

**LES PHÉNOMÈNES GÉNÉRAUX
DES CAVERNES EN TERRAINS CALCAREUX**

ET LA
CIRCULATION SOUTERRAINE DES EAUX
DANS LA
RÉGION HAN-ROCHEFORT (1)

PAR
M. É. Dupont

(PLANCHES XII ET XIII)

Un phénomène géologique saillant se présente fort fréquemment dans les régions calcaireuses, lorsque la roche est cohérente ; il ne se rencontre au contraire que dans des circonstances exceptionnelles, et accompagnées de caractères différents, dans les régions dont les roches sont d'autre nature.

(1) Ce travail, présenté à la séance du 29 mai 1894, aurait dû faire partie du Tome VIII (1894). Il a été, avec l'autorisation de l'auteur, reporté aux publications de l'année 1893, de manière à accompagner, dans un même volume, le compte rendu, fait par M. le Commandant J. Willems, de l'excursion extraordinaire de la Société, à Han, Rochefort, Namur, Modave et Spontin.

Le point de départ du Mémoire de M. É. Dupont a été fourni par la dite excursion, que l'auteur a fait suivre d'un ensemble d'études et d'observations personnelles trop étendues pour trouver place, comme il en avait été question tout d'abord, dans le compte rendu de l'excursion d'août 1893.

Il eût toutefois été regrettable de priver les lecteurs de telles données complémentaires, d'autant plus que des cartes et des plans d'un grand intérêt accompagnent le travail spécial de M. Dupont.

C'est afin d'obvier à cet inconvénient que le Bureau de la Société a prié l'auteur du présent travail de laisser figurer dans le Tome VII, et à côté du compte rendu officiel de l'excursion d'août 1893, son étude si documentée, qui en forme le complément naturel et expose une thèse destinée à montrer l'importance du champ d'étude que la Société avait décidé d'aborder en allant visiter, en août 1893, les cavernes et les eaux souterraines de nos calcaires primaires. (Note du Secrétariat.)

Les masses de calcaire sont percées de grottes ou cavernes de dimensions variées, souvent considérables, de formes et de directions irrégulières et compliquées. Ces cavités se prolongent en longueur plus souvent dans le sens horizontal que dans le sens vertical et elles se partagent latéralement et même à des niveaux différents en un grand nombre de couloirs et de chambres. Leurs parois sont, dans beaucoup de cas, ornées de masses d'un calcaire particulier, appelé stalactite s'il tient à la voûte, stalagmite s'il repose sur le sol, et elles en reçoivent un aspect fort décoratif. Les cavernes renferment des dépôts terreux et caillouteux, variablement composés et disposés, célèbres dans la science par les ossements d'animaux et les restes d'une industrie humaine primitive qu'ils renferment souvent en grande quantité.

Mais ce n'est pas seulement par leur spécialisation dans les calcaires, ni par leurs dimensions et l'irrégularité de leurs allures, ni par les calcaires adventifs qui s'y forment, ni même par leurs dépôts et par leurs riches documents paléontologiques et ethnographiques, que les cavernes appellent l'attention du géologue.

Des cours d'eau, pouvant atteindre les proportions d'une forte rivière, disparaissent fréquemment tout entiers dans un ou plusieurs orifices de ces cavernes, y prennent un cours souterrain étendu, parfois de plusieurs kilomètres, et ils reparaissent par d'autres orifices avec leurs masses d'eau qui donnent lieu à des sources d'une abondance proportionnée.

Tous ces phénomènes sont évidemment reliés entre eux par des relations précises, et, comme ils relèvent de causes très différentes, dont il n'est pas toujours facile de démêler les actions et les effets enchevêtrés, leur étude est d'autant plus hérissée que bien peu de ces cavernes, dès qu'elles ont une longueur notable, sont naturellement accessibles. Ce n'est qu'après de longs et dispendieux travaux d'accès, de désobstruction et d'aménagement qu'on peut ordinairement arriver, même partiellement, à les parcourir.

Aussi, quoiqu'elles soient nombreuses dans notre pays, à en juger par le nombre de cours d'eau qui s'engouffrent, par les trous ou aiguilleux plus nombreux encore où pénètrent les eaux de ruissellement, par les cavités visibles sur les flancs des vallées ou dans les carrières, fort peu de cavernes étendues ont été mises en état d'être visitées.

Parmi celles qui ont été l'objet de ces soins et qui nous mettent en mesure de juger, par des voies naturelles, de ce qui se passe dans l'intérieur des masses rocheuses sur des longueurs de plusieurs centaines de mètres, figurent la Grotte de Han et la Grotte de Rochefort, vastes cavités du calcaire givetien, voisines l'une de l'autre dans une région

où les cavernes, les pertes et réapparitions de cours d'eau, les écroulements souterrains sont particulièrement fréquents.

On peut ainsi observer, sur une surface de douze à quinze kilomètres carrés, le phénomène sous la plupart de ses faces, à l'intérieur comme à l'extérieur, dans ses origines aussi bien que dans ses actions et dans ses évolutions.

C'est à ces titres que la région Han-Rochefort se signale à nous comme notre région en quelque sorte type pour l'étude de la circulation des eaux en terrain calcaire. Beaucoup de questions peuvent s'y résoudre par observation directe, et nous y trouvons par conséquent à notre portée un terme de comparaison précis pour étudier d'autres points nombreux où les faits ne peuvent être que plus partiellement observés.

Jusqu'à présent, ces phénomènes n'ont été qu'occasionnellement l'objet de recherches scientifiques dans notre pays.

Les grottes à cours d'eau, en particulier la Grotte de Han, ont été décrites par Kickx et Quetelet en 1822, à la demande de l'Académie royale de Belgique (1).

La région de Han-Rochefort l'a été plus récemment par MM. de Launay et Martel (2).

J'avais, de mon côté, étudié sommairement la question (3). Les recherches qu'un homme d'État, M. Alphonse Van den Peereboom, me chargea en 1864 de faire dans les cavernes de notre pays, avaient un autre but. C'était la connaissance de l'ethnographie primordiale de notre pays. Elles nécessitèrent de longues fouilles pour déterminer l'origine et la stratigraphie des dépôts des cavernes à ossements, les dates où ces dépôts eurent lieu, les restes, émanant de l'homme ou des animaux, qui s'y trouvaient, et surtout les mœurs de nos Troglydites. Mais elles ne pouvaient par le fait porter que sur des cavernes de médiocre étendue, et l'observation des pertes de cours d'eau dans les profondeurs du sol ne fut qu'accessoire au milieu des problèmes déjà fort complexes à résoudre.

(1) *Relation d'un voyage fait à la Grotte de Han au mois d'août 1822* (Nouv. Mém. de l'Académie royale de Belgique, t. II, p. 315. 1822).

(2) *Bull. Soc. géol. de France*, 3^e sér., t. XIX, p. 192. 1890. Cette étude est reproduite dans le monumental ouvrage de M. E.-A. MARTEL, *Les Abîmes*, que je reçois pendant la mise sous presse de ce travail.

(3) *Bull. Acad. roy. de Belgique*, 2^e sér., t. XIII, p. 244, 1867. — *Patria belgica*, art. *Orologie*, t. I, p. 36. 1873. — *Explication de la feuille de Dinant* (Carte géolog. de la Belgique dressée par ordre du Gouvernement à l'échelle du 20.0000^e, p. 112. 1883).

— Hydrographie souterraine dans les terrains calcaires (*Bull. Soc. belge de Géologie*, t. IV, p. 201. 1890).

J'avais alors principalement concentré mes recherches dans la Lesse inférieure et dans d'autres parties de la province de Namur, remettant l'étude des immenses cavités de la Lesse supérieure à d'autres temps qui ont en définitive beaucoup tardé. C'était au surplus deux ordres d'études bien distincts, puisqu'il s'agissait en cette occasion de l'âge de dépôts, de paléontologie quaternaire et d'ethnographie paléolithique, et qu'il s'agit aujourd'hui des modes généraux de la formation des cavernes et de leur rôle dans la circulation des eaux souterraines.

Ces dernières recherches auraient réclamé l'adjonction de l'expérimentation à l'observation, notamment pour déterminer la durée des trajets souterrains, les phénomènes d'intermittence, la marche du dépôt du calcaire de grottes et par conséquent l'activité actuelle de la corrosion de celles-ci, etc. J'ai dû m'en rapporter sur ces points à des renseignements qui demanderont à être précisés. Comme ces questions ne sont pas fondamentales, je n'ai pas cru devoir encore retarder, à cause de l'insuffisance de leur étude, la publication du présent mémoire.

Il sera divisé en deux chapitres : l'un traitera des phénomènes généraux des cavernes et sera divisé lui-même en deux parties, suivant qu'il exposera le mode de formation des cavernes ou leurs modes de remplissage; l'autre sera réservé à la région Han-Rochefort et est, par le fait, une justification des principes énoncés dans le premier.

I.

Les phénomènes généraux des cavernes en terrain calcaireux.

A. CREUSEMENT DES CAVERNES, SES AGENTS ET LEUR APPAREIL.

Aspect d'une rivière à engouffrements.

Le phénomène se présente ainsi :

Une rivière, après un cours prolongé à ciel ouvert et sans que rien d'anormal se soit présenté jusque-là dans son régime, disparaît tout à coup sous terre, tantôt sans qu'on puisse déceler à première vue où elle s'en est allée, tantôt dans un orifice béant situé sur son cours et qui est manifestement le seuil d'une caverne.

Son lit extérieur persiste néanmoins et est parsemé de cailloux roulés. Aux fortes eaux, il est en activité; la rivière y coule et on ne soupçonnerait même pas qu'elle est soumise à des engouffrements, si l'on ne pouvait, dans beaucoup de cas, faire la singulière constatation

qu'elle est plus forte en amont qu'en aval, à l'opposé du régime fluvial ordinaire.

Souvent le phénomène est plus dissimulé. Sur certains points de son cours, une rivière subit de faibles pertes; il y a aussi engouffrement, mais le cours à ciel ouvert persiste toute l'année, et il faut une observation attentive pour reconnaître que le volume d'eau est plus fort en amont qu'en aval, circonstance qui y dénote seule ces pertes.

A une certaine distance, l'eau engouffrée reparaît à l'état de source. Elle a traversé des cavernes servant d'aqueducs naturels. Elle a parcouru à travers roc un trajet allant, dans le cas maximum observé, jusqu'à quatre kilomètres et demi mesurés en ligne droite. Tantôt elle sort par un large orifice, tantôt par plusieurs, distants parfois les uns des autres; tantôt elle jaillit du rocher lui-même en *source ouverte* ou vaclusienne, tantôt elle reparaît dans des alluvions ou des éboulis en *source aveuglée* à l'état de mares ou de ruisselets (1).

Régions où les pertes de rivières se produisent.

Le phénomène montre tout d'abord une corrélation fondamentale: il est partie liée avec la nature des roches. Si les pertes de rivières ne se produisent qu'à l'orifice de cavernes, elles n'ont également lieu que dans les régions dont le sous-sol est du calcaire et non des roches quartzieuses ou schisteuses.

En outre, ce calcaire doit être compacte, comme le sont nos calcaires primaires, et non comme la craie ou le tuffeau.

Rencontrant en Condroz, en Famenne et dans l'Entre-Sambre-et-Meuse d'importantes surfaces formées de calcaire devonien et de calcaire carbonifère, c'est dans ces régions et en passant sur ces roches calcareuses que les rivières subissent des engouffrements et donnent naissance, par la réapparition au jour de leurs eaux, aux sources des calcaires, célèbres à la fois par leur limpidité habituelle, leur fraîcheur, leur abondance et la permanence de leur débit.

Enclavés dans des roches quartzo-schisteuses, nos calcaires, tant devoniens que carbonifères, présentent, au point de vue hydrologique, une forte opposition avec les roches qui les entourent. Celles-ci ne montrent jamais de pertes de rivières: le phénomène est exclusivement propre au calcaire, et leurs sources, plus modestes et moins apparentes, n'étaient pas les mises en scène qu'affectionnent les sources des roches calcareuses.

(1) J'aurai à distinguer dans nos calcaires trois états de sources dont je puise la nomenclature, qui me paraît heureuse, dans *Les Abîmes* de M. Martel

Action de l'acide carbonique sur les calcaires.

Les roches des régions que nous envisageons sont donc ou bien quartzo-schisteuses ou bien calcaireuses.

Les roches quartzo-schisteuses se groupent autour de deux types chimiques : la *silice* qui forme les grès, et des *silicates d'alumine* compliqués qui sont la substance des schistes. Ces deux substances se mélangent sous la forme de grès argileux ou psammites et de schistes siliceux, et donnent lieu à des roches intermédiaires. Elles présentent tout d'abord ce caractère chimique : l'acide carbonique a des actions d'altération, mais pas d'action de dissolution sur les roches quartzo-schisteuses.

Le calcaire, étant du *carbonate de chaux*, est, au contraire, activement dissous par les eaux chargées d'acide carbonique, — ou *eaux acidules* comme on les appelle souvent — parce qu'elles transforment le carbonate insoluble en bicarbonate soluble.

Nous nous rappellerons les expériences classiques de laboratoire qui mettent en évidence cette propriété caractéristique de l'acide carbonique.

Les eaux superficielles tiennent en solution l'acide carbonique qu'elles ont surtout puisé dans l'atmosphère.

Ne dissolvant donc ni les grès, ni les schistes, ni les roches intermédiaires, telles que les psammites, elles ont, par opposition saillante, une action énergique de dissolution sur le calcaire. On peut l'apprécier par les données suivantes dues à l'obligeance de M. Petermann, le savant le plus compétent que je pouvais consulter sur la matière.

L'air atmosphérique, à la température de 15° et sous la pression de 760 millimètres, renferme, dans dix mille litres ou dix mètres cubes, trois litres ou 5^{gr}.499 d'acide carbonique.

L'eau de pluie renferme en moyenne par litre 12 centimètres cubes ou 22 milligrammes d'acide carbonique.

Au contraire, les *eaux de drainage* qui ont déjà traversé le sol et qui y ont séjourné, tout en ayant une composition très variable suivant la nature des terres, en renferment en moyenne 6 centimètres cubes seulement ou 11 milligrammes par litre, la moitié de ce que contient l'eau de pluie.

Les *eaux de rivières* renferment par litre 3.32 à 4.36 centimètres cubes ou 6 à 8 milligrammes, soit environ un tiers de ce que contient l'eau de pluie.

La forte diminution de l'acide carbonique dans la moyenne des

eaux de drainage est surprenante au premier abord, car ces eaux, par le fait qu'elles ont séjourné dans un sol terreux dont la terre cultivée et beaucoup de matières végétales en décomposition font partie, passaient pour y avoir puisé un nouveau contingent de gaz carbonique. Mais, en y réfléchissant, il me parut qu'il était difficile qu'il en fût autrement, parce que l'eau, en traversant ces terres, devait déjà y avoir exercé des dissolutions, surtout la dissolution du calcaire ou de la chaux. M. Petermann voulut bien me confirmer dans cette manière de voir. Il me répondit à propos de ces eaux de drainage qu'en effet le plus souvent l'acide carbonique libre y diminue en dissolvant tout au moins la chaux, la magnésie et le fer, corps que renseignent toutes les analyses de drainage. Il insiste encore sur le fait que les chiffres qu'il m'a indiqués sont des moyennes; dans certains cas, l'eau, après avoir traversé le sol, est plus riche en acide carbonique que l'eau de pluie, par exemple, dans un sol sablonneux contenant beaucoup de matières organiques en décomposition.

On pourrait admettre, me dit de son côté M. Klement, que 1 milligramme d'acide carbonique dissout au maximum 2.27 milligrammes de carbonate calcique.

Un litre d'eau de pluie qui en contiendrait 22 milligrammes, suivant la moyenne qu'indique M. Petermann, pourrait donc mettre en solution près de 5 centigrammes de calcaire, si son acide carbonique se fixait entièrement.

Mais le pouvoir dissolvant de l'eau acidule doit être bien exceptionnellement épuisé en traversant les fentes du calcaire, et il arrive même qu'il peut ne pas s'y être exercé, par exemple à cause d'un passage trop rapide, car beaucoup de cavernes, ainsi que nous allons le constater, ne contiennent pas de stalagmites ni de stalactites et, dans celles qui en renferment beaucoup, la production du calcaire chimique est en règle générale localisée en des points restreints.

Les chiffres, cités ci-dessus, ne sont donc que des indications pour l'étude du phénomène de la formation des cavernes, et ils ne sauraient servir à aucun point de vue de bases à des calculs pour apprécier notamment la quantité d'eau d'infiltration qui a été nécessaire pour les creuser.

Ce que nous pouvons dire positivement, c'est que l'eau d'infiltration contient une quantité notable de dissolvant et, par là continuité de son action à travers les temps géologiques, elle est capable d'effets de corrosion énormes. Mais le phénomène ne se passe pas dans la nature avec la régularité d'une expérience de laboratoire; trop de causes y sont en jeu pour qu'il ne soit pas diversement troublé et ne se manifeste avec toutes sortes d'intensités.

En se plaçant à ce seul point de vue chimique, on peut par conséquent s'attendre à ce que la pénétration des eaux dans les deux catégories de roches — calcareuses et quartzo-schisteuses — présente autant de contrastes que les propriétés de ces roches elles-mêmes vis-à-vis des eaux acidules.

C'est en effet le point de départ de la question que nous soumettons à l'étude.

Si l'eau superficielle, par le fait qu'elle est acidule, pénètre dans l'intérieur des masses calcaires, elle les dissoudra, y creusera des cavités comme le ferait un corrosif.

Si elle pénètre dans les schistes, elle y sera chimiquement inerte, quant à leur dissolution.

Imperméabilité de la substance du calcaire compacte.

Mais par quelle voie l'eau superficielle peut-elle pénétrer dans le calcaire ?

Le calcaire compacte, tel que le sont nos calcaires devoniens et carbonifères, est une substance imperméable; il n'est pas assez poreux pour laisser passer l'eau par filtration. Le fait est évident; nous en avons la démonstration pratique chaque jour à la fois dans les chantiers, dans les pierres de taille des façades et plus spécialement sur les trottoirs de nos rues, bordés de dalles de calcaires de diverses sortes.

Comme toutes les roches et, en général, comme tous les corps, le calcaire est doué d'une certaine porosité. L'eau en remplit les pores, et cette eau est son *eau de carrière*. Elle fait que les blocs doivent être laissés un certain temps sur chantier, pour qu'ils puissent « suer », avant d'être utilisés.

Cette eau de carrière a une action qui se décèle par les recristallisations des tissus organiques, surtout des coraux, ou bien encore par la formation de la dolomie, due à la solubilité différente du carbonate calcique et du carbonate magnésique et, à l'élimination de l'excès du premier, ou bien aussi, comme l'a montré M. Daubrée, par les filets-blancs qui découpent les bancs et qui sont de petites fentes remplies, au cours des temps, de spath calcaire par le phénomène dit d'exsudation, etc.

Mais ce serait commettre une erreur de fait que de croire que la substance même des calcaires compactes est une matière filtrante, qu'ils peuvent donner issue aux eaux par leurs pores, car il faudrait alors confondre l'imbibition résultant de la propriété générale des corps d'être poreux, avec la filtration s'exerçant à travers les larges

interstices de certains corps pulvérulents ou caverneux, alors que ces calcaires ne sont ni l'un ni l'autre.

L'eau superficielle pénètre cependant dans l'intérieur des masses calcaireuses, mais elle le fait par de tout autres modes que par leurs pores, ainsi que nous allons successivement le voir.

Redressement et dislocations de nos terrains primaires.

Comme tous nos terrains primaires, les terrains schisteux et calcaireux ont été redressés. Leurs couches, primitivement horizontales, sont inclinées, atteignent souvent la verticale et même la dépassent, ainsi que cela a lieu notamment entre Jemelle et Rochefort; ils sont en outre souvent plissés et coupés de failles qui en changent l'allure.

Mais l'action la plus générale qui a accompagné le redressement, et dont M. Daubrée a établi la constance géologique, a été la formation des *diaclasses* ou fentes à travers bancs, qui n'interrompent pas la continuation du plan de ceux-ci.

Les diaclasses sont fort nombreuses et ont souvent la tendance à se croiser à angle droit, comme on peut surtout le voir dans les carrières et dans beaucoup de cavernes. C'est à elles qu'est due la division des masses calcaires en grands parallépipèdes par leur combinaison croisée avec un troisième plan, qui est fourni par la stratification.

Elles sont le phénomène stratigraphique qui doit attirer ici le plus spécialement notre attention, car c'est par cette voie que les eaux atmosphériques trouvent issue dans l'intérieur des masses et peuvent y creuser des cavités.

De sorte que, si les calcaires sont imperméables par leur substance, ils sont perméables par leurs fractures.

Le phénomène de redressement et de dislocation de nos terrains primaires a eu lieu entre l'époque houillère moyenne et l'époque triasique. Les couches du Trias reposent, au sud de l'Ardenne, en stratification horizontale sur nos couches primaires redressées.

Par conséquent, depuis le commencement de la période secondaire, nos calcaires se trouvent dans les mêmes conditions géologiques qu'aujourd'hui, relativement à l'action des eaux superficielles pouvant s'exercer sur eux.

Délitement des bancs.

Les couches affleurantes, qu'elles soient schisteuses, gréseuses ou calcaireuses, subissent le phénomène du délitement. Les joints de stratification et les petites fentes transversales des bancs entrecroisés,

non visibles dans les couches plus profondes et appelées *leptoclases* par M. Daubrée, sont élargis ; par là, les masses présentent extérieurement un aspect fissuré d'autant plus saillant qu'il ajoute beaucoup à leur côté pittoresque, surtout pour les rochers calcaires, auxquels nous nous en tiendrons.

Quand on observe des carrières ou des tranchées récemment ouvertes, on voit que les écartements de ces divers joints diminuent rapidement avec la profondeur. Dans les calcaires, généralement à moins d'un mètre dans l'intérieur de la masse, les bancs sont soudés, les *leptoclases* ne sont plus apparentes et, au lieu d'un amas fissuré superficiel que les ouvriers appellent « têtes de bancs » et qui est en quelque sorte à l'état de moellons, on se trouve devant des bancs soudés et continus, qu'interrompent seulement de longues diaclases et des cavités en relation avec elles. La roche s'est « renourrie » suivant une autre expression de métier et elle fournit de la pierre de taille.

Ainsi la partie délitée de ces roches calcaires est un mince placage. Elle est le résultat de l'action de la gelée sur l'eau de la surface qui pénètre entre les joints des têtes de roches et en provoque l'écartement.

Le phénomène n'est donc et ne peut être que superficiel. Les bancs, ne subissant bientôt plus cette influence, restent soudés et massifs, et l'eau ne sait plus y entrer. Elle rencontre un ensemble imperméable, à la fois par suite de la nature même du calcaire, comme nous l'avons vu plus haut, et de la jonction hermétique des bancs.

Il y a lieu d'insister sur cette donnée que toute carrière de calcaire met en évidence et qui n'est pas moins fondamentale pour notre sujet que la donnée chimique.

Les diaclases et leur rôle.

Cependant, si les calcaires ne donnent pas accès par délitement aux eaux de surface dans la profondeur comme ils le font dans leurs placages, les diaclases, ces longues fentes à travers bancs, dont toute carrière aussi montre des exemples, ne sont pas fermées.

Pour aider à la clarté de l'exposé, je joins ici le figuré de la carrière de Rochefort où la plupart des phénomènes sont bien en évidence. La figure 7 (p. 284) peut aussi être utilement consultée à ce point de vue.



Longueur env. 20 mètres.

(D'après une photographie de M. Rutot.)

Le calcaire est givetien. Il est formé de groupes de bancs remplis de Stromatopores, de Favosites et d'Alvéolites, alternant avec des groupes de bancs formés d'éléments coralliens détritiques sous les formes les plus variées. Les couches ont dépassé la verticale.

FIG. 1. — *La carrière de Rochefort.*

Les diaclases donnent lieu aux observations générales suivantes dont les relations de causes à effets se saisissent généralement à première vue :

1^o Tantôt elles restent près de la surface fort resserrées, tantôt elles s'épanouissent en entonnoirs et prennent des dimensions transversales de plusieurs mètres.

2^o Elles sont dans les divers cas bouchées sur presque toute leur longueur par des terres blocailleuses venant de la surface.

3° Leurs parois sont à contours fort irréguliers. Elles ont des surfaces de corrosion contrastant avec les surfaces extérieures de la roche, avec les surfaces de cassure et avec les surfaces baignées par les cours d'eau.

4° Leur caractère ordinaire est de présenter sur leur trajet en profondeur une suite de renflements et d'étranglements pour aboutir bientôt, si on peut les suivre à une distance suffisante de la surface, à des cavités de plus grandes dimensions, pouvant prendre le nom de grottes.

5° Dans ces grottes, se trouvent ordinairement aussi des matières terreuses souvent mêlées de blocaux, plus rarement de cailloux, ainsi que des stalactites et des stalagmites, et il y tombe de la voûte par les diaclases des gouttes d'eau qui viennent en beaucoup de cas augmenter, par leurs dépôts calcaires, ces stalactites et ces stalagmites.

Les diaclases passent ainsi de la simple fissure à des cavités étendues par toutes les formes et tous les intermédiaires, mais, quelles que soient leurs dispositions, toujours leurs parois sont corrodées comme si elles avaient été attaquées par un liquide acide.

6° Enfin, si on observe les modes de pénétration de ces diaclases, on voit qu'en définitive elles ont formé une série de canaux, une sorte de canalisation, souvent étagée, à travers bancs, que ces canaux, relevant chacun d'un système séparé de diaclases, restent souvent indépendants les uns des autres.

Nous arrivons ainsi à un troisième groupe de données, beaucoup plus compliqué que les précédents, car, s'il a sa cause propre, les deux autres causes viennent joindre leur rôle au sien pour créer un dispositif chimique admirable.

L'eau d'infiltration et ses effets.

Une roche, d'une part attaquable par les eaux acidules, comme le sont les eaux atmosphériques, d'autre part imperméable par sa nature même et par la masse de ses bancs reliés en profondeur, de troisième part découpée par de longues et profondes diaclases rapprochées, entrecroisées et pourvues d'un tampon de matières sablo-argileuses et blocailleuses, tel est l'appareil préparé pour les réactions d'un liquide à pouvoir dissolvant.

Nous allons voir son fonctionnement et ses effets.

1° Les eaux superficielles dissolvent et corrodent le calcaire, parce qu'elles sont chargées d'acide carbonique (22 milligrammes par litre).

Nous ne puiserons nos preuves de l'*activité de cette action* ni dans

des opérations de laboratoire, ni même dans les surfaces de corrosion caractéristiques que présentent les parois des diaclases et des cavernes. La formation des stalactites et des stalagmites nous en fournit la démonstration expérimentale.

Ces calcaires de grottes sont absolument différents des calcaires aux dépens desquels le phénomène a lieu. Ceux-ci sont des produits directs d'organismes. Ainsi le calcaire de la région Han-Rochefort est corallien ; il a été sécrété presque entièrement par des coraux dont on reconnaît les énormes amas et leurs détritits. Mais les stalactites et les stalagmites sont des calcaires chimiques, dissous par des eaux carboniques et mis lentement en liberté sous une forme cristalline particulière. C'est ce qu'on appelle des roches de seconde formation. Nous les voyons encore se produire sous nos yeux par les eaux de surface dégoutant limpides des diaclases dans les cavités et donnant néanmoins naissance à de forts dépôts calcaireux sous la forme de longs cônes ou de draperies à la voûte et sous celle de cônes aplatis ou de colonnes sur le sol.

Le pouvoir dissolvant des eaux de surface est par conséquent mis en évidence par le phénomène lui-même, et nous savons qu'elles ont ce pouvoir avant d'atteindre les diaclases.

2° Confirmativement, les eaux superficielles ont réellement cette *propriété de dissoudre le calcaire* et en conséquence d'agir sur lui comme un corrosif, puisque le phénomène de la formation des stalactites et des stalagmites ne se produit que dans les grottes du calcaire. Il est donc lié à la nature calcaireuse des roches où les cavités sont creusées.

De même dans les caves humides, sous les aqueducs, etc., il se forme souvent de petites chandelles de stalactites, dues à la chaux du mortier.

3° Les masses mêmes de ces calcaires chimiques, dont nous cherchons plus loin à évaluer l'importance dans la Grotte de Han, nous montrent la *puissance de corrosion* de telles eaux et l'étendue des ablations qui s'exercent de ce chef, encore de nos jours, dans les diaclases par lesquelles le liquide superficiel s'introduit dans les profondeurs.

4° Les calcaires ne sont pas chimiquement purs. Leur dissolution laisse un résidu d'argile que des analyses, faites à ma demande, il y a une dizaine d'années, par M. Klement, pour le service de la Carte géologique au 20.000°, porte de 1 à 5 p. c.

C'est à cette action qu'est due l'argile compacte rouge ou jaune, souvent lithomarge, dont on constate l'existence à l'extérieur dans des

fentes ou dans des creux du calcaire. Nous l'appellerons donc *argile de dissolution*.

Dans les cavernes, on la retrouve sur le fond, tantôt dans les creux en petites masses non proportionnées à la capacité de la cavité et par conséquent au volume de calcaire dissous, tantôt, comme dans le Trou des Nutons de Furfooz et dans le Trou de Chaleux, en amas épais, plus ou moins stratifiés, recouverts par les dépôts quaternaires et en rapport de volume avec les résidus qu'a dû donner la dissolution du calcaire de la cavité.

Sa présence est une nouvelle preuve, de valeur égale même à celle des calcaires chimiques, que la formation des cavernes est due à un phénomène de dissolution.

5° Lorsqu'on visite des grottes, on constate la *faible quantité d'eau d'infiltration* entrant par les diaclases et cependant sa pénétration par cette seule voie. De loin en loin, une goutte tombe de la voûte. Dans les petites cavernes que j'ai fouillées, ce n'était guère qu'en hiver seulement; dans les grandes, il en dégoutte à peu près toute l'année et généralement plus en été qu'en hiver. Pendant l'exploration des cavernes de la province de Namur, mes ouvriers ne furent incommodés en aucune saison par ces eaux. Lorsqu'ils travaillaient en hiver sous la diaclase d'une caverne, ils se bornaient à placer sur leurs épaules une peau de chèvre. Dans la Grotte de Freyr seule, ils durent en un endroit se protéger par un paillason.

Mais, quelle que soit la caverne, il n'y arrive à coup sûr annuellement qu'une fraction de millimètres d'eau d'infiltration.

6° Cette infiltration, lente et faible, est à rapprocher de la *présence des matières terreuses* qui bouchent les diaclases. Ces terres, argileuses ou argilo-sableuses, rapidement desséchées lorsqu'elles se trouvent dans le voisinage de la surface, restant partiellement humides toute l'année si elles descendent à une profondeur suffisante, s'imbibent pendant les pluies prolongées et, lorsqu'elles le sont à point, l'eau qui est en charge, s'en détache goutte à goutte et tombe dans la cavité, après avoir généralement dissout une quantité plus ou moins grande du calcaire des parois de la diaclase et des blocs enclavés dans la terre, proportionnellement au temps où elle a pu y séjourner.

Le fait que le dégouttement est, dans beaucoup de cas, plus fort en été qu'en hiver, nous fait apprécier le temps nécessaire pour que l'eau puisse traverser le tampon terreux qui obstrue la diaclase et par conséquent la durée de son séjour dans celle-ci.

7° On remarque que non seulement il n'y a *pas de formation de stalactites et de stalagmites dans toutes les cavernes*, mais encore

que, dans les cavernes les plus riches en calcaires de grottes, ceux-ci sont localisés et qu'en beaucoup de points, l'eau qui dégoutte ne donne pas lieu à des dépôts stalagmitiques.

Ces différences dans le pouvoir dissolvant des eaux d'infiltration me semblent ne pas devoir être attribuées à ce que ces eaux soient, dans un cas, peu chargées d'acide carbonique et qu'elles le soient davantage dans un autre, car ces eaux proviennent toutes de la même source.

Il y a plutôt lieu de rapporter le fait à la circonstance que, les diaclases étant obstruées par des terres argileuses et blocailleuses que les eaux doivent traverser pour arriver dans les cavernes, ces terres, suivant leur épaisseur, retiennent les eaux d'infiltration plus ou moins longtemps et, par conséquent, les laissent dissoudre plus ou moins de calcaire dans leur trajet.

De sorte que, quand les diaclases sont fermées par un épais tampon de terre, les eaux d'infiltration produiraient des calcaires chimiques en quantité notable, au lieu que, lorsque ce tampon est mince, elles en produiraient peu ou point.

8° Quant au fait que l'eau d'infiltration ne *s'introduit que par les diaclases*, il est prouvé matériellement par les nombreuses cavernes observées.

Le phénomène est le résultat de l'imperméabilité des masses calcaires et conséquemment de la seule possibilité pour ces eaux de pénétrer autrement que par cette catégorie de fentes appelées si justement diaclases par M. Daubrée.

9° C'est réellement par les *diaclasses que le liquide*, doué d'un pouvoir dissolvant, *s'est introduit* dans la masse calcaireuse et y a provoqué les ablations qui ont donné naissance aux cavernes.

On constate en effet que les galeries souterraines ont en général à la clef de voûte une fente de ce genre dont elles ne sont qu'un renflement et dont la *position*, en quelque sorte *directrice* de leurs allures, les relie mutuellement, comme l'est le col d'un récipient au récipient lui-même.

Tel est, d'après mes études, le fonctionnement de l'eau de pluies, agissant comme eau acidule, dans le remarquable appareil chimique disposé au cœur de nos rochers calcaireux (1).

(1) La connaissance de cette action des eaux atmosphériques dans la formation des cavernes ne s'est pas dégagée d'un seul coup par une analyse continue du phénomène. Je fus long temps avant de l'entrevoir, et les circonstances qui m'y amenèrent me paraissent réclamer un court-exposé historique, car elles ont eu une sérieuse influence sur les études géologiques dans notre pays.

Pendant mes fouilles paléontologiques et ethnographiques dans les cavernes de la

Cavernes résultant du plissement des couches.

Lorsque nos terrains primaires ont été plissés après le dépôt de notre terrain houiller, la disposition des couches qui en est résultée a subi beaucoup de cas divers, produits de conditions locales.

En général, les couches sont restées directement superposées et, sous la pression latérale intense à laquelle elles furent soumises, décrivirent de concert des plis synclinaux et anticlinaux de formes variées.

Dans les points où cette pression fut plus intense, des failles ou fractures avec dénivellations interrompirent la continuité des bancs, et on sait combien ce cas est fréquent.

Mais accidentellement des conditions inverses se présentèrent. La pression ne fut pas assez uniformément répartie pour maintenir les couches appliquées l'une contre l'autre, et il se produisit un vide entre elles. On en rencontre de loin en loin un exemple.

Ainsi, à Dinant, dans les rochers où se trouve la Grotte de Montfat, un plissement latéral à très faible rayon a laissé une cavité d'environ cinquante centimètres de largeur près de son centre, parce

province de Namur, de 1864 à 1872, la formation de ces cavernes par l'acide carbonique dissolvant le calcaire m'était apparue clairement, ainsi que ses corrélations avec les fentes directrices de leurs voûtes et avec les dépôts d'argile compacte gisant sur leur fond.

Seulement, mettant le phénomène non pas en rapport avec l'action et les propriétés de l'eau atmosphérique, mais avec des sources minérales, je prenais comme terme de comparaison les sources d'eaux acidules ferrugineuses de Spa, situées dans le même massif paléozoïque et qui passaient pour venir des profondeurs, suivant les vues géogéniques de cette époque.

Je pensais donc que des sources, chargées d'acide carbonique et tenant en suspension des matières argilo-ferrugineuses, s'étaient introduites des profondeurs par de longues fentes à travers bancs, avaient creusé sur leur trajet les cavernes dans les parties se prêtant le mieux à leur action, y avaient déposé leurs matières argileuses et même amené celles-ci sur les plateaux.

C'est ce que j'indiquai dans la suite de mes publications sur nos Troglodytes et je persévérerai dans cette manière d'envisager la question jusque vers 1880.

Mais, dans l'entretemps, une nouvelle orientation était donnée à un groupe de faits connexes par la découverte du rôle stratigraphique considérable des eaux atmosphériques, au moyen de leurs propriétés acides, dans de nombreuses catégories de nos roches meubles.

Vers 1874, M. Ernest Van den Broeck étudiait les roches calcaires éocènes des environs de Bruxelles, et son attention se portait particulièrement sur les poches singulières, remplies de sables sans calcaire, qu'on était porté à considérer comme des témoins de forts ravinelements par des dépôts ultérieurs.

que les couches ne se sont pas rejointes dans leur torsion. Le fait est très visible, et fut examiné avec grand intérêt par sir Charles Lyell dans la visite qu'il fit, en 1865, aux cavernes de la Lesse, rendez-vous à cette époque de nombreuses autorités de la science.

En 1878, M. Gosselet fit connaître que la Grotte de Tilff, sur l'Ourthe, est également le résultat d'un plissement anticlinal, de plus grandes dimensions, dont les couches ne se sont pas rejointes (1).

Le dessin ci-joint donnera une idée de cette curieuse disposition.

De temps en temps, on observe, dans les plis fortement accentués de ces terrains, des vides analogues plus ou moins larges entre des bancs qui ne sont pas restés en contact pour la même cause. Ces cas sont de véritables accidents que nous ne pouvons passer ici sous silence; mais ils ne peuvent être mis en parallèle avec les innombrables cavités produites par ablation chimique et dont les relations directes avec les diaclases sont indiscutables.

On remarquera que ces vides, produits par plissement, remontent inévitablement à l'époque de la dislocation de nos terrains primaires et sont ainsi à coup sûr antérieurs à la période secondaire.

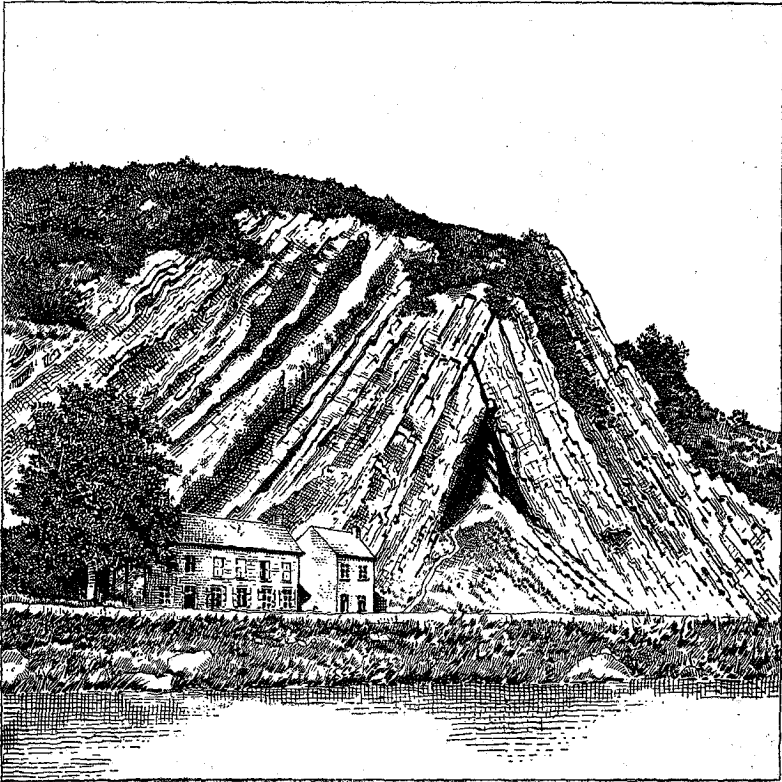
Il démontra que ces couches calcarifères ou non étaient un même dépôt dans lequel les eaux atmosphériques avaient localement dissout le calcaire qu'elles avaient transporté dans la nappe aquifère supra-yprésienne.

Ce fut le point de départ d'une importante série de recherches. Cette donnée des eaux atmosphériques acidules fut successivement appliquée par le même géologue aux dépôts miocènes et pliocènes d'Anvers où elle fut même étendue aux phénomènes de peroxydation du fer contenu dans la glauconie, puis au diluvium gris et au diluvium rouge du bassin de la Seine, aux puits de la craie et à l'argile à silex, enfin à la terre à briques qui surmonte nos limons quaternaires et qu'il montrait devoir sa composition et son aspect propre à la décalcification de la partie supérieure de ces limons par les eaux d'infiltration.

Il a exposé le fruit de ses études dans un travail étendu, publié en 1881 par l'Académie royale de Belgique sous le titre de *Mémoire sur les phénomènes d'altération des dépôts superficiels par l'infiltration des eaux météoriques étudiés dans leurs rapports avec la géologie stratigraphique*.

Ces découvertes de M. Van den Broeck sur le rôle géologique des eaux atmosphériques m'amènèrent à rejeter l'intervention des sources minérales acidules dans le creusement de nos cavernes et le dépôt des argiles subordonnées, et à donner aux eaux de pluies cette action que je définis en 1883 dans l'*Explication de la feuille de Dinant*. Ce fut également alors que j'appliquai la même donnée à l'interprétation du phénomène de la dolomitisation de nos calcaires.

(1) GOSSELET. *Le calcaire de Givet*, 3^e partie (Ann. de la Soc. géol. du Nord, t. VI, p. 19. 1878-1879).



(D'après une photographie de M. RUTOR.)

FIG. 2. — *La Grotte de Tilff,*

résultant d'une interruption dans la jonction des bancs de calcaires plissés.

Action chimique et action mécanique dans la formation des cavernes.

En envisageant superficiellement la question, on pourrait aussi se demander, surtout après avoir visité des grottes traversées par des cours d'eaux, si les cavernes, qu'elles servent encore ou non de canaux aux rivières, ne sont pas le résultat d'une action mécanique des eaux. Cette impression pourrait être renforcée par la vue du phénomène de tarudage des roches, qui donne naissance aux *Marmites de géants*. Il n'est donc pas inutile de traiter en quelques mots le sujet, de manière à prendre les devants sur une objection de cette nature.

1° Tout d'abord, on doit se rappeler que les *cavernes ne se trouvent pas dans les schistes*, mais bien dans les calcaires. Si elles étaient dues à l'action mécanique des eaux, elles se seraient beaucoup plus facilement formées dans les schistes, roche plus tendre, que dans les calcaires, roche beaucoup plus dure.

Le contraire a lieu. Les cavernes existent dans les calcaires, et le fait se met immédiatement en relation avec la substance de ceux-ci, qui est activement dissoute par les eaux superficielles. Elles n'existent pas dans les schistes dont la substance n'est pas accessible à cette dissolution.

2° On pourrait imaginer que les eaux d'un torrent, rencontrant une diaclase, s'y seraient précipitées, que, par *leur puissance mécanique* due à la pente, à la masse des eaux, au choc des cailloux roulés, elles auraient élargi la fente et formé le canal souterrain.

Mais on devrait remarquer :

Que cette action serait aussi plus intense dans les schistes, où les diaclases sont au moins aussi fréquentes que dans les calcaires, et elle n'y a pas lieu ;

Que les calcaires compactes sont l'une des roches les plus résistantes à l'action des eaux courantes, car les vallées, lorsqu'elles entrent dans un terrain de cette nature, se rétrécissent et s'encaissent d'ordinaire plus encore que dans les grès et les poudingues, à plus forte raison que dans les schistes.

3° Si on observe des *Marmites de géants* dans le fond des vallées torrentielles, que celles-ci soient en terrain gréseux, schisteux ou calcaireux, on n'en observe pas sur les flancs de ces vallées, car l'action de creusement mécanique a lieu verticalement et non latéralement.

4° Les cavernes ont principalement leur *extension dans le sens horizontal*, ce qui ne concorde pas avec une action mécanique des eaux courantes, celle-ci, qui a pour première cause la pesanteur, s'exerçant avec puissance verticalement par des cataractes ou par le choc des cailloux et formant dès lors des gouffres et des gorges au lieu de cavernes.

5° Les cavernes sont *loin de servir ou d'avoir servi toutes à des trajets souterrains de rivières*, témoins ces très nombreuses cavernes à issue unique, situées à diverses hauteurs sur les flancs des vallées et qui ne s'étendent que de quelques dizaines de mètres dans les masses rocheuses. Si elles renferment généralement des alluvions fluviales quaternaires, c'est qu'elles ont été baignées et non traversées par les courants d'eaux de cette époque, ainsi que nous le verrons ci-après.

6° Enfin, et sans que ceci épuise l'énoncé des preuves qui pourrait

être fait, les parois des cavernes, baignées par les eaux de rivières, ne présentent pas une suite de rainures horizontales et parallèles, comme elles le feraient si elles avaient été usées par des eaux courantes.

Elles ont avant tout un modelé en larges et irrégulières concavités de *corrosion chimique*, comme le sont les parois des diaclases où les eaux courantes n'ont pas accès. C'est là que se trouve la véritable relation de leurs caractères.

Deux faciès différents de celui-là apparaissent secondairement, et nous aurons à y revenir plusieurs fois. Quand des parties de parois se sont écroulées, les parois offrent en ce point des surfaces de cassure et non plus des surfaces corrodées. Quand une caverne est baignée continuellement ou temporairement par des eaux courantes, les corrosions à larges concavités de ses parois sont en outre parsemées de petits creux comme des godets. Ce nouveau modelé est le résultat d'une action chimique aidée par le mouvement des petites vagues, et les parois offrent alors des surfaces dites de clapotage.

A tous points de vue, l'action mécanique doit être écartée comme phénomène générateur de ces cavernes. Loin d'avoir un rôle dans la formation des cavités, les eaux courantes vont nous montrer leur rôle opposé, celui de les remplir.

Durée géologique des actions corrosives.

Les cavités sont innombrables dans les calcaires, et nous savons qu'elles peuvent atteindre des dimensions colossales.

En constatant les faibles quantités d'eaux superficielles qui pénètrent dans les diaclases et qui ne sont pas toujours capables, si elles y traversent un tampon terreux trop peu épais, d'y dissoudre du calcaire, on est naturellement porté à se demander comment une cause de si faible action a pu produire des ablations aussi considérables que la Grotte de Han et tant d'autres cavernes de nos calcaires.

D'autres causes ne sont-elles pas intervenues, ou, à leur défaut, le phénomène ne fut-il pas antérieurement plus intense qu'aujourd'hui ?

Nous avons vu (*ante*, p. 198), à propos du redressement de nos terrains primaires, que nos calcaires se trouvent, quant à leur cohérence, à l'allure et à la soudure de leurs bancs, au découpage par des diaclases, dans les mêmes conditions qu'actuellement depuis le commencement de l'époque secondaire.

En conséquence, à partir de l'époque triasique, à travers les époques jurassiques, crétacées, tertiaires, quaternaires et jusqu'à nos jours, ces calcaires comprimés et relevés, dans l'état où ils se présentent à nous,

ont été appelés à subir l'action des eaux superficielles, et celles ci, venant de l'atmosphère, s'y chargeaient d'acide carbonique au même titre qu'aujourd'hui.

Ainsi, pendant cette énorme durée, ces roches ont subi la même action de ces eaux acidules; depuis le début de l'ère secondaire, les eaux superficielles s'infiltrèrent dans leurs diaclases, en dissolvent les parois, les corrodent sur leur trajet, aussi bien que les blocs des terres remplissant ces fentes, et leur action corrosive s'exerce avec plus ou moins d'étendue suivant probablement, comme nous le verrons, le plus ou moins grand découpage des couches.

Ablations chimiques dans l'intérieur de nos masses calcaireuses depuis l'époque triasique.

Dans quelle mesure pourrions-nous tenter d'apprécier numériquement l'amplitude de ces dissolutions?

1^o Comme dans un grand nombre de cavernes, les stalactites et les stalagmites de la Grotte de Han, la plus riche de nos grottes connues en calcaire chimique, *augmentent constamment*; en certains points, les eaux d'infiltration y sont assez chargées de calcaire pour être incrustantes. Les guides disent avoir observé sur quelques masses que la stalagmite croît de 1 millimètre en deux ans et demi.

Nous établirons plus loin que, là comme dans les autres cavernes, ces calcaires stalagmitiques ne se sont formés que depuis l'époque quaternaire.

Je ne sais guère évaluer, d'accord avec M. Lannois, le chef-guide de la Grotte, à plus de 1500 à 2000 mètres cubes le volume des stalactites et des stalagmites des galeries connues de cette énorme cavité, soit à douze ou quinze cubes de cinq mètres de côtés, volume qui correspondrait à une nappe uniforme de quatre à cinq centimètres sur toute l'étendue du souterrain. Il représenterait l'ablation du calcaire par dissolution sur les parois ou sur les blocs des diaclases de la caverne à partir de la fin de l'âge du Mammouth.

2^o Il n'est pas impossible d'arriver à une sorte d'*estimation de la capacité des excavations* dans la même grotte.

Les galeries, figurant au plan (pl. XIII, fig. 1), ont une longueur de 4200 à 4500 mètres. Certains calculs, sur lesquels nous reviendrons, conduisent à considérer comme admissible une ablation pouvant aller au minimum à 1 million de mètres cubes, soit, comme chiffre global, 500 fois supérieure au remplissage opéré par le calcaire chimique.

En admettant ces données, si l'on tient compte du volume des corrosions dénotées par les dépôts de calcaires chimiques depuis l'époque quaternaire, on peut concevoir qu'au cours des temps, depuis l'époque triasique, l'action des eaux superficielles ait, par sa continuité, opéré les dissolutions bien plus importantes qui ont produit nos grandes cavités. Si nous voyons en effet les minces pellicules annuelles de matières stalagmitiques qui, dans les endroits où le dépôt est le plus actif, n'atteignent qu'une fraction de millimètre, engendrer, en un court temps géologique, les masses de calcaires chimiques de la Grotte de Han et nous donner une idée assez nette du volume dissous dans les diaclases, quelle impression ne recevons-nous pas de l'importance de la masse qui a dû se dissoudre à partir de l'époque secondaire ?

Le processus de la cause paraît surtout proportionné à l'effet, quand on met en parallèle la marche du développement des faunes pendant les mêmes temps.

Nous observons une évolution prodigieusement accentuée dans les formes animales et végétales durant les époques secondaires et tertiaires, puis, à partir de ces temps, les espèces sont comme inertes. Les nombreuses formes de l'époque quaternaire qui ont persisté jusqu'à nous, restent si sensiblement les mêmes que nous leur conservons le nom des espèces de notre temps ; aucune espèce nouvelle n'est connue comme ayant apparu depuis cette époque, et cependant les mêmes causes modificatrices sont restées manifestement en jeu.

On voit dans cette donnée une des preuves saillantes de la faible durée des temps depuis l'époque quaternaire, relativement à leur énorme durée pendant les époques précédentes. Personne ne songera à contester la justesse de la déduction vers laquelle convergent du reste toutes les investigations de la géologie dans ses diverses voies.

Nous ne devons pas nous étonner, en suivant le même ordre d'idées, que les ablations intérieures, produites depuis l'époque triasique, puissent être évaluées dans la Grotte de Han, comme étant au moins un demi-millier de fois plus grandes que celles qui y ont eu lieu depuis l'époque quaternaire.

B. REMPLISSAGE DES CAVERNES ET SES MODES.

Les cavernes et les actions métallifères.

Si nous voyons que, dans beaucoup de cavernes, les phénomènes chimiques se sont bornés à des effets de dissolution et assez souvent à une accumulation partielle des produits de la dissolution, nous remarquons aussi que d'autres actions chimiques ont eu lieu dans certaines

diaclasses, cette fois pour en opérer le remplissage, et précisément le phénomène s'est produit dans la région Han-Rochefort.

Les actions chimiques n'y ont pas consisté seulement en un simple phénomène de corrosion, qui élargit les parois des diaclasses, y creusa des cavernes, y abandonna un résidu d'argile et, dans les derniers temps géologiques, reconstitua la roche dissoute sous la forme de calcaire chimique.

Toutes les diaclasses ne sont pas non plus obstruées seulement par des matières meubles argilo-sableuses et blocailleuses entraînées de la surface.

L'élargissement des diaclasses et la corrosion des cavernes sont des phénomènes connexes avec les filons métallifères qui en ont rempli quelques-unes. C'est aussi dans des diaclasses avec renflements et étranglements à la surface ou en profondeur, avec des parois semblablement corrodées, que se trouvent les minerais en filons, surtout nos minerais sulfurés, zinc, plomb et fer.

Leur production est un phénomène ancien qui nous reporte à des époques pré-quaternaires.

Je puis en donner deux genres de démonstrations.

Dans les diaclasses d'où on a extrait des minerais sur divers points du pays, les minerais étaient en connexion avec des petits cailloux roulés blancs qu'on observe sur le sol au milieu des détritiques de l'exploitation. Nous savons que les cailloux de cette sorte dénotent sur nos terrains primaires la présence d'un dépôt de sable tertiaire. Il est probable qu'ici le minerai était recouvert par un amas de ces sables à cailloux blancs.

J'ai, d'un autre côté, observé près de Couvin, au fond d'une diaclasses visible en coupe dans le Calcaire à calcéoles, de la limonite provenant de l'altération de pyrites. Elle était recouverte par une terre argilo-sableuse avec petits cailloux roulés, et celle-ci l'était à son tour par une petite couche de stalagmite. Or nous remarquerons plus loin les connexions de ce calcaire chimique avec l'époque quaternaire.

Les filons métallifères nous montrent que les actions de dissolution dans nos roches calcaireuses à travers les temps se sont parfois combinées à des actions chimiques complexes, et que, si elles sont dues à des eaux superficielles arrivant aux diaclasses, ces eaux n'étaient pas toujours simplement acidules et par là corrosives, mais qu'elles étaient aussi localement minéralisées et pouvaient les remplir de minerais.

C'est à peu près tout ce que nous avons à dire ici sur cette autre question compliquée, car nos filons métallifères ont cessé d'être exploités et ne donnent dès lors plus occasion à des observations précises.

Époque du creusement des vallées.

Un phénomène saillant, d'un tout autre ordre, qui ne s'était produit ni à l'époque secondaire, ni à l'époque tertiaire, eut lieu à l'époque quaternaire, pendant l'âge du Mammouth.

Il a eu sur l'histoire des cavernes une influence considérable et en a en quelque sorte changé la face, car c'est alors que leur remplissage a commencé à s'opérer d'une manière générale et sur une grande échelle par des phénomènes extrêmement variés.

Antérieurement à l'âge du Mammouth, il y avait évidemment des cours d'eau puissants. Les faits le prouvent. Mais ces cours d'eau ne coulaient pas dans des vallées profondes et encaissées comme aujourd'hui.

Nos vallées se sont creusées pendant l'époque que je viens de rappeler et, sans entrer ici dans des démonstrations stratigraphiques variées, je me bornerai à invoquer une preuve paléontologique qui paraît sans réplique.

De nombreuses cavernes ont été fouillées dans nos régions dans un but scientifique. Les restes d'animaux, représentant les faunes à partir de l'âge du Mammouth, y ont été abondamment rencontrés, mais *jamais* on n'y a découvert le moindre débris de nos faunes qui y auraient vécu aux époques secondaires et tertiaires (1).

Il n'est cependant pas admissible que les carnassiers au moins de ces temps antérieurs, dont les congénères hantent aujourd'hui les cavernes dans toutes les parties du monde, n'eussent pas établi, comme le firent leurs successeurs sur une si grande échelle à partir de l'âge du Mammouth, leurs retraites dans l'un ou l'autre de ces souterrains, si ceux-ci n'avaient été en communication avec l'extérieur, comme ils le sont précisément depuis cette époque quaternaire.

Le nombre de nos cavernes qui ont servi de repaires à l'*Hyæna crocuta*, à l'*Ursus spelæus* et au *Felis leo*, aux deux premiers surtout, est en effet fort grand, et celles qui ont été utilisées et le sont encore par nos blaireaux et par nos renards, sont plus nombreuses encore.

L'homme, de son côté, les occupa dès le commencement de l'âge du Mammouth et les adopta alors comme demeures jusqu'à la fin de l'époque quaternaire; ce qui fait que j'ai pu appeler Troglodytes les populations de nos régions montagneuses de ces temps.

(1) Des polypiers du Grès vert de Vouziers, des coquilles éocènes de Courtagnon-près de Reims, etc., ont été introduits, dans leurs demeures souterraines, par les Troglodytes de la Lesse inférieure et d'ailleurs, comme objets de parure.

C'est donc en concordance avec une époque précise que nos cavernes ont commencé à être habitées, et l'exclusion de tous restes organiques plus anciens, dans les cavernes fouillées depuis Schmerling jusqu'à présent, c'est-à-dire depuis plus de soixante-dix ans, nous annonce clairement qu'elles ne furent accessibles qu'à partir de cette époque même.

Comme leur ouverture se trouve sur les flancs des vallées ou sur les plateaux, aux abords immédiats de celles-ci, où l'action du creusement s'est aussi fait sentir à cette époque, nous trouvons, pour cette question encore, une relation de cause à effet.

Les vallées, en se creusant, ont mis, à l'âge du Mammouth, en communication avec le dehors, les cavernes qu'elles rencontraient sur leur trajet, ce qui amena une transformation complète dans les conditions de ces cavernes : de première part, l'habitation de ces souterrains par les carnassiers cavernicoles et par l'homme qui fit précisément son apparition dans nos localités à cette époque; de seconde part, le dépôt des calcaires dissous sous la forme de calcaires de grottes, ainsi que nous allons le voir; de troisième part, l'accès des eaux fluviales pour y former des dépôts d'alluvions et y prendre des cours souterrains.

Mais ce qu'il importe de retenir avant tout, c'est que le phénomène qui produisit ces nouvelles conditions eut lieu à une époque déterminée et récente : l'âge du Mammouth.

Antériorité des cavernes par rapport au creusement des vallées.

A première vue, cette question, d'après ce qui vient d'être dit, pourrait paraître oiseuse. Cependant plusieurs faits intéressants s'y rattachent et peuvent difficilement être écartés.

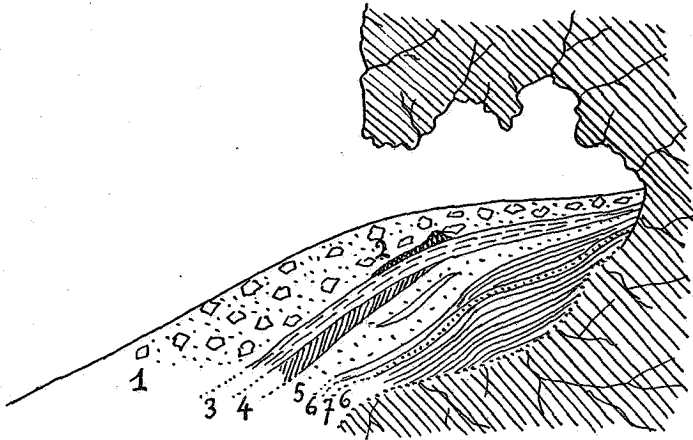
Il résulte en effet, comme conséquence immédiate de ce qui a été rappelé, que la Lesse à Han, la Lomme en amont et en aval de Rochefort, la Wamme à On et, en général, les nombreux cours d'eau qui se trouvent dans leur cas, n'ont pris leur cours souterrain au plus tôt que pendant l'âge du Mammouth, dans les conditions où ils le font au moins aujourd'hui, car ils s'engouffrent dans le fond même des vallées, c'est-à-dire dans les points qui datent de la fin du creusement de celles-ci.

Ce que nous avons vu du mode d'origine des cavernes et des conditions où se trouvent nos calcaires depuis des époques géologiques fort reculées, puis le fait de leur habitation immédiate par les carnassiers et par l'homme à partir de cet âge du Mammouth le dénotent clairement.

Mais on peut se demander quels phénomènes se passaient dans les cavernes, lorsqu'elles étaient fermées de tout côté, n'étant en communication avec l'extérieur qu'au moyen des diaclases par lesquelles s'introduisait l'agent corrosif.

Nous avons vu (p. 202) que l'exploration méthodique des cavernes de 1864 à 1872 fit connaître que leur paroi inférieure portait toujours, sous les dépôts quaternaires, des traces plus ou moins étendues d'argile compacte jaune ou rouge, et que celle-ci est le produit de la dissolution totale du calcaire, se rattachant ainsi à la formation même des cavernes.

Le Trou des Nutons de Furfooz présentait cette argile sous un aspect très caractéristique.



Échelle : 0^m 002 pour 1 mètre.

1. Terrain de forme détritique. Restes ethnographiques de l'âge du Renne à la base.
2. Amas de stalagmite sous la diaclase.
3. 4 5. Alluvions de l'âge du Mammouth.
6. Argile de dissolution.
7. Sable quartzeux.

FIG. 3. — Coupe du Trou des Nutons de Furfooz.
(Bull. de l'Académie roy. de Belg., 2^e sér., t. XX, p. 824. 1865.)

Sur la paroi inférieure de la caverne, s'étendait une masse d'argile lithomarge rouge, rarement jaune, épaisse de plusieurs mètres, et sans aucune trace de restes organiques. Cette argile de dissolution était stratifiée irrégulièrement, présentait même quelques lits interposés de

sables venus probablement par la diaclase ; dans la masse se trouvaient des concrétions calcareuses, comme celles qu'on rencontre souvent dans le limon quaternaire.

Les mêmes observations se sont renouvelées dans le Trou de Chaleux.

Il en résultait que ces deux cavernes renfermèrent d'abord de l'eau stagnante et, par conséquent, qu'elles étaient d'abord des cavités fermées, qu'ainsi l'argile de dissolution se stratifia et que le calcaire des eaux d'infiltration, au lieu de former des stalagmites, se déposait en concrétion dans cette argile, parce qu'il tombait dans un milieu liquide.

Or cette argile s'était formée et déposée à la fois avant le creusement de la vallée de la Lesse, car elle était recouverte par les alluvions fluviales quaternaires, et avant l'âge du Mammouth, car ces alluvions quaternaires, d'après leurs ossements, sont de cet âge.

Le Trou des Nutons et le Trou de Chaleux étaient donc creusés avant cette époque dans les formes et dimensions qu'ils ont aujourd'hui, à coup sûr jusqu'à la hauteur de ces dépôts et même jusqu'à la hauteur des alluvions qui allaient s'y superposer, et ils l'avaient été pendant une longueur de temps en rapport avec l'ablation qu'ils représentent et avec l'épaisseur du dépôt de l'argile de dissolution.

Ils nous mettent en mesure de nous rendre compte de l'allure des phénomènes qui se produisaient dans les cavernes jusqu'au temps où le creusement des vallées vint leur donner ouverture.

Époque de la formation des stalagmites.

Une autre série de données sur la même question est fournie par les stalagmites.

Nous venons de voir que le calcaire des eaux d'infiltration est à l'état de concrétions éparses dans l'argile stratifiée de dissolution du Trou des Nutons et du Trou de Chaleux.

Par contraste saillant, il avait formé, entre les alluvions de l'âge du Mammouth et les dépôts de l'âge du Renne du Trou des Nutons et sous sa diaclase directrice, un amas épais d'environ 2 mètres cubes avec colonne de stalagmite d'une grande pureté, témoin que l'eau d'infiltration continuait alors, comme elle le fait du reste encore, son rôle de corrosion et par conséquent l'accroissement en hauteur des dimensions de la cavité.

Dans aucune caverne, je n'ai observé de stalagmite au-dessous des dépôts quaternaires et, si mes souvenirs me servent, la même obser-

vation a été faite en Angleterre vers l'époque où je faisais mes recherches.

Nous verrons plus loin que, dans la Grotte de Han et dans la Grotte de Rochefort, les nappes de stalagmites sont superposées aux alluvions fluviales et aux puissantes coulées de boues pierreuses des aiguigeois ; nous verrons confirmativement qu'on n'a pas observé que l'ordre inverse a lieu.

Mais il arrive au contraire que des manteaux de stalagmites divisent les couches fluviales quaternaires en niveaux distincts, à la manière des lits ossifères. Le cas s'est notamment présenté dans le Trou de la Naulette. Nous avons ainsi la preuve que le phénomène de la formation des calcaires de grottes, tandis qu'il ne se révèle pas comme s'étant produit avant la mise en communication des cavernes avec l'extérieur, a été actif dès que cette communication s'est trouvée établie.

On peut en déduire une corrélation étroite entre les circonstances permettant la formation des stalagmites et le phénomène qui donna ouverture à la cavité. Cette corrélation pourrait se formuler ainsi : le calcaire en dissolution dans l'eau d'infiltration n'a pu s'isoler de celle-ci que quand, par la mise en communication de la cavité avec l'extérieur par suite du creusement des vallées, l'air du dehors a eu action sur ces eaux calcaireuses pour aider à l'évaporation de l'excès d'acide carbonique.

En d'autres termes, j'y vois un phénomène de saturation. L'atmosphère de la cavité, étant saturé de ce gaz, maintenait en solution le bicarbonate calcique et, en empêchant sa décomposition, empêchait par le fait le dépôt du calcaire de grottes.

Ce phénomène de saturation a encore eu lieu quelquefois après le creusement des vallées, mais il se manifeste alors sous la forme curieuse d'amas de tufs.

Amas de tufs.

Les amas de tufs que l'on rencontre assez fréquemment sur les flancs calcaires des vallées, et dont les plus connus chez nous sont ceux de Marche-les-Dames et de Rouillon, sont au plus tôt de l'époque quaternaire.

Ils sont le produit de sources et conséquemment se présentent à l'orifice de cavernes à cours d'eau. Je me rends compte du phénomène de la manière suivante : dans quelques-unes de celles-ci, par suite de dispositions particulières, telles que des issues fort étroites, etc., les eaux

d'infiltration, chargées de calcaire dissous, se trouvent en présence de l'acide carbonique saturant le vide de la cavité. Tombant dans le cours d'eau souterrain, elles y laissent le calcaire à l'état de bicarbonate. Mais, lorsque le cours d'eau, renfermant à son tour le sel dissous, arrive à l'air libre à l'état de source, l'obstacle à l'échappement du gaz en excès n'existant plus, le calcaire se précipite, et il se crée un amas de tuf, forme sous laquelle la production du calcaire a alors lieu.

M. l'ingénieur Walin nous a fait connaître des tufs en formation dans des conditions fort intéressantes. Lors de la canalisation de la Meuse, on observa des sources sous eau et elles donnaient naissance à des dépôts tufacés, ce qui concorde bien avec ce qui vient d'être dit des dispositions intérieures des cavernes à tufs, puisqu'ici l'acide carbonique libre est manifestement tenu sous pression dans les canaux souterrains par la colonne d'eau de la Meuse.

Cavernes échelonnées sur les flancs des vallées.

Ce sont ces cavernes qui fournissent une si abondante moisson d'objets paléontologiques et ethnographiques de l'époque quaternaire. Aussi les a-t-on souvent appelées *Cavernes à ossements*.

Étagées à diverses hauteurs sur les flancs des vallées, elles présentent avec constance de l'argile de dissolution surmontée d'alluvions fluviales quaternaires.

La coupe du Trou des Nutons, figurée p. 215, nous fournit un bon exemple des matières de remplissage de ces sortes de grottes.

1^o Nous avons déjà parlé (p. 202 et p. 215) de l'argile de dissolution. Elle nous a apparu comme le résidu de la dissolution du calcaire et, par conséquent, comme un résultat de la formation même de la caverne avant l'époque quaternaire. Nous n'avons plus à nous étendre ici à son sujet.

2^o Le dépôt d'alluvions fluviales quaternaires est, à tous égards, le dépôt le plus important des cavernes.

Il en est d'abord le plus constant.

Quand la caverne est largement ouverte et qu'elle est orientée vers l'amont, il commence par un dépôt, parfois épais de plusieurs mètres, de cailloux roulés formés par les roches quartzieuses que la vallée traverse.

Quand l'ouverture de la caverne est étroite ou orientée vers l'aval, ce dépôt caillouteux n'existe pas. Mais, dans un cas comme dans l'autre, on rencontre des alluvions limoneuses, généralement stratifiées, généralement aussi s'amincissant de l'entrée vers l'intérieur.

Ce dépôt de limon se divise, en niveaux superposés, par des lits ossifères de l'âge du Mammouth, parfois au nombre de sept. Il arrive que le lit ossifère soit remplacé par une nappe de stalagmite, et aussi que les deux se combinent sous la forme d'une brèche osseuse.

L'interprétation de ce dépôt et des circonstances compliquées qui l'entourent, se fait sans peine par le creusement des vallées.

Il remonte en effet à l'époque de ce creusement, alors que les cours d'eau approfondissaient leur lit jusqu'au point où, pour chacun d'eux, nous le voyons s'étendre aujourd'hui au-dessous des alluvions des berges.

Car les alluvions fluviales des cavernes à ossements sont les mêmes que les alluvions fluviales, déposées par les fleuves sur les flancs des vallées pendant qu'ils façonnaient celles-ci.

De même, cette formation des vallées remonte, comme nous l'avons vu (p. 213), à l'âge du Mammouth.

Le creusement fut successif, de telle sorte que, le lit des cours d'eau s'abaissant depuis les plateaux, leurs eaux baignèrent successivement les flancs des vallées de haut en bas et, en même temps qu'elles y déposaient des alluvions, elles en déposaient aussi dans les cavernes qu'elles rencontraient et qu'elles avaient ouvertes.

Lorsque, par les progrès du creusement, les eaux se retiraient du souterrain, la caverne était d'abord souvent habitée par l'hyène qui était abondante dans ces régions et qui y laissait, en même temps que ses coprolithes (1), ses propres ossements et ceux d'autres espèces, surtout du rhinocéros, apportés et rongés par elle.

Mais, les cours d'eau quaternaires étant comme les nôtres soumis à des crues répétées, les eaux revenaient à plusieurs reprises dans les cavernes qu'elles avaient abandonnées, et y déposaient de nouvelles couches de limon jusqu'à ce que leur lit fût suffisamment approfondi pour qu'elles ne pussent plus les atteindre.

Dans les intervalles de ces crues, la caverne redevenait habitée par les hyènes, les ours et quelquefois par les lions, auxquels succédait bientôt l'homme avec ses armes, ses outils, ses ornements et les innombrables restes de ses repas.

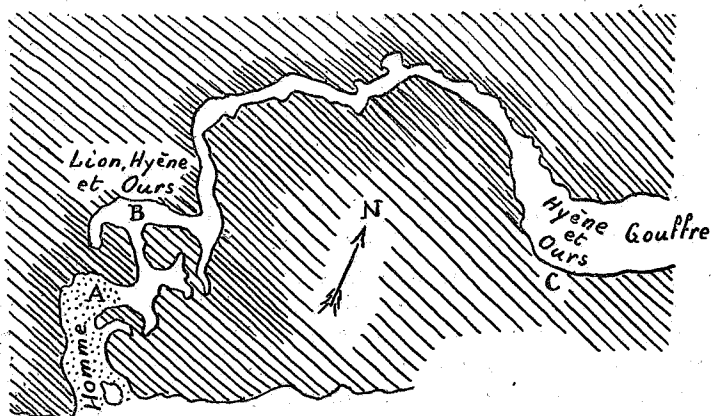
Mais les carnassiers, cherchant dans les cavernes une retraite, ne

(1) Les excréments de l'hyène sont en forme de boules d'environ trois centimètres de diamètre. Comme elle ronge beaucoup d'os, le phosphate calcique de ceux-ci forme une partie notable de ces excréments qui se conservent par là dans les cavernes. Buckland fut le premier à faire cette observation, il y a environ trois quarts de siècle.

restaient pas vers l'entrée; ils préféraient les recoins obscurs, les galeries détournées, distantes de l'ouverture, où ils trouvaient les ténèbres. C'est en ces points que surtout se rencontrent, dans les couches inférieures du limon, les amas de restes de ces animaux.

L'homme, au contraire, ne cherchait qu'un abri et aimait la lumière. Aussi, par grand contraste, c'est vers l'entrée qu'on rencontre, dans les couches supérieures du limon, les restes de son séjour.

Je reproduis ici le plan de la caverne de Goyet (vallée du Sanson, province de Namur) située à 15 mètres au-dessus du cours d'eau et où ces distributions d'ossements étaient particulièrement bien marquées.



Echelle de 1mm par mètre.

- A. Restes de l'habitation de l'homme dans les couches supérieures du limon de l'âge du Mammouth.
- B. Restes de squelettes d'hyène, de lion et d'ours dans les couches les plus inférieures.
- C. Restes de squelettes d'hyènes, restes de ses repas; nombreux squelettes d'ours dans le limon intermédiaire.

FIG. 4. — *Plan de la caverne de Goyet,*

destiné à montrer les différences d'emplacements habités successivement par les grands carnassiers et par l'homme quaternaires (1).

(1) E. DUPONT. *L'Homme pendant les âges de la pierre*, 2^e éd., p. 106. 1872. La question des associations d'ossements de divers carnassiers qui habitèrent cette caverne et dont on trouve les squelettes dans un même niveau ossifère, y est longuement examinée. On pourra aussi consulter sur nos cavernes à ossements mes communications au Congrès préhistorique de Bruxelles (1872, pp. 110 et 214).

3° Un troisième dépôt, cette fois blocailleux et sans doute d'origine détritique, recouvre les restes de l'âge du Renne, autre époque quaternaire qui suivit l'âge du Mammouth. Mais il est moins constant que les précédents et il ne s'est montré clairement que dans le Trou des Nutons et le Trou du Frontal de Furfooz, dans le Trou de Chaleux et dans le Trou de Montaigle.

Par conséquent, dans les cavernes les plus propres à des recherches paléontologiques et ethnographiques, nous rencontrons des phénomènes bien nets de remplissage, rapportables à des causes précises et échelonnées dans le temps.

Si, à l'argile de dissolution, aux alluvions ossifères de l'âge du Mammouth tantôt caillouteuses et limoneuses, tantôt seulement limoneuses, et au dépôt ossifère blocailleux de l'âge du Renne, nous ajoutons les stalagmites dont il a déjà été parlé, et les roches éboulées dont il sera question plus loin, nous aurons énuméré les éléments ordinaires de remplissage de ces cavernes.

Ils témoignent donc des actions suivantes :

1° par l'argile de dissolution et par les nappes de stalagmites, du phénomène de dissolution du calcaire et par conséquent du mode de formation de la cavité ;

2° par les alluvions fluviales quaternaires, — alors que la caverne se trouve hors des atteintes du cours d'eau actuel, et que ces alluvions renferment en niveaux étagés des restes de l'âge du Mammouth, — du phénomène du creusement des vallées et des crues répétées du cours d'eau ;

3° par le dépôt blocailleux, d'un lent phénomène détritique qui a succédé aux précédents ;

4° par la masse parfois considérable des restes du squelette des grands carnassiers quaternaires et des témoins du séjour des Troglodytes, de la longue habitation de beaucoup de ces cavernes à l'âge du Mammouth et à l'âge du Renne.

Mais, à côté des cavernes dites à ossements, il s'en trouve d'autres dont le paléontologiste et l'ethnographe s'écartent avec soin. Ce sont les cavernes à coulées de boues et les cavernes à cours d'eau. Elles renferment aussi, dans bien des cas, des dépôts quaternaires parfois ossifères, mais d'ordinaire accessibles seulement au prix de grands déblais infructueux, car les dépôts, produits par les aiguigeois et par les cours d'eau actuels, les recouvrent, sont souvent considérables et ne renferment pas d'ossements ni de restes de l'industrie humaine.

Les rôles des eaux de pluies.

L'eau qui tombe sur nos plateaux calcaires, y rencontre très localement le rocher à nu.

Dans nos bandes de calcaire carbonifère, la roche est couverte sur de grands espaces de sables tertiaires en nappes et en poches, comme je l'ai établi par mes levés pour la carte géologique au 20.000^e (1).

Dans les bandes de calcaires devoniens, ces dépôts sableux n'existent qu'exceptionnellement et sur une échelle négligeable (2).

Mais la nappe normale des terrains meubles superficiels est plus uniforme.

1^o Le sol est formé ordinairement par une terre plus ou moins argileuse et blocailleuse, de faible épaisseur, qui a pénétré dans les joints de délitement, dans les poches superficielles, ainsi que dans les diaclases.

Cette terre, détritique ou alluviale (3), est fort apte à l'*imbibition* et, comme elle se dessèche rapidement, elle absorbe beaucoup de pluie après un court intervalle de sécheresse. Mais, dès que l'*imbibition* est complète, l'eau en excès ruisselle et coule vers les ravins.

2^o Par les pluies d'orage, la pluie, n'ayant pas le temps de pénétrer toute la couche de terre, ruisselle, s'écoule en grande quantité dans les dépressions de la surface qu'elle ravage souvent, et va former des *torrents* dans les ravins, ainsi que dans les vallées sans eaux et appelées *chavées* dans le pays. Elle entraîne les terres qu'elle dépose plus loin sous la forme d'alluvions.

Le phénomène n'est pas moins ostensible à la fonte des neiges ou après les pluies prolongées, car, à ces moments, les *chavées* sont des vallées à cours d'eau.

(1) On pourra voir l'extension de ces sables dans les feuilles au 20.000^e de *Ciney*, *Natoye*, *Dinant*, *Modave* et *Clavier*, qui ont paru de 1882 à 1885.

(2) Voir également les feuilles au 20.000^e de *Durbuy*, de *Marche* et de *Sautour* qui ont paru en 1885, mais sans leur texte explicatif, dont le gouvernement n'a pas autorisé la publication.

(3) Elle a été, sous ces deux aspects séparés, figurée sur ces feuilles et décrite dans les textes explicatifs livrés à l'impression. Pour les alluvions des plateaux dues au ruissellement, j'ai spécialement publié: Sur les alluvions torrentielles qui se déposent de nos jours sur les plateaux de l'Entre-Sambre-et-Meuse et du Condroz (*Bulletin de l'Académie royale de Belgique*, 2^e sér., t. XLVII, p. 643. 1878); Les pluies dans leurs relations avec des dépôts géologiques bien définis (*Bulletin de la Société belge de géologie*, t. IV, p. 176. 1890). Importance agricole des dépôts produits sur les plateaux par les pluies d'orage (*Journal de la Société centrale d'agriculture de Belgique*, t. 51, p. 129. 1894).

3° Nous avons déjà vu (p. 203) comment les terres remplissant les diaclases, lorsqu'elles sont saturées, laisse passer un peu d'eau lentement, goutte à goutte. Cette *eau d'infiltration* produit le phénomène de la corrosion des cavités et corrélativement celui de la formation de l'argile de dissolution, des stalactites et des stalagmites. Elle a alors un rôle chimique.

4° Nous allons voir que les *eaux de ruissellement*, sous leurs diverses formes, réagissent elles-mêmes sur les cavernes, s'y introduisent suivant des modalités variées et, par les terres qu'elles entraînent en vertu de leur pouvoir mécanique, y forment des dépôts profondément différents entre eux. Elles ont alors un rôle de remplissage.

On peut donc suivre la marche des eaux de pluies dans le sol terreux, dans l'intérieur de la masse calcaireuse et à la superficie : elles imbibent d'abord le sol et en partie pénètrent par dégouttement dans les cavernes ; elles ruissellent ensuite à la surface si elles sont en excès et forment des eaux courantes destinées aux rivières, mais s'introduisant aussi dans des circonstances données dans les cavernes.

Dans le premier cas, elles sont dans les conditions d'exercer une action chimique ; dans le second, elles sont dans celles d'exercer une action de transport.

Aiguigeois des plateaux et leurs dépôts dans les cavernes.

Il s'en faut en effet de beaucoup que les eaux de ruissellement des plateaux calcaires s'écoulent toutes entières à ciel ouvert. Dans de nombreuses occurrences, elles rencontrent des trous appelés aiguigeois (1) et s'y précipitent.

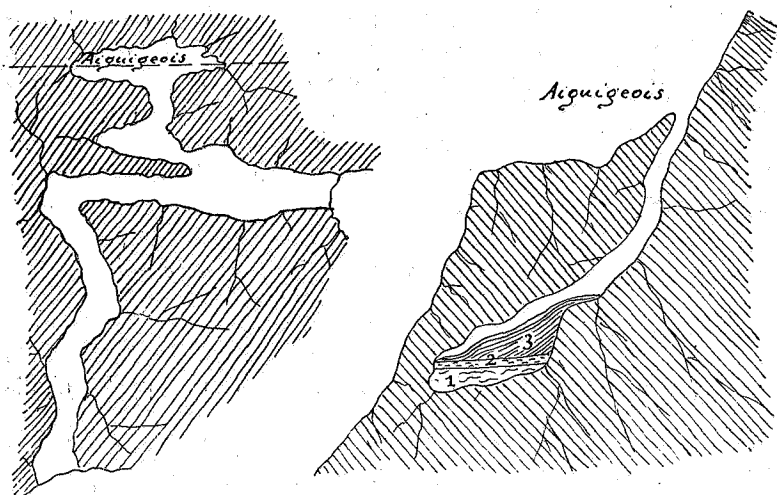
Les aiguigeois se forment parfois brusquement, là où aucun indice ne signalait leur existence. Le sol s'affaisse sur une étendue de quelques mètres et bientôt y apparaît un trou béant. C'est manifestement le résultat de l'éroulement partiel de la voûte d'une caverne.

Les cultivateurs redoutent ces sortes d'accidents, parce qu'une partie de la terre des champs où ils se produisent, s'écoule avec les eaux dans les orifices. Aussi se hâtent-ils de les boucher, et nous allons pouvoir apprécier le détriment qui résulterait pour eux de la négligence de ce soin.

(1) Ces trous portent dans le pays plusieurs noms. Dans les environs de Liège, on les appelle *chantoirs*. A Han, je les ai entendu nommer *Etonnois* (Entonnoirs) ; ailleurs *Engols*, *adugeoirs*. Mais le plus souvent on les appelle *Aiguigeois*, *Aguigeois*, *Aguigeux*. J'ai adopté le nom d'aiguigeois employé sur les bords de la Meuse, parce qu'il conserve plus ostensiblement son étymologie (*aigues*, eau).

Lorsqu'on peut pénétrer dans des cavernes en relation avec ces sortes d'aiguigeois, on y remarque des espèces de puits communiquant avec l'extérieur et par lesquels sont arrivées de grandes coulées de boues pierreuses qui se dressent en forme de cônes de déjection contre une paroi; elles ne sont autres que les terres de la surface entraînées dans les orifices de ces cavernes par les eaux de ruissellement. Il y a de ces coulées qui sont colossales, comme celles de la Salle du Sabbat et du Val d'Enfer, dans la Grotte de Rochefort et surtout de la Salle du dôme, dans la Grotte de Han, ainsi que nous le verrons plus loin.

En 1867, pendant mes recherches sur l'homme quaternaire, j'ai eu l'occasion, au Trou madame, près de Bouvignes, d'observer un cas de dépôt d'aiguigeois sur une échelle qui permettait de l'étudier en détail. Les dessins suivants furent publiés à cette époque (1).



2 1/2 mm. p^r 1 m.

1. Argile de dissolution, jaune, compacte, non stratifiée.
2. Dépôt argilo-sableux, stratifié, de l'âge du Mammouth.
3. Coulée de boues pierreuses.

FIG. 5. — *Plan et coupe d'une caverne explorée en 1867 près de Bouvignes.*

Au fond d'un couloir sinueux, se trouvait un amas de boues pierreuses, non stratifiées, formant cône de déjection contre l'une des

(1) E. DUPONT. *Étude sur une caverne située dans la commune de Bouvignes* (Bulletin de l'Académie royale de Belgique, 2^e sér., t. 23, p. 465. 1867).

parois latérales et gisant sous une ouverture qui perçait le plafond de la caverne. L'existence de cet orifice dans la voûte fut révélée par la sortie de la fumée de feux allumés dans cette intention. L'aiguigeois ne parut pas en activité à la fonte suivante des neiges qui fut cependant fort rapide.

Mais je pus à la même époque observer, dans une petite caverne à Dinant, le phénomène en action et je le décrivais ainsi :

« Après de grandes neiges, une boue jaune, contenant des blocs » subanguleux de calcaire, s'écoule lentement au fond de cette caverne; » l'amas a l'aspect d'un cône de déjection comme celui du Trou madame. » Au-dessus de la caverne, il existe un entonnoir par lequel s'introduisent les eaux. Le phénomène était en action au mois de février » 1867. Il est du reste intermittent; il a lieu à la fin des hivers abondants en neige. »

Les produits des aiguigeois dont nous ferons l'étude dans la Grotte de Rochefort et dans la Grotte de Han, correspondent souvent à un seul orifice qui les met en communication avec la surface; d'où résultent les énormes cônes de boues qu'ils ont produits.

Mais j'ai observé à Nismes un autre aiguigeois qui offre des conditions différentes. L'entonnoir extérieur est très grand; de forme remarquablement circulaire, il ne mesure pas moins de 20 à 25 mètres de diamètre. Sa cuve, profonde de 10 à 15 mètres, est, comme d'ordinaire, bouchée par des terres blocailleuses. Dans la caverne avec laquelle il communique, on voit une suite de petits puits obliques qui ont donné lieu chacun à des coulées de petites dimensions, de sorte que l'aiguigeois a ici pour fond une espèce d'écumoire, au lieu d'une seule issue. Je pense qu'un aiguigeois présente les mêmes conditions dans la Grotte de Han.

Les ouvertures de beaucoup d'aiguigeois de plateaux sont obstruées par des amas de terres soutenues sans doute par des écroulements; L'eau, entrée dans l'entonnoir, prend à travers ces terres un écoulement très lent et peu abondant; un peu d'eau boueuse continue ainsi à s'introduire dans les cavernes. J'ai pu observer trois exemples d'aiguigeois en activité.

Les aiguigeois sont extrêmement fréquents, mais, ainsi que nous l'avons remarqué, on cherche à les fermer, quand ils sont sur les plateaux et dans les prairies.

Ils prennent souvent de grandes dimensions, si on ne s'est pas opposé à leur agrandissement, ce qui a surtout lieu dans les chavées.

Il semble opportun d'ajouter une remarque sur ces puisards.

Nous avons insisté à juste titre (p. 213) sur le fait constant que les restes d'êtres organisés ayant habité les cavernes remontent au plus tôt à l'âge du Mammouth, que jusqu'à ce jour les fouilles, faites chez nous depuis près de trois quarts de siècle en vue d'en exhumer le contenu ethnographique et paléontologique, n'ont fourni aucune trace d'habitation pendant les époques secondaires et tertiaires. Nous en avons déduit que ces cavernes n'ont été mises en communication avec l'extérieur qu'à partir de l'âge du Mammouth, et nous avons reconnu que le phénomène est le résultat du creusement des vallées.

Néanmoins, si cette donnée, par sa généralité, paraît inattaquable pour les cavernes dont les orifices se trouvent ou au fond des vallées, ou sur leurs flancs, ou même à leurs abords, là où les eaux quaternaires ont creusé le large sillon évasé que j'ai appelé terrasse supérieure des vallées (1), elle pourrait ne pas toujours l'être pour les cavernes qui ne sont pas en communication avec les vallées, comme ce serait le cas des cavités dont les orifices se trouvent seulement sur les plateaux. Des ossements d'animaux pourraient y avoir été entraînés aux époques pré-quaternaires; des coulées de boues y ont alors probablement déjà pénétré, car rien ne s'opposait, dès que des cavernes étaient formées, à ce que des aiguilleois s'ouvrissent à toute époque.

Mais cette prévision a toutefois contre elle les résultats contraires des nombreuses cavernes fouillées où aucun fait de ce genre n'a pu être constaté.

Cavernes à cours d'eau permanents.

Si nous pouvons suivre l'action des eaux de ruissellement pénétrant directement des plateaux dans l'intérieur des cavernes, nous pouvons le faire avec non moins de précision pour les eaux torrentielles et pour les rivières.

Nous commencerons par celles-ci.

Le régime des cours d'eau souterrains, tel que nous l'observons aujourd'hui, n'a pu évidemment s'établir qu'à la fin du creusement

(1) Le creusement des vallées, l'un des phénomènes géologiques les plus considérables, étant en rapport intime avec les cavernes, j'ai eu à en traiter longuement à plusieurs reprises. Voir notamment : *Bulletin de l'Académie royale de Belgique* de 1865 à 1868. — *Bull. de la Soc. géologique de France*, 2^e sér., p. 24, p. 76. 1886. — *L'Homme pendant les âges de la pierre*, 1^{re} éd. 1871 et 2^e édit. 1872. — *Congrès préhistorique de Bruxelles*, p. 110. — Texte explicatif de la feuille de Dinant (carte géologique au 20.000^e), 1883.

des vallées, et nous avons reconnu la date de ce creusement : il s'est effectué pendant l'âge du Mammouth.

Nous savons, et M. l'ingénieur Putzeys insistait encore récemment sur ce point, que les pertes, subies par nos cours d'eau dans leur trajet à travers nos massifs calcaires, sont fréquentes, mais, dans beaucoup de cas, nous ne savons pas ce que les eaux engouffrées sont devenues.

Par réciprocité, nous ne savons pas à quels cours d'eau beaucoup de sources doivent leur origine.

Enfin on n'a encore pu suivre jusqu'à ce jour tout le trajet souterrain d'une rivière, malgré le grand nombre d'engouffrements dont on connaît les orifices d'entrée et de sortie, parce que l'accès des canaux servant d'aqueducs n'est possible qu'au prix de très grands travaux, qui n'ont pas été exécutés.

1° Lorsque le trajet souterrain d'une rivière n'est pas très long, on sait d'ordinaire reconnaître facilement de quelle rivière provient la source que l'on voit sortir du calcaire. Tel est le cas de la Lesse à Han, de la Lomme à Éprave, de l'Ourthe à Barvaux, de l'Eau noire à Couvin, etc.

Mais, si l'*orifice d'entrée* et l'*orifice de sortie* sont plus distants, c'est une des causes qui peuvent empêcher de se rendre compte de l'origine des eaux qui sortent brusquement d'un rocher à l'état de source.

2° Notre ignorance sur ce point peut résulter plus souvent d'autres circonstances.

Les *orifices* des canaux souterrains, dans tous les exemples d'engouffrement observés en Belgique, sont *insuffisants* pour absorber toutes les eaux d'une rivière en ses temps de crues et souvent même en temps ordinaire. Aussi une rivière engouffrée a toujours un lit auxiliaire à ciel ouvert pour lui servir de décharge.

En temps normal, beaucoup de cours d'eau, sur leur trajet en terrain calcaire, ne subissent que des pertes partielles et faibles par des diaclases, plus rarement par des intervalles élargis entre les bancs, situés dans leur lit même. On peut s'en apercevoir directement, seulement lorsque les eaux sont très basses, parce que, en ces temps, on voit que les eaux sont plus abondantes en amont d'un point qu'en aval.

Dans d'autres cas, la constatation de la perte est plus facile, si elle peut être faite en temps propice.

On voit la rivière pénétrer aux basses eaux tout entière dans un canal ; mais, si elle coule à pleins bords, l'orifice du canal reste caché et la perte dissimulée, comme dans l'exemple précédent.

De sorte que les rivières à engouffrements bien prononcés se présentent comme ne subissant aux hautes eaux que des pertes partielles,

et, à ce moment, leur cours principal est aérien, tandis qu'aux eaux basses, elles disparaissent complètement, n'ont qu'un cours souterrain et laissent leur lit extérieur à l'état de chavée.

Cause de la permanence du débit des sources en terrains calcaires.

Cet état de choses nous fait comprendre une donnée importante : la *constance relative du débit des sources et la rareté de la mise à sec de celles-ci.*

Comme il vient d'être dit, les sources sont alimentées en tout temps par les cours d'eau qui leur donnent naissance, dès que ces cours d'eau ne sont pas absolument à sec depuis leur point d'origine, et ils ne le sont chez nous qu'exceptionnellement : les canaux prélèvent d'abord leur contingent, parce que, leurs orifices se trouvant dans le lit des rivières, ils sont eux-mêmes plus bas que le lit extérieur et par conséquent, en vertu de la pesanteur, ils captent le cours d'eau.

Lorsqu'il y aura peu d'eau, l'orifice d'entrée l'absorbera ordinairement toute entière ; lorsque le niveau de la rivière sera plus élevé, la quantité d'eau absorbée sera proportionnée à la grandeur de l'orifice, et nous venons de voir que celle-ci, dans tous les cas connus, chez nous au moins, est toujours trop étroite pour engouffrer toutes les eaux de crues.

Cavernes à cours d'eau temporaires.

Mais d'autres circonstances encore, également fort fréquentes, peuvent être observées. Des cours d'eau ne sont que périodiques et, s'ils sont à engouffrements, le canal souterrain sera par conséquent lui-même à cours intermittent.

Nous avons vu (p. 223) que les eaux de ruissellement des plateaux arrivent directement dans les cavernes par des aiguigeois et qu'ils y forment des dépôts d'allures particulières.

Les eaux de ruissellement qui restent à ciel ouvert viennent au contraire gonfler les rivières, en coulant à travers les ravins laissés à sec en temps ordinaires.

Mais il arrive que ces ravins contiennent des aiguigeois où les eaux disparaissent. Il arrive aussi que les lits desséchés des rivières ou chavées contiennent de ces aiguigeois et que les eaux d'inondations y subissent à leur tour des pertes, comme les rivières en temps ordinaires.

Ces éventualités se présentent pour la Grotte de Han, pour la Lomme, etc., et nous les examinerons plus loin en détail.

Dépôts des cours d'eau souterrains.

Les eaux, soit de ruissellement dans les ravins, soit d'inondation dans les chavées, tout en renfermant beaucoup de terres en suspension, sont loin d'être aussi boueuses que les eaux de ruissellement des plateaux qui sont souvent de véritables coulées de boues.

Lorsqu'elles pénètrent dans les canaux souterrains par des aiguigeois, elles y déposent une terre jaune, argileuse, à l'état de couches et non à l'état de cônes de déjection.

Les rivières engouffrées ont aussi leurs eaux chargées de limon après les pluies abondantes ou prolongées. Elles sont même sujettes dans les cavernes à des inondations. Elles y déposent ce limon en couches sur leurs berges, et il m'a paru plus nettement stratifié que l'alluvion souterraine due aux eaux temporaires, ce qui s'explique par la circonstance que les eaux sont moins torrentielles dans un cas que dans l'autre.

Les eaux troubles des rivières tendent donc à se clarifier dans leur trajet à travers les cavernes et à rester limpides à leur sortie, qualité qui, jointe à la fraîcheur gagnée par un long séjour dans le roc, donne aux eaux de sources un grand renom, comme boisson de choix.

Je ne sais dans quelle mesure on peut affirmer que des sources donnent de l'eau absolument claire en tout temps. Même après des trajets souterrains mesurant à vol d'oiseau quatre kilomètres comme la Wamme, 2800 mètres comme la Lomme, 2700 mètres comme l'Eau noire, même après avoir mis 60 heures pour un trajet rectiligne de huit cents mètres comme l'un des bras de la Lesse dans la Grotte de Han, les eaux sortent troubles d'une manière sensible, lorsque la rivière est entrée chargée de limon.

Le lit d'une rivière souterraine est fort rarement régulier, comme le fait du reste prévoir le mode de formation de ces canaux. Il présente non seulement des étranglements et des renflements, mais aussi des abîmes et des relèvements.

Les grands creux sont de véritables bassins de décantation ; les eaux y séjournent et déposent une partie de leur vase.

Souvent la voûte s'abaisse en même temps que le fond ; un siphon, recourbé par enbas comme les siphons dits d'aqueducs, se crée alors. Nous en verrons trois exemples dans la Grotte de Han.

Il arrive aussi que le fond et la voûte se relèvent en même temps, et

un siphon, recourbé par en haut comme les siphons de laboratoires, se forme. Le cas n'a pas encore été observé chez nous, mais les explorations de M. Martel en France l'ont constaté plusieurs fois.

Les phénomènes d'intermittence, dus à la disposition des canaux, doivent être fréquents; mais, n'ayant pu agir expérimentalement, j'en ai pas été en mesure de les observer.

J'ai entendu raconter dans ma jeunesse par un de mes professeurs qu'une fontaine intermittente existait dans une prairie sur le Bocq près d'Yvoir, mais que, lorsqu'elle fut signalée, il y eut affluence de curieux et le fermier, pour éviter que son foin fût foulé, la fit fermer. Je n'ai pu m'assurer de la réalité de l'assertion.

On dit aussi que la rivière l'Eau d'heure dans l'Entre-Sambre-et-Meuse porte ce nom, parce qu'elle grandit et diminue d'heure en heure, mais que les travaux d'installation des usines, établies sur son cours, empêchent de constater encore le phénomène.

Le service des eaux de la Ville de Bruxelles a, paraît-il, observé de fort intéressants phénomènes d'intermittence dans le cours souterrain du ruisseau de Vyle.

Les confluences sous roc des branches souterraines de la Lomme nous indiqueront plus loin que des occurrences de cette sorte sont dans le cas de s'y produire.

Tous les points où les eaux soit permanentes soit périodiques s'engouffrent, reçoivent des habitants le nom d'aigueois.

Nous pouvons dès lors relever trois catégories d'aigueois:

1° les uns s'ouvrant sur les plateaux, mis en activité par les eaux ruisselantes et produisant dans les cavernes des coulées de boues. Ce sont les *aigueois des plateaux* ou *aigueois boueux*;

2° d'autres s'ouvrant dans les ravins et les chavées, mis en activité quand les eaux de ruissellement produisent un cours d'eau dans les ravins ou quand les eaux d'inondation remplissent les chavées, et ils forment dans les cavernes des dépôts d'alluvion. Ce sont les *aigueois de ravins* ou *de chavées*;

3° d'autres enfin s'ouvrant dans le lit des rivières, étant en activité toute l'année, donnant naissance aux sources des terrains calcaireux et produisant aussi dans les cavernes des dépôts d'alluvion. Ce sont les *aigueois de rivières*.

Nous verrons d'admirables exemples de ces divers cas d'engouffrements dans la région Han-Rochefort.

Corrosion des parois des cavernes par les cours d'eau souterrains.

Les cours d'eau souterrains produisent sur les parois des cavernes qu'ils baignent une corrosion spéciale et bien distincte de la corrosion opérée par les eaux d'infiltration. Nous en avons déjà parlé (p. 209).

Sous sa forme la plus directe, c'est un assemblage de petites dépressions tangentés en forme de cupules ou godets qui passent pour être le résultat du clapotage des eaux, c'est-à-dire d'une action mécanique lente. Cette corrosion, dont nous allons rechercher les causes, épargne souvent des parties de la roche ayant une constitution différente, telles que des fossiles, des veines de spath, etc, qui restent en relief sur la paroi.

Toutes les cavernes où il entre des torrents d'eau et que j'ai visitées, présentent ce phénomène jusqu'à l'endroit où les eaux montent, en forte opposition avec la partie des parois que la rivière n'atteint pas et où la corrosion se montre en grandes concavités irrégulières.

La même action se reproduit sur les rochers calcaires baignés par une rivière, comme on peut notamment en voir un bel exemple au Rocher de Chaleux.

L'action, subie dans ces conditions par une paroi calcaire, est double, à la fois chimique et mécanique. Le fait que certains éléments de la roche, calcaires eux-mêmes, demeurent en relief, annonce une action chimique à rapprocher de la notion que les eaux de rivières contiennent de l'acide carbonique en quantité encore fort notable (p. 195). Le mouvement des lames courtes et pressées des eaux courantes, qu'on appelle clapotage, achève la désagrégation commencée par l'attaque chimique et laisse son empreinte dans la roche sous la forme des petites dépressions juxtaposées, d'autant plus contrastantes avec les dépressions dues à la corrosion par les eaux d'infiltration, qu'elles leur sont adjointes là où la galerie est baignée et qu'elles sont en regard des parois ordinaires des cavernes.

Nous aurons l'occasion d'en analyser de beaux exemples dans la suite de cette étude.

Ces observations nous mettent en mesure de confirmer ce que nous disions plus haut de la résistance remarquable du calcaire à être entamé mécaniquement par les eaux courantes.

La corrosion par les cours d'eau se borne en définitive, dans les cavernes que j'ai étudiées, à la formation de ces petits godets tangentés les uns aux autres. Elle ne les élargit pas d'une manière sensible. On ne voit pas, dans les parois, de surplomb de la partie supérieure, sou-

mise à la seule action des eaux d'infiltration, sur la partie inférieure, soumise aux torrents d'eau souvent violents qui traversent ces cavernes.

Ce surplomb se serait cependant inévitablement produit, si les eaux courantes, même torrentielles, avaient un pouvoir d'usure mécanique de quelque intensité sur le calcaire.

Nous pouvons en conclure assurément que ces cavernes n'ont pas été formées par l'action des cours d'eau souterrains, comme on peut en recevoir l'impression, en les voyant traversées par des masses d'eau parfois importantes et représentant un grand pouvoir mécanique.

Le seul exemple où j'ai pu constater directement la puissance mécanique des eaux courantes sur le calcaire, a été fourni en 1865 par le Ravin du Colebi près de Falmignoul. Un orage jeta dans la Meuse, par ce ravin, un amas de terre et de pierres de 12.000 mètres cubes qui faillit barrer le fleuve. Les eaux produisirent, par les mouvements giratoires des cailloux, dans la partie élevée du ravin des creux en forme de Marmites de géants ; elles approfondirent la gorge de trois à quatre mètres dans des dolomies très cohérentes et des calcaires consolidés par des phtanites, puis plus bas, près du confluent, formèrent une cataracte à pic de six à sept mètres de haut (1).

La violence des courants, traversant les cavernes, n'est évidemment pas comparable à celle d'un pareil torrent.

La Lesse inférieure excave les masses calcareuses de ses rives à Chaleux et à Walsin, non par la force de son cours, mais par le clapotage.

Cependant, si ces calcaires compactes, à l'état de masses, ont la propriété d'offrir une forte résistance à l'usure par les eaux courantes, nous voyons que, lorsqu'ils sont en fragments susceptibles d'être transportés par un courant, ils se brisent et se pulvérisent rapidement. On ne trouve pas, dans les dépôts de cailloux roulés anciens ou actuels, de cailloux roulés de calcaire, même lorsque les eaux torrentielles traversent des régions calcareuses. Le quartz blanc, le quartzite, les grès ont été seuls capables d'y donner des galets.

Je n'ai rencontré qu'une exception à cette règle. La caverne de Montaigne offrait, sous son limon quaternaire, un dépôt épais de cailloux roulés de calcaire de la grosseur ordinaire.

Ainsi les calcaires compactes, tels que le sont ceux de nos terrains primaires, présentent vis à-vis de l'eau les propriétés suivantes :

Grande résistance à l'usure, mais aptitude à une corrosion spéciale par les eaux courantes, lorsqu'ils sont en masse ;

(1) *Bull. de l'Académie royale de Belg.*, 2^e série, T. XXIII, p. 259. 1867.

Très faible résistance au transport et aux chocs dans les mêmes eaux, lorsqu'ils sont en moellons ;

Grande aptitude à être dissous par les eaux superficielles.

Écroulements et effondrements.

Il n'y a pas de cavernes dont des parties plus ou moins importantes des parois ne se soient détachées.

J'ai observé des blocs éboulés dans les dépôts d'argile de dissolution antérieurs à l'époque quaternaire et au milieu des alluvions quaternaires du Trou des Nutons. L'écroulement d'une partie de la voûte du Trou de Chaleux faillit avoir des conséquences tragiques pour les Troglodytes de l'âge du Renne qui l'habitaient et il nous valut la conservation de nombreux objets importants, ainsi que la connaissance de la distribution d'une demeure de ces sauvages. En effet, s'ils purent s'enfuir à temps et ne pas y laisser leurs propres restes, encore eurent-ils abandonner leur mobilier, leurs armes et leurs outils. La grosse masse de calcaire qui, en tombant, se divisa heureusement en moellons, de manière à ne pas écraser les objets, les protégea contre toute atteinte jusqu'au temps où les fouilles, pratiquées pour les exhumer, vinrent les remettre au jour.

Les écroulements intérieurs sont souvent énormes. Nous aurons à y revenir à propos de la Grotte de Han et de la Grotte de Rochefort.

Mais il arrive aussi que la voûte d'une caverne s'effondre entièrement ou partiellement. Nous avons vu (p. 223) que c'est à ce phénomène qu'est due la naissance si fréquente des aiguigeois de plateaux et quelles sont ses conséquences pour le remplissage des cavernes.

La région de Han-Rochefort nous donnera encore de bons exemples de ces diverses éventualités.

Lorsque les cavernes sont très étendues et renferment notamment de vastes salles, il se forme parfois de grandes zones d'effondrement. Nous verrons des surfaces d'un hectare et plus, qui se sont enfoncées de 20 et jusqu'à 60 mètres en certains points, nous permettant de concevoir l'énorme étendue horizontale et verticale de certaines cavités avant l'effondrement de leur voûte.

Le phénomène se manifeste encore d'une autre manière à l'intérieur des cavernes.

Nous avons déjà distingué sur les parois deux aspects dus à des corrosions (p. 209 et 231) : la corrosion en larges concavités irrégulières par les eaux d'infiltration, et la corrosion en godets souvent moins irrégulière par les eaux courantes.

Les écroulements créent un troisième aspect. Aux endroits où les blocs se sont détachés, la surface de corrosion est remplacée par une surface de cassure qui est en grande dissimilitude avec les parties ayant conservé leurs parois primitives.

Les nécessités d'accès ont provoqué parfois dans les cavernes à touristes le forage de galeries artificielles. On les reconnaît sans peine. Si elles ont aussi des surfaces de cassure, elles portent en outre la trace des trous de mines et elles n'ont pas à la voûte de diaclases directrices, accompagnement inévitable des cavernes produites par ablations chimiques.

Rôle des eaux d'infiltration, de ruissellement et de rivière dans la formation des sources en terrains calcaireux.

Nous avons reconnu que les eaux, pénétrant dans les cavernes, relèvent de trois origines distinctes :

1° Les *eaux d'infiltration*, en s'introduisant lentement par les diaclases bouchées par des terres, dissolvent le calcaire par leurs propriétés corrosives et y tombent goutte à goutte. Elles y produisent les stalactites et les stalagmites et laissent comme résidu insoluble un peu d'argile contenue dans le calcaire.

La quantité d'eau, entrée par cette voie, est extrêmement faible ; elle ne peut, à aucun point de vue, même contribuer à alimenter la circulation des eaux qui donnent lieu aux sources dans les terrains calcaireux.

Si elle n'a pas ce rôle, elle opère chimiquement la formation et l'agrandissement des cavernes à travers les temps.

2° Les *eaux de ruissellement*, en s'introduisant par les aiguilleux, soit sur les plateaux, soit dans les vallées à sec en temps ordinaires, donnent lieu dans le premier cas à des coulées de boues et fournissent une quantité d'eau souterraine peu importante ; elles amènent dans le second cas des masses d'eau souvent considérables, mais limitées à la durée du phénomène qui est essentiellement temporaire.

Les eaux de ruissellement ne peuvent donc, de leur côté, être l'origine des eaux qui donnent lieu aux sources sortant des calcaires et dont le caractère est, en même temps que l'abondance, la permanence.

Elles peuvent apporter à ces sources un contingent momentané, mais elles ne peuvent les produire.

3° Les *eaux de rivières*, en s'introduisant avec continuité, aux eaux basses comme aux hautes eaux, par des orifices disposés dans le lit même, sont à coup sûr la cause des grandes masses d'eau qui sortent des calcaires à l'état de sources.

La fréquence des pertes de rivières, l'observation d'un grand nombre de cas variés, les faibles oscillations du débit des sources, le volume de celles-ci, comparable seulement à celui des cours d'eau à leurs eaux basses, ne peuvent laisser de doutes sur cette origine des eaux jaillissant en grandes masses et avec perpétuité de nos calcaires.

Les sources dans nos terrains calcaireux compactes.

Tels sont les résultats de l'étude méthodique de la question, et ils donnent cette solution formelle :

Les sources des calcaires proviennent d'engouffrements d'eau de rivières dans des orifices de cavernes situés dans le lit de ces rivières ;

Après un cours souterrain plus ou moins prolongé, ces eaux sortent, soit en une seule masse s'il n'y a qu'un orifice de sortie, soit en se divisant en plusieurs écoulements, si le canal se ramifie et a plusieurs issues ;

Ces issues multiples peuvent être à leur tour ou rapprochées ou éloignées les unes des autres : la rivière souterraine présente alors le cas d'une rivière extérieure qui se diviserait en plusieurs bras ;

De même des cours d'eau, séparés à la surface, peuvent se réunir souterrainement et mélanger leurs eaux : ils sont dans le cas de rivières qui confluent à ciel ouvert ;

Les sources jaillissent soit directement du calcaire, tumultueusement, par de grandes ouvertures — ce sont les sources ouvertes ou sources vauclusiennes —, ou lentement et comme en s'épanchant dans des chavées ou dans des rivières sans que les orifices soient visibles — ce sont les sources sous-fluviales — ; soit par des espèces de fontaines ou par ruisselets au milieu des alluvions d'une vallée contiguë aux masses calcaires — ce sont les sources aveuglées, suivant l'expression de M. Martel ;

Enfin les rivières souterraines peuvent recevoir également par des canaux latéraux, des eaux adventives, des torrents passagers, comme cela a lieu pour les rivières extérieures.

En un mot, dans l'ensemble comme dans les détails, le parallélisme entre les rivières souterraines et les rivières de surface se présente en toutes circonstances. C'est un même phénomène sous des modes différents. Ce que nous observons dans le cours de rivières coulant à ciel ouvert, nous allons le retrouver à Rochefort et à Han dans le cours de rivières coulant à ciel couvert.

Une source dans nos pays calcaireux n'est donc autre chose que l'issue d'un ruisseau dont les eaux ou une partie des eaux ont pris, pendant quelque temps, leur cours dans un canal souterrain. En

d'autres termes, ce ruisseau, au lieu d'être resté entièrement extérieur pendant tout son trajet, a coulé en partie temporairement dans un aqueduc naturel.

Contrastes entre les sources en terrains calcaires et en terrains schisteux.

Dans les schistes qui entourent nos masses calcaires, la circulation des eaux a lieu par un processus tout différent et beaucoup moins compliqué.

La substance des schistes est argileuse et compacte. En elle-même, elle est donc imperméable à l'instar du calcaire, mais, contrairement à lui, elle n'est pas dissoute par l'eau acidule.

Par les joints de stratification et les joints de schistosité, ces roches subissent l'action des influences extérieures avec intensité. Ils sont délités jusqu'à une plus grande profondeur et divisés en parties beaucoup plus petites que les calcaires. L'eau superficielle pénètre entre ces joints et sait y descendre même à plus de dix mètres. La roche devient ensuite compacte et ne laisse plus entrer l'eau.

Celle-ci séjourne dans cette partie délitée. Si l'on creuse un puits à une profondeur suffisante, il donne généralement de l'eau en permanence. Lorsque son débit doit être augmenté, on se borne souvent à l'approfondir en creusant au fond un trou de mine d'un ou de deux mètres de profondeur.

Les schistes sont aussi découpés par des diaclases qui, drainant l'eau accumulée entre les joints de schistosité, donnent en beaucoup de points lieu à des sources.

Il résulte de ces circonstances qu'on peut accroître le débit d'une de ces sources par des galeries latérales qui joueraient le rôle de drains. Les galeries de mines à travers les schistes montrent que ce procédé serait souvent fort praticable.

Le phénomène des eaux souterraines est donc essentiellement différent dans les schistes et dans les calcaires. Il offre même un exemple des modalités inépuisables qu'on rencontre dans la nature.

Les eaux qui alimentent les sources dans les schistes sont des eaux d'infiltration; les eaux qui donnent les sources dans les calcaires sont des rivières.

Il y a dans les schistes une sorte de nappe aquifère avec son niveau d'eau: on peut y établir des galeries drainantes, soit pour créer des sources artificielles, soit pour augmenter le débit de sources jaillissantes; on peut y creuser des puits à production permanente.

Aucune de ces circonstances ne se rencontre dans la roche adjacente, si elle est calcaire : il n'y a pas de nappe aquifère, mais des canaux soutirant les eaux des rivières ; ce serait peine perdue que d'y établir des galeries drainantes et des puits, à moins d'une coïncidence avec des canaux où l'eau circule ; on ne peut dans les cas ordinaires que se borner à capter la rivière à sa sortie du rocher, telle qu'elle se présente, ou à creuser un puits sur le trajet d'un canal, si on a la chance de savoir le point où il se trouve, et si les lieux ne se prêtent pas à lui donner un écoulement à ciel ouvert, ce qui a lieu notamment à Purnode, à Couvin, etc.

Cependant une relation pourrait occasionnellement s'établir entre la circulation des eaux dans les deux roches.

Le schiste étant au contact du calcaire et l'un et l'autre ayant souvent des diaclases communes, il peut arriver que l'eau, drainée dans le schiste par une de ces fentes à travers bancs, entre dans le prolongement calcaire de celle-ci qui aurait été élargie par corrosion et transformée en canal. Ce serait une source du schiste qui viendrait au jour par l'intermédiaire d'un aqueduc du calcaire.

Mais ce cas est théorique. Il n'a pas, à ma connaissance, encore été observé. Cependant on pourrait lui rapporter probablement des phénomènes relevés dans les houillères au contact du terrain houiller et du calcaire.

Résumé des phénomènes généraux des cavernes.

Nous avons rencontré les principaux phénomènes de nos cavernes et nous avons vu combien ils sont complexes.

C'est que plusieurs causes, combinant leurs effets, ont agi très anciennement. Puis d'autres, plus variées encore, sont venues à une date géologique ultérieure que nous pouvons préciser, y joindre leur action et, en créant de nouvelles conditions, elles ont profondément modifié l'état de choses primitivement formé.

De là les complications en quelque sorte infinies que nous relevons.

Suivant que l'une de ces actions a pris la prépondérance, elle voile les autres. Ce n'est que par une analyse détaillée de l'ensemble des phénomènes qu'on peut démêler leurs manifestations et les ramener à leurs causes précises.

Il ne semblera sans doute pas inutile que ces questions soient résumées.

En ce qui concerne le MODE DE FORMATION des cavernes dont nous nous occupons ici,

quant à la nature et à l'état de la roche elle-même, il relève de trois causes, à savoir :

1° la composition chimique de la roche, qui doit être calcaire, c'est-à-dire du carbonate calcaïque ;

2° sa texture ; la compacité de la roche rend celle-ci imperméable et ne lui laisse pas filtrer l'eau ;

3° sa structure ; en concordance avec leur redressement, les bancs ont été découpés par de nombreuses et profondes fentes à travers bancs.

Quant à l'action des pluies,
sous le rapport physique :

1° l'eau produit, entre les joints de stratification et dans les petites fentes transversales des bancs, un délitement sous l'action de la gelée ;

2° cette action ne s'exerce que superficiellement et n'a pas d'influence sur la formation des cavernes. A une très faible distance de la surface, les bancs et leurs fentes transversales restent solidement soudés ;

sous le rapport du mode d'introduction :

1° l'eau de pluies ne s'infiltré dans l'intérieur des masses calcaires que par les diaclases ;

2° comme elle y entraîne des matières terreuses, les diaclases ne laissent passer que fort peu d'eau à la fois, et seulement lorsque, ces matières terreuses étant imbibées, l'eau qu'elles renferment est en charge ;

sous le rapport chimique :

1° comme l'eau de pluies contient une quantité notable d'acide carbonique puisé dans l'atmosphère,

comme l'acide carbonique a la propriété de dissoudre le carbonate calcaïque,

l'eau de pluies, s'introduisant dans les diaclases et y séjournant à cause des matières terreuses, y dissout du calcaire, en élargit les parois par corrosion et, sans doute lorsqu'elle traverse des bancs plus découpés, par conséquent à plus grande surface d'attaque, y creuse chimiquement des cavités qui ont pris souvent des dimensions très importantes ;

2° comme le calcaire renferme une petite quantité d'argile, le résidu de sa dissolution consiste en argile compacte qui gît sur le fond des cavernes ;

3° si les cavernes communiquent avec l'extérieur, de manière à ce que leur atmosphère ne soit pas saturé d'acide carbonique, le calcaire,

dissous par les eaux d'infiltration, se dégage et forme les stalactites et les stalagmites; sinon, il donne lieu, dans certaines conditions, à la formation de tufs à l'extérieur.

En ce qui concerne la DURÉE GÉOLOGIQUE :

1° comme nos terrains primaires sont dans l'état de cohérence, de redressement, de dislocation et de découpure où nous les voyons aujourd'hui, depuis le soulèvement de l'Ardenne, c'est-à-dire depuis la fin de la période primaire, nos masses calcareuses se sont trouvées, à partir au moins de l'époque triasique, dans la plupart des mêmes conditions qu'actuellement pour subir les actions relevées ci-dessus ;

2° pendant ces énormes durées, les phénomènes d'ablations chimiques ont été les seuls à s'y produire jusqu'à l'époque quaternaire ;

3° cependant, antérieurement à cette dernière époque, le phénomène de corrosion s'est combiné, dans certaines diaclases, à des dépôts d'eaux minéralisées qui les ont transformées en filons métallifères.

En ce qui concerne l'INFLUENCE DE L'ÉPOQUE QUATERNAIRE :

1° comme c'est pendant la partie de cette époque, appelée âge du Mammouth, que le creusement des vallées a eu lieu, les cavernes, se trouvant partiellement sur le trajet des eaux courantes qui opéraient ce creusement, ont été ouvertes et mises en relation avec l'extérieur ;

2° le phénomène, ordinairement appelé *remplissage des cavernes*, n'a commencé à proprement parler qu'alors ;

3° les cavernes ont été inondées temporairement et au fur et à mesure que les eaux courantes, en approfondissant leurs lits, leur donnaient ouverture, puis plus tard, lorsqu'elles pouvaient encore les atteindre dans leurs crues ;

4° il s'est ainsi d'abord formé des dépôts d'alluvions caillouteuses et limoneuses, ou seulement limoneuses, suivis de dépôts limoneux successifs au moment des inondations.

Ce dépôt d'alluvions quaternaires est le plus général ;

5° les cavernes, étant en communication avec l'extérieur, devinrent accessibles aux carnassiers et à l'homme qui ont pu les adopter pour retraites ou pour demeures ;

6° les amas ossifères de l'âge du Mammouth en sont le résultat, et leurs superpositions répétées dans le limon sont celui de l'alternance, pendant la même époque, des émergences et des immersions des cavernes par les retraits et les crues des cours d'eau opérant le creusement des vallées ;

7° l'ouverture des cavernes ayant permis à l'acide carbonique saturant leur atmosphère de s'échapper, le calcaire en solution dans l'eau d'infiltration a pu se dégager et former les stalactites et les stalagmites;

8° les rivières, pouvant dès lors pénétrer aussi dans les cavernes, y suivirent un cours souterrain si ces cavernes, ayant été recoupées deux fois par les vallées, ont plusieurs ouvertures en concordance.

Ainsi prirent naissance, par un nouveau mode de circulation des eaux, les sources actuelles sortant du calcaire.

En ce qui concerne les PHÉNOMÈNES A NOTRE ÉPOQUE :

1° les cavernes donnent généralement naissance à des dépôts de stalactites et de stalagmites et continuent par conséquent à s'agrandir proportionnellement. Elles sont aussi sujettes à des écroulements.

Ce sont les seules actions dont soient le siège les cavernes ne présentant pas les trois cas suivants ;

2° Les cavernes à plusieurs issues et dont les orifices d'amont sont situés dans le lit de rivières, servent en permanence d'aqueducs à tout ou partie des eaux de ces rivières qui sortent par les orifices d'aval à l'état de sources.

D'où résulte le phénomène si apprécié de la continuité et souvent de la constance de leur débit.

Des couches de limon se déposent dans ces sortes de cavernes, et les parois subissent la corrosion dite de clapotage.

3° Les cavernes dont l'orifice d'amont se trouvent dans le fond d'un ravin ou d'une chavée, servent temporairement d'aqueducs aux eaux des torrents ou des inondations.

Ces eaux y déposent aussi du limon et produisent le phénomène du clapotage sur les parois.

4° Les cavernes, en communication avec les plateaux par des cheminées, reçoivent les eaux de ruissellement qui forment des coulées de boues prenant la forme de cônes de déjection.

Le rôle polymorphe des eaux en tels terrains se révèle, comme il pourrait le faire dans des expériences bien combinées de laboratoires : un même agent — l'eau — tirant son origine de la même source — la pluie — et arrivant, suivant son mode d'introduction, à un dualisme d'effets antagonistes d'une extrême complication.

L'eau de pluies entre-t-elle dans le roc calcaireux lentement, par très petites quantités, par infiltration, elle y rencontre un appareil spécial, admirablement disposé, permettant à l'acide carbonique d'exercer énergiquement son action chimique; elle a alors un rôle d'ablation; elle creuse les cavernes, elle est leur générateur.

*N'y entre-t-elle qu'après avoir ruisselé, s'être réunie en masse, avoir formé des rivières, des torrents, même des filets d'eau, elle a alors un rôle de transport et de remplissage, elle tendra à les combler par ses dépôts terreux et caillouteux, aux caractères et aux formes aussi dissemblables que le sont eux-mêmes ces modes d'eaux courantes. Et, dans le cas où elle entre à l'état de rivière, elle donne en outre naissance aux abondantes sources propres à ces terrains.

Pour comble d'enchevêtrements d'actions à effets contraires, l'eau d'infiltration abandonne bientôt son rôle d'ablation et tend à annuler son propre ouvrage, en participant au remplissage de la cavité par le dépôt des produits mêmes qu'elle avait dissous pour la creuser.

Enfin ces actions, dans leur dualité de rôles et dans leurs oppositions d'effets, n'ont pas eu la même durée géologique. Liées à l'existence d'autres phénomènes, elles n'ont pu opérer que lorsque ceux-ci furent accomplis.

A de longues durées remontent les actions d'ablation; à de courtes durées, les actions intenses de remplissage.

Ce sont ces curieuses modalités dans le pouvoir des eaux dont il nous fallait acquérir la connaissance pour pénétrer les phénomènes qui ont les cavernes pour théâtre.

La région de Han-Rochefort, où les calcaires sont comme minés par des cavités de toutes formes et dimensions, va nous fournir des exemples de la plupart des cas qui s'offrent à l'observation et servir d'application aux notions qui viennent d'être exposées.

II

Les cavernes et la circulation souterraine des eaux dans la région Han-Rochefort.

Dans ces localités se trouvent les plus grandes cavernes rendues dans le pays accessibles aux visiteurs. C'est là qu'on peut le mieux observer les phénomènes qui s'y produisent de notre temps, assister à des pertes de rivières importantes, retrouver souterrainement ces rivières et les reconnaître à leur sortie, étudier des cours en cavernes de torrents temporaires, pénétrer dans de grands aiguigeois et voir leurs coulées de boues, rencontrer de très vastes écroulements.

En d'autres termes, c'est le point qui se réclame, quand il s'agit d'élaborer, à titre de termes précis de comparaison pour nos autres régions calcaireuses, le mécanisme et le jeu de ces phénomènes.

La région de Han-Rochefort est en effet sous ces rapports ce que d'autres de nos localités calcaireuses, la Lesse inférieure, Montaigne et Goyet, ont été pour l'étude de la stratigraphie, de la paléontologie et de l'ethnographie quaternaires.

Cours d'eau de la région Han-Rochefort.

Trois rivières traversent cette région : un tributaire de la Meuse, la Lesse, qui passe à Han, et son affluent, la Lomme, qui s'y jette à Eprave.

La Lomme a, de son côté, un affluent, la Wamme, qui la rejoint à Jemelle (pl. XII).

Ces rivières ont un régime torrentiel. Elles sont sujettes, à la fonte des neiges, après des pluies persistantes ou après des orages, à se gonfler dans de grandes proportions et à rouler des cailloux ; elles ont alors un cours aérien tout le long de leur trajet.

Mais, en temps ordinaire, on les voit les unes et les autres, la Lesse près de Belvaux, la Lomme en amont puis en aval de Rochefort, la Wamme immédiatement en aval d'On, disparaître tout entières dans les rochers calcaires, prendre un cours souterrain indépendant de leur cours à ciel ouvert et reparaitre au jour à un et jusqu'à plus de quatre kilomètres de leur orifice d'entrée.

Leur cours souterrain est donc permanent ; il est le cours normal de ces rivières sur une partie de leur trajet aux eaux basses comme aux hautes eaux. Le cours à ciel ouvert est, au contraire, intermittent, périodique ; il est le déversoir des hautes eaux, lorsqu'elles sont trop fortes pour être entièrement absorbées par le canal souterrain.

Les roches de la région Han-Rochefort.

La planche XII indique en outre les relations stratigraphiques en planimétrie et en profondeur des couches de ces localités.

Les roches, toutes devoniennes et réparties en trois étages géologiques, sont ou schisteuses ou calcaires :

1^o L'étage inférieur, ou *couvinien*, qui apparaît en deux longues pointes sur les plateaux et qui sert de soubassement aux autres couches, est constitué par les couches à *Calcéoles*, schisteuses et passant au psammite ou grès argileux dans leur partie supérieure. Il ne contient pas ici de masses calcaires ;

2^o l'étage *givetien* lui succède. Il n'est formé dans ces localités que par du calcaire corallien stratifié, épais de 700 à 800 mètres. C'est le calcaire à *Stringocéphales*, le plus continu de notre terrain devonien ;

3^o enfin l'étage *frasnien*, caractérisé par la *Rhynchonella cuboïdes* et la *Camarophoria formosa*, est formé de schistes argileux entourant çà et là des amas de calcaires coralliens et coralligènes, et renfermant des bandes étroites et des nodules de calcaire argileux.

De sorte que la région dont nous examinons les pertes de rivières, est traversée par une large bande sinueuse de calcaire enclavée entre deux grandes masses de schistes.

LE PLATEAU CALCAIRE APPELÉ LE GERNY.

La bande de calcaire givetien qui borde le nord de l'Ardenne et dont la carte (pl. XII) figure un tronçon, n'a généralement qu'une largeur de 700 à 800 mètres. Mais, au-dessus du confluent de la Wamme et de la Lomme, elle prend un développement local extraordinaire. Entre Rochefort et Marloie, soit sur une longueur de huit kilomètres, elle atteint jusqu'à près de trois kilomètres de largeur; c'est presque le quadruple de sa largeur normale.

Cette grande masse calcaireuse forme un plateau qu'aucune vallée n'entame.

Le plateau du Gerny, posé en contre-bas des masses schisteuses du Devonien inférieur et du Devonien supérieur qui le bordent à distance, est couvert de cailloux roulés et de limon quaternaires. Il a servi de lit de haut niveau à un fleuve venant du nord-est pendant la première phase du creusement des vallées et n'ayant pas eu moins d'une dizaine de kilomètres de largeur, à la manière des grands fleuves qui drainent aujourd'hui le continent africain. La Wamme, la Lomme et même la Lesse étaient des affluents de l'énorme courant, aujourd'hui disparu.

Après la phase du haut niveau, les eaux de ces affluents seuls se maintinrent. De volumes beaucoup plus réduits et se creusant des lits particuliers plus profonds, pendant le reste de l'âge du Mammouth, ils entourèrent le Gerny de vallées plus étroites, généralement encaissées, où coulent de nos jours de petites rivières : au nord, le Biran dont nous ne nous occuperons pas; à l'est et au sud, la Wamme et la Lomme sur lesquelles portera une partie de cette étude.

Filons métallifères du Gerny.

Le Gerny fut jadis l'objet de légitimes espérances pour les habitants des localités voisines. On y trouvait des filons de galène et de pyrite, sommairement exploités anciennement et où les recherches furent

reprises pendant la première moitié du siècle. Les travaux durent être bientôt abandonnés pour cause de pénurie de produits.

La présence de ces filons métallifères a de la valeur pour nous. Elle nous montre que certaines diaclases de ce grand plateau ont été soumise non seulement à l'action corrosive des eaux acidules, ce qui est le cas normal en activité encore de nos jours, mais aussi à une action de remplissage par les eaux minéralisées à une époque géologique déjà reculée.

L'exploitation ayant cessé depuis longtemps, je devrais me borner à cette mention, si mes levés pour la Carte géologique au 20.000^e ne m'avaient mis en mesure de m'assurer que les amas plombifères et ferrugineux gisaient dans des diaclases semblables à celles qui amenèrent la formation des cavernes. A en juger par les directions des anciennes fosses d'exploitation, ils se trouvaient en effet pour la plupart dans des fentes à travers bancs, parallèles ou entrecroisées ; quelques-uns paraissent cependant, avec des élargissements et des étranglements, avoir été disposés plus ou moins suivant la stratification.

Nous voyons donc qu'à des époques très anciennes, antérieures certainement à l'époque quaternaire, où les cailloux roulés et le limon du Gerny se déposèrent, le remplissage de plusieurs diaclases par des eaux minéralisantes avait eu lieu sur ce point.

Cette catégorie de phénomènes de remplissage, d'après les observations faites jusqu'à ce jour chez nous, est la seule que nous puissions relever pour des temps antérieurs à l'époque quaternaire, c'est-à-dire à l'ouverture des cavernes qui inaugura une ère nouvelle dans l'histoire de ces souterrains.

Source de Tridaine.

Le Gerny, avec sa surface calcaireuse continue de près d'une vingtaine de kilomètres carrés, doit inévitablement être le siège de phénomènes hydrologiques dans l'intérieur de ses masses. Mais celles-ci ne sont pas accessibles, et c'est seulement sur leurs bords qu'on arrive à des constatations positives.

La source de Tridaine est située au nord de Rochefort et ne figure pas sur la carte (pl. XII). Elle est si abondante que la commune de Rochefort a pu s'y pourvoir de son alimentation en eaux potables pour ses 3000 habitants, en y prélevant seulement un dixième du débit de la source. Le reste de l'eau sert à faire mouvoir un moulin à écorces, un moulin à farine et une brasserie. C'est donc un véritable cours d'eau sortant brusquement du rocher.

Les moines de l'ancienne Abbaye de Saint-Remy, restaurée aujourd'hui en Abbaye de Trappistes, avaient déjà tenté de faire le captage de la source de Tridaine. On y fit ensuite des travaux pour la recherche des filons de plomb. On l'a complètement captée récemment.

La source jaillit vers le sommet du Gerny, presque au niveau du plateau et sort directement du calcaire qui est recouvert, sur le flanc de l'escarpement, de schistes et calcaires frasniens. Du tuf (p. 217) se remarque sur la pente.

Nous trouvons ici l'exemple d'un des cas assez communs d'observation pour la circulation de nos eaux en terrains calcaireux. On connaît l'orifice de sortie des masses d'eau de Tridaine, on sait qu'elles ont l'importance d'une véritable rivière et qu'elles proviennent du Gerny, mais on ignore à la fois quel trajet souterrain elles exécutent et quelles sont les eaux qui leur donnent naissance. La source est donc entourée de quelques-unes des circonstances négatives indiquées plus haut (p. 227) et montre combien l'étude complète d'un de ces afflux d'eau réclame de conditions favorables dans la disposition des lieux. Nous allons heureusement rencontrer ces conditions en plusieurs points pour les rivières qui bordent le Gerny vers le sud.

LA WAMME.

C'est un ruisseau de cinq à six mètres de large en temps ordinaire, à cours torrentiel et descendant de l'Ardenne.

Engouffrements aux hautes eaux à Hargimont.

Dès qu'il a dépassé Hargimont, il vient pour la première fois presque en contact avec le calcaire. Il n'en est séparé que par la largeur de la chaussée de Rochefort à Marche.

Aux hautes eaux, la rivière surmonte cette route et vient atteindre la base de l'escarpement calcaire du Gerny, où se trouvent, échelonnés sur une centaine de mètres dans une sorte de fossé, quatre aiguigeois d'assez médiocre importance. L'eau d'inondation y entre et pénètre dans l'intérieur du Gerny. On ignore ce qu'elle devient; les orifices de sortie sont inconnus. C'est le cas opposé de la source de Tridaine.

Les pertes d'On.

La Wamme s'écarte ensuite du calcaire sur une distance d'environ un kilomètre et demi et vient y reprendre contact, en sortant du village d'On.

Dès qu'elle le rencontre, son lit change brusquement de direction, se met à longer le Gerny, sur une longueur d'environ 200 mètres, puis rétrogradant un peu, rentre dans les schistes couviniens.

Mais pendant qu'il effleure le calcaire, des phénomènes curieux ont le temps de s'y produire.

La Wamme coule-t-elle à plein bord, l'observation la plus attentive ne décèlera rien d'anormal dans son régime.

Ses eaux deviennent-elles plus basses, on remarque d'abord qu'à partir du point même où elles touchent le calcaire, elles sont de suite notablement plus abondantes en amont qu'en aval, phénomène qui dénote l'existence d'engouffrements. Les eaux se sont en effet divisées en deux parties, l'une coulant dans un lit à ciel ouvert, l'autre ayant pris dans une tout autre direction un cours souterrain. C'est ce qu'on pouvait bien constater le 23 mars 1894.

Le lendemain, le lit d'aval de la Wamme était à peu près complètement à sec; le lit d'amont était, au contraire, à l'état de ruisseau ordinaire. Mais on voyait que les eaux entraient dans une petite anse de sa berge terreuse contre les premiers bancs de calcaire, y restaient comme stagnantes, animées seulement d'un léger mouvement giratoire, et n'en laissaient sortir que tout au plus la vingtième partie du volume entré.

C'est le premier engouffrement régulier de la Wamme. Il y a là dans le lit même de la rivière un aiguigeois qui en soutire en tout temps une partie d'eau proportionnée aux dimensions de son orifice.

L'eau qui n'avait pu entrer dans ce premier trou, coulait encore à ciel ouvert sur l'espace d'une centaine de mètres dans le lit presque complètement desséché de la Wamme, et alors elle diminuait elle-même rapidement de volume pour disparaître bientôt entièrement; on constatait qu'elle était entrée dans la masse calcaire par une suite d'étroits orifices, comme elle l'aurait fait entre les vides de petits blocs éboulés.

C'est le second engouffrement régulier de la Wamme. Il y a donc là plusieurs petits aiguigeois voisins du premier et prélevant leur part sur la rivière, lorsque le premier aiguigeois a toutefois d'abord prélevé la sienne tout entière.

Quant au lit extérieur du ruisseau, il ne reste désormais pourvu que dans la proportion du disponible après la prise de ces deux contingents. Il rentre dans la zone schisteuse et ne subit plus de pertes jusqu'à sa réunion avec la Lomme.

A sec pendant les mois à faibles pluies, il témoigne, par l'abondance et le volume des cailloux roulés qui le parsèment, du régime torrentiel de la rivière, de même que l'endiguement artificiel de ses berges montre

la masse des eaux qu'il roule pendant les mois pluvieux et après les orages.

Telle est la physionomie d'une rivière à engouffrements.

A peu près à mi-chemin du point où la Wamme se perd et du point où elle joint la Lomme, se trouve, sur le flanc de l'escarpement et à une hauteur qui la met hors de toute atteinte des inondations du cours d'eau, une caverne appelée Grotte d'On. C'est un couloir qui fut assez riche en stalactites et rentrant dans la catégorie des cavernes qu'on choisit pour faire des fouilles paléontologiques et ethnographiques. Elle s'y prêterait vraisemblablement peu aujourd'hui.

Où on retrouve les eaux engouffrées à On.

Le phénomène des engouffrements de rivières, étant fréquent dans la région, a depuis longtemps attiré l'attention des habitants par sa singularité même et sans doute aussi par suite des richesses minérales qu'ils étaient en droit d'espérer exhumer des diaclases du Gerny et dont ils reliaient justement les amas aux grandes cavités de la région.

Lorsqu'on leur demande ce que deviennent les eaux de la Wamme engouffrées à On, ils n'hésitent pas à répondre qu'il existe, dans l'intérieur de la masse du Gerny, des galeries qui amènent ces eaux à Rochefort en deux points : l'un qu'ils appellent le Deswoin, l'autre dans un canal sous la carrière de Rochefort.

Lorsque, continuant à faire appel à leur obligeance, on leur demande par quels motifs ils sont amenés à considérer que les eaux dont la présence est constatée en ces points, sont les eaux qui se perdent à On, ils disent que, lorsqu'un orage éclate sur la région d'On, gonfle la Wamme et salit ses eaux, les eaux du Deswoin apparaissent troubles, quelques heures après et que le canal de la carrière contient plus d'eau, boueuse elle-même.

Je me suis adressé à M. Biron, l'hôtelier bien connu de Rochefort, pour obtenir l'avis des habitants sur le temps que l'eau de la Wamme met à faire sa traversée souterraine. Il m'a fort obligeamment répondu : « Pour son parcours en Deswoin, il lui faut trois heures et demie. Le renseignement m'est affirmé par les vieux de Rochefort qui en ont fait la remarque plusieurs fois en temps d'orage. »

La durée du trajet souterrain serait dès lors presque aussi rapide que la durée du trajet à ciel ouvert en débordement. La différence de niveau entre les deux orifices est d'environ 35 mètres, d'après la carte militaire, pour une distance à vol d'oiseau de 4 1/2 kilomètres.

Nous sommes obligés de nous en tenir à ces indications. La question réclamerait une étude scientifique qui éclairerait la marche du phénomène par des observations précises au moyen de la coloration des eaux, de jaugeages, etc.

Le Deswain, orifice de sortie de l'un des bras souterrains de la Wamme.

Mais l'observation directe, aidée des renseignements obtenus sur place, peut jeter quelque jour sur les phénomènes qui se présentent ici.

Au milieu d'une prairie située entre le lit de la Lomme et les protubérances calcaires qui terminent vers Rochefort le plateau du Gerny, se voit dans les alluvions une sorte de mare d'environ trois mètres de diamètre. C'est le Deswain, l'un des orifices de sortie que les habitants attribuent aux pertes subies par la Wamme à On.

L'eau y est tranquille, arrive comme par épanchement et afflue avec une certaine abondance, car elle forme un petit ruisseau appelé aussi le Deswain et qui se jette à peu de distance dans la Lomme. Elle donne un assez fort dégagement de gaz, probablement d'acide carbonique, mais je n'y ai pas remarqué de tuf. Elle se trouble quand la Wamme extérieure est en forte crue.

Le Deswain n'est pas permanent. Il se dessèche assez souvent en été. Cette circonstance indiquerait qu'il n'est qu'un bras secondaire de la rivière souterraine, car l'engouffrement à On est continu.

La source émerge donc dans des alluvions comme à Modave et à Spontin. C'est une source aveuglée.

Elle dénote que le cours d'eau qui la produit a suivi le calcaire jusqu'à l'extrême limite du massif. L'observation de l'allure anticlinale des bancs d'une digitation du massif du Gerny, visibles à moins d'une centaine de mètres de là, prouve en effet que la pointe calcaire se termine précisément à l'endroit du jaillissement de la source, et ce calcaire est surmonté immédiatement par les schistes frasniens, non susceptibles par leur composition de donner passage à ce cours d'eau. Ainsi le ruisseau souterrain a dû alors venir à la surface dans une prairie et il le fait en se frayant passage à travers les alluvions qui forment celle-ci.

Le bras de la Wamme passant sous la carrière de Rochefort.

La carrière de Rochefort qui a été figurée plus haut (p. 200) pour montrer le mode d'introduction des eaux d'infiltration, le rôle des diaclases et leur action tantôt séparée, tantôt réunie, est en partie située au-dessus

d'un canal souterrain dont ses petites cavernes sont en quelque sorte les annexes. Le canal est aussi au-dessous de la chaussée de Marche qui longe la carrière et il est alors contigu au lit de la Lomme dont il n'est séparé que par une barrière rocheuse percée d'un orifice latéral.

Le phénomène prend un haut intérêt.

En temps ordinaire, les choses se passent comme nous venons de le dire : les eaux de la Wamme coulent souterrainement dans leur canal; celles de la Lomme dans leur cours à ciel ouvert, les unes étant séparées des autres par un très faible intervalle.

Mais la Lomme vient-elle à déborder isolément, par exemple à la suite d'un orage survenu sur son trajet, ses eaux entrent dans l'orifice de la barrière séparative et déversent une partie de leur trop-plein dans le canal de la Wamme qui sert alors à la Lomme de canal de décharge, et ce canal est souterrain,

Au contraire, me disent des renseignements répétés et recueillis contradictoirement, l'orage a-t-il eu lieu dans la région traversée par la Wamme à ciel ouvert, son canal souterrain se remplit et ses eaux, sortant à leur tour par l'orifice séparatif, se jettent dans le lit de la Lomme qui lui sert ainsi à son tour de canal de décharge, et ce canal est à ciel ouvert.

Par conséquent, par la petite issue ménagée dans l'étroite séparation rocheuse qui existe entre ces deux cours d'eau contigus, l'un à cours intérieur, l'autre à cours extérieur, mais soumis l'un et l'autre séparément à des gonflements momentanés, il se produit à l'occasion des courants alternatifs qui les rendent mutuellement tributaires.

Voilà les données qu'il m'a été possible de recueillir directement et indirectement sur les pertes de la Wamme et sur la réapparition de ses eaux.

Les trajets souterrains de la Wamme.

On peut maintenant se demander ce qu'on pourrait induire sur l'allure des trajets souterrains de ces mêmes eaux.

Nous avons observé que les pertes s'effectuent d'abord par un aigu-gois assez grand, puis un peu plus loin par une suite de petits orifices. Quand nous voyons les eaux reparaître, près de Rochefort, en deux points distants l'un de l'autre de près d'un kilomètre, nous avons la preuve manifeste de l'existence de deux canaux séparés, de deux cours souterrains distincts, et la donnée n'a pas lieu de nous surprendre, quand nous avons constaté, dans la carrière de Rochefort, deux systèmes juxtaposés de diaclases ayant opéré séparément le creusement de cavités mutuellement isolées.

A quel endroit se présente cette division des eaux souterraines de la Wamme ?

Les eaux s'engouffrent à On dans plusieurs ouvertures. N'est-ce pas dès cet endroit que le double canal existe ?

Ou bien se sont-elles réunies d'abord en un tronc commun qui se serait bifurqué plus loin en deux branches pour aboutir séparément au Deswoin et à la carrière ? C'est ainsi que je l'ai figuré sans trop d'hésitation sur la carte (pl. XII).

En effet, nous avons vu que le bras du Deswoin tarit en temps de sécheresse. Comme l'engouffrement d'On est permanent dans l'orifice qui correspond précisément à cette source, nous en inférons l'existence d'un seul canal au départ et une surélévation du canal du Deswoin à la bifurcation souterraine, de manière que, aux très basses eaux, l'eau engouffrée alimente le seul canal de la carrière, qui paraît être toujours en activité, et que ce ne soit qu'au temps d'une plus forte absorption des aiguigeois d'On, que l'eau puisse atteindre l'orifice du canal du Deswoin.

Quant au bras de la Wamme qui passe sous la carrière, il doit aller se réunir, à peu de distance, à l'une ou l'autre branche du réseau souterrain de la Lomme, sur laquelle nous allons exposer maintenant le résultat de nos études.

LA LOMME.

Rivière d'une dizaine de mètres de large, la Lomme, prenant sa source dans l'Ardenne, suit d'abord une direction sensiblement sud-nord et ne rencontre qu'après un cours d'environ vingt kilomètres, le calcaire à Jemelle, au confluent même de la Wamme. Elle prend alors une direction perpendiculaire vers l'ouest et présente des phénomènes de disparition, de circulation souterraine et de réapparition qui en feront toujours l'un des points hydrologiques les plus curieux de notre pays.

La perte de la Lomme avant le Pré-au-tonneau.

La Lomme coule d'abord à ciel ouvert et sans manifester de phénomènes spéciaux sur l'espace d'environ un kilomètre en terrain calcaireux. Puis, si on la suit à l'époque des eaux basses, on s'aperçoit qu'elle disparaît tout à coup en entier, sans que ni des orifices béants, ni un accident quelconque dans son lit n'indiquent ostensiblement comment elle a disparu et où elle s'en est allée. On la voit coulant normalement sur son fond de cailloux, comme elle le faisait avant

d'arriver à Jemelle et à partir de Jemelle : un mètre plus loin, la rivière n'existe plus; son lit est à sec comme par un tour de prestidigitation.

Cependant, en y regardant de près, on remarque, dans le lit au milieu des cailloux roulés, des têtes de bancs de calcaires dont les joints de stratification sont élargis par corrosion. C'est par là qu'est passée la rivière.

Le cours à ciel ouvert reste à sec sur trois à quatre cents mètres; il présente toutefois sur sa rive sud, au milieu des arbres, un petit aiguigeois qui entre en action avec tourbillonnement quand les eaux grossissent. Ensuite on arrive à une large ouverture béante située sur l'escarpement de la même rive et d'où la Lomme, revenant au jour et s'écoulant tumultueusement, reprend possession de son cours extérieur.

Reparaît-elle tout entière? N'a-t-elle pas dans son trajet souterrain abandonné de ses eaux à l'un ou l'autre canal dérivé?

Nous pouvons être édifiés sur ces sujets.

Quand la Lomme reparaît par une large issue, à l'état de source ouverte ou, suivant une locution récemment en usage, de source vauclusienne, elle se présente, il est vrai, avec un volume de rivière, ce qui annonce qu'une grande partie au moins de ses eaux est revenue au jour.

Mais une fraction notable reste en canal, car on retrouve un cours d'eau permanent au fond de la Grotte de Rochefort et il prend aussi vers ce point son origine.

Il y a lieu d'en conclure que les eaux de la Lomme ont certainement à la perte un canal à bifurcation dont les orifices sont peut-être étagés, comme nous l'avons également déduit, mais en raison d'autres motifs pour la Wamme. La branche qui s'étend sous la Grotte de Rochefort et qui va confluer à deux ou trois kilomètres en aval avec la Lomme souterraine, doit être à un niveau plus bas que la branche qui ramène les eaux au jour.

Si les eaux sont plus fortes, les issues où le cours d'eau se perd entièrement aux eaux basses, ne sont pas suffisantes pour les absorber toutes, car il y a, en outre, dans cette occurrence un cours à ciel ouvert. Celui-ci dissimule l'engouffrement qui ne peut plus être observé. De même l'orifice de sortie est envahi par ces eaux extérieures, et le phénomène de réapparition ne peut plus se constater.

Il faut donc avoir soin, pour étudier ces actions hydrologiques, de choisir l'époque de l'année où la rivière est très basse.

Le lit bétonné de la Lomme.

Le lit de la Lomme devient, à partir de cet endroit, en partie artificiel. En premier lieu, la construction du chemin de fer l'a un peu détourné et l'a séparé de l'aiguigeois et de la caverne du Pré-au-tonneau. En second lieu, bien que la rivière coulât dans de larges prairies, les pertes qu'elle subissait tout le long de son cours étaient si nombreuses qu'on dut recourir au travail coûteux du bétonnage pour obvier aux inconvénients d'une mise à sec du cours d'eau sur son trajet à travers Rochefort pendant l'été.

L'opération n'a pas complètement réussi, car, au mois de juin 1893, toute la rivière avait encore disparu brusquement au pont du chemin de fer près de la carrière, et le lit de la Lomme restait sans eau jusqu'à Eprave.

L'eau superficielle entre donc encore ici en canal et, par conséquent, lorsqu'elle est en quantité suffisante, elle a deux cours, l'un souterrain et l'autre extérieur.

Mais nous avons vu, en décrivant le canal de la Wamme sous cette carrière de Rochefort, sa curieuse connexion avec la Lomme, l'échange mutuel des eaux des deux rivières dans leurs crues alternatives; ce qui ajoute encore sur ce point deux nouveaux régimes à la Lomme, celui d'être tributaire de la Wamme et d'avoir la Wamme comme tributaire.

Ce n'est pas tout. A une centaine de mètres en aval, la Lomme se détourne brusquement pour prendre son cours vers Rochefort, en rencontrant une grande masse rocheuse dont les bancs ont dépassé la verticale et qui forme la partie supérieure du calcaire givetien. Une grande caverne, le Trou Maulin, s'ouvre en prolongement direct du cours d'amont de la rivière. Si celle-ci est en débordement, ses eaux torrentielles se précipitent non seulement vers Rochefort dans leur large lit à ciel ouvert, mais encore, par-dessus une digue artificielle, dans le Trou Maulin; elles y prennent un cours souterrain inconnu, quoiqu'on pense qu'elles vont au Thier des Falises, où nous rencontrerons aussi des phénomènes d'hydrologie bien compliqués. Nous avons donc ici un cinquième régime pour les eaux de la Lomme en des circonstances données: une grande caverne leur sert de déversoir en temps de fortes crues.

En un mot, sur l'espace d'une centaine de mètres, la Lomme est soumise aux phénomènes suivants:

elle coule à ciel ouvert,

elle subit une perte dans son lit,
elle se déverse dans le canal souterrain de la Wamme, si elle subit
séparément une crue,
elle reçoit les eaux de ce canal de la Wamme, si celle-ci à son tour
subit séparément une crue,
elle déverse en crue une partie de ses eaux dans une grande caverne.

Ce n'est pas tout encore. La Grotte de Rochefort se trouve à moins de deux cents mètres au sud de ce point, et nous allons voir qu'elle est le siège des deux modes suivants de circulation des eaux : en premier lieu, les pertes de la Lomme au Pré-au-tonneau y créent une rivière souterraine permanente, susceptible de crues et assez large pour qu'on ait pensé à y établir une navigation pour touristes ; en second lieu, elle présente quatre orifices qui sont des ouvertures de profonds puits naturels par lesquels les eaux de ruissellement des plateaux ont pénétré.

Ainsi, sur ce petit emplacement, se trouvent accumulés tous les modes possibles, intérieurs et extérieurs, de circulation des eaux courantes en terrains calcaires, et nous obtenons une vue nette des étranges phénomènes qui s'opèrent dans un tel milieu.

Le Trou Maulin.

Le Trou Maulin mérite une étude à d'autres points de vue.

Situé sur le prolongement direct du cours d'amont de la Lomme, à l'endroit où elle décrit sa courbe vers le bourg, il est au niveau de la rivière et il devait partager les eaux de celle-ci avec le cours à ciel ouvert avant la construction récente d'un barrage peu élevé qui n'y donne plus accès qu'aux eaux d'inondation.

On peut remarquer que :

1^o La Lomme y avait introduit, lorsque ce barrage n'existait pas encore, de forts cailloux de roches ardennaises, du volume des plus gros qu'on trouve dans le lit de la rivière. Ils parsèment le sol de la caverne.

2^o L'observation de ses parois fait constater fort nettement les deux modes de corrosion que nous avons signalés.

La voûte est découpée par plusieurs diaclases par lesquelles les eaux d'infiltration sont venues dissoudre le calcaire et creuser l'excavation au cours des âges géologiques. Ce mode de corrosion aux larges concavités se remarque sur la voûte et sur les parois latérales jusqu'à environ deux mètres au-dessus du sol.

Mais, au-dessous de cette hauteur, la corrosion des parois des côtés

change de caractères. Si on y retrouve encore les traces des concavités étendues qu'ont produites l'action chimique des eaux d'infiltration, leur surface a été aussi corrodée plus récemment par une multitude de petits ronds creux ayant la forme de cupules ou godets, qui donnent lieu à un aspect tout particulier.

Ce mode de corrosion est dû, ainsi que nous l'avons exposé, aux eaux courantes et au mouvement, appelé clapotage, des petites lames qu'elles produisent.

Il y a là aussi une action chimique des eaux chargées d'acide carbonique. Seulement si les eaux de rivière ne renferment ordinairement que la moitié ou même le tiers de la quantité de cet acide contenu dans les eaux qui ont traversé le sol meuble (p. 195), l'énergie de l'agent corrosif est augmentée par le clapotage, c'est-à-dire par une action mécanique qui enlève les particules déjà partiellement désagrégées par l'action chimique; d'où la corrosion en petites concavités qui témoigne du court mouvement des lames du courant, et son contraste avec la corrosion en larges concavités qui est due à une action unique.

3° Mais là se borne vraiment, dans ces circonstances, l'action des eaux courantes sur les roches de calcaires compactes.

Nous avons remarqué la violence du courant qui se précipite dans ce large orifice béant pendant les débordements de la Lomme, le volume des cailloux de quartzite qu'il entraîne, soulève et y transporte. Néanmoins les parois qu'il vient frapper ne témoignent pas d'usure par les eaux ni par les cailloux. N'était la corrosion en godets, elles ne signaleraient en rien le phénomène qu'elles subissent périodiquement par le passage du torrent.

C'est que le calcaire compacte, comme nous l'avons aussi fait observer, offre une très grande résistance à l'action des eaux courantes quand il est en grandes masses.

Nous en avons ici une preuve péremptoire, puisque nous pouvons juger de la violence du courant venant en ligne droite s'engouffrer dans cette excavation, et cependant les parois qu'il n'atteint pas ne présentent pas de surplomb sur les parois contre lesquelles il se heurte depuis l'époque géologique où ce régime hydrologique a pu s'établir.

Il a fallu les puissants torrents quaternaires, aidés du pouvoir d'attaque des chutes d'eau en cataractes, pour que les fleuves aient été pourvus de l'action mécanique nécessaire à se frayer des vallées à travers nos masses calcareuses.

4° Ce point donne lieu à une quatrième observation.

Au-dessus de la large ouverture irrégulièrement elliptique du Trou Maulin, on remarque une caverne en forme de couloir et à ouverture

beaucoup plus petite. Elle s'étend parallèlement à l'autre, mais sans montrer de connexions avec elle.

C'est un exemple d'une masse excavée à plusieurs étages de canaux, ceux-ci restant indépendants, quoique immédiatement superposés.

Cette petite caverne est, d'autre part, un exemple bien visible de caverne effondrée. Sa voûte s'est maintenue à l'entrée et y forme comme un arc isolé, puis elle s'est effondrée plus loin et a rempli l'excavation.

La Lomme traversant Rochefort sur les schistes frasniens.

Encore quelques mètres, et la Lomme entre en large plaine dans les schistes frasniens.

Ici plus de phénomènes de corrosion chimique, ni d'engouffrement des eaux. La rivière subit simplement le contre-coup des temps de sécheresse et de ses déperditions multiples dans les canaux de la bande calcareuse où son cours éprouve tant de péripéties. Elle est sur un terrain de composition argileuse.

Asséchée en été, coulant en ruisseau en temps ordinaire, soumise à des débordements désastreux à la fonte des neiges et après les orages, qui la gonflent jusqu'à lui faire gagner une hauteur d'environ deux mètres dans le Trou Maulin, c'était son régime naturel, mais il a été modifié en partie.

Le lit d'une rivière, traversant une importante localité et restant à sec pendant la saison chaude, avait des résultats fâcheux auxquels les pouvoirs publics ont cherché à remédier en bétonnant, ainsi que nous l'avons rappelé, le cours de la Lomme depuis le Pré-au-tonneau où le chemin de fer de la Lesse entre dans la vallée jusqu'à l'entrée de la rivière en terrain schisteux. Ils espéraient par ce moyen échapper aux conséquences des engouffrements aux époques de pénurie naturelle d'eau.

La difficulté d'obturer les orifices des fuites est sans doute grande, car, malgré le bétonnage, il y a encore des pertes; et nous avons remarqué qu'au mois de juin 1893, près du pont de chemin de fer, devant la carrière, toutes les eaux entraient encore en canal et que le lit de la Lomme restait à sec à partir de ce point jusqu'au rocher d'Eprave.

Dans son trajet à travers Rochefort, la rivière reçoit un ruisseau d'une nature particulière, le bras de la Wamme, le Deswoin, arrivé d'On par voie souterraine.

Nous délaïsserons ici la continuation de l'examen de la Lomme pour

revenir en amont à sa bifurcation souterraine au Pré-au-tonneau. Nous y étudierons les excavations qui s'y présentent, puis successivement la Grotte de Rochefort et les vastes effondrements et aiguigeois du commencement du Thier des Falises, où nous retrouverons la rivière en terrain calcaireux avec de nouveaux phénomènes d'engouffrements.

L'Aiguigeois et le Trou du Pré-au-tonneau.

La Lomme vient de quitter l'escarpement rocheux qu'elle suivait depuis Jemelle ; un profond ravin, coupant perpendiculairement cet escarpement, a donné accès au chemin de fer de la Lesse dans la vallée de la Lomme, et la rivière est séparée des rochers calcaires par le haut remblai de la ligne.

Un aqueduc a été construit sous ce remblai pour que les eaux d'inondation puissent s'écouler des deux côtés.

Contre le chemin de fer, à moins de cent mètres du ravin, se remarque d'abord sous bois un grand aiguigeois en forme d'entonnoir, obstrué à quelques mètres de profondeur par des éboulis et des terres argileuses. Il n'est en action qu'aux grandes crues.

Une caverne, à haute et large ouverture latérale, ce qui est une particularité assez rare, se présente à la suite ; elle s'étend au niveau de la prairie en amont et au loin en aval, d'après ce qui m'a été dit ; son sol est couvert de gros cailloux roulés, ses parois corrodées en godets, et tout y témoigne du passage de courants violents. Elle est cependant à sec en temps ordinaire, mais elle est envahie aux inondations qui doivent cependant être contrariées par le remblai du chemin de fer.

Mais, ainsi que la Grotte de Rochefort dont cette caverne fait sans doute partie, va nous le montrer, un cours d'eau permanent, issu de pertes de la Lomme étudiées plus haut, coule souterrainement en ce point sous l'aiguigeois et sous le Trou du Pré-au-tonneau.

La Grotte de Rochefort.

Quatre puits naturels, s'ouvrant sur un plateau, s'échelonnent sur une longueur de trois cents mètres avec une grande caverne écroulée entre eux ; ils sont réunis souterrainement par des salles et des galeries avec des couloirs latéraux ramifiés en tous sens ; ils y ont déversé d'énormes coulées de boues et percé, à un étage inférieur et à une profondeur d'une cinquantaine de mètres, des regards dans la voûte d'un canal où coule une rivière souterraine.

C'est ainsi que peut se définir la Grotte de Rochefort.

Il n'est guère possible de représenter graphiquement cette série de puits et de couloirs que par un schéma. J'en ai fait le figuré en projetant, comme je l'ai pu, sur un plan vertical les galeries qui évoluent dans toutes les directions, afin qu'on puisse se rendre compte plus facilement de l'allure générale des phénomènes qui s'y sont passés.

Lorsqu'on arrive vers le sommet de l'escarpement calcaireux qui domine Rochefort, on se trouve devant un large trou béant sur le flanc de la colline. C'est l'entrée de la Grotte.

En continuant sur le plateau, on rencontre, à une distance d'une cinquantaine de mètres, un grand creux de près d'un demi hectare de superficie, qu'on prendrait à première vue pour une carrière abandonnée. On l'appelle le Trou Lorette. Ses parois sont à pic du côté de l'entrée dont il vient d'être question et percées de petites galeries, puis vient un large entonnoir qui est un aiguigeois semblable à celui du Pré-au-tonneau. Le creux remonte ensuite en pente douce de l'autre côté.

Le Trou Lorette est le résultat de l'effondrement d'une vaste caverne.

Un peu plus loin et sur le même alignement, se présentent, sur une longueur d'environ cent cinquante mètres, deux autres trous béants à ras du sol. Ce sont les deux sorties de la Grotte.

Le trou béant qui sert d'entrée est l'orifice d'un grand puits oblique, à parois accidentées par des renflements et des étranglements, profond de trente à quarante mètres.

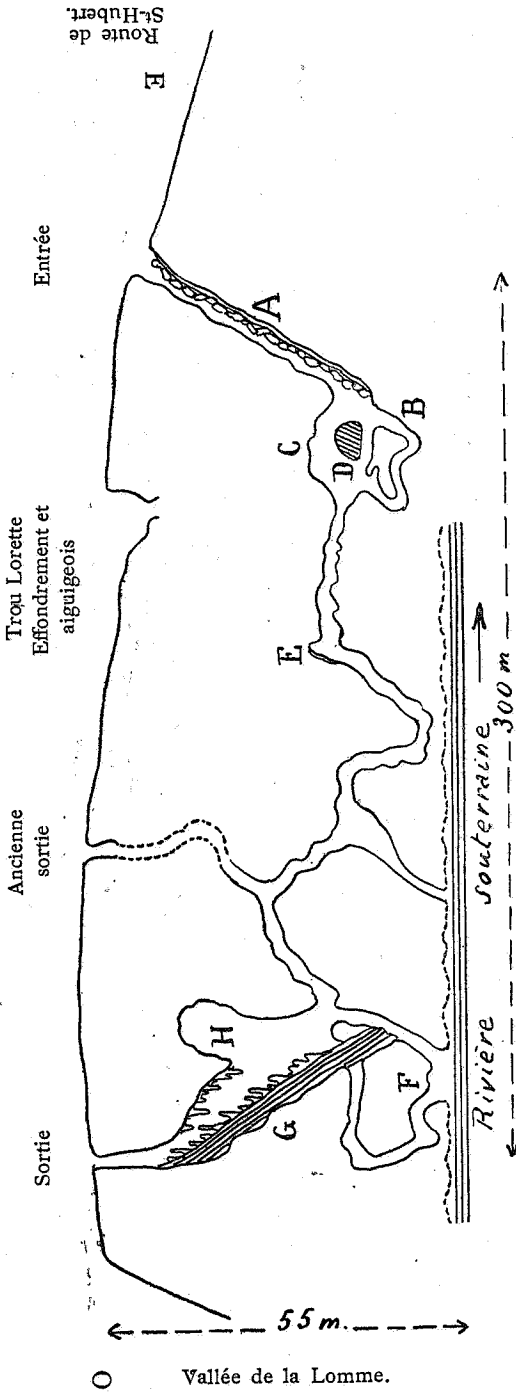
Sa paroi inférieure est couverte d'une coulée de boues pierreuses qui est elle-même couverte de grands blocs écroulés de la voûte. A cause de ces écroulements, la paroi supérieure et les parois latérales offrent peu de surfaces de corrosion, mais beaucoup de surfaces de cassure. La coulée de boues aboutit avec une grande largeur au Val d'Enfer.

Nous avons donc un premier et bon exemple d'aiguigeois de plateau, accompagné de la coulée de boues que les eaux de ruissellement y ont introduites, et avec des écroulements qui tendent à augmenter les dimensions de son orifice extérieur.

Dans la salle dite Val d'Enfer, on observe des diaclases d'où dégoutte lentement de l'eau, mais il ne s'y forme pas de stalagmite.

Sur l'une des parois latérales, on voit nettement, à cause du déblayement dont la salle a été l'objet, l'orifice intérieur d'un second aiguigeois rempli de boues pierreuses. Il est vraisemblablement l'issue

FIG. 6. — Coupe schématique de la Grotte de Rochefort.



- A. Coulée de boues pierreuses et écroulements (aiguigeois).
- B. Cailloux roulés et limon à *Ursus spelæus*, avec stalagmites superposées.
- C. Salle dite Le Val d'enfer.
- D. Coulée de boues pierreuses. (Issue de l'aiguigeois du Trou Lorette.)
- E. Écroulements.
- F. Limon.
- G. Coulée de boues pierreuses recouverte de stalagmites.
- H. Salle du Sabbat.

de l'aiguigeois dont nous remarquons l'orifice extérieur dans le Trou Lorette.

Dans la paroi en face, s'ouvre en annexe un long couloir très accidenté, ramifié, à creux et à bosses, contourné suivant les directions des diaclases qu'on observe très bien dans la voûte. Les parois donnent une bonne notion de la corrosion chimique produite par les eaux d'infiltration.

A l'entrée de ce couloir, les travaux d'accès ont mis à nu des cailloux roulés de roches ardennaises et du limon, surmonté çà et là par de la stalagmite en nappe. Dans ce limon, se trouvent des ossements d'*Ursus spelæus* non roulés, ni rongés par les hyènes, ni brisés à la manière dont le faisaient les Troglodytes. Ils annoncent dès lors que cet endroit fut un repaire de ces carnassiers pendant l'âge du Mammoth et à l'époque du creusement de la vallée de la Lomme. Ils sont dans leurs conditions normales, et on peut déduire, par analogie avec les autres repaires d'*Ursus spelæus* que j'ai fouillés, que cette galerie est en communication presque immédiate avec le flanc de la vallée, où son orifice extérieur est sans doute obstrué par des éboulis.

Cette ramification, projetée tant bien que mal sur la coupe schématique, revient à peu près à son point de départ, après un long circuit irrégulier qui montre l'entrecroisement des diaclases, les corrosions des parois, des stalactites et des stalagmites, des écroulements locaux et des brisures dans la roche.

De retour, dans le Val d'Enfer, on continue la visite du souterrain par de nouvelles galeries accidentées, où l'on peut voir notamment d'autres écroulements.

On aboutit ensuite une première fois, par un véritable regard d'aqueduc, à une rivière souterraine qui coule à une cinquantaine de mètres plus bas que l'entrée de la Grotte.

Après avoir rencontré un nouveau puits naturel par lequel on peut atteindre la surface et qui a aussi ses coulées de boues, on retrouve, par un nouveau regard dans la voûte de son canal, la rivière sur une longueur plus grande. Elle coule en torrent sur un lit pierreux et est soumise, comme les rivières extérieures, à des crues de plusieurs mètres en déposant du limon. Son niveau est réglé par des vannes pour assurer la visite des galeries.

Mais il paraît qu'à peu de distance en aval, elle s'épanouit en une nappe d'eau tranquille sur laquelle on pourra mettre des barques en haussant son niveau par un barrage; les travaux d'accès pour les touristes sont même commencés.

Lorsqu'on a traversé une nouvelle série de galeries qui font accéder à un niveau plus élevé, on arrive à une grande cavité : la Salle du Sabbat, ornée, en quelques-uns de ses points, de stalactites et de stalagmites formées sur place.

Les diaclases entrecroisées y sont admirablement dessinées sur la voûte par des suintements stalactitiques. On remonte les parois de cette salle à travers des blocs éboulés et une grande coulée de boues que recouvrent des stalagmites, et on atteint, comme par une étroite cheminée à travers roc, la surface du plateau ; on peut y contempler à ses pieds la vallée de la Lomme qui nous a présenté les engouffrements retrouvés à l'état de rivière souterraine dans la Grotte de Rochefort. Nous avons en définitive gravi les parois d'un aiguigeois sur une hauteur d'une quarantaine de mètres.

La salle du Sabbat, comme l'est du reste aussi le Val d'Enfer, est certainement l'exemple le plus complet d'aiguigeois que nous possédions en Belgique. L'un de ses orifices resté ouvert sur le plateau ; la disposition d'abord verticale de ses parois sur une dizaine de mètres de hauteur ; puis un long et rapide plan incliné qui est dû à une coulée de boues blocailleuses, en forme de cône de déjection, traversant deux niveaux superposés de galeries et aboutissant au voisinage d'une rivière souterraine visible au-dessous ; la superposition d'épaisses stalagmites sur ces boues pour dénoter l'ancienneté du phénomène ; le contraste entre ces terres amenées en coulées par les eaux de ruissellement et les limons déposés horizontalement par les crues du cours d'eau souterrain ; ces étranges phénomènes de remplissage d'une énorme cavité vus à côté du phénomène chimique, le générateur de la caverne elle-même et que les stalactites de la voûte nous montrent encore en activité ; le mécanisme et le fonctionnement de ces actions antagonistes sont mises en évidence dans cet admirable spécimen des opérations de la nature à l'intérieur des masses calcaires.

*Zone d'excavations et d'effondrements
de deux kilomètres de longueur.*

Cependant nous n'avons pas épuisé par là l'ensemble des faits saillants de cette intéressante localité, mais nous devons étendre ici nos observations aux points qui l'avoisinent.

S'il y existe de vastes et longues excavations, celles-ci n'ont pas toujours su se maintenir ; leurs voûtes ont cédé en tout ou en partie, et d'énormes écroulements se sont produits.

Nous avons observé le Trou du Pré-au-tonneau, où peu d'éboule-

ments sont visibles, mais nous avons vu le large aiguigeois qui se trouve à côté, et un aiguigeois de cette sorte est le résultat de l'effondrement d'une partie de caverne.

Avant de pénétrer dans la Grotte de Rochefort, nous avons remarqué un effondrement d'un demi-hectare atteignant jusqu'à une vingtaine de mètres dans sa partie la plus profonde avec un aiguigeois semblable au précédent et dont nous avons retrouvé l'issue inférieure probable dans la Grotte. Puis, dans celle-ci, on constate des écroulements et des fendillements en plusieurs points.

On trouve des renseignements sur ces mouvements de terrain dans la relation de Kickx et Quetelet citée plus haut et remontant à 1822: « M. Collignon nous apprit également que, derrière sa demeure, on remarquait autrefois dans la roche calcaire une excavation considérable, dans laquelle on entra sans peine, mais qu'une nuit un éboulement subit en ferma l'entrée et fit trembler tous les habitants de Rochefort par le bruit affreux qu'il occasionna. Aujourd'hui les restes de cette excavation sont devenus le repaire de renards. Il ajouta encore que chaque année ses jardins — ceux par lesquels on accède aujourd'hui à la Grotte de Rochefort — baissaient d'une manière fort sensible et qu'il attribuait cet affaissement aux cavités souterraines qui semblent s'étendre sous Rochefort. »

L'existence d'excavations, sous la partie du bourg située sur le calcaire, est en effet confirmée par les habitants. Ils s'en servent comme puits perdus.

Les effondrements sont plus étendus, plus nombreux et plus manifestes encore, lorsqu'on poursuit, vers la fin de la boucle de la Lomme, la direction suivie depuis le Pré-au-tonneau pour gagner le commencement du Thier des Falises.

A partir du plateau, au point où s'en détache un ravin encaissé qui semble creusé comme d'ordinaire par les eaux courantes, et jusque dans la vallée de la Lomme, se voit une série d'effondrements de grandes dimensions avec des aiguigeois et des dénivellations extraordinaires.

L'un, situé vers le sommet et très étendu, forme le commencement du ravin. Un autre, situé plus bas, également fort étendu et profond d'une quinzaine de mètres, est entièrement gazonné et transformé en jardin. Un troisième, plus rapproché du pied de l'escarpement et qu'on cherche à combler avec les décombres de Rochefort, a la forme d'une profonde cuve, mais il est de moindre dimension. Au contraire, sur le côté, l'escarpement s'est effondré presque verticalement en cirque jusqu'à une profondeur de plus de cinquante mètres et sur un diamètre qui ne doit pas s'écarter beaucoup de cent mètres ; un entonnoir existe

au centre. Enfin, au-dessous, dans le bois, on constate encore une suite de petits effondrements et d'aiguigeois, et ils nous conduisent à un nouvel exemple des cas compliqués de la circulation des eaux en terrain calcaireux.

Cent mètres plus à l'ouest et caché du reste sous les alluvions de la Lomme, le calcaire givetien fait place aux schistes frasniens.

Ainsi, 1° nous avons pu reconnaître l'existence d'une suite à peu près continue d'excavations depuis la perte de la Lomme en aval de Jemelle jusqu'aux pieds du Thier des Falises, c'est-à-dire sur une longueur de plus de deux kilomètres, soit par des pertes de la rivière, soit par des cavernes, soit par des aiguigeois, soit par des effondrements, parfois par tous ces moyens réunis.

2° Cette suite d'excavations se trouve sur une ligne légèrement convexe vers le sud-est et, comme on devait s'y attendre, sans connexion avec la direction des bancs de cette grande masse calcaireuse.

3° Cette zone d'excavations est une zone d'écroulements. L'aiguigeois du Pré-au-tonneau, l'effondrement du Trou Lorette, les écroulements et fendillements dans la Grotte de Rochefort, l'écroulement et les affaissements rapportés par Kickx et Quetelet, les effondrements énormes et multipliés, postposés ou juxtaposés, au commencement du Thier des Falises, montre le phénomène sur une échelle qui n'a pas encore été signalée chez nous.

4° La zone d'effondrement est étroite. Elle a au Thier des Falises une largeur maximum de 200 mètres ; le plus souvent, elle se signale par de simples traînées d'aiguigeois. Mais elle indique que cette région est comme minée de toutes parts et que c'est sur sa direction que se trouvent les plus grandes excavations. L'étendue de plusieurs surfaces écroulées nous donne l'impression des énormes dimensions que plusieurs salles ont dû avoir. De même, la Grotte de Rochefort nous fait entrevoir à quelles profondeurs ces cavités, produit d'une lente action chimique, peuvent descendre.

5° La faible largeur de cette zone d'effondrements peut aussi s'apprécier autrement. Ainsi la prairie où coule la Lomme au nord de cette ligne, doit être au-dessus de calcaires fortement excavés, puisque le lit de la rivière a dû être recouvert de béton pour atténuer ses pertes. Néanmoins on n'y observe pas d'effondrements. Les habitants eussent cependant été dans l'impossibilité de remplir ceux qui auraient eu les dimensions des écroulements de Lorette et du Thier des Falises.

Nous verrons du reste plus loin que les masses fortement excavées ne sont pas toujours soumises à ces sortes de mouvements de surfaces.

*Engouffrement des eaux d'aiguigeois
au pied du Thier des Falises.*

Le commencement du Thier des Falises est un point où, comme à l'est de Rochefort, se rassemble un groupe complexe de phénomènes hydrologiques.

Nous avons déjà observé les effondrements et les aiguigeois qui s'y trouvent dans un ravin. A la fonte des neiges ou après les orages, des masses d'eaux boueuses sortent des éboulis d'une partie de ces effondrements dans les conditions suivantes.

A l'endroit où les cuves d'aiguigeois atteignent le bas de l'escarpement, le pied de celui-ci ne longe pas le lit de la Lomme. Il en est séparé par un relèvement de terrain formant digue et que les eaux de débordement ne franchissent pas.

Il en résulte qu'un ravin, d'une cinquantaine de mètres de longueur et de quelques mètres de largeur, se trouve isolé contre l'escarpement au niveau de la rivière et parallèlement à elle. Il commence en amont aux écroulements mentionnés ci-dessus et finit en aval contre la masse rocheuse escarpée où se trouve à son propre niveau l'ouverture elliptique d'une caverne.

Cela étant, aux époques où les eaux superficielles sont fort abondantes, qu'elles viennent du Trou Maulin comme plusieurs le pensent et par conséquent des inondations de la Lomme en aval de Rochefort, ou du ravin à aiguigeois, ce qui est fort probable, ou des deux points à la fois, ce qui serait plus admissible encore, des eaux fortement chargées de terre sortent en torrents, dans le petit ravin, des joints existant entre les blocs éboulés, c'est-à-dire des effondrements à aiguigeois, et elles se précipitent dans la caverne située en face.

Là se trouve une excavation horizontale avec gouffre profond, et le torrent y poursuit son cours. Mais il rencontre sans doute bientôt des passages à étranglements, car les eaux s'accumulent, et, entrant dans un couloir ascendant près du petit gouffre, elles l'ont rempli de cette terre argileuse, grossière, jaune, qu'on a souvent appelée *limon des cavernes*, mais ce nom ne s'applique qu'à une partie des alluvions observées dans les cavernes qui ont été fouillées dans notre pays.

Les eaux, ainsi entrées dans le Thier des Falises, ont ensuite un cours inconnu. On peut cependant penser qu'elles vont rejoindre le long canal où la Lomme se perd de nouveau un peu plus loin, ainsi que nous allons le voir.

Engouffrement de la Lomme au Thier des Falises et sa réapparition au Rocher d'Eprave.

La Lomme coulait à ciel ouvert, depuis qu'elle était entrée dans les schistes frasniens avant de décrire une boucle autour de Rochefort. Elle revient bientôt vers le calcaire givetien et, à peine y est-elle rentrée, qu'elle s'y engouffre et laisse désormais son lit à sec, pendant une partie de l'année, jusqu'à sa sortie définitive au Rocher d'Eprave.

Cette nouvelle perte de la rivière se produit contre la chaussée à la base du haut escarpement boisé appelé Thier des Falises. L'orifice bien visible où entrent les eaux est béant ; plus long que large, il n'occupe qu'une partie de la largeur du lit de la rivière (1). Il ne sait absorber qu'une quantité d'eau relativement peu élevée et n'assèche en conséquence la rivière qu'aux eaux basses. C'est seulement quand il y a plus d'eau que l'issue du canal souterrain ne peut en laisser pénétrer, que le lit de la Lomme redevient une rivière, parfois à fortes inondations. Alors l'orifice de la perte est caché sous la masse liquide, et rien n'indique plus que, pendant une longue saison, la rivière y disparaît tout entière.

Une fois entrée dans le roc du Thier des Falises, la Lomme ne se manifeste plus dans son cours souterrain d'une longueur rectiligne de 2800 mètres. On n'observe ni effondrements ni aiguigeois. Cependant des phénomènes de confluences répétés doivent se passer durant ce long trajet sous terre.

Nous en saisissons un presque sur le fait. Les eaux du petit ravin, sortant périodiquement des écroulements et s'engouffrant près du point où elle se perd, doivent inévitablement se joindre à elle.

Les eaux de la perte de la carrière de Rochefort qui se réunissent souterrainement à l'un des bras de la Wamme, ne reparaisent pas au jour dans l'intervalle et nous amènent à croire à leur confluence avec la Lomme engouffrée au Thier des Falises.

Enfin la rivière de la Grotte de Rochefort dont nous ne retrouvons également pas l'émergence, doit à son tour confluer avec la Lomme sur le même trajet souterrain pour sortir avec elle à Éprave. Son parcours

(1) Ainsi se présentait l'orifice en 1893. Mais, au mois de juin suivant, il était obstrué par un amas de gros moellons que les eaux y avaient apportés pendant l'hiver et au travers desquels elles passaient. Il figurait ainsi l'orifice des nombreux aiguigeois dont l'existence ne se signale que par des pierres superposées donnant passage à l'eau.

rectiligne à travers roc serait alors non loin de cinq kilomètres, et le plus long encore reconnu chez nous.

Nous savons en outre que le Thier des Falises contient beaucoup d'excavations, que la rivière souterraine doit s'écarter de l'escarpement à l'endroit où il est formé par les psammites de la partie supérieure de l'étage couvinien, qu'enfin elle passe au pied de l'escarpement calcaire qui fait face au Rocher d'Éprave. Il y a lieu d'entrer dans quelques développements sur ce dernier point.

Aux plus basses eaux, devant un grand abri sous roche, de l'eau s'épanche d'une petite anse latérale du lit asséché de la rivière, comme le ferait le trop-plein d'un vase. Aucun mouvement ne s'y manifeste, et elle vient couvrir en aval le lit de la rivière, comme si celle-ci repaissait entièrement au jour. Elle ne forme cependant qu'une sorte d'étang. A une centaine de mètres, au milieu d'un coude, le lit s'assèche de nouveau, par suite d'une autre perte sans doute (1).

Aux époques où la Lomme coule à pleins bords, le phénomène n'est naturellement pas plus visible que dans les autres endroits à engouffrements. C'est manifestement ce que M. Martel appelle une *source sous-fluviale*.

Enfin, d'une sorte de grand tertre allongé, portant le nom de Rocher d'Éprave, sur la falaise duquel s'ouvrent des excavations, la Lomme revient à son cours naturel. Elle sort d'un grand orifice tumultueusement, limpide et fraîche, à l'état de source magnifique et, comme elle entre presque immédiatement sur les schistes frasniens, elle coule désormais à ciel ouvert. Cette source est donc encore une source vauclusienne.

Cet appareil pourrait néanmoins dissimuler des complications dans le phénomène de réapparition. Mais ici, comme dans toutes les questions de ce genre, j'en suis réduit à des impressions, n'ayant pas été en mesure de faire des constatations précises par des jaugeages.

Il m'a paru que, dès que la Lomme avait regagné son lit, elle avait

(1) Ainsi se présentait le lit de la Lomme au mois de juin 1893, après une longue période de sécheresse et au mois d'août suivant, après un mois de pluie. Mais, au mois de juin 1894, un nouveau phénomène y apparaissait. La perte de la Lomme, complète au pied du Thier des Falises, persistait jusqu'à la courbe vers le rocher d'Éprave. Immédiatement en amont de l'épanchement qui vient d'être mentionné, le lit, au lieu d'être à sec, était rempli d'eau dormante qui se perdait à quatre ou cinq mètres de cet épanchement, de sorte qu'il y avait entre les deux nappes d'eau un étroit passage à sec.

Cette circonstance annonce un remplissage plus complet du canal souterrain de la Lomme.

un volume plus fort que ne semblaient le comporter les eaux sorties par l'orifice en vue. Je me suis demandé si d'autres issues ne se trouvaient pas dans le lit même de la rivière et cachées sous ses eaux qui prennent dès lors les proportions d'une rivière importante.

La durée du trajet souterrain de la Lomme, depuis son engouffrement au Thier des Falises jusqu'à son seuil de sortie à Éprave, n'ayant pas été soumise de son côté à des observations scientifiques, ne peut être l'objet que d'évaluations assez aléatoires. C'est grâce à l'obligeance de M. Théophile Lannois que je puis rapporter l'opinion dominante dans la région sur ce sujet : « D'après les renseignements que j'ai recueillis, m'écrivit-il, il faut à la Lomme environ de 10 à 12 heures pour la traversée du Thier des Falises à la sortie. On a pu le constater, lorsque les eaux de la rivière se troublent. »

La pente entre la perte et la réapparition de la Lomme est d'une dizaine de mètres, d'après la carte militaire, pour une longueur rectiligne de 2800 mètres, certainement fort allongée par les circuits du canal souterrain. L'appréciation des habitants est à rapprocher de celle mentionnée plus haut pour le trajet de la Wamme en Deswain, qui est évaluée à trois heures et demie pour une longueur rectiligne de 4500 mètres et une pente de 35 mètres. Nous aurons l'occasion de faire d'autres rapprochements à propos de la Lesse dans la Grotte de Han.

LA LESSE.

La Lesse prend, comme son affluent, la Lomme et, comme l'affluent de celle-ci, la Wamme, sa source en Ardenne, et, vers le point où nous l'observons ici, c'est-à-dire lorsqu'elle traverse pour la première fois des bandes de calcaire, elle a déjà parcouru la moitié de son cours. Vingt-cinq kilomètres l'en séparent en effet à vol d'oiseau de son origine et, ayant déjà reçu plusieurs affluents au milieu des grès et des schistes du Devonien inférieur, elle a acquis le volume d'une rivière assez importante. Elle occupe du reste le premier rang dans la région comprise entre la Meuse et l'Ourthe.

La Lesse recoupe d'abord à Resteigne une bande de calcaire givetien, large d'environ un kilomètre et demi, sans manifester de phénomènes ostensibles. Mais quand, après un court trajet dans les schistes frasniens, elle rencontre l'extrémité d'un des replis de la bande givetienne de Rochefort, elle s'engouffre sur l'espace d'un kilomètre dans la longue suite d'excavations qu'on appelle la Grotte de Han, l'un des types les plus complets de cavernes à engouffrements qui existent.

A sa sortie du souterrain, elle rentre dans les couches quartzo-schisteuses du Devonien supérieur dont elle traverse toute la série sur une longueur rectiligne de vingt kilomètres; puis, sur une autre longueur rectiligne de cinq kilomètres et avant de se jeter dans la Meuse au milieu de roches quartzo-schisteuses, elle recoupe obliquement une bande de calcaire carbonifère.

Dans ce nouveau trajet en terrain calcaireux, la Lesse ne subit plus de grands engouffrements comme ceux que nous venons d'étudier et comme celui que nous allons étudier en détail. Il faut même des observations très attentives pour reconnaître qu'il s'en produit. Ainsi, au pied de l'escarpement des cavernes de Furfooz, la rivière est soumise à une petite perte par un étroit aiguigeois à tourbillonnement, quand ses eaux grossissent.

Par contre, dans la Lesse inférieure se sont rencontrées, à diverses hauteurs sur les flancs de la vallée, plusieurs des cavernes à ossements qui ont permis de reconnaître les actions de remplissage quaternaires, d'établir notre paléontologie stratigraphique des mêmes temps, et, par les restes de l'homme et de son industrie, de découvrir les éléments de la reconstitution ethnographique de nos Troglodytes.

Le Trou des Nutons et le Trou du Frontal à Furfooz, le Trou de Chaleux, le Trou de la Naulette, le Trou Magrite à Pont-à-Lesse, si féconds en révélations sur ces sujets, sont tous de la Lesse inférieure.

A son tour, la Lesse supérieure nous offre la Grotte de Han, non moins féconde en révélations d'un autre genre.

Engouffrement de la Lesse dans le Trou de Belvaux.

Lorsque la Lesse pénètre dans la digitation calcaireuse entre Belvaux et Han (pl. XII et pl. XIII, fig. 2), elle parcourt d'abord en tout temps un kilomètre à ciel ouvert, sans que rien fasse prévoir qu'elle va subir un changement de régime aussi profond que celui qui l'attend au Trou de Belvaux.

Un grand aiguigeois, au milieu d'un profond effondrement en forme de cirque dans les flancs de l'escarpement, et semblable à l'un de ceux du Thier des Falises, en signale seul l'approche.

La Lesse va en effet bientôt buter contre des rochers en falaises, excavés en une grande chambre quadrangulaire à deux ouvertures étendues et à large pilier séparatif.

Au fond de cette chambre, dont les parois souvent décollées offrent surtout des surfaces de cassure, se voient, dans les pans latéraux, trois orifices juxtaposés, situés à des niveaux un peu différents et de formes

irrégulières comme ceux de cavernes à couloirs. C'est le Trou de Belvaux.

La Lesse y arrive étroitement encaissée entre deux berges d'alluvions hautes de six mètres et elle y disparaît entièrement avec fracas, sauf en temps d'inondation, alors qu'elle déborde ses hautes berges.

Suivant le volume de la rivière, les trois orifices servent isolément ou simultanément.

Si la Lesse est très basse, l'orifice inférieur reçoit toutes les eaux. Si elle est plus haute d'environ un mètre, le second orifice qui, étant sur le même pan, touche presque le premier, entre aussi en action avant que le premier soit rempli.

Si elle augmente encore, le troisième orifice, placé sur un autre pan et à environ trois mètres plus haut que les autres, commence à prélever sa part, alors que l'eau surmonte le second et pas entièrement le premier.

Puis, quand ils absorbent tous les trois autant d'eau que leurs dimensions le permettent, la Lesse, continuant de monter d'un à deux mètres, atteint ses berges et écoule le surplus de ses eaux à ciel ouvert par sa chavée.

Le volume d'eau, capable d'entrer dans le Trou de Belvaux, est considérable, puisque c'est une rivière qui y pénètre et elle est d'une réelle importance. On est en mesure de l'apprécier à l'entrée et à la sortie.

Mais on peut se demander, comme nous l'avons déjà fait pour les pertes de la Wamme, si les trois orifices correspondent à des canaux communicants ou séparés. Nous ne savons rien d'absolument précis sur ce point, car nous ne retrouverons la Lesse souterraine qu'à huit cents mètres en aval à vol d'oiseau. Elle nous échappe dans l'intervalle, et nous pourrions seulement, en comparant son régime à l'entrée et à sa réapparition, chercher à induire quelques données sur son long parcours inconnu.

La chavée de la Lesse.

Nous avons vu que, dans ses crues, la Lesse ne peut être complètement absorbée par les trois orifices du Trou de Belvaux et qu'elle déborde pour faire entrer le surplus de ses eaux dans son lit à ciel ouvert.

La vallée se continue en effet, après comme avant la perte; seulement elle est alors à sec presque toute l'année et devient ainsi ce qu'on appelle une chavée.

Les eaux qui l'envahissent vont faire un circuit de près de quatre kilomètres et par une pente de huit à dix mètres, à travers le reste de la masse calcaireuse et sur les schistes; elles rejoignent, en deux heures environ, la Lesse au moment où elle revient au jour et se mêlent à cette dernière comme avant de se séparer au Trou de Belvaux (Pl. XII).

La rivière rentre ainsi dans son état normal.

Mais auparavant la chavée a rencontré des points intéressants.

D'abord, dans son lit même, deux aiguigeois manifestent leur présence. L'un, situé entre les deux ouvertures latérales de la Grotte de Han, s'annonce par des pierres entassées et au jour, au lieu d'être couvertes de gazon comme tout le voisinage, et par des commencements d'affaissements de terre, circonstances qui indiquent une voûte de canal déjà en partie écroulée et continuant son écroulement. L'autre, à environ 500 mètres au nord, est plus grand et également pierreux; il a une forte absorption (Pl. XIII, fig. 2). Les habitants l'appellent l'Etonnôis (entonnoir).

Lorsque la chavée est inondée, l'eau pénètre dans ces aiguigeois et prend un cours souterrain, sans qu'on sache où elle se rend.

Ensuite apparaît dans l'escarpement, mais presque au niveau de la chavée, une grande ouverture, avec pilier, qu'on appelle le Trou d'Enfaule. C'est l'une des entrées de la Grotte de Han. Si la chavée est envahie, une partie de ses eaux s'introduit par cet orifice dans la Grotte et y donne naissance à un affluent temporaire de la Lesse souterraine, ainsi que nous le verrons plus loin.

Enfin, entre les deux aiguigeois, se montre encore sur l'escarpement, mais cette fois à sept ou huit mètres au-dessus de la chavée, une nouvelle ouverture bien développée. C'est l'autre entrée de la Grotte de Han, appelée Trou du Salpêtre (1), et celle par laquelle les touristes accèdent. L'eau d'inondation n'atteint jamais cet orifice surélevé.

(1) Il doit tenir son nom de la fabrication du salpêtre qu'on fit, sous la première République française, dans les caves des maisons et dans les cavernes pour satisfaire aux réquisitions du Comité de salut public. Chaque commune devait fournir pour la confection des poudres une certaine quantité de salpêtre qu'elle se procurait par des procédés dont l'usage lui était prescrit : on recouvrait de terre, dans un endroit humide et abrité contre la pluie, du feuillage qu'on arrosait fréquemment avec de la lessive de cendres de bois. Il se formait dans cette terre des efflorescences de nitre qu'on enlevait par lavages. C'est sans doute aussi à cette fabrication qu'est due la fréquence du nom de « Salpéteur » (salpétrier) parmi les habitants. Le Trou des Nutons de Furfooz avait également servi à la fabrication du salpêtre.

C'est à la même occasion et dans le même but que, pour suppléer au soufre que le blocus maritime empêchait d'arriver de Sicile, on se mit à sublimer la pyrite de fer qui fournit ainsi le soufre nécessaire aux poudres. Mais j'ignore si celle de la région servit à cet usage.

LA GROTTÉ DE HAN.

(Pl. XIII, fig. 1 et 2.)

La colossale excavation qui porte ce nom a une longueur rectiligne de sept cents mètres depuis le Trou d'Enfaule jusqu'au seuil de sortie. Mais les sinuosités des galeries font que le plus court trajet entre les deux issues est de plus d'un kilomètre. Les ramifications sont tellement nombreuses que la longueur des passages connus n'a pas moins de 4200 à 4500 mètres.

Les galeries forment une sorte d'ellipse dont l'un des axes est de sept cents mètres et l'autre de trois cents mètres, et qui représente une surface approximativement de quinze hectares. Les intervalles, figurés en blanc sur le plan, doivent être traversés par une suite de galeries en partie reconnues du reste, mais encore inexplorees.

L'étendue de la Grotte de Han peut être appréciée par la seule longueur des galeries accessibles, qui, avoisinant quatre kilomètres et demi, correspondraient à six rangées rectilignes et parallèles s'étendant entre l'entrée et la sortie.

Une estimation plus approximative fait évaluer à plus de quatre hectares la surface elle-même de ces galeries, soit à plus du quart de la surface circonscrite par leur ensemble.

Une autre évaluation, plus approximative encore il est vrai et déjà mentionnée (p. 210) (1), permet d'admettre comme indication destinée à se faire une idée du volume des mêmes excavations, le chiffre d'au moins un million de mètres cubes, dont une grande partie se trouverait depuis le bras de la Lesse de la Place d'armes jusqu'à l'issue de la rivière. C'est là en effet qu'on rencontre les grandes salles, les galeries les plus larges et élevées; les autres ne sont guère que des couloirs qui, tout en atteignant souvent de notables dimensions, sont toujours fort inférieures sous ce rapport à la partie de la Grotte où la Lesse reparaît.

Quetelet a publié en 1822 dans les *Mémoires de l'Académie de Belgique* un plan de la Grotte de Han, telle qu'elle était alors connue. Les galeries, par lesquelles on peut rejoindre du Trou du Salpêtre par la Salle les mystérieuses la Place d'armes, n'avaient pas encore été découvertes.

(1) Elle a été faite en supposant que la hauteur des excavations a seulement la moitié de leur largeur et que la section des galeries correspond à un demi-cercle, ce qui donne un résultat inférieur à la réalité dans la plupart des cas. Le chiffre indiqué est donc certainement un minimum.

M. Pochet a levé un autre plan pour le *Guide-Album* de la Grotte en 1876. C'est celui dont nous nous servons (pl. XIII, fig. 1), en lui ayant fait subir des modifications de détails qui m'ont été indiquées.

M. Édouard de Pierrepont m'a obligeamment facilité l'étude de cette immense grotte, en voulant bien m'y accompagner à plusieurs reprises et en mettant à ma disposition M. Lannois, guide en chef et M. Henin, contrôleur de la grotte, qui, par leur expérience des écoulements des eaux et leur empressement à me renseigner, m'ont mis en possession de précieuses indications. J'ai pu suppléer ainsi dans une certaine mesure à des observations prolongées qui ne m'auraient pas été personnellement possibles, sur la marche des phénomènes.

Le plateau de la Grotte de Han.

La montagne calcaire de la Grotte de Han présente grossièrement la forme d'un cône aplati et haut de 125 mètres relativement à la sortie de la Lesse dont l'altitude est de 160 mètres.

Après avoir observé la zone d'écroulement sur le trajet de laquelle la Grotte de Rochefort se trouve, on pouvait se demander si le cas n'était pas en général celui des masses calcaireuses perforées par de grandes et nombreuses cavités. On aurait eu ainsi un indice pour déceler les endroits abondants en cavernes.

Il était intéressant d'examiner à ce point de vue le plateau au-dessus de la Grotte de Han. Le fait qu'il doit être traversé par de longs canaux dans sa partie inexplorée, était certain, puisque la Lesse y a un trajet inaccessible sur huit cents mètres à vol d'oiseau depuis le Trou de Belvaux, et, à sa réapparition dans la Grotte, elle est séparée en deux bras distincts dont la longueur, que nous essaierons du reste d'évaluer, doit être très grande.

M. de Pierrepont me conduisit d'abord au Trou Sinsin vers l'extrémité du massif calcaireux (pl. XIII, fig. 2). C'est une surface effondrée d'au moins un hectare, avec une dénivellation d'une soixantaine de mètres, la partie voisine des schistes frasniens ayant joué le rôle de charnière. Deux beaux aiguigeois en cuves, du type de ceux que les aiguigeois de plateau adoptent de préférence, sont contigus au centre de l'effondrement et vraisemblablement en activité en temps de ruissellement.

En voyant en premier lieu un écroulement aussi étendu, je m'attendais à rencontrer, dans le bois qui couvre ce plateau, la répétition de ce qu'on constate entre le Pré-au-tonneau et le Thier des Falises et même à le rencontrer sur une plus grande échelle. Les écroulements de

la Salle du dôme et d'autres points de la Grotte n'étaient pas faits pour écarter cette prévision.

Elle fut vaine. Le Bois de Boine ne m'a plus présenté d'effondrements.

Seuls les aiguigeois jumeaux du Trou madame (1), que m'avait également renseignés M. de Pierrepont, sont les ouvertures visibles communiquant avec la Grotte, et ils ne sont pas accompagnés de surfaces d'effondrement. Il y en a vraisemblablement d'autres, par exemple l'aiguigeois qui a donné naissance à la coulée de boues de la Salle du dôme, mais je n'ai pu le découvrir, même avec l'aide de M. Lannois. Il a peut-être été rempli avec des pierres pendant les coupes du bois. Il est cependant encore en activité.

Le Trou Picot, situé au-dessus de l'escarpement devant le village de Belvaux, est un couloir d'une cinquantaine de mètres avec embranchement de retour à son extrémité. Il est indépendant de la Grotte de Han. Sa voûte est entièrement écroulée, sauf à l'entrée. Les parois, par les surfaces de cassure au-dessus et les surfaces de corrosion au-dessous, montrent fort bien la disposition primitive de la caverne.

S'il n'y pas eu d'effondrements au centre de la surface en relief recouvrant la Grotte, il s'en est produit sur ses bords.

Outre celui du Trou Sinsin, il y'en a deux autres qui me paraissent incontestables.

L'un se présente à la sortie même de la Grotte, où les parois en falaise de l'escarpement, suivant une courbe marquée, dénotent la présence d'un cirque d'effondrement dont les débris doivent avoir été emportés par la Lesse.

L'autre, déjà mentionné, s'observe en amont du Trou de Belvaux, sur le flanc même de l'escarpement. Il est aussi en forme de cirque à parois escarpées. Un aiguigeois de plateau est au centre et doit être également en activité après les grandes pluies. Immédiatement au-dessus, sur le plateau, une dépression circulaire presque effacée, mais d'une étendue fort notable, simule probablement un vaste aiguigeois comblé et remontant à des temps anciens.

Ces effondrements sont bien visibles, et il y a lieu de les croire récents.

D'autres points rappellent les mêmes dispositions. Ce sont des ravins longeant la chavée de la Lesse. Leurs formes sont anormales. Ils ne s'amorcent pas sur le plateau par une dépression formant rigole. Ils

» (1) Ils figuraient déjà sur ma minute de la feuille de Han-sur-Lesse dont j'avais commencé le levé en 1881-82.

commencent brusquement avec la pente de l'escarpement, et leurs bords présentent des rochers à pic, comme les cirques précédents.

Il est difficile d'y voir des ravins creusés par des torrents, le plateau ne présentant pas le lit de ceux-ci. Leurs analogies avec les cirques d'effondrements voisins me semblent, au contraire, marquées, et je suis disposé à croire qu'ils sont les témoins d'écroulements survenus à une époque plus ancienne que les autres, par exemple pendant le creusement de la vallée.

Dans ce cas me paraissent être notamment les deux ravins situés entre le Trou de Belvaux et le Trou d'Enfaule. Il est possible qu'il y en ait d'autres en aval, à l'endroit où la chavée se recourbe. Le roc y est en falaise droite, et la cassure est à travers bancs.

La Grotte de Han et la Grotte de Rochefort.

On rencontre dans la Grotte de Han des salles et des couloirs, des galeries superposées et des galeries branchées munies de leurs diaclases directrices à dégouttements, des parties riches en calcaire chimique et d'autres qui ne le sont pas, des cheminées avec leurs coulées de boues, des alluvions fluviales caillouteuses et limoneuses sous des stalagmites, une rivière avec ses crues et ses dépôts de limon, un long couloir servant de canal aux eaux torrentielles.

Ce sont là les phénomènes principaux des cavernes, ceux qui leur donnent des caractères si marqués. On les retrouve pour la plupart, les uns et les autres, aussi bien à Rochefort qu'à Han. Comment se fait-il que ces deux grottes présentent des aspects si différents que rien ne semble, à première vue, les rapprocher?

C'est que, si elles sont ou ont été, toutes proportions gardées, le siège de ces actions communes, les phénomènes s'y produisent ou s'y sont produits avec une énergie différente. Telle action a pris ici un rôle prépondérant, là son rôle est effacé, et elle y est remplacée en importance par une autre action, reléguée dans la première caverne à un arrière-plan.

La Grotte de Rochefort est essentiellement une caverne à aiguigeois de plateaux et à coulées de boues; la principale influence qu'elle a subie est celle des eaux de ruissellement.

La Grotte de Han est essentiellement, au contraire, une caverne à cours d'eau permanent et à cours d'eau périodique; elle en subit en première ligne les influences et les fluctuations. En quelques points, elle montre qu'elle a été aussi soumise à l'action des plateaux, mais celle-ci

ne s'y manifeste ostensiblement que par les coulées de boues et non par les puits naturels qui les relie à la surface.

La prépondérance différente des réactions de l'extérieur est elle-même la conséquence des dispositions internes de ces cavernes.

La Grotte de Rochefort est avant tout en rapport avec un plateau. C'est par là qu'on y entre et qu'on en sort. Elle est donc, encore essentiellement, une caverne développée dans le sens vertical, une caverne à puits.

Par opposition, la Grotte de Han est avant tout en rapport avec le fond d'une vallée. C'est par le fond de la vallée de la Lesse qu'on y entre et qu'on en sort, et non par le plateau. Elle est donc, essentiellement de son côté, une caverne développée dans le sens horizontal. C'est une caverne à galeries et non pas à puits.

Le territoire que nous étudions est donc en possession de ce que nous pourrions appeler deux prototypes de dispositifs de cavernes.

Eaux d'infiltration.

Le phénomène commun à toutes les cavernes, par le fait qu'il leur a donné naissance, est l'action des eaux d'infiltration, et il continue à s'y manifester en continuant son œuvre d'ablation.

La Grotte de Han donne lieu, sous ce premier rapport, à des observations intéressantes et significatives.

Plus encore que dans toute autre caverne, on est frappé de la petite quantité d'eau qui s'infiltré de la surface, comparativement à l'extension et à l'importance de leur action. On peut aussi y séjourner plusieurs heures sans être incommodé par le dégouttement des voûtes.

C'est cependant par cette voie que cette énorme suite d'excavations s'est formée lentement à travers les temps et que, depuis la fin du creusement de la vallée de la Lesse, une masse de stalactites et de stalagmites, dont j'évalue, avec M. Lannois, le volume de 1500 à 2000 mètres cubes, s'est déposée. On a sous les yeux l'exemple le plus démonstratif de la puissance d'effets que peut revêtir un phénomène de faible énergie, lorsqu'il est doué d'une longue durée.

J'ai demandé aux deux guides si l'eau d'infiltration était plus abondante en hiver qu'en été.

Ils m'ont répondu sans hésitation que le contraire a lieu. Le dégouttement est plus grand en été, sauf au Boudoir de Proserpine, où se trouvent les eaux incrustantes dont il va être question, et sous l'écroulement de 1828, c'est-à-dire en deux points de la Salle du dôme.

Cette observation a de l'importance, car elle nous fait apprécier la lenteur avec laquelle l'eau atmosphérique traverse les tampons de terre des diaclases. C'est seulement à la saison suivante que l'eau de la saison pluvieuse parvient à se libérer des matières meubles qui la séparent des excavations. Il lui faut donc plusieurs mois. On comprend que, pendant un séjour aussi prolongé, l'eau acidule ait pu exercer son pouvoir corrosif et dissoudre du calcaire.

MM. Lannois et Henin ont ajouté qu'en 1888-89, on avait coupé le bois qui surmonte la Grotte et que l'année 1889 fut pluvieuse. A partir du printemps, soit au mois d'avril, et deux à trois mois plus tôt que d'habitude, ils constatèrent une abondance extraordinaire d'eau d'infiltration. L'eau semblait couler contre les parois, formait des mares en plusieurs points et obligeait les guides à un entretien plus laborieux des voies ; mais l'abondance du dégouttement ne fut cependant pas telle qu'elle fût pénible pour les visiteurs et les forçât à à se vêtir davantage.

Le phénomène avait cessé l'année suivante ; le dégouttement fut normal, et ils en attribuaient la cause à la circonstance que la mousse et les herbes, arrachées par les travaux de la coupe des arbres, avaient eu, ainsi que le taillis, le temps de repousser et arrêtaient une partie importante des eaux de pluies, qui subissaient dès lors rapidement l'évaporation.

Cette remarque nous fait voir à son tour le rôle de la végétation forestière dans la limitation des eaux d'infiltration et l'influence qu'a pu avoir sur ce phénomène le déboisement d'une grande partie de ces régions, opéré depuis quelques siècles.

On savait déjà combien le ruissellement a augmenté pour cette cause et accru le danger des grands débordements des rivières.

Nous pouvons entrevoir que, pour la même cause, le dégouttement des eaux acidules n'a jamais été aussi fort qu'aujourd'hui dans les cavernes dont le plateau a été déboisé, et c'est la règle ordinaire. Mais, en constatant aussi la petite quantité à laquelle il se réduit, même dans ces conditions, nous nous confirmons encore dans l'idée de sa faible action et partant, devant ses énormes résultats d'ablations, de son immense durée.

La formation des stalactites et des stalagmites est ici comme ailleurs fort lente. Pour qu'elle soit appréciable, il faut deux ou trois ans.

Les stalactites sont disposées en files le long des diaclases, comme on peut nettement le voir dans la Salle du dôme et ses annexes, qui répètent nos observations de même nature dans la Grotte de Rochefort.

Cette circonstance, jointe à la présence constante d'une large diaclase à dégouttement à la clef de voûte des galeries, démontre bien que c'est par ces fentes, et par ces fentes seules, que s'introduisent les eaux douées d'un pouvoir chimique et que le dégouttement des eaux d'infiltration est l'agent possédant ce pouvoir.

Perpendiculairement au-dessous des stalactites, se trouvent les stalagmites correspondantes en dimensions et en développement. Si la salle est peu élevée, notamment dans Les Mystérieuses, les stalagmites, s'élevant en colonnes, sont pointues et tendent à rejoindre la stalactite, ainsi que cela a lieu maintes fois. Mais, si la salle est haute, les gouttes tombantes forment un cône stalagmitique tronqué, ce qui fournit un moyen d'apprécier, dans la demi-obscurité où le visiteur est plongé, qu'il se trouve dans une excavation élevée.

Il arrive alors, suivant les remarques de M. Lannois, que, dans leur chute, les gouttes, par suite d'un courant d'air, dévient légèrement et ne tombent plus en permanence à la même place, ce qui fait, ajoutait-il judicieusement, que parfois le cône de stalagmite n'est plus complètement sous la perpendiculaire du cône de stalactite dont le dégouttement lui a donné naissance.

Dans une partie de la Salle du dôme, le Boudoir de Proserpine, la stalagmite prend un aspect plus brillant, plus blanc et plus cristallin. Le calcaire chimique, doué de cette particularité qui le ferait prendre à première vue pour une substance à part, recouvre d'autres stalagmites de texture et d'aspect normaux et il témoigne par là à la fois d'un phénomène spécial et récent.

Il tombe, en effet, de la voûte en ce point une eau plus abondante et beaucoup plus chargée de calcaire dissous. La chute des gouttes est à peu près continue, surtout en hiver, et le dépôt de calcaire chimique y est si rapide que l'eau est incrustante. Si l'on place au-dessous des objets appropriés, tels que des petits paniers, ils sont recouverts de calcaire au bout d'un hiver, tandis qu'ils pourrissent au-dessous d'autres diaclases également à fort dégouttement.

Je n'ai pas fait d'observations qui me permettent de pousser plus avant la reconnaissance de ce phénomène.

*Classement des galeries suivant les phénomènes spéciaux
dont elles sont le siège.*

Le réseau des salles et galeries connues de la Grotte de Han se divise en quatre groupes, suivant qu'elles servent :

1° de cours permanent à la Lesse; ce qui a lieu dans la région de la sortie;

2° qu'elles sont inondées à la fois par les crues intérieures et par le courant d'inondation extérieur; ce qui a lieu pour la plupart des galeries centrales;

3° qu'elles sont inondées seulement par le courant d'inondation extérieur; ce qui a lieu sur une faible longueur pour les galeries de l'extrémité de la Grotte au Trou d'Enfaule et pour la galerie Le Courant d'air, entre la Place d'armes et la Salle du dôme;

4° qu'elles restent constamment émergées, parce qu'elles sont de plus de huit mètres au-dessus du niveau de la Lesse à sa réapparition dans la Grotte; ce sont les endroits à coulées de boues et riches en calcaires chimiques.

Le plan (pl. XIII, fig. 1) figure par des couleurs différentes ces quatre catégories, et c'est dans l'ordre où elles viennent d'être énumérées, que nous les examinerons.

La Lesse dans la Grotte de Han.

La Lesse a parcouru des trajets souterrains sur une longueur à vol d'oiseau de 800 mètres, lorsqu'elle apparaît dans la Grotte de Han à trois cents mètres de son retour à ciel ouvert.

On fit, il y a plusieurs années, l'étude d'un chemin de fer dans cette partie de la vallée. Les ingénieurs, me dit M. Lannois, ont mesuré aux eaux basses la différence de niveau de la Lesse à son entrée dans le Trou de Belvaux et à sa sortie à Han. Ils l'ont fixée à 90 centimètres, soit donc moins d'un mètre pour une longueur de plus d'un kilomètre en ligne droite.

Nous avons vu que la rivière se perd au Trou de Belvaux par trois orifices étagés, dont un seul est parfois en activité.

Lorsque l'orifice inférieur est seul en action, cette différence de niveau de 90 centimètres doit disparaître dès l'entrée. L'eau s'y précipite en effet, tumultueusement et avec une forte pente, dans une salle étendue sur un espace visible suffisant pour que les 90 centimètres aient été largement gagnés, et dès lors, si la donnée du nivellement est exacte, comme nous avons toute raison de le croire, il n'existerait pas, dans cette phase de l'engouffrement, de dénivellation sensible entre les eaux à l'entrée et à la sortie.

Mais, avec la croissance de la Lesse et la mise en activité des autres orifices, la dénivellation augmente et peut aller à 3 ou 4 mètres.

D'un autre côté, à sa réapparition dans la Grotte de Han, la rivière

est en deux branches : la branche de la Salle des draperies, ou branche gauche, et la branche de la Place d'armes, ou branche droite.

Elle y coule toute l'année. Jamais l'un de ces bras n'est à sec.

Ils réunissent ensuite bientôt leurs eaux pour couler encore souterrainement à peu près sur 125 mètres et produire l'incomparable sortie de la Lesse par un large trou béant à la base d'un grand cirque d'effondrement. Ce dernier monte jusqu'au sommet de l'escarpement et est avec vraisemblance le témoin d'une vaste salle en dôme sous laquelle la rivière s'exhumait jadis.

Nous nous trouvons ici devant trois éléments d'observation directe. Non seulement les eaux sont connues à leurs deux seuils, mais encore pendant une partie de leur cours souterrain. Nous voyons la Lesse à son engouffrement dans trois ouvertures, puis à l'intérieur de la grotte où elle est divisée en deux bras, enfin à la sortie réunie en un seul tronc.

1° Du fait que les eaux sont permanentes dans les deux bras, il faut conclure que les eaux, entrant dans l'orifice inférieur du Trou de Belvaux, les alimentent l'un et l'autre, puisqu'il est, aux époques de sécheresse, le seul en action.

2° Mais ces bras souterrains ne conservent pas en tout temps une même hauteur d'eau. Ils subissent des crues qui ont une ampleur et une allure distinctes, ce qui fait que l'hypothèse de leur jonction dans le voisinage du point où ils débouchent dans la Grotte, doit être non moins sûrement écartée. En réalité, ils se conduisent comme deux rivières différentes lorsqu'ils apparaissent, et leur séparation en amont de la Place d'armes n'est pas un accident local.

En effet, ayant consulté M. Lannois, j'obtiens les renseignements que voici : « Sans pouvoir toutefois exactement préciser, je crois, me dit-il, que lorsque le bras de la Place d'armes monte de trois mètres, celui de la Salle des draperies peut monter d'environ un mètre, mais il monte insensiblement, tandis que l'autre le fait rapidement. »

Donc amplitude de crue de l'un, 3 mètres et crue rapide ; amplitude de crue de l'autre, 1 mètre et crue lente.

Ces différences en temps d'eaux croissantes semblent plutôt compatibles avec l'existence de deux canaux séparés au moins sur une grande partie de leurs trajets. Cependant on pourrait aussi les interpréter comme créées par des étranglements sur le cours de l'un d'eux.

3° Mais d'autres observations, dues encore à la sagacité de M. Lannois, démontrent qu'il n'en est pas ainsi et permettent même de se faire une idée de la longueur relative des deux cours.

L'eau de la branche gauche, ajoutait-il, est plus froide que l'eau de

la branche droite, d'où il inférait un plus long séjour souterrain. De plus, l'eau de l'une et de l'autre devient trouble en temps de crue de la Lesse, mais elle arrive en cet état dans la branche droite en quatorze à seize heures et dans la branche gauche en une soixantaine d'heures, soit deux jours après.

Cette dernière indication est particulièrement intéressante.

Elle annonce clairement que les deux branches doivent correspondre à deux canaux non seulement distincts, mais de longueurs fort inégales : le bras de la Salle des draperies parcourt évidemment un trajet beaucoup plus étendu que le bras de la Place d'armes, vu l'écart de temps entre leurs venues d'eau pour une même distance à vol d'oiseau de huit cents mètres.

4° Cette donnée reçoit confirmation par cette autre indication que l'eau, en temps de crue, est moins trouble dans la branche gauche que dans la branche droite.

5° D'un autre côté, le débit ne subissant pas d'interruption dans ces branches, on peut en déduire encore que si des phénomènes d'interruption, autres que celui des crues, y ont lieu, c'est sur une échelle peu sensible.

6° La durée du trajet des eaux pour chaque bras paraît fort élevée si nous la comparons aux durées renseignées pour les eaux souterraines de la Wamme et de la Lomme. Cependant il n'y a pas à hésiter à les considérer comme évaluées plus sûrement que ces dernières, car M. Lannois, attaché à la surveillance de la Grotte de Han, y a exercé son esprit d'observation, comme nous avons pu nous en convaincre, et répété plusieurs fois ses remarques.

Nous devons tout d'abord mettre ces durées prolongées des eaux des deux branches de la Lesse en relation avec la très faible différence de niveau entre les seuils d'entrée et de sortie de la rivière, différence qui n'est pas même d'un mètre.

Mais, quand les trois orifices entrent en jeu au Trou de Belvaux, — et c'est à ces moments que M. Lannois a pu juger des durées par les eaux troubles, parce que plus tard les inondations ne se prêteraient pas à ces remarques — la colonne d'eau s'est élevée d'environ 4 mètres à la perte, et la dénivellation est alors plus prononcée.

Lorsque les crues de la Lesse sont dans leur plein, que les eaux débordent dans la chavée, font irruption par le Trou d'Enfaule et viennent rejoindre la rivière à Han à ciel ouvert, la colonne d'eau au Trou de Belvaux, celle qui pèse par conséquent dans les canaux intérieurs, peut atteindre à 8 ou 9 mètres. Dans ce cas, la Lesse, dans la galerie de sortie, ne monte guère, paraît-il, que d'un mètre.

Ce que nous avons à retenir ici, c'est que la différence de hauteur d'eau à l'entrée et à la sortie, quand l'évaluation des durées a pu être faite, est de 3 à 4 mètres. Nous avons à envisager la relation de ces durées et de la nivellation sous cette donnée seulement.

Certes nous devons admettre que ces canaux inaccessibles de la Lesse ont un cours fort accidenté, non seulement parce que c'est la règle générale des souterrains naturels, mais encore à cause des allures tourmentées de la branche droite, que nous aurons l'occasion d'étudier plus loin avec les étranges accidents auxquels elles donnent naissance.

7^o Revenant au Trou de Belvaux pour rechercher, par la combinaison des données que nous avons pu recueillir jusqu'ici, si ses deux orifices supérieurs contribuent, comme l'orifice inférieur, à l'alimentation des deux canaux souterrains, nous arrivons aux conclusions suivantes :

On peut considérer comme vraisemblable que l'orifice moyen a aussi une action commune, parce qu'il est placé à gauche de l'orifice inférieur et que le bras de la Salle des draperies, amenant toujours moins d'eau que le bras de la Place d'armes, ne doit pas prendre pour lui seul l'eau du second orifice.

L'orifice supérieur est, au contraire, à droite des deux autres. Comme la branche de la Place d'armes donne plus d'eau et fournit de plus fortes crues dans la proportion au minimum de trois à un en hauteur, on pourrait présumer qu'il ne se déverse pas dans le canal de la Salle des draperies. Mais, lorsque le premier entre en crue, l'autre y entre aussi deux jours après, et nous en revenons ainsi simplement à la notion que les canaux sont de longueurs inégales, tout en participant tous deux aux trois prises d'eau du Trou de Belvaux.

Ils doivent commencer par conséquent à ne former qu'un conduit unique et se diviser seulement plus loin à une distance dont la notion nous est soustraite.

8^o Mais la masse d'eau du bras de la Salle des draperies étant en tout temps inférieure à celle du bras de la Place d'armes, nous pouvons croire qu'à cette séparation, le premier, s'il est plus long que le second, est plus étroit que lui pour amener une répartition inégale de la rivière engouffrée.

La marche de la Lesse dans son trajet inaccessible, élucidée ou entrevue dans plusieurs de ses côtés importants, reste donc dans d'autres entourée de plus d'incertitudes. Les faits d'observations, surtout les moyens employés pour les obtenir, sont encore scientifiquement trop insuffisants pour que les déductions possibles soient aussi précises qu'il serait à désirer qu'elles fussent.

Ce que nous pouvons regarder comme établi ou hautement probable, c'est que les eaux engouffrées dans les bouches du Trou de Belvaux ont d'abord un canal commun ; qu'après un trajet inconnu de huit cents mètres mesuré en ligne droite, reparaissant dans la Grotte en deux canaux distincts, elles ont, à chacun de ces seuils intérieurs, un débit continu, un volume différent, des crues inégales en ampleur et en promptitude, des traversées d'une durée plus grande et des boues moins abondantes dans l'une que dans l'autre, qu'enfin leur dénivellation entre leur entrée et leur sortie, bien que variable et même parfois nulle, reste toujours assez faible.

Les inductions qui me paraissent pouvoir être légitimement superposées à ces données dans l'état des questions, c'est qu'il semble que les trois bouches du Trou de Belvaux servent à l'alimentation simultanée des deux bras souterrains et que l'un de ceux-ci, avec un orifice plus étroit à la bifurcation, est plus long, fait plus de circuits que l'autre. Nous chercherons à évaluer plus loin la longueur de leurs trajets effectifs.

L'eau se trouve en permanence à l'extrémité de la galerie de la grande fontaine, située près de la sortie de la Grotte. Comme son niveau suit celui de la Lesse, on doit en inférer qu'il se trouve sous cette galerie un conduit communiquant⁽¹⁾. Nous allons du reste observer d'autres cas de siphons.

Les crues intérieures de la Lesse.

Lorsque la Lesse est en crue et que les trois bouches du Trou de Belvaux donnent à la fois, sans que néanmoins les eaux aient encore envahi la chavée, les deux bras souterrains grossissent, mais ils le font fort inégalement.

Le bras de la Salle des draperies déborde peu par lui-même, d'environ un mètre seulement, tandis que le débit du bras de la Place d'armes augmente considérablement.

Mais, en quittant cette Place d'armes, les eaux qui y rencontrent déjà un étranglement, entrent dans la galerie du Styx où les parois se rapprochent, et la voûte, formant siphon, descend de plusieurs mètres sous la nappe liquide. Un plongeur de profession n'a même pu en

(1) Le plan, joint au Guide-album, figure, dans un conduit latéral voisin du Trou d'Enfaule et appelé galerie du Cocyte, un amas d'eau comme permanent et pouvant par conséquent marquer une étape de la Lesse souterraine moins reculée que les deux bras examinés ci-dessus. Des renseignements m'ont engagé à faire disparaître cette indication qui ne paraît pas fondée.

atteindre l'extrémité. L'orifice ainsi rétréci est suffisant en temps ordinaire pour le passage des eaux, mais il ne l'est plus pendant les crues. L'eau s'y accumule, monte et inonde plus de la moitié de la Grotte.

Un triple courant s'établit :

1^o Le courant par la voie ordinaire, c'est-à-dire par la galerie du Styx dont l'orifice étranglé, cause du phénomène, déverse son contingent ordinaire ;

2^o le courant montant de la Place d'armes, où il s'élève jusqu'à ce qu'il trouve l'étroit couloir appelé La Tamise, d'où il se précipite en cascade dans la branche de la Salle des draperies qui lui sert dès lors de déversoir. La Tamise règle donc le niveau de l'inondation. L'eau s'est élevée dans ce cas d'environ 3 mètres ;

3^o De l'autre côté de la Place d'armes, le torrent entre dans les galeries qui se dirigent vers les deux entrées et dont le sol ne s'élève pas à plus de hauteur que le niveau réglé de l'inondation. Il gagne ainsi la longue galerie vers le Trou d'Enfaule et les galeries plus étroites vers la Salle des Mystérieuses, où les eaux prennent sans doute passage dans un étage inférieur, jouant également ici le rôle de siphon d'aqueduc, car elles reparaissent après interruption dans le long couloir appelé galerie des Aventuriers.

Les eaux se retirent avec la fin de la crue dans leur canal ordinaire.

La Place d'armes nous fournit au complet un exemple de la marche d'une inondation intérieure par la crue d'un cours d'eau souterrain : épanchement dans les galeries basses émergées en temps normal, réglage du niveau par le dégorgement de l'eau en excès au moyen d'un déversoir plus élevé que le lit de la rivière. Ce déversoir eût formé siphon dans le cas où il aurait eu une voûte basse.

Envahissements de la Grotte par un torrent extérieur.

Lorsque le Trou de Belvaux a épuisé son pouvoir d'absorption et que l'inondation continue à croître de deux à trois mètres, ce qui arrive normalement chaque hiver, la chavée est envahie, comme nous l'avons rappelé, et il se forme une rivière à ciel ouvert, concurremment avec la rivière souterraine à laquelle elle sert de décharge.

Mais cette Lesse adventive a le sort de la Lesse souterraine. Elle se perd à son tour ; seulement elle ne le fait que partiellement. Un courant dérivé s'engouffre dans le Trou d'Enfaule, en formant dans la Grotte un affluent temporaire du cours d'eau permanent.

D'après les observations de MM. Lannois et Henin, il met quatre heures et demie pour la traverser.

Le torrent se précipite vers la Place d'armes et refoule les eaux de la crue intérieure, qui précède forcément cette irruption.

Ainsi, dans ces galeries aussi, il se produit des courants alternatifs. L'inondation du bras de la Place d'armes, provoquée par la mise en jeu des trois bouches du Trou de Belvaux, amène d'abord la formation d'un courant de la Place d'armes vers le Trou d'Enfaule. Puis l'entrée du torrent dans ce dernier, à la suite du débordement des eaux dans la chavée, amène un courant en sens inverse, du Trou d'Enfaule vers la Place d'armes.

Nous avons déjà observé un exemple de courants alternatifs près de la carrière de Rochefort. Il était dû, il est vrai, à d'autres phénomènes : la Lomme et la Wamme, dans des cas donnés, font échange de leurs eaux (p. 249). Ici le phénomène, non moins curieusement enchevêtré, est simplement dû à des phases différentes de crues d'une même rivière.

Nous nous trouvons aussi devant un autre exemple hydrologique, celui de l'engouffrement d'un torrent dans un aiguigeois de chavée. Le cas est fréquent, mais il est ici pour nous unique de son espèce, car nous pouvons non seulement observer l'engouffrement, mais encore parcourir le passage du courant et étudier en détail le canal de l'affluent périodique d'une rivière souterraine.

Nous y puisons un nouveau contingent d'intéressantes observations.

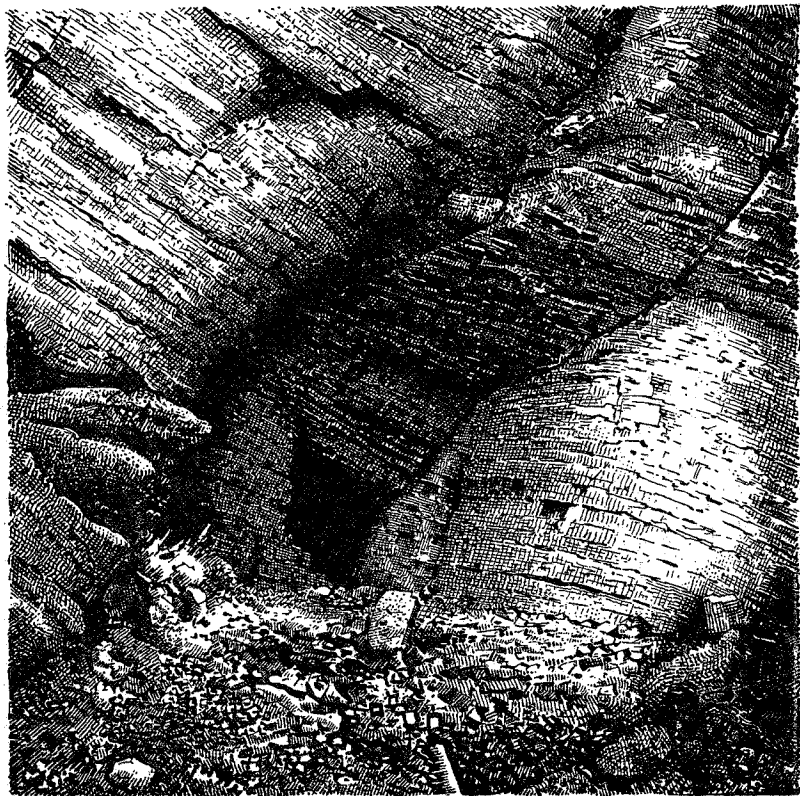
1° Le Trou d'Enfaule a deux ouvertures juxtaposées, résultant de l'épanouissement de deux belles diaclases indépendantes l'une de l'autre.

La quantité d'eau qui entre par ces orifices est considérable. Le trajet parcouru est d'environ 900 mètres, et l'eau remplit le canal, presque sur tout son passage, jusqu'à la voûte.

Lorsque le torrent atteint la Place d'armes, le volume d'eau étant beaucoup plus grand que dans l'inondation intérieure, il y monte jusqu'à la hauteur de 7 à 8 mètres, c'est-à-dire jusqu'à une hauteur plus que double de l'inondation intérieure.

Comme pour celle-ci, les eaux se déversent en cascade par le couloir La Tamise dans le bras de la Salle des draperies. Mais, tandis que la décharge a lieu par ce seul couloir pour l'inondation intérieure dont le réglage à un niveau de trois mètres est suffisant, elle a lieu, pour le torrent du Trou d'Enfaule, à la fois par ce couloir dans la branche de la Salle des draperies et par le couloir Le Courant d'air dans le bras de la Place d'armes au delà de l'étranglement de la galerie du Styx. Comme la hauteur du passage Le Courant d'air est d'environ cinq mètres plus élevé que la hauteur du passage La Tamise, le niveau du torrent est réglé par lui à un niveau approxi-

mativement de huit mètres au dessus de l'étiage de la Lesse dans la Place d'armes.



(D'après une photographie de M. Rutot.)

FIG. 7. *Le Trou d'Enfaule.*

Ouverture d'un aiguigeois de chavée par lequel un torrent s'introduit périodiquement dans la Grotte de Han.

2° Le courant est violent à son entrée. Il introduit des cailloux roulés dans le Trou d'Enfaule, ainsi qu'en témoigne, me dit M. Henin, l'accroissement de l'amas de cailloux roulés, dans les galeries touchant à l'entrée, après chaque inondation.

Mais nous ne pouvons confondre ces cailloux roulés, introduits aujourd'hui à peu de distance, avec les lits de cailloux roulés mis à nu, plus loin et souvent à des niveaux plus élevés, dans des galeries situées

entre les Trous d'Enfaule et du Salpêtre et la Place d'armes. On en rencontre, comme l'indique le plan de la Grotte (pl. XIII, fig. 1), sur une longueur de 400 mètres, soit plus de la moitié du trajet de l'affluent.

En plusieurs points éloignés de l'entrée, surtout dans les parties que les eaux n'atteignent pas, on remarque que le limon, recouvrant ces cailloux, est recouvert par une nappe de stalagmite, et parfois celle-ci l'est à son tour par de nouveaux limons sans cailloux.

En conséquence, nous considérons ces limons supérieurs comme récents et dûs aux eaux annuelles d'aujourd'hui, et les limons inférieurs comme quaternaires, parce que ceux-ci sont souvent à un niveau plus élevé que les autres et qu'ils répètent le cas de la Grotte de Rochefort, où de semblables dépôts, surmontés aussi d'une nappe de stalagmites, contiennent des ossements d'*Ursus spelæus*.

3° Les eaux, qu'elles proviennent de l'inondation intérieure ou de l'affluent torrentiel, déposent peu d'alluvions.

Les stalactites, aussi bien que les stalagmites, sont fortement souillées par le limon, dans les galeries traversées par l'affluent périodique. C'est un moyen de reconnaître le trajet de ce cours d'eau temporaire, puis de distinguer les rares parties des voûtes qu'il ne sait atteindre et où la stalactite est restée blanche.

4° La corrosion en godets est aussi fort nette dans ces passages, particulièrement vers le bas des galeries, et ne peut guère laisser de doutes sur l'intervention prépondérante d'une action chimique dans le phénomène du clapotage auquel elle est due. Les bancs de calcaire de la Grotte renferment en effet des fossiles, tels que des Stringocéphales, et ceux-ci restent en fortes saillies au milieu des creux de corrosion, ce qui reçoit son explication par la différence de résistance à l'action chimique, que présentent le test de ces fossiles et la roche compacte, car on sait que le même phénomène, moins saillant il est vrai, se présente constamment à l'extérieur sous les influences atmosphériques.

Mais, tandis que les calcaires de l'étage givetien sont ainsi constitués que généralement une masse de bancs, de plusieurs mètres d'épaisseur, formée d'agglomérations de coraux, notamment de gros Stromatopores, alterne avec des masses analogues de calcaires d'origine détritique à texture plus ou moins uniforme, les coraux ne restent pas en saillie; il sont aussi facilement corrodés que la roche compacte.

5° Les stalactites et les stalagmites ne se forment plus dans le canal de l'affluent temporaire, malgré les larges diaclases en activité qui se dessinent au milieu des voûtes longitudinalement et, quand la galerie s'élargit, transversalement.

Il y a cependant d'ancien calcaire chimique à nu dans ces couloirs. Mais on observe que le courant, déposant du limon à sa surface en beaucoup de points, l'a lentement entamé par corrosion sur d'autres. C'est une nouvelle preuve de l'action dissolvante des eaux courantes sur les calcaires. De sorte que le calcaire chimique qui, aux saisons d'assèchement, doivent encore se former dans ces longues excavations, vu le dégouttement continu des nombreuses diaclases, est sans doute dissous une seconde fois à l'irruption suivante du courant et entraîné par lui après ce nouvel essai de reconstitution.

Essai d'évaluation de la longueur des canaux inaccessibles de la Lesse.

Les rapprochements qui vont être faits et les corrélations qui en dériveront n'ont évidemment pas la portée d'une donnée formelle. Conçus dans le même esprit que les estimations, tentées plus haut sur le volume du calcaire chimique et sur celui des ablations dans la Grotte de Han, ils sont seulement destinés à nous former une idée des indications que peuvent contenir les notions approximatives recueillies sur la Lesse souterraine.

Les guides de la Grotte de Han estiment à 4 1/2 heures la durée du trajet de l'affluent temporaire depuis le Trou d'Enfaule jusqu'au seuil de sortie de la Grotte.

Mesuré au plan, ce trajet, en suivant les sinuosités des galeries, est de 900 mètres et, à vol d'oiseau, de 600 mètres.

D'autre part, on peut estimer que le seuil du Trou d'Enfaule est de 6 à 7 mètres plus élevé que le bras de la Place d'armes aux eaux ordinaires, et que le torrent peut y avoir une hauteur de 2 à 3 mètres.

Vers le coude du canal, à sa rencontre de la galerie du Cocyte, la différence de niveau avec le bras de la Place d'armes n'est plus que d'environ 3 mètres, puisque le canal est envahi jusqu'à ce point par l'inondation intérieure, laquelle est réglée à peu près à 3 mètres par le déversoir La Tamise (1).

Il en résulte que le torrent est d'abord fort rapide, puisqu'il a une pente de 3 à 4 mètres sur une longueur de 200 mètres jusqu'à la

(1) Dans l'extension donnée (pl. XIII, fig. 1) aux inondations intérieures, nous n'avons pas tenu compte de la différence de hauteur des eaux, qui doit augmenter cette extension à l'irruption de l'affluent temporaire dans les galeries latérales du courant. On conçoit que les renseignements aient été difficiles à recueillir à ce sujet, mais il paraît que les eaux gagnent peu dans la seconde occurrence, à cause des déclivités prononcées en ces points.

galerie du Cocyte, et nous en trouvons la confirmation dans le fait, signalé par M. Henin, que le courant entraîne des cailloux roulés dans les galeries d'entrée.

Mais le niveau du torrent est lui-même réglé dans la Salle d'armes à 7 ou 8 mètres par le déversoir Le Courant d'air.

Par conséquent, comme l'afflux rencontre d'un autre côté, à partir de la galerie du Cocyte, une pente peu sensible, la dénivellation est annulée en grande partie, et l'écoulement de l'énorme masse d'eau, qui remplit les galeries jusqu'à la voûte, doit se continuer lentement sur près de 500 mètres. Il est sur cet espace à l'état d'eau endiguée, ce qui peut expliquer la durée prolongée du passage des eaux renseignée par les guides.

Dans la Place d'armes, le torrent se déverse en cascades par deux canaux étranglés et étagés, aussi bien dans la branche droite que dans la branche gauche. Il est ainsi réuni à la rivière permanente dont les deux bras se joignent bientôt à leur tour en un seul tronc près de la sortie.

En somme, il offre une *suite de cas qui doivent représenter les conditions générales des cours souterrains.*

Prenant dès lors ces données comme terme de comparaison pour essayer d'arriver à une évaluation admissible de la longueur des bras souterrains de la Lesse dans leur partie inaccessible, nous nous rappelons d'abord que la distance en ligne droite du Trou de Belvaux à l'endroit où les deux bras débouchent, est d'environ huit cents mètres, ensuite que la pente générale de ces bras est elle-même fort faible, puisque un nivellement que nous avons tout lieu de considérer comme exact, fixe à 90 centimètres seulement aux eaux basses la différence de niveau entre le seuil d'entrée au Trou de Belvaux et le seuil de sortie à Han.

La plus grande hauteur de la colonne d'eau qui trouve accès, quand les trois orifices du Trou Belvaux sont en complète activité, est d'environ 4 mètres; c'est alors que les observations de durées de M. Lannois ont pu être faites.

De son côté, les crues de la Lesse au seuil de sortie, quand les trois bouches et le torrent donnent en plein, n'est guère, paraît-il, que d'un mètre, tant son ouverture est large.

Les termes sont donc comparables dans une légitime mesure.

Aussi, en admettant dans sa donnée d'ensemble que la vitesse des eaux soit analogue dans les deux branches souterraines de la Lesse et dans son affluent, c'est-à-dire que les accidents des lits de ces branches soient également comparables à ceux du lit de l'affluent où

il y a successivement torrent, eau contenue par barrage, cascades, nous pouvons établir le rapprochement suivant :

1^o Comme la durée du trajet des eaux de la branche droite ou bras de la Place d'armes est évaluée à 14 ou 16 heures en temps de crue, la longueur de cette branche serait de 3 kilomètres, c'est-à-dire à peu près quatre fois la longueur à vol d'oiseau.

2^o Comme la durée du trajet des eaux de la branche gauche ou bras de la Salle des draperies est, suivant les observations de M. Lannois, de deux jours plus longue en temps de crue que celle de l'autre branche, soit une durée d'environ 60 heures, on arriverait pour la longueur de cette branche au chiffre considérable de 12 kilomètres ou 15 fois la longueur théorique.

Le Trou Sinsin serait dans ce cas vraisemblablement une dépendance de ce bras de la Salle des draperies.

D'après ces évaluations, on en viendrait à penser que, dans une seule masse calcareuse de 100 hectares à peine de superficie, telle qu'elle est comprise entre la chavée et la pointe terminale près du Trou Sinsin, il pourrait exister un nombre de kilomètres de lits souterrains d'une même rivière, absolument disproportionné avec le trajet rectiligne.

Ces chiffres sont certes entourés d'aléas, et les données sur lesquelles ils reposent le sont elles-mêmes d'approximations diverses. Cependant je n'ai pas cru, en attendant que des observations plus précises puissent être faites, devoir les écarter, car ils me paraissent préférables à la simple mention que ces canaux doivent être d'une grande longueur.

Nous venons d'examiner les trois côtés qui font de la Grotte de Han un point d'observation hors pair pour l'étude du régime d'une rivière engouffrée : la Lesse débouchant dans la caverne, y subissant des crues intérieures et y recevant un affluent sous la forme de torrent temporaire.

Nous avons, en d'autres termes, fait l'étude interne d'un aiguigeois de rivière et d'un aiguigeois de ravin, et ainsi celle de l'eau agissant en grandes masses.

Il nous reste à observer dans cet étonnant souterrain l'action des eaux de ruissellement et à y retrouver les effets des aiguigeois de plateau.

Les salles et galeries émergées en tout temps.

Les salles et les galeries, non atteintes par les eaux, présentent naturellement d'autres caractères ; la Grotte de Rochefort nous les a déjà rendus familiers.

Les larges corrosions des parois par l'eau d'infiltration, le grand développement des stalagmites et des stalactites, souvent éclatantes de blancheur, les énormes amas de blocs écroulés recouverts ou non de concrétions et les surfaces des cassures qu'ils ont données aux parois en se détachant, enfin les coulées de boues des aiguigeois produisent à chaque pas les aspects variés qui sont l'attrait des cavernes à touristes.

C'est une coulée de boues pierreuses qu'on rencontre dans la Salle des scarabées près de l'entrée par le Trou du salpêtre. Le passage des visiteurs a été pratiqué au travers. Mais on aperçoit dans la voûte l'ouverture de la cheminée qui doit remonter jusqu'à la surface du plateau où nous allons la retrouver. Cette coulée est, sur une moindre échelle, la reproduction de celle de la Salle du Sabbat ; elle est aussi recouverte de grands éboulis et de nappes avec colonnes de stalagmites, mais celles-ci, étant salies par des terres, pourraient indiquer que l'aiguigeois a été récemment en activité.

Lorsqu'on a descendu cette coulée de boues, on se trouve dans la Salle des renards devant une autre coulée plus restreinte qu'on doit remonter et qui a été en partie enlevée pour le passage. De petites cheminées existent dans la voûte.

Sur le plateau, à une faible distance en projection horizontale, se présentent deux aiguigeois inégaux et adjacents, qui m'ont été signalés par M. Édouard de Pierrepont et qu'on appelle Trou madame. C'est par là que les coulées de boues se sont introduites dans la Salle des scarabées et dans la Salle des renards. La cheminée qui relie ces entonnoirs à la Grotte est fortement oblique. Il est donc vraisemblable que les aiguigeois sont à fonds en écumoire.

A côté des orifices superficiels, on observe sur le plateau des traces de tranchées d'où on a extrait jadis de la pyrite de fer. J'en ai figuré quelques-unes sur la carte, pl. XIII, fig. 2.

Or, les salbandes de ces filons sont, comme d'ordinaire dans ces terrains, du spath calcaire d'aspect particulier, et j'en ai reconnu un bloc dans la coulée de la Salle des scarabées. En outre, M. de Pierrepont m'a fait connaître qu'on avait aussi trouvé, dans la même coulée, un gros morceau de limonite massive, qui provenait évidemment de l'oxydation de pyrite.

Par là, il se trouve que les deux éléments de ces filons, minéral et gangue, étaient représentés dans la coulée de boues et participaient pour la seconde fois, au cours des temps, au remplissage de corrosions produites dans des diaclases différentes.

En continuant vers le canal qui sert de lit à l'affluent périodique, on

reste encore quelque temps dans les galeries, émergées en tout temps, où il y a des puits montants et descendants et où je crois reconnaître des coulées de boues. C'est là également qu'on observe le mieux les cailloux et le limon recouverts par une nappe de stalagmite et que nous avons déterminés ci-dessus comme quaternaires à cause de la présence de cette nappe et de leur inaccessibilité aux eaux courantes de la Grotte.

Il paraît aussi que les blaireaux gîtaient jusque près de la rencontre du canal à torrent temporaire. J'ai déjà mentionné ailleurs qu'ils savent habiter des galeries plus reculées que les renards. Ce point est à plus de 150 mètres en ligne droite de l'entrée et, à cause des circuits, la distance réelle est au moins double de ce chiffre.

Dans un autre endroit, la Salle les Mystérieuses, aux opulentes masses stalactitiques, se trouve entre deux parties de galeries envahies par les deux inondations et repose probablement sur une galerie inférieure qui établit la communication des eaux en jouant le rôle de siphon d'aqueduc.

Mais la Salle du dôme mérite un examen plus attentif.

Située entre les deux bras de la Lesse, elle est beaucoup plus élevée que leur niveau et n'est jamais inondée, même lorsque l'affluent donne en plein. Sous elle, se trouvent d'autres salles, la Salle du trône et la Salle des draperies, dont le niveau correspond à peu près à celui de la Place d'armes. La Salle du dôme forme donc un étage supérieur.

Néanmoins, si, par son étendue, elle est la plus vaste de la Grotte, elle a aussi de beaucoup la plus grande hauteur. Elle est formée par une énorme voûte, toute d'une venue, qui a subi en 1828 un grand écroulement, parce que des piliers naturels qui la soutenaient ont, paraît-il, cédé et produit un jeu de voussoir. Il en est résulté la chute d'une masse importante de blocs et les surfaces de cassure que présente la voûte. L'ébranlement du sol et le fracas dans ces effondrements sont assez forts pour se faire sentir à distance, ce qui donne lieu à la croyance populaire qu'ils sont dus à des tremblements de terre.

Mais il y a eu des écroulements plus anciens, car beaucoup de blocs sont recouverts de fortes masses de stalagmite.

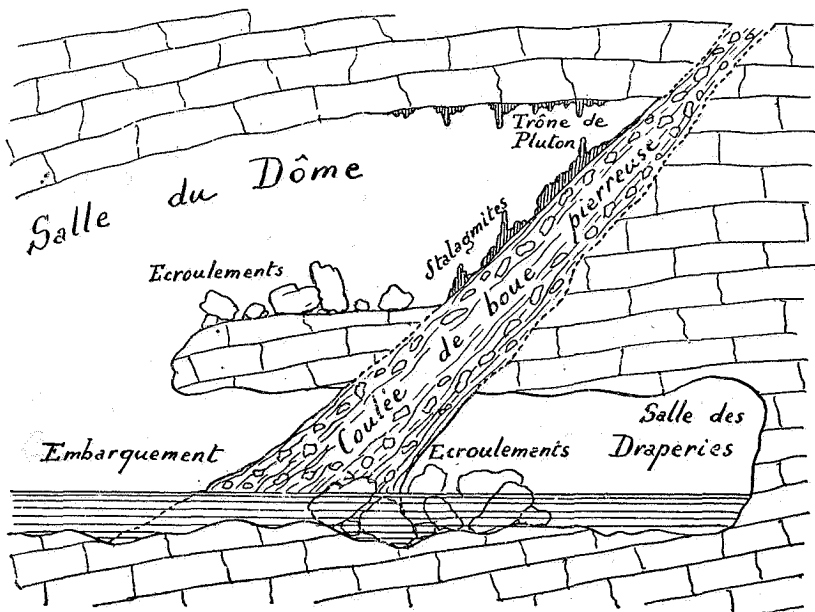
Le fond de la salle est un immense plan incliné que gravit un guide pour en faire apprécier la hauteur aux touristes. Il est formé par une coulée de boues pierreuses. C'est donc un aiguigeois, comme ceux du Val d'Enfer et de la Salle du Sabbat dont on apprécie personnellement les dimensions verticales en les descendant et en les gravissant pour entrer et sortir de la Grotte de Rochefort; mais il est plus étendu. On n'en voit pas l'orifice intérieur qui est obstrué par de

l'argile d'où découle souvent un peu d'eau jaunie par la terre. Il est donc encore en activité.

Il existe sans doute peu de distance entre le Trône de Pluton, sommet visible de la coulée et la surface extérieure, mais les recherches n'en ont pas fait retrouver jusqu'à présent le trou d'entrée sur le plateau.

La coulée est partiellement recouverte par des stalagmites, circonstance qui indique son ancienneté. Ces stalagmites sont chargées de boues, d'où on pouvait déjà inférer que des écoulements se continuent.

Voici la disposition de cette partie de la Grotte de Han en coupe schématique.



Réunion avec le bras de la Lesse dont l'eau se trouble en 14 à 16 heures.

Bras de la Lesse dont l'eau se trouble après soixante heures environ.

× environ 120 mètres ×

FIG. 8. — Coupe schématique de la coulée de boues dans la Salle du dôme de la Grotte de Han.

On remarquera que nous pouvons saisir ici un rapprochement géologique tangible avec la Grotte de Rochefort. (Voir la fig. 6, p. 74.)

Cette partie de la Grotte de Han se rapporte en effet au même type de cavernes. Elle est aussi à étages, fort développée dans le sens vertical et soumise aux influences du plateau. C'est ce qui donne à la Salle du Dôme son caractère contrastant avec la plupart des autres excavations de la prodigieuse caverne, qui répondent à des types différents de grottes, parce qu'elles sont au pouvoir des actions fluviales du fond de la vallée.

La Grotte de Han synthétise en quelque sorte presque toutes les observations que nous avons faites sur les engouffrements de la Wamme et de la Lomme, et les complète, en nous laissant étudier à l'intérieur les eaux engouffrées.

C'est pour l'étude du régime des eaux souterraines en terrains calcaireux qu'elle acquiert une haute valeur scientifique.

Nous pouvons beaucoup mieux observer les phénomènes quaternaires dans les cavernes à ossements de la Lesse inférieure.

Nous pouvons également mieux comprendre l'influence des coulées de boues et leurs corrélations avec les plateaux dans la Grotte de Rochefort, parce que les aiguigeois y sont ouverts et qu'ils sont accessibles du haut en bas.

Nous pouvons aussi nettement saisir les rivières à leurs engouffrements et à leurs réapparitions à ciel ouvert sur la Wamme et sur la Lomme que sur la Lesse à Belvaux et à Han.

Mais nulle part, jusqu'à présent, nous ne pouvons apprécier, comme dans la Grotte de Han, les phénomènes en œuvre dans les cours en roches calcaireuses et écarter de nombreuses questions, en matière de circulation souterraine des eaux, du domaine de la conjecture.

L'appareil de circulation souterraine de la Lesse, de la Lomme et de la Wamme.

Il importe, avant de terminer, de comparer nos trois rivières au point de vue de leurs engouffrements, de leur marche souterraine et des sources qu'elles créent à leur réappartion, afin de préciser ce point qui nous servira de conclusion : les actions observées ou déduites sont fondamentalement les mêmes pour la Lesse, la Lomme et la Wamme et peuvent être sûrement généralisées.

Les analogies et les oppositions entre les pertes et les sorties de la Wamme et de la Lesse donnent lieu au parallèle suivant :

1° La Wamme, comme la Lesse, se perd par plusieurs groupes d'orifices distants, suivant que ses eaux sont plus ou moins fortes.

2° Le groupe d'orifices d'Hargimont est situé en amont des orifices d'On et forme des aiguigeois de chavée, correspondants aux aiguigeois du milieu de la chavée de la Lesse, qui sont en aval de l'engouffrement de Belvaux.

Dans les deux cas, ils donnent lieu à des dérivations souterraines dont on ignore les trajets et les issues.

3° Les orifices d'On, où la Wamme souterraine devient permanente, sont multiples, situés dans le lit de la rivière, sensiblement à la même hauteur et échelonnés le long de la rive. Ils ne sont tous en activité que proportionnellement au volume d'eau de la rivière, et, lorsque ce volume dépasse la capacité d'absorption des orifices, le surplus coule à ciel ouvert dans une chavée.

Les mêmes circonstances se retrouvent pour la Lesse, avec cette seule différence que les orifices d'engouffrement sont étagés et non juxtaposés.

4° On déduit que ces orifices de la Wamme s'ouvrent d'abord sur un seul canal qui se divise bientôt en deux branches, puisque, en ce qui concerne le second point, les eaux engouffrées sont conduites en deux endroits distants et, en ce qui concerne le premier, la branche du Deswoin est périodiquement asséchée. De cette dernière donnée, on déduit à son tour que les deux branches doivent être étagées à la séparation, celle du Deswoin étant plus élevée que l'autre.

Les mêmes dispositions se reproduisent pour la Lesse avec ces différences que les branches, étant à débit permanent, doivent être juxtaposées et non étagées à la bifurcation — l'opposé de ce qui a lieu aux orifices de pertes — et que les branches se réunissent en un seul tronc avant le retour à ciel ouvert.

5° L'autre branche souterraine de la Wamme, celle de la carrière, subit des crues intérieures; elle a pour déversoir une rivière voisine et y dégorge à ciel ouvert.

L'une des branches de la Lesse subit aussi des crues intérieures, mais elle a son autre branche pour déversoir, lequel est souterrain.

6° La branche de la carrière conflue souterrainement avec la Lomme. La branche du Deswoin produit à l'émergence une source aveuglée et conflue isolément et à ciel ouvert avec la Lomme.

La Lesse, à sa sortie, apparaît en une seule masse dont l'écoulement n'est entravé ni par des éboulis ni par des alluvions. Elle forme une source ouverte, le type des sources vauclusiennes de notre pays.

7° Enfin, pour effectuer un trajet de 4 1/2 kilomètres à vol d'oiseau, avec une pente de 15 mètres, on prétend que la Wamme ne met que 3 1/2 heures dans la branche du Deswoin sur laquelle auraient porté

les observations. Ce serait une vitesse horaire de près de 1300 mètres en trajet théorique.

On a observé relativement à la Lesse, pour un trajet à vol d'oiseau de 800 mètres et une pente de 0^m.90, une durée d'écoulement de 60 heures dans une branche et le quart de cette durée dans l'autre.

Cette évaluation pour la Wamme ne paraît pas admissible.

Devant des similitudes comme celles que nous venons de relever, on peut dire que, dans les deux rivières, les phénomènes sont jumeaux, tant ils se correspondent étroitement.

Les modalités sont plus prononcées dans la Lomme, mais les concordances générales restent cependant aussi intimes.

1° A sa première disparition en une seule perte, la Lomme commence par se bifurquer souterrainement en étages. Une branche reparaît bientôt au jour par source ouverte; l'autre prend dans le roc un long cours qu'on retrouve dans la Grotte de Rochefort.

C'est un cas qui n'est pas observé sur la Lesse, mais l'étagement des branches souterraines se reproduit dans la Wamme, où il donne lieu à d'autres manifestations.

2° Les pertes qui succèdent à celle-là jusqu'à Rochefort ont des issues non visibles. Mais, quand la rivière aérienne grossit, les eaux se déversent partiellement, en premier lieu, dans le canal d'une autre rivière souterraine avec laquelle il y a échanges alternatifs, circonstances sans analogues reconnus dans la région, et, en second lieu, dans un autre canal adventif, où elles prennent un cours souterrain semblable à ce qui se passe pour les eaux de la chavée de la Lesse dans le Trou d'Enfaule.

Seulement on ne fait qu'entrevoir ce que deviennent ces eaux dérivées de la Lomme, tandis qu'on peut suivre dans les intervalles d'irruption le cours de celles de la Lesse.

3° La Lomme se perd dans un troisième endroit par un seul orifice en plein lit et ne reparaît qu'à une distance à vol d'oiseau de 2800 mètres en source ouverte. Elle a reçu un affluent temporaire, probablement encore la branche de la Grotte de Rochefort et la branche de Wamme, dite de la Carrière, réunie à l'autre perte que subit la Lomme au même point. Elle est soumise dans son lit à des épanchements avant sa réapparition; ce sont des sources sous-fluviales par rapport à la rivière aux fortes eaux.

Cette succession d'engouffrements espacés, produisant en temps normal une suite remarquable de confluences souterraines, n'existe pas pour le cours permanent de la Lesse ni de la Wamme.

4° La durée du dernier trajet souterrain de la Lomme pour un parcours théorique de 2800 mètres et une pente d'une dizaine de mètres, est, dans l'opinion des habitants, de 10 à 12 heures.

Il est vraisemblable qu'elle est beaucoup plus longue.

Le parallèle entre les trois rivières établit clairement que leur régime est le même, obéit aux mêmes lois, est réglé par les mêmes circonstances, lorsqu'elles se perdent, circulent et réapparaissent à l'état de sources dans le roc calcaireux.

Nous avons été en mesure de nous rendre compte, par des constatations immédiates, des modes d'action de ces phénomènes et de déterminer leurs corrélations mutuelles.

C'est donc à juste titre que la région Han-Rochefort peut être choisie comme notre terme de comparaison pour l'étude des nombreux points où se présentent de semblables phénomènes, moins susceptibles d'être complètement étudiés par voies directes.

TABLE DES MATIÈRES

Exposé de la question p. 190

CHAP. I. — LES PHÉNOMÈNES GÉNÉRAUX DES CAVERNES EN TERRAIN CALCAREUX.

Creusement des cavernes, ses agents et leur appareil. — Aspect d'une rivière à engouffrements. — Régions où les pertes de rivières se produisent. — Action de l'acide carbonique sur les calcaires. — Imperméabilité de la substance du calcaire compacte. — Redressement et dislocations de nos terrains primaires. — Délitement des bancs. — Les diaclases et leur rôle. — L'eau d'infiltration et ses effets. — Cavernes résultant du plissement des couches. — Action chimique et action mécanique dans la formation des cavernes. — Durée géologique des actions corrosives. — Ablations chimiques dans l'intérieur de nos masses calcaireuses depuis l'époque triasique p. 193

Remplissage des cavernes et ses modes. — Les cavernes et les actions métallifères. — Époque du creusement des vallées. — Antériorité des cavernes par rapport au creusement des vallées. — Époque de la formation des stalagmites. — Amas de tufs. — Cavernes échelonnées sur les flancs des vallées. — Les rôles des eaux de pluies. — Aiguigeois des plateaux et leurs dépôts dans les cavernes. — Cavernes à cours d'eau permanents. — Cause de la permanence du débit des sources en terrains calcaireux. — Cavernes à cours d'eau temporaires. — Dépôts des cours d'eau souterrains. — Corrosion des parois des cavernes par ces cours d'eau — Écroulements et effondrements. — Rôle des eaux d'infiltration, de ruissellement et de rivière dans la formation des cavernes en terrains calcaireux. — Les sources dans nos terrains calcaireux compactes. — Contrastes entre les sources en terrains calcaireux et en terrains schisteux p. 211

Résumé des phénomènes généraux des cavernes p. 237

CHAP. II. — LES CAVERNES ET LA CIRCULATION SOUTERRAINE DES EAUX DANS LA RÉGION HAN-ROCHEFORT.

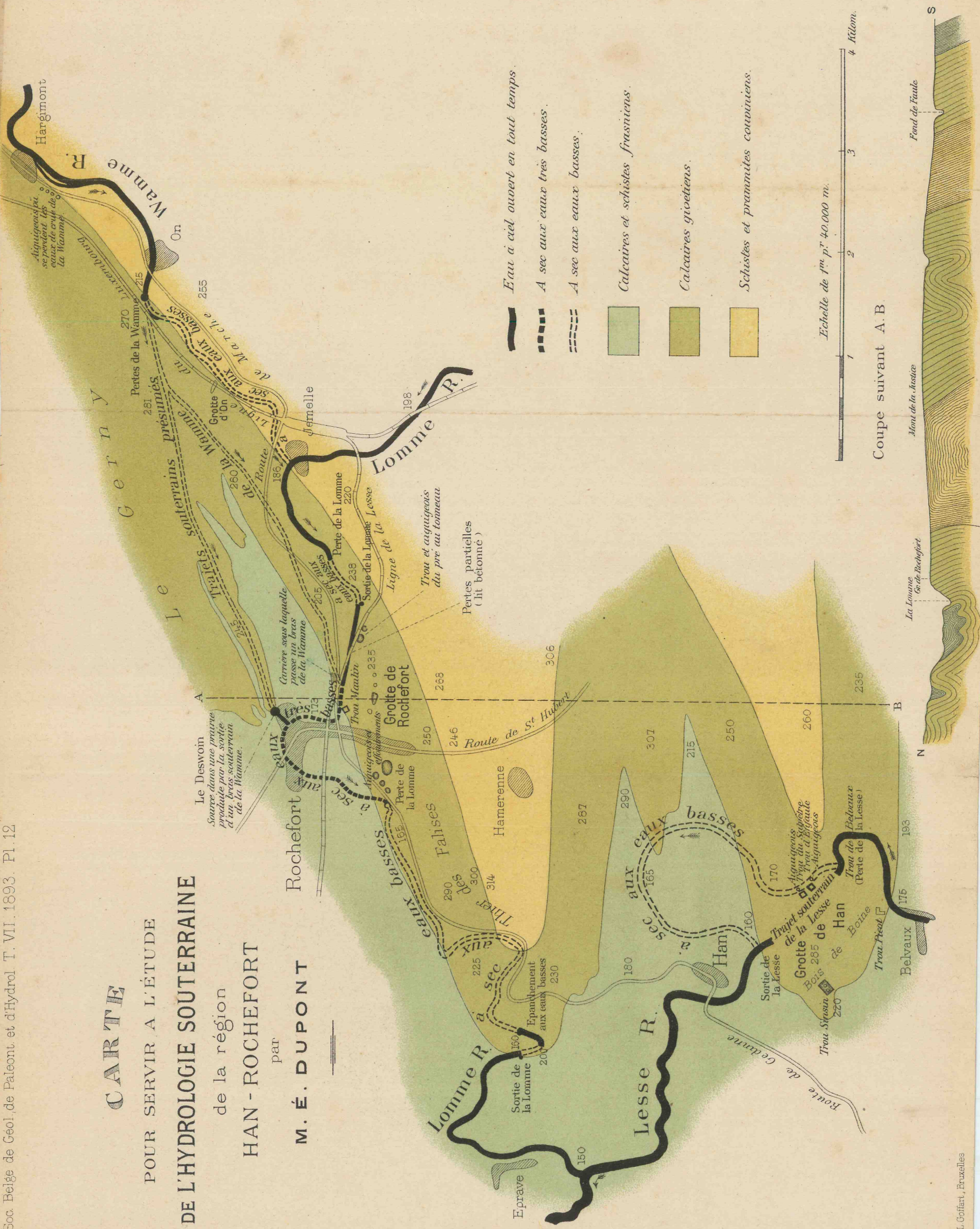
Cours d'eau de la région Han-Rochefort. — Les roches de cette région. p. 242

Le plateau calcaire appelé le Gerny. — Ses filons métallifères. — Source de Tri-daine p. 243

La Wamme. — Engouffrements aux hautes eaux à Hargimont. — Les pertes d'On. — Où on retrouve les eaux engouffrées à On. — I e Deswoin, orifice de sortie de l'un des bras souterrains de la Wamme. — Le bras de la Wamme passant sous la carrière de Rochefort. — Les trajets souterrains de la Wamme p. 245

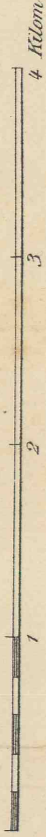
- La Lomme.* — La perte avant le Pré-au-tonneau. — Le lit bétonné de la Lomme. — Le Trou Maulin. — La Lomme traversant Rochefort sur les schistes frasniens. — L'Aiguigeois et le Trou du Pré-au-tonneau. — *La Grotte de Rochefort.* — Zone d'excavations et d'effondrements de deux kilomètres de longueur. — Engouffrement des eaux d'aiguigeois au pied du Thier des Falises. — Engouffrement de la Lomme au Thier des Falises et sa réapparition au Rocher d'Éprave p. 250
- La Lesse.* — Engouffrement de la Lesse dans le Trou de Belvaux. — La chavée de la Lesse. p. 266
- La Grotte de Han.* — Le plateau de la Grotte de Han. — La Grotte de Han et la Grotte de Rochefort. — Eaux d'infiltration. — Classement des galeries suivant les phénomènes dont elles sont le siège. — La Lesse dans la Grotte de Han. — Ses crues intérieures. — Envahissements de la Grotte par un torrent extérieur. — Essai d'évaluation de la longueur des canaux inaccessibles de la Lesse. — Les salles et galeries émergées en tout temps p. 270
- L'appareil de circulation souterraine de la Lesse, de la Lomme et de la Wamme. — Conclusion p. 292
-

CARTE
 POUR SERVIR A L'ÉTUDE
 DE L'HYDROLOGIE SOUTERRAINE
 de la région
HAN - ROCHEFORT
 par
M. É. DUPONT

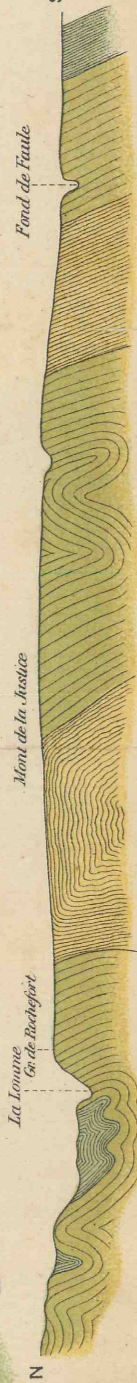


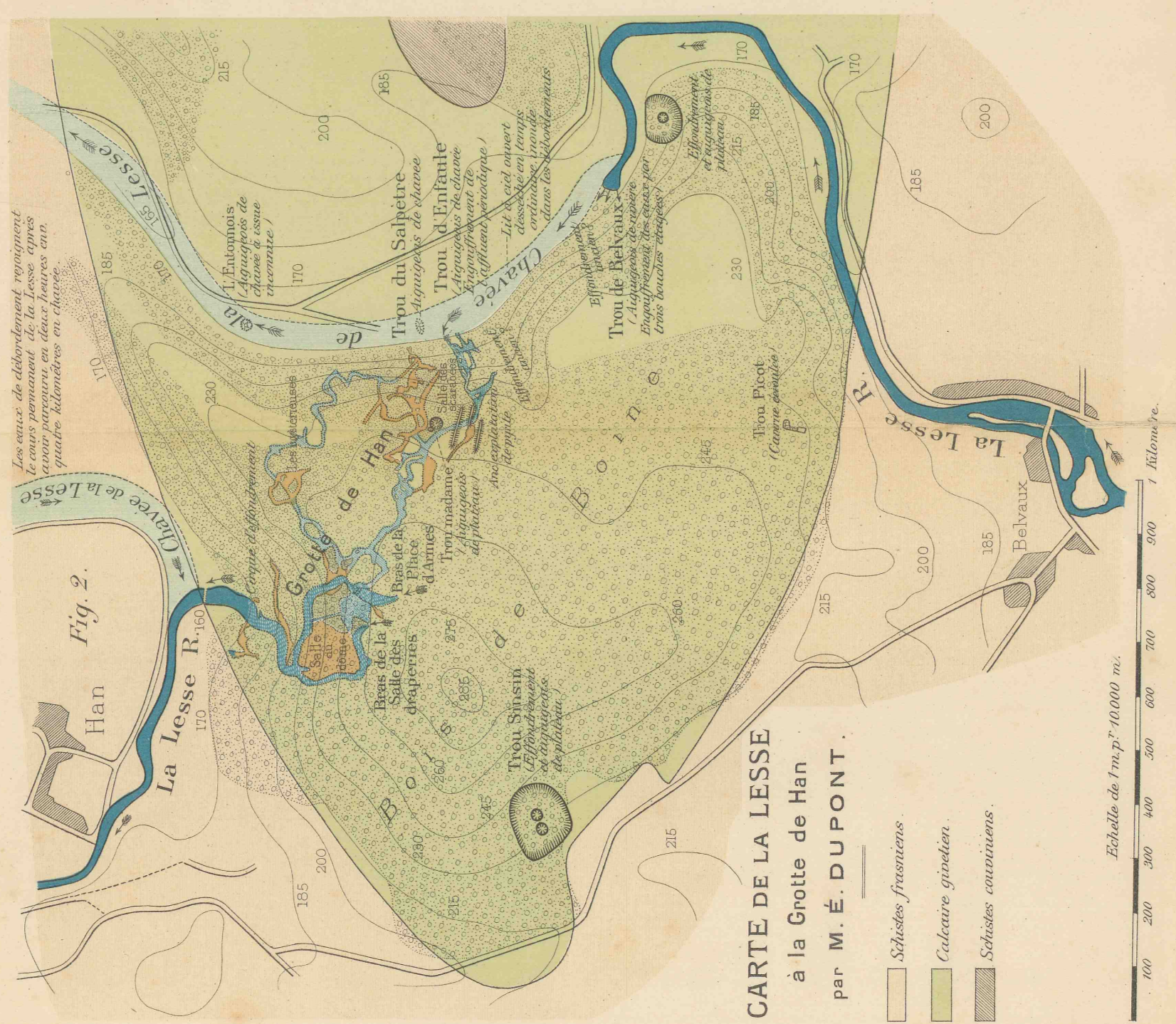
- Eau à ciel ouvert en tout temps.
- A sec aux eaux très basses.
- A sec aux eaux basses.
- Calcaires et schistes frasniens.
- Calcaires givociens.
- Schistes et prammites couviniens.

Echelle de 1^m p^r 40.000 m.



Coupe suivant A. B.

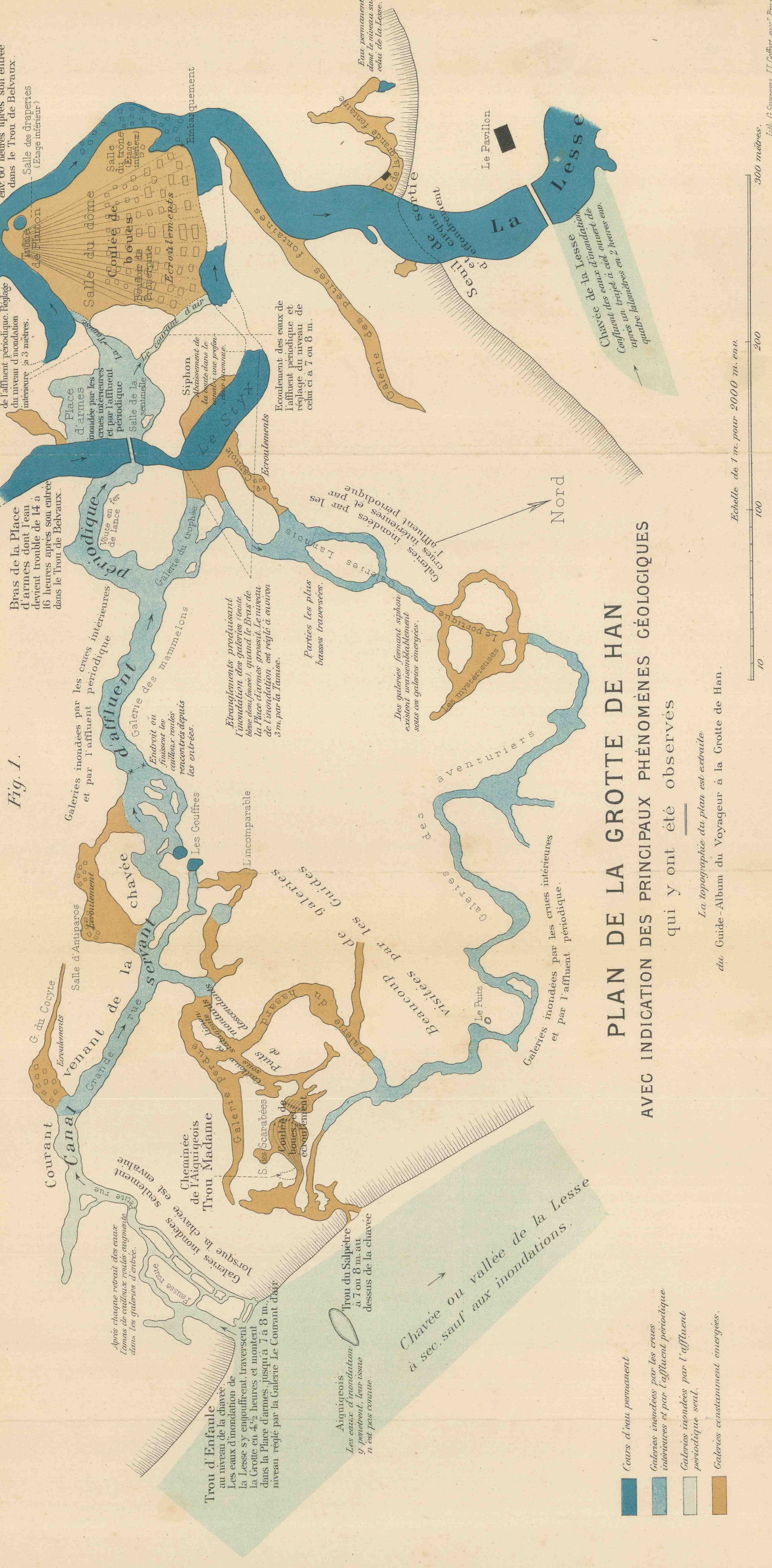




CARTE DE LA LESSE à la Grotte de Han par M. É. DUPONT.

- Schistes frasnien
- Calcaire gibétien
- Schistes couviniens

Echelle de 1 m. p. 10.000 m.



PLAN DE LA GROTTE DE HAN AVEC INDICATION DES PRINCIPAUX PHÉNOMÈNES GÉOLOGIQUES qui y ont été observés

- Cours d'eau permanent
- Galeries inondées par les crues intérieures et par l'affluent périodique
- Galeries inondées par l'affluent périodique seul
- Galeries constamment inondées

La topographie du plan est extraite du Guide-Album du Voyageur à la Grotte de Han.

Echelle de 1 m. pour 2000 m. env.

10

100

200

300 mètres.

400

500

600

700

800

900

1000

1100

1200

1300

1400

1500

1600

1700

1800

1900

2000

2100

2200

2300

2400

2500

2600

2700

2800

2900

3000

3100

3200

3300

3400

3500

3600

3700

3800

3900

4000

4100

4200

4300

4400

4500

4600

4700

4800

4900

5000

5100

5200

5300

5400

5500

5600

5700

5800

5900

6000

6100

6200

6300

6400

6500

6600

6700

6800

6900

7000

7100

7200

7300

7400

7500

7600

7700

7800

7900

8000

8100

8200

8300

8400

8500

8600

8700

8800

8900

9000

9100

9200

9300

9400

9500

9600

9700

9800

9900

10000

10100

10200

10300

10400

10500

10600

10700

10800

10900

11000

11100

11200

11300

11400

11500

11600

11700

11800

11900

12000

12100

12200

12300

12400

12500

12600

12700

12800

12900

13000

13100

13200

13300

13400

13500

13600

13700

13800

13900

14000

14100

14200

14300

14400

14500

14600

14700

14800

14900

15000

15100

15200

15300

15400

15500

15600

15700

15800

15900

16000

16100

16200

16300

16400

16500

16600

16700

16800

16900

17000

17100

17200

17300

17400

17500

17600

17700

17800

17900

18000

18100

18200

18300

18400

18500

18600

18700

18800

18900

19000

19100

19200

19300

19400

19500

19600

19700

19800

19900

20000

20100

20200

20300

20400

20500

20600

20700

20800

20900

21000

21100

21200

21300

21400

21500

21600

21700

21800

21900

22000

22100

22200

22300

22400

22500

22600

22700

22800

22900

23000

23100

23200

23300

23400

23500

23600

23700

23800

23900

24000

24100

24200

24300

24400

24500

24600

24700

24800

24900

25000

25100

25200