

Zeitschrift:	Mémoires de la Société Fribourgeoise des Sciences Naturelles. Géologie et géographie = Mitteilungen der Naturforschenden Gesellschaft in Freiburg. Geologie und Geographie
Herausgeber:	Société Fribourgeoise des Sciences Naturelles
Band:	2 (1901-1902)
Heft:	4: Le travail des eaux courantes : la tactique des tourbillons
Artikel:	Le travail des eaux courantes : la tactique des tourbillons
Autor:	Brunhes, Jean
Kapitel:	I: Les îlots granitiques de la première cataracte du Nil
DOI:	https://doi.org/10.5169/seals-306717

Nutzungsbedingungen

Die ETH-Bibliothek ist die Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften auf E-Periodica. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Zeitschriften und ist nicht verantwortlich für deren Inhalte. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern beziehungsweise den externen Rechteinhabern. Das Veröffentlichen von Bildern in Print- und Online-Publikationen sowie auf Social Media-Kanälen oder Webseiten ist nur mit vorheriger Genehmigung der Rechteinhaber erlaubt. [Mehr erfahren](#)

Conditions d'utilisation

L'ETH Library est le fournisseur des revues numérisées. Elle ne détient aucun droit d'auteur sur les revues et n'est pas responsable de leur contenu. En règle générale, les droits sont détenus par les éditeurs ou les détenteurs de droits externes. La reproduction d'images dans des publications imprimées ou en ligne ainsi que sur des canaux de médias sociaux ou des sites web n'est autorisée qu'avec l'accord préalable des détenteurs des droits. [En savoir plus](#)

Terms of use

The ETH Library is the provider of the digitised journals. It does not own any copyrights to the journals and is not responsible for their content. The rights usually lie with the publishers or the external rights holders. Publishing images in print and online publications, as well as on social media channels or websites, is only permitted with the prior consent of the rights holders. [Find out more](#)

Download PDF: 12.01.2026

ETH-Bibliothek Zürich, E-Periodica, <https://www.e-periodica.ch>

I. Les îlots granitiques de la première cataracte du Nil.

Un grand noyau granitique apparaît de part et d'autre de la fosse d'effondrement de la Mer Rouge, — comme s'élèvent de part et d'autre de la dépression rhénane les Vosges et la Forêt-Noire. Ce noyau, en se soulevant, a géné et modifié l'ancien cours quasi rectiligne du Nil. Le lit du Nil s'est trouvé rejeté vers l'Ouest, et le Nil décrit aujourd'hui cette grande boucle qui va de Abou-Hammed jusqu'à Assouan. Et du même coup le profil du Nil s'est trouvé altéré : en plus d'un point les ramifications de ce grand noyau granitique ou les accumulations des sédiments de grès qu'il supporte ont constitué comme des barres que le fleuve a dû péniblement entamer et franchir. Ces barres, plus ou moins larges, plus ou moins saillantes qui interrompent la régularité du cours, constituent les rapides qu'on appelle des *cataractes*.

Les cataractes du Nil, en effet, ne sont pas des chutes d'eau comme les cataractes du Niagara, mais de simples rapides ; à la première cataracte du Nil, le fleuve descend seulement de 5 mètres sur un parcours de 5 kil. ; c'est une pente de 1 mètre par kilomètre, une pente de $\frac{1}{1000}$ ¹⁾.

Les cataractes du Nil, vues d'un point élevé, aperçues au plan, sont tout à fait comparables, comme dessin d'ensemble, au dessin de certains rapides des torrents des Alpes que l'on peut observer sur les versants raides des grandes vallées ; par exemple, j'ai été frappé de cette ressemblance frappante en me trouvant sur la rive gauche de l'Aar, dans la haute vallée, en face du torrent qui vide le Gelmer See et qui vient se jeter dans l'Aar, sur la rive droite : les eaux blanches d'écume, qui descendent le long du versant se divisent en une multitude de

rique que nous ayons actuellement de la question de ces formes d'érosion tourbillonnaire ; une abondante biographie infrapaginale confirme la valeur de cet historique (voir p. 224-243).

¹⁾ Voir A. CHÉLU, *Le Nil, le Soudan, l'Egypte*, Planche N° 31, face à la p. 66.

petites lignes blanches formant comme un réseau enchevêtré, et que séparent les îlots irréguliers des blocs noirs : c'était comme la reproduction très réduite, la reproduction en miniature, du réseau enchevêtré des chenaux blancs d'écume et de la multitude des îlots noirs épargnés qui constituent en particulier la seconde cataracte du Nil, celle dite de Wadi-Halfa, telle qu'elle est aperçue du haut du rocher d'Abousir.

Le fleuve travaille sans cesse à démanteler ces obstacles et la multitude de petits îlots noirs qui parsèment, aux basses eaux, les cataractes révèlent ce travail d'usure. Si l'on approche de ces îlots, si on les observe de près, il apparaît encore plus nettement que ce ne sont que des ruines condamnées à une ruine complète. Leur surface — quoique toujours polie par les eaux, et en général recouverte d'une sorte de vernis noir qui les fait luire au soleil comme des masses de métal poli¹⁾ — est en réalité très irrégulière ; elle présente tantôt de grosses protubérances arrondies comme des genoux, tantôt des cavités également arrondies, profondes et nombreuses. Ce sont ces cavités qui doivent ici nous occuper.

Quelques voyageurs ont signalé ces formes caractéristiques ; voici comment les décrit E. de Gottberg, qui visita le Nil nubien en l'année 1857, année où les eaux du Nil furent particulièrement basses, ce qui facilita ses observations ; quoiqu'il ne désigne pas ces phénomènes par leur nom, il les explique assez exactement : « Le Nil, pendant sa crue, charrie auprès et au milieu des cataractes des cailloux qui sont parfois arrêtés par les rochers. Si le courant est assez fort dans cet endroit, bien qu'il trouve dans le rocher un empêchement au transport de ces cailloux, il ne cesse de les remuer, les fait tourner sur eux-mêmes et décrire à la fin un cercle, qui, par la force du frottement, fait un petit creux dans le rocher. D'autres cailloux viennent remplacer ceux qui, tout en perforant le roc, ont fini par s'user eux-mêmes, de sorte que d'année

¹⁾ Voir JOHANNES WALTHER, *Die Denudation in der Wüste und ihre geologische Bedeutung* (Leipzig, Hirzel, 1891), p. 109 et sqq. Die braune Schutzrinde ; et IDEM, *Das Gesetz der Wüstenbildung* (Berlin, Reimer, 1900), p. 21-24.

en année cette excavation est agrandie. Elle prend peu à peu la forme d'un cylindre creux, quelquefois d'une régularité parfaite, de 2 à 3 mètres de profondeur sur 1 de diamètre.... Les Nubiens qui habitent près des cataractes se servent des débris de ces cylindres comme d'ustensiles de ménage pour broyer leurs grains dans ces creux, ou bien en guise de plats. » ¹⁾

Et dans les *Notes* remarquables que Charles Grad a publiées dans l'*Annuaire du Club alpin français* en 1887 ²⁾, et qui valent toutes les descriptions des cataractes données depuis lors, il établit un très heureux rapprochement entre ces curieuses « marmites » des îlots du Nil et les marmites glaciaires : « A première vue, ces cavités rappellent la formation des marmites sous les glaciers, quoique les glaciers ne se soient jamais avancés sur ce point de la vallée du Nil. » (P. 291.)

Il faut d'abord se rappeler que le Nil présente des conditions hydrologiques exceptionnelles, et possède une arme terrible pour détruire les obstacles qui lui résistent, le volume énorme de ses eaux. A Assouan, à la première cataracte, le volume des basses eaux varie entre 210 et 1300 mètres cubes par seconde, avec une moyenne de 410 mètres cubes par seconde ; le volume des hautes eaux varie de 6500 mètres cubes à 13200 avec une moyenne de 10000 mètres cubes par seconde. Qu'on songe que ce maximum de 13200 mètres cubes par seconde représente un flot supérieur à 1 milliard de mètres cubes par jour (exactement mc. 1,140,480,000).

Et les conditions hydrologiques du Nil sont également bien faites pour favoriser l'observation des effets produits par l'eau ; tous les ans le flot énorme de la crue passe et travaille, puis se retire ; et en particulier à l'endroit des cataractes on voit réapparaître à la surface quelques-uns de ces récifs com-

¹⁾ E. DE GOTTBURG, *Des cataractes du Nil et spécialement de celles de Hannek et de Kaybar*, Paris, imp. Simon Raçon, 1867, in-4°, 60 pages et Planches I-V (cartes), p. 13.

²⁾ *Descente des cataractes du Nil, notes de voyage*, février 1886, dans *Annuaire du Club alpin français*, 14^e année, 1887, p. 282-341.

plètement recouverts par l'eau de la crue. Il convient d'indiquer aussi combien grande est la différence de niveau entre les hautes et les basses eaux. Prenons encore l'exemple d'Assouan ; on observe une différence de niveau qui est au moins de 6^m,50 et qui peut atteindre jusqu'à 9 mètres ¹⁾. W. Willcocks, sur la planche 7 de son livre, a figuré par des courbes le tracé des variations du niveau du Nil à Assouan durant des années où les eaux ont été très hautes, comme 1874 et 1878, et durant des années où elles ont été basses, comme 1877 ; durant l'année 1878, la différence entre le minimum du mois de juin et le maximum de la fin de septembre dépasse 9^m,50 ²⁾. De plus, W. Willcocks a tracé une courbe représentant pour chaque mois de l'année la hauteur moyenne de dix années de 1874 à 1883 ; cette courbe moyenne nous donnera un utile enseignement ; or, entre le niveau le plus bas et le niveau le plus élevé, il y a une différence de 7^m,75. Retenons bien les évaluations moyennes : 10,000 mètres cubes par seconde s'écoulent ainsi pendant 20 jours environ durant le mois de septembre ; puis, sept ou huit mois plus tard, on peut observer le travail qui a été opéré par l'eau à 7 mètres au-dessous du plus haut niveau ; où trouverons-nous un pareil théâtre nous permettant de voir aussi facilement comment les grandes masses d'eau peuvent modifier les roches sur lesquelles elles passent ? On doit donc supposer avec raison que le Nil peut fournir à l'observateur des cas exceptionnels.

On comprendra également pourquoi l'on devra choisir sur le cours du Nil l'une des cataractes ; car c'est là d'abord que les îlots subsistant s'élèveront assez au-dessus du fond du lit pour dominer les eaux quand celles-ci sont basses ; et en second lieu la multiplicité des écueils brise le courant, crée des courants contraires et multiplie le nombre des tourbillons ; cette même cause en augmente du même coup l'intensité et la puissance. En un même lieu, les tourbillons d'une masse d'eau extraordinairement considérable acquièrent une force

¹⁾ W. WILLCOCKS, *Egyptian Irrigation*, 2. edit., p. 39.

²⁾ Voir la planche indiquée face à la p. 31.

extraordinaire ; et tout se trouve disposé pour nous permettre de constater tous les ans les effets qui ont été produits durant la précédente saison de crue. Il convient donc d'examiner ces saillies rocheuses d'Assouan qui, pendant une période de l'année, constituent le fond d'un courant d'eau très profond, et qui, pendant une autre période, reparaissent ainsi à la surface des eaux : ce seront là des lieux d'élection pour l'étude des formes tourbillonnaires.

Nous avons la bonne fortune de posséder maintenant une excellente carte en 6 feuilles de la cataracte d'Assouan à 1:10.000, carte qui a été dressée par les soins du Département des Travaux publics d'Egypte (Survey Department Public Works Ministry) et qui a été publiée au Caire en 1900¹⁾. C'est en contrôlant nos croquis personnels par les données rigoureuses de cette carte que nous avons pu dresser le carton qui est joint au présent exposé (p. 461).

Parmi les îlots de la cataracte, quelques-uns indiquent d'une manière plus claire que tous les autres la tactique générale des mouvements tourbillonnaires. Entre tous, un petit îlot, situé vers l'aval de la cataracte un peu en amont de l'île

¹⁾ *First or Assuan Cataract, Sheet A.-F.* On doit seulement regretter que le figuré du relief ne repose pas également sur un levé rigoureux, et soit indiqué par des courbes approximatives. Sur cette carte sont indiquées en vert les parties des rives du Nil ou les îles de la cataracte qui sont mises en culture. — W. WILLCOCKS, dans *Government of Egypt, Ministry of Public Works, Perennial Irrigation and Flood Protection for Egypt, Plans, Atlas*, 1 vol. in-fol., 1894, avait publié un plan à 1:10000 de la partie méridionale de la cataracte (Plate N° 8, *Plan of the Assuan Cataract*), repris en réduction dans *Egyptian Irrigation, 2. edit. Sketch showing the Position of the Assuan Dam* (p. 439) ; mais il ne s'agissait là que d'une partie de la cataracte. — Auparavant A. CHÈLU (*Le Nil, le Soudan, l'Egypte*, Paris, Chaix et Garnier, 1891) avait donné une carte de la première cataracte à 1:80000 planche N° 31, p. 66) ; B. EDEKER dans son guide *Egypte* une carte à 1:100,000 (voir édition française, 1898, p. 333) ; et JOANNE dans son guide *Egypte* (Paris, Hachette 1900, 3 vol.) une petite carte (III, p. 564) qui paraissait plus correcte ; mais les indications de ces diverses cartes n'étaient pas concordantes, et elles ne reposaient pas sur des levés rigoureux.



PARTIE AVAL DE LA CATARACTE D'ASSOUAN, A 1:20.000

M = Ilot des Marmites. — A = extrémité du village d'Assouan.
— E = Ille d'Eléphantine. — I = Ilot appelé « Isenarté. »

d'Eléphantine représente avec une singulière netteté le mode d'opérer des eaux. C'est pourquoi j'ai pris la liberté de donner à cet îlot une importance qu'il n'avait jamais eue en l'appelant *l'Ilot des Marmites*. Qu'on veuille bien se reporter aux figures 1, 2, 3 et 4, et l'on constatera que cet îlot mérite en vérité de devenir classique, tant il manifeste d'une manière saisissante le travail de la corrosion !

La figure 1 représente l'ensemble de l'îlot vu du sud ; cet îlot mesure 30 mètres de l'est à l'ouest, et 18 mètres du nord au sud ; le point le plus élevé est à environ 13 mètres au-dessus du niveau du Nil, tel qu'il était lorsque la photographie a été prise (premiers jours du mois de mars 1899). La figure 2 représente l'îlot toujours vu du sud mais de plus près ; on commence à y discerner clairement la complication des formes entrecoupées et des lignes entrecroisées ; mais c'est en s'approchant encore davantage, en faisant le tour de l'île que l'on constate l'étrange bizarrerie de ces rochers nus et lisses ; les figures 3 et 4 montrent certaines portions de l'îlot, telles qu'on peut les voir si l'on fait le tour de l'île sur une petite barque.

J'ai abordé enfin sur l'îlot, et je l'ai gravi jusqu'à son petit sommet ; on peut voir sur la figure 5 comment se termine ce petit sommet ; la partie qui est représentée sur la figure a 2 mètres de hauteur. Sur tout l'îlot d'ailleurs les marmites ou lambeaux de marmites sont à la lettre innombrables ; l'îlot semble avoir été perforé en tous sens comme à l'emporte-pièce : c'est un spectacle vraiment admirable que ce bloc de granit si dur ainsi percé de part en part, et en tous points, par le travail de l'eau.

Il est aisé d'expliquer pourquoi les cavités, sur l'îlot des Marmites, sont d'abord aussi nombreuses, en second lieu de dimensions si variées, et en troisième lieu formées en des sens relativement si différents. Cela vient des conditions hydrologiques que nous avons exposées plus haut : Les tourbillons sont produits par un flot qui ne reste pour ainsi dire jamais constant ; tantôt le flot monte allant vers la crue, tantôt il décroît ; et dans un cas comme dans l'autre les tourbillons produits par un flot sans cesse modifié sont eux-mêmes sans cesse modifiés ; ils durent peu ; ils restent peu à la même place ; et pendant le temps qu'ils durent en restant à la même place, ils changent encore d'intensité ; les tourbillons sont donc éphémères, très variables, et ils succèdent rapidement les uns aux autres.

De plus, les tourbillons sont si variables et si éphémères que beaucoup des marmites d'Assouan devront être interrompues avant d'être complètement achevées. Or, par la forme du fond de la marmite, il est aisé de reconnaître, on le sait, qu'une marmite est inachevée. Depuis longtemps on avait constaté que les fonds des marmites affectent deux formes principales. G.-K. Gilbert, dans ses très belles études sur le grand canyon du Colorado, a insisté sur cette différence. Les marmites, dit-il en substance, sont innombrables non seulement dans le lit même du cours d'eau, mais sur les parois verticales de la vallée ; et comme ces dernières ont été très souvent coupées en deux par les progrès de la démolition de ces parois, on peut aisément observer comment elles sont façonnées à l'intérieur ; et voici comment Gilbert décrit les

deux types : « 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 » ¹⁾.

Disons tout simplement que le fond d'une première catégorie de marmites est concave, et que le fond d'un second groupe se termine par une saillie de forme conique entourée par une dépression annulaire ; dans ce dernier cas les différents points qui marquent le fond de la dépression ne sont jamais sur un même plan horizontal ; la courbe est spirali-forme.

On avait souvent et longtemps considéré ces deux groupes séparément ; je me suis efforcé de les relier l'un à l'autre, et c'est l'un des objets principaux du mémoire que j'ai précédemment publié : *Les marmites du Barrage de la Maigrauge*. J'ai démontré que lorsqu'une marmite se termine par un fond concave, c'est qu'elle est achevée ou près de l'être. A chaque tourbillon correspond une certaine forme de marmite vers laquelle tend le travail du tourbillon, de même que le travail général du cours d'eau tend vers cette pente qu'on appelle « profil d'équilibre » ; le rayon de giration d'un même tourbillon et qui reste semblable à lui-même va toujours en diminuant à mesure qu'il descend, et il y a un point où ce rayon est égal à 0 ; en ce point le tourbillon travaille au centre du trou qu'il a créé, et c'est par une cavité concave au centre qu'il terminera son œuvre s'il en a le temps. Au contraire, lorsqu'une marmite se termine par un petit cône central plus ou moins surbaissé et entouré d'une dépression, elle doit être

¹⁾ G. K. GILBERT, *Report on the Geology of portions of Nevada, Utah, California, and Arizona*, in 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* (rapport ordinairement appelé *Wheeler's Report*), vol. III, *Geology* (Washington 1873), p. 73 ; voir aussi la figure *Typical forms of pot-holes in the granite of the Grand Canon*.

regardée comme inachevée ; le tourbillon s'est arrêté en plein travail, parce qu'il a été interrompu, soit par un affaiblissement trop grand du flot du fleuve, soit par une invasion trop brusque de galets ou de sable qui l'a étouffé en plein développement ¹⁾.

Il est donc naturel que le plus grand nombre des marmites d'Assouan appartiennent au second groupe, et présentent une saillie conique sur leur fond.

Tel est bien le résultat de mes observations ; au premier moment, quand je parcourais les îlots de la cataracte, je confesse que j'étais un peu surpris, en déblayant un grand nombre de marmites, de trouver au fond de *presque toutes* la saillie conique. J'avais jusqu'alors exclusivement observé des marmites soit fluviales soit glaciaires dans l'Europe occidentale et centrale, et l'on sait que le type le plus fréquemment rencontré est le type à fond concave et non le type à fond conique.

En vertu des mêmes causes qui expliquent que la forme à fond conique prédomine à Assouan, on peut comprendre aisément que dans les régions qui ont été longtemps recouvertes par les glaciers et qui sont parsemées de ces marmites, ce soit exactement l'inverse que l'on constate. Les glaciers se meuvent et se déplacent ; mais avec quelle lenteur si on les compare aux cours d'eau ! Les tourbillons que produisent les eaux de fusion restent longtemps à peu près à la même place ; et c'est à peu près aux mêmes endroits que les tourbillons se

¹⁾ C'est par une étude de la forme même des marmites qu'on peut arriver à une classification rationnelle ; il me paraît contestable de faire comme beaucoup ont fait et comme le propose encore F. SALMOJRAGHI dans le travail cité plus haut (*Bol. Soc. Geol. Italiana*, XXI, 1902, p. 248, n. 7), c'est-à-dire de classer les marmites par rapport aux causes qui les ont produites — fluviales ou glaciaires — ce qu'il n'est pas toujours facile et sûr de discerner, et ce qui ne peut être déduit de tel ou tel caractère distinctif de la marmite elle-même. La prudente remarque de HEIM reste toujours vraie : « Il y a bien plus de marmites de géants qui n'ont rien à faire avec la période glaciaire que de celles qui ne peuvent être expliquées que par l'action des glaciers. » (*Handbuch der Gletscherkunde*, p. 545.)

produisent toujours ¹⁾ ; bref, un trou qui a été commencé par un tourbillon est travaillé assez longtemps pour être achevé ; et si le tourbillon qui a commencé le travail s'affaiblit ou disparaît pour une cause quelconque, il est probable que d'autres tourbillons surviendront qui reprendront le travail et l'élaboreront complètement. Et voilà pourquoi dans les pays glaciaires le fond d'une marmite est — non pas nécessairement mais la plupart du temps — creux et non relevé ; il ressemble au fond d'une vraie marmite ordinaire. Qu'on examine les marmites qu'a fait déblayer le prof. Heim au Gletschergarten de Lucerne, ou celles qu'a fait déblayer le prof. Steffens au col de Maloja, qu'a décrites Tarnuzzer ²⁾ et que j'ai moi-même étudiées au mois de juillet 1898, ou celles qu'a étudiées le prof. Partsch dans le Riesengebirge : partout on reconnaîtra le même fait général : comme il s'agit de tourbillons produits par les glaciers, ces tourbillons ont eu le temps de faire aboutir leur action jusqu'à la forme complète, jusqu'à la forme à fond concave ; et c'est cette forme que l'on observe presque en tous les points ³⁾.

¹⁾ Nous ferons remarquer que nous parlons indistinctement ici des tourbillons produits par les « moulins de glaciers » et de ceux qui sont produits par les torrents sous-glaciaires ; on sait qu'il s'est élevé autour de cette question un long débat, dont l'intérêt est bien réduit, depuis qu'il est prouvé que certaines marmites même énormes peuvent être formées en des périodes de temps très brèves ; et il est vraisemblable que les cascades de moulins de glaciers aussi bien que les rapides des torrents sous-glaciaires engendrent les unes comme les autres de puissants tourbillons et par suite déterminent les unes comme les autres des séries et des groupes de marmites.

²⁾ *Die Gletschermühlen auf Maloja*, Chur, Casanova, 1896, 29 p., extrait du *XXXIX. Jahresbericht der Naturfors. Ges. Graubündens*.

³⁾ Les marmites ainsi travaillées en plusieurs fois par plusieurs tourbillons ont tout naturellement des formes oblitérées et vieillies ; et de même que le fond est arrondi, de même les spirales, les pas de vis qui sont parfois si beaux et si nets sur les parois des marmites récemment formées, tendent à disparaître de plus en plus ; j'ai déjà exposé cela ailleurs, et je n'y reviens pas (voir *Les marmites du Barrage de la Maigrauge*, p. 8 et 9). Toutefois il y a des marmites glaciaires qui ont conservé de magnifiques pas de vis sur leurs parois, et cela se voit à Lucerne comme au col de Maloja : voir, par exemple, la marmite N° 6

En ce qui regarde les marmites à fond conique de la cataracte du Nil, il est bon de donner ici quelques-unes des mesures que j'ai pu faire : ces chiffres montreront à quel point peut être saillant ce vrai petit pic qui se dresse parfois au fond des trous créés par l'eau. J'ai observé, par exemple, sur l'Îlot des Marmites, une marmite qui avait 1 mètre de profondeur et dont le monticule du fond avait 0^m,23 de hauteur ; c'est dire que son sommet arrivait presque jusqu'au quart de la hauteur totale ; si l'on ajoute que les plus grands diamètres

du *Gletschergarten* à Lucerne et l'une des marmites *Charles-Edouard* de la Maloja, dont on trouvera une reproduction stéréoscopique dans JEAN BRUNHES, *Un nouveau procédé de reproduction appliquée à l'étude et à la représentation des faits géographiques, Phototypie stéréoscopique (avec dix planches stéréoscopiques)*, in *Etudes Géographiques*, I, fascicule 1, planches 4 et 5. Il est facile de comprendre que certaines marmites glaciaires ont pu être élaborées très vite, puis, par suite de conditions exceptionnelles, conservées telles quelles dans leur première intégrité. — Au reste, quand nous parlons de *permanence* des tourbillonons en certains passages déterminés sous le lit des glaciers, et de *répétition* persévérande de l'action tourbillonnaire dans des trous déjà creusés, cela est relatif, et cela ne veut pas dire que les tourbillons sous-glaciaires restent longtemps *identiques à eux-mêmes*, sans changer ni de direction ni d'intensité ; au contraire, nous pensons exactement l'inverse. Malheureusement, on n'a pas encore pu observer d'une manière suivie comment se comportent les tourbillons sous les glaciers ; du moins J. VALLOT a fait des observations intéressantes en 1896 sur la formation des moulins dans l'épaisseur même du glacier de la Mer de glace au Mont-Blanc, et en résumant ses observations, ainsi que celles qu'a faites FONTAINE en 1897, il insiste sur la complication des formes de la cavité des moulins, et il dit en propres termes : « *Cette exploration est très instructive. Elle montre d'une façon certaine que le moulin se forme à la faceur d'une crevasse, dans laquelle il peut se déplacer par suite des moindres variations accidentelles, ce qui provoque la formation de poches successives et l'abandon d'une cavité pour une autre située dans un endroit devenant plus favorable.* » (J. VALLOT, *Exploration des Moulins de la Mer de glace*, in *Spelunca*, N° 16 [Bulletin de la Soc. de Spéléologie, 4^e trimestre 1898], p. 175 ; voir aussi *Coupe d'un moulin*, p. 174.) Cette mobilité des « Moulins » entraîne comme conséquence l'intermittence des tourbillons produisant des marmites au pied de ces cascades ; et l'on pourrait en dire autant des tourbillons qui sont produits par les torrents sous-glaciaires.

du trou étaient $0^m,36$ et $0^m,43$, on s'imaginera facilement combien était pointue et aiguë, par rapport à l'ensemble du trou, la pointe inférieure.

Veut-on un autre exemple pris sur un autre îlot voisin de l'Îlot des Marmites : la partie qui restait de la marmite avait comme profondeur maxima $0^m,20$, et les deux diamètres en croix avaient $0^m,18$ et $0^m,27$; à la base se dressait un piton de $0^m,09$: qu'on se reporte d'ailleurs à la fig. 6. On voit que ce fond ressemble tout à fait à un vrai fond de bouteille.

Dans la plupart des cas, cela va sans dire, le monticule du fond était moins grand que dans les deux exemples que je viens de donner. Mais je répète qu'il y avait presque toujours dans les marmites des îlots de la cataracte un pareil monticule. — Cette forme de monticule conique était même prise par le sable accumulé dans certaines marmites encore pleines ; le soleil avait rapidement évaporé l'eau, et le sable séché et durci avait précieusement conservé la forme que lui avait imprimée le dernier effort du tourbillon disparu ; c'est ainsi que j'ai observé, entre autres exemples, une petite marmite dont les deux diamètres à la partie supérieure étaient $0^m,22$ et $0^m,18$, et dont la profondeur jusqu'à la surface du sable qui la remplissait était de $0^m,20$; le sable formait un petit renflement très régulier et le sommet de ce cône surbaissé dominait de 5 centimètres la dépression qui l'entourait.

Enfin, si l'on pouvait encore douter que cette forme fût bien la forme caractéristique, la forme normale des marmites *inachevées* et *interrompues*, je citerais une autre série de faits que j'ai reconnus à Assouan, et qui sont encore dus à la configuration spéciale de ces îlots ainsi percés en tous sens par l'eau des crues.

Il se produit en effet là un fait qui est plus rare ailleurs : les tourbillons sont si fréquents, et par suite les marmites sont si nombreuses dans le voisinage les unes des autres que les cloisons usées de plus en plus arrivent à être très minces ; elles sont souvent si minces que tout à coup sous la poussée de l'eau elles s'écroulent. Les marmites sont ainsi brusquement entrouvertes ; elles sont, si l'on peut ainsi dire,

éventrées. Et l'on peut observer que ces cloisons ont été brusquement rompues en examinant de près les bords de ces cassures; là la roche n'est ni lisse ni noire, — encore moins lisse que dans les parties basses des marmites le plus récemment formées. Grâce à cette couche noire d'altération superficielle dont nous avons parlé plus haut et qui arrive à la longue à transformer en parois lisses et noires les parois rugueuses et rouges du granit à gros grains, il est possible de juger, sinon de l'âge absolu des surfaces mises à jour, du moins de l'âge qu'elles ont les unes par rapport aux autres, de leur âge relatif. Et l'on constate que, sur les lèvres de ces cassures, non seulement il n'y a point ce vernis noir, cette couche d'altération, mais elles sont irrégulières et rugueuses; on voit qu'elles n'ont pas été travaillées et polies par le même agent que les parois ou le fond des marmites; et elles apparaissent ainsi comme encore plus récentes que ces surfaces intérieures, et différentes d'elles. — Il y a bien eu, dans ce cas, cassure brusque et non pas usure lente.

Puisque ces marmites ont été brusquement entrouvertes, les tourbillons qui étaient en train de les produire ont été brusquement interrompus. Ce sont là des cas indiscutables d'interruption soudaine du tourbillon formateur. Or, quelle est la forme du fond de ces marmites inachevées? J'en ai examiné de près environ 50 de cette espèce sur les îlots d'Assouan et toutes ces marmites, brisées en pleine formation, présentaient précisément la forme de marmite à fond conique, c'est-à-dire la forme que j'appelle et à bon droit la forme normale de marmite interrompue.

Imaginons un autre mode encore plus curieux d'interruption d'une marmite. La marmite a été non seulement commencée mais partiellement élaborée dans un mamelon de granit; elle se présente sous la forme d'une sorte de cheminée aux parois lisses creusée assez profondément dans la roche: tout à coup un courant plus violent du fleuve survient qui détache et emporte la partie supérieure de l'îlot, qui découronne le mamelon; et la marmite est ainsi coupée en deux: une partie appartient au bloc qui est entraîné, et l'autre partie, la partie inférieure,

reste sur la partie subsistante de l'îlot mutilé. Si l'on nous a permis tout à l'heure de parler de marmites éventrées, on nous permettra de dire en parlant de cette autre série de marmites qu'elles sont décapitées ou tronçonnées. Le cas que nous avons imaginé se trouve plus d'une fois réalisé à Assouan ; on sait qu'il y a dans le granite des fentes que l'on appelle des « joints » ; souvent le flot du Nil entraîne tout ce qui dépasse un de ces joints horizontaux : et l'on trouve sur ces surfaces horizontales, tout récemment mises à nu, encore rugueuses, des fonds de marmites dont la partie supérieure a actuellement disparu. J'ai photographié plusieurs de ces trous ; et encore dans ce cas exceptionnel d'interruption des tourbillons et des marmites, le fond de la marmite offre un relief en forme de cône avec une dépression annulaire. — Parmi tous les faits observés, un s'est présenté avec une netteté extraordinaire, sur une autre petite île un peu plus grande que l'Ilot des Marmites et que l'on appelle Isenarté ; la figure 7 le reproduit exactement. La surface suivant laquelle la partie supérieure du mamelon de granite a été détachée et arrachée correspondait à peu près au niveau du fond momentané d'une marmite qui avait environ 1^m,80 de diamètre ; naturellement ce fond portait une saillie conique ; et lorsque le bloc a été emporté elle est restée en saillie au-dessus de la plate-forme de roche rugueuse qui marque la surface d'arrachement ; sur la figure on reconnaîtra facilement la différence qu'il y a entre l'aspect rugueux et grossier de cette surface qui n'a pas encore été travaillée par les eaux, et l'aspect poli et brillant du fond de la marmite qui résulte de l'usure par un tourbillon. (Le dernier plan de la photographie est constitué par la surface même des eaux du Nil, laquelle était par le vent légèrement ondulée.)

Arrêtons-nous un instant devant cette figure ; c'est un vrai hasard qui a pu permettre de photographier ainsi en relief, au moment des basses eaux, une forme transitoire et qui est en général par définition au fond d'un trou plus ou moins profond : ici nous pouvons examiner en pleine lumière et étudier à loisir ce que l'on n'aperçoit d'ordinaire qu'indistinctement

et dans l'ombre, même à supposer qu'on se soit donné la longue peine de vider et de déblayer avec soin une marmite d'une telle dimension ; ici le Nil lui-même s'est chargé du travail de déblaiement ; il a nettoyé et lavé tout exprès pour nous la surface de ce fond de bouteille, et il nous est possible d'en apercevoir les moindres détails : dans quel laboratoire aurait-on pu obtenir un exemple plus caractéristique, mieux fait pour l'observation, et plus clair ?

Tous ceux qui ont entrepris de faire déblayer des marmites et qui savent quel travail cela représente et combien il est difficile de mettre complètement à découvert tout le fond et surtout de le photographier, apprécieront à sa valeur la bonne fortune qui nous a procuré le document de la figure 7.

Il convient de noter ici les dimensions de cette marmite de la fig. 7. La protubérance centrale est approximativement conique : son sommet dépasse cette partie du petit couloir en forme d'anneau qui est située droit en avant de la photographie de $0^m,42$; de ce sommet à la paroi de droite, il y a $0^m,83$ et de ce même sommet à la paroi de gauche $0^m,95$. Nous reviendrons plus tard sur quelques particularités de ce fond de marmite. Il nous suffit pour l'instant d'avoir montré qu'il ne s'agit pas là d'une petite marmite à peine ébauchée, mais d'une grande marmite qui atteignait déjà de très belles dimensions quand toute l'œuvre a été interrompue. Il est évident que de pareils cas d'interruption se retrouveraient très rarement autre part que sur ces saillies rocheuses des cataractes d'un fleuve à grandes crues, saillies qui sont annuellement submergées par un flot puissant et violent.

Il nous semble que toutes ces diverses séries de faits confirment bien l'opinion que la forme de marmite à saillie conique est le signe distinctif des marmites qui n'ont pas atteint leur complet achèvement.

Un second enseignement général, et qui n'est pas non plus sans importance, se dégage des observations faites à Assouan.

Il ne faut jamais oublier que l'eau n'use pas elle-même

le fond et les parois des marmites. mais qu'elle se sert des galets ou du sable qui s'accumulent dans ces trous comme d'instruments, et que c'est à l'aide de ces instruments qu'elle corrode la roche ¹⁾.

J'ai examiné de près 400 marmites de la cataracte d'Assouan, et j'en ai vidé une cinquantaine; j'ai toujours noté avec attention quels matériaux se trouvaient dans le fond de ces marmites; or, dans le fond de deux ou trois à peine, j'ai trouvé un ou deux galets de 0^m,04 ou de 0^m,05 de diamètre. Dans presque toutes je n'ai trouvé que du sable, un sable étonnamment fin. Il faut donc conclure que c'est avec le sable seul que les tourbillons ont creusé le granite si dur d'Assouan.

La constatation d'un fait aussi général à la cataracte du Nil a une réelle importance.

En nos pays, dans la plupart des grandes marmites qui se rencontrent sur le lit des torrents ou des cours d'eau et aussi dans toutes les marmites qui sont situées sur le parcours des anciens glaciers, on découvre, lorsqu'on les déblaie, des pierres plus ou moins grosses, quelquefois même énormes, et arrondies par la rotation dans le fond de la marmite. Ces pierres arrondies ont beaucoup frappé les observateurs, et c'est à ces pierres qu'on a attribué le principal travail dans l'élaboration des marmites. De même qu'on appelait quelquefois les marmites glaciaires des *Moulins de glaciers*, *Gletschermühlen*, on a appelé ces pierres trouvées dans les moulins: des *meules*. Et il semblait que ces meules fussent nécessaires pour la formation des trous. D'après l'opinion de certains, la grosse pierre était l'outil essentiel de l'eau; il était nécessaire et il suffisait à lui tout seul. C'est bien cette conception qu'a vulgarisée

¹⁾ Voir l'exemple tout à fait caractéristique que j'ai décrit dans le travail déjà cité: *Les Marmites du barrage de la Maigrauge*, p. 3 et 4 et planche I: deux marmites en étant progressivement approfondies par les tourbillons se sont rejoints et le vestige de l'ancien mur qui existait entre elles deux n'a subsisté qu'à la partie supérieure sous la forme d'une langue de molasse de 0^m,15 de longueur, laquelle est restée intacte malgré l'action de l'eau courante, tandis que l'eau faisant mouvoir les galets et le sable dans le fond usait tout le reste du mur de séparation.

l'expérience ingénieuse qui a été instituée au *Gletschergarten* de Lucerne¹⁾ ; rappelons qu'au *Gletschergarten*, sur les indications du prof. Heim, de magnifiques et énormes *Riesen-töpfe*, creusés dans la molasse, ont été déblayés. On en compte au moins 32 de dimensions diverses. A côté des cavités naturelles, on a creusé une petite cavité où l'on a placé une grosse pierre ; à un signal donné, un jet d'eau, une sorte de cascade tombe sur cette pierre, et le mouvement vertical de chute se transforme en un mouvement de giration qui met en mouvement la grosse pierre. En vérité cette expérience montre comment le mouvement vertical peut donner naissance à un mouvement rotatoire, bien plus qu'il ne montre comment se creusent ordinairement et naturellement les marmites. -- Les images distribuées au *Gletschergarten* nous représentent toujours une seule grosse pierre arrondie (la meule) dans chacune des marmites. — Il se trouve en effet qu'on a soigneusement placé dans chacun des trous une pierre qui est censée avoir

¹⁾ C'est ce que pourraient également laisser supposer des phrases et des expressions comme celle-ci : « Es waschen jene Wassermassen bis-weilen Riesentoepfe aus, indem sie entweder in einem Strahle auf den Boden fallen, hier einen Felsblock ergreifen und mit diesem ein Loch aushohlen, oder indem sie einen Wirbel bilden, der in entsprechender Weise wirksam wird. » (ALBRECHT PENCK, *Oberflächenbau*, p. 59, in *Anleitung zur Deutschen Landes- und Volksforschung*, Stuttgart, Engelhorn, 1889, 1 vol. in-8, xvi-680 p.). D'ailleurs l'idée du bloc unique revient fréquemment dans tous les travaux qui s'occupent des marmites ; citons par exemple E. A. MARTEL et G. GAUPILLAT, dans leur note *Sur l'Exploration et la formation des Avens des Causses* : « A l'Aven de l'Egue, le premier puits a 60 m. d'à pic, et 1^m,50 à 6 m. de diamètre seulement ; il est ovale (fissure élargie) et, de haut en bas, sur tout son pourtour, une gigantesque hélice figure le sillon tracé dans la pierre par quelque gros bloc tournoyant dans l'eau furieuse ; peut-être ce bloc git-il au fond de l'admirable puits, sous plusieurs mètres de cailloux récents. » (in *C. R. de l'Académie des Sciences*, 14 octobre 1889). Citons encore PAUL MERCANTON : « De ces marmites.... une seule a conservé le bloc qui a servi à la creuser. Ce bloc, d'environ 0^m,70 de diamètre, parfaitement arrondi, est resté pris dans l'ouverture et git sur un lit de graviers et de menus blocs. » (*Communication sur des marmites de géants en paroi verticale* in *Bul. de la Soc. vaudoise des Sciences naturelles*, 4^e série, XXXII, 1893, p. xx).

été l'instrument de l'eau, et, puisqu'elle est seule, le seul instrument. Dans la marmite N° 1 on observe deux grosses pierres qui, du reste, sont très mal polies et qui n'ont dû prendre, sans doute, qu'une part bien secondaire au creusement de la marmite, laquelle est parfaitement lisse. Dans la marmite N° 2, qui a deux étages très nettement distincts, une petite meule est au fond et une grosse meule est au premier étage, chacune paraissant correspondre par ses dimensions aux dimensions des deux trous. Dans la marmite N° 6, qui a deux trous, le même fait est reproduit : une meule est placée au fond de chaque trou. Dans la grande marmite N° 11, qui est si belle et si compliquée, on peut distinguer 4 trous principaux de différentes tailles : une grosse pierre noire est placée dans la plus grande marmite, et trois autres meules plus petites correspondent aux trois autres trous. Enfin dans la marmite N° 10, qui n'a que 3^m,50 à 4^m de diamètre, on voit un bloc énorme mal poli de 1^m et 1^m,50 de diamètre ! On sent que l'idée fausse de la meule unique a dominé tout cet arrangement, par ailleurs si remarquable ; il fallait absolument trouver à chaque moulin sa meule. Nous avons insisté sur cette préoccupation si manifeste pour mettre en lumière les conséquences des observations faites à Assouan.

Car la réalité est tout autre : ce n'est pas une pierre, mais un ensemble de pierres de différents formats et de différentes dimensions qui se trouvent dans le fond de toutes les marmites mêlé à une masse de graviers et de sables ; cette masse forme un tout qui occupe et recouvre toute la partie inférieure de la marmite, et c'est toute cette masse qui participe au mouvement de giration imprimé par le tourbillon. Encore une fois, il ne s'agit pas d'une sorte de bolide isolé décrivant une courbe fantastique, mais d'une masse parfois très variée, contenant toujours une grande quantité de petits éléments et de sable, qui reste cohérente, par suite de la présence de ces petits éléments et que l'eau fait tournoyer dans le fond comme un pilon dans un mortier ; les pierres, les grosses pierres, ne sont pas les instruments essentiels du travail ; ce sont surtout les petits éléments, graviers et sables, qui travaillent à l'usure régulière

de la roche en obéissant aux moindres impulsions de l'eau tourbillonnante. Puisque sur les îlots d'Assouan, qui ont été si fortement perforés par les tourbillons, il est évident que le sable est le seul outil de l'eau, il faut conclure que le sable suffit à opérer le taraudage des roches les plus dures. Et nous ajoutons, après l'examen comparé de beaucoup de marmites à Assouan et ailleurs, que non seulement les grains de sable suffisent, mais que ce sont ces grains de sable qui sont nécessaires. Les pierres et les grosses pierres surtout prennent des formes arrondies parce qu'elles sont elles-mêmes frottées incessamment par la mitraille de graviers et de sables qui usent les parois intérieures des marmites ; mais loin de suffire au travail de l'eau, loin d'aider même à ce travail, elles le rendent de plus en plus difficile à mesure qu'elles s'accumulent dans le fond d'une marmite. Elles sont très nombreuses dans les marmites de nos pays et dans les marmites glaciaires parce que les torrents de nos montagnes, comme les glaciers, transportent de gros blocs qui tombent facilement dans ces creux ; mais elles constituent comme une sorte de poids mort qui est beaucoup moins docile que le sable aux mouvements du tourbillon ; et dans bien des cas elles doivent rester relativement immobiles tandis que les grains de sable sont entraînés tout autour d'elles, usant à la fois les parois de ces blocs et les parois de la roche encaissante ; bien plus, elles arrivent souvent à constituer un poids si énorme par leur volume ou par leur nombre que le tourbillon est impuissant à manœuvrer l'ensemble de la masse bigarrée tombée au fond de la marmite, et qu'il cesse d'agir. Bref, les pierres, au lieu d'être l'instrument par excellence de l'eau, jouent dans tous les cas un rôle secondaire, et même souvent ont une action défavorable à la continuation de l'œuvre du tourbillon. Le sable, au contraire, voilà l'arme véritable qu'utilise l'eau pour façonnier la roche à son gré. *A Assouan il n'y a pas une seule marmite contenant une de ces pierres appelées meules* : somme toute, le procédé du travail exécuté par le tourbillon ressemble tout à fait à l'usure à l'émeri, au travail du lapidaire qui use de la pierre très dure avec de la poussière de pierre.

Qu'on observe de nouveau maintenant le fond de marmite de la fig. 7, et l'on remarquera sur ce monticule de granite poli à quel point le tourbillon giratoire est en réalité compliqué, comment il se décompose en une série de mouvements secondaires. Si l'on examine cette sculpture dont les détails sont si variés et d'un dessin si précis, on comprendra facilement que c'est le sable qui peut obéir à toutes ces impulsions secondaires du tourbillon et les suivre, et qu'une pierre, une grosse pierre serait impuissante à produire des effets pareils ; une grosse pierre serait un outil trop grossier qui ne se prêterait jamais à un travail aussi délicat et aussi minutieux : autant vaudrait imaginer un graveur qui voudrait graver un dessin sur une plaque de cuivre, non pas avec un burin, mais avec un marteau. — Finalement le sable est par excellence et tout à la fois l'instrument de précision et l'instrument irrésistible du tourbillon.

Un document comme celui dont il s'agit (fig. 7) suffit à lui seul à nous renseigner sur les réels procédés de l'action des tourbillons. Il a cette valeur parce qu'il nous a été fourni sans aucun doute très peu de temps après avoir été élaboré. Supposons que les actions tourbillonnaires se soient longtemps prolongées dans une marmite telle que celle-ci, mais restée intacte ; il est certain que les petites actions de détail se contredisant, les ciselures secondaires auraient disparu, et nous n'aurions plus retrouvé qu'un cône central beaucoup plus indistinct et beaucoup plus informe ; avec le temps ce cône central du fond aurait lui-même disparu pour faire place à une vague concavité. Nous saisirions ainsi sur le vif la différence qui doit exister fatallement entre les marmites où les tourbillons ont longtemps agi, et celles beaucoup plus rares où nous pouvons contempler l'œuvre du tourbillon assez tôt pour qu'elle soit encore fraîche et si l'on peut dire personnelle, assez tard pour qu'elle soit déjà nettement élaborée et caractérisée. Le tourbillon durant, la marmite se transforme et porte à un moindre degré la marque du premier tourbillon créateur.

Les parois et le fond de la marmite, lieu de passage et

de circulation des eaux animées d'un mouvement tourbillonnaire, peuvent être comparées à ces pistes des régions de dunes, à ces chemins de sable du désert ; lorsqu'un petit nombre d'hommes ou de chameaux sont passés par là, leurs traces, gravées dans le sable, sont facilement reconnaissables ; mais si les hommes succèdent aux hommes et les chameaux aux chameaux, les empreintes diverses se multiplient et se détruisent les unes les autres : les traces des premiers disparaissent ; et sur la piste on n'aperçoit plus que la longue trace du sable uniformément bouleversé.

Et maintenant quel est le résultat final de cette action des tourbillons ? Les exemples divers que nous avons donnés et qui proviennent tous de la première cataracte du Nil permettent de l'indiquer. La marmite est un fait instable qui se transforme ; les tourbillons détruisent ce qu'ils ont fait pour continuer leur œuvre ; en fin de compte tous les tourbillons se coalisent pour une œuvre d'ensemble qui est la destruction des masses compactes qui barrent le lit. Les marmites se multiplient et s'accroissent ; elles sont entr'ouvertes et rejoindes. Bref, les îlots de granite peuvent être comparés à ces poutres que des insectes ont creusées en tous sens et qui, tout d'un coup, vermoulues, doivent se rompre. En effet, le bloc de roche très dure étant percé en tous sens, un jour vient où les débris de cloisons tombent, où les morceaux de marmite s'effondrent, où tout s'écroule. Ainsi s'accumulent de vrais chaos de débris, dont les fragments divers ont le trait commun de porter sur une ou plusieurs de leurs faces les vestiges visibles d'anciennes marmites. Ces chaos, nous avons encore pu les observer en certains îlots d'Assouan ; qu'on considère la fig. 8 prise sur l'îlot d'Isenarté (le même îlot que celui de la fig. 7), et l'on verra sous quel aspect se présentent les amas chaotiques de portions récemment effondrées. On aperçoit partout quelques formes, vaguement cylindriques ou sphériques, et qui racontent l'histoire de l'écroulement produit. Est-il besoin d'ajouter que lorsque la crue énorme survient, elle a vite fait de balayer ces débris épars, et d'emporter ainsi l'ouvrage qui lui a été préparé ?

On a dit et il est prouvé que d'autres seuils du Nil, d'autres cataractes ont diminué, que certains même ont disparu. Pour notre part nous avons cherché à montrer par quels épisodes successifs ce phénomène général d'érosion des seuils se produisait, nous avons essayé de nous rendre compte de la tactique victorieuse suivie par l'eau pour arriver à démanteler ces blocs de roche si dure.

Et nous avons indiqué quelle importance primordiale doit être attribuée aux tourbillons : ce sont les tourbillons qui préparent l'œuvre d'arrachement et d'emportement ; ils sont le préambule et la condition de toutes les destructions ultérieures.

Nous avons exposé plus haut qu'à Assouan l'action tourbillonnaire est d'abord particulièrement puissante, et en second lieu exceptionnellement visible. Ajoutons qu'à la cataracte d'Assouan le sable ne manque point ; et c'est là, on vient de le voir, une des conditions du succès des tourbillons. A la première cataracte du Nil, non seulement le sable est fourni par la destruction même du beau granite, mais encore il est apporté du désert libyque jusque dans les flots du fleuve ; sur la rive gauche du Nil, en face de l'île d'Eléphantine et plus en amont, se dressent de magnifiques dunes de sable fauve qui viennent mourir dans le fleuve même ; et lorsque le vent souffle, transportant les grains de sable, il les parsème sur tout le Nil ; ainsi l'instrument est à côté de l'ouvrier, à sa disposition ; et dès qu'un tourbillon se produit, celui-ci est sûr de pouvoir entraîner dans son mouvement de giration les grains de sable qui usent.

Il faut enfin noter que les îlots sur lesquels l'action des tourbillons est aussi visible que sur l'Îlot des Marmites sont en vérité exceptionnels ; nous n'en avons pas découvert un autre qui lui puisse être comparé. Il semble que l'eau concentre ses efforts, c'est-à-dire ses mouvements tourbillonnaires sur quelques points du cours obstrué ; l'eau n'agit pas sur tous les îlots au même moment et d'une manière uniforme ; certains points sont privilégiés, puis lorsque le travail

achevé, les tourbillons sont tout naturellement déplacés, et le laboratoire naturel se trouve transporté ailleurs. L'étude comparée des îlots d'Assouan évoque ainsi l'idée de chantiers restreints où le plus gros travail est exécuté¹⁾. Partout, à vrai dire, un certain travail partiel d'usure est opéré, mais encore un coup[il s'agit dans le cas de ces phénomènes naturels non pas d'une usure générale et uniforme, mais bien plutôt d'usures brusques, puissantes, localisées et successives. — Et c'est là une des idées essentielles que nous conduira à mettre en lumière l'étude d'une seconde série de faits : les gorges du versant Nord des Alpes suisses.

¹⁾ C'est par cette concentration du travail de taraudage en certains points que s'explique la démolition progressive de masses même énormes ; la méthode suivie par les tourbillons est la même, qu'il s'agisse du lit des glaciers ou du lit des cours d'eau. Les seuils de roche dure qui entravent les grands cours d'eau africains doivent être tous usés et emportés selon les mêmes procédés ; un missionnaire français, le R. P. TRILLES m'a communiqué une photographie des rapides du Félou sur le Sénégal, où l'on aperçoit tout un seuil perforé comme les îlots de la première cataracte du Nil. — De même, sous les glaciers, ou sur les surfaces rocheuses délaissées par les glaciers, les marmites sont le plus souvent groupées et pour ainsi dire massées en certaines zones qui correspondent aux principaux ateliers de forage des tourbillons ; qu'on regarde par exemple la photographie qu'a donnée H. W. TURNER d'une partie du seuil granitique qu'il a observé dans le *Mokelumne River Canyon* en Californie et où il a compté — toutes rapprochées — environ 250 marmites glaciaires : cette représentation évoque une tactique analogue à celle que révèlent les îlots granitiques d'Assouan (*Glacial Pot-holes in California*, in *American Journal of Science*, XLIV, 1892, p. 453, 454 et plate IX).