et qu'il augmentait, chaque année, dans la mesure de 2 à 3 kilomètres. D'après le témoignage de MM. Humphreys et Abbot, ce raft formait en 1860 un barrage « qui faisait remonter la rivière Rouge de 32 à 48 kilomètres et rejetait les trois quarts environ de ses eaux dans le lac Soda, par deux canaux naturels qui permettaient de naviguer autour de la partie droite du raft (1) ».

(1) Ces faits concernant les plaines alluviales et les deltas ont été empruntés principalement aux autorités suivantes : Lyell, *Principes de Géologie*, t. I, chap. XVIII et XIX ; Vogt, *Lehrbuch der Geologie*, t. II, p. 99-131 ; Jukes, *Manual of Geology*, p. 110-116 ; Dana, *Manual of Geology*, p. 642-647 ; Humphreys et Abbot, *Report on the Physics and Hydraulics of the Mississipi River*, 1861 ; *English Cyclopædia*, articles : *Alluvium*, *Mississipi*, *Nile*, *Hollande*, *Netherlands*, etc.

CHAPITRE VII.

ROCHES STRATIFIÉES D'ORIGINE CHIMIQUE.

ACTION CHIMIQUE DANS LA FORMATION DES TERRAINS MÉCANIQUES. — QUELQUES ROCHES SEULEMENT SONT PRODUITES EXCLUSIVEMENT PAR L'ACTION DES LOIS CHIMIQUES. — DIFFÉRENCE ENTRE UN MÉLANGE ET UNE SOLUTION. — UNE SOLUTION SATURÉE. — STALACTITES ET STALAGMITES. — COLONNES FANTASTIQUES DES CAVERNES CALCAIRES. — LA GROTTE D'ANTIPAROS DANS L'ARCHIPEL GREC. — CAVERNE DE WYER DANS LES MONTAGNES BLEUES D'AMÉRIQUE. — LE TRAVERTIN EN ITALIE. — FORMATION CALCAIRE DANS LE LAC DE LA SOLFATARE, PRÈS DE TIVOLI. — INCRUSTATIONS DE L'ANIO. — FORMATION DU TRAVERTIN AUX BAINS DE SAN-FILIPPO ET DE SAN-VIGNONE. — LES SOURCES MINÉRALES DE CARLSBAD.

Les géologues appellent mécaniques les roches aqueuses dont nous avons parlé dans les deux précédents chapitres, parce qu'elles doivent surtout leur existence à l'action de la force mécanique. Il n'en est pas moins vrai pourtant que l'influence chimique a souvent une grande part dans la production de ces roches. L'action chimique aide à préparer les éléments dont elles sont composées. Elle fournit également les ciments calcaires, siliceux et autres qui les consolident dans une grande mesure. Il y a cependant une seconde classe de roches aqueuses qui doivent leur existence presque exclusivement à l'opération des lois chimiques et que l'on a appelées, en conséquence, roches stratifiées d'origine chimique. C'est de cette classe de roches que nous nous proposons de parler dans le présent chapitre.

Elles constituent une proportion beaucoup plus petite de la croûte terrestre que les roches mécaniques ou organiques. Mais l'histoire de leur formation est curieuse et instructive. Nous nous bornerons à un ou deux exemples simples et familiers.

Comme nous aurons beaucoup à parler du carbonate de chaux à l'état de solution, il n'est peut-être pas inutile de dire tout d'abord ce que l'on entend par le mot *solution* dans le langage technique des chimistes. Si l'on met une cuillerée de sel dans un verre d'eau, au bout de quelque temps les particules de sel se séparent et se répandent dans l'eau, de manière à cesser d'être visibles à l'œil, quoique leur présence soit très reconnaissable au goût. On dit alors que le sel est *dissous*, et l'eau dans laquelle il est dissous s'appelle une *solution* de sel. Il importe de ne pas confondre une solution avec un mélange purement mécanique. Si, au lieu de sel, on met dans le verre d'eau une cuillerée de sable très fin, on aura un *mélange* et non une *solution*. En agitant fortement le contenu du verre, on pourra, il est vrai, opérer une union très intime entre les particules d'eau et les particules de sable; mais cette union sera d'un genre différent de celle que l'on a observée dans le premier cas entre les particules d'eau et les particules de sel. Le sable est resté apparent en troublant et ternissant l'eau; le sel, au contraire, a complètement disparu, laissant l'eau limpide et transparente comme auparavant. De plus, si on laisse l'eau reposer quelque temps, le sable se déposera au fond du vase; ce que le sel ne fera pas.

Mais il y a une limite à la quantité de sel que l'eau peut tenir en solution. Si on ajoute cuillerée sur cuillerée, on atteindra un point où l'eau ne pourra plus en dissoudre davantage. On aura alors une *solution saturée* de sel. Supposons que, dans ce cas,

une portion de l'eau vienne à s'évaporer, il est clair que nous aurons la même quantité de sel qu'auparavant, dans une moindre quantité d'eau. La conséquence sera que *tout* le sel ne pourra plus être tenu en solution et qu'une partie tombera au fond du verre, c'est-à-dire qu'on aura, pour employer le langage chimique, un *précipité* de sel. Or, d'après la théorie des géologues, des roches de quelques centaines de pieds d'épaisseur, et assez solides pour former les murs de nos palais, de nos églises et de nos châteaux, ont été produites dans l'écorce terrestre absolument de la même manière. A l'appui de cette théorie, nous allons montrer que le même travail s'effectue encore actuellement et que tous ceux qui désirent l'étudier peuvent l'observer par eux-mêmes.

Nous commencerons par la formation des stalactites et des stalagmites. Le mode de formation de ces singulières masses de roches est très clairement exposé, et l'aspect pittoresque qu'ils présentent si souvent est fort bien décrit par le docteur Mantell, dans ses *Merveilles de la Géologie* (Wonders of Geology). Nous empruntons à cet ouvrage les passages suivants : — « Un des aspects les plus ordinaires des cavernes calcaires est la formation des *stalactites*, ainsi appelées d'un mot grec qui signifie *distillation* ou *découlement*. Partout où l'eau filtre à travers une roche calcaire, elle en dissout une portion; puis, vient-elle à atteindre un espace vide tel qu'une caverne, elle suinte au sommet ou sur les parois latérales et forme une gouttelette dont l'humidité est bientôt évaporée par l'air, mais qui laisse à sa place un mince dépôt circulaire de matière calcaire. Une autre goutte succède à la première et ajoute une nouvelle couche à la couche précédente. Avec le temps, ces additions successives produisent une projection longue, irrégulière, conique et généralement creuse

de la voûte de la caverne, projection qui va sans cesse croissant par suite de l'accès continu de l'eau chargée de matière calcaire ou crayeuse; cette eau, en s'évaporant, laisse un léger dépôt qui, s'adaptant à l'extrémité inférieure de la stalactite déjà formée, ajoute sans cesse à sa longueur, précisément de la même manière que se forment ces glaçons que l'on voit, pendant les froids de l'hiver, suspendus aux toits des maisons. Lorsque l'eau qui contient la chaux en solution est fournie en trop grande abondance pour que son évaporation sur la stalactite soit possible, elle tombe sur le sol de la caverne, s'y dessèche et forme un nouveau dépôt, vraie stalactite qui s'élève de bas en haut, au lieu de pendre à la voûte. Toutefois, pour la distinguer de la première, on l'a nommée *stalagmite*.

« Il arrive souvent que la stalactite, suspendue à la voûte, et la stalagmite, formée immédiatement au-dessous par l'excès d'eau, s'accroissent jusqu'à s'unir et constituent des piliers naturels qui semblent supporter le toit de la grotte. C'est aux formes bizarres revêtues par les stalactites et à ces colonnes naturelles que les cavernes doivent leur aspect intéressant, qui frappe si fortement l'imagination de ceux qui les visitent pour la première fois. Une des plus belles cavernes à stalactites qu'il y ait en Angleterre se trouve à Clapham, près d'Ingleborough. On en a découvert une semblable, richement incrustée de concrétions spathiques, dans les rochers de Cheddar (comté de Somerset). Il y a en d'autres dans le comté de Derby.

« La grotte d'Antiparos, dans l'archipel grec, non loin de Paros, a été longtemps célèbre. Les murailles et la voûte de sa cavité principale sont couvertes d'immenses incrustations de spath calcaire qui forment soit des stalactites suspendues au sommet de la caverne, soit des piliers irréguliers appuyés sur le

sol. Plusieurs colonnes atteignent jusqu'à la voûte, et d'autres sont en voie de s'effectuer par l'union de la stalactite supérieure à la stalagmite inférieure. Ces colonnes, composées d'une matière qui s'est lentement déposée, ont revêtu les formes les plus fantastiques. Des cristaux étincelants de spath blanc et pur réfléchissent la lumière des torches des visiteurs qui pénètrent dans ce palais souterrain d'une façon qui fait cesser tout étonnement au sujet des romantiques descriptions qu'on a faites de ce lieu, de ses cavernes de diamants et de ses murailles de rubis. La simple vérité, dépourvue de toute exagération, suffit pour exciter l'admiration et inspirer un sentiment de crainte respectueuse.

« Quelquefois une fissure linéaire dans la voûte, par la direction qu'elle donne à l'écoulement de l'eau, donne lieu à la formation d'une sorte de cloison ou de rideau parfaitement transparent. On en trouve un exemple remarquable dans une caverne de l'Amérique du Nord, appelée caverne de Wyer (Wyer's Cave), et située au sommet de collines calcaires, parallèles aux Montagnes Bleues. Une fissure étroite et raboteuse conduit à une vaste caverne, où les figures les plus grotesques, formées par la filtration de l'eau à travers des couches calcaires, s'offrent à la vue, pendant que l'œil, fixé en avant, observe les faibles et lointaines lueurs produites par les lumières des guides, soit dans l'antre inférieur, soit dans les galeries supérieures. Plus loin, on rencontre un escalier qui conduit à une grotte profonde, de forme irrégulière et d'une grande beauté. Ses dimensions sont de cinquante pieds sur trente. Ici, les incrustations sont suspendues comme une nappe d'eau qui aurait gelé en tombant; là, elles forment un magnifique pilier de stalactite; plus loin, elles composent un siège élevé, entouré de pinacles de spath.

Au delà de cette chambre s'en trouve une autre plus irrégulière, mais plus belle encore; car, outre qu'elle est, comme les autres, ornée de spath, sa voûte est une formation des plus singulières et des plus admirables. Elle est entièrement recouverte de stalactites, qui y sont suspendues en forme de pinacles renversés, et qui sont sans rivales pour la finesse de la matière et la beauté du travail. Dans un autre appartement, une immense nappe de stalactite, qui s'étend du sol à la voûte, émet, quand on la frappe, des sons graves et doux que l'on peut comparer à ceux d'un tambour enveloppé.

« Plus loin est une autre chambre voûtée de cent pieds de long sur trente-six de large et vingt-six de haut. Ses murailles sont remplies de concrétions bizarres. L'effet produit par les lumières placées par les guides à diverses hauteurs est des plus beaux. A l'extrémité d'une autre rangée d'appartements, apparaît soudainement une magnifique salle, longue de deux cent cinquante pieds et haute de trente-trois. Au centre se trouve une splendide nappe de rocaille qui lui donne l'aspect de deux grandes galeries séparées. Cette cloison s'élève à vingt pieds au-dessus du sol, et, par conséquent, n'atteint pas la voûte, qui conserve ainsi toute sa grandeur. Il y a là une belle concrétion qui a la forme et la draperie d'une statue gigantesque, et tout l'espace est occupé par des masses de stalagmites du caractère le plus varié et le plus bizarre. La splendide perspective de cette salle, qui a quatre fois la longueur d'une église ordinaire, et l'étonnante voûte cintrée qui s'étend au-dessus, sans l'appui d'aucun pilier ni d'aucune colonne, produisent un effet des plus frappants. Dans un autre appartement, qui a une hauteur de cinquante pieds, se trouve, à l'une des extrémités, un enfoncement orné d'un groupe de stalactites d'une

grandeur extraordinaire et d'une singulière beauté. Elles sont comparables aux tuyaux d'un grand orgue et sont rangées avec la même régularité. Lorsqu'on les frappe, elles émettent des sons doux et variés, assez semblables à ceux que rendent des verres sonores. Ce groupe extraordinaire de cavernes n'a pas moins de mille six cents pieds de longueur. »

Dans le cas des stalactites et des stalagmites, la formation actuelle du calcaire, par l'influence de l'action chimique, s'impose à l'esprit et devient en quelque sorte palpable aux sens. Nous allons passer à d'autres exemples, dans lesquels l'œuvre de la nature est à peine moins accessible à l'observation et qui nous montreront le calcaire sous une forme un peu plus massive et plus rocheuse. Quiconque a voyagé en Italie connaît la roche calcaire que l'on appelle *travertin*. On la voit dans les vieilles murailles et les temples vénérables de Pæstum, qui ont résisté pendant plus de vingt siècles à l'action dévastatrice du temps. A Rome aussi, cette pierre est associée, dans nos esprits, aussi bien avec les monuments encore debout de l'antiquité qu'avec l'imposante splendeur de l'art chrétien. Le Colisée, la plus grandiose des ruines, et Saint-Pierre, le plus sublime des temples, en sont bâtis. Elle semble, de fait, avoir été de tout temps la principale pierre de construction employée dans l'architecture de la Cité Éternelle; et les carrières d'où elle était extraite dans les temps anciens peuvent encore se voir à Ponte-Lucano, près de Tivoli. Or, c'est une chose remarquable que tout près de cet endroit, au lac de la Solfatare, d'un côté, et à Tivoli même, de l'autre, la formation du travertin se continue toujours par la précipitation de la chaux de l'état de solution.

Le lac de la Solfatare, situé à quatorze milles environ de Rome, sur la route de Tivoli, est alimenté par un courant continu d'eau

tiède, imprégnée d'acide carbonique et saturée de carbonate de chaux. La quantité de carbonate de chaux que l'eau est capable de tenir en dissolution dépend principalement de trois choses : de la présence de l'acide carbonique, de la température de l'eau et de sa quantité. Or, l'acide carbonique s'élève continuellement en bulles à la surface et disparaît ; la température de l'eau est abaissée par son contact avec l'atmosphère plus froide, et la quantité d'eau diminue par suite de l'évaporation. Ainsi, le pouvoir qu'avait l'eau au commencement de tenir en dissolution du carbonate de chaux est considérablement diminué, et une portion de la chaux est précipitée au fond, sous une forme solide, ou bien elle s'attache à la matière végétale avec laquelle elle se trouve en contact.

Une expérience fort simple et fort intéressante, que fit sir Humphrey Davy au commencement du siècle, montre avec quelle rapidité se forme encore actuellement la pierre solide. Il enfonça, au mois de mai, un bâton dans le lit du lac; au mois d'avril suivant, il le trouva couvert d'une incrustation calcaire de quelques pouces d'épaisseur (1). De nouveaux lits de travertin se déposent chaque année, de la même manière, sur le lit du lac ou s'incrustent sur ses bords rocheux. C'est à cette raison que le lac doit de perdre d'année en année de son étendue. On rapporte que vers le milieu du dix-septième siècle, il avait 1,600 mètres de circonférence ; or, il en a maintenant à peine 400 (2). Nous avons donc là une masse immense de calcaire compacte, formée par des agents naturels dans les deux derniers siècles.

(1) *Consolations in Travel*, p. 127.
(2) *Handbook of Rome and its Environs* : Murray, 1858, p. 325.

A Tivoli, à 6 kilomètres de la Solfatare et à 3 kilomètres des carrières de Pont-Lucano, on se trouve en présence de phénomènes semblables. Les eaux de l'Anio, saturées de carbonate de chaux, forment sur leurs rives des incrustations de travertin; et à la célèbre cataracte, où toute la rivière se précipite d'un seul bond dans un abîme de 96 mètres de profondeur, de superbes stalactites sont formées par l'écume.

La formation du travertin ne se poursuit pas avec moins d'activité en d'autres points de la péninsule italique. Aux bains de San-Filippo, en Toscane, il y a trois sources chaudes qui tiennent en dissolution une très grande quantité de matière minérale. L'eau qui alimente les bains tombe dans un étang, au fond duquel elle a déposé en vingt ans une masse solide de *trente pieds* d'épaisseur. Non loin de là sont les bains minéraux de San-Vignone. La source qui les alimente jaillit près de la cime d'une colline, à cent mètres environ de la grande route de Sienne à Rome. La formation de la pierre est si rapide que chaque année un demi-pied de travertin solide est déposé dans un conduit destiné à amener l'eau aux bains. Nous trouvons en cet endroit un exemple frappant, qui vient confirmer notre théorie. A mesure que l'eau descend les pentes de la colline, elle dépose, en quelque sorte sous nos yeux, à la surface du sol, une mince couche de travertin ; et ce qu'elle fait maintenant, elle le fit avant nous, elle le fit pendant les siècles passés, comme l'histoire et la tradition en témoignent. La quantité produite chaque année et chaque siècle est comparativement petite, mais nous ne pouvons douter aucunement qu'elle n'ait dû sa formation à ces causes. Or, sous la surface de la terre, immédiatement au-dessous de ces formations modernes dont nous avons si clairement reconnu l'origine, se trouvent d'autres couches de même espèce,

composées des mêmes éléments et disposées dans le même ordre, reposant les unes sur les autres jusqu'à une profondeur de deux cents pieds : naturellement, le géologue explique la formation des unes par les lois qu'il a vues présider à la formation des autres (1).

Les fameuses eaux minérales de Carlsbad, en Bohême, nous fournissent un autre exemple intéressant et instructif de la formation des roches par précipitation chimique. Les sources qui s'élèvent des profondeurs du sol en bouillonnant et à une haute température tiennent en dissolution une quantité considérable de divers ingrédients minéraux. Lorsque l'eau a été pendant quelque temps exposée à l'air, ces ingrédients minéraux cessent d'être tenus en dissolution et ils se précipitent sous une forme solide. Mais ce qu'il y a de particulièrement intéressant, relativement au sujet que nous traitons, c'est qu'ils ne se précipitent point, comme on pourrait s'y attendre, en une masse confuse, mais ils ont une tendance manifeste à se réunir autour d'un petit corps solide quelconque qui se trouve par hasard sur leur chemin, soit un grain de sable, soit un fragment de coquille, comme il s'en trouve souvent de mêlés à la matière minérale. En vertu de cette tendance, il se forme de petits corps légèrement globuleux, qui continuent de croître en dimensions par le dépôt continu de nouvelles matières venues de l'extérieur, jusqu'à ce qu'ils soient en contact les uns avec les autres et se cimentent ensemble en une masse compacte. Quiconque aura bien présent à l'esprit ce mode de formation, et, en même temps, se rappellera que les sources de Carlsbad fournissent par jour près de dix millions de litres d'eau chargée à un tel point de

(1) Lyell, *Principes de Géologie*, t. I, p. 527-531.

matière minérale, n'aura pas de peine à admettre que nous avons là sans cesse à l'œuvre une cause parfaitement capable de produire, dans le cours des âges, une couche considérable de roche d'une structure particulière et nettement définie.

Or, la couche sur laquelle repose la ville même de Carlsbad est exactement semblable. Les éléments qui la constituent correspondent parfaitement aux ingrédients minéraux de l'eau qui coule actuellement à sa surface. Elle est d'une structure que les géologues appellent *oolithique* (ὠόν, œuf, et λίθος, pierre), c'est-à-dire qu'elle est composée de petits grains arrondis assez semblables à des œufs ou à du frai de poisson. Lorsqu'on examine ces grains, on trouve qu'ils consistent intérieurement en un certain nombre de minces couches concentriques disposées autour d'un noyau central : et ce noyau lui-même n'est autre chose qu'une petite particule de sable ou un fragment de coquille. Ici donc encore, nous avons l'occasion d'observer, l'une à côté de l'autre, l'œuvre de la nature déjà terminée et la même œuvre maintenant en voie d'exécution. Elles se ressemblent sous tous les rapports et dans toutes leurs parties. Il n'est donc pas déraisonnable, semble-t-il, de supposer que l'une a été exécutée à peu près de la même manière que l'autre et sous l'action des mêmes lois (1).

(1) Vogt, *Lehrbuch der Geologie*, t. II, p. 96.