

TRADUCTIONS ET REPRODUCTIONS

DE LA

SOCIÉTÉ BELGE DE GÉOLOGIE

DE PALÉONTOLOGIE ET D'HYDROLOGIE

(BRUXELLES)

Tome XII

(Deuxième série, tome II)

ANNÉE 1898

BRUXELLES

HAYEZ, IMPRIMEUR DES ACADÉMIES ROYALES DE BELGIQUE

112, rue de Louvain, 112

TRADUCTIONS ET REPRODUCTIONS

DE LA

SOCIÉTÉ BELGE DE GÉOLOGIE, DE PALÉONTOLOGIE ET D'HYDROLOGIE

Tome XII. — Année 1898

INFLUENCE

DES

TREMBLEMENTS DE TERRE

SUR LE

RÉGIME DES EAUX MINÉRALES

—
EXPOSÉ DE LA QUESTION (1)

PAR

M. le docteur GOROD
Professeur à l'Université de Clermont.

—
I.

Les sources thermales arrivent au jour par des fentes de l'écorce terrestre ; pour elles, les conditions de couches perméables et imperméables, qui sont nécessaires pour les sources ordinaires, ne sont pas réalisées. Les fissures du sol se présentent comme des canaux qui livrent passage aux eaux souterraines accumulées dans des réservoirs inconnus. Ces réservoirs sont alimentés par les eaux d'infiltration qui, dans leur marche descendante, utilisent les interstices des terrains pour atteindre les grandes profondeurs. Les sources thermales ont donc pour origine les eaux infiltrées par les fissures, et c'est par des fissures qu'après avoir atteint leur degré thermique et dissous diverses substances, elles reviennent à la surface comme sources thermales ou thermo-minérales.

(1) Extrait du *Compte rendu de la quatrième session du Congrès international d'Hydrologie, de Climatologie et de Géologie, à Clermont-Ferrand. Section de géologie*, pp. 449-455. *Discussion*, pp. 453-459 (paru en 1898).

Ce schéma met en relief la relation étroite des sources minérales avec l'état de fissuration du sol, et il est admissible, sans discussion, que tout phénomène pouvant modifier cet état doit apporter des modifications plus ou moins profondes dans le régime des eaux. Parmi ces phénomènes, les tremblements de terre, qui impriment au sol des vibrations et des commotions violentes, doivent tenir le premier rang.

L'action des tremblements de terre peut transformer plus ou moins les sources existantes, peut entraîner leur suppression ou déterminer l'apparition de sources nouvelles.

II.

Pour une source prise en particulier, les modifications peuvent porter sur son débit, sur sa température, sur sa minéralisation, ou être dues à l'adjonction de matériaux divers.

Les belles recherches de M. J. François sur l'action des tremblements de terre sur les sources minérales des Pyrénées montrent que, dans cette région, des observations poursuivies permettent de relever des modifications importantes dans le débit et dans la température. Mais les conséquences de la secousse se font rarement sentir pendant longtemps. Au bout de deux ou trois jours, les sources ont repris leur situation première. Cependant, on admet que les sources de Louèche ont gagné 7 degrés et une notable augmentation de débit à la suite de la grande secousse de tremblement de terre de 1855, qui dévasta la vallée du Rhône.

L'effet le plus général produit sur les sources est de troubler l'eau; les cheminées se ramontent et laissent tomber leurs débris, qui sont emportés en suspension dans l'eau. M. Hervé-Mangon, qui fit, en 1861-1862, une série d'observations des plus précises sur les eaux du puits artésien de Passy, constata que chaque secousse souterraine de l'Europe occidentale relevée par M. Perrey correspondait avec une augmentation des sédiments. En 1861, le 14 novembre, un grand tremblement de terre agita la Suisse; le même jour, les sédiments passaient de 62 grammes par mètre cube, chiffre moyen, à 147 grammes, pour redescendre le lendemain à 91 grammes. Les tableaux ont permis à l'habile chimiste de mettre en évidence ces coïncidences nombreuses qui, toutes, confirment l'action des secousses ou tremblements du sol sur l'impureté des eaux des puits artésiens.

De semblables analyses n'ont pu être faites sur toutes les sources profondes de l'Europe, mais il est permis de conclure que ces expé-

riences sont applicables à l'ensemble des cheminées donnant sortie à des eaux minéralisées.

Plusieurs observateurs ont noté des troubles passagers analogues, dans la limpidité des sources thermales, dans diverses stations plus ou moins impressionnées par des tremblements de terre.

Les analyses faites de nos eaux minérales montrent que des modifications se sont souvent produites et que, à des intervalles prolongés, les résultats ne présentent pas une concordance absolue. Il est même permis de conclure des divergences observées, que des changements importants se montrent dans la minéralisation de beaucoup de sources. Les travaux exécutés par des sociétés rivales, dans le périmètre de la station balnéaire de La Bourboule, ont mis en évidence ce fait que de simples modifications du sol pour des captages pouvaient faire varier dans de larges limites la composition des eaux d'un bassin donné. Si l'action humaine peut déterminer de semblables résultats, les secousses souterraines peuvent plus largement encore agir sur la minéralisation, et il est possible d'attribuer aux vibrations du sol les changements indiqués par les analyses chimiques.

Le bouillonnement dû à l'émission d'acide carbonique de beaucoup de sources s'accroît au moment d'une secousse; ce fait a été signalé dans beaucoup de stations. Ainsi, le 12 juillet 1851, pendant un tremblement de terre qui se fit ressentir à Plombières, la source des Capucins se couvrit subitement d'une énorme quantité de gaz, tandis qu'en temps ordinaire, elle n'en dégage que très peu et d'une manière intermittente.

III.

Le tremblement de terre de 1855, qui agita l'Asie Mineure à plusieurs reprises, est fort instructif pour les modifications apportées par les secousses au régime des sources thermo-minérales.

Pendant le mois de février, l'agitation du sol fut telle qu'à Brousse, cent soixante mosquées furent détruites; toutes les sources thermales et non thermales tarirent et ne reparurent que six jours plus tard. Pendant le mois d'avril, de nouvelles secousses amenèrent la suppression des sources qui alimentaient la ville, mais les sources thermales éprouvèrent une augmentation de volume considérable. Bien plus, de nouvelles sources chaudes surgirent à côté des anciennes. Le calme ne se rétablit qu'à la fin du mois et les eaux reprirent leur ordonnance primitive.

En Europe, le tremblement de terre qui détruisit la ville de Lisbonne, en 1755, produisit une action énergique sur les sources environnantes. Un grand nombre virent leur thermalité s'abaisser ou s'augmenter; on nota la modification du rendement de plusieurs et même la suppression complète de sources importantes. Des observations montrèrent des changements notables dans leur minéralisation et surtout dans la quantité des gaz émis par elles.

Les données recueillies avant le tremblement de terre permettent d'établir ces transformations, dont certaines furent passagères, dont d'autres ont persisté depuis cette violente secousse qui agita l'Europe entière.

L'Allemagne n'échappa pas à cette formidable commotion, et c'est à cette action qu'est due la modification profonde du régime des eaux minérales du Wurtemberg, de la Bohême et d'autres provinces. Il fit jaillir sur certains points des sources nouvelles; ailleurs, il modifia leur thermalité et leur minéralisation.

Dans le Wurtemberg, la vallée du Neckar, absolument privée de sources, vit émerger de son soubassement volcanique les premières sources qui font aujourd'hui la réputation de la station de Camstadt. Une vaste nappe souterraine était maintenue dans la région profonde; les fissures produites ont déterminé le jaillissement des eaux thermales. Depuis, des puits de forage ont permis de compléter la sortie du liquide qui vient au jour par trente-deux sources distinctes.

L'exemple le plus récent est fourni par les catastrophes d'Alhama, en Espagne. Les sources thermales de la Bassa ont disparu sous les ruines de l'établissement qui les contenait.

Dans tous les grands tremblements de terre, on note des disparitions de sources ou de lacs et le jaillissement d'eau ou de boue à travers les crevasses qui sillonnent le sol. Pendant le tremblement de terre de la Calabre en 1785, pendant celui qui ravagea la Toscane le 21 août 1846, on vit s'échapper des nappes d'eau mêlées de sables. Les fissures constituent de véritables puits artésiens qui livrent passage aux eaux souterraines. En Amérique, des faits analogues sont relevés à la Nouvelle-Grenade, le 16 novembre 1827; au Pérou, à Rio-Bamba, en 1797. D'après Agatino Longo, quatorze sources jaillirent du sol au Nord de Catane pendant le tremblement de terre de 1828. Ces exemples suffisent pour mettre en évidence les transformations profondes que les tremblements de terre peuvent amener dans les eaux minérales d'une région.

Il est aisé de mettre en évidence les causes de ces transformations,

qu'il s'agisse d'une même source ou d'un groupe de sources influencées par les secousses terrestres.

Les secousses sismiques, en ébranlant l'écorce terrestre et en détruisant l'équilibre des masses qui la constituent, peuvent mettre en communication les fissures primitives d'une source avec des fissures voisines. De là l'apport de matériaux nouveaux, les dégagements de gaz. Dans tous les cas, les vibrations détachent des parois des particules terreuses qui troublent la limpidité de l'eau et forment des dépôts plus ou moins épais.

Les secousses violentes peuvent amener un trouble profond dans le régime hydrographique superficiel, par l'obstruction des conduits que les eaux parcourent dans leur circulation souterraine ou par l'élargissement des fissures ou la formation de nouvelles voies pour le passage des eaux profondes. Ainsi des sources sont taries, d'autres jaillissent en des points nouveaux, et les mélanges de sources voisines peuvent rendre thermales ou minérales des sources qui ne présentaient pas ces caractères.

Cette action est une preuve importante de la théorie qui fait des sources thermo-minérales, des sources dues à l'élévation d'eaux d'infiltration, qui, après avoir pénétré par les fissures du sol, après avoir acquis leur degré thermique et leur minéralisation, montent vers la surface par de véritables fissures artésiennes. Ces fissures, nous les rendons plus rationnellement combinées par nos procédés de captage, et nos eaux minérales jaillissantes témoignent de la force d'expansion du liquide. Mais toute cette fissuration souterraine, creusée dans le sol mobile, peut être profondément modifiée par les secousses des tremblements de terre, et, de ce fait, les eaux minérales sont des appareils délicats qui enregistrent les vibrations profondes et rendent un compte exact des phénomènes sismiques de notre terre.

Il nous semble nécessaire de terminer par l'exposé que vient de faire à Madrid notre confrère le Dr Pinilla, de ses observations sur *les tremblements de terre et les eaux minérales*.

« En attendant, dit-il, que le Gouvernement espagnol se décide à nommer la Commission demandée par la Société hydrologique et la Direction générale de santé, pour s'occuper des études spéciales ayant pour but de déterminer les troubles pouvant se produire sur les gisements, volume, température, ainsi que sur les propriétés physiques et chimiques des sources minérales, à la suite des tremblements de terre en général, il est de notre devoir de donner d'ores et déjà notre opinion sur cet intéressant sujet. Nous citerons les faits connus concer-

nant les effets produits dans les sources médicinales comprises dans les régions des provinces de Grenade et de Malaga, où dans ces derniers temps ont eu lieu des tremblements de terre encore présents à tous les esprits. Si, plus tard, la Commission nommée par le Gouvernement, si elle arrive toutefois à être nommée, nous fait connaître d'autres détails sur les phénomènes hydro-thermaux ayant déterminé des changements sur la structure intime des eaux, augmentation de température, apparition de nouvelles sources dans le voisinage de celles déjà connues et exploitées, nous reviendrons sur ce sujet...

» Les tremblements de terre exercent positivement une influence très directe sur les eaux minérales, et, sans aller plus loin que l'Espagne, nous citerons des faits qui prouvent cette doctrine d'une façon très concluante.

» Au XII^e siècle, à la suite d'un tremblement de terre, les eaux thermales d'Arnedillo ont été presque perdues. L'établissement des bains y existant à cette époque fut complètement ruiné.

» Le tremblement de Lisbonne (novembre 1755), pendant lequel les eaux, à Cadix, s'élevèrent à une hauteur de 60 pieds, et aux îles Madère de 18 pieds, et qui s'est fait sentir jusque dans les mers de la Grande-Bretagne, détermina des bouleversements considérables dans les sources minérales de toute la Péninsule ibérique. Les eaux d'Alhama, de Grenade, si éprouvées lors des tremblements derniers, disparurent complètement à cette époque pendant un certain temps, et se présentèrent à nouveau plus tard d'abord très troubles, mais au bout de quelques temps très claires et plus abondantes que jamais. Les eaux de Cortegada (province d'Orense), qui étaient froides, se modifièrent à la suite de ce même tremblement et prirent une température de 29°, 30° et 32° centigrades, conservée depuis cette époque par les trois principales sources. Les eaux de Caldas de Malaballa (Girone) disparurent pendant un mois, toujours par la même cause, mais revinrent dans les anciennes conditions après ce laps de temps. Les eaux de Pirda (Barcelone) furent découvertes après ce tremblement, ce qui porte à croire qu'elles n'existaient pas du tout auparavant.

» En 1798, les eaux de Caldas de Malaballa, déjà nommées, ont de nouveau été altérées par un tremblement de terre et ne rentrèrent dans leurs conditions habituelles qu'en 1799.

» De même en mars 1817, les eaux d'Arnedillo, à la suite d'un autre tremblement, changèrent de niveau, à tel point que l'établissement qui existe aujourd'hui occupe l'emplacement de l'ancienne source, mais la température n'a pas éprouvé de changement. Enfin, les eaux

de Sierra-Alhamilla, au tremblement de 1865, augmentèrent considérablement de température, ayant atteint 50° centigrades, qu'elles conservent encore.

» Les plus récents tremblements de terre qui ont eu lieu dans la province de Murcie, dans les années 1882 et 1883, n'ont exercé aucune influence sur les sources, pourtant si nombreuses, de la région.

» Ces renseignements, qui sont pour la plupart puisés à l'*Annuaire officiel des eaux minérales en Espagne*, démontrent surabondamment la nécessité de procéder à une étude approfondie des causes attribuées aux derniers tremblements qui ont semé l'épouvante et la ruine dans nos belles contrées. Ces terribles événements ont fait éprouver des modifications sérieuses qui sont encore à établir après enquête. Des eaux d'Alhama, celles de Malaba (Grenade), celles de Vilo (Malaga) ont notamment souffert. Il y a des sources disparues momentanément, d'autres sources dont la température n'est plus la même, et enfin des sources nouvelles ayant émergé à côté des anciennes mais d'une nature toute différente. Le besoin absolu d'une Commission composée de médecins, directeurs de bains thermaux, s'impose donc; ces messieurs seront à même de préciser les changements survenus à la suite de ces accidents géologiques au point de vue hydro-thermal. Quant à leur origine, nous persistons à l'attribuer à des causes volcaniques agissant sur la croûte terrestre, à l'état de fusion constante des matières composant le centre de la terre et aux effets que l'attraction lunaire, d'une part, et les eaux intérieures de notre planète, d'autre part, ne manquent pas d'exercer sur l'élément volcanique. »

DISCUSSION.

M. le Dr A. POSKIN (Spa, Belgique). — Il est de notoriété ancienne que les tremblements de terre ont une influence sur le régime des eaux minérales. Pour qui connaît le rapport existant entre l'origine des eaux minérales thermales ou saturées de gaz acide carbonique et les terrains volcaniques, le fait n'a pas lieu de surprendre. En effet, le plus grand nombre de sources thermales ou gazeuses se trouvent aux environs des volcans éteints ou en période d'activité, et l'on sait que les trépidations du sol sont particulièrement fréquentes dans ces régions à actions plutoniennes. La cause de ces trépidations fréquentes doit être recherchée dans un travail intérieur semblable à celui qui se produit dans un furoncle où la matière purulente cherche à s'échapper,

soit dans le réveil d'anciennes forces intérieures qui ne sont pas assez complètement engourdies et qui sont encore susceptibles de faibles trépidations. C'est le cas pour les régions géologiques des volcans éteints.

L'action des tremblements de terre sur le régime des eaux minérales s'exerce de plusieurs manières; ou bien elle se fait sentir par une augmentation ou une diminution du débit, ou bien par une augmentation ou par une diminution de la température et du dégagement gazeux. Ces différents faits sont dus à ce que les terrains plutoniens et ceux qui les environnent et d'où émergent les sources minérales sont forcément bouleversés par des cassures, des fissures et des failles, que c'est par celles-ci que les eaux thermales ou minérales arrivent à la surface et qu'il suffit de faibles trépidations pour provoquer dans ces cheminées ascensionnelles des éboulements qui amènent une perturbation dans le régime des sources, en diminuant le débit ou la minéralisation. D'autre part, on sait que les tremblements de terre provoquent souvent de grands dégagements gazeux. Dans les pays à volcans éteints, c'est le gaz acide carbonique, dernier terme de l'activité volcanique, qui se dégage en plus grande abondance à l'époque des tremblements de terre. Sous la poussée énergique du gaz, il se produit parfois comme un ramonage des cheminées ascensionnelles des griffons d'eau minérale et la source devient plus abondante, plus gazeuse et plus minéralisée. Dans les terrains fortement remaniés, la poussée gazeuse peut être assez forte pour désobstruer d'anciennes cheminées ascensionnelles et provoquer l'apparition de nouvelles sources minérales ou thermales.

Il est certain que si l'on groupait tous les faits d'observations concernant le régime des eaux minérales, on aboutirait à expliquer tous les phénomènes dont elles ont été l'objet par une des raisons que nous venons d'exposer.

En ce qui concerne la Belgique, les sources thermales et minérales ont subi l'influence des tremblements de terre à différentes époques, et cette influence s'explique par le voisinage de l'Eifel, région volcanique ancienne dont nos sources dépendent.

Le plus ancien fait dont nous ayons connaissance se rapporte au tremblement de terre de 1692, dont l'influence sur le régime du Pouthon Pierre-le-Grand et de la Géronstère (Spa) fut accusée par des symptômes marquants.

Nous en trouvons la relation dans un ouvrage contemporain, le *Traité des eaux de Spa*, de Nessel, et le souvenir en a été conservé par

une inscription chronogramme gravée en lettres d'or sur la fontaine du Poubon Pierre-le-Grand :

A TERRAE MOTV, LONGE VBERIOR,
NITIDIOR, GVSTVQVE FORTIOR
sCATVRIVIT.

C'est-à-dire : « Depuis le tremblement de terre, cette source a jailli plus abondante, plus limpide et plus savoureuse. »

Et le fait a été constaté à cette époque par des analyses chimiques que l'on trouve dans les nombreux ouvrages contemporains.

L'effet du tremblement de terre de 1692 fut tout autre sur la source de la Géronstère. Cette fontaine, dont les propriétés minérales et gazeuses avaient fait la réputation au point de la faire nommer « l'enragée », disparut tout à coup à son point d'émergence. L'eau minérale vint sourdre une cinquantaine de mètres plus au Nord dans la dépression que la source occupe aujourd'hui.

En 1874, l'Administration voulut procéder à un captage rationnel de la source ; mais cet essai malheureux eut sur la fontaine les inconvénients d'un tremblement de terre. Il en fit disparaître la minéralisation et les vertus médicales ; mais, par un bonheur inespéré, la source reparut à son ancien point d'émergence, où l'on peut la voir, entourée de son ancien encadrement de bois contemporain de l'époque, faisant bouillonner l'eau par son fort dégagement gazeux, en attendant que quelques travaux intelligents la remettent au rang qui lui revient.

Le tremblement de terre de Lisbonne, qui se produisit le 1^{er} novembre 1755, fit sentir ses effets dans toute l'Europe occidentale. La commotion ne fut pas très forte dans notre pays, mais on observa cependant une marée extraordinaire sur le littoral et une grande agitation dans les eaux des rivières, des canaux et des étangs. Rien de particulier ne fut remarqué aux sources minérales de Spa ; par contre, à Chaudfontaine, les eaux thermales acquirent du coup une température plus élevée de plusieurs degrés, température qu'elles ont conservée jusqu'à ce jour.

La dernière secousse éprouvée dans la haute Belgique fut celle qui se produisit dans la nuit du 11 au 12 juin 1883 et se localisa à Spa et aux environs. Elle fut sans influence sur le régime de nos eaux minérales.

L'histoire des tremblements de terre nous apprend que, dans tous les pays, les secousses ont eu des effets semblables sur les sources minérales. Les commotions terrestres de 1750 à 1800, et notamment celle de Lisbonne, agirent sur les sources des Pyrénées. On cite

l'influence sur les sources de Luchon, dont la température augmenta de 40° environ; sur les sources de Bagnères, dont la température baissa de 10°; sur celles de Bourbon-l'Archambault, dont le volume augmenta et dont la température diminua; sur celles d'Aix-les-Bains, qui présentèrent le même phénomène et devinrent lactescentes. Une nouvelle source se fit jour à Nérès; en Allemagne, à Toeplitz, à Carlsbad, on observa des intermittences dans l'écoulement des sources, de même qu'à Vichy (Grande-Grille).

Ces faits d'influence qui se rapportent aux siècles derniers sont confirmés par ceux qui ont été observés de nos jours dans la période de 1840 à 1858.

Les secousses du 19 juillet au 8 août 1854, horizontales (Est-Ouest) et verticales, exercèrent une influence très sensible sur les sources de Bagnères, de Gazost, de Cauterets et de Barèges. Cette influence se fit sentir par un accroissement ou une diminution de température et de sulfuration et même par la disparition presque totale de certaines sources.

L'ensemble des faits observés tend donc à prouver que les tremblements de terre ont sur les sources minérales l'action qui a été décrite plus haut.

Si nous appliquons cette théorie aux faits cités pour la Belgique, l'explication est si plausible qu'elle doit être vraie.

Pour la source du Pôuhon Pierre-le-Grand, dont les propriétés chimiques et médicales furent améliorées par la secousse de 1692, voici l'explication. La source primitive, découverte par Colin Leloup au milieu de la prairie marécageuse où la ville est maintenant bâtie, ne comprenait que quelques-uns des griffons émergents. Une grande partie de ceux-ci sortaient un peu à l'aventure le long du ruisseau du Wayai, parce que la section de la cheminée ascensionnelle principale n'était pas suffisante pour les admettre. La secousse terrestre détermina un grand dégagement gazeux qui ramona la conduite d'amenée du griffon principal et permit aux griffons secondaires d'émerger au même endroit.

Pour la source de la Géronstère, qui fut perdue à son point d'émergence, mais qui reparut plus au Nord, le phénomène s'explique par des éboulements qui comblèrent la cheminée ascensionnelle et forcèrent la source à se créer une nouvelle issue, en un point de moindre résistance. Plus tard, quand de malheureux travaux de captage (1874) eurent fait de nouveau disparaître la source, il se produisit une poussée vers l'ancienne cheminée d'ascension, poussée produite par l'accumu-

lation, en ce point, du gaz et de l'eau, et la source reparut à son premier point d'émergence.

Voilà, à mon avis, l'explication de ces phénomènes, et il est certain que les mêmes explications sont applicables aux faits observés ailleurs.

M. le D^r PINILLA (Madrid) fait observer que les tremblements de terre en Espagne ont eu souvent pour résultat de faire naître d'anciennes sources minérales dans des terrains nouveaux; comme conséquence, les anciens propriétaires lésés n'étaient pas assez protégés par les périmètres de protection. Le docteur Pinilla exprime le désir que cette question des périmètres de protection soit mieux étudiée et réglementée par des lois nouvelles.

M. TIETZE, ingénieur en chef des mines (Autriche), déclare que cette question du périmètre de protection, bien que n'étant pas dans le programme, est pourtant de premier ordre. Il arrive souvent, à cause des mines ou des puits de recherches, que des sources minérales sont coupées à de grandes distances. En Autriche, les autorités compétentes sont consultées sur ce point délicat. A Carlsbad, par exemple, des mines de charbon et de kaolin, situées à une certaine distance des sources, sont réglementées d'une manière toute spéciale à cause des eaux thermales. Cette réglementation devrait même s'étendre aux eaux potables des villes et localités habitées.

M. le D^r LABAT cite, à l'appui de la même thèse, l'histoire des eaux de Kransach.

Les deux sources Richard ont successivement disparu, à la suite de puits creusés pour la houille. D'où procès et indemnités de 550 000 fr. pour le propriétaire des eaux minérales qui, de fait, n'existent plus.

En Angleterre, une source minérale très importante a été coupée à plus de 7 kilomètres par un puits. Donc les périmètres doivent être plus ou moins étendus suivant les circonstances, que seuls les ingénieurs des mines et les géologues sont capables d'apprécier.

La section de géologie, sur la proposition de M. le D^r Girod, à l'unanimité, émet un vœu dans ce sens.

Revenant à la question des tremblements de terre et de leur action sur les eaux minérales, M. le D^r Tardieu fait observer que les derniers tremblements de terre de l'Europe n'ont pas eu grande influence sur les eaux du Mont-Dore. Une seule fois, il y a une trentaine d'années, elles furent troublées pendant quelques jours. Au surplus, trois captages ou puits romains existent encore tels qu'ils étaient sous les Romains, et les eaux servent de nos jours tout comme à ces époques reculées.

ORIGINE ÉOLIENNE DU LÖESS

PAR

CHAS. R. KEYES (1).

Que la formation des dépôts de löess ait toujours été aidée d'une façon appréciable, à une époque quelconque, par le vent, est une opinion qui n'a jamais obtenu beaucoup de croyance dans ce pays-ci. L'hypothèse de l'origine aqueuse a été acceptée presque sans exception pour expliquer les dépôts dans la vallée du Mississipi, malgré les nombreuses et graves difficultés que présente son application générale.

Dans ces dernières années, quelques géologues américains ont commencé à soupçonner que peut-être plus d'un agent est intervenu dans la production du löess; que l'eau est l'agent principal dans certains cas, et le vent dans d'autres; tandis que tous deux sont intéressés dans la formation de certains dépôts, ou bien les deux espèces existent côte à côte.

Les notes qui suivent ont surtout en vue le côté éolien de la question et ne traitent que des dépôts de la vallée du Mississipi. Le löess avoisinant les nappes glaciaires de l'Iowa et d'autres nappes n'est pas pris en considération; mais seulement les dépôts qui recouvrent les rives escarpées ou « bluffs » des grandes rivières de la région; d'où, pour plus de facilité, ils sont désignés par le nom déjà depuis longtemps en usage de *dépôts des « bluffs »*.

La raison principale pour exclure de la présente discussion le löess des anciens fronts glaciaires est qu'il avait indubitablement un rapport

(1) Traduit d'un article de l'*American Journal of Science*, 45^e année, vol. VI, n^o 34, octobre 1898; intitulé : *Eolian origin of Loess*, by CHAS. R. KEYES (pp. 299-304).

très intime avec les agents glaciaires. Une autre raison est que les observations relatées dans le présent travail ont été faites en majeure partie sur les seuls dépôts des bluffs. On pourrait en déduire que nous tâchons de différencier les deux grands dépôts de loess : l'un déposé par l'eau, l'autre transporté par le vent. Mais ce n'est pas le cas. Aucun moyen de distinguer ces deux espèces de loess n'a été formulé jusqu'à présent. Si toutefois l'explication suggérée pour la formation du loess des bluffs était la véritable, la présence chez l'un, depuis la base jusqu'au sommet, de tubulations de limonite, et l'absence ou la présence près du sommet seulement chez l'autre de ces tubulations, jointe à une structure segmentée très caractéristique, pourraient peut-être fournir des criteriums sérieux. La nature des fossiles pourrait aussi fournir une clef pour les distinguer.

L'aire de distribution du loess des bluffs est très caractérisée. Le professeur Chamberlain l'a récemment décrite de la façon suivante : « Le loess est distribué le long des vallées principales. Celles-ci ne comprennent pas seulement les grandes vallées du Missouri et du Mississippi, mais quelques-unes des vallées secondaires, telles que l'Illinois, le Wabash et d'autres. Le loess se trouve tout le long de la vallée du Missouri depuis le Sud du Dakota méridional jusqu'à son embouchure; le long du fleuve Mississippi depuis le Minnesota jusqu'au Sud de l'État du Mississippi méridional; le long de l'Illinois et du Wabash depuis les points de leur sortie du territoire des couches glaciaires les plus récentes jusqu'à leur embouchure. Le long de ces vallées, le loess est le plus épais, le plus grossier et le plus typique dans les bluffs limitant les cours d'eau, et il s'atténue en épaisseur, finesse et nature moins typique à mesure qu'il s'étend plus loin de la rivière. Dans quelques cas, le manteau de loess s'élève jusqu'à la crête de séparation des vallées et se continue avec des dépôts semblables de la vallée adjacente; mais la loi de finesse et de minceur progressives tient bon. Ces rapports sont tels qu'ils créent une forte conviction que les dépôts du loess étaient en connexion de quelque façon vitale avec les grands cours d'eau de la région.

Le loess des bluffs ne doit pas être confondu avec d'autres limons fins qu'on trouve mélangés avec le drift glaciaire présent dans beaucoup de localités et qui sont appelés loess par certains auteurs. Le loess des bluffs forme le long du Missouri une bande longue de 15 à 20 milles. Depuis l'embouchure de cette rivière jusqu'à la limite de l'Iowa au moins, les dépôts paraissent être beaucoup plus abondants et la bande paraît beaucoup plus large sur la rive gauche que sur la rive

droite de la rivière. La même chose paraît vraie pour le fleuve Mississippi, du moins au Sud de Saint-Louis. La grande épaisseur caractéristique et la grossièreté des éléments sur les bords du fleuve ainsi que le changement progressif du dépôt en plus grande finesse et en épaisseur moindre sont partout apparents à mesure qu'on s'éloigne du fleuve.

La grande rivière du Missouri, dans son parcours à travers l'État de ce nom, passe de la région couverte de drift à celle qui en est dépourvue, et passe et repasse d'une région à l'autre. La bande du lœss des bluffs repose parfois sur des zones dépourvues de drift, parfois sur ce qui paraît être des limons plus anciens et d'autres fois sur le drift et sur des sables ayant une origine glaciaire. Il paraît recouvrir les sommets des bluffs, quelles que soient les formations sous-jacentes.

La rivière du Missouri est depuis longtemps reconnue comme étant un cours d'eau fortement chargée de limon. De vastes bancs de sable existent le long de son parcours; souvent ils ont 1 mille et plus de largeur et se continuent soit d'un côté, soit de l'autre, tout le long de la rivière, depuis le Dakota jusqu'à son embouchure. Ces bancs sont à découvert pendant une période de deux ou trois mois au printemps. Pendant ce temps et immédiatement après les inondations de juin, ils constituent d'immenses bancs de boue qui sèchent très vite.

Pendant certaines périodes de l'année, caractérisées par de grands vents, de grandes tempêtes de poussière sévissent sur le Missouri et la partie moyenne du Mississippi. De puissants courants aériens balayent la vallée en long ou en large, soulèvent les légères particules de limon des bancs de la rivière, les font tourbillonner et les roulent vers le haut en épais nuages jaunes hors de la vallée, au-dessus des bluffs élevés et dans le pays ouvert qui est au delà. Ces lourds nuages de poussière s'élèvent haut dans les airs. A une vingtaine de milles et plus de la rivière, son parcours est marqué par le sombre manteau suspendu au-dessus.

Ces nuages de poussière deviennent souvent presque intolérables pour les habitants de la région. La poussière est partout. Elle se tamise à travers les fenêtres et les portes fermées des maisons, recouvrant tout ce qui se trouve à l'intérieur. Au dehors, tout est rendu jaune par une poudre jaune impalpablement fine. Hommes et bêtes souffrent tant que dure la tempête.

Les côtés Nord et Est de la rivière souffrent plus et plus souvent que les côtés Sud et Ouest, à cause des vents dominants qui viennent du Sud-Ouest pendant le printemps et l'été quand les boues de vase

sont à nu et sèches. Les vents du Nord et du Nord-Ouest sont au contraire plus fréquents en hiver quand le sol est gelé et recouvert de neige.

La durée de la tempête de poussière varie. Elle peut ne durer qu'un seul jour ou elle peut se prolonger pendant trois à quatre jours. Le nombre de jours en une année pendant lesquels les nuages de poussière sont chassés avec plus ou moins de violence s'élève à environ trente. Pendant les cinq sixièmes de cette période, le vent souffle du Sud et de l'Ouest.

Les observations consignées dans le présent travail ont été faites principalement à Jefferson City, pendant les années 1895 à 1897. Les mesures ont été faites au capitol de l'État, situé au bord d'une haute falaise qui s'élève des côtés de la rivière. Les nuages de poussière se détachent ainsi directement de la plaine inondable. De nombreuses notes, mais non accompagnées de mesures exactes, furent prises à d'autres points le long de Missouri, tels que Omaha, Saint-Joseph, Leavenworth, Kansas City, Saint-Louis et à d'autres endroits situés sur le Mississipi.

La quantité de poussière enlevée de la vallée, près de la capitale de Missouri, et déposée au haut des bluffs, fut, dans les cas spécialement annotés, à peu près un centième de pouce par jour. Un livre ouvert, placé dans un coin bien abrité, fut tellement recouvert de poussière en quelques heures qu'on ne pouvait distinguer l'impression. Pour une période de vingt jours, ceci indiquerait un dépôt d'à peu près un quart de pouce par an; ce qui n'est probablement pas loin de la moyenne pour la bande la plus rapprochée de la rivière du côté Nord; tandis que du côté Sud du cours d'eau, la précipitation annuelle serait beaucoup moindre.

La quantité déposée chaque jour à un endroit quelconque dépend dans une large mesure de la direction du vent par rapport à celle de la vallée du cours d'eau; bien moins de poussière de limon est transportée hors de la vallée quand la direction du vent est en travers de celle de la vallée que lorsque les deux directions forment un angle. Dans ce cas, lorsque les plages de limon émergées sont exposées au plein balayage d'une forte brise, la poussière s'élève haut dans l'air et est transportée loin à l'intérieur des terres. Les observations qui ont été annotées ont été faites surtout à un point où le vent pouvait balayer sur une longueur d'à peu près 10 milles. La quantité transportée journalièrement serait, par conséquent, quelque peu en excès de celle pour le cours d'eau tout entier. Un dixième de pouce au lieu d'un quart

serait peut-être plus correct pour la déposition annuelle moyenne. Saint-Joseph, Kansas City, Glasgow et Saint-Charles devraient recevoir des dépôts de lœss exceptionnellement abondants.

Il y a un autre facteur qui doit être pris en considération pour évaluer la déposition du lœss. Le lœss ne se conforme pas aux lois ordinaires de l'érosion. Tandis que les dépôts sont assujettis à la dégradation et à l'action de l'eau courante, ni l'un ni l'autre de ces agents ne sont pour celui-ci aussi destructeurs qu'ils le sont pour la plupart des autres matériaux meubles. Le lœss est poreux et absorbe comme une éponge la plus grande partie des eaux pluviales. Ce ne sont que les plus fortes averses qui produisent une érosion appréciable. Sa capacité pour résister à la dénudation et à l'érosion est bien démontrée par les parois perpendiculaires des tranchées des routes qui y ont été faites, sur lesquelles les traces des pioches et des pelles restent visibles pendant plusieurs années.

Les districts du lœss paraissent être des zones d'une fertilité exceptionnelle. Les plantes fleurissent d'une façon luxuriante, même lorsque les régions avoisinantes non recouvertes par le dépôt ne supportent qu'une maigre végétation. La porosité spéciale du lœss recueille le maximum de la quantité d'eau, la retient et la recède de nouveau graduellement pendant la saison sèche. La bande de lœss est d'une humidité exceptionnelle, et il y a toujours à l'intérieur de ses limites une abondance d'humidité pour la croissance des plantes.

Leurs racines pénètrent le lœss à de grandes profondeurs, et c'est là peut-être la cause principale du *clivage vertical* qui est si marqué dans beaucoup de ces dépôts. Les racines, au lieu de s'épanouir à quelques pouces sous la surface, comme dans la plupart des sols, paraissent pénétrer directement en bas dans le lœss et bien plus profondément que ce n'est généralement le cas ailleurs. Après leur destruction, l'enveloppe extérieure de liège des radicules dure bien plus longtemps que les autres parties. Lorsque la partie intérieure disparaît, le tube extérieur finit par céder, laissant une bande aplatie ou bien un filament rubané qui résiste longtemps à la décomposition; finalement, il ne reste que des particules minérales insolubles. Si l'on pouvait démontrer que le clivage règne depuis le bas jusqu'au sommet de certains dépôts et seulement au sommet d'autres, on obtiendrait un critérium pour distinguer les dépôts éoliens de ceux formés par les eaux.

L'épaisse végétation protège bien le lœss des effets destructeurs du vent et de l'eau. Une fois déposées, les particules de limon ne sont déplacées qu'avec grande difficulté. La poussière de limon entraînée

par le vent vient frapper l'épaisse végétation et subit la même action que dans l'eau quand le courant est arrêté. Les particules viennent se déposer autour des racines et édifient graduellement le sol, et chaque année la végétation croît à un niveau un peu plus élevé que celle qui l'a précédée.

Un trait caractéristique des dépôts du loess sont ces petites masses concrétionnées cylindriques qui sont généralement appelées tubulations du loess. Parfois elles sont calcaires, parfois ferrugineuses. On ne paraît pas s'être occupé de leur origine. Au fur et à mesure que les racines commencent à se décomposer, elles accumulent autour d'elles des enveloppes cristallines de pyrite de fer, qui finissent par former des petits tubes d'un diamètre variant d'un huitième à un quart de pouce sur plusieurs pouces de longueur. La pyrite se change bientôt en limonite. Le long du Missouri, on peut discerner tous les stades de cette formation de tubulation, depuis la radicelle en décomposition se revêtant d'une mince couche de pyrite, à travers l'agrégat cristallin de pyrite, jusqu'au cylindre de pyrite limonitique. La pyrite ne se forme pas autour de toutes les racines. On ne sait pas si la pyrite se dépose sur les racines de plantes spéciales. Le fait que les tubulations sont fort abondantes en certains endroits et clairement semées ou tout à fait absentes en d'autres, laisse supposer que la nature de la plante a quelque chose à faire avec leur présence.

Comme moyen possible de distinguer le loess déposé par les eaux de celui formé par le vent, les tubulations peuvent devenir un critérium important. Si elles se trouvent à tous les niveaux dans le dépôt, cela indiquerait qu'il s'est accumulé parmi des pousses végétales, tandis que si les tubulations ne se trouvent qu'au sommet, il serait admissible que la végétation n'a pas recouvert chaque couche de loess successivement, mais seulement la partie supérieure, comme à présent.

L'action chimique d'où résulte l'accumulation de pyrites de fer autour des racines décomposées des plantes dans le loess est sans doute analogue à la formation des principaux sulfures de plomb, de zinc et de fer de la même région du Missouri du Sud. C'est une action comparativement rapide dans des conditions favorables; différentes rapidités de dépositions prévalent avec les différents minerais. Une dizaine d'années et même moins que cela est probablement amplement suffisant pour l'accumulation de pyrite de fer sur une épaisseur d'un quart de pouce. Cette action est, selon toute probabilité, encore en opération à l'époque actuelle, et la déposition des pyrites dans la tubulation aussi bien que celle du zinc et du plomb dans les fentes des

rochers procède aujourd'hui aussi rapidement qu'à aucune époque dans le passé.

Les fossiles du loess n'ont jamais reçu l'attention critique qu'ils méritent. Une prise en considération soigneuse de ceux-ci promet des résultats très fructueux. Leur signification réelle et leur utilité probable comme moyen de distinguer les dépôts du loess ayant des origines différentes ne peuvent qu'être mentionnées ici. Proportionnellement à la grande quantité d'études consacrées à l'étude du loess par de nombreuses personnes, c'est un fait remarquable que les fossiles ont reçu si peu d'attention. Le peu d'attention spéciale qu'ils ont reçue a donné lieu à des conclusions contradictoires, et celles-ci sont plutôt biologiques que géologiques. R.-E. Call et B. Shemik ont tous deux beaucoup collectionné les fossiles du loess. Mais les conclusions auxquelles ils sont tous deux arrivés sont diamétralement opposées. L'un admet que les restes organiques, lorsqu'ils sont comparés avec les mêmes espèces vivant actuellement dans la même région, présentent un appauvrissement et conclut que le climat était beaucoup plus rigoureux pendant l'époque glaciaire qu'à présent. L'autre écrivain, après avoir examiné une bien plus grande quantité de matériaux provenant d'une aire beaucoup plus grande, démontre que les fossiles de loess non seulement ne sont pas plus petits de taille mais que s'ils diffèrent en quoi que ce soit, ils sont légèrement plus grands que les individus vivant actuellement.

On attribue à une cinquantaine d'espèces les vestiges d'animaux trouvés dans les formations du loess de la vallée supérieure du Mississipi. Parmi ceux-ci, il y a plusieurs vertébrés. On ne sait si ces derniers appartiennent réellement au loess ou s'ils doivent être considérés comme ayant été incorporés dans cette formation par le glissement et le ruissellement superficiels du dépôt.

Les coquilles de mollusques forment la grande masse des fossiles du loess. A part peut-être une demi-douzaine d'exceptions isolées, aucune de ces espèces ne sont des bivalves. La grande majorité sont des formes terrestres, jointes à un très petit nombre d'espèces aquatiques, qui pourtant habitent surtout de petites mares d'eau temporaires. Dans le loess des bluffs, plus des neuf dixièmes du nombre total des individus appartiennent à des espèces qui ne se rencontrent que dans des situations exceptionnellement humides. Ce sont ces espèces qui se trouvent aujourd'hui avec le plus d'abondance dans les zones du loess. Les espèces dont l'habitat préféré n'est pas excessivement humide ne se rencontrent pas abondamment dans le loess des bluffs, quoiqu'elles

abondent dans les régions limitant les bandes de lœss. Ces fossiles de lœss sont probablement les formes qui ont vécu parmi les plantes de ces zones. Lorsque les animaux mouraient, leurs coquilles tombaient simplement par terre et étaient bientôt recouvertes.

D'un autre côté, il se trouve dans le lœss des fronts glaciaires des coquilles de mollusques qui n'habitent pas actuellement la région. Tels sont : *Helicina occulta* Say, *Patula strigosa* Gould, espèces boréales du genre Pupa et d'autres formes du Nord. Les fossiles de lœss devraient être étudiés en sus de leur utilisation possible comme moyen de distinguer entre le dépôt du lœss ayant des origines différentes.

La présence de restes de racines verticales et de tubulations de limonite depuis la base jusqu'au haut du lœss des bluffs, la rigueur de la végétation qui recouvre les bandes de lœss, les tempêtes de poussière sur les plus grands cours d'eau chargés de limon, les rapports spéciaux existant entre les vents dominants et la distribution des dépôts de lœss, indiquent tous des sources fécondes de recherches concernant un des problèmes des plus difficiles à résoudre de la géologie du Pléistocène. On obtiendrait ainsi un moyen possible de distinguer des dépôts lithologiquement semblables qui ont sans doute été formés par des agents bien différents dans des conditions bien distinctes. La déduction à en tirer est que les actions éoliennes ont été à l'œuvre sur certains dépôts de la vallée du Mississippi d'une façon et sur une étendue qui jusqu'à présent ont été peu appréciés. (Trad. KESTENS.)



DE

L'ORIGINE DE L'ACIDE CARBONIQUE

ET DES PRODUITS CARBURÉS

dans les Fumerolles et les eaux minérales

PAR

M. DE LAUNAY (1)

Professeur à l'École des Mines (Paris).

Quand on examine la carte d'ensemble d'un pays, où les sources minérales ont été caractérisées chacune par un signe spécial correspondant à leur nature chimique, on voit aussitôt apparaître un fait général qui, dans le détail, peut échapper parfois à des observations trop localisées : c'est la relation manifeste existante entre la nature des sources et la constitution géologique de la région correspondante.

Ainsi les sources fortement chargées de chlorure de sodium ou de sulfate de chaux seront toutes, dans nos pays, au voisinage des bandes triasiques ou, plus rarement, tertiaires, qui ont le privilège d'y renfermer les dépôts de sel et de gypse ; les sources chaudes sulfurées sodiques sont, en France, concentrées dans les Pyrénées, c'est-à-dire le long d'une chaîne de plissement très accentuée, qui favorise la circulation profonde des eaux souterraines, donc leur forte thermalité, et qui, en outre, par la pyrite abondante dans les terrains anciens, peut fournir le soufre destiné à se combiner au sodium des roches cristallines ; les sources, également très chaudes, mais fort peu minéralisées (sources indifférentes, thermes alpestres, Wildbæder), se présentent surtout le long de l'autre grande chaîne montagneuse des Alpes, dans les parties de cette chaîne où les terrains traversés par les eaux ne renferment que peu d'éléments solubles, etc. ; mais c'est principalement pour les

(1) Extrait du *Compte rendu de la quatrième session du Congrès international d'Hydrologie, de Climatologie et de Géologie, à Clermont-Ferrand. Section de géologie, pp. 471-476. Discussion, p. 476 (paru en 1898).*

sources carbonatées que l'association dont nous parlons est manifeste : celles-ci se rencontrent, en effet, presque exclusivement dans les régions volcaniques, comme l'Auvergne et la Bohême. Cette seule remarque suffirait, à notre avis, pour conclure à une origine première volcanique de l'acide carbonique dans la plupart des cas où des sources minérales en renferment.

Il est toutefois encore un autre phénomène qui intervient parfois dans la production de l'acide carbonique des eaux et qui peut déterminer, dans des régions absolument exemptes d'activité éruptive récente, quelques sources carbonatées isolées : c'est la décomposition du carbonate de chaux. Nous commencerons par dire un mot de cette réaction, à laquelle certains géologues ont voulu attribuer un rôle universel, même pour les sources minérales les plus éloignées de tous terrains calcaires, afin de n'avoir plus à y revenir.

Il peut arriver, en effet, que des eaux, déjà chargées pour une cause quelconque de traces d'acides, par exemple d'acide sulfurique, agissent sur des calcaires pour mettre en liberté une certaine quantité d'acide carbonique; d'autre part, l'eau superficielle, à la circulation souterraine de laquelle nous attribuons les sources minérales, entraîne, au moment de son infiltration, une certaine quantité d'acide carbonique de l'air, et le simple examen des phénomènes bien connus qui se produisent dans les grottes montre comment la dissolution du carbonate de chaux à l'état de bicarbonate, puis la remise en liberté de l'acide carbonique avec précipitation du carbonate peuvent en résulter.

Néanmoins, quand on examine une région à sources carbonatées abondantes comme l'Auvergne, on voit aussitôt qu'il faut faire intervenir d'autres phénomènes.

Là, en effet, la grande majorité des sources carbonatées se trouvent en plein massif cristallin sans trace de roche calcaire au voisinage et, au contraire, dans un pays où les preuves d'une activité volcanique récente sont innombrables. De tous les côtés, dans l'Auvergne, le sol apparaît imprégné comme une éponge de masses d'acide carbonique qui, en raison de leur forte densité, restent dans les cavités et les pores des terrains jusqu'au moment où une eau jaillissante vient les entraîner au dehors.

Cet acide carbonique, on en constate la présence, souvent d'une façon très fâcheuse, lorsque l'on fait, à travers le rocher, des galeries de mine, et chacun connaît le cas des mines de plomb de Pontgibaud, où les travaux se remplissent souvent d'acide carbonique sous le basalte; on en retrouve dans des grottes analogues à la fameuse grotte du chien de Naples, à Royat, etc.; et surtout on peut dire que, dans la zone des

volcans d'Auvergne, le long d'une vallée quelconque, il suffit de faire un forage pour avoir de très grandes chances de rencontrer de l'eau plus ou moins chargée d'acide carbonique. A Saint-Nectaire, le sol granitique donne, de tous côtés, de gros bouillons d'acide carbonique, etc.

La même association de sources à acide carbonique abondant avec le volcanisme est également manifeste dans d'autres pays : en Bohême, à Naples, au Caucase, etc.; et, si l'on ajoute que l'existence de dégagements carboniques sous forme de moffettes à la fin des éruptions est un fait incontestable, il ne nous paraît pas douteux que l'acide carbonique, dans la plupart des sources minérales qui en contiennent, provienne de l'activité éruptive.

On peut seulement se demander comment cette provision d'acide carbonique, contenue dans les terrains relativement superficiels que traversent les eaux souterraines, ne s'épuise pas assez rapidement, et l'on est conduit à penser qu'il peut y avoir persistance de dégagements internes pendant des périodes d'années très longues après la fin des éruptions, ce qui concorde d'ailleurs avec la chaleur plus grande observée dans les couches profondes du sol en ces mêmes points et avec l'observation que chacun peut faire sur une coulée de lave au jour continuant à dégager très longtemps de l'acide carbonique.

Resterait à examiner où l'activité volcanique elle-même a puisé cet acide carbonique : nous entrons dans une question d'autant plus discutée que les éléments sérieux d'appréciation font presque complètement défaut, et que, par suite, chacun se laisse surtout entraîner, en la traitant, par une sorte de goût personnel et de sentiment.

Quand nous parlerons incidemment du volcanisme à propos d'une autre question, là nous dirons que, pour nous, le fait essentiel en est la pénétration d'eau superficielle jusqu'à des roches ignées internes, au contact desquelles elle amène des explosions et que les grands dégagements de vapeur d'eau qui sont le trait essentiel d'une éruption nous semblent être, avant tout, le retour au jour violent de cette eau infiltrée profondément, qui ailleurs reparait simplement à l'état de sources thermales.

Dans cette hypothèse, rien n'empêche de voir, dans une partie au moins de l'acide carbonique dégagé, un produit de la décomposition des carbonates que contenaient les eaux d'infiltration (surtout dans le cas de l'eau de mer) et, si l'on objecte que l'eau a dû distiller et, par suite, perdre ses sels minéraux en même temps qu'elle se volatilisait en profondeur, il n'est pas difficile d'imaginer que les éléments ainsi remis en liberté dans ces couches souterraines aient été rencontrés et ressaisis par d'autres eaux accomplissant un circuit un peu différent.

Cette théorie est de nature à satisfaire ceux pour lesquels tous les

produits carburés doivent nécessairement avoir passé, à un instant quelconque, par la forme organique et se bornent à accomplir une sorte de cycle, dont l'acide carbonique, produit par la décomposition des organismes et refixé par les plantes, est une des étapes.

Nous sommes très porté à croire que le carbone arrivant jusqu'à nous, soit sous forme d'acide carbonique, soit à l'état d'hydrocarbure, peut et doit avoir, en outre, une autre origine et que l'activité interne contribue à apporter constamment aux couches superficielles de nouvelles provisions de cet élément.

Pour nous, les magmas ignés internes, dont la scorification produit la première forme des roches, ensuite remaniées et métamorphosées par des actions diverses, sont, avant tout, des bains de métaux carburés, des bains réducteurs; nous considérons le carbone comme un des éléments essentiels dans ces laccolithes, plus ou moins profondément situés dans l'écorce qui, mis en contact avec l'eau superficielle, lui empruntent son oxygène pour former avec les métaux tous les oxydes constituant notre croûte terrestre et fixent l'hydrogène sur le carbone à l'état d'hydrocarbures, souvent brûlés ensuite sous forme d'acide carbonique.

Il suffit, en effet, — et ceci nous amène à répondre à une autre partie de la question : origine des produits carburés, — d'analyser des gaz émanés d'une action éruptive quand ils se sont trouvés à l'abri de l'influence de l'air, par exemple dans un dégagement sous-marin, pour y reconnaître les carbures d'hydrogène et l'hydrogène libre; les hydrocarbures se retrouvent très abondamment associés, par un rapprochement très fréquent et essentiel à noter, avec le chlorure de sodium dans les dégagements de certaines salses des Apennins qui, d'après MM. Silvestri et Fouqué, ont précédé nettement de véritables éruptions volcaniques. Si, en général, dans les éruptions au grand jour, ces éléments, qui doivent être les principes initiaux et profonds, nous échappent, c'est qu'ils ont été immédiatement transformés en acide carbonique et eau par leur contact avec l'air.

Nous sommes porté à croire que l'origine première de l'acide carbonique existant dans l'atmosphère est là, dans la combinaison du carbone interne et de l'oxygène externe, comme l'eau, qui couvre la plus grande partie de notre écorce, a été produite par l'hydrogène (assimilable aux autres métaux du noyau interne) et l'oxygène de l'atmosphère. C'est dans cet acide carbonique de l'air que les organismes vivants ont puisé les éléments carburés nécessaires à leur existence, et c'est à partir de là que le carbone a commencé à parcourir son cycle très complexe; mais nous ne croyons pas que la provision de carbone, qui devait être

nécessaire à la vie ait été, une fois pour toutes, à l'origine des temps, laissée par la consolidation de l'écorce terrestre dans la partie externe du globe, et il nous semble plutôt qu'elle doit continuer à s'enrichir par des émanations profondes. Il y a, croyons-nous, dans la distinction trop absolue qu'on fait entre les éléments chimiques ayant dû nécessairement passer par la vie et les autres, un reste de théories anciennes et de différences jadis admises entre la chimie organique et la chimie inorganique qui n'ont plus aucune raison d'être.

En résumé, là comme en bien d'autres questions scientifiques, la vérité paraît devoir être cherchée dans la conciliation de deux thèses semblant au premier abord inconciliable, et le carbone, à l'état d'acide carbonique et d'hydrocarbure, dans les sources minérales ou les fumerolles, résulte, à notre avis, partie d'un apport direct de la profondeur, partie d'une remise en mouvement de carbone déjà existant à la superficie et emprunté, soit aux carbonates des eaux ou des terrains, soit au dépôts de matières organisées, végétales ou animales, qui contribuent, dans une proportion plus ou moins forte, à la formation des huiles minérales, bitumes et pétroles.

DISCUSSION.

Plusieurs orateurs prennent part à la discussion sur cette question.

M. DEMARTY démontre, par l'exemple des sources minérales froides de la vallée de Chevalard, à la Gorsse et à Neuville, que l'origine superficielle de l'acide carbonique ne saurait être douteuse. Les sources minérales de la vallée du Chevalard varient, comme débit, suivant les pluies, et c'est très probablement en passant dans l'argile noire de cette région, que les eaux pluviales se chargent d'acide carbonique.

M. le D^r TARDIEU appuie la manière de voir de M. Demarty.

La Société se rallie à la conclusion du rapport de M. de Launay, ainsi conçue :

« En résumé, là comme en bien d'autres questions scientifiques, la vérité paraît devoir être cherchée dans la conciliation de deux thèses semblant au premier abord inconciliables, et le carbone, à l'état d'acide carbonique et d'hydrocarbures, dans les sources minérales et les fumerolles, résulte, partie d'un apport direct de la profondeur, partie d'une remise en mouvement de carbone déjà existant à la superficie et emprunté aux carbonates des terrains ou au dépôt des matières organisées, qui contribuent, dans une proportion plus ou moins forte, à la formation des huiles minérales, bitumes et pétroles. »