

QE28

LA

v. 2



1080045319

ÉLÉMENTS
DE GÉOLOGIE

ET

D'HYDROGRAPHIE.

SECONDE PARTIE.

DE LA GÉOLOGIE.

CHAPITRE DIX-SEPTIÈME.

DES FORCES AGISSANTES INTÉRIEURES.

LES forces dont nous nous sommes occupés dans les chapitres précédens, quoique puissantes et nombreuses, ne suffisent pas pour nous expliquer un grand nombre de phénomènes qui se déploient tous les jours sous nos yeux. Ce ne sont ni les forces d'érosion qui dégradent les continens, ni les actions de transport qui les recons-

tituent, qui peuvent nous faire comprendre la chaleur des eaux thermales, l'intermittence des Geisers, la composition des lagonis; ce ne sont pas les actions chimiques, précédemment étudiées, qui peuvent nous rendre raison des phénomènes volcaniques, des tremblemens de terre, et d'une foule de réactions dépendantes de ces forces nouvelles et puissantes.

Il faut chercher ailleurs les données nécessaires pour résoudre ces grands problèmes; mais tout annonce, dans ces phénomènes une action qui agit du centre de la terre à l'extérieur, et qui crée à la surface extérieure, comme le font les actions précédentes; en sorte que les deux surfaces d'accroissement du globe se touchent et se confondent, quoique partant chacune de points diamétralement opposés. Mais ici les forces semblent venir de l'intérieur; les résultats seulement se font jour jusqu'à la surface, et nous ignorerons probablement toujours les grands mystères que nous cache l'écorce solide de notre planète.

Tout cependant semble nous indiquer une chaleur intérieure indépendante de celle de la surface, et cette idée anciennement admise et nouvellement soutenue, paraît mériter maintenant toute l'attention des géologues.

On sait que la température de l'air varie suivant la latitude, l'élévation et plusieurs autres circonstances accessoires. Il en est de même de la terre, qui, exposée aux rayons solaires sous différens climats, s'échauffe bien plus que l'air, et se refroidit quelquefois plus vite. Les saisons et la latitude peuvent donc modifier continuellement la température extérieure de la terre, qui, sur certains points, peut dépasser $+60^{\circ}$ centigrades, et sur d'autres s'abaisser de -50 .

Ces grandes variations ne sont que superficielles et

atteignent tout au plus 3 ou 4 centimètres de profondeur. La nuit, le rayonnement de cette surface lui fait bientôt acquérir une température inférieure à celle de l'air.

Il y a donc tous les jours une oscillation de température sur une couche de 4 centimètres d'épaisseur; mais indépendamment de cette chaleur diurne, la terre acquiert aussi une température annuelle qui s'étend bien plus profondément que celle qui dépend seulement des retours périodiques du soleil sur l'horizon. Celle-ci paraît avoir de l'influence jusqu'à la profondeur de 30 à 40 mètres, et le point où cette température cesse de varier, s'appelle *la ligne de température invariable*. Elle indique à très-peu près la moyenne annuelle d'un lieu. Si, par exemple, dans une contrée où l'on ne fait que passer, on voulait avoir la température moyenne de l'année, sans faire toute la série nécessaire d'observations thermométriques en plein air, il suffirait de connaître le point souterrain où la température ne varie pas, pour obtenir de suite la moyenne. C'est ce que M. Boussingault a fait pour plusieurs points de la chaîne des Andes, mais ce que nous ne pourrions pas faire aussi facilement dans nos climats. Dans les lieux où ce savant chimiste a opéré, il trouvait la ligne de température invariable à un pied de profondeur, ce qui tient aux légères oscillations du thermomètre dans ces contrées, tandis qu'à mesure que l'on s'éloigne de l'équateur pour arriver au pôle, il faut descendre plus profondément, de telle sorte qu'une ligne qui indiquerait la couche de température invariable, allant de l'équateur au pôle, s'éloignerait peu à peu de la surface, et offrirait sur son trajet une série d'ondulations dont les causes seraient très-difficiles à déterminer dans l'état actuel de nos connaissances. Cette ligne, comme les lignes



isothermes, s'éloignerait de temps en temps des degrés de latitude.

Tout ce qui est au-dessus de cette ligne souterraine est soumis à l'influence des saisons et des climats, mais il est bien clair que toute la partie qui est au-dessous en est complètement indépendante. Et si l'on compare les masses des deux portions que cette ligne sépare, on verra que la partie extérieure n'est rien relativement à l'autre. Lorsqu'on pénètre au-delà de la couche invariable, on ne tarde pas de s'apercevoir que la température augmente en raison de la profondeur, et elle devient même assez élevée dans des mines très-profondes pour incommoder les ouvriers.

Un grand nombre d'expériences ont été faites pour déterminer cette température à différentes profondeurs; mais il en est peu qui soient comparatives, parce qu'on a négligé de tenir compte de plusieurs circonstances accessoires qui doivent nécessairement avoir eu une certaine influence sur les résultats. On trouvera l'énoncé de tous ces essais dans le beau travail que M. Cordier a publié sur la chaleur centrale (1). Nous allons en extraire seulement le tableau qui contient les propres observations de ce savant, comme étant celles qui doivent inspirer le plus de confiance.

(1) *Annales des Mines*, 2^e série, t. II, p. 53.

TABLEAU

Des données fournies par les expériences qui ont été faites directement sur la température du sol, à CARMEAUX, à LITTRY et à DECIZE.

LIEUX DES EXPÉRIENCES.	N ^{os} des expériences.	Profondeur des stations.	Températures observées.	OBSERVATIONS.
CARMEAUX.	1	mètres. 6, 2	degrés. 12, 9	Ce puits est à peu de distance de la mine dite du Ravin. Ce puits est immédiatement au-dessus de la station prise dans la mine Castellan. Il y a une petite demi-lieue de distance entre ces deux mines. Température égale à la moyenne. Température qu'il faut attribuer au pays. Ces puits sont situés presque immédiatement au-dessus des stations prises dans la mine.
	2	11, 5	13, 15	
	3	181, 9	17, 1	
	4	192	19, 5	
LITTRY.	1	0	11	
	2	99	16	
	3	99	16, 27	
	4	99	16, 135	
DECIZE.	1	8, 8	11, 4	
	2	16, 9	11, 77	
	3	107	17, 78	
	4	171	21, 1	

Ce tableau fait voir que la profondeur qui correspond à l'accroissement d'un degré de chaleur souterraine doit être fixée, savoir : à 36 mètres pour Carmeaux, à 19 mètres pour Littry, et à 15 mètres pour Decize.

Depuis ces intéressans résultats obtenus par M. Cordier, beaucoup de savans ont recueilli des observations sur la température intérieure du sol, et le percement d'un grand nombre de puits artésiens n'a pas peu contribué à augmenter le nombre des expériences.

M. Ermann a publié des observations faites dans le puits foré de Rodersdorf; après avoir décrit les précautions prises et les appareils employés, il expose des résultats qui donnent, pour une profondeur de 630 pieds, une température presque double de celle de la surface (1).

M. Ipasky a dressé en tableau les observations faites sur la température des puits artésiens aux environs de Vienne, en Autriche, et il en a déduit une augmentation de température d'un degré octogésimal pour chaque espace de 25 mètres. La température moyenne à Vienne étant de $8^{\circ} 2$ R., le fond des puits a donné, à 240 pieds de profondeur, $11^{\circ} 2$ (2).

M. Phillips a publié aussi les résultats qu'il a obtenus dans un puits de 1584 pieds, mais son ouverture est de 87 pieds au-dessous du niveau ordinaire de l'eau; sa profondeur au-dessous du niveau de la mer est donc seulement de 1,497 pieds. Si la profondeur de la couche invariable est supposée de 100 pieds, et que la moyenne température du lieu soit de $47^{\circ} 6$, on a $72^{\circ} 6 - 47,6$ ou 25° d'augmentation de température pour 1,484

(1) *Mémoires de l'Académie de Berlin*, 1832.

(2) *Annales de Poggendorf*, vol. XXXI, n^o 23, p. 365.

pieds, c'est-à-dire, 1° F. pour 59,36 pieds, ou en nombre rond, 1° F. pour 20 yards anglais. En traduisant ce résultat en mesures françaises, on trouve que c'est 1° C. pour 32,57 mètres (1).

Une seule expérience a été faite en Amérique par madame Griffith. Elle donne un accroissement de 1° centigrade par 12 mètres de profondeur (2).

M. Arago a fait aussi tout récemment de nouvelles observations thermométriques dans le puits que la ville de Paris fait percer à l'abattoir de Grenelle. Lorsque ce puits avait 250 mètres de profondeur, un thermomètre, à midi, indiqua, après 24 heures de séjour, une température de 20° C., et lorsqu'il eut atteint 300 mètres, la même expérience donna 22° ; en sorte que l'accroissement de température qui, d'après les premières observations, était de 1° par 26 mètres, avait augmenté, et était alors de 1° pour 23 mètres. Des expériences faites dans le puits foré de l'Ecole-Militaire, qui n'est éloigné que de 600 mètres de celui de Grenelle, et qui est foré dans le même terrain, ont donné 1° centigrade par 29^m 83.

Nous pourrions rapporter un plus grand nombre de résultats, mais ceux qui précèdent suffisent pour prouver que la température va toujours en augmentant, à mesure que l'on descend dans l'intérieur du globe. Ils suffisent aussi pour nous faire voir la grande différence qui existe entre la progression de l'élévation de température, dans des lieux divers et quelquefois très-rapprochés.

(1) *Phil. Magaz.*, décembre 1834, p. 446.

(2) Lettre à M. Cordier, *Annales des Mines*, 2^e série, t. VI, p. 444.

Il résulterait de ces expériences, que la chaleur, en augmentant ainsi, devrait atteindre une grande élévation dans l'intérieur du globe, et que sa masse intérieure serait fondue par cette énorme température. Une croûte solide, d'une épaisseur variable, nous séparerait de cette masse incandescente.

D'après les observations faites à l'Observatoire de Paris, il suffirait de pénétrer jusqu'à la profondeur de 2,503 mètres dans l'intérieur du globe, pour y trouver la température de l'eau bouillante (1); et en adoptant la moyenne de 25 mètres de profondeur pour l'élévation d'un degré, on aurait, pour la chaleur du centre de la terre, l'énorme chiffre de 250,000 degrés centigrades, température capable de fondre toutes les roches et probablement tout ce qui existe sur la terre.

L'épaisseur moyenne de la croûte du globe terrestre, calculée d'après ces données, n'excéderait certainement pas vingt lieues de cinq mille mètres; mais elle est probablement beaucoup moindre, puisque la chaleur, combinée avec la pression, doit rendre les composés pierreux fluides et cristallisables à une profondeur moins considérable.

Il est bien difficile de savoir quelles sont les causes des grandes différences qui semblent exister dans l'épaisseur de la croûte solide, ou dans les relations qui existent entre la mesure de la profondeur et celle de la température. Comment expliquer que l'écorce de la terre soit moitié moins épaisse à Decize qu'à Carmeaux, lieux qui ne sont séparés que par une si petite distance? On concevrait plutôt que sur un autre continent, en Amérique, par exemple, il puisse y avoir

(1) CORDIER, *Annales des Mines*, 1827.

une différence aussi importante; mais la seule expérience que nous avons rapportée est loin d'être concluante.

Peut-être la nature des roches a-t-elle une influence marquée sur la conductibilité du calorique; c'est ce qui semblerait résulter des expériences comparatives entre le schiste et le granite, faites dans le comté de Cornouailles, par M. W. J. Henwood. Cet observateur a constamment trouvé, à profondeur égale, la température des schistes élevée de quelques degrés au-dessus de celle des granites (1).

Nous ignorerons probablement toujours la cause de ces singulières variations, car le plus ou moins de conductibilité des roches n'est pas une circonstance capable de nous expliquer les inconcevables variations qui se montrent dans toutes ces expériences.

Quoi qu'il en soit, les faits existent et sont incontestables; mais il ne s'ensuit pas que tous les savans admettent l'incandescence intérieure de la terre. Ainsi M. Poisson, dans sa théorie de la chaleur, n'adopte pas cette opinion, et paraît disposé à alléguer une autre cause à la température des parties intérieures du globe. Il fait observer que les régions cosmiques, dans lesquelles se meut le système solaire, ont une température qui leur est propre; que cette température peut être différente dans différens points de l'univers, et que, s'il en est ainsi, la terre doit être quelque temps à acquérir la température du point de l'espace où elle est arrivée. Cette température se propagera graduellement de la surface aux portions intérieures. Ainsi, si le système solaire quitte une région plus chaude pour

(1) *Records of general Science*, septembre 1836, p. 198.

entrer dans une plus froide de l'espace, la portion de la terre au-dessous de la surface manifesterait des traces de cette plus haute température qu'elle avait acquise dans le temps, et cette manifestation ne justifie en aucune façon l'opinion que l'accroissement de température augmente constamment à mesure qu'on approche du centre. Quoique cette manière de voir puisse ne pas recevoir l'approbation des géologues, il est nécessaire d'en tenir compte, afin de ne pas donner une confiance exclusive à l'opinion contraire; car dans les sciences on ne doit être guidé que par la recherche de la vérité.

Cependant il faut avouer que l'incandescence du globe rend mieux raison de tous les phénomènes, s'applique à tous les détails, et acquiert ainsi une telle probabilité qu'il est bien difficile de ne pas l'adopter, et de ne pas considérer la terre, ainsi que l'avaient déjà fait Buffon et Leibnitz, comme un soleil éteint, mais dont la croûte seule est refroidie.

Le baron Fourier est arrivé aussi, par des considérations tout-à-fait différentes de celles que nous avons rapportées plus haut, à conclure qu'une chaleur très-intense a primitivement pénétré toutes les parties de notre globe. Il pense que cette grande chaleur s'est dissipée dans les espaces planétaires qui nous environnent, dont il considère la température, d'après les lois du rayonnement de la chaleur, comme égale à -50° centigrades. Il a conclu en outre que la terre a presque atteint la limite de son refroidissement. La chaleur primitive contenue dans une masse sphéroïdale, égale en grandeur à notre globe, diminuerait plus rapidement à la surface qu'à de grandes profondeurs, où une température élevée se maintiendrait pendant un long espace de temps. Il a déduit de ces circonstances, ainsi que de la température des mines et des sources, qu'il y a une

cause intérieure de chaleur qui élève la température de la surface au-dessus de celle que l'action seule du soleil pourrait produire; mais cette élévation est excessivement faible, car pendant les vingt derniers siècles la diminution de la température terrestre aurait été moindre de $\frac{1}{300}$ de degré (1). De Laplace, par une méthode tout-à-fait différente, est parvenu aux mêmes résultats (2). Mais ce refroidissement n'est insensible à la surface que parce que les pertes de chaleur y sont incessamment compensées par l'effet d'une propagation qui procède uniformément du dedans au dehors, compensation presque complète qui approche continuellement de l'état d'équilibre, et que l'expérience et la théorie expliquent parfaitement. Les pertes de chaleur n'ont donc d'influence qu'à de grandes profondeurs, d'où il résulte que l'écorce solide du globe continue de s'accroître journellement à l'intérieur par la cristallisation des matières fondues, en sorte que la formation des roches cristallisées continue toujours d'avoir lieu, et ne cessera qu'après un temps immense, c'est-à-dire lorsque ce refroidissement aura atteint sa limite (3).

Ainsi la terre aurait été d'abord brillante et incandescente comme le soleil, répandant sur la lune une vive clarté, et l'échauffant de ses rayons comme le soleil nous enveloppe maintenant des siens. Sa surface se serait peu à peu refroidie en abandonnant sa chaleur à l'espace, et une croûte solide, actuellement épaisse de

(1) FOURRIER, *Annales de Chimie et de Physique*, t. XXVII, p. 165.

(2) LAPLACE, *Annales de Chimie et de Physique*, t. VIII, p. 414.

(3) CORDIER, *Annales des Mines*.

15 à 25 lieues, se serait formée sur un noyau qui conserve encore sa fluidité originaire, et dont la température atteint sans doute une extrême intensité. Dès lors rien de plus facile que d'expliquer la chaleur de ces nombreuses sources thermales qui paraissent de tous côtés. Rien de plus simple que de donner une théorie vraisemblable des phénomènes volcaniques, des grands dégagemens de gaz, de concevoir les tremblemens de terre et le soulèvement des chaînes de montagnes. Il nous suffira, suivant notre méthode, d'étudier les effets actuels de ces grands phénomènes, de les agrandir successivement en les éloignant de notre époque, et nous parviendrons ainsi à prendre une idée juste de la structure de notre planète, et des forces qui président encore aux changemens qui s'opèrent dans son intérieur et à sa surface.

CHAPITRE DIX-HUITIÈME.

DES DIVERS PHÉNOMÈNES PRODUITS

PAR LES FORCES INTÉRIEURES.

Tous les phénomènes qui ont pour cause l'action des forces intérieures se lient les uns aux autres, et ne sont souvent, quoique très-différens en apparence, que les résultats d'une même action. Nous ne pouvons cependant les étudier ensemble, et pour éviter toute confusion, nous les partagerons en deux groupes, en nous élevant successivement des actions les plus faibles aux plus puissantes. Dans la première division, nous étudierons ceux qui n'ont pas assez d'intensité pour occasionner des mouvemens sensibles dans la croûte du globe, et dans la seconde, ceux qui par des effets dépendans de la chaleur centrale, peuvent changer la surface du sol, en le déchirant ou le fracturant de différentes manières.

Dans la première division se trouvent, les *eaux minérales*, les *Geisers et lagonis*, les *dégagemens de gaz et de bitume*; dans la seconde, les *volcans*, les *tremblemens de terre et les soulèvemens*;

Enfin, une troisième division comprendra une foule de petites actions chimiques, entièrement dépendantes de ces forces intérieures, comme la *formation des filons par injection ou par sublimation*, la *dolomisation des roches*, les *phénomènes de liquation*, etc.