

LA HOUILLE BLANCHE

Revue générale des Forces Hydro-Electriques
et de leurs applications

7^e Année. — Octobre 1908. — N^o 10.

*La Houille noire a fait l'Industrie moderne;
la Houille blanche la transformera.*

SUR L'ÉTAT DE LA SCIENCE SPÉLÉOLOGIQUE au commencement du XX^e siècle.

La « houille blanche » et la dessication de l'écorce terrestre.

A propos d'un ouvrage récent^()*

« Le livre de la nature est un roman d'une si passionnante lecture, que le plaisir d'en déchiffrer quelques pages suffit à récompenser de la peine que ce déchiffrement demande ».

(GUSTAVE LE BON, *L'Evolution de la Matière*).

On donne le nom de « Spéléologie » à la science qui a pour objet immédiat l'étude des cavernes, c'est-à-dire des excavations souterraines, et, d'une façon plus large, de toutes les portions du sous-sol terrestre accessibles à l'observation. Considérée pendant longtemps au seul point de vue du tourisme et des curiosités naturelles qu'elle met au jour, elle a été définitivement créée, il y a 25 ans à peine, par E.-A. Martel, qui lui a consacré depuis toute sa science, toute son activité et, il faut le dire à son honneur, toute sa courageuse audace. L'exploration d'une caverne n'est pas, en effet, une simple promenade géologique à travers les couches fissurées de l'écorce terrestre : si elle revêt tous les caractères d'une excursion, par contre, elle renferme bien des imprévues, cache bien des périls (fig. 1) et ce n'est pas par unités, mais par centaines qu'il faudrait compter les dangers rencontrés au cours de ces intrépides recherches.

La caverne, c'est le gouffre sans pitié, c'est l'abîme sans fond avec ses plus cruelles incertitudes : ici, un air irrespirable ou malsain qu'il faut à tout prix pénétrer pour aller plus en avant ; là, une source d'eau chaude jaillissant tout à coup d'une fissure ; plus loin, une rivière tombant en chute au travers de deux chambres et qu'il va falloir traverser ; enfin, partout les ténèbres, mais, il convient d'ajouter, ténèbres dont, au retour, le savant aura fait jaillir la lumière vers les horizons nouveaux qu'il ouvre pour toujours à la Science.

Depuis les travaux de E.-A. Martel, la Spéléologie a pris un caractère rigoureusement scientifique : comme toute science, elle a aujourd'hui ses principes, ses lois et ses méthodes. Loin de se contenter, comme on pourrait le croire, de faire connaître le nombre des grottes actuellement explorées et d'en dépeindre la configuration, elle a, par la nature même des secrets qu'elle révèle à l'observation et par l'importance des faits qu'elle enregistre, un caractère plus général et plus ambitieux.

Basée uniquement sur des faits constatés et sans cesse contrôlables, elle contribue à l'élargissement des sciences connexes et les enrichit de multiples données dont il sera ensuite facile de faire découler des conclusions du plus haut intérêt. Qualifiée parfois de « géographie souterraine », elle nous révèle aussi des faits de première importance sur l'évolution de l'écorce terrestre et la destinée du globe. Enfin, par la multiplicité des objets qu'elle embrasse, elle apporte une argumentation nouvelle à la géologie, à la géographie physique, à l'hydrologie, à la zoologie, à la botanique.

..

Une caverne ne doit pas être considérée simplement comme une excavation souterraine fermée sur elle-même et tapissée de stalactites et de stalagmites scintillants : la plupart des grottes renferment, à côté de beautés naturelles toutes particulières qui charment le naturaliste (fig. 2), des éléments destinés à compléter et souvent à modifier les connaissances acquises sur l'évolution des êtres et de la matière vivante. Les travaux de M. Martel et ceux entrepris depuis sous sa direction et son inspiration par M. Viré ont en effet montré, dans ces centres obscurs, la formation d'espèces nouvelles, admirablement adaptées à l'élément au sein duquel elles vivent et dont les changements progressifs servent de confirmation à la théorie du *phénomène de l'adaptation au milieu*.

Certains animaux, introduits dans les cavernes obscures, et privés par suite de lumière, deviennent aveugles : leur appareil de vision, désormais accessoire sinon inutile, s'atrophie et finit par disparaître (rat des cavernes américaines par exemple). Chez certains autres, au contraire, tel organe, trouvant dans le milieu ambiant tout ce qui lui faut pour vivre et se développer, s'accroît dans des proportions souvent colossales. A la faveur de l'obscurité qu'ils ne dédaignent nullement, leurs appareils de mouvement (pattes, ailes) prennent de grandes dimensions ; tel est le cas, en particulier, du *Campodea Staphylinus* chez lequel la cécité est compensée par un développement extraordinaire du toucher. Ses antennes sont prodigieusement allongées et recouvertes de poils tactiles ; de cette façon, l'animal peut prendre connaissance à distance des objets, proies, dangers qui vont à sa rencontre ; enfin la longueur de ses membres lui permet de parcourir très vite de grands espaces. Les organes de l'audition et de l'olfaction y sont pareillement très développés. Tel est le cas encore de certaines chauves-souris de grande taille que nous avons nous-même observées dans certaines cavernes (grottes de Pouade, dans les Pyrénées-Orientales). Dans les milieux sombres où ils sont très nombreux et qu'ils recherchent de préférence précisément parce qu'ils y trouvent l'élément de leur développement, ces animaux cavernicoles atteignent des proportions

(*) *L'Evolution Souterraine*, par E.-A. MARTEL. Voir plus loin à la Bibliographie.

gigantesques que nous ne leur voyons jamais posséder dans les espaces pénétrés par la lumière.

Ainsi donc, les organes des êtres vivants, quels qu'ils soient et quelle que soit aussi leur origine, sont transformables. A l'inverse de ce qu'on a cru pendant longtemps, ils se modifient, bien au contraire, dans leur forme, leur texture, leurs dimensions, leurs facultés, suivant les agents extérieurs qui agissent sur eux pour ou contre leur volonté ou leur instinct. Si pour l'être humain, nous ne pouvons



FIG. 1.
Descente verticale dans une caverne.
(Cliché de E.-A. Martel)

admettre avec certitude un pareil changement avec le temps, c'est parce que le milieu dans lequel nous vivons est lui-même immuable.

Dans l'espace de plusieurs milliers d'années, l'air atmosphérique ne change pas sensiblement de composition et le rapport de ses éléments constituants garde toujours à peu près la même moyenne. Mais ne croyons pas que c'est le milieu qui cherche à se conformer aux désirs ou aux besoins naturels de l'être qu'il abrite : ce n'est pas l'air que nous respirons, composé d'oxygène et d'azote, qui s'est combiné dans de telles proportions que nous n'en soyons jamais incommodés ; ne croyons pas de même que ces proportions correspondent juste à ce qui nous est nécessaire pour conserver la vie et développer nos organes. Non, c'est l'organe lui-même qui, jeté peut-être au début dans une atmosphère à peine suffisante pour lui permettre de se développer, s'est peu à peu modifié et conformé au milieu.

Rien ne prouve que comme conséquence d'une révolution géologique possible, quoique agissant lentement et amenant consécutivement un changement appréciable dans la composition de l'atmosphère, nos organes ne puissent subsister et l'être humain continuer son évolution dans un milieu différent de celui qui avait donné le premier élan au germe créé.

Nous irons même jusqu'à formuler l'hypothèse suivante : supposons qu'au lieu d'air à base d'oxygène et d'azote, l'atmosphère se transforme en azote pur, azote resté seul par une diminution progressive de l'oxygène absorbé par des réactions quelconques. Que deviendra alors l'être désormais condamné à vivre et à évoluer dans un tel milieu ? De l'azote pur, diront les chimistes et les

physiciens ! Mais aucun être ne saurait y vivre même dans mille ans et n'est-il pas, au contraire, le gaz impropre à la vie avant tout autre ! N'est-il pas dans l'atmosphère juste pour tempérer l'action de l'oxygène, gaz beaucoup trop actif pour suffire à lui seul au sain développement de nos organes ?

A cela nous répondrons qu'évidemment si, tout à coup, nous nous trouvions transportés dans une atmosphère d'azote pur, nous y disparaîtrions rapidement, le sang n'ayant plus la quantité d'oxygène nécessaire au maintien de la vie ; mais en serait-il de même si cette transformation du milieu, au lieu de s'effectuer d'un seul trait comme un coup de foudre, se faisait dans l'espace de 20.000 ou 30.000 ans, durée fort courte pour la vie du globe (1) et si l'air, au lieu de se résoudre instantanément à l'état de gaz inerte, perdait lentement son oxygène, à travers plusieurs milliers de générations pour ne plus conserver finalement que son azote ? Cette fois, tout le monde admettra un chan-

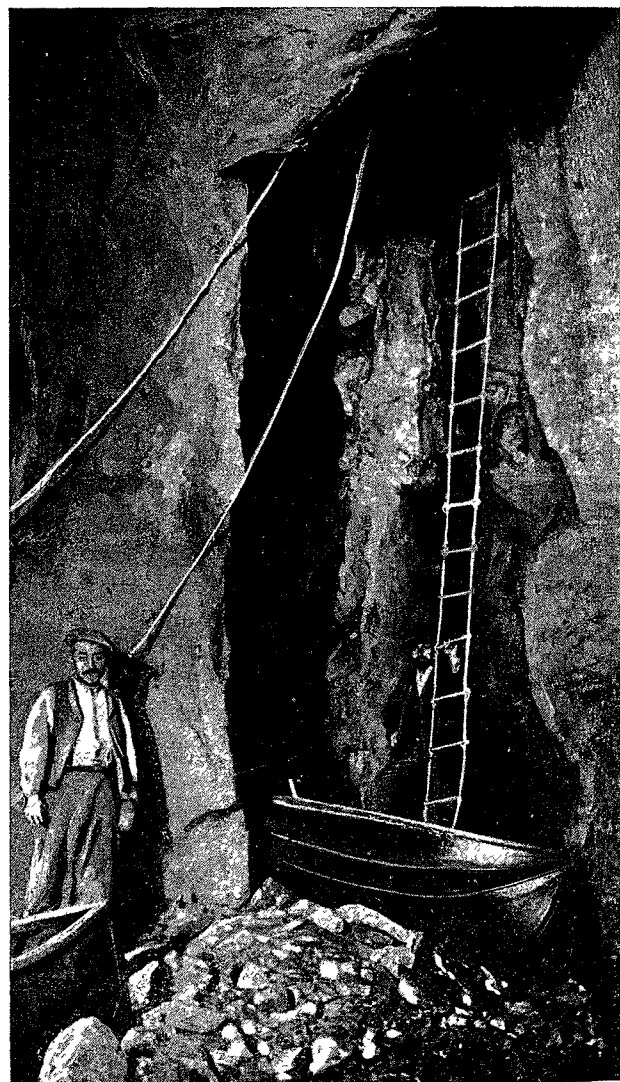


FIG. 2.
Exploration d'une rivière souterraine dans un abîme.
(Cliché de E.-A. Martel)

gement, une modification semblable dans la vie et le mode d'existence des êtres condamnés à vivre dans une atmosphère complètement différente de celle où vivaient leurs ancêtres.

Et ne voyons-nous pas, près de nous, des confirmations

(1) D'après lord Kelvin, l'âge de la terre serait compris entre 20 et 40 millions d'années ; d'après Lapparent, il serait sage d'admettre des limites plus étendues, soit de 20 à 100 millions d'années.

frappantes de cette hypothèse ? Regardons ces cîmes neigeuses et étudions les êtres qui les parcourent. Alors qu'à 1.000 mètres à peine d'altitude, des hommes respirent difficilement et éprouvent un malaise (peu défini du reste), des populations entières vivent et progressent dans des régions situées à plus de 5.000 mètres. C'est que, de génération en génération, la race s'est habituée, lentement mais progressivement, à ces atmosphères spéciales où la raréfaction ne s'oppose en rien à leur développement. Sans doute leur nature physique est légèrement différente de la nôtre comme fonctionnement d'organes et comme évolution, il y aurait là de beaux sujets d'études pour les physiologistes.

La matière vivante est donc transformable. Une fois le germe créé, celui-ci peut s'adapter, par modifications continues et progressives, au milieu dans lequel il est jeté, de par les forces des choses et les caprices de la nature. Il peut de même rester toujours semblable à lui-même si le milieu reste immuable ou si ses besoins ne nécessitent aucun appareil lui faisant défaut pour évoluer à son aise et en corcordance avec les phénomènes qui dirigent son existence vers une fin prévue.

M. Viré a installé il y a quelques années, au Muséum d'histoire naturelle, sur la recommandation de M. Martel, un laboratoire de biologie souterraine, situé à 12 mètres de profondeur. Dans ce laboratoire, on peut effectuer principalement deux sortes d'expériences : 1° étudier les modifications que le milieu obscur apporte chez les êtres habitués à la lumière ; 2° voir ce que deviennent, au contraire, les êtres cavernicoles si on les replace au jour. Grâce à l'aménagement de ce laboratoire, on peut également suivre pas à pas les changements introduits, dans un temps déterminé et pour des organes spéciaux, par le milieu ambiant.

Ces expériences, entreprises avec la plus grande méthode, sont du plus haut intérêt et elles ont déjà conduit à des résultats merveilleux. La conclusion la plus imposante qui, à l'heure actuelle, mérite d'être signalée, est la suivante : certains animaux cavernicoles, entièrement privés de la vision, peuvent, une fois remis au jour, produire une descendance non seulement enrichie de ces organes, mais douée de cette même faculté à un très haut degré ; si bien que, suivant l'expression de M. Martel, « malgré des siècles peut-être d'adaptation régressive d'individu en individu, le principe de la faculté visuelle n'a pas été tué : sa transmissibilité s'est maintenue occulte, latente, enfermée dans l'essence de l'espèce, d'où elle rejaillira sous l'étincelle du jour rendu ». Il y a donc dans ce phénomène vraiment curieux une confirmation éclatante du principe de l'adaptation au milieu, désormais applicable à toute cellule vivante.

Voilà donc un premier point établi : la Spéléologie corrige la science zoologique, la dirige ou tout au moins l'enrichit en bien des points de certitudes nouvelles.

..

Mais la Spéléologie résout des problèmes encore plus complexes et c'est à des considérations touchant l'hydrologie, considérations d'ordre technique et industriel sur l'avenir de la « houille blanche » que nous allons nous arrêter maintenant. Le problème le plus important qu'elle s'applique chaque jour à mettre davantage en évidence et dont nous ne ferons qu'énoncer la solution est celui-ci : la houille blanche doit disparaître ; l'eau qui nous alimente aujourd'hui généreusement et donne la force et la lumière à nos usines doit s'enfuir bientôt dans les profondeurs du

globe et ne laisser sous nos pieds qu'une terre sèche et aride.

Nous voilà donc en face d'une éventualité redoutable : la disparition de l'eau de la surface du globe. Alors que déjà la houille noire semble avoir vécu et que l'énergie des chutes d'eau est notre seule force pour l'avenir le plus proche, voilà que la houille blanche elle-même, à peine enfantée, doit penser à sa fin. Le problème est simple, sa conclusion irréfutable : cherchons cependant à le démontrer.

Les eaux qui circulent sur le globe peuvent, selon nous, être divisées en trois catégories :

- 1° Celles qui, à la façon des fleuves et des rivières, descendent des pentes de nos montagnes et, après avoir parcouru une plus ou moins grande distance à partir de leur source, finissent directement dans la mer ;
- 2° Celles qui, après avoir effectué un certain parcours à la surface de l'écorce terrestre, disparaissent momentanément dans ses profondeurs, pour renaître au jour à une distance plus ou moins grande de leur point de descente ;
- 3° Celles dont la plus grande partie du parcours a lieu sous terre et qui semblent disparaître complètement dans les couches de l'écorce, en une période de temps plus ou moins longue : ce sont les rivières souterraines (fig. 2 et 3).

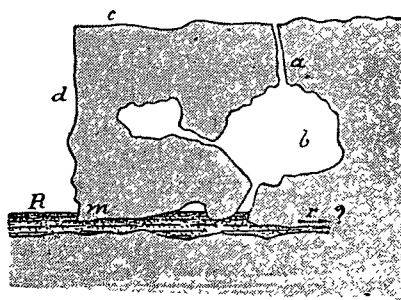


FIG. 3.
Rivière souterraine dans la caverne de Lur-Loch (Styrie).
a, fissure impénétrable.
b, grande grotte.
c, surface du plateau.
d, escarpement sur la vallée.
R, ruisseau.
mr, perte du ruisseau.



FIG. 4.
Source chaude dans le tunnel du Simplon.
(Cliché de M. Schardt, communiqué par E.-A. Martel)

Les premières nous intéressent peu : leur étude est du domaine de la géographie physique et n'apporterait que peu d'arguments à notre démonstration. Les secondes,

celles qui, à la façon d'un siphon, s'engloutissent momentanément sous terre, méritent d'être mentionnées parce qu'elles montrent de quelle façon certaines eaux torrentielles, de température basse à la surface du sol, reparaissent en un point parfois éloigné du premier de cette même surface à une température parfois très élevée.

Un fait de ce genre a été signalé au moment du percement du tunnel du Simplon : des venues d'eau froide et d'eau chaude (fig. 4) se sont subitement signalées dans le travail de creusement des galeries, et pendant longtemps le phénomène est demeuré inexplicable. M. Schardt, ingénieur des travaux, a pu finalement se rendre compte que les eaux de surface, disparaissant sous terre à la faveur de fissures entamées dans des roches imperméables, suivaient dans le sol le même chemin que dans un siphon ; elles revenaient à la surface ou à une certaine distance verticale de celle-ci sous forme d'eaux chaudes, ayant été portées à haute température par leur contact avec les couches inférieures de l'écorce terrestre. On ignore à la vérité, jusqu'à quelle profondeur exacte, ces eaux ont pu pénétrer dans le sol. Mais il est certain que la théorie du siphon peut seule expliquer leur mode de mouvement et leur différence de température en des points très éloignés l'un de l'autre (fig. 5).

Le phénomène est comparable à celui qu'on provoque artificiellement en faisant couler l'eau d'un robinet dans un tube *a b c* en forme de V (fig. 6), et qu'on chauffe, à l'aide d'une lampe, pendant la seconde partie de son parcours, c'est-à-dire pendant son mouvement ascensionnel dans le

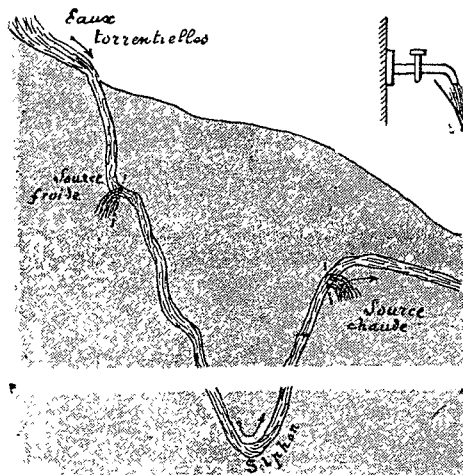


FIG. 5.
Formation d'un thermo-siphon
à l'intérieur de l'écorce terrestre.

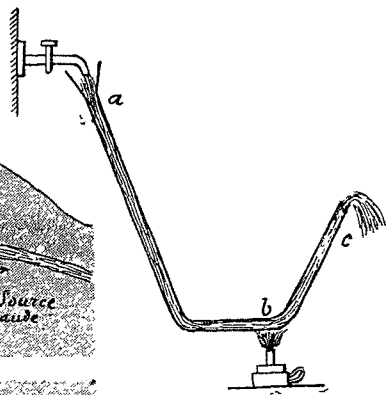


FIG. 6.
Explication du phénomène
du thermo-siphon.

tube ; introduite froide en *a* dans celui-ci, l'eau apparaît avec une notable élévation de température à la sortie *c* du tube en V. La lampe représente, dans cette expérience, le foyer calorifique du globe ou feu central, chauffant, sur un parcours plus ou moins long, l'eau torrentielle enfouie momentanément dans le sol, puis la ramenant encore chaude à un point très éloigné du foyer calorifique.

Le hasard a voulu que, dans le creusement du tunnel, les deux branches, descendante et ascendante, du siphon naturel soient coupées, et ce sont ces coupures qui ont donné naissance aux sources à basse et haute température.

Parfois, les eaux, englouties par les gouffres absorbants dans les profondeurs du sol, réapparaissent à la surface à la façon de véritables sources. Elles ne doivent pas cependant être considérées comme telles, car elles ne possèdent pas les caractères des sources véritables. On les désigne sous le nom de *résurgences* ou réapparitions d'eaux (fig. 13).

Cela nous mène au point capital de notre démonstration : au fait de la circulation souterraine des eaux, de leur enfouissement progressif et de la dessiccation future de la terre, conséquence de cet enfouissement.

Les eaux souterraines ont une vie à peu près semblable à celle des eaux superficielles ; comme ces dernières, elles circulent dans des lits plus ou moins profonds suivant leur vitesse et la dureté des roches qui les supportent ; elles



FIG. 7.
Cascade partiellement souterraine, à Tivoli (Italie).
(Cliché de E.-A. Martel)

s'entrecroisent, s'unissent, se divisent comme les cours d'eaux que nous avons sous les yeux. De même, suivant les accidents géographiques qu'elles rencontrent sur leur passage, elles peuvent donner naissance à des cascades, chutes rapides, dérivations, etc. (fig. 7 et 8).

Ces constatations ont été faites de tout temps et Sénèque déjà nous en parle : « De nombreuses cavités, dit-il (1), traversent le globe suspendu sur de nombreux abîmes ; quelques-uns de ces abîmes sont vides et sans eau... ; dans ces asiles sombres, coulent aussi des fleuves semblables aux nôtres : les uns coulent paisibles et lents, les autres roulant avec fracas entre des précipices ». De nos jours, les spéléologues étudient avec la plus captivante attention les particularités relatives à ces eaux et les êtres qui les peuplent. Nous autres, hydrauliciens et aménageurs de chutes d'eau, nous devons tout d'abord constater ce fait que les eaux souterraines, en même temps qu'elles ont un débit toujours décroissant, descendent de plus en plus dans le sol et occupent des lits plus bas que ceux qu'elles possédaient jadis. Cette descente continue des rivières souterraines vers des points toujours plus éloignés de la surface, jointe à l'absorption également grandissante de leurs eaux, ne peut manquer de conduire au dessèchement complet de l'écorce terrestre.

« Les récentes explorations souterraines, dit M. Martel (2), ont formellement démontré comment les cours d'eau, sous la quadruple influence de la fissuration des roches, de la pesanteur, de la corrosion et de l'érosion, tendent à abandonner la surface du sol particulièrement dans les régions calcaires. La multiplication des vallées sèches, le creusement progressif des cavernes, le soutirage de plus en plus actif des ruissellements par les points d'absorption,

(1) *Questions naturelles*, livre V, p. 14 et 15.

(2) *Comptes rendus de l'Académie des Sciences*, 2 mars 1903.

transforment en axiome la loi hydrologique de la substitution générale d'une circulation superficielle... ».

Beaucoup de rivières souterraines, dont la présence a été authentiquement constatée il y a peu de temps, n'existent plus aujourd'hui ou sont considérablement réduites. Nous citerons les quelques exemples suivants : la grande caverne de Miremont, dans le

département de la Dordogne, possédait en 1643 des fontaines et des fleuves dont un large de 30 à 40 mètres ; en 1893, M. Martel n'y a pas trouvé un seul filet d'eau courante. Le Bonheur, dans le Gard, a peu peu disparu, par enfouissement dans les cavernes de Bramabiau et cela à une époque relativement récente ; depuis lors, il n'a cessé de s'éloigner de la surface. Enfin, la Seudre, en Charente-Inférieure, qui, vers



FIG. 8.
Cascade souterraine de Bramabiau (Gard)
(Cliché de E.-A. Martel)

1850, disparaissait sur un peu plus de 2.500 mètres de parcours, était à sec sur plus de 10 kilomètres en 1901. Partout, aussi bien en France qu'en Belgique et dans les autres contrées, on constate des faits de ce genre, ce qui prouve nettement que les eaux étaient autrefois plus actives qu'elles le sont aujourd'hui.

« Dans les grottes où subsistent de nos jours des ruisseaux accessibles à l'observation directe (1), on a partout reconnu qu'ils se sont réfugiés dans des galeries profondes (fig. 9), plus étroites que celles des corridors placés au-dessus (bien trop vastes par rapport aux débits actuels). Si l'on rapproche cette constatation universelle de celle qui montrent les vallées et les fleuves plus larges aux époques pliocène et pléistocène (pour nous en tenir à ces deux âges) qu'à l'époque présente, on sera nécessairement convaincu de la déchéance continue des écoulements, tant extérieurs que souterrains, au moins depuis le milieu du Quaternaire... »

« L'abandon des thalwegs aériens tertiaires au profit des canaux souterrains, où les eaux s'introduisent par les abîmes ou points d'absorption, est une loi absolument générale, qui se vérifie de plus en plus dans tous les pays du monde... »

« L'aspect intérieur des rivières souterraines fournit d'ailleurs toutes les preuves de cette déchéance de l'infiltration. Il montre que les eaux ont, par l'effet de la pesanteur, une invincible tendance à s'enfoncer de plus en plus au sein de la roche fissurée, jusqu'à ce qu'elles soient arrêtées par les formations imperméables qui constituent leur niveau de base et qui provoquent leur résurgence... »

« Les preuves abondent donc de l'évolution qui, dans les pays calcaires, a substitué à une ancienne circulation superficielle très développée, une circulation souterraine actuelle très restreinte. C'est la loi, fort grave pour l'avenir, de l'enfouissement constant des eaux dans l'écorce terrestre et du lent et inévitable dessèchement de celle-ci... »

« Ici se pose donc une question des plus graves. Cette évolution du creusement, qui a rapproché ainsi peu à peu les eaux d'infiltration des régions profondes de l'écorce terrestre, est-elle de nature à nous conduire vers un dessèchement de plus en plus accentué ? Et surtout, ce dessèchement est-il mesurable à l'échelle du temps humain ? A ce propos, la controverse est très vive.

« Les uns affirment que la lenteur du phénomène est telle, que l'observation scientifique ne saurait, même en faisant appel aux plus lointains et vagues témoignages historiques, le saisir nulle part sur le vif. De Launay, entre autres, tout en reconnaissant que *la quantité d'eau existant sur la terre ne saurait manquer de se réduire progressivement*, énonce que cette diminution progressive de l'eau superficielle ne se fait sentir en aucune façon pour les périodes de temps que peut envisager l'histoire... C'est un point, dit M. Martel, sur lequel nous différons d'opinion. D'autres, en effet, parmi lesquels je me range très affirmativement, estiment, au contraire, que les preuves *visibles, permanentes et enregistrables* abondent du dessèchement croissant de l'écorce terrestre... »

« Entre les vallées réduites et les cavernes rétrécies en profondeur, nous voyons que les *vallées mortes*, toujours privées d'eau, et les immenses abîmes, *morts aussi*, où ne tombent plus jamais les torrents d'eau qui jadis les ont taraudés, pullulent dans les pays calcaires. Objets maintenant



FIG. 9.
Enfoncement et rétrécissement du ruisseau souterrain
du Trou de Catel, à Sorèze (Tarn).
(Cliché de E.-A. Martel)

de phénomènes non plus de creusement, mais, au contraire, d'obstruction, ils témoignent à la fois d'une singulière diminution de l'usure qui les a affectés autrefois et de la disparition même de l'instrument de cette usure.

« Pour moi, et contre toutes opinions contraires, je confirme que l'homme assiste, rien que depuis la période historique, à une accélération du dessèchement de la terre :

(1) Martel. *L'Évolution souterraine*, p. 98.

la disparition ou la diminution des grands lacs dans l'Asie centrale et même de l'Afrique, l'ensablement et la désolation des régions où fleurirent jadis les grands empires de Tello, Babylone, Ninive, Persépolis, Thèbes même, la diminution des sources universellement constatée, la nécessité de recréer les puits en tous pays, pourraient remplir, si on en relevait avec soin tous les indices, des volumes de preuves,

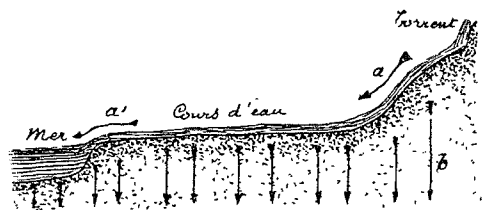


FIG. 10.
Action de la pesanteur sur les eaux superficielles.
a, a', eaux se rendant directement à la mer.
b, eaux perdues par imbibition.

à l'appui de la rapidité très discernable du dessèchement de la périphérie terrestre...
« En voici assez, je suppose, pour prouver comment on est forcé d'admettre maintenant que les rivières desséchées des régions calcaires se sont enfouies, ont disparu dans les profondeurs des cavernes qui, bien souvent, les ont fait changer de versants ; je pourrais multiplier les preuves formelles que ce processus universel des *captures*, encore vigoureusement à l'œuvre à l'heure actuelle, fonctionne avec une célérité relativement grande, très accessible à l'observation humaine ».

On n'a donc plus le droit d'être surpris d'entendre proclamer, pour un avenir plus ou moins prochain, l'absorption entière, par le globe terrestre, des eaux courantes actuellement si largement distribuées sur sa surface. D'après ce qui vient d'être dit, il est facile de se rendre compte que cette absorption est, au contraire, en concordance absolue avec les lois qui régissent l'univers et qui gouvernent notre globe, si comparable en tous points aux autres mondes actuellement desséchés qui l'entourent.

Exposons maintenant notre manière de voir sur cette question.



L'enfouissement progressif des eaux superficielles est aussi naturel qu'évident. En effet, si aux temps actuels, nous voyons les fleuves et les rivières tomber en torrents impétueux du sommet de nos montagnes, descendre ensuite en cascades mouvementées des pentes rapides, enfin couler paisiblement à travers nos vallées pour se jeter désespérément dans la mer, c'est que l'imperméabilité des roches s'oppose presque partout à leur descente verticale au travers de l'écorce terrestre. Mais cette imperméabilité est *relative* ; elle n'est ni générale, ni régulière, et une proportion plus ou moins grande de ces eaux de surface s'enfonce toujours directement dans le sol sous-jacent par imbibition et par l'action de la pesanteur (fig. 10). Le phénomène est assimilable à celui produit sur un liquide attiré, dans un tube vertical, par un piston agissant au travers d'une épaisseur plus ou moins grande d'un corps perméable : tissu spongieux ou papier buvard, par exemple (fig. 11). Si les fleuves et les rivières avaient la parole, ils nous diraient qu'en agissant ainsi, qu'en parcourant de si longs circuits avant de mourir dans l'Océan, ils désobéissent aux lois de la nature. *La pesanteur agissant*, ainsi que nous venons de le dire, *comme une pompe aspirante à travers les couches plus ou moins perméables de l'écorce cherche*, en effet, *à attirer directement vers le centre les masses liquides placées à la périphérie du globe et qui ne demandent qu'à obéir à son*

action. Seule, l'imperméabilité de l'écorce s'y oppose partiellement ; mais la pesanteur en aura raison avec le temps.

Quoi qu'il en soit, pas un cours d'eau ne rend à la mer le volume de liquide que lui a donné la montagne. En outre des pertes par évaporation (retrouvables celles-là), il y a celles dues à la pénétration dans le sous-sol. La pesanteur, force puissante quoique invisible, placée au foyer même du globe, agit avec la même intensité sur tous les points de sa surface (fig. 12) ; elle fait converger vers le centre toute l'eau qui ruisselle, par autant de canaux, on peut le dire, qu'il y a de vides entre les grains de sable ou de fissures, petites ou grandes dans le sol.

Mais que devient cette eau ainsi absorbée ? Pourquoi, dira-t-on, ne remonte-t-elle pas à la surface ou ne regagne-t-elle pas l'atmosphère à l'état de vapeurs ? Et la chaleur centrale n'est-elle donc pas suffisante pour ramener à son point de départ toute l'eau ainsi engloutie ? — Non, la chaleur interne ne peut rien ou presque rien, à part de rares exceptions, contre ce phénomène d'absorption continu et progressif ; car de deux choses l'une : ou la masse d'eau ainsi absorbée est encore trop près de la surface pour être évaporée par la chaleur interne ou elle se trouve à une très grande profondeur et est alors plus apte à se combiner, à ces très hautes températures, avec les éléments qu'elle peut rencontrer. Des composés plus ou moins semblables à ceux qui

ont pris naissance au début par l'action de l'eau sur les éléments oxydables peuvent se former et ne plus rendre disponible cette eau désormais prisonnière dans le sol.

La chaleur centrale ne pourrait faire réapparaître l'eau de surface que dans un cas, celui dû à la *pénétration en masse* et non par imbibition de rivières à gros débit. L'eau pénétrant tout à coup dans le sol, à de grandes profondeurs et sous un volume considérable, serait alors capable, par les calories dégagées subitement, de regagner, par explosion et à la façon d'une éruption volcanique, la surface de la terre

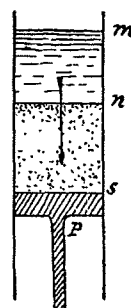


FIG. 11.
Assimilation du phénomène de l'enfouissement des eaux à celui produit par un piston agissant sur un liquide au travers d'une substance perméable.
P, piston représentant la pesanteur.
mn, liquide représentant les eaux superficielles.
s, substance perméable représentant l'écorce terrestre.

ferme. Avouons que ces cas sont rares et qu'ils ne peuvent provenir que d'accidents géologiques, comme : mouvements de l'écorce terrestre, fissures subites de couches insuffisamment stables, tremblements de terre, etc.

L'eau d'imbibition, au contraire, en pénétrant lentement mais toujours en progressant dans les couches profondes du globe, n'amène aucune convulsion dans celui-ci ; elle agit doucement, se distribue d'une façon presque homogène dans la terre avide de s'en pénétrer et ne semble entraîner aucun changement appréciable dans sa structure physique.

M. Martel admet comme nous, la perte sans retour des eaux enfouies dans les grandes profondeurs du sol. Il croit cependant sage, pour certaines particularités propres à cet enfouissement, de rester dans le domaine des hypothèses.

« Dans une très grande partie des couches supérieures de l'écorce terrestre, dit-il, le travail des eaux absorbées et devenues souterraines, a pratiqué, par agrandissement des cassures préexistantes, tout un réseau de vides et de galeries communiquant parfois entre elles, en vrais labyrinthes ; bien que la proportion actuellement découverte de

ce réseau soit sans doute faible par rapport à sa réelle étendue, il est certain qu'il se compose, essentiellement, des trois éléments suivants : 1^o les abîmes, pertes, points d'absorption, où les eaux superficielles s'engouffraient jadis ou continuent à s'infiltrer ; 2^o les cavernes, poches, galeries de toutes formes, où leur circulation et leur emmagasinement furent bien

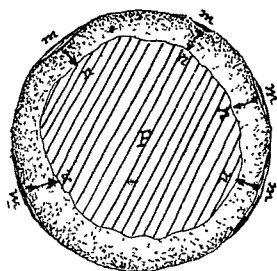


FIG. 12.

Attraction vers le centre de la terre de toutes les eaux de surface.

P, pesanteur.

m, écorce terrestre.

n, eaux de surface.

n, perte des eaux par enfouissement dans le sol.

plus abondants dans le passé que dans le présent ; enfin les points d'émergence (sources, fontaines, résurgences) qui les conduisent au jour *plus ou moins* intégralement (fig. 13) et après un trajet interne, tantôt bref, tantôt très long.

« On ne sait pas au juste si une certaine proportion de ces eaux n'est pas, bien loin de l'habitat humain, perdue tout à fait pour lui, étant employée aux réactions chi-

miques souterraines dont les volcans seraient une résultante ».

L'eau de mer peut, mais avec une allure différente, suivre la même marche descendante en s'absorbant peu à peu dans le sous-sol et, lorsqu'elle ne provoque pas de réactions mécaniques intenses au contact de magmas à haute température, se laisser absorber lentement par eux pour effectuer des combinaisons multiples.

Mais quel doit donc être alors le résultat d'un pareil travail ? La terre entièrement imprégnée d'eau, puisque celle-ci finira par disparaître de sa surface, ne perdra-t-elle pas toute solidité ? Comment pouvons-nous admettre une pareille transformation ? Considérée à l'heure actuelle comme une sphère ignée recouverte d'une scorie mince et caverneuse, elle va donc devenir une sorte de sphère plastique, une boue plus ou moins visqueuse ? — Ne craignons pas un semblable dénouement, car le volume de l'eau terrestre est beaucoup trop faible comparativement à la terre ferme pour que la solidité du globe soit jamais compromise. Bien que les mers recouvrent les deux tiers de la surface terrestre, il n'en n'est pas moins réel que ce qui doit nous intéresser ici, c'est le rapport des *volumes* des deux éléments et non de leurs surfaces. Or le volume des mers est si faible qu'une fois l'eau absorbée par la terre, il n'occuperait pas la centième partie de sa composition. La terre continuera donc son évolution comme auparavant, mais ce sera alors pour elle le signe de la décadence. Ayant dévoré peu à peu mais sans se lasser toute l'eau de surface à la façon d'un gouffre toujours altéré, elle se desséchera complètement.

Il est du reste près de nous une planète qui nous montre ce que sera plus tard la terre que nous habitons. Cette planète, c'est la lune. Astre aujourd'hui desséché et sans vie, elle a eu autrefois à subir l'action des eaux, l'action géothermique, l'action des agents de dislocation et d'ébranlement. D'abord lumineuse et vivante comme est aujourd'hui le soleil qui nous éclaire et nous chauffe, elle a dû, de par même son faible volume, subir beaucoup plus vite que la terre l'influence du refroidissement et du dessèchement.

Mars nous montre les mêmes phénomènes, mais d'une façon beaucoup moins avancée : c'est elle qui, actuellement, se rapproche le plus de notre globe par sa nature physique et

son évolution. Comme la lune, elle deviendra peu à peu, sous la triple influence du crevassement, des absorptions et de la chaleur centrale dont elle n'est sans doute pas privée, un astre mort, une sphère dépourvue de toute chaleur propre et impuissante par suite à conserver la vie sur sa surface.

C'est cette fin qui est également réservée à la terre. M. Martel la prédit en ces termes :

« On peut affirmer que la fissuration et la dislocation de l'écorce terrestre ne sont aucunement arrêtées. Il est évident aussi que l'extension du crevassement ne fera qu'accroître le nombre des cassures, sur et sous le sol ; ainsi les *captures* extérieures qu'elles sollicitent multiplieront corrélativement les voies d'eau, en même temps que, sous l'action de la pesanteur, celles-ci creuseront de plus en plus profondément leurs souterrains sillons : par conséquent l'appel des infiltrations du dehors vers la base de l'écorce ne

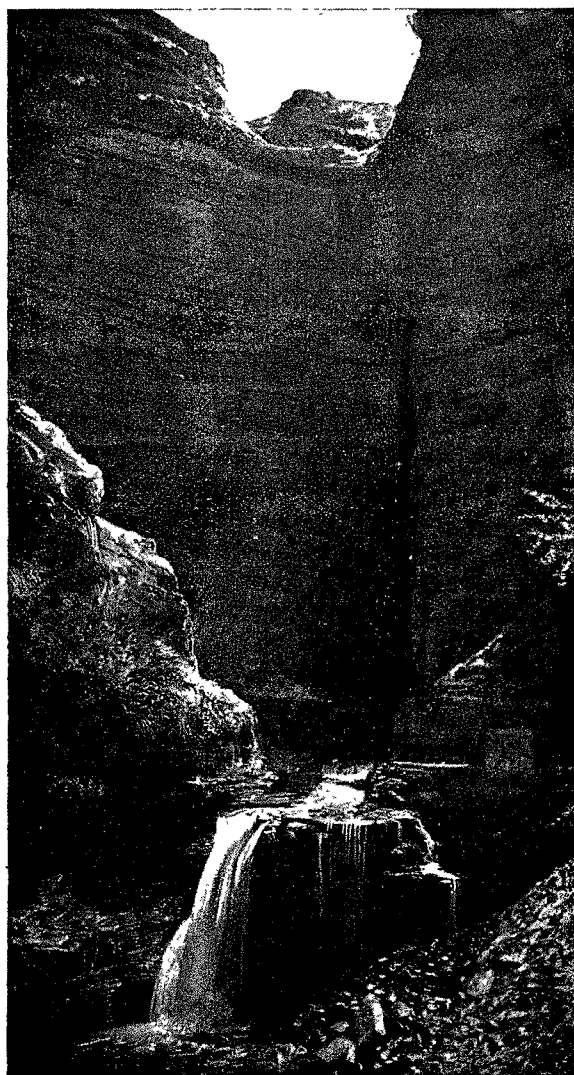


FIG. 13.

Source souterraine ou « résurgence ».
(Cliché de E.-A. Martel)

fera qu'augmenter dans le temps. De plus en plus les eaux souterraines seront employées et volatilisées dans les réactions chimiques profondes ; il est probable que, de moins en moins, elles auront la force de remonter thermiquement vers la surface du sol ; consécutivement, la réduction de l'évaporation, de la précipitation et du ruissellement externe s'impose. La dessiccation progressive de la surface de l'écorce est une certitude et nullement une théorie. Tout notre doute est dans sa durée. J'ai dit et je répète que je la

crois rapide, et dans une certaine mesure, tangible à l'observation humaine.

« Ce chapitre de l'évolution souterraine révèle d'emblée, comme un abîme brusquement ouvert, le sort futur de notre planète entière : au double jeu de la multiplication tectonique des cassures et de leur approfondissement érosif, la dessiccation finira par intéresser les mers aussi bien que les continents.

« Quand l'intérieur de la terre engloutira et retiendra plus d'eau qu'il n'en restituera, ce phénomène de la dessiccation s'accélérera effroyablement vers la généralisation des sahars terrestres.

« C'est donc le dessèchement aboutissant à la disette d'eau, qui s'annonce comme la plus probable, la plus normale, la plus rapide de toutes les éventualités ».

Que pouvons-nous donc pour parer à ces futurs événements ? — Le mieux, pour le moment, est de chercher à conserver cette eau si précieuse et qui tend à s'enfouir sous nos pas. M. Martel conseille pour cela deux remèdes : d'abord le reboisement, et la reconstitution des sols montagneux qui tendent à retenir l'eau au profit de l'industrie et des besoins naturels de l'homme et à enrayer l'infiltration ; ensuite l'extension des explorations souterraines qui font connaître les meilleurs moyens d'utiliser les réceptacles d'eau douce. Car, sans eau, le monde ne peut vivre ; sans eau, la force motrice ferait défaut à son tour, puisque déjà les gisements de combustibles (houille, pétrole, etc.) s'épuisent sous nos yeux et sans pouvoir être retrouvés. L'homme finira bien évidemment par utiliser la chaleur solaire, désormais seule force vive dont il disposera. Reste à savoir, pour notre consolation, si les générations futures survivront elles-mêmes à de tels désastres et si elles n'auront pas disparu avant que ces phénomènes se soient montrés dans leur plus cruelle activité ! Cela est très possible.

Quoi qu'il en soit de ces perspectives plus philosophiques que scientifiques, laissons le globe évoluer comme la nature le lui commande. Profitons, aux moments présents, des forces naturelles qu'il nous distribue aux uns et aux autres, si profusément, mais ne soyons pas dissipateurs. Toute évolution dit changement d'état : la terre, comme les êtres qu'elle fait vivre et développe, ne saurait échapper à la loi qui mène le monde vers une fin que nous ignorerons toujours.

Jean ESCARD,
Ingénieur civil.

LA RICHESSE DU RHÔNE et son utilisation

Cet article est la reproduction d'un rapport présenté le 27 mars 1908 à la Société d'économie politique et d'économie sociale de Lyon, et d'une communication faite le 3 août 1908 au Congrès de Clermont-Ferrand de l'Association française pour l'avancement des sciences, par M. René TAVERNIER, ingénieur en chef des Ponts et Chaussées, directeur de l'Office des Transports, office organisé par les Chambres de Commerce du sud-est de la France.

I. — EXPOSÉ, COUP D'ŒIL RÉTROSPECTIF

Le Rhône est une richesse exposée, comme toutes les autres, à subir des fluctuations qui, pour n'être pas aussi soudaines que celles des valeurs cotées en Bourse, n'en sont pas moins considérables. A n'envisager que la consistance même de la richesse du Rhône, — les débits très variables, suivant les saisons, qui caractérisent ce qu'on

appelle son « régime », — il semble que ces fluctuations ont l'ampleur, difficile à mesurer, des périodes géologiques, des progressions ou des régressions glaciaires. Si l'on considère, non pas le « régime » du fleuve, mais les utilisations diverses auxquelles il se prête, on peut dire que chaque jour l'évaluation de la richesse du Rhône prend des aspects inattendus.

Le problème de son aménagement « intégral » n'est pas résolu, ni près de l'être ; mais le seul fait qu'il soit aujourd'hui posé est un signe suffisamment caractéristique de l'époque actuelle. Le temps n'est plus où l'eau du grand fleuve pouvait être considérée par les économistes comme une matière première sans valeur, aussi inépuisable que l'air, et dont chacun pouvait user à sa convenance, pourvu qu'il ne gênât personne. Ces aspects convenaient à l'époque, qui vient à peine de prendre fin, des emplois individuels et des entreprises isolées. Les riverains qui s'abreuvaient au Rhône, ou s'en servaient pour arroser leurs cultures, les navigateurs qui se hasardaient sur ses flots rapides, ne se préoccupaient pas plus il y a cent ans qu'à l'époque gauleoise, d'aménagement « intégral ».

Avec les programmes d'ensemble visant, soit l'amélioration du Rhône navigable, soit la création de grands canaux d'irrigation, et surtout avec les installations hydro-électriques dont Jonage a été le premier type, s'ouvre véritablement une ère nouvelle. Longtemps avant que la richesse du Rhône devint réellement insuffisante, on a commencé à se la disputer. C'est surtout à Lyon, véritable métropole du Rhône, que se sont agitées toutes ses conceptions nouvelles : et la Société d'Economie politique a été, à diverses reprises, le champ clos de discussions dont le souvenir n'est point effacé.

Le moment est venu, peut-être, non pas de réveiller de vieilles querelles, mais de montrer plutôt dans quelle mesure l'évolution récente de la « houille blanche » en a déplacé le terrain. On n'est pas près de s'entendre sur la manière d'utiliser le Rhône, ni surtout d'avoir groupé les capitaux nécessaires à la réalisation d'un programme général d'amélioration qui aille de la mer à Lyon, et même à Genève. Mais cependant, plus que jamais, les vues d'ensemble sont nécessaires pour faire rentrer harmoniquement dans un même cadre ces vastes entreprises qui viennent aujourd'hui, d'un seul coup, mettre en valeur des tronçons importants du fleuve.

Vous connaissez les principales étapes des grandes transformations modernes.

C'est d'abord l'initiative lyonnaise qui mène à bien, vers le milieu du siècle dernier, la double entreprise du canal et du Port-Saint-Louis. Le Rhône était désormais raccordé à la mer ; sa barre était tournée. Aujourd'hui, l'initiative marseillaise entreprend un canal grandiose, qui ne doit pas coûter moins de 71 millions, pour rattacher le Rhône au grand port méditerranéen. Cette entreprise, dont on a si vivement contesté l'utilité, aura ce double effet de faire contribuer le Rhône au développement de Marseille, et de permettre en même temps à l'industrie marseillaise d'employer directement, sans intermédiaires, ses puissantes ressources à la mise en faveur du fleuve. Notez, je vous prie, comme un indice significatif de l'évolution économique générale, qu'entre les Chambres de commerce de Marseille et de Lyon, une parfaite entente a été conclue au sujet d'entreprises jadis rivales. Saint-Louis n'a pas nui au développement de Marseille ; il a seulement satisfait des besoins nouveaux, dont on peut chiffrer l'importance en comparant son tonnage effectif à celui du port de Marseille (346.500 tonnes contre 6.488.067 tonnes en 1902). Dans un pays qui n'y est pas habitué, comme l'Amérique, la navigation du Rhône a fait éclore une ville, un port, et même une gare dont le trafic est bien le seul cadeau que la Compagnie P.-L.-M. ait, avec bonne grâce, consenti à recevoir d'une voie navigable.

Quant aux craintes que peut faire naître l'établissement