

suppose le résultat de l'éruption de 1603. Si cette date est exacte, ce phénomène offrirait un grand intérêt, en ce qu'il donnerait approximativement la mesure de la force érosive de l'eau dans un espace donné. L'ouverture pratiquée par l'eau dans une lave dure et homogène, aurait, d'après M. Lyell, 40 à 50 pieds de profondeur, et sa largeur varierait depuis 50 jusqu'à plusieurs centaines de pieds (1). Quoi qu'il en soit, il paraît difficile d'admettre qu'une lave dure ait pu, en 230 ans, être attaquée de cette manière. En Auvergne, où l'on voit souvent des laves corrodées par les eaux, on est bien loin de rencontrer de semblables érosions pour un si court espace de temps. Il faut, si la date de la lave de l'Etna est certaine, qu'il y ait dans cette roche quelque tendance à la décomposition, comme on le remarque si souvent dans les roches volcaniques.

On a un grand exemple de la destruction rapide des terrains dans le saut du Niagara, qui chaque année recule vers le lac Erié d'une manière très-sensible. Il est bien évident qu'autrefois ce saut était sur le bord du lac Ontario. Il a déjà reculé de près de deux lieues, et il ne lui en reste plus que six à dégrader pour se trouver tout-à-fait sur le bord du lac Erié, dont le niveau devra alors baisser progressivement.

Une des preuves les plus convaincantes que les eaux ont une grande puissance d'érosion, c'est que les grands bassins dans lesquels l'eau s'évapore au lieu de couler vers la mer, sont entièrement privés de ces gorges ou portes, comme celles qui sont creusées par les eaux à l'issue des grands lacs, ou du moins si ces gorges existent, elles ont cessé de s'approfondir dès que les

(1) LYELL, *Principles of Geology*, p. 178.

eaux ont cessé d'y couler. Jamais on ne voit la moindre trace de ces dégorgeoirs dans les bassins fermés qui correspondent à des cavernes intérieures, comme les bassins de la Grèce qui ont été si bien décrits par MM. Virlet et Boblaye.

Nous pouvons donc regarder comme bien démontré que l'eau a une grande puissance érosive, qui reste cependant en rapport avec la vitesse ou la chute du liquide, son abondance et la nature des terrains. Mais on ne peut nier que les débordemens périodiques des grands fleuves, comme ceux de l'Amérique, etc., n'aient une grande influence sur leur force érosive; car alors non-seulement ils charrient des terres et des fragmens de rochers, mais des arbres, des forêts entières et les animaux qui les habitaient. Tout le monde connaît les ravages que produit tout-à-coup une pluie d'orage qui ravine le sol et emporte quelquefois de grands espaces. Ce sont ces inondations accidentelles qui sont les plus terribles, surtout si elles sont accompagnées de grands coups de vent qui augmentent encore leur intensité. L'ouragan qui, en 1815, traversa toute la Jamaïque, produisit, par la masse d'eau qu'il versa en peu d'instans, une crue si subite de la rivière d'Yallahs, que les torrens qui l'alimentaient entraînent avec violence dans la mer tous les poissons qui s'y trouvaient, et pendant plus de dix ans on n'y rencontra aucun poisson d'eau douce.

Les eaux courantes agissent donc, comme on le voit, en dégradant la surface des terrains; mais ce qui se passe sur la terre peut avoir lieu à une certaine profondeur, et nous devons sans doute attribuer à la pression et à l'action long-temps prolongée de l'eau sur des roches calcaires, la formation de plusieurs cavernes.

Il faudrait bien se garder cependant d'attribuer à

l'action mécanique de l'eau le creusement de toutes les cavernes, car il s'en faut de beaucoup qu'il en soit ainsi, mais on ne peut lui refuser une certaine part dans leur création.

Les eaux des rivières corrodent souvent les roches contre lesquels elles s'appuient, et l'on doit attribuer à leur action non-seulement des cavités qui existent maintenant à la surface de l'eau, mais d'autres plus élevées qui ont été creusées à une époque antérieure. M. de Humboldt cite des effets de cette nature produits sur les roches qui bordent l'Orénoque :

« L'aspect géognostique de ces lieux, la forme insulaire des rochers de Kerk et d'Oco, les cavités que les flots ont creusées dans le premier de ces co-teaux, et qui sont placées précisément à la même hauteur que les excavations qu'on voit dans l'île d'Aivituri, située vis-à-vis; ces apparences réunies prouvent que toute cette anse, aujourd'hui à sec, était jadis couverte par l'Orénoque. Les eaux formerent probablement un lac immense, aussi long-temps que la digue du Nord leur résista (1). »

On trouve des grottes creusées par les mêmes causes, dans une foule de vallées qui autrefois formaient de grands lacs. Les eaux ont agi progressivement, et ont pu déterminer une érosion plus ou moins étendue. Les cavernes creusées de cette manière sont remarquables par leur horizontalité, qui dépend non-seulement du niveau de l'eau, mais de la facilité avec laquelle certaines couches de roches peuvent se disgréger. Mais on voit quelquefois dans ces grottes des élargissemens, puis des étranglemens, qui sont dus évidemment

(1) HUMBOLDT, *Tableaux de la nature*, t. I, p. 236.

à l'action toujours égale et constante de l'eau sur des roches de densité inégale, qui sur un point cédaient avec facilité, tandis qu'elles résistaient sur d'autres. Lorsque cette pression de l'eau n'a pas creusé de profondes cavernes, elle a souvent sillonné des rochers qui portent maintenant des traces bien positives d'anciennes érosions.

Des cavernes à étages, ou du moins des cavités fortement inclinées, peuvent encore devoir leur origine à la simple action mécanique de l'eau. Ainsi, quand le terrain est disposé en bassins fermés, comme dans le Jura, la Grèce, la Dalmatie, etc., c'est la forte pression du liquide, au milieu de ces bassins, qui détermine la création ou plutôt l'élargissement des cavernes. L'eau profite alors de la moindre fente, de la plus petite fracture; elle se glisse au point de jonction de deux rochers; elle déblaye et entraîne les couches d'argile les plus minces; enfin, quand elle a pu se frayer une issue et s'arrêter à un niveau plus bas, sa conquête est assurée, elle a tracé sa route. Bientôt ces canaux souterrains s'élargissent, des couches de sédiment sont entraînées en entier, et ce canal de décharge, d'abord étroit et peu étendu, s'agrandit dans toutes ses proportions, et finit par devenir une véritable caverne que l'eau ne remplit en entier que dans de rares circonstances. La vitesse du ruisseau souterrain, ses chutes plus ou moins nombreuses, sont des causes qui activent la destruction du rocher, et agrandissent insensiblement la caverne. Celle du Guacharo, dans la vallée de Caripe, dont M. Humboldt a mesuré une étendue de 2,800 pieds, présente dans toute sa largeur un ruisseau, qui bien certainement l'a entièrement creusée, et qui vient sortir sous une arche de pierre. La direction de la caverne, sa pente qui aug-

mente insensiblement à mesure que l'on s'y enfonce, prouvent suffisamment la vérité de cette supposition.

*De l'action des eaux pendant le transport des matériaux.*

Une fois les matériaux arrachés aux terrains sur lesquels l'eau s'écoule, les fragmens sont entraînés pour être déposés plus loin.

S'ils sont très-gros, ils marchent très-vite sur une pente rapide, très-lentement sur une pente douce, où l'impulsion de l'eau est la seule cause de leur mouvement. L'inverse a lieu dans des circonstances contraires. On a calculé que l'action mécanique de l'eau ne pouvait avoir lieu si la vitesse n'était au moins de 3 pouces par seconde au point de contact du courant avec le sol. Munie de cette faible puissance, l'eau peut entamer de l'argile déposée en couches denses et épaisses, elle parvient à y creuser un sillon et à entraîner les particules détachées. Avec une vitesse de 6 pouces pour le même espace de temps, l'eau entraîne le sable fin, et le plus gros avec une vitesse de 8 pouces. A 12 pouces, elle déplace les graviers; à 24, elle peut mouvoir des cailloux arrondis d'un pouce de diamètre, et il faut une vitesse de 3 pieds par seconde pour qu'une rivière puisse entraîner des galets de la grosseur d'un œuf. (1) Que l'on juge d'après cela de la vitesse nécessaire pour charrier ces gros blocs d'alluvions que nous rencontrons quelquefois dans le lit des anciennes vallées.

Les débordemens des cours d'eau, accidentels ou pé-

(1) *Encyclopédie britannique, article Rivières.*

riodiques, augmentent presque toujours beaucoup leur puissance érosive, et si l'eau en se chargeant d'une grande quantité de limon, se transforme en une espèce de boue liquide, alors elle peut emporter dans son cours de très-grosses masses de roches, dont la pesanteur, comparée au même volume d'eau, se trouve nécessairement diminuée par l'augmentation de densité du liquide. Non-seulement la terre végétale et les rochers sont emportés dans les débordemens, mais souvent aussi des animaux se trouvent surpris et noyés, les forêts sont arrachées, et les débris organiques sont d'autant plus facilement entraînés qu'ils surnagent le plus souvent ou n'excèdent que de très-peu la pesanteur de l'eau.

Les débris qui sont anguleux, comme le sont presque tous ceux qui viennent de se détacher des parois d'un cours d'eau, sont difficilement déplacés, mais ils éprouvent de continuel frottemens de la part des cailloux plus petits et déjà arrondis qui descendent avec la rivière, et ils finissent par prendre la forme ronde. Lorsqu'ils l'ont acquise, ils éprouvent encore entr'eux des frottemens réitérés qui en détachent des matières pulvérulentes que l'eau enlève aussitôt : c'est ainsi que les galets se polissent, s'arrondissent, et finissent même par se transformer en sable ou en gravier, au lieu de descendre directement jusque dans l'Océan.

Les galets que charrie un ruisseau sont ordinairement de même matière, parce que son cours étant peu étendu, est souvent tracé dans un terrain de même nature. Mais dans une rivière ou dans un grand fleuve, résultat d'un grand nombre d'affluens qui arrivent de localités très-différentes, on trouve des cailloux de toute espèce, et l'on suit facilement les divers degrés d'altérations qu'ils ont éprouvés. Ceux qui sont cal-

caires sont usés les premiers, et disparaissent entièrement au bout d'un certain trajet; les roches schisteuses, comme le gneiss, les micaschistes, s'altèrent aussi avec une grande rapidité, tandis que les quartz, les basaltes résistent et aident à la destruction de tous les autres.

Une fois les parcelles détachées, l'eau les enlève facilement, et on les voit quelquefois colorer entièrement des rivières, soit qu'elles proviennent de la destruction des galets, soit que l'eau les ait enlevées directement au terrain. Le mica surtout, qui se délite en paillettes légères, reste facilement suspendu, et voyage à de très-grandes distances.

Quand les cailloux sont durs, et qu'ils marchent sur un lit calcaire, il leur arrive quelquefois d'être arrêtés par une légère cavité. Le balancement qu'ils éprouvent facilite la disgrégation du sol qui est au-dessous d'eux. Il se forme bientôt une petite cavité dans laquelle le galet entre progressivement, il s'y enfonce tout-à-fait, et continue de creuser une sorte de chambre, quelquefois très-grande, proportionnellement au volume du caillou. Celui-ci, alors logé plus au large, oscille plus facilement, et fait l'effet d'un marteau qui agirait continuellement sur les parois de cette cavité. C'est surtout dans le voisinage des cascades que ces trous se forment et s'agrandissent le plus facilement. M. Humboldt en a observé de semblables au milieu de l'Orénoque; on en remarque souvent sur le lit calcaire de l'Allier, et au gour saillant près de Vichy.

Si les fragmens du règne inorganique que transportent les cours d'eau sont assujettis eux-mêmes à des chocs ou à des frottemens tellement multipliés qu'ils sont quelquefois détruits, à plus forte raison les débris

organiques doivent-ils être altérés par les mêmes causes. Il est bien rare, en effet, que des arbres, et par conséquent d'autres végétaux, puissent voyager longtemps sur l'eau sans être déchirés ou complètement écorcés.

Les grands trains de bois qui descendent le Mississipi et d'autres fleuves, sont tous plus ou moins altérés par leur frottement entre eux, et par les chocs qu'ils reçoivent des rochers contre lesquels ils viennent se heurter.

Il résulte de ces différentes observations que les matériaux arrachés aux continens par les cours d'eau, tendent toujours à se diviser et à se mélanger, et qu'il faut nécessairement de grandes crues, une pente très-rapide, ou une petite distance à parcourir pour que ces matériaux arrivent, portés par les fleuves, jusques sur les bords de l'Océan, où les vagues semblent les repousser.

*De l'action créatrice de l'eau ou de ses dépôts.*

Nous venons de voir comment l'eau corrode les divers terrains sur lesquels elle s'épanche, nous savons aussi les modifications qu'éprouvent les débris pendant leur trajet; étudions maintenant le mode d'abandon ou le dépôt de ces innombrables fragmens.

L'eau de source est toujours bien transparente et ne contient aucune matière en suspension. L'eau puisée en pleine mer est aussi limpide que l'eau de source. Par conséquent, tous les phénomènes relatifs à l'érosion du sol et aux dépôts de sédiment se passent entre les sources et la pleine mer. Les dépôts peuvent se faire d'une manière différente: d'abord sous forme de longues lignes sinueuses, indiquant le cours des fleuves et des ri-

vières ; ensuite sous forme d'amas plus ou moins irréguliers dans les lacs ou bassins que les cours d'eau traversent, ou sur le rivage à l'embouchure des fleuves ; enfin, les débris peuvent pénétrer dans l'intérieur du sol et remplir des fentes ou des cavernes. Nous allons étudier successivement ces différentes créations de terrain de transport.

Des dépôts riverains.

A l'époque actuelle, et dans nos climats, les dépôts riverains ont très-peu d'importance ; mais nous voyons former en petit ce que la nature fait plus en grand sous les climats chauds, et ce qu'elle a créé sous de bien plus grandes proportions autrefois. Les dépôts qui se forment dans le lit et sur les bords d'une même rivière, sont quelquefois différens, parce que le lit de la rivière offre des cavités que les déblais remplissent peu à peu, et que plusieurs d'entre eux ne peuvent dépasser. Si un cours d'eau est formé sans aucun étranglement de ses rives, de petits bassins que l'eau nivelle et remplit, on ne peut s'apercevoir à la surface de ces inégalités du fond, mais les cailloux qui y descendent ne peuvent en remonter, et finissent par combler ces très-petits bassins comme ils comblerent de grands lacs, ainsi que nous le verrons plus loin. De fortes crues, en imprimant un mouvement rapide aux eaux, peuvent forcer quelques cailloux à franchir la digue, mais la masse principale reste dans le bassin.

Les affluens des cours d'eau déposent aussi, selon leur puissance et leur étendue, de petits deltas dans la branche principale. Ils apportent aussi les échantillons des contrées qu'ils ont traversées, et leurs dépôts varient en étendue et en épaisseur, selon la vitesse relative des

deux eaux qui viennent se confondre. Ces petits amas de débris ont quelquefois une grande influence sur la direction des cours d'eau et sur les sinuosités des rivières. On voit de ces deltas détourner de leur marche de grands courans d'eau, qui se creusent un nouveau lit à côté de l'ancien ; puis une inondation arrive, le delta est emporté et la rivière reprend son ancien lit. Il se passe tous les ans une foule d'événemens de ce genre dans nos petites rivières de France.

On remarque aussi sur les bords mêmes de ces rivières des dépôts analogues à ceux qui constituent les deltas. Ce sont des sables, des graviers, des cailloux roulés, qui forment plusieurs lignes parallèles, selon leur pesanteur. Les plus gros cailloux sont au bord de l'eau, les plus petits forment une zone au-dessus, les graviers les suivent, puis viennent les sables, et enfin une petite couche de limon léger recouvre cette petite bordure stratifiée. Une inondation peut la détruire et quelquefois l'augmenter, en sorte qu'il y a ainsi superposition de petites bandes de pesanteur spécifique différente. Ces dépôts riverains sont souvent interrompus dans leur uniformité par les affluens qui, formant eux-mêmes des deltas et de semblables dépôts, changent de lit et viennent les raviner. Chaque affluent apporte aussi de nouveaux matériaux à ces créations d'un jour, dont les formes et l'épaisseur varient à chaque instant.

Des substances végétales, telles que des branches d'arbres, des tiges de plantes herbacées, des graines osseuses, quelquefois des feuilles entières ou brisées, sont ensevelies sous la vase, ou maintenues par le poids des galets. Des coquilles d'eau douce, dont l'animal est mort, sont aussi rejetées sur les rives avec des coquilles terrestres que les pluies ou les affluens ont entraînés ; des grains de fer oxidé, du fer titanaté, quel-

quelques fois des paillettes d'or dégagées par une longue trituration des roches qui les renfermaient, viennent encore se mélanger à ces petits dépôts qui se prolongent sous l'eau, et exhaussent peu à peu le lit des rivières qui changent de place et coulent à côté (1). Ces petits dépôts de vase et de cailloux, exposés aux rayons du soleil, se dessèchent, se gercent et se fendent, et si une pluie ramène sur les mêmes lieux du nouveau limon, il pénètre dans les fentes, les remplit et fait corps avec l'ancien dépôt.

Tels sont les petits phénomènes qui se passent sur le bord de nos ruisseaux et de nos rivières; nous allons les voir grandir successivement, atteindre de gigantesques proportions, et si nous accordons à la nature le temps qui n'est rien pour elle et qui fuit si vite pour nous, nous pourrions peut-être nous rendre compte de faits très-singuliers, quoique très-naturels, pour l'explication desquels les géologues ont généralement appelé à leur aide une série de cataclysmes imaginaires.

Des dépôts lacustres.

Puisque l'eau se dépouille elle-même dans les rivières de la plupart des détritiques qu'elle entraîne, à plus forte

(1) Cet exhaussement est quelquefois si grand, que l'on est obligé de maintenir la rivière par des digues, comme on le voit dans la plaine de Nice. Quand les eaux sont basses, on rejette sur les côtés les dépôts formés dans le lit, et l'on forme ainsi deux rives artificielles qui servent à garantir les plaines. Le Pô montre un exemple bien connu de cette élévation du lit d'une rivière, car il est devenu plus haut que les maisons de la ville de Ferrare. Le même phénomène s'observe encore en Hollande, quoique sur une plus petite échelle. (De LABÈCHE, *Manuel de Géologie.*)

raison devra-t-elle abandonner dans le bassin des lacs toutes les matières qu'elle tient en suspension. Les phénomènes que nous venons d'étudier se reproduiront, et les couches de dépôt, au lieu de former des lignes parallèles et étagées, donneront naissance à des couches superposées et plus ou moins inclinées. Les débris organiques s'y placeront de la même manière, y resteront enfouis, et seront par la suite autant de fossiles que les géologues futurs rechercheront avec le même intérêt que nous mettons à étudier les anciens habitans de la terre.

Les grands lacs que l'on trouve au pied de plusieurs chaînes de montagnes, et notamment dans les Alpes, arrêtent à peu près tous les débris que les torrens arrachent aux rochers. Ils s'y déposent et élèvent continuellement le fond de ces bassins; cependant ils ne s'étendent pas très-loin du point où ils se précipitent. Les cailloux les plus gros tombent les premiers, puis les sables, et le limon qui, selon les observations de M. de Labèche, s'avance d'une lieue un quart dans le lac de Genève. Au reste, ces dépôts terrestres doivent s'étendre plus ou moins sur le fond du lac, selon la vitesse d'impulsion qu'ils ont reçue, la profondeur à laquelle ils descendent, et l'inclinaison du fond qui les reçoit. La pression de l'eau, à une grande profondeur, doit encore agir d'une manière sensible sur leur extension et sur leur tassement.

Les débris organiques doivent aussi se déposer bien plus régulièrement dans les lacs que sur le bord des fleuves. Les poissons qui y meurent ne sont pas entraînés par le courant, les coquillages restent au fond des eaux, et se stratifient régulièrement avec les sables et le limon; les couches qui s'y forment ne sont pas horizontales, elles sont inclinées, quoique faible-