

Les marmites du barrage de la Maigrauge

Autor(en): **Brunhes, Jean**

Objektyp: **Article**

Zeitschrift: **Bulletin de la Société Fribourgeoise des Sciences Naturelles =
Bulletin der Naturforschenden Gesellschaft Freiburg**

Band (Jahr): **7 (1893-1897)**

Heft 3-4

PDF erstellt am: **17.08.2024**

Persistenter Link: <https://doi.org/10.5169/seals-306959>

Nutzungsbedingungen

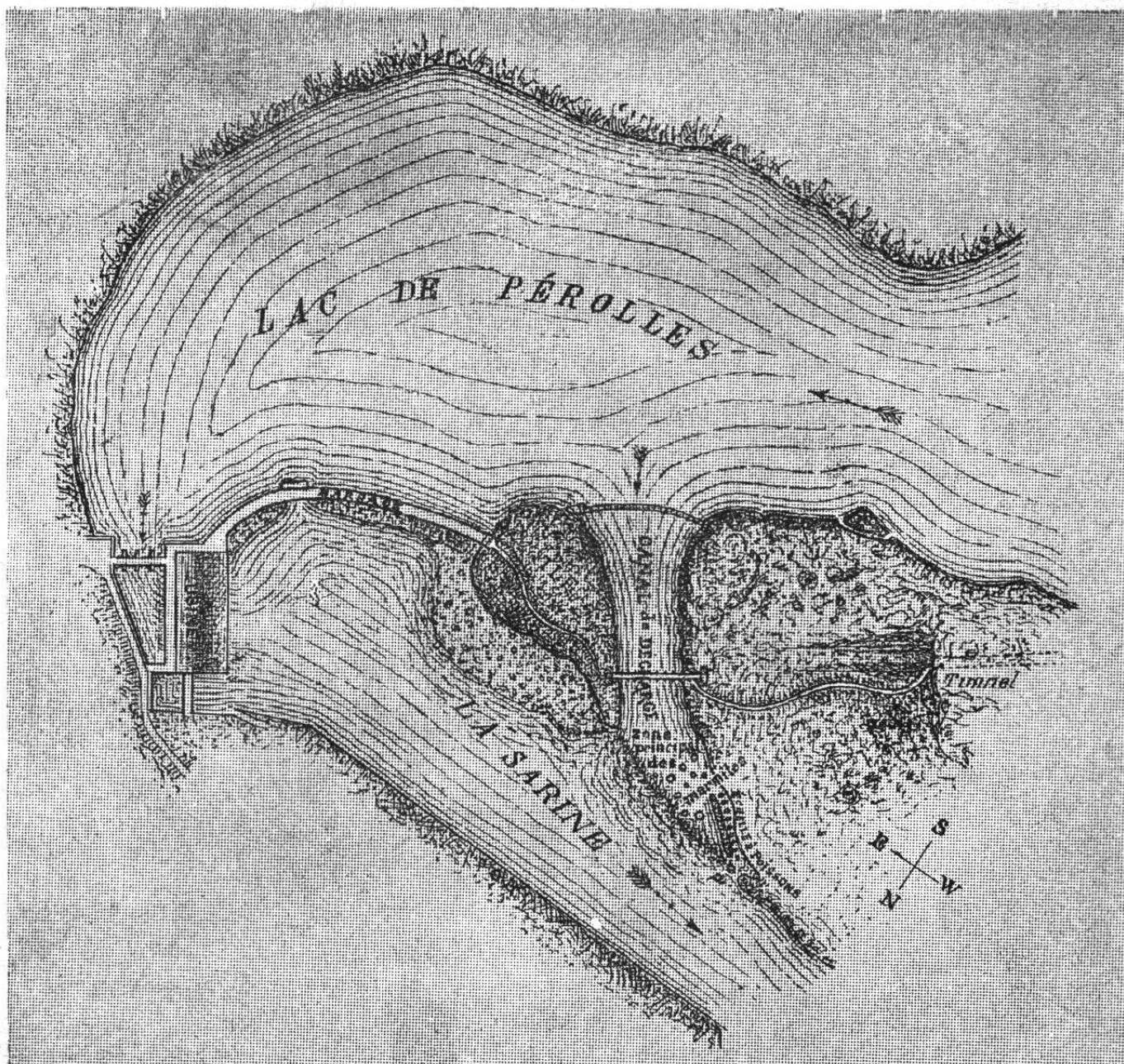
Die ETH-Bibliothek ist Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Inhalten der Zeitschriften. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern.

Die auf der Plattform e-periodica veröffentlichten Dokumente stehen für nicht-kommerzielle Zwecke in Lehre und Forschung sowie für die private Nutzung frei zur Verfügung. Einzelne Dateien oder Ausdrucke aus diesem Angebot können zusammen mit diesen Nutzungsbedingungen und den korrekten Herkunftsbezeichnungen weitergegeben werden.

Das Veröffentlichen von Bildern in Print- und Online-Publikationen ist nur mit vorheriger Genehmigung der Rechteinhaber erlaubt. Die systematische Speicherung von Teilen des elektronischen Angebots auf anderen Servern bedarf ebenfalls des schriftlichen Einverständnisses der Rechteinhaber.

Haftungsausschluss

Alle Angaben erfolgen ohne Gewähr für Vollständigkeit oder Richtigkeit. Es wird keine Haftung übernommen für Schäden durch die Verwendung von Informationen aus diesem Online-Angebot oder durch das Fehlen von Informationen. Dies gilt auch für Inhalte Dritter, die über dieses Angebot zugänglich sind.



Barrage de la Sarine et canal de décharge.

Echelle 1:4000

LES MARMITES DU BARRAGE

de la Maigrauge

(avec un plan et six reproductions stéréoscopiques).

PAR

JEAN BRUNHES

Professeur de géographie à l'Université de Fribourg (Suisse)

Un peu en amont de Fribourg (Suisse), au sommet d'un des nombreux méandres de la Sarine, en un point où l'éboulement de la partie supérieure de la falaise mollassique avait rétréci le lit, raccourci le cours et accru par suite la déclivité, on a profité de ces circonstances pour construire un barrage et créer une chute d'eau dont la force est aujourd'hui exploitée par une usine électrique ¹⁾ : c'est le barrage dit de la Maigrauge, dont la construction a été commencée en 1870 et terminée en 1872. On a creusé à la même époque, à travers le promontoire de mollasse qui formait la rive convexe du méandre, un *canal de décharge*, long de plus de 100 m., très légèrement incliné, et qui se termine par une chute de 9 m. Ce canal, séparé du réservoir d'amont, dit Lac de Pérolles, par une chaussée de 0^m,80 de hauteur, est relativement étroit par rapport à la surface du réservoir ; les eaux y atteignent souvent la hauteur de 1 m., et même deux mois et demi ou trois mois par an le niveau

¹⁾ Voir le plan du Barrage de la Maigrauge à 1:4000.

dépasse 1^m,80 ; lors de la crue exceptionnelle du 3 octobre 1888, les eaux s'y sont élevées au-dessus de 4 m.

Il faut remarquer enfin que le canal dont l'ouverture est de 55 m. va se rétrécissant et a seulement 28 m. dans sa partie centrale ; on comprend aisément que dans la masse d'eau qui s'écoule par le déversoir il se produise de très nombreux tourbillons ; le canal de décharge est une sorte de « rapide »,

Ces tourbillons déterminent des « marmites », La mollasse du fond est homogène et tendre ; elle est admirablement faite pour subir toutes les actions d'érosion ou de corrosion, c'est-à-dire d'usure directe et propre par l'eau, ou d'usure par l'eau au moyen du sable et des galets comme instruments ¹⁾. Etant très plastique, elle manifeste jusqu'aux détails des formes dont ces actions laissent les empreintes.

Au mois de novembre 1897, une sécheresse exceptionnelle a mis à découvert le fond du canal durant une semaine ; et j'ai pu en étudier de près les moindres particularités ²⁾. Une considération donnait un intérêt spécial à mes observations : c'est que la surface de ce lit artificiel avait été établie en 1872 avec la régularité approximative d'un canal dont la pente très douce était à peine sensible, et que par conséquent tous les phéno-

¹⁾ Je renvoie pour la définition de ces termes et l'exposition des faits typiques auxquels ils s'appliquent à A. PENCK, *Morphologie der Erdoberfläche*, I, p. 311 et suiv. (Stuttgart, 1894).

²⁾ Je tiens à remercier ici Monsieur le conseiller d'Etat Cardinaux, Directeur des Travaux publics, et Monsieur l'Ingénieur cantonal Gremaud, des facilités qu'ils m'ont données pour faire mes observations et des renseignements qu'ils m'ont fournis ; je remercie aussi Monsieur Oberson, de l'administration des Eaux et Forêts, qui m'a accompagné dans le canal de décharge durant plusieurs jours et m'a rendu de grands services.

mènes ci-dessous mentionnés, dans l'état où ils nous apparaissent aujourd'hui, ont exigé pour leur formation le maximum d'un quart de siècle ¹⁾).

Les marmites les plus considérables et les plus nombreuses se rencontrent naturellement dans la partie d'aval, au-delà du resserrement du canal. Nous avons vidé, mesuré et photographié toutes celles qui nous ont paru représenter des types divers ou constituer des cas anormaux.

En général, à la Maigrauge comme partout ailleurs, les parois des marmites ne sont pas verticales; le bord supérieur de la cavité surplombe d'ordinaire de quelques centimètres au-dessus des parois. Nous en avons rencontré à Fribourg un exemple tout à fait démonstratif (planche I) : deux marmites, en s'approfondissant, se sont rejointes, et le vestige de l'ancienne cloison ne subsiste qu'à la partie supérieure sous la forme d'une langue de mollasse de 0^m,15 de longueur; rien ne met mieux en évidence le fait suivant : si l'eau est la cause active de ces formations, elle n'est pas à elle-même son

¹⁾ J'ai déjà indiqué les résultats principaux de mes observations dans une *Note* que M. de Lapparent a bien voulu présenter et résumer à l'Académie des sciences de Paris. (VOIR JEAN BRUNHES, *Sur quelques phénomènes d'érosion et de corrosion fluviales*, dans *Comptes rendus des séances de l'Académie des sciences*, 14 février 1898). Dans cette *Note*, il s'agissait de deux sortes de phénomènes : écaïlles et marmites; nous publions ici tout ce qui concerne les marmites. M. de Lapparent a encore exposé et commenté nos conclusions sur les marmites de la Maigrauge. (VOIR A. DE LAPPARENT, *Marmites torrentielles*, *La Nature*, 4 juin 1898, p. 3-6, avec reproductions d'après quatre de mes clichés.). On trouvera encore deux de ces clichés reproduits dans le récent traité de géographie physique du géologue et paléontologiste italien, le prof. S. Squinabol (*Cenni di geografia fisica e di geologia*, Livorno, 1900, fig. 94 et 95, p. 93 et 94).

propre instrument d'érosion ; elle corrode à l'aide de la mitraille de galets qu'elle a transportée elle-même dans ces marmites, et son action qui est si forte sur toutes les parties avec lesquelles les matériaux sont en contact est très lente et insignifiante sur les bords supérieurs, témoin cette langue si curieuse, qui est restée intacte sous l'action de l'eau tout le temps qu'a duré l'approfondissement des deux marmites, et qui était pourtant si fragile qu'au moment où je l'ai touchée avec précaution pour l'examiner, elle s'est brisée dans ma main ; pour la photographier, nous avons dû en faire maintenir l'extrémité par un ouvrier.

Les fonds des marmites affectent les deux formes principales, déjà reconnues et décrites par G. K. Gilbert ¹⁾. Le fond des unes est tout simplement concave ; les autres se terminent par une saillie de forme conique, entourée par une dépression annulaire ; dans ce dernier cas, les diffé-

¹⁾ G. K. Gilbert, *Report on the geology of portions of Nevada, Utah, California, and Arizona*, dans Engineer Department, United States Army, *Report upon geographical and geological Explorations and Surveys west of the one hundredth meridian in charge of First Lieut. Geo. M. Wheeler* (appelé communément *Wheeler's Report*), vol. III, Geology (Washington, 1873), p. 73, 74, avec un diagramme représentant les deux *Typical forms of pot-holes in the granite of the Grand Canon*. — Les marmites, dit en substance G. K. Gilbert, sont innombrables dans le lit même du cours d'eau ; de plus, sur les parois verticales de la vallée, on en trouve qui ont été comme coupées en deux par les progrès de la démolition progressive de ces parois ; et l'on peut ainsi en observer la structure intérieure. C'est là que Gilbert remarque les deux types, qu'il décrit ainsi : « la forme la plus simple est celle de l'éprouvette du chimiste (*chemists'test-tube*), cylindre légèrement évasé à la partie supérieure et se terminant à la base par une coupe hémisphérique (*hemispherical cup*) ; dans l'autre forme, une bosse ou un bouton rond (*round boss or knob*) s'élève au centre de la coupe de base » (p. 73).

rents points qui marquent le fond de la dépression ne sont jamais sur un même plan horizontal ; la courbe est spiraliforme.

Or, au lieu de considérer ces deux types, comme distincts, il me semble résulter des faits constatés à la Maigrauge que c'est un seul et même phénomène à deux moments de sa formation ¹⁾).

Type A. — Lorsqu'une marmite se termine par un petit cône central plus ou moins surbaissé et entouré d'une dépression (voir planches II et III), elle doit être regardée comme inachevée ; le tourbillon s'est arrêté en plein travail, interrompu qu'il a été, soit par une baisse rapide des eaux, soit par une invasion trop brusque de galets ou de sables qui l'a étouffé en plein développement. Tant qu'une marmite est en formation, on doit reconnaître *sur le fond* les effets des spirales du tourbillon (ces effets se traduisent par la saillie centrale conique), pourvu que le diamètre du tourbillon soit assez grand pour que les différences de pression et de corrosion sur le fond puissent se manifester. En général, les marmites doivent commencer sous l'influence de mouvements giratoires qui exercent leur première action en formant des trous de très petit format, et les caractères différentiels de la marmite en formation ne s'aperçoivent pas dès le début ; toutefois j'ai noté et photographié un curieux exemple dans le canal de la Maigrauge.

Les eaux de la Sarine avaient monté quelque peu de

¹⁾ Les observations que j'ai faites depuis lors, en mars 1899, sur des îlots granitiques de la 1^{re} cataracte du Nil, m'ont paru confirmer complètement la manière de voir que j'expose ici. Voir *Sur les marmites des îlots granitiques de la cataracte d'Assouan (Haute-Egypte)*, (*Comptes rendus de l'Académie des sciences*, 7 aout 1899).

décembre 1897 au commencement de janvier 1898 ; puis elles avaient baissé de nouveau. Bref, les 17 et 18 janvier, j'ai pu comparer l'état du fond en janvier à l'état du fond en novembre. Etant donné que les eaux n'avaient jamais atteint plus d'un mètre dans le canal de décharge, presque rien n'était changé, cela va sans dire. J'ai reconnu pourtant l'ébauche récente d'une toute petite marmite qui n'existait pas un mois et demi plus tôt. La photographie que j'en ai prise et qui représente le phénomène tel que je l'ai aperçu sous l'eau et dans son état d'intégrité parfaite, permet de constater, dans une *marmite naissante*, un faible renflement central de forme très nettement conique ainsi qu'une dépression spiraliforme : la marmite a pu se former, malgré la faiblesse des tourbillons produits en décembre, en vertu d'abord de la facilité d'attaque qu'offre la mollasse et, en second lieu, parce que le galet et les petits cailloux dont s'est servi le tourbillon générateur formaient un instrument réduit, très aisément maniable ¹).

Si ce fond à saillie conique reste le témoignage indiscutable du caractère tourbillonnaire de la force vive qui creuse, il est manifeste que sur les parois aussi ce caractère devra se traduire par des pas de spirale demeurant en saillie ou tracés en sillons. Ces pas de spirale d'ailleurs qui seront en principe plus fréquents et plus visibles dans les marmites en formation pourront souvent échapper à l'oblitération progressive que produit sur le fond et sur les parties basses des parois la longue continuité et la permanence d'un tourbillon dans un

¹) Dimensions de cette toute jeune marmite, photographiée le 17 janvier 1898 : deux diamètres en croix = 0^m,155 et 0^m,112. Profondeur = 0^m,063 ; hauteur du renflement central au-dessus de la dépression annulaire = 0^m,021.

même creux ; de fait, nous constatons de telles formes non seulement sur les parois des marmites du type que nous venons d'étudier, mais encore sur les parois des marmites du type B.

Type B. — Lorsqu'une marmite se termine par un fond concave, c'est qu'elle est achevée ou près de l'être. Une marmite s'achève parce que, le tourbillon demeurant constant, le rayon de giration se réduit de plus en plus à mesure que le tourbillon travaille plus profondément, et parce qu'il arrive un moment, ou, si l'on préfère, un niveau, où la force centrifuge à l'extrémité inférieure du tourbillon = 0 ¹⁾. Ce moment d'ailleurs est souvent hâté par l'accumulation progressive des matériaux dans la marmite, qui meurt ainsi de pléthore et qui ne peut rentrer dans la période d'activité que sous l'action d'un tourbillon nouveau, plus fort et plus vigoureux.

Un autre cas peut même se présenter : Si par une cause quelconque, la masse des matériaux qui est au fond d'une marmite est diminuée, le tourbillon peut reprendre son œuvre, sans avoir besoin d'être plus énergique. Dans mes observations postérieures et complémentaires des 18 et 19 janvier, j'ai retrouvé, transformée, une petite marmite que j'avais partiellement vidée en novembre ; cette marmite était en novembre parfaite de forme (deux diamètres en croix à l'ouverture = 0^m,09 ; profondeur = 0^m,09) ; j'y avais laissé à dessein un petit

¹⁾ M. H. Vallot a étudié la forme du solide qui correspond aux cavités de marmites de ce type ; il conclut que ce solide est du genre ellipsoïde ; nous renvoyons à son curieux travail : *Forme géométrique des Marmites de géants*, dans J. et H. VALLOT, *Les Marmites de géants, Formation et forme géométrique, Etudes Pyrénéennes, Cinquième Etude*. Paris, Jacques Lechevalier, 1891, in-8°.

galet et un seul ; quoique les eaux n'aient pas été bien hautes en décembre, il est indiscutable que l'activité a repris ; il s'est créé dans la cavité première une petite poche supplémentaire de 0^m,03 inclinée dans le sens du courant.

Ce recommencement d'activité n'est d'ailleurs pas un cas exceptionnel ; il se produit très souvent, et j'en ai photographié deux exemples caractéristiques, un exemple du type A à fond spiraliforme, arrêté deux fois en cours d'approfondissement, et un exemple du type à fond concave (voir planche IV). Ce deuxième exemple mérite une particulière attention ; le premier moment de l'approfondissement avait donné une marmite qui s'était arrêtée au point où le mouvement giratoire était contrarié par la présence d'un galet mollassique (dont on voit l'empreinte sur la planche), et le deuxième étage a été créé par un second tourbillon, nettement distinct du premier, de rayon beaucoup plus court, et qui ne s'est pas donné la peine d'établir une transition entre l'œuvre de son prédécesseur et la sienne propre.

Ainsi, dans bien des cas, la marmite-adulte paraît s'être formée non pas doucement et en une seule fois, mais par intermittences et en plusieurs fois ; ces intermittences d'activité correspondent aux périodes de plus grande activité des tourbillons ; et sans doute le travail de creusement s'exécute avec encore plus de rapidité et exige encore moins de temps qu'on ne le pourrait d'abord supposer. Quoiqu'il en soit, les remaniements et les transformations des premières cavités formées sont très fréquentes ; de grandes cavités ne sont que l'assemblage manifeste de cavités diverses ; mais plus longtemps durent ces phénomènes, moins on a de chances de reconnaître les traces des diverses formes, des diverses étapes et des divers moments.

Quelque grande que soit l'activité des tourbillons, il y a une limite d'action qu'ils ne dépassent pas, de même que l'action érosive des cours d'eau sur le fond a comme limite le profil d'équilibre.

Cette forme-limite, résultat soit d'une activité longue et continue, soit d'actions intermittentes mais répétées, finit par perdre le caractère de la forme originelle ; elle aboutit à une forme approximativement cylindrique comme un sac ou vaguement sphérique comme un pot, et le fond est d'une concavité qui se rapproche plus ou moins de l'horizontalité ; bref, les vestiges spiraliformes, preuves authentiques de la formation, s'oblitérent de plus en plus, d'abord sur le fond et ensuite aussi sur les parois. C'est pourquoi dans les régions où ces phénomènes sont de très ancienne date et spécialement dans les régions où ces phénomènes sont d'origine glaciaire, par suite de la permanence des tourbillons aux mêmes points et de la longue continuité de leur action, la forme oblitérée et vieillie est la forme prédominante.

On connaît le *Gletschergarten* de Lucerne, dont les marmites ont été déblayées à l'instigation et sous la direction du savant géologue, le prof. A. Heim ¹⁾. On sait aussi avec quel soin le prof. J. Partsch a étudié les marmites du Riesengebirge ²⁾. Au col de la Maloja, le prof. Steffens a découvert de magnifiques marmites que M. Walther a fait déblayer avec beaucoup de zèle, et que je suis allé étudier très soigneusement moi-même

¹⁾ A. HEIM, *Handbuch der Gletscherkunde* (Stuttgart, Engelhorn, 1885), in-8°, p. 544, 545.

²⁾ J. PARTSCH, *Die Vergletscherung des Riesengebirges zur Eiszeit* (Forschungen zur deutschen Landes- und Volkskunde, VIII, Heft 2). Stuttgart, Engelhorn, 1894, in-8° ; voir notamment p. 163-165.

au mois de juillet 1898 ¹⁾). Dans ces trois cas, nous nous trouvons en présence de marmites glaciaires, de *Gletschermühlen*; et que la roche soit de la mollasse comme à Lucerne, du granite comme dans le Riesengebirge, ou des schistes comme à la Maloja, nous constatons que les marmites sont toutes presque exclusivement du type B à fond concave, et que quelques-unes d'entre elles ont abouti, par suite des conditions de permanence des tourbillons sous-glaciaires, à des cavités de dimensions vraiment prodigieuses ²⁾): le plus grand des « Moulins de

¹⁾ A défaut d'étude plus complète, on peut lire CH. TARNÜZZER, *Die Gletschermühlen auf Maloja*, Chur, Casanova, 1896, in-8°, 29 p. (Extrait du XXXIX *Jahresbericht der Naturforschenden Gesellschaft Graubünden's.*). — On trouvera deux planches de reproduction stéréoscopique *phototypique* de deux des Gletschermühlen de la Maloja dans : Jean Brunhes, *Un nouveau procédé de reproduction appliqué à l'étude et à la représentation des faits géographiques : Phototypie stéréoscopique (Etudes géographiques, fascicule I; publication de l'Institut géographique de l'Université de Fribourg, à paraître en janvier 1900).*

²⁾ Ces faits sont également d'accord avec ceux que G. K. Gilbert, dans le *Report*, plus haut cité (voir p. 172), rapprochait des marmites du Colorado, *sans expliquer d'ailleurs la différence entre les deux cas considérés*; il disait dans une note de la p. 74 : « C'est un fait digne de remarque que toutes les grandes marmites anciennes, qui sont situées près de Cohoes Falls, New-York, soient toutes, autant qu'on a pu les examiner, sphériques dans leur partie inférieure. Elles sont groupées sur une surface *moutonnée*, et sont rapportées par le prof. L. Agassiz (cité par le prof. J. Hall dans le 21^e *Report of the New-York Regents*, p. 105) à l'action de cascades qui tombaient à travers les crevasses d'un glacier.... De plus, les excavations produites par le Colorado, dont les hautes eaux atteignent 90 et 100 pieds, et dont la pente est de 5 à 10 pieds par mille, ont même, en tenant compte, cela va sans dire, de la différence de la roche, des dimensions vraiment insignifiantes, si on les compare aux citernes colossales de la Cohoes Plain. » — Voici comment, dans ma note précédemment indiquée

glaciers » de Lucerne a 9^m,50 de profondeur et 8^m de diamètre; le plus grand de ceux de la Maloja n'a pas moins de 11^m de profondeur et de 6^m de diamètre.

La mollasse de la Sarine, dans les circonstances particulières du canal de décharge de la Maigrauge, nous révèle en plus d'un cas les caractères originels avec une particulière netteté. Mais ces formes de la mollasse, si nettes et exactes dans leur premier âge, deviennent vite indistinctes et disparaissent même; déjà dans le canal de la Maigrauge, des chapelets de marmites se sont transformées en un sillon allongé dans le sens du courant, et ne sont guère plus reconnaissables que les anciennes marmites élaborées, par exemple, dans le calcaire de la Valserine inférieure. Du moins, ces marmites, ainsi reliées et transformées en chenal, ont l'avantage de nous montrer combien ces phénomènes dus aux tourbillons peuvent contribuer au creusement et à l'établissement des lits des cours d'eau. Nous connaissons déjà des faits de cet ordre tout à fait saisissants; témoin ce lit souterrain du Rhône, qui constituait ce qu'on appelait *la perte du Rhône*: ce lit, formé dans une couche de calcaire plus tendre, était recouvert d'une grande couche de calcaire, plus dur, seulement percée sur toute sa longueur par les orifices des marmites qui s'étaient

Sur les marmites des îlots granitiques de la cataracte d'Assouan (C. R. Acad. Sc., 7 août 1899), j'ai résumé l'explication de l'ensemble de ces faits: « a) dans les pays glaciaires, une certaine permanence des tourbillons sur les mêmes points a eu pour effet d'agrandir jusqu'à des proportions grandioses les marmites d'abord ébauchées.... b) dans les pays glaciaires, la succession de tourbillons de différente intensité et de différents diamètres sur un même emplacement a fini le plus souvent: 1° par oblitérer les formes intérieures des marmites et détruire les saillies ou les sillons spiraliformes des parois; 2° par terminer les marmites, c'est-à-dire par les faire aboutir à la forme de sac ou de trou à fond concave. »

élargies et étalées jusqu'à se rejoindre dans la couche inférieure moins résistante ¹).

Mais je crois que la part attribuée aux tourbillons dans l'œuvre d'érosion et de corrosion par les eaux courantes n'est peut-être pas encore suffisante; dans tous les cas où le cours d'eau est encore loin du niveau où il aura atteint son profil d'équilibre, je suis convaincu qu'il utilise d'une manière très générale, et si je puis dire avec autant de succès que d'habileté, les mouvements tourbillonnaires pour accélérer son approfondissement ²). Quoi qu'il en soit, j'ai pris, sur un petit affluent de la rive gauche de la Sarine, situé entre le barrage et la ville même de Fribourg, une photographie, qui montre avec une clarté particulièrement significative comment un chenal résulte de marmites successives reliées entre elles (Planche V) ³).

¹) C. DE LA NOË et E. DE MARGERIE. *Les formes du terrain*. (Service géographique de l'Armée.). Paris, Imprimerie nationale, 1888, 1 vol. Texte, in-8°, ; et 1 vol. Planches, in-8°. Voir *Texte*, p. 49-50 et *Planches* Pl. XVII.

²) Les parois de certaines vallées témoignent visiblement de l'importante part qui revient aux tourbillons dans le travail de creusement, notamment les parois de la vallée de la Birse (Jura), des gorges du Fier, des défilés de la Reuss, etc. Il en est de même, on l'a vu, dans le Canon du Colorado. A la chute du Rhin, à Neuhausen, près de Schaffhouse, on constate aussi que l'action tourbillonnaire a été et est encore très grande, comme facteur de démolition. Mais c'est surtout sur les îlots granitiques de la cataracte d'Assouan que j'ai été frappé de l'importance du rôle joué par les marmites dans l'effondrement progressif de ces écueils, et par suite dans l'usure progressive des seuils des Cataractes.

³) A. Penck cite des exemples de lits de cours d'eau partiellement formés de la sorte; il renvoie à Reusch, *Jettegryder, dannede af Elve* (*Nyt Mag. f. naturv.* 1877); il donne enfin (fig. 21) un croquis typique d'une rivière de Norvège: *Flussbett unweit der Borgundskirche in Lårdalen, Norwegen* (*Morphologie der Erdoberfläche*, p. 313 et 314).

Dimensions des marmites du canal de décharge de la Maigrauge. — De toutes les marmites du canal de décharge, la plus grande est de forme elliptique et a les dimensions suivantes : diamètres SE — NW = 0^m,535, et NE — SW = 0^m,742. Profondeur (du point le plus bas du fond au point le plus haut du bord supérieur) = 1^m,24.

Une autre, voisine de celle-ci, a comme diamètres 0^m,82 et 1^m,8.

Les autres sont plus petites; on trouvera au verso des planches les dimensions des marmites représentées.

A l'extrémité du canal de décharge, sur la rive gauche, en aval, on a construit, en 1879-1880, une échelle à poissons (voir planche VI), qui se composait de gradins, tous légèrement creusés en auges vers l'amont : c'était là une disposition très favorable à la production des marmites, et qui aurait pu paraître adopté comme en vue d'une expérience de géographie physique; à chaque gradin, une marmite en effet s'est rapidement formée et, trois ans après, m'a dit M. l'ingénieur cantonal Gremaud, atteignait déjà de grandes dimensions. Depuis lors, une partie de l'échelle à poissons a été emportée, démolie. Sur les ruines de l'échelle, les observations sont encore intéressantes.

La plus grande marmite se trouve au bas de l'échelle, au-dessous d'un gradin de 2^m,815; elle forme un vrai sac, relativement étroit, et que je n'ai pas pu faire vider : les deux diamètres en croix à la partie supérieure = 0^m,90 et 1^m; la hauteur, mesurée depuis l'ouverture jusqu'au niveau de la masse de galets qui remplit le fond, = 3^m,27. (Cette marmite est indiquée par *a* sur le plan.)

La plupart des marmites des différents échelons ont des diamètres atteignant ou dépassant 1^m; elles sont

toutes remplies d'une mitraille de galets très abondante; étant donné d'autre part la difficulté de l'accès à ces divers gradins presque entièrement occupés par ces trous immenses remplis d'eau, je n'ai pas pu les faire déblayer; je n'ai pu prendre que des mesures superficielles. La marmite du plus haut échelon a comme diamètres à la surface de l'eau 1^m,36 et 1^m,4; sa profondeur, du niveau de l'eau au niveau des galets, = 1^m,30; elle porte sur sa paroi, encore intact, un magnifique pas de spirale. A mesure que l'on descend, on trouve des marmites de plus en plus inclinées dans le sens du courant: la 4^e est remarquable par son approfondissement oblique; la 5^e est très profonde, elle a 1^m,45, toujours jusqu'au niveau des galets.

Ces observations, continuées toutes les fois que les eaux de la Sarine seront assez basses, constitueront une série de véritables données expérimentales. Le présent travail est surtout déterminé par une double considération :

1^o Il est rare que le fond d'un vrai « rapide » ayant des dimensions et un débit comparables aux dimensions et au débit du canal de décharge de la Maigrauge, et étant composé d'autre part d'une roche aussi modelable que la mollasse puisse être commodément étudié et photographié.

2^o Il est rare qu'on puisse attribuer à des phénomènes naturels de cet ordre, qui souvent nous étonnent par leurs dimensions, un âge exact et indiscutable. A coup sûr, les marmites glaciaires et fluviales ont été déjà l'objet de très savantes et nombreuses études; nous ne voulons ici rappeler que pour mémoire les travaux capitaux de Heim (1873), Desor (1875) et Baltzer (1880) en Suisse: — de Gilbert (1875), au Colorado; — de Feistmantel (1877), dans l'Inde; — de Helmersen (1880) et

Vogel (1886), dans l'Europe septentrionale ; — de Berendt (1879), Penck (1879), Grüner (1880) et Partsch (1894), en Allemagne ¹⁾ ; mais rarement on a pu se rendre compte

¹⁾ Dans ce travail de PARTSCH (1894), cité plus haut, on trouve en note p. 169 une utile Bibliographie sur les marmites de géants. Dans une étude antérieure de H. HÖFER (in Klagenfurth), parue dans le *Neues Jahrbuch für Mineralogie, Geologie u. Paläontologie*, 1878, p. 1-21, *Studien aus Kärnten, IV, Die Felsentöpfe (Riesenkessel) bei Pörtschach*, on trouve aussi dans les notes nombreuses d'utiles indications bibliographiques ; Höfer dit, par exemple (p. 10), que la première explication d'ensemble sur la formation des marmites de géants a été donnée par le D^r G. LEONHARD dans le *Neues Jahrbuch für Mineralogie, Geologie und Paläontologie*, 1854. — Il va sans dire, d'ailleurs, que nous n'avons entendu parler ici que des travaux les plus complets ou les plus spéciaux ; dans bien d'autres travaux, il est question plus ou moins incidemment de marmites glaciaires ou de marmites fluviales. En ce qui concerne, par exemple, les formations de cet ordre qui restent l'un des témoignages frappants de l'action glaciaire dans la plaine germanique du Nord, on trouve des renseignements intéressants dans F. E. Geinitz, *Die Seen, Moore und Flussläufe Mecklenburgs*, Güstrow, 1866 (in 4^o, 132 p. avec 1 carte et 2 planches) ; cet auteur indique, p. 2, 3 et 4, les différentes formes topographiques qui manifestent les anciens Gletschermühlen et notamment ces formes si caractéristiques qu'on appelle les *Sölle*, dont il donne un type excellent en reproduction phototypique (avant le titre) et dont il fournit en note une définition juste (p. 2) (d'après *Korresp.-Blatt d. Ver.f. Niederdeutsche Sprachvorchung*, 1879, S. 46) : « On appelle Soll, et aussi Säl, une étendue d'eau stagnante, de forme circulaire, de dimensions assez grandes, la plupart du temps d'une profondeur suffisante. cette eau n'ayant pas d'écoulement naturel, et les bords de cette dépression étant souvent à pente assez raide. » — Dans l'excellent *Guide* qu'on a distribué à ceux des membres du récent congrès international de géographie de Berlin qui ont pris part à la *Glacial-Ausflug* dans le Nord, on trouve de précieuses indications bien résumées sur les marmites de géant découvertes et déblayées à Rüdersdorf : Voir G. Berendt, K. Keilhack, H. Schröder und F. Wahnschaffe, *Führer durch Teile des Norddeutschen Flachlandes für die Aus-*

du temps nécessaire pour la formation de ces phénomènes : a-t-il fallu des dizaines d'années ou des dizaines de siècles? M. Baltzer avait indiqué quelques faits de cet ordre qu'il avait également pu dater¹⁾. Les faits datés que j'ai pu observer ont atteint, en moins d'un quart de siècle, des dimensions telles que, suivant les expressions

flüge der Deutschen Geologischen Gesellschaft (1898) und des VII. Internationalen Geographen-Kongresses im Oktober 1899, Berlin, 1899 (in-8°, 88 p. et 4 planches), p. 8 et 9. Voir par ailleurs la bibliographie, p. 27, et notamment pour de plus amples informations : F. Noetling, Ueber das Vorkommen von Riesenkesseln in Muschelkalk von Ruedersdorf (Zeitschrift der Deutschen geologischen Gesellschaft, XXXI, 1879, p. 339-354 ; G. Berendt, Ueber Riesentöpfe und ihre allgemeine Verbreitung in Nord-Deutschland (Zeit d. D. geol. Ges., XXXII, 1880, p. 56-59) ; et F. Wahnschaffe, Beitrag zur Kenntniss der Ruedersdorfer Glacialerscheinungen (Jahrb. d. geologog. Landesanstalt für 1882, Berlin, 1883, p. 219 et suiv.).

¹⁾ A. BALTZER, *Ueber einen Fall von rascher Strudellochbildung (Mitteilungen der Naturforschenden Gesellschaft in Bern, 1884, III Heft, p. 40-44)*. Les observations de M. Baltzer ont été faites sur des marmites creusées dans la mollasse d'eau douce ; le Hagneckcanal est un canal qui appartient au système de correction des eaux du Jura et sert à conduire la plus grande partie de l'Aar d'Aarberg jusqu'au lac de Bienne ; à partir de Hagneck, la pente du canal atteint 3,75 ‰ ; il traverse un dos de colline de mollasse sur une longueur de 900 m. ; là le lit du cours d'eau se réduit à 36 m., c'est-à-dire à peu près la moitié de la largeur en amont ; ordinairement le canal a un débit de 3000 à 5000 pieds cubes par seconde, et même de 6000 à 8000 pieds cubes aux hautes eaux. Le canal a été ouvert en 1878 ; dans sa partie gauche, M. Baltzer constate, en 1884, un grand nombre de marmites ; leur diamètre varie de quelques centimètres jusqu'à 1^m,50 ; la plus grande a 1 m. de long, 1^m,50 de large et 1 m. de profondeur ; beaucoup de ces « pots » sont deux fois plus profonds que larges ; un d'entre eux par exemple a 0^m,09 de diamètre et 0^m20 de profondeur. M. Baltzer appelle avec raison cette portion du canal, mise exceptionnellement à découvert en 1884, « un vrai laboratoire de géologie expérimentale » (p. 44).

mêmes de M. de Lapparent, « la solution ainsi obtenue n'est pas destinée à contenter ceux qui ont coutume de réclamer des périodes de temps indéfinies pour la production de tous les phénomènes géologiques » ¹⁾. En ce qui concerne les marmites de l'échelle à poissons, toutes, y compris celle de 3^m,27 de profondeur, ont été creusées par les tourbillons *en moins de 18 ans*.

Nous nous permettons d'attirer l'attention sur les six planches qui sont jointes à ce travail ; c'est un essai que nous avons tenté ; convaincus par une assez longue expérience de la valeur des photographies stéréoscopiques comme fournissant des documents d'une valeur de beaucoup supérieure à celle des documents photographiques ordinaires, nous avons tâché de les reproduire sous la forme d'impressions à double image en vue du stéréoscope. Mon collègue et ami, M. le professeur Maurice Lugeon, de Lausanne, s'est intéressé à ce projet, et, grâce à l'obligeance de M. Osw. Welti, de Lausanne, nous avons obtenu les épreuves ci-jointes. C'est une première tentative qui n'est point encore aussi parfaite que nous le voudrions ; mais nous sommes arrivés déjà, par un autre procédé, la phototypie, à des résultats meilleurs, que je me propose de publier ailleurs ; en attendant, je prie instamment mes lecteurs de ne pas se contenter de regarder ces images directement, mais d'essayer l'effet qu'elles produisent au moyen du stéréoscope ; ils se convaincront à leur tour que, malgré les imperfections de ces épreuves, il y a là, pour l'avenir, un procédé de reproduction d'une valeur scientifique inappréciable en vue de l'étude et de l'illustration d'un grand nombre de phénomènes naturels.

¹⁾ *Nature*, 4 juin 1898, p. 6.

Planche I. — Marmite double (grand diamètre = $0^m,55$). Une langue de mollasse de $0^m,15$ subsiste comme témoin de l'ancienne cloison.

Planche II. — Fond de marmite à renflement conique vu de haut en bas. Diamètres de la marmite = $0^m,225$ et $0^m,28$; profondeur de la marmite (du point le plus bas du fond au point le plus haut du bord supérieur) = $0^m,39$. Différence de niveau entre le point le plus haut et le plus bas du fond = $0^m,05$.

Planche III. — Fond, à renflement conique, d'une marmite interrompue, puis recommencée, et encore interrompue avant d'être achevée. Différence de niveau entre le point le plus haut et le point le plus bas du fond = $0^m,055$.

Planche IV. — Marmite à fond concave, à deux étages, vue de haut en bas. Diamètre du 1^{er} étage (de droite à gauche) = $0^m,18$; diamètre du 2^{me} étage = $0^m,078$; profondeur totale du point le plus bas du fond au point le plus haut du bord supérieur = $0^m,225$.

Planche V. — Petit chenal formé par des marmites rejointes, dans un ravin, affluent de la Sarine, près de Fribourg.

Planche VI. — L'échelle à poissons du canal de décharge de la Maigrauge, vue d'amont.



Planche I.

Marmite double (grand diamètre = 0^m,55). Une langue de mollasse de 0^m,15 subsiste comme témoin de l'ancienne cloison.

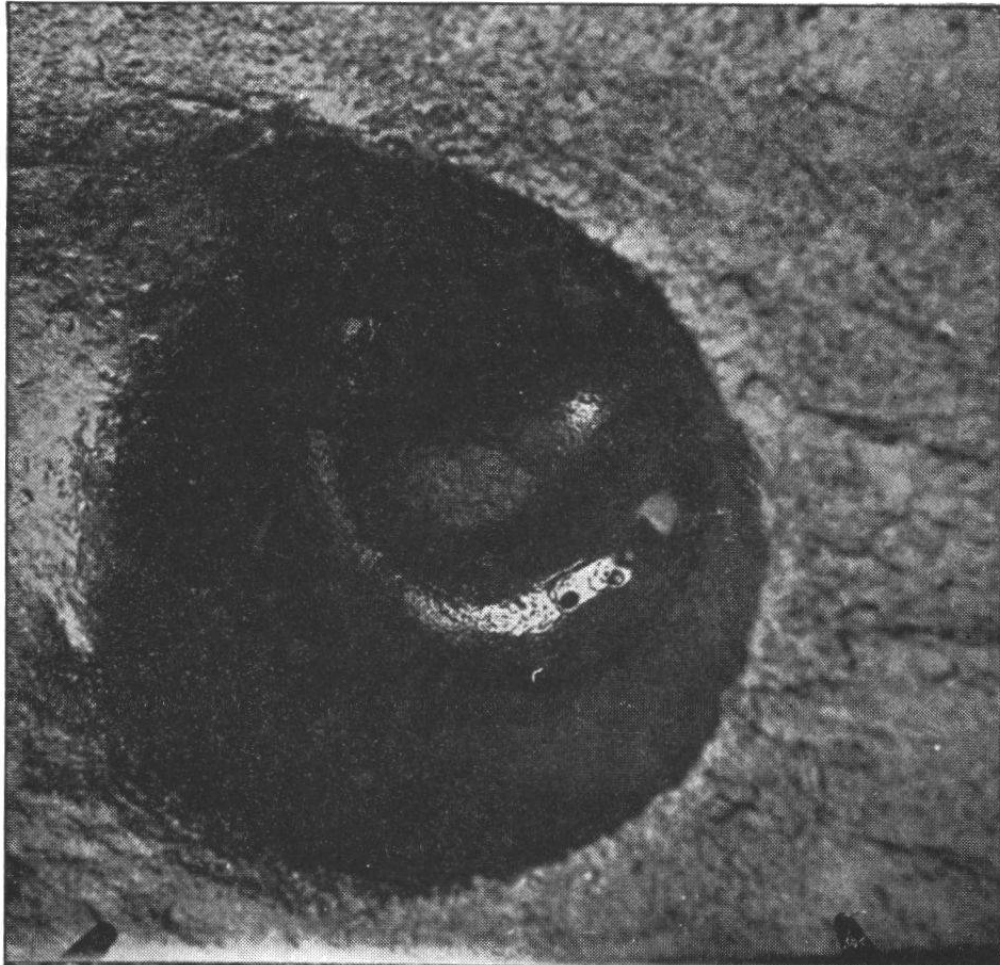


Planche II.

Fond de marmite à renflement conique vu de haut en bas. Diamètres de la marmite = $0^m,225$ et $0^m,28$; profondeur de la marmite (du point le plus bas du fond au point le plus haut du bord supérieur) = $0^m,39$. Différence de niveau entre le point le plus haut et le plus bas du fond = $0^m,05$.

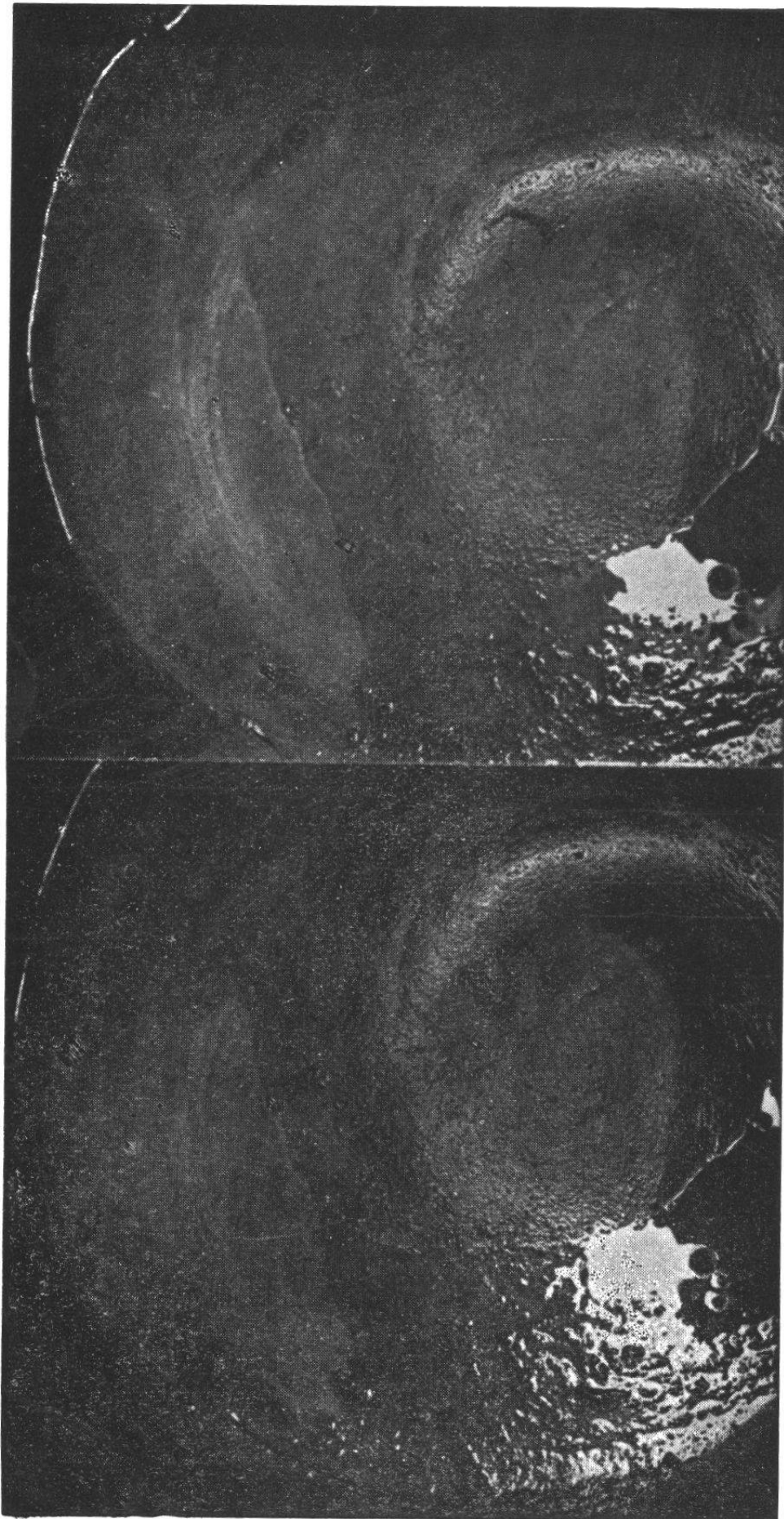


Planche III.

Fond. à renflement conique, d'une margite interrompue, puis recommencée, et encore interrompue avant d'être achevée. Différence de niveau entre le point le plus haut et le point le plus bas du fond = 0^m,035.



Planche IV.

Marmite à fond concave, à deux étages, vue de haut en bas. Diamètre du 1^{er} étage (de droite à gauche) = 0^m,18 ; diamètre du 2^{me} étage = 0^m,078 : profondeur totale du point le plus bas du fond au point le plus haut du bord supérieur = 0^m,225.



Planche V.

Petit chenal formé par des marmites rejointes, dans un ravin, affluent de la Sarine, près de Fribourg.



Planche VI.

L'échelle à poissons du canal de décharge de la Maigrage, vue d'amont.