

DE LA

# FORMATION DES CAVERNES

PAR

X. STAINIER

DOCTEUR EN SCIENCES NATURELLES,  
PROFESSEUR DE GÉOLOGIE A L'INSTITUT AGRICOLE DE L'ÉTAT,  
MEMBRE DE LA COMMISSION DE LA CARTE GÉOLOGIQUE.

*(Mémoire présenté à la séance du 12 janvier 1897.)*

---

Depuis quelques années, les *Bulletins* de notre Société ont publié de longues et intéressantes discussions sur la circulation de l'eau dans les calcaires. Ces discussions ont eu comme complément une grande excursion entreprise dans les régions calcaires du Condroz, et spécialement dans les célèbres grottes de cette région. Cette excursion nous a valu plusieurs importants travaux, notamment : le compte rendu de l'excursion, par M. J. Willems; l'étude des cavernes de la région Han-Rochefort, par M. É. Dupont; enfin une étude critique de M. Flamache sur la formation des cavernes.

Quoique ne partageant nullement les opinions émises par M. Flamache, je ne saurais assez le féliciter d'avoir publié les objections que lui avait suggérées l'étude des théories généralement admises. Quant aux idées nouvelles qu'il a exprimées, quel que soit le sort qui leur sera

réservé, elles auront toujours eu ce grand avantage d'appeler l'attention et de susciter la discussion sur les points obscurs ou douteux que présentent les hypothèses émises sur la formation des cavernes.

La note critique de M. Flamache (1) a déjà été l'objet d'une vigoureuse réplique de la part de M. E. Van den Broeck (2) et de M. O. Lang (3).

Partisan convaincu de la formation des cavernes par voie de dissolution chimique agissant comme force *principale*, je crois devoir ajouter ici quelques considérations à celles que mes honorables devanciers ont déjà présentées. Il ne s'agit donc ici que d'un travail en quelque sorte complémentaire.

Dans sa note, M. Flamache a demandé formellement que, dans l'examen de ses idées, on sépare nettement les critiques qu'il adresse aux théories généralement admises des hypothèses nouvelles qu'il expose. Pour me conformer à ce désir bien naturel, je diviserai mon travail en deux parties. Dans la première, j'essayerai de prouver que les hypothèses nouvelles de M. Flamache ne sont pas admissibles et dans une seconde partie, je montrerai que les critiques émises par M. Flamache sur la théorie de la formation par voie de dissolution ne sont pas fondées en principe.

---

## PREMIÈRE PARTIE.

Dans sa communication précitée, M. Flamache formule nettement sa pensée. Pour lui, les grottes, les aiguigeois, les cavités souterraines en un mot, ont été creusées mécaniquement, par les mêmes causes et les mêmes lois que les vallées à l'air libre. Au moyen d'un certain nombre de diagrammes, il explique clairement sa manière de voir : par suite des pressions que créent les différences de niveau, les eaux superficielles pénètrent dans les fissures, remplies d'argile, du calcaire, déblaient d'abord ces fissures, puis, continuant leur action mécanique

(1) *Bulletin de la Société belge de géologie*, t. IX, 1893, p. 355, Mém.

(2) *Ibidem*, t. IX, p. 368, Mém.

(3) *Ibidem*, t. XI, p. 191, Mém.

sur les parois du canal ainsi formé, donnent naissance aux cavités que nous connaissons.

Pour nous, il est évident qu'en formulant sa théorie, M. Flamache a été fortement impressionné par deux faits au cours de l'excursion précitée. Quand on voit le trou Maulin, à Rochefort, encombré de cailloux roulés, quand dans les profondeurs de la grotte de Han on entend mugir la Lesse, il semble difficile de se soustraire à l'idée qu'il se produit là un travail mécanique considérable. De là à formuler une théorie mécanique, il n'y a qu'un pas. Voyons maintenant à la lueur de quelques faits ce qu'il en est.

1° Nous allons d'abord examiner le cas classique choisi comme exemple par M. Flamache et, au moyen de la brutale évidence des chiffres, il nous sera facile de montrer que dans les conditions qu'il présuppose, rien, absolument rien de ce qu'il indique ne doit se produire.

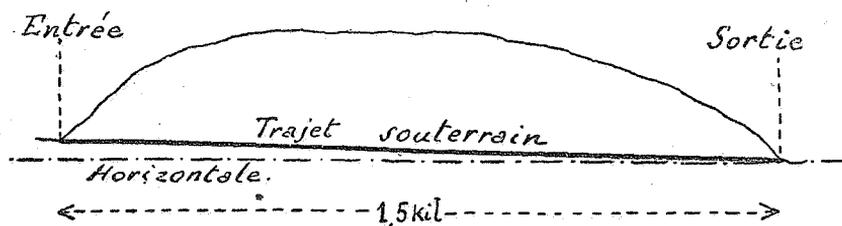


FIG. 1. — Grotte de Han.

Voici quels sont les chiffres (1) : Entre l'entrée et la sortie, il y a aux basses eaux 0<sup>m</sup>,90 de dénivellation. Aux hautes eaux, il y a 3 mètres. Quant à la distance à vol d'oiseau, elle est de 1 1/2 kilomètre. En réalité, elle est peut-être triple. Ainsi donc, c'est la faible pression produite par cette dénivellation minuscule de 3 mètres qui aurait pu se transmettre encore à 1 kilomètre de distance, à travers des fissures remplies d'argile, au point de forcer cette argile à sortir des fissures vers l'aval, comme le dit M. Flamache? Poser la question, c'est la résoudre. Bien plus, j'estime que dans les conditions indiquées par M. Flamache, une pression beaucoup plus considérable que celle qui est ici en jeu ne se transmettrait pas à plus de quelques mètres. En effet, quand l'eau pénètre dans

(1) E. DUPONT, *Les phénomènes généraux des cavernes, etc.* (BULLETIN DE LA SOCIÉTÉ BELGE DE GÉOLOGIE, t. VII, 1893, p. 190, Mém.).

des fissures remplies d'argile (FLAMACHE, *loc. cit.*, p. 365), elle est immédiatement saisie par les liens invisibles et puissants de l'attraction capillaire. Quand il s'agit de sables, cette attraction est suffisamment puissante pour que l'eau mette des mois à traverser quelques dizaines de mètres. Dans l'argile, cette attraction est telle que, dans la plupart des cas, les eaux ne peuvent en sortir et que le filtre devient imperméable. Concluons donc que si, par impossible, l'eau pouvait arriver à traverser son kilomètre de conduit, elle sortirait comme le font dans ce cas toutes les eaux connues, très tranquillement, sans force mécanique et très pure, bien loin d'emporter des matières terreuses. Bien plus, si en amont l'eau tenait des matières terreuses en suspension, elle se filtrerait en route dans l'argile des fissures et servirait ainsi à les combler.

2° Si nous supposons maintenant que les fissures préexistantes admises par M. Flamache ne soient pas remplies d'argile, mais ouvertes, comme elles le sont dans certains calcaires très purs, la même impossibilité subsiste.

Quand ces fissures ou diaclases sont dans leur état naturel, telles que les mouvements du sol ou les phénomènes de retrait les ont produites, elles sont très étroites (quelques centimètres au maximum).

Elles se rétrécissent, se ferment, se bifurquent, se croisent et constituent bien le milieu le moins propre à la transmission d'une pression. Quand cette pression est aussi minime que dans le cas de Han, qu'elle doit se transmettre par de telles conduites à un kilomètre de distance, j'ose affirmer qu'à quelques mètres de l'entrée, les frottements, décompositions de force et autres auraient mis cette pression à néant. J'en appelle à M. Flamache lui-même : il le sait, dans les conduites de transmission de force par l'eau sous pression, le frottement sur les parois est une grosse cause de déperdition de force.

3° En supposant même, par impossible, que la force mécanique de l'eau pût s'exercer dans de telles fissures, il est évident *a priori* que cette force produirait d'abord ces effets, non vers l'aval, comme le dit M. Flamache, mais vers l'amont, puisque c'est là que la pression s'établit. De plus, toutes conditions de pente ou de résistance restant égales, la force allant évidemment en décroissant, graduellement, par suite du frottement, les grottes devraient présenter des formes coniques à ouverture tournée vers l'entrée.

On peut examiner des milliers de plans de grottes horizontales, on

ne verra jamais cette forme conique réalisée, même en gros. Dans le cas particulier de la grotte de Han, où, comme nous l'avons vu, l'influence de la pente est presque nulle, un coup d'œil sur le plan montre que les grands vides se trouvent, au contraire, beaucoup plus près de la sortie.

4° On se demande d'ailleurs pourquoi la rivière se serait amusée à aller traverser cet immense massif calcaire, alors qu'elle n'en avait nul besoin. En effet, dans le cas particulier de la Lesse, il y a à l'air libre une immense vallée, cent fois plus grande qu'il n'est nécessaire et où la rivière aurait pu couler sans devoir s'astreindre à se creuser inutilement un nouveau lit à travers roche. D'ailleurs, en temps de crue, cette vallée sert à prendre, encore aujourd'hui, l'excédent de la rivière. Il est donc bien simple d'imaginer que si la rivière passe dans la grotte, ce n'est pas parce qu'elle a creusé cette grotte, mais parce qu'elle l'a trouvée toute formée, lui offrant un chemin plus court et plus facile que son lit à ciel ouvert, qu'elle a abandonné.

5° M. Flamache admet que les grottes ou vallées souterraines ont été creusées sous l'influence des mêmes causes que les vallées à ciel ouvert. Je pense qu'il n'en est rien, car il y a entre ces deux genres de formations des différences capitales que M. Flamache a perdues de vue. La plus essentielle de ces différences, c'est celle-ci : Dans les vallées à ciel ouvert, la section est, pour ainsi dire, illimitée et quand de grandes précipitations pluviales se produisent, les eaux peuvent monter, en pratique, extrêmement haut dans la vallée. Cet accroissement de masse augmente énormément la puissance destructive de la rivière et explique l'intensité des phénomènes produits. Dans les grottes, il n'en est rien. La circulation se fait très souvent par des canaux à section très minime, absolument limitée, et quel que soit l'afflux des eaux en amont, le débit de la rivière est forcément restreint et ne peut jamais atteindre de grandes quantités.

6° En se basant sur cette exigüité des canaux de passage, la formation des grandes cavités dans les grottes devient tout à fait incompréhensible dans la théorie mécanique. M. Flamache a bien compris que c'était là un point faible de sa théorie, car il glisse rapidement sur ce fait (*op. cit.*, p. 365), en disant simplement que ces cavités ont pu être créées par des causes disparues ou différentes : écroulement de plafond, creusement par aiguigeois de plateau, creusement à une époque antérieure, alors que la rivière était moins profonde.

Un diagramme montrera qu'il est presque impossible d'expliquer leur formation de cette façon.

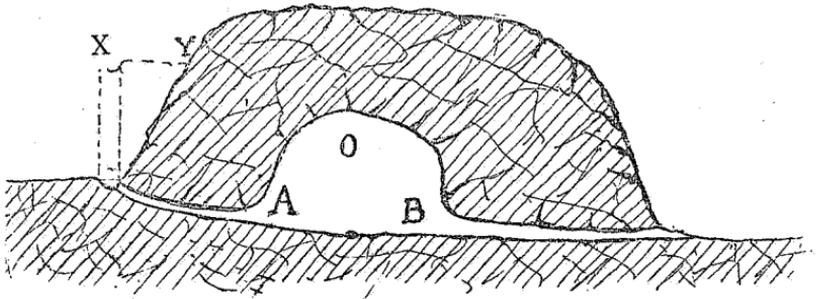


FIG. 2.

En effet, dans ce cas, le plus simple, pour qu'une rivière arrivant par l'orifice A puisse remplir la cavité, il ne suffit pas seulement d'admettre que, à un moment donné, le niveau de la rivière était en X-Y, donc plus haut que le point le plus élevé de O. Car, même dans ce cas, par suite de l'étroitesse de A, la cavité O ne se remplira que si l'orifice B est plus petit que A. Dans ce cas, l'eau s'accumulera en O, peut-être jusqu'au sommet. Sera-t-elle capable alors de creuser et d'agrandir cette cavité? Aucunement. Au contraire, on sait très bien qu'un liquide qui débouche d'un orifice restreint dans un espace plus grand perd du coup une grande partie de sa vitesse et de sa force mécanique. Quand la cavité O est remplie, plus elle est vaste, moins énergique sera le liquide qu'elle contient. Il y a là une sorte de réservoir de pression, mais c'est une pression latente qui ne fait sentir ses effets que si les parois du vase sont trop faibles pour les supporter. Il suffit d'examiner des coupes de grottes pour voir que tel est rarement le cas. Tout au plus cette pression peut-elle contribuer à un élargissement plus rapide de l'orifice B, surtout dans certaines conditions spéciales. Même si l'on examine à ce point de vue des coupes de grotte, on voit qu'il n'en est rien. Les eaux sortent fréquemment des grandes cavités par des orifices très rétrécis, nullement élargis, ni coniques de section.

7° Quand on examine un canal souterrain ou galerie de grotte, on voit qu'ils présentent en général des contours arrondis, semblables en gros à ceux que produit l'action mécanique de l'eau. Un examen plus attentif fait découvrir des détails incompatibles avec cette action de l'eau. Ainsi on voit en saillie, sur la paroi des galeries, ici des fossiles fragiles, là une mince veine de calcite ou de roche, parfois même, dans

les calcaires carbonifères, des cordons de cherts en protubérance, avec formes anguleuses et irrégulières, incompatibles avec l'action mécanique de l'eau. Si jamais, en effet, l'eau venait à circuler dans ces galeries avec la force qu'on lui attribue, son premier effet serait de balayer tout cela. On voit aussi dans les galeries une structure spéciale qu'un œil exercé reconnaît parfaitement. Ces galeries, en effet, présentent des étranglements successifs, qui leur donnent un aspect annelé que rend le diagramme suivant :

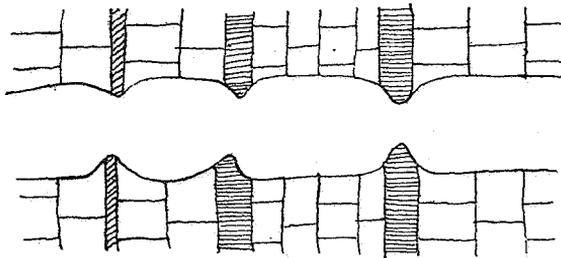


FIG. 3.

Ces étranglements rapprochés seraient incompatibles avec l'existence d'un courant d'eau énergique, qui aurait vite fait disparaître les bourrelets qui les produisent. Comme les faits signalés pour les fossiles et les cherts (silex), ils sont au contraire très explicables dans la formation chimique, en faisant appel à des différences de solubilités.

Il y a, en effet, dans les roches des bancs calcaires qui peuvent être plus siliceux ou argileux et, moins attaquables, restent en saillies ou bourrelets. De même pour les cherts tout à fait insolubles.

8° Si les grottes se sont formées par voie mécanique, pourquoi n'y a-t-il de grottes que dans les roches solubles (calcaires, dolomies) et dans les terrains volcaniques? Laissant de côté ces dernières, dont le mode de formation n'est pas en question, la relation qui existe entre les grottes et la solubilité des roches encaissantes est telle qu'elle ne peut manquer de frapper tout le monde. Je ne ferai pas à M. Flamache l'injure de croire qu'il attache beaucoup d'importance à la façon subtile dont il élude cette relation évidente de cause à effet.

Si l'action mécanique seule était en jeu, pourquoi n'y a-t-il pas de grottes dans les schistes, les grès, les psammites, toutes roches fissurées comme les calcaires et dont quelques-unes même doivent, au point de vue de l'érosion, présenter moins de résistance?

9° Dans son travail, M. Flamache fait grand état de la non-existence

de galeries en cul-de-sac dans les grottes, culs-de-sac qui devraient nécessairement exister par formation chimique. J'avoue que j'ai été profondément étonné de cette affirmation. Il suffit d'ouvrir n'importe quel ouvrage, avec figures, sur les grottes pour voir que ces culs-de-sac fourmillent dans les grottes. Le beau livre de M. Martel, *Les abîmes*, est particulièrement instructif à cet égard, comme à tant d'autres. Même l'exemple que choisit M. Flamache prouve absolument le contraire de ce qu'il expose. Un simple coup d'œil sur les plans de la grotte de Han (voir le travail de M. Dupont) montre des impasses nombreuses et indique des noms suggestifs (galerie perdue, etc.); aussi cet argument se retourne-t-il contre sa théorie, car réellement, dans l'idée de la formation mécanique, la production d'impasses est radicalement impossible. Or ce ne sont pas seulement des culs-de-sac horizontaux que l'on observe dans les grottes, mais il y a là d'innombrables culs-de-sac verticaux (1), encore bien plus incompréhensibles mécaniquement.

10° Il existe un moyen bien simple de se rendre compte si les rivières produisent réellement de grands effets érosifs dans les grottes. Toute érosion montre en effet, comme trace de sa réalité, non seulement le vide produit, mais encore les matériaux enlevés, les sédiments. Allons nous placer à la sortie des rivières, des grottes, des aiguigeois, aux sources vauclusiennes et autres des calcaires. Que voyons-nous là sortir, sinon toujours une eau parfaitement limpide et calme, sans aucune trace de sédiments, montrant bien ainsi qu'il ne sort des grottes rien qui ait été enlevé mécaniquement et que ce n'est pas par entraînement mécanique de matériaux que se creusent les vides des grottes? C'est à peine si, en temps de crue ou après de violents orages, l'on voit l'eau sortant des roches calcaires se troubler. Et encore ce trouble ne saurait être attribué à des érosions se produisant dans les grottes. Ce sont des matières provenant d'amont, arrachées aux flancs du bassin hydrographique supérieur des rivières. A ces moments-là, en effet, on voit les rivières qui pénètrent dans les grottes, fortement chargées de sédiments. Qui mieux est, une grande partie de ces sédiments ne sort pas des grottes, car à la sortie, ces rivières sont toujours beaucoup moins chargées de sédiments qu'à l'entrée. C'est là un point important sur lequel nous nous étendrons plus loin.

11° Si l'action mécanique des cours d'eau pouvait seule creuser les

(1) A proprement parler, d'ailleurs, les grandes cavités ne sont que des culs-de-sac verticaux.

grottes, comment expliquer qu'il existe des grottes là où il n'y a pas de cours d'eau? Je ne veux d'autre exemple de ce fait que la célèbre grotte d'Antiparos. Cette grotte, une des plus belles et des plus grandes de l'Europe, est située dans une petite île de l'Archipel grec, tellement petite qu'il ne peut y avoir aucun cours d'eau. Cette grotte cependant ne se différencie en rien des autres grottes d'Europe, ni comme morphologie, ni comme nature des roches encaissantes.

12° Jusque maintenant nous ne nous sommes occupé que des grottes à cours d'eau peu en pente. Voyons si la théorie de M. Flamache s'applique mieux aux aiguigeois, où les cours d'eau circulent plus ou moins verticalement. Je ne le crois pas. Toutes les objections que nous avons soulevées à propos des grottes peuvent être appliquées au même titre aux aiguigeois. Certes, les objections les plus fortes peuvent être tirées de la morphologie de ces cavités ou aiguigeois :

a) Dans quantité d'aiguigeois, on observe des cavités en cul-de-sac absolument incompréhensibles par formation mécanique, car beaucoup de ces culs-de-sac remontent verticalement et, par conséquent, on ne peut d'aucune façon admettre que la pression de l'eau aurait pu les former. Cette pression s'exerce en effet de haut en bas. L'exemple suivant fera mieux comprendre ce fait.

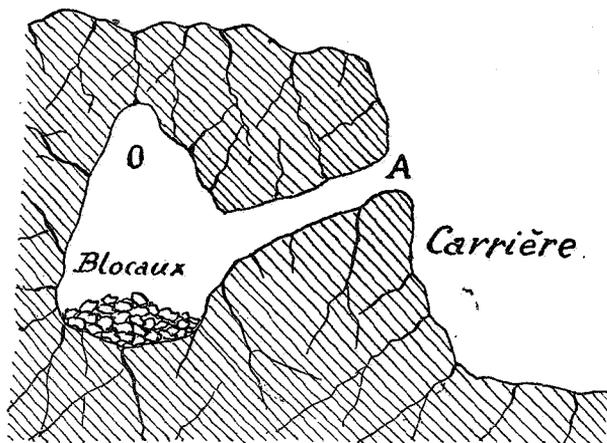


FIG. 4. — Coupe de la grotte (aiguigeois) d'Ymmiée, à Gerpennes.

Même en admettant qu'un cours d'eau ait pénétré jadis dans l'aiguigeois par l'orifice A, il semble impossible d'admettre que ce cours d'eau aurait pu creuser le cul-de-sac vertical O.

b) Il y a sur les flancs des vallées des grottes ou aiguigeois encore plus singuliers; ce sont des boyaux plus ou moins réguliers, parfois tout à fait horizontaux, se prolongeant à quelques mètres dans la roche et se terminant brusquement. On a beau regarder de tous côtés, on n'aperçoit aucune ouverture par où un cours d'eau aurait pu pénétrer dans la caverne; à peine si l'on voit quelque imperceptible fissure. La plupart des grottes de Belgique fouillées par les anthropologistes appartiennent à cette catégorie. Celle-ci trouve son type le plus frappant dans ce que l'on appelle « l'abri sous roche ». Le plus caractéristique peut-être que je connaisse à ce point de vue est situé à une grande hauteur dans le flanc nord de la vallée du ruisseau de Sollières, en amont de la poudrière de Lovegnée. C'est une belle cavité de plusieurs mètres d'ouverture, ayant à peu près les mêmes dimensions dans tous les sens. C'est une vraie niche ou portique, absolument clos de tous côtés dans la roche. Quand on se trouve sous ce portique, il serait difficile de s'imaginer qu'un cours d'eau y a jadis circulé pour le former.

c) Enfin, il est un dernier genre de cavités encore plus impossibles à former par voie mécanique. Quand on se trouve dans certaines carrières de calcaire, il n'est pas rare de voir certains bancs présenter une structure dite caverneuse et être creusés de cavités nombreuses, parfois très considérables, présentant par exemple l'aspect suivant.

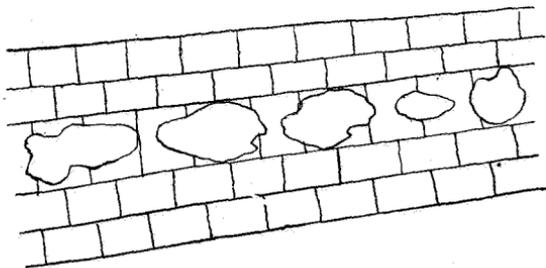


FIG. 5.

Quand ces bancs caverneux sont gros, il peut y naître ainsi de véritables cavernes, dont le banc est alors complètement perforé. Le niveau de calcaire brèche qui se trouve sur le bord nord du bassin de Namur dans le Viséen supérieur, présente fréquemment cette structure, comme on peut le voir dans les beaux escarpements de la Meuse entre Namur et Huy, et ainsi naissent les petites cavernes connues dans cette région

par les fouilles qu'on y a faites. Qui oserait soutenir un instant que ces cavités se sont formées par voie mécanique? Nul doute qu'elles ne soient dues à l'activité chimique de l'eau et que nous n'ayons là sous les yeux un stade en quelque sorte embryonnaire de la formation des cavernes.

---

## SECONDE PARTIE.

Dans la partie précédente, nous avons montré que l'hypothèse de M. Flamache de la formation mécanique des cavernes n'est pas admissible; il nous reste maintenant à examiner si l'hypothèse chimique adoptée par la presque unanimité des géologues est ébranlée par les objections soulevées contre elle par M. Flamache.

Voici en quelques mots la principale de ces objections : Pour M. Flamache, les phénomènes de dissolution des calcaires et les vides qui en sont la conséquence n'ont pas l'importance qu'on leur attribue. Ces phénomènes sont superficiels et limités à 2 ou 3 mètres de la surface. M. Flamache prouve son affirmation par six ordres de faits et par une démonstration expérimentale. Nous allons examiner successivement ces différents faits.

Pour prouver que l'action chimique de l'eau et son pouvoir dissolvant sont limités à la surface du sol et partant incapables de creuser les grandes excavations profondes, M. Flamache cite le cas de la grotte de Han où, après avoir parcouru quelques mètres, l'eau arrive dans les cavités chargée de bicarbonate de chaux et produit des stalactites. Donc, dit-il un peu plus loin, l'eau, au lieu de créer des cavités, possède une faculté obstruante remarquable, bouchant les fissures, formant des amas, etc.

A ce point de vue, M. Flamache a parfaitement raison, car j'admets, et je vais le prouver, que, examinée *dans les conditions actuelles*, la formation de grottes comme celle de Han par le pouvoir dissolvant de l'eau est complètement inadmissible.

1° L'examen de grottes à stalactites comme la grotte de Han prouve, en effet, à l'évidence que, en vertu même de leur pouvoir dissolvant, les eaux sont actuellement occupées à reboucher les grandes cavités.

Traversant, à partir du sol, un réseau plus ou moins compliqué de canalicules à parois calcaires, les eaux météoriques carboniquées se chargent de bicarbonate de chaux emprunté aux parois des canalicules. Aussitôt qu'elles débouchent, *goutte à goutte*, dans une cavité, elles déposent ce calcaire sous forme de stalactites, stalagmites, etc., formant parfois des masses considérables. Or il n'est pas un instant contestable que ces masses solides de calcaire concrétionné ne réduisent plus ou moins le cube de la cavité préexistante.

2° Lorsqu'un cours d'eau quelconque traverse les cavernes, aiguigeois ou autres cavités des terrains calcaires, le phénomène de remplissage des cavités marche encore bien plus vite. Nous avons déjà touché incidemment ce point dans la première partie, mais nous devons y revenir ici plus en détail pour le point qui nous occupe. Considérons, par exemple, les aiguigeois de plateau. On le sait, les neuf dixièmes de ces aiguigeois, en Belgique, peuvent être représentés schématiquement de la façon suivante :

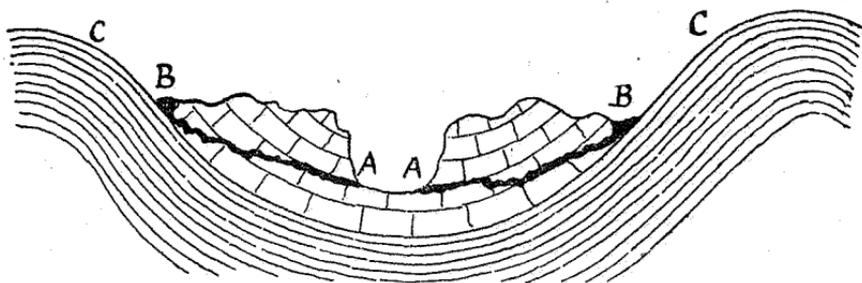


FIG. 6.

On constate en effet que ces aiguigeois sont situés au contact d'une bande de terrain calcaire avec une bande de terrain quartzo-schisteux. A la surface du sol, les entonnoirs des aiguigeois jalonnent dans le Condroz et l'Entre-Sambre-et-Meuse les lignes de contact des calcaires devoniens ou carbonifères avec les schistes et les psammites des mêmes systèmes. Dans ces conditions, voici ce qui se produit : les eaux qui circulent sur les protubérances quartzo-schisteuses imperméables dévalent le long des pentes et se chargent, surtout en temps d'orage ou de dégel, d'une grande quantité de matières terreuses. Arrivées au contact des aiguigeois, ces eaux, qui constituent parfois de gros ruisseaux, se précipitent dans les cavités ouvertes et, après avoir circulé plus ou moins loin dans un labyrinthe de canaux, arrivent au jour en contre-bas dans les

vallées, en A, par exemple, en produisant de belles et abondantes sources. Or, c'est là un fait d'observation presque général, ces sources sont toujours limpides et fraîches, et ce n'est que très exceptionnellement, après de très fortes crues, qu'elles se troublent plus ou moins fort. En tout cas, ce trouble est toujours incomparablement moindre que celui que présentent les eaux avant leur entrée dans l'aiguigeois. Pour ne donner qu'un exemple facile à observer de ces phénomènes, je citerai le bel aiguigeois de Falmignoul, où s'engouffre un ruisseau, souvent boueux, qui vient réapparaître un peu plus bas, au pied de l'escarpement calcaire de la rive droite de la Meuse, en face de Waulsort, sous forme de plusieurs sources toujours limpides et incolores. Sans doute que, dans leur trajet souterrain, les eaux ont stationné dans des espaces assez vastes où le calme a été suffisant pour permettre la précipitation des matières en suspension les plus ténues. Quoi qu'il en soit, le résultat final est évidemment que cet apport de matières argileuses doit à la longue obstruer les vides souterrains. Aussi n'est-il pas rare de rencontrer des aiguigeois complètement bouchés et où l'eau ne peut plus pénétrer qu'en filtrant à travers les matériaux de remplissage.

Si nous examinons maintenant le cas des cavernes parcourues par un cours d'eau, le phénomène se précise encore davantage, l'observation souterraine pouvant se faire dans ce cas. Prenons comme exemple la grotte de Han. La Lesse, dans la partie supérieure de son bassin, sur les roches quartzo-schisteuses de l'Ardenne, se charge, surtout en hiver ou en temps d'orage, de quantité de matières étrangères. Au contraire, à sa sortie, elle coule bien transparente, ayant laissé dans les cavités souterraines tous ces matériaux de transport.

Telle est l'origine d'une partie des énormes amas de limon qu'on trouve en certains points de la grotte. Quand on voit d'ailleurs la belle nappe d'eau de la Salle des Draperies, image parfaite du calme le plus absolu, on ne saurait méconnaître la cause du phénomène de dépôt. Il est un fait d'ailleurs bien connu. A la sortie des hivers, le personnel de la grotte est obligé, pour rendre la grotte accessible aux touristes, d'enlever chaque année des masses considérables de limon amené par la crue de la rivière. Sans cette intervention du travail de l'homme donc, la grotte se boucherait petit à petit.

Ceux qui ont eu l'occasion de visiter les travaux de recherche de grotte que M. l'ingénieur Houba a exécutés au Thier des Falizes, à Rochefort, se rappelleront les énormes masses de limon qu'on a enlevées pour rendre ces nouvelles grottes accessibles, et les masses non moins considérables qui restaient encore à enlever. On pourrait multiplier

à volonté ces exemples. Pour les aigueois de chavée, le même phénomène se produit. La Wamme, dans la partie ardennaise de son cours, se charge presque toujours de matières argilo-sableuses. Arrivée à l'aigueois d'On, elle s'y engouffre. Quand elle réapparaît par les deux débouchés connus à Rochefort : le Deswain et les sources Saint-Remy, l'eau est absolument clarifiée, puisque même on utilise ces sources pour l'alimentation de la distribution d'eau de Rochefort.

Concluons donc que dans les trois genres de cavités souterraines parcourues par des cours d'eau que nous venons de signaler, ces cours d'eau, loin de créer ou d'agrandir les cavités, contribuent petit à petit à les combler, et afin de résumer cet exposé un peu long, nous serons fondé à dire que, *dans les conditions actuelles*, aussi bien par leur pouvoir chimique que mécanique, les cours d'eau tendent à remplir les cavernes et que, par conséquent, ce n'est pas de cette façon qu'on peut expliquer leur formation.

Que déduire de cette conclusion en apparence négative? Il faut bien cependant que les grottes se soient formées pour une cause ou pour l'autre. La conclusion est bien simple : il suffit de dire que *ce n'est pas dans les conditions actuelle* qu'on peut concevoir la formation des cavernes.

Ici nous devons faire appel à des raisonnements d'ordre plus général. Il était jadis de mode en géologie, pour expliquer les faits, de faire appel à des causes violentes, à des catastrophes. On a réagi avec beaucoup de raison contre cette tendance, mais, comme dans toutes les réactions, on a souvent dépassé le but et aujourd'hui on ne jure plus que par ce qu'on appelle la doctrine des causes actuelles. Quant à moi, il me semble bien puéril de vouloir ainsi enfermer la nature dans les limites étroites de nos formules, de nos théories et de nos procédés de raisonnement. Pour les milliers de phénomènes qu'elle produit, la nature tient en réserve des milliers d'outils, des forces extrêmement variées. Ces forces, tantôt elle les fait agir lentement et sûrement, tantôt elle précipite leur action. Comment oser croire que, sans doute pour la satisfaction personnelle des hommes à panacées universelles, la nature ait montré toutes ses ressources, tous ses moyens dans la période actuelle, qui n'est qu'un instant dans la vie de notre globe? Pour moi, il n'est pas de théorie *a priori*, exclusive, unique; chaque cas doit être examiné et tantôt l'on constatera qu'il nécessite une explication, tantôt une autre.

Pour en revenir à nos moutons et fermer cette trop longue parenthèse, j'estime que pour expliquer la formation des cavernes, il faut

faire appel à un ensemble de conditions qui, n'étant plus réalisées aujourd'hui, empêchent de concevoir directement cette formation et nécessitent un raisonnement préalable.

La même chose se passe d'ailleurs pour la formation des vallées à ciel ouvert auxquelles M. Flamache a fait allusion. Si, pour concevoir le mode de formation de ces vallées, on se bornait à l'observation pure et simple des faits actuels, jamais on ne conclurait à la formation de ces vallées sous l'influence des cours d'eau qui les traversent.

En effet, de nos jours, ces cours d'eau sont absolument incapables de phénomène de creusement et, bien au contraire, on constate que la formation des vallées est aujourd'hui dans un stade de régression, justement sous l'influence du cours d'eau qui, chaque année, en période de crue, tapisse sa vallée d'une nouvelle couche sédimentaire. Nos grandes vallées ont vu par ce processus leur fond se remplir de plusieurs mètres de dépôts meubles. Donc, ici comme dans les cavernes, les cours d'eau contribuent à combler les cavités.

Allant plus loin encore dans la voie de l'observation, on constate que dans nombre de vallées secondaires, évidemment creusées par les eaux, il n'y a plus de nos jours le moindre filet d'eau.

Que conclure de tout cela? C'est que, comme nous le disions plus haut, *les cavernes*, comme aussi les vallées, *se sont creusées dans des conditions différentes de celles qui prévalent aujourd'hui*.

Pour le sujet qui nous occupe, la principale de ces conditions, c'est l'abondance des précipitations pluviales.

Au fur et à mesure que la géogénie si obscure et si peu connue des temps quaternaires se débrouille, apparaît plus certaine cette affirmation que pendant le quaternaire, les pluies ont dû être incomparablement plus copieuses qu'aujourd'hui.

Il y a déjà quelque temps, dans un travail sur les vicissitudes du cours de la Meuse pendant les dernières périodes de l'histoire de la terre (1), nous faisons ressortir l'ampleur et l'énergie des phénomènes d'érosion de ce cours d'eau pendant le Quaternaire, comparées à la nullité des mêmes phénomènes actuellement. Le beau travail de M. van Overloop sur le bassin de l'Escaut (2) montre à l'évidence les mêmes conclusions; enfin, très récemment, M. Rutot a fait paraître un magistral

(1) X. STAINIER, *Le cours de la Meuse depuis l'Ère tertiaire* (BULLETIN DE LA SOCIÉTÉ BELGE DE GÉOLOGIE, t. VIII, 1894, p. 83, Mémoires).

(2) E. VAN OVERLOOP, *Les origines du bassin de l'Escaut* (BULLETIN DE LA SOCIÉTÉ BELGE DE GÉOLOGIE, 1890, Annexe).

travail sur le Quaternaire (1), qui a enfin fait la lumière sur les questions si longtemps pendantes concernant cette époque obscure. Je renvoie pour plus de détails à cet important travail. On y lira avec fruit, pages 122 et suivantes, l'exposé des phénomènes qui se sont produits pendant la période hesbayenne et la description de la vaste inondation qui, due à des précipitations fluviales abondantes ou à la fonte des glaciers, probablement aux deux causes réunies, qui, dis-je, ensevelit toute la moyenne et la basse Belgique.

A la lueur de ces faits, reprenons l'étude du mode de formation des cavernes par voie de dissolution chimique.

Nous y verrons que la quantité d'eau qui circule dans le sol est un facteur de la dernière importance, car suivant cette quantité le phénomène peut varier, non pas seulement en plus ou en moins, mais même changer complètement de sens et produire des effets diamétralement opposés. Il y aura là matière à utile réflexion pour ceux qui croient que, en tout et pour tout, on peut remplacer des causes énergiques par des causes infinitésimales, mais agissant pendant très longtemps.

Voyons ce qui se passe dans ce cas-ci.

De nos jours, l'eau circule dans les canaux à section plus ou moins large, mais toujours très appréciable, creusés dans les calcaires. Cette eau, peu abondante, coulant, comme le dit M. Dupont (voir *op. cit.*), goutte à goutte, a vite fait de se charger complètement de bicarbonate de chaux et, quand elle arrive dans des espaces assez vastes, elle s'évapore dans l'air de ces espaces par suite de son peu d'abondance et, déposant son calcaire, elle est en réalité incrustante.

Plaçons-nous maintenant dans les conditions quaternaires.

*Stade initial* : Des fissures plus ou moins larges, dues au mouvement du sol, préexistent dans les calcaires.

Ces fissures livrent passage à des quantités considérables d'eau douée de pouvoir dissolvant. Cette eau, sans cesse renouvelée, engorge complètement les cavités et fissures et, dans ces conditions, quel que soit le degré de saturation en calcaire que ces eaux puissent atteindre, il n'y a pas précipitation de calcaire ni incrustation quelconque, puisqu'il n'y a pas évaporation. Si de plus, chose dont nous montrerons plus loin la grande importance, nous supposons que les fissures sont suffisamment larges pour que la capillarité ne s'y fasse pas sentir, les eaux y renfermées sous leur propre pression chercheront une issue vers le bas ou sur le

(1) A. RUTOT, *Les origines du Quaternaire de la Belgique* (BULLETIN DE LA SOCIÉTÉ BELGE DE GÉOLOGIE, t. XI, 1897, p. 1, Mém.).

côté, et quand elles l'auront atteinte, s'écouleront au dehors, entraînant à l'extérieur le calcaire qu'elles auront dissous. Incessamment remplacées par de nouvelles eaux abondantes, douées d'un nouveau pouvoir dissolvant, elles élargiront petit à petit les fissures où elles circulent et finiront par les transformer en canaux et en cavités à larges sections.

*Stade de grande activité* : Quand les canaux seront devenus fort larges et qu'en certains points même il se sera formé des cavités trop vastes pour être remplies complètement par les eaux, les phénomènes ne changeront pas pour cela, au contraire, si l'afflux d'eau reste abondant. En effet, la largeur des canaux permettra un rapide écoulement des eaux et par conséquent le renouvellement fréquent de l'agent de dissolution. Nous admettons même qu'alors, dans les aiguillois de plateau où les canaux sont voisins de la verticale, l'action mécanique de l'eau doit pendant ce stade aider considérablement l'action chimique. On ne saurait nier, en effet, que de grandes masses d'eau tombant verticalement en cascade dans les cavités ne doivent y produire des effets d'érosion marqués par eux-mêmes et par les matières étrangères, sables, cailloux, blocs, qu'elles pourraient entraîner.

Cette action mécanique serait encore activée par certaines dispositions locales, faciles à concevoir.

*Stade d'équilibre final* : Lorsque, par suite de changements notables dans les conditions climatiques, les précipitations fluviales diminuent très notablement, on entre dans le stade régressif où nous sommes aujourd'hui et où les cavités tendent plutôt à se combler.

D'après tout ce qui précède, on peut conclure que, avant tout, deux conditions sont nécessaires pour que des fissures préexistant dans des calcaires puissent se transformer en grottes; ces conditions sont : 1° une grande abondance d'eau circulant dans les fissures; 2° une circulation rapide et un renouvellement très fréquent de cette eau.

La première condition dépend évidemment des conditions climatiques, mais la seconde suppose des conditions locales et spéciales qui expliquent en partie pourquoi, comme se le demande M. Flamache, toutes les fissures des calcaires ne donnent pas naissance à des grottes.

En effet, pour ce qui concerne la Belgique, on est étonné de voir que les grottes sont réparties d'une façon remarquable et que l'on peut y reconnaître les règles suivantes :

- 1° Les grottes n'existent que dans les terrains calcaires;

2° Les aiguigeois et les petites grottes sont réparties dans tous nos étages calcaires carbonifères et devoniens ;

3° Les grandes grottes parcourues par de grands cours d'eau n'existent que dans la bordure méridionale du bassin de Dinant et seulement dans le calcaire givétien ;

4° Même dans cette bande calcaire, les grandes grottes ne se trouvent que là où la régularité de cette bande est interrompue et où sa direction générale est-ouest fait place à une série de plissements et de bouleversements qui donnent à la bande une plus grande largeur et une direction générale plutôt nord-sud. Il est facile de se rendre compte de la relation entre les grandes grottes et les plissements et les bouleversements en question. Ceux-ci, en effet, provoquent les fissures nécessaires pour que les grottes puissent commencer à se former. Nous citerons à cet égard la région Chimay-Couvin, les environs de Durbuy, de Remouchamps et surtout celle de Rochefort, où se trouvent les grottes de loin les plus remarquables.

Mais, au premier abord, on ne se rend pas aussi bien compte de la liaison qui existe entre les grandes grottes et le calcaire givétien.

Nous allons examiner à quoi tient cette liaison et nous éluciderons du coup un des points les plus importants de la géogénie des cavernes.

Les grandes grottes se forment surtout chez nous dans le Givétien parce que, dans la bande en question, cet étage est notre étage calcaire le plus pur, et cela sur de grandes épaisseurs. Cette question de la pureté des calcaires joue en effet le plus grand rôle. Au moment où l'eau commence à circuler dans les fissures tectoniques, les diaclases des calcaires, si ceux-ci sont fort purs, peu chargés de matières étrangères (sable, argile surtout), si les intercalations schisteuses sont nulles, les phénomènes se passeront comme nous l'avons indiqué plus haut, et de grandes grottes pourront en résulter.

Mais si les calcaires sont chargés de matières argileuses et sableuses, les premiers phénomènes de dissolution qui se produiront mettront ces matières en liberté, elles s'entasseront dans les fissures qu'elles finiront par boucher complètement. A ce moment, les phénomènes prennent une tout autre allure. Quel que soit l'afflux d'eau par-dessus, l'eau ne peut plus circuler dans les fissures qu'avec une extrême lenteur, car elle est obligée pour passer de filtrer à travers l'argile ou les matières étrangères qui remplissent les fissures. Dans cette argile, elle est retenue avec une énergie extrême par la capillarité et met des mois dans les

argiles très fines pour faire quelques mètres. Alors ne se trouvent plus réalisées les conditions de rapidité d'écoulement et d'afflux abondant d'eau que nous avons vus si nécessaires pour la genèse des grandes cavernes, et celles-ci ne se forment pas. A la lueur de ces faits, on pourra voir comment, dans la plupart des cas, on peut expliquer les localisations des cavernes même dans des détails minimes. Qui n'a vu, en effet, dans des carrières, un banc tout particulièrement choisi par les eaux pour y exercer leur action dissolvante et où elles circulent même sans avoir égard à la pesanteur, en quelque sorte attirées par la pureté et la facilité d'attaque de ce banc particulier (1)? Nous avons même ici l'explication d'un fait qui pourrait au premier abord sembler difficile à comprendre.

Si les grottes se forment surtout par voie chimique, pourquoi sont-elles si rares et si petites dans les dolomies, cependant si communes dans certains pays et si aisément solubles dans l'eau carboniquée?

La raison en est bien simple et tient à une propriété spéciale à la dolomie. Les dolomies, comme on sait, sont toujours grano-cristallines. Or, les eaux météoriques laissent intacts les cristaux de dolomie et attaquent plus volontiers la matière qui tient réunis tous ces cristaux et qui les cimente en quelque sorte. Aussi voit-on, par altération météorique, la dolomie se transformer en une arène grossière, grisâtre, qui remplit immédiatement les fissures de la roche et empêche les eaux d'y circuler<sup>e</sup> autrement que par filtration lente. Alors, comme nous le savons, les phénomènes de dissolution produits sont très peu notables et ne peuvent donner naissance à des grottes.

On voit donc combien importante est la considération du degré de pureté des calcaires au point de vue de l'obstruction des fissures.

Grâce à ces considérations, on comprend pourquoi l'expérience instituée par M. Flamache n'a donné que des résultats négatifs.

Pour terminer cet examen spécial, nous voudrions ajouter quelques remarques que nous a suggérées la morphologie des cavernes et qui sont de nature à élucider certains points de leur géologie.

(1) Cet éclectisme des eaux météoriques, pourrait-on dire, me remet en mémoire un curieux phénomène de dissolution chimique. Dans le gisement de phosphate exploité à Hallencourt (nord de la France), les eaux météoriques avaient passé à travers une couche de craie et avaient attaqué, plus bas, une autre craie phosphatée, de façon à former des poches de phosphate enrichi qui étaient situées en contact des deux craies. Cette préférence de l'eau s'expliquait aisément en constatant que la craie phosphatée était grossière, poreuse, très perméable, tandis que celle du dessus, qui aurait dû être attaquée la première, était cohérente, fissurée et argileuse.

Si l'on examine les dépôts formés par altération chimique à la surface des terrains meubles perméables et filtrants, on constate que ces dépôts affectent toujours une allure bien connue, dite « en poches », en d'autres mots qu'ils affectent la forme de cônes à pointe tournée vers le bas. Au contraire, les cavernes, que nous considérons aussi pourtant comme des résultats d'altération et de dissolution chimique, affectent bien en gros la forme de cônes, mais ces cônes ont la pointe tournée vers le haut. C'est là un fait qui ne peut manquer de frapper de prime abord et dont il faut rechercher l'explication. Nous croyons que cette explication montrera qu'il y a là, non pas une objection, mais bien une confirmation éclatante du phénomène chimique.

1° *Cas des roches filtrantes* : Dans ces roches, par suite de l'attraction capillaire, la marche de l'eau est toujours lente, quel que soit l'afflux d'eau. Cette eau aura donc tout le temps de dissoudre les substances solubles qu'elle rencontrera, de se saturer tout en descendant petit à petit et surtout de perdre tout pouvoir dissolvant ultérieur. Si donc les roches filtrantes présentaient partout une égalité mathématique dans leur composition chimique et leurs propriétés physiques, la limite des dépôts altérés serait parallèle à la surface du sol. Mais en pratique, il n'en est jamais ainsi et le sous-sol présente de grandes variations. Si nous représentons par la ligne AB la surface du sol, nous pourrions avoir au-dessous les quelques cas suivants :

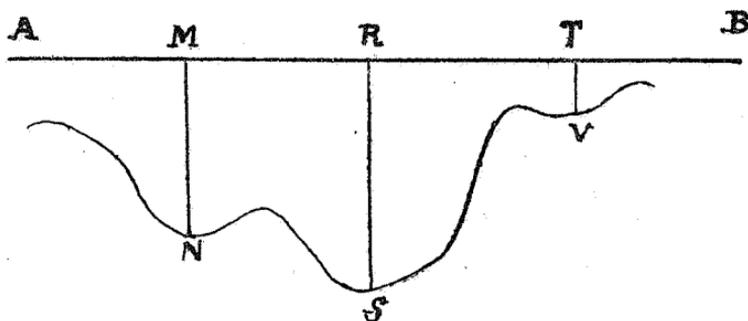


FIG. 7.

Dans la verticale MN, les roches seront plus perméables, la vitesse de l'eau pourra y être plus grande, elle pourra donc arriver plus loin sans être saturée aussi vite qu'ailleurs. Dans la verticale RS, les roches seront moins chargées de matières solubles, il y aura moins de besogne à faire, partant le champ d'action de l'eau pourra être plus étendu. Dans la verticale TV, les précipitations pluviales seront plus copieuses et ainsi de suite. On voit donc que, par la limite inférieure de ses produits

d'altération, l'eau nous donne en quelque sorte le graphique des causes qui ont fait varier son activité.

2° *Cas de calcaires purs à larges crevasses* : Dans ce cas, les eaux pluviales abondantes, circulant avec la plus grande facilité, tombant même parfois verticalement, ne doivent pas produire en route leur plus grande dissolution par suite de la rapidité de leur chute; elles doivent donc arriver à leur niveau de base et d'équilibre sans être saturées. Elles pourront donc, au voisinage de ce niveau de base, grâce à un repos plus considérable, exercer encore une puissante action corrosive, d'autant plus qu'elles se renouvellent constamment. C'est à ce moment, pensons-nous, qu'intervient un nouveau facteur important. En effet, à l'action des eaux provenant de la surface peut venir se joindre l'action corrosive de cours d'eau considérables qui circulent dans certaines grottes. Ces cours d'eau, chargés souvent, comme l'eau de pluie, d'acide carbonique, jouissent aussi d'un vif pouvoir d'érosion chimique, et comme ils font passer chaque jour dans certaines cavernes, même de nos jours, d'énormes quantités d'eau, nul doute que leur action chimique n'ait été et ne soit encore très notable. Si donc, par places, le canal sans cesse élargi dans lequel circule le cours d'eau vient à rencontrer un canal vertical amenant les eaux superficielles, il pourra se produire à cet endroit un maximum d'excavation.

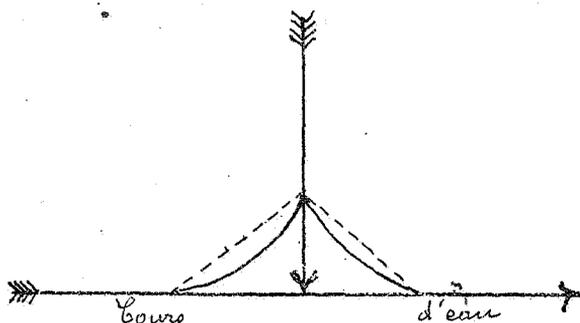


FIG. 8.

Théoriquement, la forme de la cavité produite devrait être celle que nous indiquons dans le diagramme ci-dessus. Mais les phénomènes de porte à faux et d'éroulement modifient toujours ce profil théorique, pour le remplacer par un profil ogival ou conique plus conforme aux conditions d'équilibre stable des masses rocheuses.

On voit donc comment tout naturellement dans ce cas-ci, les phéno-

mènes de dissolution donnent des formes coniques à pointe tournée vers le haut.

Maintenant que nous avons terminé cette étude critique un peu longue, il nous reste à énumérer quels sont, d'après nous, les différents facteurs qui jouent un rôle dans la formation d'une caverne, en montrant en même temps à quel moment de cette formation leur action se fait sentir.

#### FORMATION DES CAVERNES.

1° Par suite de mouvements géodynamiques, des diaclases se produisent dans les calcaires, par eux-mêmes compacts et imperméables.

2° Les eaux météoriques chargées d'acide carbonique circulant dans les diaclases des calcaires assez purs, dissolvent le calcaire et, élargissant ainsi continuellement ces diaclases, créent dans la masse rocheuse un lacis varié de canaux pouvant avoir des sections très variables avec certaines conditions locales aisées à comprendre.

3° Dans ceux de ces canaux qui sont verticaux, l'action mécanique de l'eau, sa chute, sa pression, l'entraînement de matériaux durs peuvent produire des élargissements notables.

4° Au voisinage du niveau de la nappe aquifère, l'action dissolvante plus prolongée permet aux eaux de créer des cavités plus considérables.

5° Ces cavités peuvent devenir encore plus considérables, du fait du passage dans les masses rocheuses de cours d'eau qui viennent joindre leur action dissolvante à celle des eaux superficielles.

6° L'action mécanique de l'eau doit venir contribuer à l'élargissement de ces cavernes, surtout dans certaines conditions spéciales (coudes brusques, chutes, étranglements, etc., etc.).

7° Des phénomènes d'éroulement, favorisés par la création de porte à faux et l'existence de diaclases et de fissures, doivent aussi agrandir notablement les vides internes.

En résumé donc, et c'est par cette considération que nous terminons, nous croyons que les grandes cavernes doivent leur existence et leur ampleur à l'action combinée de phénomènes chimiques et mécaniques, secondés par de vastes éroulements (1).

(1) Comme on le voit, nous sommes loin d'être exclusif et de croire qu'un seul genre de phénomènes soit capable de produire tous les effets observés.