

Séance du 15 février 1877.

Présidence de M. L. Coulon.

M. M. de Tribolet lit une traduction, suivie de quelques remarques, d'une *Note sur la glacière de Monlézi* et d'un *Mémoire sur l'origine de la glace souterraine*, par *M. G.-F. Browne* (avec une planche) :

Dans les pays calcaires, on rencontre ordinairement sous terre des excavations de toute espèce et de toute forme, qui sont en général le produit de dislocations internes, en même temps que de l'érosion souterraine (*) : témoin les *sinks* des Etats-Unis, les *catavothras* de la Grèce et les *dolines* de la Carinthie.

Dans notre Jura, chacun sait combien ces *grottes*, ces *caves* ou *cavernes*, ces *baumes*, ces *galeries*, ces *cavernes mixtes*, ces *lapiaz*, sont fréquents. M. Desor en a donné une description détaillée il y a quelques années. (²)

Mais il y a une catégorie de ces excavations souterraines qui, jusqu'à ces derniers temps, n'avait jamais été l'objet d'observations plus particulières. Je veux parler de nos *glacières*. Celles-ci sont ce que M. Desor a appelé des cavernes mixtes, c'est-à-dire que ce sont des grottes qui communiquent avec la surface par des caves ou puits naturels. Dans le Jura, nous comptons huit de ces *glacières*. Ce sont : celle de Monlézi, dans le Val-de-Travers ; les deux de St-Livres (inf. et sup.) et celles de St-Georges et de la Genollière, dans le Jura vaudois ; celles de la Grâce-Dieu, d'Arc-sous-Cicon et de Chaux-les-Passavent (³), dans le département du Doubs.

Ce n'est que récemment que les *glacières* du Jura ont été, de la part de M. G.-F. Browne, l'objet d'études très-détaillées qu'il a publiées en 1865, dans un ouvrage intitulé : *Jce-Caves of France and Switzerland, a narrative of subterranean exploration*, London, Longmans et Green.

Précédemment déjà, différents auteurs avaient publié, à diverses reprises, plusieurs descriptions des *glacières* de la Grâce-Dieu et de St-Georges (Thury 1861 ⁴).

(*) Comp. ma Note sur les tremblements de terre ressentis à Neuchâtel, etc., *Bull. Soc. sc. nat.*, 1876, p. 358.

(²) *Bull. Soc. sc. nat. de Neuchâtel*, 1871, p. 69.

(³) *Voy. Résal : Stat. géol., minéral du Doubs et du Jura*, 1864, p. 41.

(⁴) *Etudes sur les glacières naturelles*, *Arch. sc.*, p. 97.

Le travail qui fait le sujet de cette communication, est la traduction de la description de la glacière de Monlézi, par M. Browne, description à laquelle j'ai joint une note du même auteur sur l'origine de la glace souterraine. Je ne crois pas me tromper en disant qu'il y a un intérêt réel à mentionner ici plus au long, un travail scientifique qui intéresse tout particulièrement notre pays, et qu'il importe par conséquent de connaître plus à fond.

La glacière de Monlézi (1) a été décrite assez en détail dans le *Messenger boiteux* de 1849 (article sur les grottes neuchâteloises). Elle est assez rapprochée du hameau des Sagnettes, au-dessus de Couvet, d'où l'on s'y rend facilement en dix minutes ou un quart d'heure. Cette glacière se trouve dans un petit vallon boisé çà et là et qui sert d'alpage au bétail.

« Son entrée est formée par un puits profond qui a toutes les apparences d'avoir été anciennement composé de deux puits, dont l'un moins profond que l'autre (2). L'accès de cette glacière se trouve du côté escarpé du puits le moins profond M. En descendant, on arrive sur une espèce de petite plate-forme en pente L, à environ vingt-un pieds au-dessus de la surface de la neige qui se rencontre dans le puits le plus profond C. C'est pour ces derniers vingt-un pieds qu'une échelle est absolument nécessaire.

» Dans les environs immédiats de l'entrée de cette glacière, se trouvent deux autres puits qui sont en communication directe avec cette dernière. L'un de ces puits B, d'une profondeur de soixante-six pieds et d'un diamètre de quatre à cinq pieds, est abrité du soleil par des arbres.

(1) Thury (p. 152) la mentionne à tort sous le nom de glacière de Motiers. Il ajoute cependant qu'elle est située entre les vallées de Travers et de la Brévine.

(2) M. Browne accompagne la description de cette glacière de deux plans, dont l'un vertical et l'autre horizontal. J'ai modifié sensiblement ce dernier, comme il est, du reste, facile de le voir en le comparant avec celui de M. Browne.

L'autre A, plus grand, a une profondeur d'environ soixante et dix pieds.

» Avant de pénétrer au fond du puits principal qui constitue l'entrée de la glacière, je fis descendre, depuis la surface, un fil à plomb jusque sur la neige, c'est-à-dire à une profondeur de cinquante-neuf pieds. Plus tard, je trouvai que la glace se rencontrait quatre pieds plus bas. Les dimensions du fond de ce puits d'entrée ou pour mieux dire du champ de neige, sont de trente-un pieds sur vingt-un.

» Lorsque je me trouvai à son extrémité, devant l'entrée en forme de voûte de la glacière, je sentis un courant d'air froid soufflant depuis cette dernière. Je fus très surpris de trouver que la direction de ce courant changeait subitement et que le vent froid qui avait soufflé auparavant depuis la glacière, soufflait maintenant tout aussi fort depuis le fond du puits principal. Cette entrée proprement dite de la glacière était si basse, que son sommet arrivait à ma taille. Ainsi ma figure et la partie supérieure de mon corps n'étaient pas exposées aux courants d'air.

» Curieux d'étudier plus en détail ces courants, j'allumai une bougie et la plaçai sur la neige, au fond du puits principal et immédiatement devant l'entrée de la glacière N. Je pus voir alors que les courants alternaient régulièrement, comme je l'avais supposé dès l'abord. Afin de déterminer si possible la loi de ces changements, j'observai avec ma montre la durée exacte de chaque courant. Pendant vingt-deux secondes, la flamme de ma bougie fut soufflée si fort dans une direction opposée à celle de l'entrée, qu'elle avait pris une position horizontale. Alors le courant cessa et la flamme reprit sa position normale verticale. Mais celle-ci redevint tôt après horizontale dans la direction opposée à la précédente, ensuite du courant qui soufflait du puits et qui dura à son tour aussi vingt-deux secondes. Le changement de direction de ces courants s'était effectué en

quatre secondes (*). Ceux-ci avaient chacun une durée si régulière, que lorsque je me tenais hors de leur portée et même leur tournais le dos, j'étais à même d'annoncer avec précision, chaque changement dans leur direction. Une seule fois, la flamme de ma bougie accomplit son évolution en demi-cercle, dans un plan horizontal (**).

» Pour me donner une idée de la température que pouvaient produire ces courants d'air, je plaçai un thermomètre dans la ligne de leur direction et un autre dans une partie abritée de la glacière. J'ai pu ainsi observer que, comparée avec la température ordinaire des glacières, la température était étonnamment haute dans la ligne de ces courants. Les vents extérieurs ne peuvent, je crois, avoir de l'influence sur l'alternance curieuse de ces courants d'air ; car le puits principal en est si bien protégé par sa forme et par les grands sapins qui se trouvent autour, qu'une tempête pourrait fort bien sévir à l'extérieur sans produire un effet perceptible au fond.

» Après avoir passé l'entrée en forme de voûte peu élevée, qui conduit directement dans la glacière, je me trouvai sur un plancher de glace offrant une pente douce sur le côté droit. La surface de cette glace était détrempée et mouillée, surtout dans la ligne des courants d'air que l'on sentait maintenant très-bien alterner entre les puits A et C. Je ne pus pas bien juger de l'épaisseur probable de ce plancher de glace. Je me bornerai seulement à dire que je réussis à jeter à une assez grande profondeur, une pierre dans une crevasse qui existait entre les parois de la glacière et le sol. Le rocher qui forme la voûte de cette glacière, a l'air d'être

(*) M. Ed. de Pury, le propriétaire de la glacière de Monlézi, curieux de vérifier ces données de M. Browne, a répété la même expérience et est arrivé à des résultats complètement identiques.

(**) La glacière de Monlézi appartient donc ainsi à la catégorie des *glacières dynamiques* de M. Thury, où des courants d'air habituels jouent un certain rôle. Dans les *glacières statiques*, en revanche, l'air demeure immobile en été.

presque aussi uni que le sol. Depuis la hauteur de l'endroit où je me trouvais, c'est-à-dire quatre à cinq pieds, cette voûte s'approchait graduellement du sol du côté du fond du puits B, jusqu'à une hauteur de un pied environ ; tandis qu'elle s'élevait légèrement dans la partie de la glacière où le sol est en pente.

» Lorsque ma vue se fut accoutumée à l'obscurité qui régnait ici, j'aperçus à l'autre extrémité de la glacière, une faible lumière qui brillait apparemment au niveau du sol. Je trouvai plus tard qu'elle venait du fond du plus grand des deux puits que j'avais observés précédemment, du puits A. Au fond de chacun de ces puits, se trouvaient des amas considérables de neige. L'entrée en forme de voûte du fond du puits A, depuis la glacière, avait une hauteur de trois à quatre pieds, tandis que celle du puits B n'était que de un pied.

» Le cercle D représente une colonne de glace qui descend depuis la voûte de la glacière jusque sur le sol. A son pied, se trouve une petite excavation dans la glace. J'y pénétrai jusqu'à une profondeur de six pieds.

» Au point E est une magnifique collection de colonnes bosselées et dures comme de la porcelaine. Elles sont disposées en demi-cercle sur une longueur de vingt-trois pieds. Sur le côté opposé à ces colonnes, le plancher de glace est fortement en pente. Ce n'est qu'en m'aidant de petites colonnes stalagmitiques qui se rencontraient ici, que je pus descendre dans un vrai dédale de pyramides et de cannelures de glace. Je parvins ainsi à une petite cave qui pénétrait quelque peu sous le solide plancher de glace.

» G indique la place d'une stalagmite isolée, formée sous une fissure de la voûte. Enfin F représente quelques colonnes descendant depuis la voûte, le long de fissures des parois de la glacière.

» Mais une des curiosités les plus particulières de cette dernière, sont les trois dômes de glace H, qui se rencontrent sur la voûte. Ceux-ci se trouvent dans des endroits où

la voûte n'est qu'à quatre pieds du sol. Chez l'un, les parois étaient décorées des formes de glace les plus charmantes. Deux cascades solides de glace se trouvaient assez haut au-dessus de ma tête. Les autres dômes ne pénétraient pas aussi profondément dans la voûte et offraient une forme très régulière. Les détails de leur décoration de glace étaient magnifiques et l'effet produit par leur situation était très curieux. La glace qui recouvrait les parois de ces dômes était quelquefois tellement transparente, qu'à travers une couche de quatre à six pieds d'épaisseur, je pouvais même reconnaître de quelle nature était le rocher (').

Annotation. — « J'ai essayé de donner dans les quelques lignes suivantes, une explication plausible des courants d'air alternants que j'ai décrits plus haut. Je suppose d'abord que, durant les nuits, il y a un équilibre atmosphérique dans la glacière elle-même, ainsi que dans les trois puits A, B, C. Lorsque la chaleur du soleil se fait sentir, ceux-ci en sont naturellement différemment affectés ; C étant relativement plus ouvert aux rayons du soleil, tandis que A est plus petit et B se trouve entièrement protégé contre la radiation. Cela amène donc tout naturellement des troubles atmosphériques.

« L'air du puits C devient plus chaud et moins lourd que celui de A et B. Il s'ensuit que la colonne d'air en C ne peut contrebalancer plus longtemps les colonnes en A et en B. Celles-ci commencent ainsi à descendre et donnent naissance à un courant d'air dont la direction sera de la glacière dans le puits C. Provenant de l'élasticité de l'atmosphère, même à une basse température, cette précipitation de l'air en C étant trop considérable, il s'ensuivra nécessairement un courant contraire revenant du puits C à la glacière. »

De l'origine de la glace souterraine. — Gollut (1592), Billerez (1712), des Boz (1726), Prévost (1769) et Cadet (1791) ont émis au sujet de la glacière de la Grâce-Dieu, diverses

(') *Comp. la description détaillée du Messager boiteux.*

hypothèses sur la formation de la glace souterraine. En 1822, A. Pictet (1) adopte la théorie de de Saussure sur les *caves froides* (2).

En effet, il est connu que dans certaines localités, des courants d'air froid soufflent des interstices des rochers, comme par exemple sur l'île d'Ischia ; au Monte Testaceo, près de Rome ; à Caprino, près de Lugano ; dans les environs de Chiavenna ; dans le Schächenthal (Uri) ; à Seelisberg et Emmeten, sur le lac de Lucerne ; Blummatt, près de Stanz ; Hergiswyl, au pied du Pilate, etc. Plus les jours sont chauds, plus ces courants sont puissants. En hiver, leur direction change et ils soufflent de l'extérieur dans les interstices des rochers.

« Je ne doute pas que la théorie de de Saussure, telle que Pictet l'a développée, ne soit satisfaisante pour expliquer le phénomène des caves froides, mais elle ne me paraît pas bien rendre compte de l'existence de la glace souterraine.

» Pictet se représente une glacière avec des courants d'air froid, comme uné mine avec un puits vertical qui se termine par une galerie horizontale, dont une extrémité est en communication avec l'air extérieur, à un niveau inférieur à celui de l'extrémité supérieure du puits. La glacière correspond à la galerie horizontale et les diverses fissures qui la font communiquer directement avec l'extérieur, sont représentées par le puits.

» En été, les colonnes d'air qui sont contenues dans ces fissures, ont à peu près la température des rochers dans lesquels elles se trouvent, c'est-à-dire la température moyenne des localités. C'est ainsi qu'elles sont plus lourdes que les colonnes d'air extérieur correspondantes ; car, en été, l'atmosphère extérieure est bien au-dessus de la température moyenne du sol ou de l'intérieur de la terre à des profondeurs modérées. Il s'ensuit que l'air frais et lourd descend des fissures dans la glacière, sous la forme de courants

(1) Sur les glacières natur., *Biblioth. univers.*, 1^{re} série, XX.

(2) Des glacières natur., *Ann. de chimie et de physique*.

froids. Plus les jours sont chauds, c'est-à-dire, plus les colonnes d'air extérieur sont légères, plus ces courants froids se font sentir.

» En hiver, les colonnes d'air extérieur sont d'autant plus lourdes que celles des fissures, qu'elles sont plus légères en été. C'est ainsi que des courants d'air froid soufflent depuis la glacière dans les fissures, bien qu'ils ne soient pas plus froids que l'air extérieur. Ainsi donc, la température moyenne de la glacière sera plus basse que celle des rochers dans lesquels elle se trouve ; car la température des courants varie depuis la température moyenne des rochers jusqu'à la température d'hiver de l'atmosphère extérieure.

» En été, les colonnes d'air plus chaud descendant, doivent élever la température des fissures au-dessus de celle qu'elles posséderaient autrement, c'est-à-dire, au-dessus de la température moyenne des localités. Mais ce fait peut être considéré comme étant contrebalancé par l'abaissement correspondant de la température des fissures, ensuite de l'introduction, en hiver, de l'air froid depuis la glacière.

» Ces faits que je viens d'énoncer, ainsi que celui de la nature poreuse des rochers dans lesquels se rencontrent la plupart de nos glacières et qui permet à une quantité considérable d'humidité de se rassembler sur toutes les surfaces et d'amener ainsi, par évaporation, une dépression de la température, ces faits, dis-je, peuvent expliquer la présence dans les glacières, d'une quantité d'air froid plus considérable qu'on pourrait d'ailleurs le supposer.

» Pictet s'est beaucoup préoccupé de cette idée du froid produit par l'évaporation ; car il croyait qu'en vertu des rapides courants d'air, il pouvait se produire de la glace durant les mois d'été. Mais il faut remarquer, au contraire, qu'à cette époque les glacières sont plus ou moins dans un état de dégel.

» On ne visitera pas un certain nombre de cavernes situées dans un pays calcaire, sans observer que les surfaces sur

lesquelles les courants d'air sont contraints de passer, présentent une forte quantité d'humidité pour les refroidir. On peut donc prétendre que le grand nombre de surfaces évaporantes sont pour ainsi dire la cause principale de la basse température des glaciers. »

Quelque temps plus tard, mais toujours dans la même année, en 1822, J. Deluc combattit la théorie des courants froids de Pictet.

« L'air chaud et plus léger des étés ne pouvant pas, d'après les principes ordinaires de la gravitation, déloger l'air froid et lourd des hivers, qui descend dans les glaciers, la chaleur s'y répand ainsi très lentement. Et même, lorsqu'une certaine quantité de chaleur a atteint la glace, celle-ci fond lentement; car elle absorbe en fondant 60 degrés C. de chaleur. C'est ainsi que, lorsque la glace est une fois formée, elle devient comme une espèce de garantie pour la permanence de l'air froid dans les glaciers.

» Mais pour que cette explication soit valable, il est nécessaire que le niveau auquel se trouve la glace, soit au-dessous de celui de l'entrée des glaciers; car sans cela, le seul poids de l'air froid serait une cause de la fonte de la glace avec les chaleurs du printemps. Il est nécessaire aussi que les glaciers soient abrités de la radiation. Cette condition est remplie par la nature chez toutes celles que j'ai visitées, à l'exception de celle de St-Georges; mais ici l'homme a remplacé cet abri naturel par de puissantes poutres en bois qui ferment l'entrée. Un fait également indispensable à l'existence des glaciers, c'est que les vents ne puissent pas y avoir accès; car ils introduiraient infailliblement de l'air chaud. Celles de Monlézi et de St-Livrés (inférieure) en sont complètement protégées.

» On ne peut douter que les larges surfaces qui sont nécessaires à l'évaporation ne maintiennent une température inférieure à celle des localités où se rencontrent les glaciers.

» Un autre avantage que possèdent quelques glaciers est celui de la présence d'amas de neige au fond de leurs puits

d'entrée. Cette neige absorbe, en fondant, toute la chaleur qui descend dans l'intérieur des glaciers par la radiation. Il est digne de remarque que les deux glaciers qui possèdent la plus grande épaisseur de glace, sont précisément celles qui renferment les plus grands amas de neige. La glace de la glacier de Monlézi, par exemple, a toutes les apparences d'être très épaisse.

» En général, je crois que la vraie explication des phénomènes curieux présentés par les glaciers, doit être cherchée dans la théorie de Deluc, telle que je viens de la développer ⁽¹⁾.

» Pour ce qui concerne les glaciers situés dans les terrains volcaniques, G. Poulett Scrope en a donné aussi une qui paraît être la seule satisfaisante. »

L'auteur de l'article du *Messenger boiteux* donne l'originale explication suivante, de l'existence de la glace souterraine dans la glacier de Monlézi. « Il y a dans cette glacier, du haut en bas et du bas en haut, une continue circulation d'air au travers de la voûte. Elle est entr'ouverte non-seulement à l'endroit par lequel on entre dans la grotte, mais encore dans plusieurs autres moins évasés ; elle est traversée par un certain nombre de cheminées qui, de la voûte, remontent à la superficie du sol qui la recouvre. Ce sol est lui-même plus bas que celui des lieux voisins ; d'où il arrive que l'eau s'y rassemble de divers côtés et filtre lentement par ces ouvertures, pour passer ensuite dans une espèce de gouffre placé sur la droite, où on l'entend tomber. De là, une évaporation constante, qui rafraîchit les eaux et la glace, dès que la température s'abaissant, se rapproche du degré de congélation, l'atteint et le dépasse. La glace, une fois formée, se maintient tant à cause de la

(1) D'après Studer (*Physikal Geograph. u. Geol.*, II, 1847, p. 328), les causes de l'existence de la glace souterraine sont dues à l'air froid des hivers, qui, descendant dans les glaciers et ne pouvant plus, une fois dedans, en sortir, à cause du manque total de courants d'air, sert ainsi à conserver la glace qui s'y forme à ces époques.

profondeur de la grotte qui est à plus de 60 pieds sous terre et de la continuelle circulation de l'air, que parce que les abords et les lieux environnants sont ombragés par d'épais sapins qui amortissent l'ardeur du soleil. »

En 1861, M. le professeur Thury, de Genève, a aussi donné une explication de la glace souterraine, qui me paraît plus plausible et surtout plus simple que les précédentes. C'est au fond la même que celle de Deluc; mais elle a, en revanche, la grande supériorité d'être plus explicite. C'est la seule théorie à laquelle je puisse adhérer pleinement.

« Pendant l'hiver, quand la température extérieure est très basse, l'air froid, plus lourd, tombe par les ouvertures, déplace l'air moins refroidi, vient congeler l'eau de la grotte et refroidir la glace et les parois du rocher.

» Dans la saison chaude, l'air de la caverne étant plus froid et par conséquent plus lourd que l'air extérieur, il ne peut être déplacé. Il demeure immobile et dans cet état ne transmet la chaleur que très difficilement par conductibilité.

» Pendant l'été, le rayonnement des voûtes et la chaleur propre du sol ne fondent qu'une petite quantité de glace, parce que celle-ci absorbe beaucoup de chaleur pour passer à l'état liquide.

» Les branches de quelques arbres s'étendant au-dessus des ouvertures qu'elles ombragent, l'exposition au nord, la végétation qui recouvre le sol, l'évaporation qui a lieu incessamment à sa surface jonchée de débris organiques, atténuent le plus possible les effets de la chaleur solaire et maintiennent la fraîcheur au-dessus des voûtes. »

Enfin, tout récemment, en 1875, Ch. Grenier, le célèbre botaniste français, a émis quelques considérations au sujet de l'existence de la glace souterraine dans la glacière de la Grâce-Dieu (Doubs). (1)

« Tout le monde sait que l'air est d'autant plus lourd qu'il est plus froid. Ainsi, lorsqu'un vent froid vient se heurter

(1) *Mém. Soc. émulat. du Doubs*, 1875, 4^e série, IX, p. 382.

contre l'hémicycle de la caverne remplie d'un air plus chaud, il s'établit immédiatement un double courant. L'air froid tendant à tomber, glisse le long de la paroi inférieure et chasse l'air chaud qui occupait le fond de la caverne, en établissant le long de la paroi supérieure un contre-courant ascendant. L'air froid prend donc possession des bas-fonds de cette vaste cavité pour ne plus les quitter, à moins qu'un courant plus froid encore ne vienne le chasser. Or, dans cette région très découverte, il est rare que pendant l'hiver le thermomètre ne descende pas à 12, 15 et même 20 degrés au-dessous de zéro. Telle est donc la température qui finit par s'établir au fond de la grotte et qui pourrait à la rigueur y persister indéfiniment, sans les causes d'échauffement que je vais signaler.

» En effet, ce ne sont pas les tièdes haleines du printemps qui peuvent donner ce résultat, car en échauffant l'air extérieur, elles le rendent plus léger et dès lors de plus en plus impuissant à déplacer l'air froid et plus lourd situé au-dessous de lui. C'est dans le phénomène de la congélation qu'il faut chercher la principale source de chaleur qui réchauffe insensiblement le fond de la caverne et la ramène, dès le commencement de l'été, à la température de la glace fondante. Chaque goutte d'eau qui se congèle, dégage, en se solidifiant, une certaine quantité de chaleur préalablement latente, qui, multipliée par le nombre illimité des gouttes, finit par ramener à zéro la température ambiante et la laisse presque invariable tant que dure la fusion de la glace. Ajoutez à cela l'action de la chaleur normale du sol, le faible rayonnement de l'ouverture de la grotte et vous comprendrez comment l'air, d'abord froid, a pu, sans déplacement, revenir à une température plus élevée. »

M. *Hirsch* remet de la part de M. Wolf le n° XLI de ses « *Astronomische Mittheilungen* », et relève, parmi

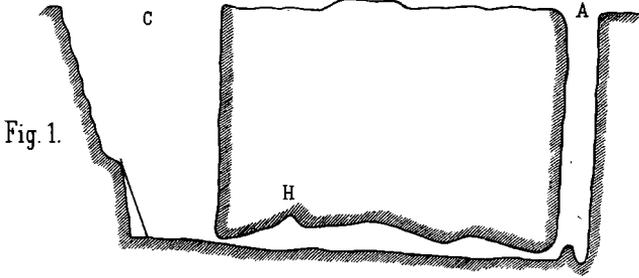


Fig. 1.

Plan vertical.

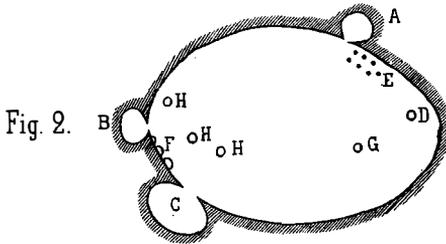


Fig. 2.

Plan horizontal, d'après M. Browne.

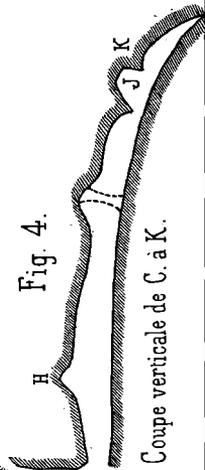


Fig. 4.

Coupe verticale de C. à K.

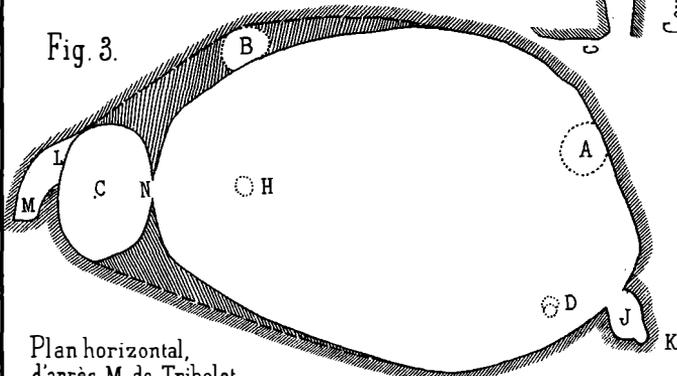


Fig. 3.

Plan horizontal,
d'après M. de Tribolet.