

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:	7 (1910)
Heft:	4
Artikel:	Les méandres de la Sarine
Autor:	Calciati, Cesare
DOI:	https://doi.org/10.5169/seals-306979

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: 16.01.2026

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

LES MÉANDRES DE LA SARINE

I.

MÉANDRES ET RIVIÈRES

Introduction. Dans les études de Géographie physique, qui comportent la connaissance des formes extérieures de l'écorce terrestre, nous voyons que l'eau est le facteur de beaucoup le plus efficace pour produire la désagrégation de nos montagnes et le modelé de nos continents.

Sous le nom d'eaux courantes¹ nous comprenons toutes ces gouttes de pluie, qui après être tombées sur la terre ferme, réglées par la grande loi de la pesanteur, descendant les pentes, se réunissent en ruisseaux, en torrents, en fleuves, pour courir jusqu'à la mer.

Mais c'est seulement quand l'eau a pu se constituer en une masse plus ou moins considérable qu'elle peut exercer la plus grande partie de son action érosive.

¹⁾ Pour les notions et les études générales concernant le travail et l'érosion par les eaux courantes, voir :

De LAPPARENT : *Leçons de géographie physique* ;

— *Traité de géologie* 5^e éd. Vol. I.

E. HAUG : *Traité de géologie* Vol. I : Les phénomènes géologiques.

E. de MARTONNE : *Traité de géographie physique* (climat, hydrographie, relief du sol, biogéographie) Vol. I, Fasc. 3. N.B. - Notre travail était déjà prêt pour l'impression lorsque ce fasc. a paru.

A. SUPAN : *Grundzüge der physischen Erdkunde*, Leipzig 1908.

E. CHAIX et W. ROSIER : *Manuel de géographie physique* (illustré) Lausanne, 1908.

Comme on le fait d'habitude, nous classifierons nos rivières d'après deux ordres de considérations : la nature et le caractère topographique de la région sur laquelle elles s'écoulent, et le *moment* auquel elles sont parvenues de leur *cycle vital d'érosion*.

Il est donc aisé de comprendre que souvent les plus grands cours d'eau ne seront pas les plus intéressants, car, ayant déjà à l'heure actuelle achevé leur *profil d'équilibre*, ils nous permettent seulement d'apercevoir les effets d'une activité passée, mais non plus leur mode de travail.

Tout au contraire, nous examinerons une catégorie spéciale de cours d'eau, qui nous paraissent développer dans leur marche et dans leur travail une activité particulièrement intéressante. Ils peuvent être groupés en quatre types, qui, tout en étant assez distincts les uns des autres, peuvent toutefois être rapprochés à l'aide de formes intermédiaires et peuvent même nettement exister sur différents tronçons d'un même cours d'eau.

Tels sont :

- 1^o *Rivières zigzagantes à branches multiples (torrents).*
- 2^o *Rivières à gorges profondes ou Cañons.*
- 3^o *Rivières à méandres divagants.*
- 4^o *Rivières à méandres encaissés.*

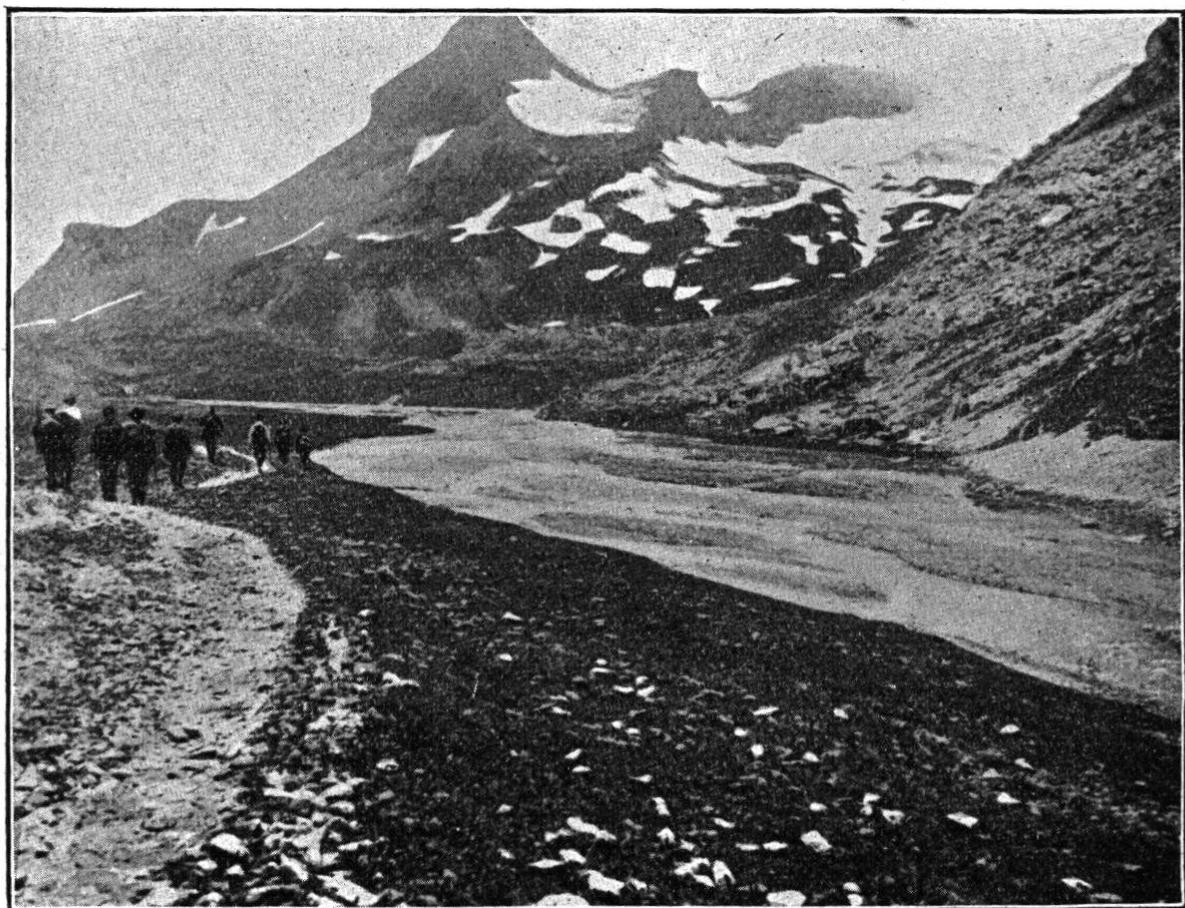
Nous esquisserons d'abord les caractères généraux des quatre types séparément, puis nous tâcherons de voir en quoi ils diffèrent et en quels points ils sont comparables.

Naturellement il n'y a rien d'absolu dans cet essai de division, car les formes de transition sont très nombreuses et les exceptions ne font pas défaut.

§ 1 Rivières «zigzagantes» à branches multiples (Torrents).

L'exemple typique des rivières ainsi appelées, nous est généralement fourni par les cours d'eau à régime torrentiel dont la pente générale se trouve interrompue plus ou moins brusquement par le fait qu'elles traversent un plateau ou qu'elles débouchent dans une plaine d'alluvions.

Dans ce cas plus que jamais, il faut distinguer un lit *majeur* et un lit *mineur* ou *thalweg*, correspondant respectivement aux périodes des hautes et des basses eaux. Le lit *majeur* peut alors atteindre des largeurs relativement très considérables.



(Phot. C. Calciati.)

Fig. 1. LA SARINE AU COL DU SANETSCH

comme type de torrent glaciaire « zigzagant » à branches multiples.

Le torrent, pendant les crues, acquiert une importance telle qu'il utilise toute la largeur et la pente de son lit, et, capable de transporter la lourde masse de ses grèves, il lui imprime un aspect toujours différent. Ensuite, à mesure que l'eau va en diminuant, le torrent dépose ses alluvions en creusant son lit *mineur*. Quelquefois le torrent est constitué par un filet d'eau divagant, mais le plus souvent c'est un ensemble de plusieurs branches qui s'entrelacent l'une à l'autre en zigzagant dans le lit *majeur*.

De cette façon, diminuant la pente de son cours et allongeant son trajet, la rivière, réduite à son débit minimum, cherche un état momentané d'équilibre dans la résistance de ses propres alluvions, jusqu'à ce que la pureté de l'eau atteste qu'il ne s'opère plus aucun travail.

En somme, les rivières zigzagantes à branches multiples par l'aspect général de leur vallée, la jeunesse des formes d'érosion et le manque de végétation de leur lit dénotent, d'une manière évidente qu'elles sont encore aux premières périodes de leur cycle d'érosion, stade qui en constituera leur caractère distinctif et fondamental. Tous les torrents glaciaires qui débouchent sur un plateau appartiennent à cette catégorie. Parmi les nombreux exemples parsemés dans toutes les régions du globe, nous en choisissons un que nous connaissons et qui nous paraît très représentatif, celui de la Trêbie, affluent de droite du Pô, en amont de la ville de Plaisance¹.

§ 2 Rivières à gorges profondes ou cañons.

Nous classons sous ce titre les rivières dont la puissance d'érosion nous est encore actuellement révélée par la raideur des deux rives, souvent à pic et également raides, et si profondément entaillées qu'elles forment une véritable et étroite gorge sur un trajet plus ou moins long de leur parcours.

Dans la réalité, nous trouvons ce phénomène développé à des degrés très différents ; mais quelquefois ses caractères spéciaux sont extraordinairement saillants au point que la partie supérieure de la gorge est de beaucoup plus resserrée que la partie inférieure.

Ce fait résulte de l'extrême rapidité du creusement vertical qui a eu le même effet qu'un coup de scie dans

¹⁾ Voir Feuille 60 : PIACENZA, *carta topographica d'Italia*, al 1:100 000, policroma, ou mieux encore, la feuille 72, quadrante, IV « Podenzano » de la carte au 1:25 000.

Voir aussi la fig. 1.

un morceau de bois, quand le niveau de base était encore très bas et que l'eau, n'ayant pas stationné aux niveaux successifs du lit, n'avait pas eu le temps de l'agrandir. Une raison analogue explique pourquoi le creusement des gorges et des cañons ne modifie pas le paysage en dehors du cours de la rivière.

Mais de quelle manière l'eau peut-elle construire ces gorges ?

Voilà une question à laquelle pendant longtemps on ne répondait pas d'une façon assez satisfaisante.

Après les nombreux et savants travaux de M. Jean Brunhes¹, on est parvenu à comprendre que c'est par une suite de mouvements tourbillonnaires qui s'installent sur le fond et les côtés du chenal, et qui, à l'aide du sable fin ou du petit gravier, creusent dans la roche en place une série de *marmites*.

Bientôt les séparations de ces dernières s'usent et n'ayant plus la force de résister à la pression du courant, se brisent : il en résulte alors, par un travail de *déblayage*, un chenal plus ou moins profond qui conservera les vestiges des *marmites* brisées.

En Suisse la beauté particulière de nombre de ces gorges est souvent gâtée par des travaux artificiels, offrant,

¹⁾ Voir JEAN BRUNHES : Le travail des eaux courantes ; la tactique des tourbillons : I. Ilots granitiques de la première cataracte du Nil ; II. Gorges du versant N. des Alpes suisses, in *Mémoires de la Soc. Fribourgeoise des Sciences nat.*, 1902.

JEAN BRUNHES : De la prédominance des tourbillons en sens inverse des aiguilles d'une montre, dans les cours d'eau de l'Europe centrale et occidentale, in *Archives des sciences physiques et naturelles*, Genève, 1904.

E. CHAIX DU BOIS : Le pont des Oulles, phénomène d'érosion par les eaux courantes, (Bellegarde, Ain) in *La Géographie*, 15 déc. 1903.

E. FLEURY : Le chaudron latéral ; forme particulière de l'érosion par les eaux courantes, in *La Géographie*, 1907.

FR. AHLBORN : Über den Mechanismus des Hydrodynamischen Widerstandes, in *Abhandlungen aus dem Gebiete der Naturwissenschaften*, Naturwissenschaftlicher Verein in Hamburg, 1902. (Etude très détaillée des tourbillons superficiels, accompagnée de magnifiques planches photographiques et de croquis).

une fois de plus, un bon prétexte pour l'exploitation des étrangers. Qui n'a pas eu l'occasion d'en visiter quelques-unes pendant un voyage en Suisse ?

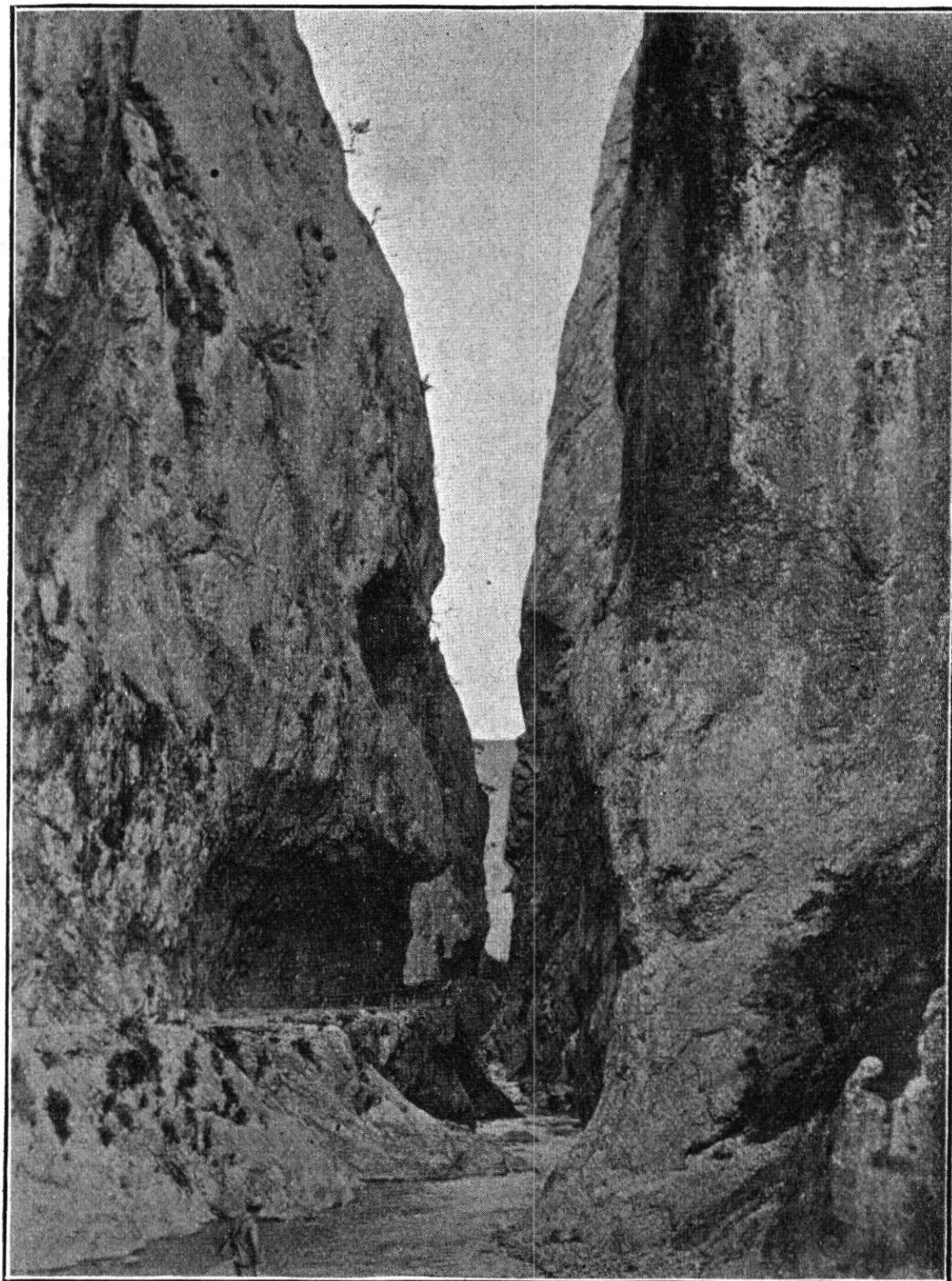


Fig. 2. LES CLUES DE BARLES, ENVIRONS DE DIGNE.

Type de cañon rectiligne ou gorge profonde.¹

¹) Voir E. A. MARTEL: Le profil en long du Grand Cañon du Verdon, avec 1 fig. dans le texte et 6 phot. hors texte, in *Annales de Géographie*, 15 Novembre 1908.

L'Aar, en amont de Meiringen, traverse le Kirchet dans de magnifiques gorges ; le torrent de Grindelwald en forme une à sa sortie du glacier inférieur du même nom ; l'Areuse en creuse de très belles en traversant le Jura Neuchâtelois. Sont pareillement remarquables celles de la Valserine près Bellegarde (France), les gorges du Reichenbach, celles de la Tamina en amont de Ragatz et celles du Trient en amont de Vernayaz etc.

Il y aurait encore bien d'autres exemples : les deux versants des Alpes nous en fournissent beaucoup et non seulement les Alpes mais tous les autres massifs montagneux en possèdent. Au reste si le travail des tourbillons est le facteur érosif principal dans la formation des gorges que nous avons brièvement rappelées, surtout pour les roches compactes, en certains cas il ne suffit pas à lui seul pour expliquer la formation des cañons.

En effet on constate alors l'absence presque complète des vestiges tourbillonnaires et il faut en demander l'explication à un autre ordre de causes.

Si l'on cherche dans la géologie de la région, on aperçoit parfois que les roches dans lesquelles le torrent a creusé son lit profond, sont des roches fendillées en tous sens, tantôt naturellement, tantôt par les pressions et dislocations subies et à cause de cela même très attaquables par le seul mécanisme de l'érosion régressive. Cependant nous croyons pouvoir considérer ce dernier cas comme exceptionnel.

Ce travail est déterminé par une masse d'eau considérable et par un niveau de base maintenu souvent très bas par le soulèvement lent et contemporain du plateau lui-même.

Les géologues citent comme prototype de ce phénomène le Grand Cañon du Colorado dans l'Amérique du Nord¹,

¹⁾ Voir les superbes planches « Panorama from point sublime » du Grand Cañon, in *United states Geological Survey, J. W. Powel, Director — Atlas to accompany the territory History of the Grand Cañon District.*

De LAPPARENT: *Traité de géologie*, 5^e édit. Vol. I: Phénomènes actuels (déjà cité).

lequel, avec ses affluents, a donné le nom générique à cette forme d'érosion fluviale. A cause de l'horizontalité et de la nature des couches géologiques du plateau du Colorado et du manque complet de végétation, l'impression qu'il laisse à ses visiteurs a quelque chose de féerique. Son originalité est telle que rien ne lui est comparable. La hauteur verticale de ces immenses escaliers qui en constituent les rives atteint jusqu'à 1800 m. !

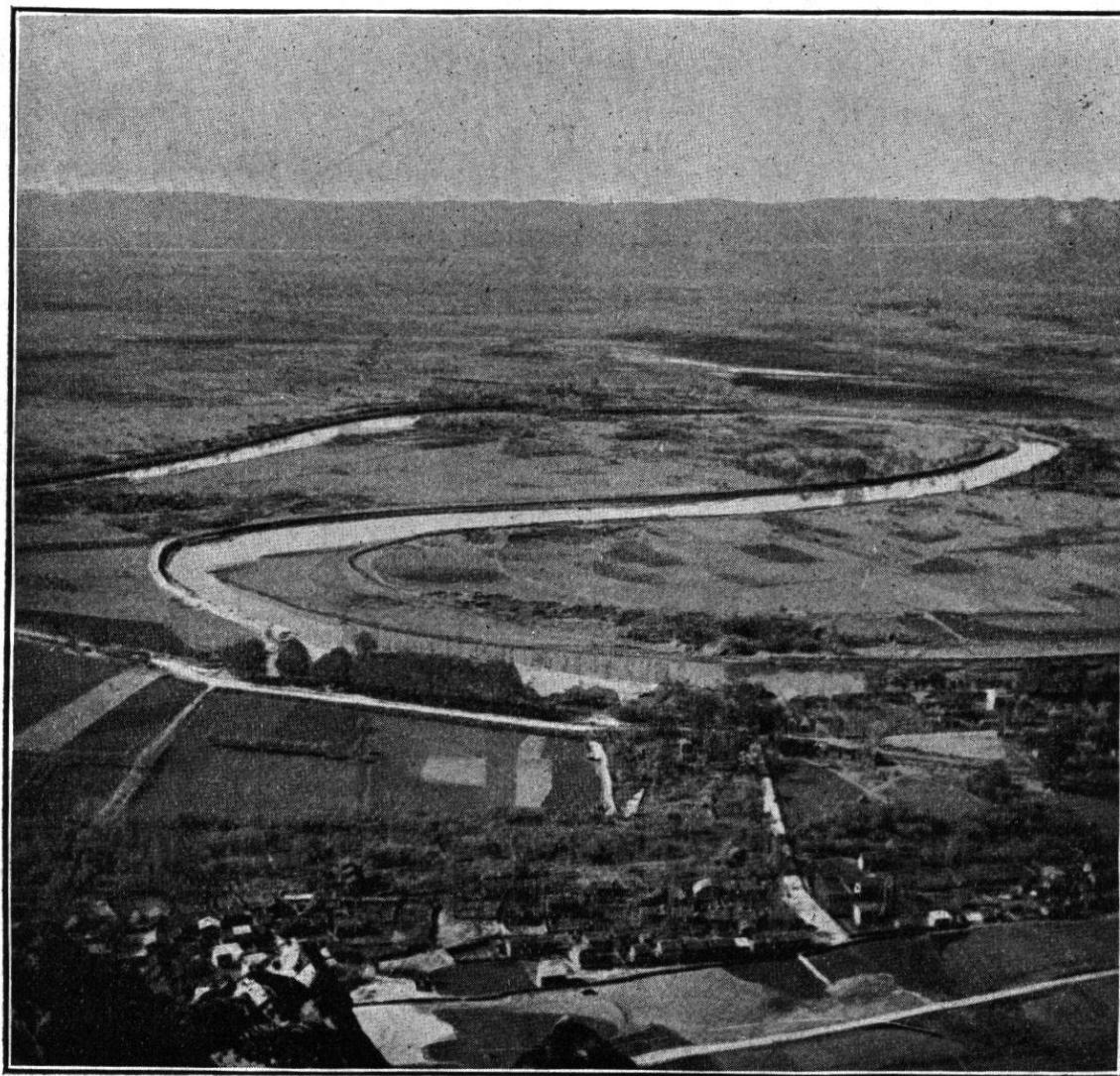
L'aridité de la région dans laquelle ce cañon s'est formé lui permet de conserver encore dans son intégrité primitive ses formes d'érosion, attendu que dans un pareil cas ce gigantesque travail se serait accompli en une longue période de siècles, tandis que des formes analogues, sous un climat humide, démontrent la jeunesse du cours d'eau qui les a formées, car alors on a la preuve évidente qu'au travail de creusement en profondeur n'a pas encore succédé le travail d'élargissement de la vallée par sapement, et que de plus, le ruissellement superficiel n'a pas eu le temps d'entamer les deux rives. Ici jouera un rôle très appréciable le facteur constitué par la résistance de la roche. Il suffit de nous rappeler comment un Oued saharien se forme dans le sable en quelques heures sous l'action d'une forte averse, ou bien quelle force érosive peut développer un petit torrent de montagne, dans un dépôt morainique par exemple, si une raison quelconque lui vient augmenter considérablement sa masse d'eau et d'une façon subite. Il opérera alors le transport d'une quantité de matériaux dont on ne l'aurait jamais cru capable et pourra même causer de terribles débâcles¹.

§ 3 Rivières à méandres divagants.

Un certain nombre de fleuves qu'on peut considérer comme étant parvenus à atteindre leur profil d'équilibre, se mettent à décrire une série de divagations ou méandres

¹⁾ Voir PAUL GIRARDIN : La débâcle du Charmaix aux Fourneaux, dite « éboulement de Modane (23 juillet 1906) » in *La Géographie*, 1906.

sur le fond de leur vallée relativement très large. L'eau coule paresseusement à travers ces méandres d'une rive à l'autre de la vallée. Par un mécanisme que nous aurons l'occasion d'exposer plus loin, ceux-ci s'agrandissent et se déplacent vers l'aval, un peu comme un serpent en marche ; ils arrivent de cette façon à aplatis complètement le fond de la vallée.



(Phot. Dr Jacot Guillarmod.)

Fig. 3. UN DES MÉANDRES DU JEHLUM
près de *Srinagar* (Cachemire) vu depuis le « *Takht-i-Soliman* »¹

¹) Ayant eu l'occasion de visiter le Cachemire avec l'expédition Bullock-Workman 1908, nous avons admiré dans la plaine de *Srinagar* les magnifiques méandres du Jélim qui nous ont paru typiques. Nous adressons nos meilleurs remerciements au Dr Jacot Guillarmod pour cette photographie qu'il a bien voulu nous fournir et qu'il a prise en avril 1902.

Le cas est fréquent où les méandres de ces rivières arrivent à s'entrecouper en abandonnant les vestiges de l'ancien cours délaissé. C'est bien cet ensemble de phénomènes que l'on est convenu d'appeler l'*évolution* des méandres.

Cependant ce travail s'opère plutôt lentement, de manière que l'aspect général de la vallée, le manteau végétal bien développé et l'absence de séries régulières et importantes des terrasses sur le fond, dénotent l'extrême vieillesse de ces rivières. Plusieurs rivières du Nord de la France, y compris la Seine présentent par places ce caractère.

A titre d'exemple je renvoie à un ouvrage déjà cité : M. Supan y donne (p. 496) un croquis de la Theiss près de Zenta et de Kis-Köre.

M. W. M. Davis¹ donne des croquis d'un très haut intérêt, et que je me permets de reproduire ici.

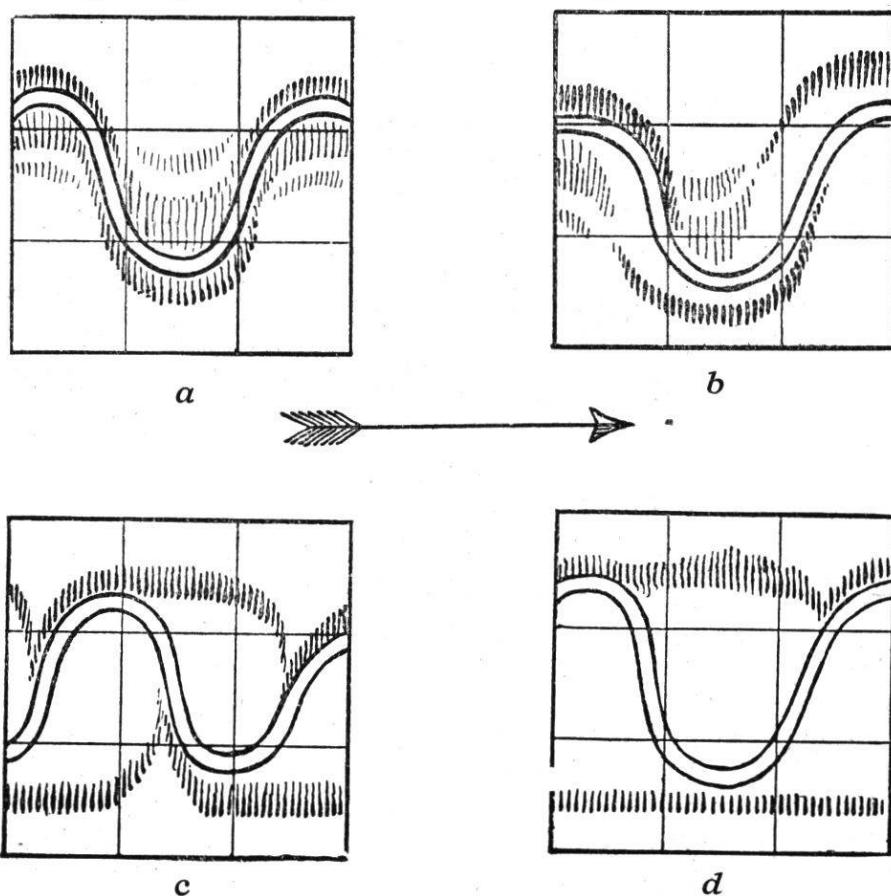


Fig. 4. CROQUIS SCHÉMATIQUES

DÉMONTRANT LA MIGRATION DES MÉANDRES VERS L'aval.

¹⁾ W. M. DAVIS : The drainage of Cuestas in *Reprinted from*

Ils figurent schématiquement le cas d'une rivière qui, après avoir formé une grande vallée, se trouverait appauvrie par une capture. Si à ce moment un soulèvement lent de la région se produit, la rivière commencera à creuser une nouvelle vallée, mais cette dernière à méandres. Puis le soulèvement cesse ; le travail d'approfondissement s'arrête avec lui ; alors commence le travail d'élargissement. Les méandres n'ayant plus la force de s'agrandir resteront dans le même rayon, mais ils se déplaceront de l'amont vers l'aval (*migration* des méandres), rongeant ainsi petit à petit les éperons, les amincissant et finalement les détruisant (voir croquis). Nous retrouverons un phénomène analogue dans la Sarine à propos de ses méandres mais à un stade très jeune. D'autres magnifiques exemples sont les méandres actuels et abandonnés du cours inférieur de l'« Adda », (affluent de gauche du Pô et du Pô lui-même « Isola Serafina » v. F. 60 de la carte au 1 : 100 000 déjà citée), et de la Seine à Rouen. Ces derniers cependant seraient plutôt des méandres encaissés, mais à un stade de vieillesse avancée.

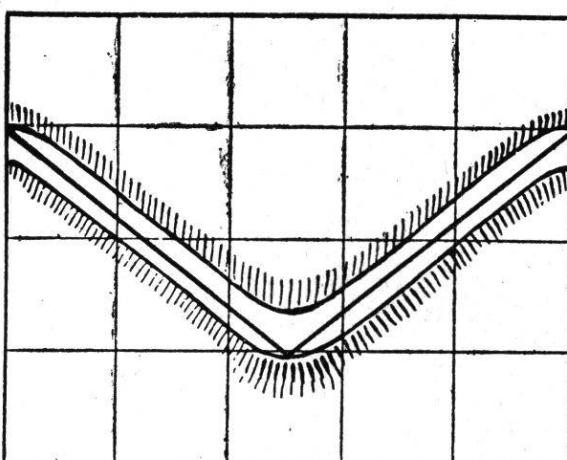
Les plaines d'alluvion offrant ce caractère se trouvent représentées en très grand nombre dans toutes les parties du monde. Il en existe de très vastes et elles jouent le rôle, peut-être le plus important au point de vue de la géographie humaine.

§ 4 Rivières à méandres encaissés.

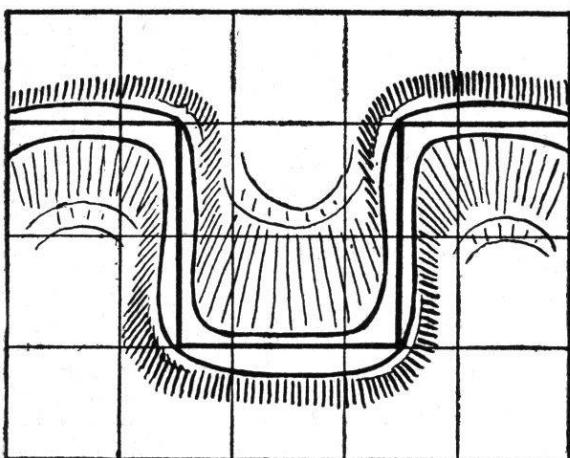
Après les trois phénomènes géographiques que nous venons d'étudier, nous abordons l'examen général du dernier groupe de rivières, celles à méandres encaissés qui nous intéressent ici plus spécialement. Dès qu'il y a méandre encaissé on constate toujours une forte dissymétrie des versants : la rive convexe à pente très adoucie, le plus souvent étalée en terrasses, et la rive concave à pente très raide.

Cela tient à ce que le cours d'eau en même temps qu'il s'encaisse, c'est-à-dire qu'il creuse en profondeur, tend à agrandir l'amplitude du méandre grâce à un mécanisme explicable par les lois de la pesanteur.

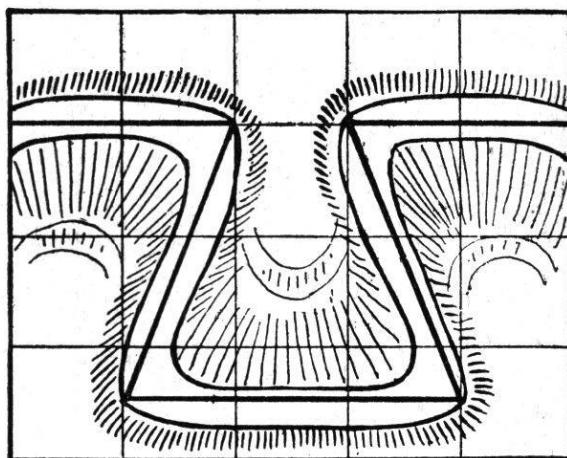
L'eau tend en effet à poursuivre son chemin droit devant elle ; elle ira frapper sous un certain angle, la rive qui fait face à sa direction ; celle-ci la renverra sous le même angle à un point quelconque de la rive opposée et ainsi



a



b



c

Fig. 5. RENVOI THÉORIQUE

DU COURANT DANS LE TRAVAIL DES MÉANDRES ENCAISSÉS

de suite. De sorte qu'en voulant schématiser la ligne que parcourt le courant dans les limites de son lit à méandres, on obtient une ligne brisée dont les sommets des angles touchent alternativement ou l'une ou l'autre rive. Si l'on examine ce schéma, il est facile de concevoir que le

travail avançant, les angles de cette ligne se font de plus en plus aigus. Mais la force vive du courant ne reste pas inactive. Elle exerce toujours à la même place du tournant une érosion plus ou moins puissante, suivant la nature de la roche, la masse d'eau, la pente, et ces phénomènes actifs d'érosion font reculer, peu à peu, la rive en la démolissant par sapement. C'est de cette façon que le méandre s'accroît et que le cours d'eau se déplace de la rive convexe vers la rive concave, suivant la ligne oblique marquée par la pente douce de la rive convexe, comme on l'a toujours expliqué. Cependant à l'étudier en détail, le mécanisme qui détermine l'*évolution* des méandres encaissés n'est pas aussi simple qu'il le paraît au premier abord. Il faut arriver à expliquer aussi de quelle manière le méandre affecte la forme circulaire en boucle, cherchant à se couper et à se rejoindre par les deux bouts, aussi bien par celui d'amont que par celui d'aval.

Si l'on est préoccupé de rechercher la cause qui produit ce fait, l'examen de la ligne brisée que nous avons mentionnée nous en donnera facilement une première solution. Son point maximum de puissance érosive coïncidera alors avec les deux points du pédoncule du lobe, lorsqu'ils cherchent à se rapprocher. En somme par la détermination de la différente intensité d'érosion aux différents points, on pourra généralement avoir l'explication de toutes les formes de méandres. Une raison analogue nous expliquera comment le méandre se déplace de l'amont vers l'aval.

Tout ce que nous venons de dire est fort compréhensible si on suppose le méandre déjà esquissé dans ses courbes primitives ; mais plusieurs se demanderont à quoi il faut attribuer l'origine des méandres encaissés. Pourquoi en somme cette rivière plutôt que cette autre affecte un parcours à méandres encaissés au lieu de creuser une vallée ordinaire ?

Théoriquement les causes originelles des méandres encaissés peuvent être multiples, mais toutes assez faciles

à concevoir : soulèvement orogénique de la région ou de la pénéplaine sur laquelle une rivière divagante, déjà vieille, est forcée de reprendre un nouveau cycle d'érosion ; ce serait le cas de la Seine¹ et de la Meuse.

Il y aurait encore pour expliquer l'existence des méandres bien d'autres causes d'ordre géologique, géographique et topographique ; l'énumération en serait trop longue et, disons-le, un peu trop hypothétique. Practiquement le problème varie dans chaque cas particulier et présente des difficultés beaucoup plus grandes. Il est d'autant plus difficile qu'il appartient au passé dans la vie de la rivière, qui en a généralement effacé les vestiges pendant son travail d'érosion et d'évolution. M. le prof. Jean Brunhes en examinant les ravins si nombreux en Algérie, soit dans la région des Hauts plateaux, soit dans les plaines sablonneuses du Sahara a pu se rendre compte maintes fois que les méandres ont une origine souvent différente.

Tout cours d'eau violent et brusquement produit (comme c'est le cas de tous les *Oueds* temporaires dus à des orages ou à des averses), opère son travail de creusement par *régression*. Et c'est pourquoi un cañon profondément encaissé aboutit brusquement vers l'amont à une simple rigole qui coule, pour ainsi dire, à la surface-même du territoire si fortement raviné dans la région d'aval. Le passage brusque du ravin à la rigole marque le point, où s'est arrêté le travail de régression ; et rien ne révèle mieux que le cas présent, cette loi capitale de la géographie physique.

Il est facile de concevoir que dans ce travail de creusement rapide, aucune cause ne sollicite le filet ou le cours d'eau à creuser une fente rectiligne ; au contraire ce cas serait anormal et incompréhensible, car les moindres irrégularités dans la résistance du terrain et les moindres caprices dans l'alimentation du cours d'eau le feront dé-

¹⁾ W. M. DAVIS : Voir note 1, p. 94.

vier, et dès qu'une déviation légère est produite, il y a toutes chances pour qu'elle se développe d'après le même procédé que le méandre.

De tout ce que nous venons d'exposer il résulte clairement qu'une condition nécessaire pour la formation des méandres encaissés est que le niveau de base soit très bas par rapport à la région que parcourt la rivière. Nous avons cité plus haut les terrasses comme un des faits caractéristiques de ces rivières : elles sont formées par des à-coups dans la force érosive de ces cours d'eau. Deux ordres de causes peuvent les produire : causes météorologiques ou géographiques qui influent sur l'alimentation du cours d'eau ; causes géologiques qui ont pour effet d'en changer la pente ou d'en faire varier le niveau de base.

Avant de finir ce chapitre il nous reste encore une question à éclaircir qui me semble assez délicate.

Pourquoi et comment le *méandre* n'est-il pas la forme *générale* de chaque rivière, dès qu'elle forme un coude ou qu'elle décrit une courbe quelconque ?

C'est, on le voit, la question inverse de celle que nous nous étions posée un peu plus haut, quand nous nous demandions pourquoi les rivières n'ont pas une allure plutôt rectiligne. Nous n'avions trouvé à vrai dire aucune réponse directe et certaine à cette question et elle me semble difficile à donner.

N'aurait-on pas une réponse satisfaisante si l'on pouvait rechercher et établir, dans la formation des méandres le *rapport*, ou *relation* qui doit exister entre la résistance de la roche d'une part, et la puissance d'érosion de l'autre ?

Concrétisant cette idée, supposons une rivière dont nous connaissons la force vive du courant f qui est constante et dont au contraire la résistance de la roche r est variable.

1^o Dans un premier cas r est très résistant par rapport à f , alors la rivière ne pouvant pas opérer de travail, restera stationnaire.

2^o Dans le second cas r est très faible et par le fait

même f détruira en peu de temps tous les éperons qui pourraient éventuellement se former le long du cours de la rivière et celle-ci gardera une allure grossièrement rectiligne.

Considérons maintenant le cas inverse, c'est-à-dire une rivière, dont r serait constante et f variable :

1^o f se trouve trop faible par rapport à r , de sorte que la rivière ne pourra opérer dans son cours aucun changement.

2^o Si au contraire f est très puissante elle aura le même effet que dans le 2^{me} cas précédent, produisant une rivière à cours relativement rectiligne.

Or entre les deux cas supposés, soit dans la première hypothèse, soit dans la seconde, on trouve une série de termes de transition. Et précisément l'ensemble de ces termes constituera le *rapport* ou *relation*, favorable à la formation des méandres¹. A mon avis ce *rapport* serait seulement théorique, car il est impossible de calculer pratiquement la valeur exacte des nombreux facteurs qui entrent en jeu. C'est ainsi, je crois, c'est-à-dire par l'appréciation, même approximative, de la valeur de ce « rapport » qu'on pourrait comprendre et expliquer l'allure à peu près rectiligne des rivières ordinaires et le fait que la présence des méandres proprement dits est une exception pour les terrains qui ne sont pas particulièrement favorables à leur développement.

Considérations comparatives. Les rivières à *méandres divagants* et celles à *méandres encaissés* se manifestent par tout un ensemble de phénomènes identiques et comparables ; cependant les deux genres de formes se trouvent très bien distingués par les conditions naturelles dans lesquelles ils se produisent. La rivière à *méandres encaissés* est une forme toujours *jeune* ou *rajeunie*, (niveau de base très bas) tandis que les mé-

¹⁾ W. M. DAVIS : déjà cité p. 94.

andres divagants, par le fait même qu'ils peuvent facilement divaguer et se couper, se trouvent déjà à un stade de vieillesse par rapport à leur profil d'équilibre. Or, basée sur la constatation de la migration des méandres vers l'aval, la vie d'une rivière à méandres encaissés doit forcément aboutir à une rivière à méandres divagants, dans une vallée relativement vaste qui rappellera plus ou moins par sa forme le profil en U des vallées glaciaires. Mais nous tenons à ajouter que nous sommes bien loin de vouloir reconnaître par là, l'origine de toutes les vallées à méandres divagants ; nous constatons au contraire que c'est l'exception, car les cas fréquents que nous connaissons s'expliquent généralement d'une façon différente, comme nous l'avons vu dans un des chapitres précédents.

Les rivières à *gorge profonde* ou *cañon* constituent une forme bien différente des deux premières ; cependant elles ont un trait commun avec l'une des deux, celui d'être encaissés, et on pourrait presque dire que les *méandres encaissés* sont des *cañons divagants*, accompagnés de la caractéristique de la dissymétrie des rives, conséquence naturelle dûe au fait que la rivière divague en s'approfondissant.

Quand on essaye de classer ces formes géographiques de l'érosion, on voit comment on peut en obtenir une, par la fusion de certains caractères appartenant aux formes voisines ; tout s'y passe, pour ainsi dire, jusqu'à une certaine mesure, par évolution, comme dans le règne végétal ou animal.

Quant aux *rivières zigzagantes à branches multiples*, nous les avons ainsi appelées pour qu'elles soient nettement distinguées ; elles doivent être classées dans une catégorie à part, un peu éloigné du groupe que nous venons de considérer, car leurs *coudes* et leurs multiples *zig-zags* dans les grèves ne doivent jamais être confondus ou comparés avec les méandres proprement dits.

II.

LES MÉANDRES DE LA SARINE

§ 1 La Sarine et le Plateau.

Il ne sera pas inutile de faire précéder ce chapitre, objet principal de notre travail, de quelques unes des notions générales et élémentaires sur l'ensemble géologique et géographique de la Sarine et de la région qu'elle parcourt.

La Sarine¹ prend sa source dans le canton du Valais et sort à l'altitude de 2358 m. du glacier de Zanfleuron² qui se trouve entre l'Oldenhorn au Nord et la Tour St Martin au Sud. La longueur totale de son cours, y compris les méandres, est d'environ 119 Km. 5. La

¹⁾ Voir *Dictionnaire géographique de la Suisse* (S. Sorciero Schwyz) : *Sarine*, p. 420.

²⁾ P. GIRARDIN : Quelques cas de diffluence des glaciers actuels ; ce que signifie la ligne de partage des eaux en haute montagne. In « *La Montagne* », Revue du Club alpin français, octobre 1908.

A propos du Glacier de Zaufleuron, au col du Sanetsch, Valais, l'auteur écrit : « Lors des levés de la carte Dufour et Siegfried, le glacier comprenait deux langues, tributaires, l'une de la Sarine, c'est-à-dire du Rhin, l'autre de la Morge, c'est-à-dire du Rhône. La langue du glacier était donc à cheval sur la ligne de partage des eaux de l'Europe. Cet état de choses a cessé depuis quelques années seulement, d'après H. SCHARDT et F. NUSSBAUM. Aujourd'hui, seul l'affluent de la Morge fonctionne, la branche de la Sarine est barrée par une moraine frontale de retrait, et la source apparente de la Sarine est au Sanetschhorn. Mais en réalité, les eaux glaciaires de cette langue continuent de rejoindre souterrainement la Sarine. Le schéma ci-contre rend compte, d'après les indications de H. Schardt, de cette disposition. Nous avons eu connaissance dans le pays d'un troisième émissaire souterrain qui débouche dans la Morge par l'orifice d'une grotte et qui ne fonctionne que pendant les grandes chaleurs ».

pente moyenne générale en est de 1,5 % ; celle de la partie du cours qui correspond à la traversée du plateau suisse est de 0,5 %. Le cours tout-à-fait inférieur qui finit au niveau de base constitué par son confluent avec l'Aar, près de Mühleberg à l'altitude de 463 m., a une pente beaucoup moindre encore, car alors la Sarine coule sur unamas considérable d'alluvions récentes, et se trouve maintenue dans ses rives par de longs travaux d'endiguement. L'étendue superficielle de l'ensemble du bassin de réception est d'environ 3060 km².

La quantité d'eau annuelle qui tombe sur la région de ce bassin peut être évaluée d'une façon approximative et générale à 1 m. 495 mm. par m². Au total on aurait une chute de 1 440 000 000 m³ d'eau sur ce bassin ; mais le coefficient de déperdition ferait diminuer du 20 % environ la masse d'eau annuelle qui entre dans l'Aar. Le régime général annuel de la Sarine se traduirait normalement par une période d'étiage au commencement de l'hiver et une période de crue au commencement de l'été. En chiffres ronds, elle a 200 jours d'étiage et 100 jours de crue ; le nombre restant appartient au *module*.

C'est en octobre et par les jours de *bise* (vent du Nord) froide et sèche que la Sarine est réduite à son plus petit débit.

Cependant la Sarine, étant surtout une rivière de montagne, abstraction faite de quelques affluents du Plateau sur sa partie inférieure, est loin d'offrir une régularité constante ; elle se rapprocherait plutôt d'un régime torrentiel.

Toutefois son débit minimum permet encore de l'utiliser comme force motrice d'importantes usines électriques et offre la possibilité d'exécuter d'importants travaux d'accumulation au moyen de réservoirs.

M. A. Gremaud, ingénieur cantonal, a publié en 1905 une intéressante note¹ où il fait remarquer les changements

¹⁾ AM. GREMAUD: *Changements survenus depuis quelques années*

survenus depuis quelques années dans le régime des basses eaux de la Sarine.

En 1869 la commission technique chargée d'examiner le projet des installations de la Société des Eaux et Forêts, avait arrêté à 16 m^3 le débit de la Sarine. En 1880, par ordre du Conseil Fédéral, on a exécuté le jaugeage des principaux cours d'eau de la Suisse, et la Sarine n'avait alors que 9 m^3 .

Mais en 1904, commencement de décembre, d'après le limnimètre du pont de St Jean à Fribourg, la Sarine était tombée à 7 m^3 .

Plus loin M. Gremaud écrit : « Il résulte de ce qui précède que le régime des eaux de la Sarine s'est sensiblement modifié depuis une dizaine d'années : les hautes eaux atteignent un niveau moyen moins élevé durant l'été et l'automne, mais ce niveau est beaucoup plus variable que précédemment. En ce qui concerne les basses eaux, les courbes sont assez semblables, mais celle de 1894 à 1904 reste toujours au-dessous de celle de 1883 à 1903 ; donc le niveau des basses eaux a baissé d'une manière assez sensible. »

L'auteur attribue ces changements à des causes multiples ; nous ne citerons que les plus importantes. D'abord on a fait de nombreux travaux d'assainissement et de drainage qui facilitent l'écoulement rapide des eaux de pluie ; ensuite les longs tunnels qui ont été construits, nécessités par les Usines électriques, ont augmenté les chances d'évaporation et d'infiltration et on a dû capter et drainer quelques sources préexistantes sur les flancs de la vallée ; mais la cause capitale, force nous est encore de la chercher parmi les nombreux méfaits du déboisement qui s'opère sur une vaste échelle depuis une dizaine d'années dans le bassin de la Sarine. Il serait temps de comprendre la gravité des désavantages occasionnés par l'œuvre imprévoyante du déboisement. Il y a là vérité

tablement une question vitale et on le comprendra plus facilement si l'on songe aux malheureux pays qui en ont déjà éprouvé les terribles conséquences !

Pour donner une idée suffisamment exacte du débit de la Sarine, je reproduis les graphiques des années 1907 et 1908 (établis par l'Entreprise Thusy-Hauterive¹) qui représentent assez bien dans leur ensemble la moyenne de plusieurs années. Cependant la crue du mois de décembre 1907 est exceptionnelle. Elle a été produite par une pluie subite, mais surtout par un coup de föhn, vent local, chaud et qui entraîne une fusion rapide des neiges. Il est curieux de voir sur ces graphiques un phénomène qui se reproduit toujours avant et après une crue violente de la Sarine. Il est figuré et exprimé par une extension et même une descente de la courbe, immédiatement avant et après la «pointe».

Comme aperçu géologique² je rappellerai qu'après la formation du grand synclinal entre le système alpin et le Jura appelé aussi «Auge subjurassienne», la mer mi-ocène à l'époque tertiaire est venue déposer la molasse marine (hélvétien) dans toute la partie centrale de la Suisse. Peu de temps après le plissement alpin a fait basculer vers le Nord le plateau molassique y produisant quelques légers plissements. Sur la molasse marine existent par places des nappes plus ou moins considérables de molasse lacustre; mais cette roche offre la même résistance à l'érosion. L'étude des gisements ne semble que

¹) J'adresse ici mes meilleurs remerciements à Mr Maurer, ingénieur en chef de Thusy-Hauterive et tout spécialement à Mr Weber, ingénieur de cette entreprise, pour les deux documents et les renseignements qu'ils ont bien voulu me fournir.

²) R. de GIRARD: *Les Alpes Fribourgeoises*. Extrait de la *Revue des questions scientifiques*, Louvain, Janvier 1898.

R. de GIRARD: *Notice géologique et technique sur les produits minéraux bruts du canton de Fribourg*. Rey & Malavallon, Genève, 1896.

M. MUSY: *Le canton de Fribourg; Esquisse d'Histoire naturelle*, Fragnière Frères, 1891.

d'une médiocre utilité pour la question qui nous occupe. Pour finir, à l'époque quaternaire se sont produites les quatre grandes glaciations qui, en recouvrant entièrement le plateau, lui ont imposé, par leur travail, une physionomie extérieure nouvelle, c'est-à-dire, une topographie glaciaire très caractéristique¹.

La Sarine dans sa traversée du plateau, coupe transversalement plusieurs chaînes de collines molassiques ; cette rivière est pourtant bien postérieure à la formation de celles-ci puisqu'elle a pu les couper et a trouvé un écoulement à travers les moraines et les collines rabotées, grâce au travail antérieurement opéré sous les glaciers eux-mêmes.

§ 2 Les méandres encaissés de la Sarine.

C'est seulement le cours moyen et inférieur de la Sarine, à travers le plateau molassique suisse, depuis Pont-la-Ville jusqu'à Laupen, qui est à méandres encaissés.

La distance entre ces deux points et plus exactement entre le pont de Thusy et le confluent de la Singine, est en ligne droite de direction générale N. N.-E. — S. S.-O., d'environ 30 km. Au contraire la distance entre les mêmes points mesurée au milieu du cours d'eau est de 51 km.

J'ai voulu signaler de suite ces chiffres pour que le lecteur pût apprécier l'importance du développement des méandres formés par la Sarine.

Voici d'autres chiffres importants :

Altitude de la surface de l'eau au pont de Thusy :	640 m.
Altitude au confluent de la Singine :	437 m.
Différence de niveau :	153 m.

Or, connaissant la distance mesurée sur la rivière entre ces deux points, nous en calculons la pente générale qui est de 3,006 %.

¹⁾ M. KONCZA : *Contribution géographique et topographique à l'étude des cirques de montagnes, (Alpes Fribourgeoises et Tatras-Carpates)*.

Mais il nous faut tenir compte de la rupture de pente de 12 m. du Barrage à Fribourg, qui se trouve à l'altitude supérieure de 560 m. à 28 km. de distance de Thusy, et à 23 km. de la Singine :

Pente entre Thusy et Fribourg :	2 m. 857 0/00.
Pente entre Fribourg et la Singine :	2 m. 772 0/00.
Moyenne des deux parties :	2 m. 814 0/00.

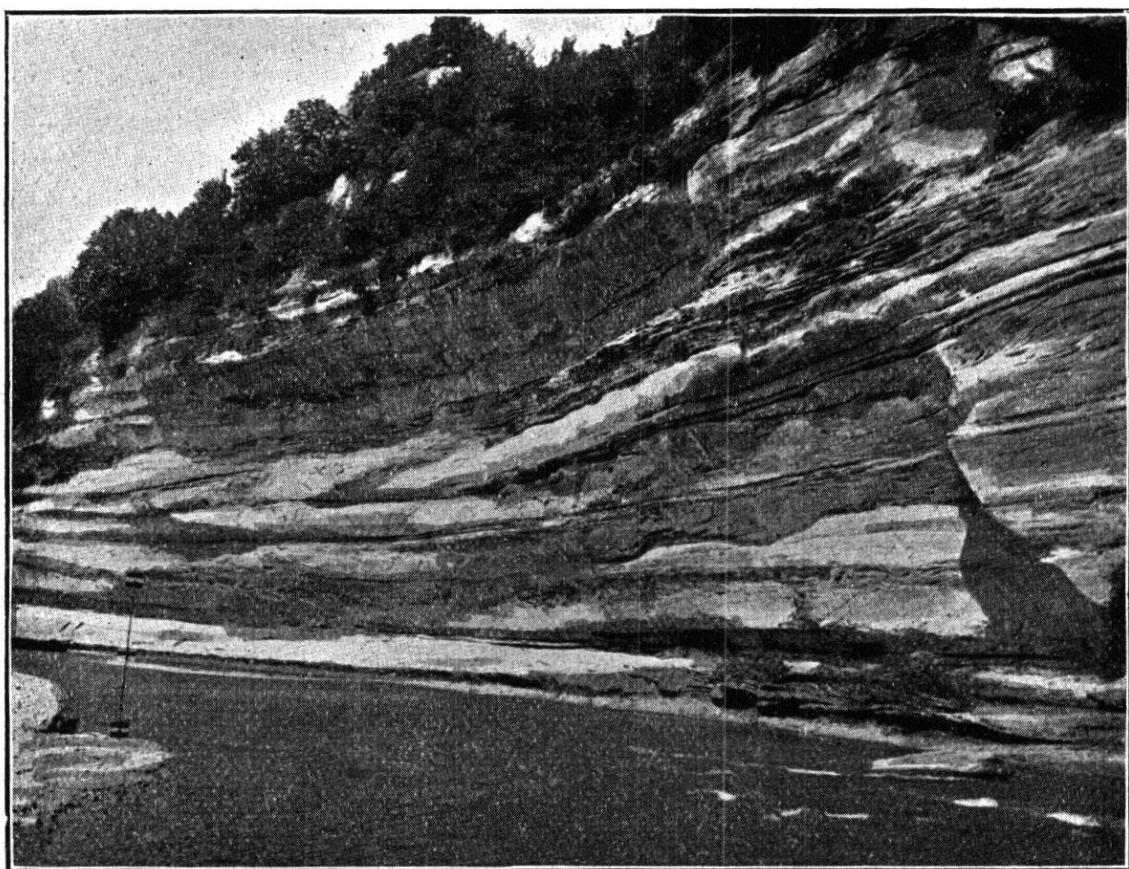
Sur ce parcours on compte 18 méandres proprement dits. 16 de ceux-ci se développent vers la rive gauche et seulement 2 vers la droite et encore, le développement de ces derniers est relativement très peu avancé.

Par rapport à l'origine des méandres de la Sarine nous avons déjà répondu indirectement plus haut, mais nous pouvons ajouter d'une façon plus précise, que dans ce cas particulier l'explication est donnée par la topographie glaciaire qui a forcé l'eau à passer parmi les mamelons et les sinuosités ébauchées sous les anciens glacières en s'accroissant en méandres et en boucles suivant un procédé analogue à celui que nous avons étudié. La Sarine, à son origine, a dû ressembler à une rivière zigzagante dans les dépôts fluvioglaciaires qui recouvrent le plateau, mais dès qu'elle a pu atteindre la molasse, la formation de véritables méandres a commencé, grâce au fait que cette roche offre une résistance à l'érosion favorable au développement de ce phénomène. Il faut ranger dans les mêmes conditions que la Sarine d'autres rivières du versant N. et du versant S. des Alpes, qui, après le retrait du glacier, ont dû se creuser un lit à cañon et souvent à méandres encaissés, comme c'est le cas pour quelques rivières du Tessin.

Le creusement de la vallée de la Sarine, géologiquement parlant, est très jeune. A moins qu'une partie de son cours n'ait été déjà ébauchée à la fin de la dernière glaciation ou sous la glace elle-même, comme cela nous semble très probable, on peut dire que dans l'ensemble la vallée de la Sarine est postglaciaire. D'ailleurs les caractères topographiques extérieurs eux-mêmes révèlent très nettement la jeunesse de cette rivière.

Quand on considère la Sarine il suffit d'avoir présentes à l'esprit les lois générales de l'érosion fluviale, pour être frappé par trois faits qui caractérisent son âge.

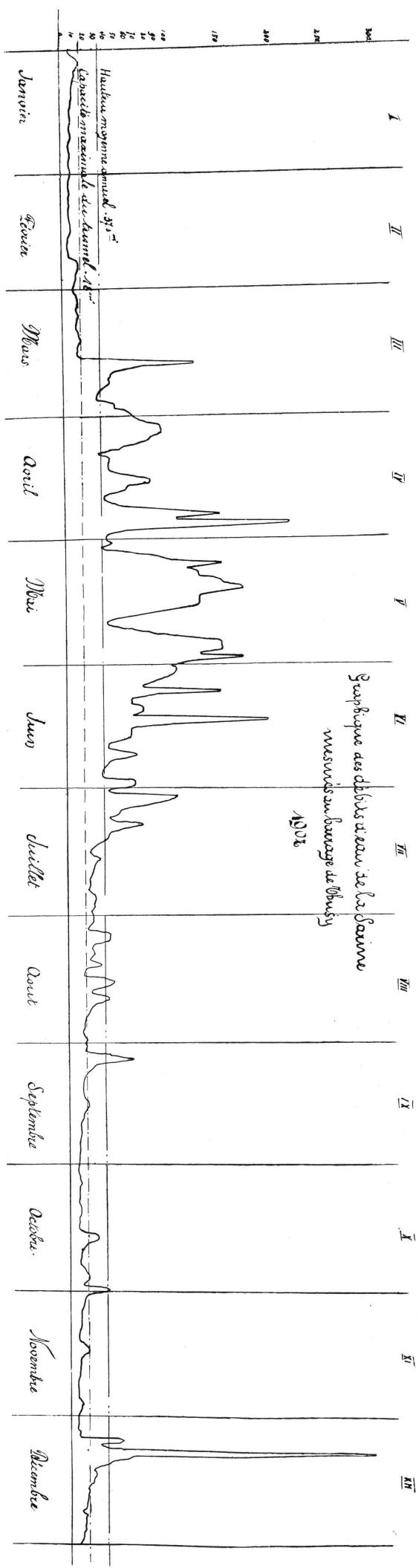
Premièrement, par l'à-pic des parois rocheuses et la raideur des flancs de la vallée ; ensuite par le fait qu'elle a une très faible influence sur la morphologie de la partie du plateau qu'elle parcourt ; et enfin par la vitesse de son courant.



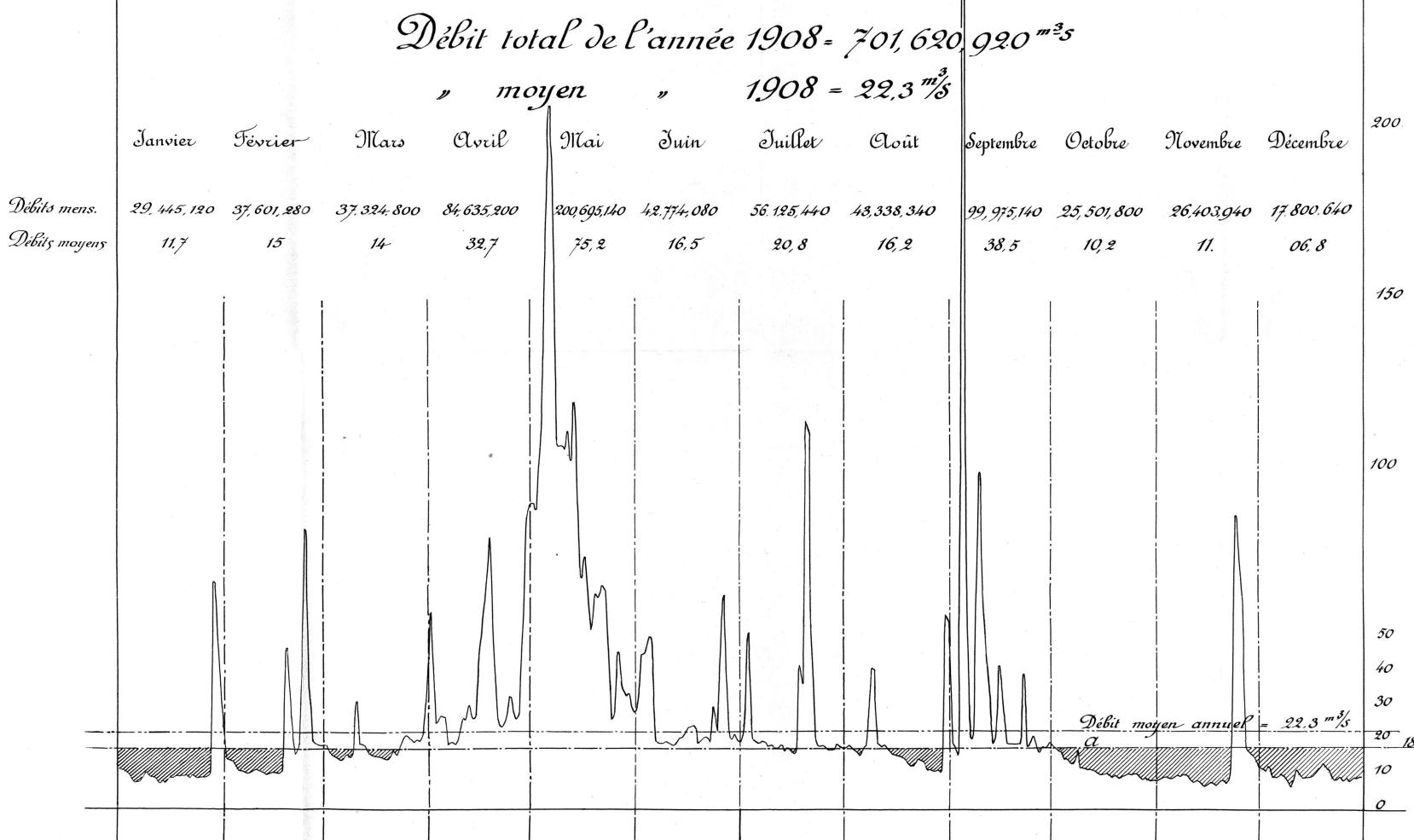
(Phot. C. Calciati.)

Fig. 6. EXEMPLE D'UNE GRANDE PAROI SURPLOMBANTE
RIVE DROITE DE LA SARINE (en amont de la boucle I).

Ces trois faits qui ne sont pas les seuls, sont pourtant les principaux et les plus significatifs et tous les trois ils nous démontrent à l'évidence une même chose, à savoir que la Sarine est encore au premier stade de son travail, celui d'approfondissement de sa vallée et n'a pas encore eu le temps d'en opérer l'élargissement. Voilà pourquoi d'un point quelconque du plateau, situé même



Entreprise Thusy-Hauterive
 Graphique des débits d'eau de la Sarine
 mesurés au barrage de Thusy en 1908



très près de la vallée, l'oeil d'un observateur ne se douterait pas qu'il a, à une petite distance de lui, une rivière de 90 m. de profondeur.

Cet approfondissement continu du lit de la Sarine a été la cause d'un travail très actif dans ses affluents, produisant une quantité considérable de captures sur des affluents d'autres rivières du plateau¹ qui ont dû travailler moins rapidement.

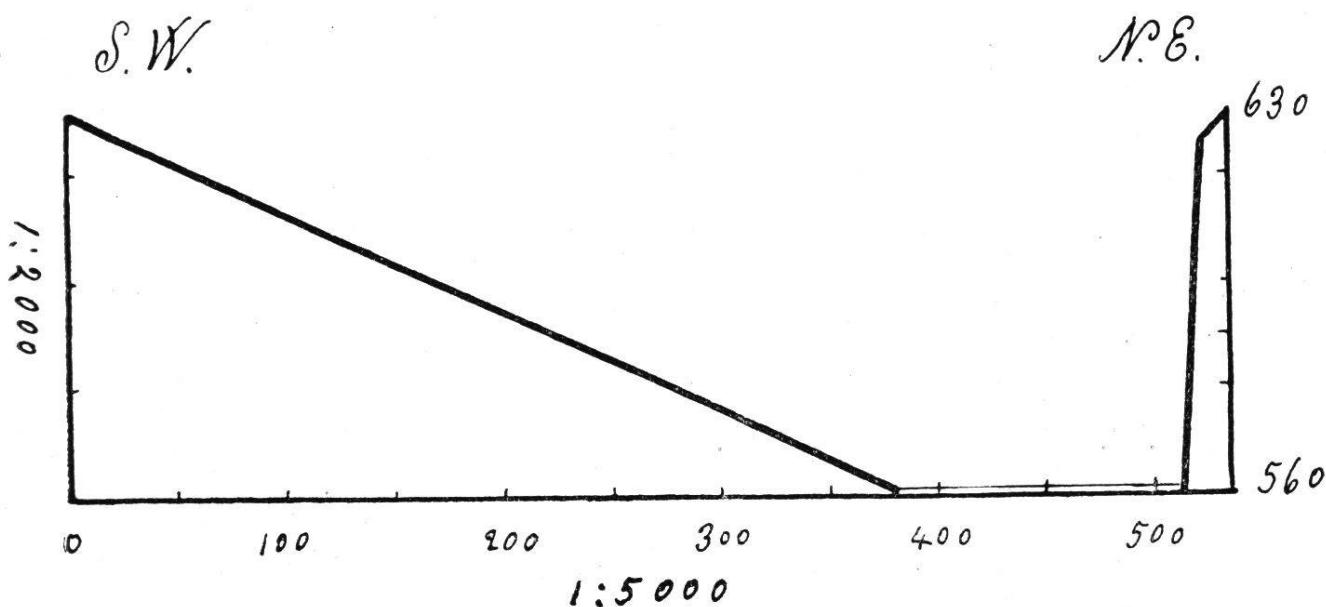


Fig. 7. COUPE TRANSVERSALE

de la vallée de la Sarine « Scierie - Breitfeld », démontrant l'importance de l'encaissement à pic. (D'après le plan de Fribourg au 1 : 5000.)

Petits ravin. Mais pendant que ce travail s'opérait dans la Sarine la partie haute des rives, qui se trouve naturellement à découvert depuis un plus long temps, ont été le théâtre de l'activité des *eaux sauvages*. Le résultat de cette activité est, pour ainsi dire, en miniature, mais par places, d'une netteté surprenante.

Il existe tout le long de la partie supérieure des rives

¹⁾ Dr G. MICHEL: Contribution à l'étude des cours d'eau du plateau suisse; Les coudes de capture du pays fribourgeois, in *Mém. de la Soc. des Sciences nat.*, Vol. VII, Géologie et Géographie, Fragnière Frères, Fribourg, 1909.

et très souvent aussi sur les parois molassiques qui n'ont pas reculé trop rapidement, (comme ce serait le cas pour les parois de Lorette, du Barrage...) une série de petits bassins de réception, de vallées en miniature qui impriment aux courbes de niveau une dentelure très continue¹. Une description expressive est assez difficile, le croquis complétera la démonstration.

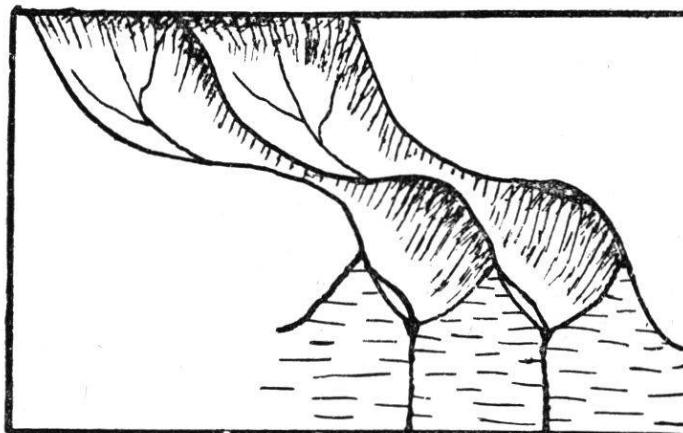


Fig. 8. Schéma de deux petites têtes de ravin, ou vallées suspendues, sur les parois molassiques de la Sarine.

Ce sont de véritables petites vallées suspendues, mais très mutilées, car des trois éléments principaux il n'en reste plus qu'un seul, le bassin de réception, le canal d'écoulement se trouvant constitué par la chute à-pic de la paroi dans la Sarine.

Elles se forment collées les unes aux autres et séparées par une crête qui, étant de plus en plus érodée, s'abaisse dans son milieu et tout se passe en petit, comme pour la migration des versants et la formation des cols. Ces cols ont pour effet de laisser en saillie un bout de la crête vers la Sarine, en forme de pyramide à trois faces d'un effet assez curieux.

Il n'est pas rare de trouver aussi plusieurs de ces petits bassins de réception superposés en escalier et cha-

¹) Il est très regrettable qu'un levé topographique au 10 000^{me} ne puisse pas rendre à cause de la raideur des versants, cette fine dentelure en festons de certains endroits des rives de la Sarine.

cun très nettement délimité. Souvent les vallées supérieures se bifurquent, et toujours d'une manière fort nette. Toutes sont tapissées d'herbes, et traduites en courbes de niveau, celles-ci paraîtraient en forme de feston¹.

Il existe une série d'exemples de ce phénomène sur la rive droite de la Sarine, entre le petit Vindig, près Fribourg et le pont de Grandfey. On les rencontre avant d'arriver au pont par le sentier qui longe la côte dans le bois. Dans ces endroits la pente est généralement très raide. Nous avons essayé d'en marquer le caractère sur les parois molassiques de notre levé et on pourrait les considérer peut-être comme le commencement d'un ravin affluent ou bien, par places, ils nous aident à comprendre la formation des «lanternes».

Terrasses. On a appelé quelquefois terrasses ces accumulations de «Fluvioglaciaire» qui se trouvent sur le plateau suisse et que les torrents ont dû fouiller et remanier au début de leur formation. Mais les terrasses dont nous voulons parler sont strictement fluviales ; elles se font suite de l'amont vers l'aval et de haut en bas dans le cours de la Sarine, finissant par se confondre avec les grèves de formation actuelle. Toute formation de terrasses est dûe à des changements de régime de la rivière. La chronologie des faits implique toujours, dans des proportions très variables, d'abord un creusement en profondeur et en largeur, ensuite un alluvionnement et finalement un creusement vertical qui achève le gradin très raide de la terrasse. Supposons que ces phénomènes se répètent, espacés d'une période de repos relatif et nous voyons comment se vérifie la succession des terrasses.

Bien souvent une simple crue saisonnière ou accidentelle peut donner lieu à des terrasses considérables.

¹⁾ Il y a là une certaine analogie avec les formes étudiées par le Dr L. J. ROMAIN: *Contribution à l'étude des cours d'eau du plateau fribourgeois; Ravins et têtes de ravins.* Imp. Barbier, Léon Maréchal sr, r. Dr Chaunier 5, Dijon, 1908.

Dans la Sarine, à méandres encaissés, nous distinguerons volontiers deux catégories différentes de terrasses : à la première appartiendraient celles qui se trouvent en corrélation directe avec l'accroissement des méandres, et conséquemment étalées sur les rives convexes sous une forme semi-lunaire, toujours analogue et distribuées le long de chaque rive alternativement et en *quinconce*. A la seconde on pourrait rattacher toutes les autres généralement de moindre importance, qui se trouvent le long du cours dans les parties rectilignes et irrégulièrement distribuées.

Entre les deux rives il n'est pas difficile d'établir la correspondance des terrasses, laquelle cependant ne peut pas être rigoureusement exacte, car leur formation non plus, n'est pas toujours rigoureusement contemporaine, mais appartient seulement à une même période, et cela surtout pour les terrasses de la seconde catégorie.

A Fribourg, par exemple, on peut distinguer une correspondance d'altitude très nette entre trois groupes de terrasses : les quartiers qu'on appelle Maigrauge, Neuveville, les Planches, l'Auge, les Neiges et ceux du Bourg et de Montorge et encore entre ceux du Collège St Michel et de Lorette, respectivement séparés par une partie plus raide qui serait traduite par le Stalden et la Rue de Lausanne.

Par ces terrasses qui ont leurs correspondantes partout ailleurs le long du cours d'eau, on a la révélation de trois périodes différentes d'érosion dans la vie de la Sarine, mais il ne faut pas croire que ces trois périodes correspondent à trois cycles d'érosion différents. L'hypothèse qui me paraît la plus probable consiste à les attribuer aux vicissitudes glaciaires de la fin de la dernière période.

Probablement aussi, pourrait-on expliquer l'un de ces stades de creusement, en en cherchant la cause dans la géologie de la région, où on a cru pouvoir reconnaître l'intervention relativement récente d'un mouvement de bascule du Sud au Nord subi par l'ensemble du plateau molassique

suisse. Ce mouvement aurait eu un effet analogue à celui de l'abaissement du niveau de base, entraînant ainsi divers phénomènes dans la vie des cours d'eau du plateau, comme par exemple l'assymétrie dans le réseau hydrographique entre les deux rives du bassin de la Sarine¹.

Des **éboulements** et souvent des glissements de terrain sont en relation directe avec le travail de la Sarine, soit par suite de l'agrandissement de ses méandres, soit comme simple conservation de la raideur de ses rives. Il nous serait difficile, et la question offrirait peu d'intérêt, de les signaler tous ; deux des plus importants et des plus caractéristiques des environs de Fribourg nous suffiront.

Il y a une douzaine d'années s'est produit un énorme éboulement d'une partie de la paroi de rocher molassique sur la rive gauche de la Sarine, entre le «Magdalenenholz» appelé l'Ermitage de la Madelaine, et le viaduc de Grandfey et que l'on peut voir depuis ce même pont. Il est intéressant de constater que l'éboulement existe encore dans

¹) Nous sortirions de notre sujet si nous voulions insister sur les phénomènes de géographie humaine déterminés par les terrasses en général et par la Sarine en particulier. Nous ne signalerons ici que les faits principaux : Les parties plates et fertiles sont généralement occupées par l'établissement de maisons ou de granges qui se trouvent là parce que c'est l'emplacement le plus favorable pour les exploitations agricoles (surtout les terrasses des rives convexes). Toutes les parties en pente raide (rives concaves...) sont boisées. Bon nombre de châteaux plus ou moins anciens, (Illens, Arconciel, Glâne, Vivy...) quelques uns déjà en ruine, ont trouvé leurs fortifications naturelles sur les hautes parois de la Sarine et généralement là où celle-ci, formant une boucle, en défendait l'entrée sur trois côtés. Parmi ces châteaux il y en a vraiment de très pittoresques par leur situation étrange. J'ajouterai que la Sarine a joué le rôle d'une véritable barrière de séparation : cela tient aux grandes difficultés qu'elle offre soit à la construction des ponts, soit à l'établissement des routes de bonne communication, étant donné ses conditions naturelles.

Retenant ces questions de géographie humaine à propos même de la Sarine, et liant les faits historiques au milieu géographique, il y aurait encore à en tirer des considérations très intéressantes.

sa plus grande partie et a poussé le cours actuel de la Sarine sur sa droite, observation au sujet de laquelle nous reviendrons plus loin.

Un autre s'est produit au mois de septembre (?) 1906 ; une partie de la paroi du rocher de l'ermitage s'est éboulée, formant un volume d'environ 800 m³ (?).

Cette fois le courant a déblayé les débris de cet éboulement, s'est maintenu sur sa droite et a recommencé à éroder le pied de la paroi comme auparavant.

D'autres se sont produits à Fribourg même, par exemple à la paroi du Sonnenberg. (Voir fig. 15.)

* * *

Il ne sera pas sans intérêt de jeter un coup d'oeil rapide sur les changements survenus dans le lit de la Sarine en amont de Fribourg après l'établissement du grand Barrage de la Maigrauge.

Ce barrage, d'une hauteur de 10 à 12 m., a été construit en 1870 et a eu pour effet naturel de refouler les eaux en amont du cours. Il s'est formé en 18 heures en 1872 une accumulation de 1 000 000 m³ qu'on a appelé le lac de Pérrolles, ayant 2 500 m. de long, au fond duquel des alluvions ont commencé immédiatement à se déposer.

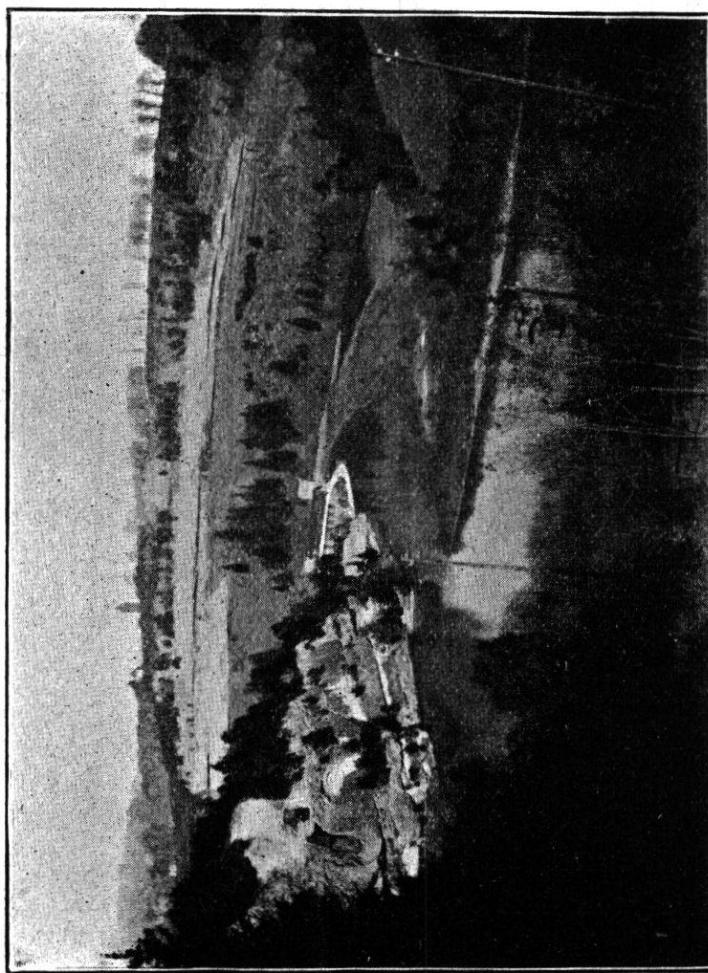
M. Ritter¹, décrivant la distribution des sédiments suivant les différentes zones de vitesse, écrit à la page 392 du tirage à part : « A l'amont du lac les graviers s'accumulèrent par couches successives formées pendant les fortes crues de la Sarine, car lors des étiages et des volumes moyens d'eau écoulée par la rivière, celle-ci est limpide et ne déplace ni limon, ni sable et encore

¹⁾ *Bull. de la Soc. Neuchâteloise des sciences nat.* Extrait du Tome XXX, année 1901 - 1902. G. RITTER: Observations et particularités techniques, géologiques et hydrologiques relatives à l'établissement du grand barrage de la Sarine à Fribourg, 1903.



Fig. 9 et 10. LE « BARRAGE » ET L'EMPLACEMENT (PARTIE AVAL) DE L'ANCIEN LAC DE PÉROLLES.

Remarquer aussi ces deux formes curieuses au bas de la paroi molassique. — Ces deux parties du méandre restent aussi parmi les plus beaux exemples d'une puissante érosion sur la droite qui en forçait l'évolution, opérant la disparition du lobe.



moins de graviers ; chaque zone de comblement a ses fortes crues et peut être figurée elle-même par un profil de répartition des matériaux étagés et talutés à peu près comme le représente le profil Fig. 15. (Ce profil accompagne ce travail de M. Ritter, voir note page 114.)

Gros gravier résistant le mieux au courant ;

Gravier moyen faisant suite au précédent ;

Graviers fins et gros sables succédant à la deuxième couche ;

Sables menus terminant superficiellement le comblement dû à la crue.

A cette masse transportée par la forte crue en succédait une seconde, puis une troisième et ainsi de suite, si bien qu'aujourd'hui, sur 400 à 500 m. de longueur, la vallée est entièrement remblayée à l'amont du lac par des amas de graviers successifs étagés comme triage, depuis les gros et moyens cailloux aux menus graviers, (comme l'indique le profil Fig. 15).

Voilà pour le côté amont du lac. Pour le reste du lac aucun gravier n'y arrivait faute de vitesse d'entraînement suffisante, mais en revanche, des masses de sables ténus et de limons l'envahissaient de plus en plus et finirent, après une quinzaine d'années de le combler entièrement. »

M. Ritter en tire entr'autres une conclusion très intéressante, disant qu'on peut d'après ces phénomènes se faire une idée approximative du temps qu'il a fallu à un cours d'eau pour combler certaines plaines d'alluvions, par ex. de l'Orbe, de la Broye, du Seeland, des marais de Cressier et du Landeron...

Pour compléter ces courtes réflexions sur la force de transport de la Sarine il nous reste à ajouter que le lit en aval du barrage s'est abaissé environ de 1 m. 50 et pour cette raison le zéro du limnimètre du pont de St Jean a dû subir la même descente¹.

¹⁾ Actuellement, juin 1909, l'Entreprise de Thusy - Hauterive est en train de terminer d'autres importants travaux hydrauliques. En amont du pont de Thusy on doit construire un barrage réservoir d'une

§ 2 Le travail de la Sarine.

Nous avons dirigé notre effort principal sur l'observation et la constatation des faits qui sont en rapport direct avec le mode de travail actuellement employé par la Sarine pour le creusement de ses méandres encaissés. En constatant ces phénomènes nous tâcherons de les interpréter dans leur formation autant que le permet l'état actuel des résultats acquis et suivant nos observations personnelles.

C'est au-dessous du filet le plus rapide du courant que se trouve la partie la plus profonde du lit de la Sarine. A cause des méandres ce filet se rapproche ou d'une rive, ou de l'autre en décrivant des courbes plus prononcées que les rives elles-mêmes¹. A la rencontre des rives nous croyons avoir constaté que le courant a des points de contact que nous appellerions volontiers « *par glissement* », car l'angle d'incidence et l'angle de réflexion sont identiques et très aigus, mais ici le travail opéré est naturellement faible² et le nombre de ces points d'attaque par *glissement* est prédominant sur la rive gauche.

longueur de 8 km. sur une largeur de 1 km. $1/2$. Ce barrage pourra contenir environ cent millions (100 000 000) de m³.

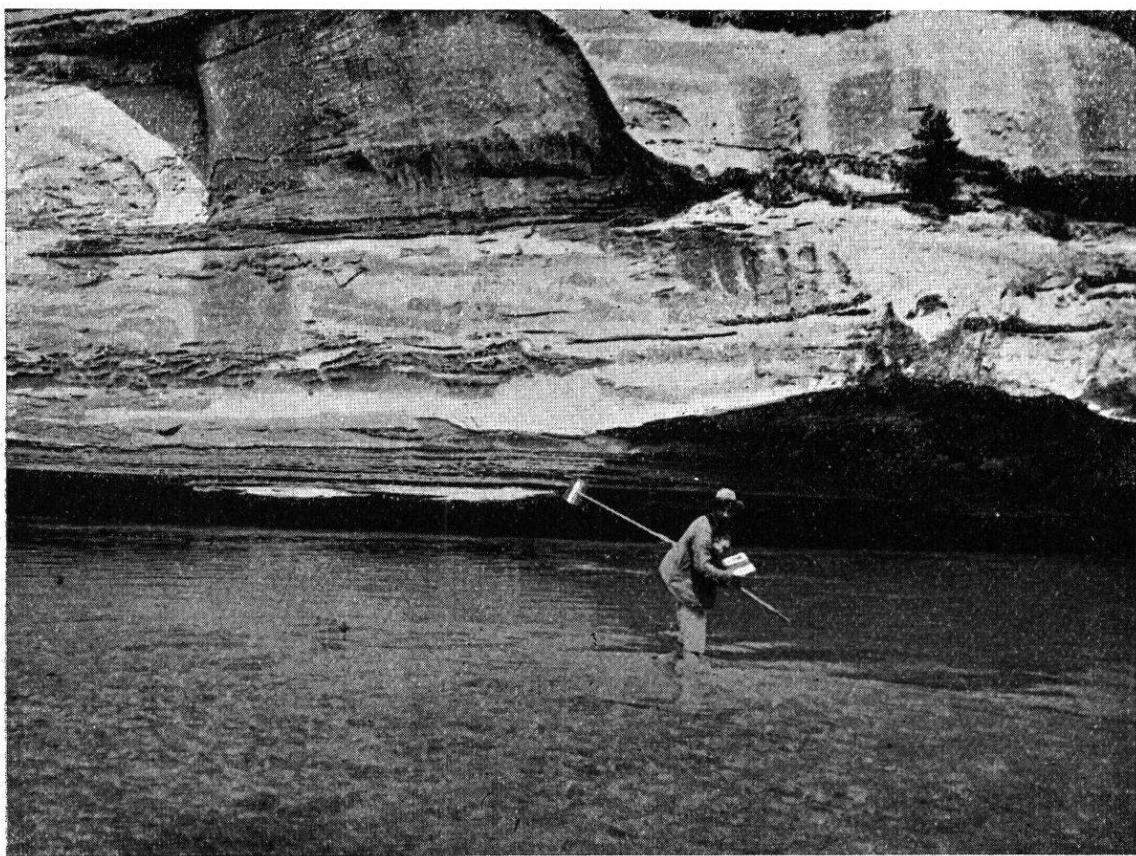
A Fribourg on a coupé le pédoncule du lobe de Montorge par le tunnel de l'Oelberg qui malgré sa faible longueur de 300 m. donnera une chute d'eau de 20 m. grâce à la surélévation du barrage déjà existant. Cette chute aura une force maxima de 6000 HP.

1) L'allure de ce filet est naturellement très variable soit après une crue, soit même en raison de la quantité d'eau qui alimente le courant; parfois il est facilement dévié par un éboulement..., nous avons choisi pour l'observer une période de basses eaux.

2) Voir P. GIRARDIN: Sur l'allure rectiligne des rives dans les cours d'eau à méandres encaissés, les torrents glaciaires et les lacs de montagnes, in *Annales de géog.* 15 mai 1908.

L'auteur avait déjà pris connaissance, non seulement de la note à l'Académie des sciences, mais aussi de tout notre travail; toutefois il interprète ces phénomènes d'une façon différente de la nôtre.

Les autres points pourraient être définis : points de « *renvoi* » après attaque du courant. Ceux-ci coïncident la plupart du temps avec les parois rocheuses qui sont directement liées au phénomène de l'agrandissement des méandres. Et alors ces parois se présentent en forme d'arc de ce cercle plus ou moins ouvert, plus nombreuses sur la rive droite, fait confirmé par les observations notées sur tout le cours à méandres de la Sarine. Cependant



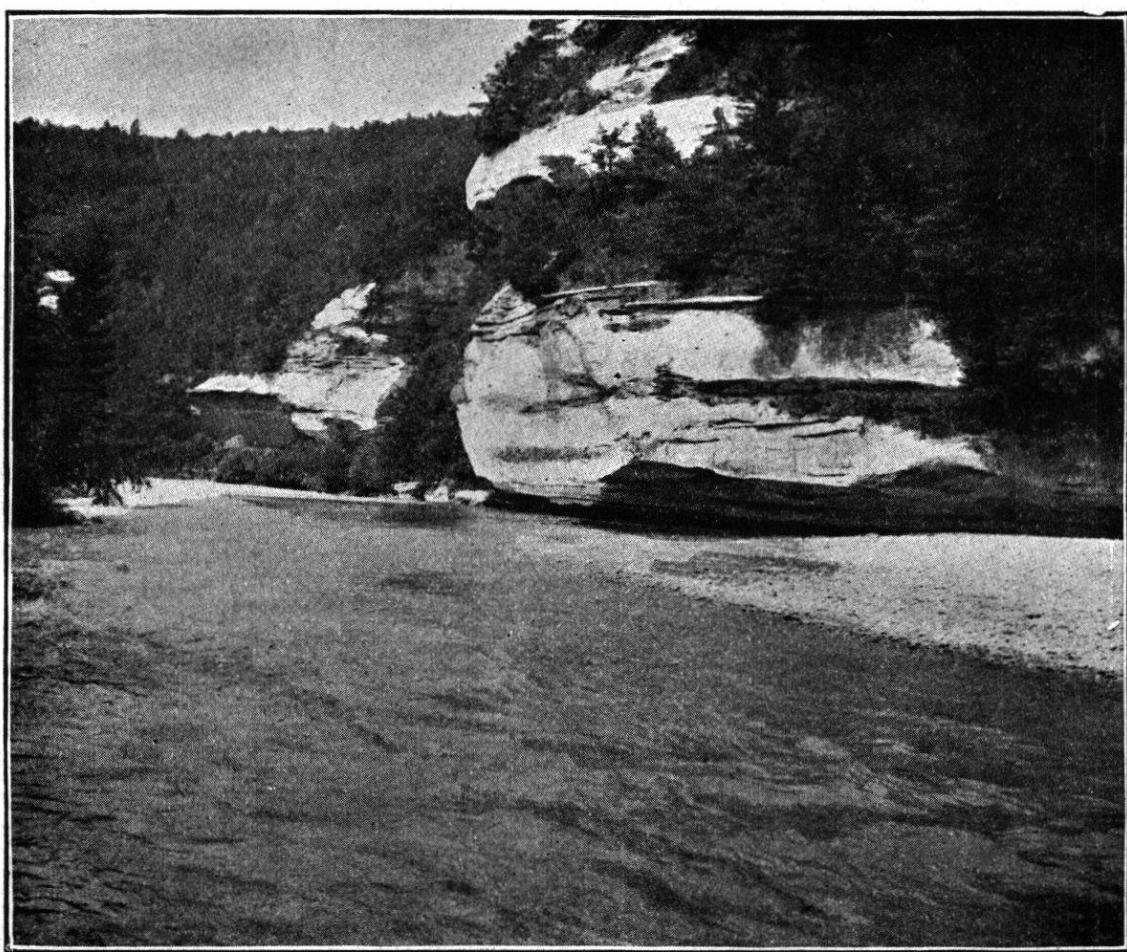
(Phot. C. Calciati).

Fig. 11. EPERON MOLASSIQUE SURPLOMBANT
côté 655 m., (Rive gauche), miné par l'érosion du courant.

il existe aussi une forme d'érosion analogue sur la rive gauche et ce sont ces éperons rocheux, s'il est permis de les appeler ainsi, d'étendue très limitée, qui, bien que attaqués par le courant d'une façon aussi directe que les grandes parois de droite, repoussent le courant presque immédiatement comme s'il avait épuisé très vite sur place la majeure partie de son énergie. Contre les parois de

droite au contraire, le courant s'acharne plus longtemps et suit la paroi pendant un certain trajet, de manière que le sommet de l'angle d'incidence et le sommet de l'angle de réflexion se trouvent séparés par une distance qui peut être de 100 et 400 mètres décrivant une courbe. (Voir levé topographique.)

Je dirais encore plus ; l'examen attentif du levé nous porte à croire que les éperons de gauche sont l'objet d'une



(Phot. C. Calciati).

Fig. 12. EPERON DE GAUCHE

en face de la boucle III, pris depuis l'aval. (Remarquer la grève).

érosion relativement très faible, à mesure qu'avance le travail de démolition dans les parois de droite et que conséquemment tout le cours de la Sarine se déplace vers la droite, abandonnant en partie le travail déjà commencé autour des éperons de gauche.

En effet qu'on examine le levé et l'on trouvera qu'un

phénomène analogue est arrivé au méandre I et aux éperons cotés 655, 635, 640 (rive gauche) bien que dans deux conditions différentes, c'est-à-dire que le courant a abandonné les parties latérales et extérieures du rocher qu'il érodait auparavant, y déposant des grèves.

Comme preuve d'un travail intense nous tenons à noter l'existence dans les deux cas d'une poche plus ou moins profonde au pied de ces falaises molassiques.

D'après les observations que nous avons pu faire par transparence à travers l'eau¹, et surtout en visitant les

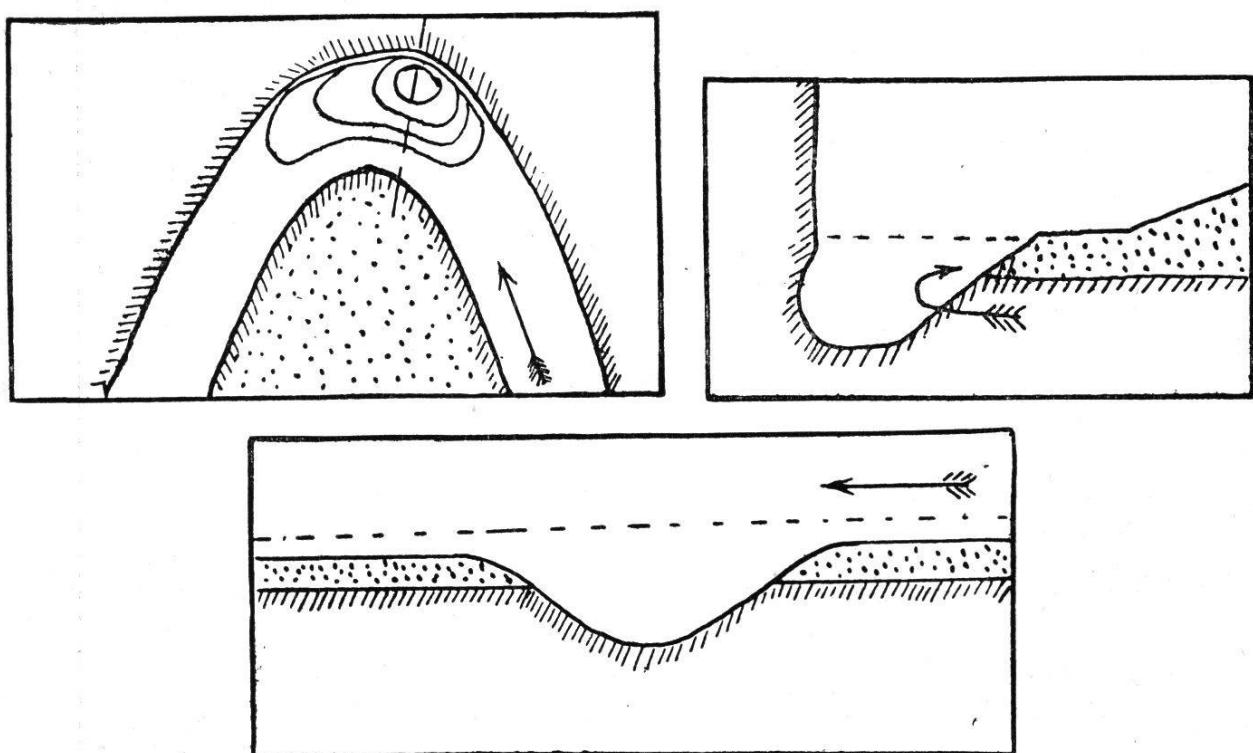


Fig. 13. CROQUIS SCHÉMATIQUES DES POCHES
en plan transversal et en coupe longitudinale.

travaux de creusement dans l'ancien lit de la Sarine derrière le quartier de Pérrolles et le Pont Neuf, travaux faits par l'Entreprise Thusy-Hauterive, nous croyons que la plupart du temps ces poches profondes existent un peu en

¹⁾ J'adresse ici mes meilleurs remerciements à MM. R. de Boccard et E. Hogg pour avoir bien voulu m'inviter sur leur bateau de pêche à descendre la Sarine, m'offrant ainsi plusieurs fois d'agréables occasions d'en étudier le courant dans son détail.

amont du sommet de la courbure ou du milieu de la paroi molassique des méandres de la Sarine.

Ces poches sont creusées dans la molasse par la *tactique des tourbillons*, c'est-à-dire par un ensemble de marmites dont les parois de séparation arriveraient à se détruire. Une de ces poches mise à découvert au débouché du tunnel de l'Oelberg laissait voir de magnifiques marmites surtout dans sa partie d'amont ; elle avait comme dimensions environ 12—15 m. de long sur 5—6 de profondeur ; la partie d'aval remontait jusqu'au niveau du lit par une pente faible.

Notons aussi un fait fréquent : la partie des grandes parois concaves qui se trouvent encore en contact avec la surface de l'eau est d'allure ondulée à festonnements symétriques et réguliers.

Bien qu'il ne soit pas encore connu d'une manière certaine comment l'eau agit pour creuser ces poches je crois pouvoir affirmer que c'est par l'action tourbillonnaire.

Pour mon compte je regarde ces formes comme étant une cause et une conséquence en même temps strictement liée à la formation et à l'agrandissement des méandres et je les explique au point de vue de leur travail de la façon suivante :

Rappelons-nous d'abord la distribution verticale et horizontale des différentes vitesses des filets d'eau dans un cours d'eau supposé rectiligne. Le filet de plus grande vitesse se trouvera au milieu et très près de la surface, tandis que les vitesses des autres filets iront en diminuant de chaque côté et de haut en bas, à cause du frottement contre les rives et sur le fond.

Supposons maintenant qu'au moyen d'un barrage nous ayons réussi à arrêter ce courant tout d'un coup et pour un instant ; observons l'allure des filets d'eau.

Le filet le plus rapide arrivera le premier et ira de toute sa vitesse se briser contre le barrage.

Tout naturellement ce filet sera immédiatement entraîné par la loi de la pesanteur et dès lors nous aurons un

mouvement tourbillonnaire de haut en bas qui opérera son action érosive, soit contre le barrage, soit sur le fond.

Maintenant si nous supposons au même courant le même barrage non pas perpendiculairement mais en biais, nous approcherions du cas dans lequel se trouvent les parois molassiques. Alors naturellement le tourbillon se produira encore, mais dévié par le côté qui lui laisse une issue, il prendra la forme d'un pas de vis ou d'un tire-bouchon placé horizontalement et retenu par le reste du courant qui survient, il suivra la paroi jusqu'à ce qu'il ait épuisé toute sa force vive et la quittera un peu plus loin en aval.

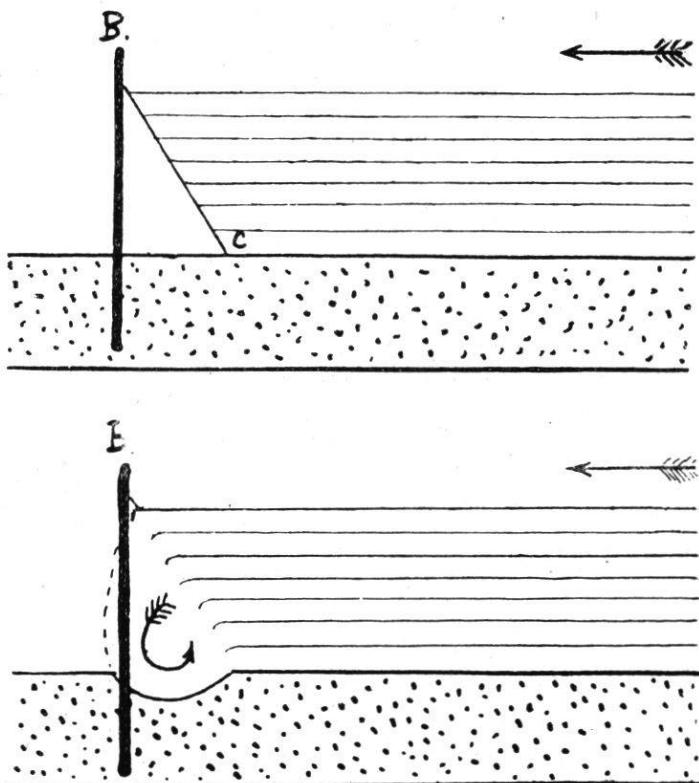


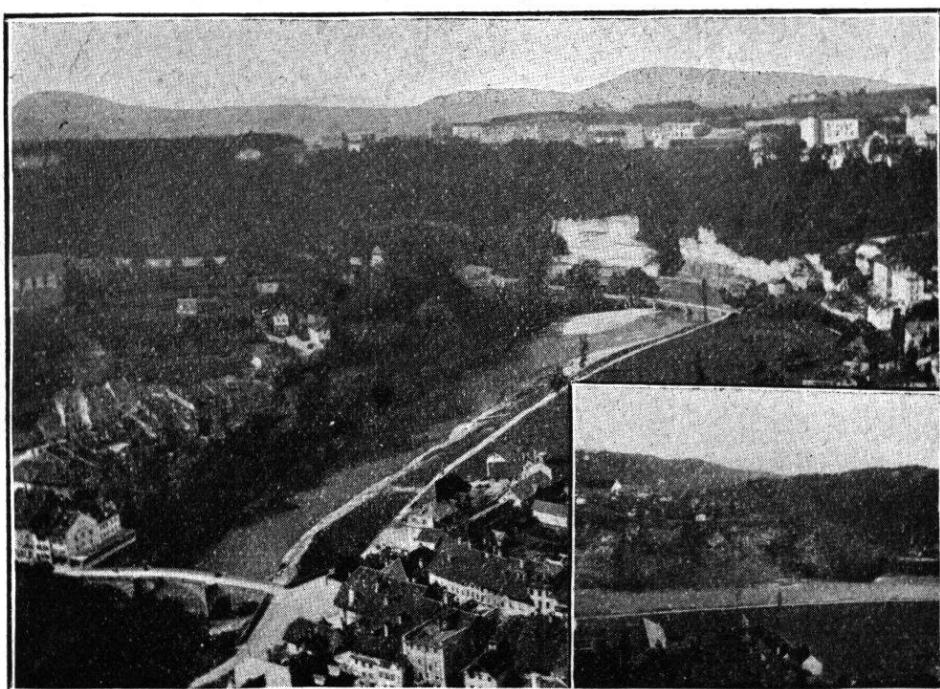
Fig. 14. Schémas de la distribution verticale de la vitesse des filets d'eau arrivant sur un barrage B., et de la formation d'un mouvement tourbillonnaire.

De cette façon se trouveraient expliqués tous les faits constatés : l'emplacement de la poche vers l'amont, car c'est au premier point d'attaque que le courant a le plus de force ; et l'allure ondulée de la paroi par le pas de vis du courant.

Malheureusement les parois concaves ne sont pas les

seules à présenter ces ondulations ; il y a aussi certaines parois d'allure rectiligne qui se trouvent dans le même cas et ces parois d'allure rectiligne sont également prédominantes sur la rive droite.

Alors nous nous demandons pourquoi le courant s'acharne à suivre et à revenir sur ces parois au lieu de les quitter immédiatement comme il fait pour la rive gauche et nous sommes portés à expliquer ce phénomène par l'influence composée de la rotation terrestre, manquant d'autres explications, comme nous le verrons dans la suite.



(Phot. C. Calciati).

Fig. 15. PAROI DU SONNENBERG A FRIBOURG
présentant deux ondulations très sensibles sur sa rive droite.

En réalité ces phénomènes sont beaucoup plus complexes et difficiles à discerner ; quant à notre interprétation, elle résulte de la synthèse d'observations très minutieuses.

Je signale en passant des formes analogues aux chaudirons latéraux¹ derrière le quartier de Pérrolles et plus

¹⁾ E. FLEURY : déjà cité, note p. 89.

en aval de Fribourg, près du viaduc de Grandfey, dans la molasse, au niveau des basses eaux, sur la rive gauche.

De plus, outre chaque méandre ou coude du courant en relation avec la zone de raccordement des deux courbures inverses, le lit se relève et s'étale en produisant une espèce de palier ou bief plus ou moins élevé qui coupe diagonalement le lit et occasionne un véritable rapide, tout comme si le courant ayant épuisé sa force de creusement, avait besoin d'une sorte de repos pour se ramasser et reprendre à nouveau son travail un peu plus loin¹.

1) Ce travail était déjà écrit lorsque j'ai voulu parcourir le volume de Mr L. FARGUE, inspecteur général des ponts et chaussées : *Hydraulique fluviale. La forme du lit des rivières à fond mobile.* Gauthier - Villars, Paris, 1908.

Les études d'amélioration de la navigabilité des rivières ne font pas partie de notre sujet, mais nous sommes heureux de pouvoir affirmer que nous sentons combien nos impressions et nos observations à propos de la Sarine se sont trouvées être relativement les mêmes pour les principaux points exposés dans le magnifique travail de M. Fargue. Nous sommes par exemple tout-à-fait d'accord sur les points suivants : p. 13 - 14 il existe une relation entre le chenal et le plan ; p 20 - 21, 1^o le maigre correspond au point d'infexion ou de surfexion ; 2^o la mouille correspond au sommet, 3^o la mouille est d'autant plus profonde que la courbure du sommet est prononcée. Mais, parlant de ces trois relations fondamentales et déjà connues en hydraulique, M. Fargue arrive logiquement à un résultat très intéressant, c'est-à-dire que le meilleur tracé d'une rivière navigable sera curviligne, et il calcule ainsi les courbes des courbures qui lui donneront le lit le plus régulièrement profond. Nous nous permettons de reproduire ici le « résumé » de M. Fargue à la p. 33 du même livre ; il facilitera la compréhension de notre travail. Nous affirmons nous-mêmes que les mêmes faits se vérifient dans le cours de la Sarine, autant que le permettent les conditions naturelles très différentes dans les deux cas.

« L'observation des faits, dans le cas particulier de la Garonne, dans le département de la Gironde, établit en résumé qu'il existe une relation entre la configuration du lit moyen et la profondeur du chenal navigable. Cette relation s'explique par les six lois empiriques suivantes :

1^o Le maigre et la mouille sont respectivement reportés en aval du point d'infexion et du sommet. *Loi de l'écart* ;

§ 3 Erosion fluviale et érosion glaciaire à propos de la Sarine.

Pour en finir avec la série d'observations générales sur la vallée de la Sarine, il se présente encore à l'esprit un chapitre qui trouve naturellement sa place ici.

C'est l'étude comparative des deux formes d'érosion fluviale et glaciaire, si bien reprises, sous une forme nou-

-
- 2^o La mouille est d'autant plus profonde que la courbure au sommet est plus prononcée. *Loi de la mouille*;
 - 3^o Dans l'intérêt de la profondeur tant maximum que moyenne, la courbe ne doit être ni trop courte, ni trop développée.
Loi du développement;
 - 4^o A longueur égale, la profondeur moyenne d'un bief est d'autant plus grande que les deux tangentes extrêmes de la courbe forment un angle extérieur plus ouvert. *Loi de l'angle*;
 - 5^o Le profil en long du chenal ne présente de régularité qu'autant que la courbure varie d'une manière graduelle. Tout changement brusque de courbure, occasionne un changement brusque de la profondeur. *Loi de la continuité*;
 - 6^o Si la courbure varie d'une manière continue, l'inclinaison de la tangente à la courbe des courbures détermine la pente du fond du chenal. *Loi de la pente du fond*. »

Toujours par rapport à la même question, voir : M. R. TAVERNIER, Considérations théoriques sur les jaugeages des cours d'eau à fond mobile, in *Direction de l'Agriculture — Annales — Direction de l'Hydraulique et des améliorations agricoles*. Fasc. 32. *Service d'étude des grandes forces hydrauliques (Régions des Alpes)*, Tome I, Paris, Impr. Nationale 1905, spécialement aux pages 169 - 175. Mr Tavernier expose les deux hypothèses suivantes énoncées par de nombreux ingénieurs : 1^o La sinusoïde du lit se déplace vers l'aval en conservant la même forme caractérisée par les deux éléments essentiels : l'amplitude et la longueur d'onde. Ce phénomène est désigné par les expressions de « cheminement ou translation des formes »; 2^o Les seuils et fosses ne se déplacent pas ou presque pas en plan, mais leur relief s'atténue ou s'amplifie tour à tour suivant l'état des eaux.

Nous sommes d'accord, comme en général tous les géographes, avec Mr Tavernier, pour croire que la 2^{me} hypothèse est sans aucun doute la plus semblable.

velle et si bien illustrée par M. Jean Brunhes, dans ses dernières notes à l'Académie des sciences¹, ses dernières conférences et publications².

Peu de temps après que les glaciologues se furent intéressés aux glaciers, ils leur attribuaient un rôle protecteur par excellence. Puis on voulut les comparer à un fleuve qui coulerait très lentement mais continuellement, et, proportion de temps mise à part, on attribuait à la glace toutes les principales propriétés de l'eau.

Mais, il n'y a pas longtemps, on était arrivé à démontrer d'une façon magistrale que le *surcreusement* pouvait être attribué dans sa plus grande partie à la glace elle-même. (Penck)

Maintenant au contraire, grâce aux théories de M. Jean Brunhes, on est porté à croire que la glace et l'eau sous-glaciaire travaillent ensemble quoique selon un procédé bien différent de celui qu'on avait cru jusqu'à présent. L'eau creuse d'abord *des deux côtés* de la vallée et le glacier achève le travail, mais la plus grande part du travail opéré reviendrait à l'eau sous-glaciaire.

Je ne vais pas m'étendre ici sur la question des deux sortes d'érosion, car on fournirait un travail considérable si l'on se proposait de résumer tout ce qui a été écrit à ce sujet.

Je me bornerai donc à résumer les idées nouvelles qui supposent la connaissance exacte des caractères distinctifs entre les deux espèces d'érosion, et qui portent principalement sur des phénomènes spéciaux et bien localisés où souvent les marques du travail de l'eau et de la glace se trouvent ensemble et se confondent.

Considérons d'abord les quatre faits suivants :

1^o Forme en V ou en U de la coupe de la vallée,

¹⁾ J. BRUNHES: *Sur les contradictions de l'érosion glaciaire*, note du 18 mai 1906.— *Sur une explication nouvelle du surcreusement glaciaire*, 5 juin 1906.

²⁾ J. BRUNHES: *Erosion fluviale; érosion glaciaire*, in *Revue de géographie annuelle*, T. I, 1906 - 1907, C. Delagrave, Paris.

2^o Concordance des niveaux de base et gradins de confluence,

3^o Paliers et biefs transversaux,

4^o Courbes fermées.

Ces quatre ordres de faits ont eu, pendant un certain temps leurs correspondants dans les deux érosions qui ne pouvaient pas être confondues ; aujourd’hui ces divers phénomènes, considérés surtout dans le travail de la Sarine, ne se distinguent plus absolument les uns des autres et ne fournissent que des termes de rapprochement entre l’érosion fluviale et l’érosion glaciaire.

En effet : 1^o au lieu du profil en V caractérisant la vallée fluviale, nous avons dans la Sarine le profil en U à bords très redressés comme dans les trogs glaciaires.

2^o la concordance des niveaux de confluence dans ce cañon à méandres de la Sarine n’existe pour ainsi dire, que par exception. Les nombreuses vallées suspendues sur les parois concaves et ailleurs le long des rives confirment ce fait d’une façon évidente. Le travail d’approfondissement de la Sarine s’opère si rapidement que si l’on enlevait l’eau on pourrait encore voir que ses affluents principaux, Sagine, Gérine, Glâne... ont leur niveau de base un peu supérieur à celui du lit de la Sarine, caractère qui a son équivalent dans l’érosion glaciaire.

3^o on sait également que les barres et les paliers successifs à travers une vallée caractérisent spécialement le procédé du surcreusement glaciaire ; cependant le lit de la Sarine se subdivise en une certaine série de ces biefs qui la traversent d’une rive à l’autre offrant un gué aux basses eaux, à l’endroit de leur emplacement, alors qu’il est impossible ailleurs de franchir le cours d’eau.

4^o la caractéristique glaciaire des courbes fermées y est représentée dans des formes indubitables, soit par ces poches profondes que nous avons déjà décrites, *surcreusées* au pied de chaque paroi, soit même par ces parties plus profondes du lit, prises entre deux paliers.

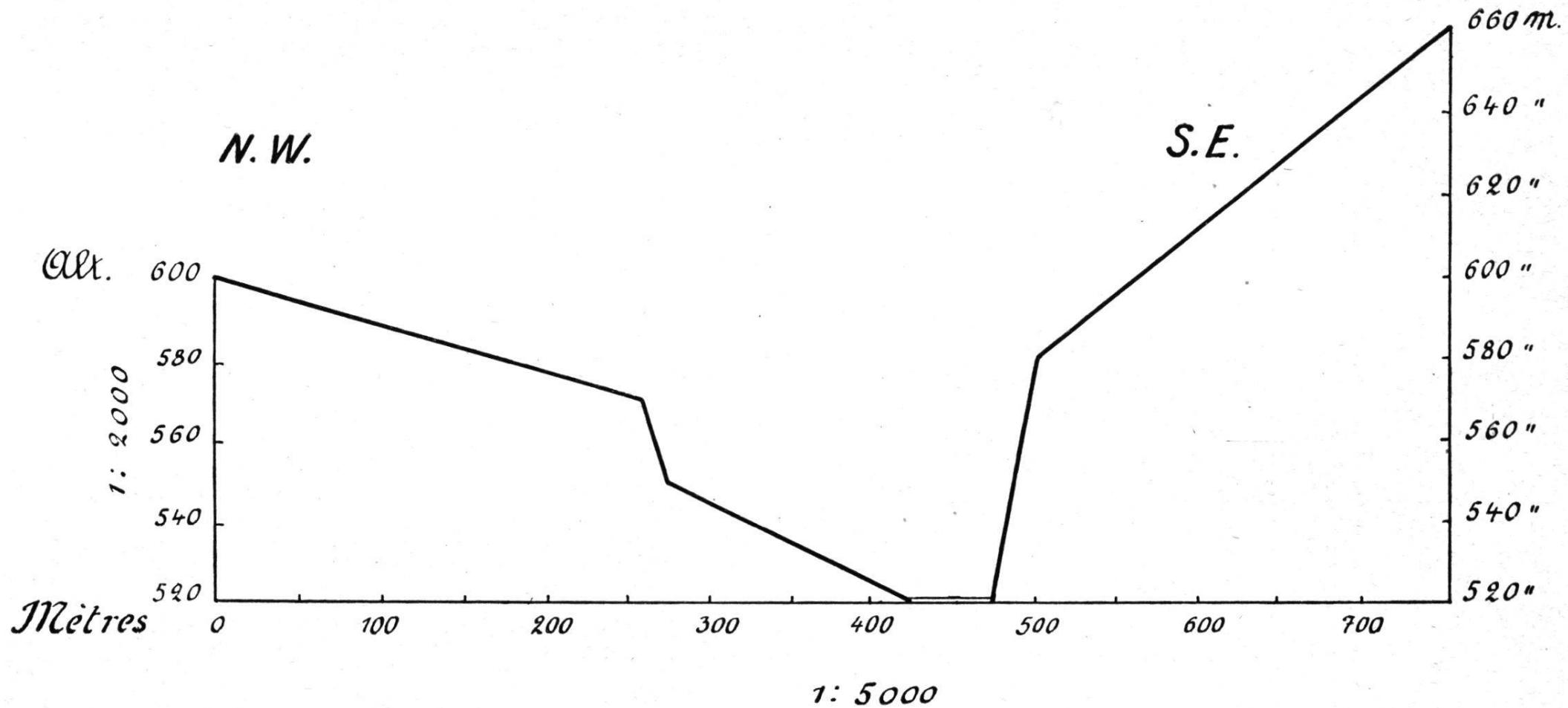


Fig. 16. COUPE TRANSVERSALE DE LA VALLÉE DE LA SARINE

« Grandfey — Kastelberg », où apparaît le profil en V (d'après le plan de Fribourg au 1:5000).

De plus, certaines îles ou grèves respectées au beau milieu du cours, ne seraient-elles pas en quelque sorte comparables aux bosses glaciaires ?

Pour illustrer ce même sujet j'ai eu l'occasion de construire, sous la direction de M. Jean Brunhes, des moulages à la cérésine de quelques formes d'érosion torrentielle en miniature et de les exprimer ensuite topographiquement par des courbes de niveau¹. Nous avons obtenu, M. J. Brunhes et moi, des courbes fermées, pour ne parler ici que de ce caractère, comparables dans leur ensemble à des effets de l'érosion glaciaire.

Quand on fait cette comparaison morphologique on sent comment les deux agents en question semblent en quelque sorte employer un même procédé d'érosion, puisque nous venons de voir combien une jeune vallée fluviale et à caractères spéciaux ressemble à certaines vallées glaciaires. Toutefois nous nous demandons jusqu'à quel point et dans quelle mesure il nous sera permis de rapprocher et de confondre au moins les effets de l'érosion fluviale d'une part, et de l'autre ceux qu'on a jusqu'à présent appelés les effets de l'érosion glaciaires.

¹) Voir la reproduction dans l'article de J. BRUNHES: *Erosion fluviale; érosion glaciaire*, p. 286-287. (déjà cité p. 126).

§ 4 Commentaire du levé topographique.

La petite carte qui accompagne ce travail est un levé topographique à l'échelle du 10 000^{me}, exécuté à la règle à éclimètre, en juillet 1907. Elle reproduit trois méandres à forme de *boucles*, parmi les plus caractéristiques du cours de la *Sarine*. Ces *boucles* se trouvent exactement en amont du pont d'Hauterive jusqu'aux environs d'Illens. Le levé, absolument personnel en ce qui concerne la partie basse de la vallée, est toujours basé sur les différentes cotes données par la carte au 25 000^{me} de l'Atlas Siegfried, feuille de Matran N° 344, éditée par le Bureau topographique fédéral suisse à Berne.

Laissant de côté les cotes du Plateau, je n'ai utilisé que les 25 qui se trouvent dans la vallée comme points de repère pour le calcul à la règle à éclimètre de mes 41 points, ce qui fera un total de 66 points, presque tous sur la rivière même. A ceux-ci il faut ajouter les points purement planimétriques qui dépassent le nombre de 120 et ont servi au tracé exact des rives et des grèves.

De plus les courbes de niveau du haut des rives et de la petite partie du plateau environnant sont indiquées par «remplissage» d'après la même carte. Néanmoins pour éviter tout malentendu, je me hâte de dire que si par places j'ai ajouté, sans avoir fait de mesures précises, quelques courbes intercalaires, je l'ai cependant fait sur le terrain même, mais seulement là où je l'ai jugé nécessaire, pour mieux faire ressortir le détail d'une petite éminence, qui peut être rendue par l'échelle du 10 000^{me} mais qui disparaît au 25 000^{me}. D'ailleurs je publie en même temps, muni de l'autorisation, un extrait de la carte topographique fédérale, certain que les deux se complètent l'une l'autre¹.

¹⁾ De même, comme carte d'ensemble, voir ci-joint une partie de la carte Dufour au 1: 100 000 de la feuille IV; partie concernant les environs de Fribourg et la région de nos méandres.

Je ferai remarquer que l'équidistance de 5 m., et la représentation d'une foule d'autres détails qu'on voit sur le terrain, n'auraient trouvé leur place que sur un levé au 5 000^{me} à cause de la raideur de pente des rives. Cependant j'ai estimé ces détails, d'ailleurs intéressants par certains côtés, superflus pour la démonstration des phénomènes qui forment l'objet de ce travail. En somme je pense que l'échelle du 10 000^{me} est bien suffisante pour représenter un ensemble topographique, relativement petit, comme c'est le cas pour ces trois boucles de la Sarine ; mais elle ne suffit plus si l'on veut reproduire certains petits phénomènes d'érosion par les eaux courantes.

Les difficultés que la Sarine offre à être topographiée à petite échelle ne doivent pas être négligées. Le bois en constitue la principale ; il empêche la visibilité de la mire, dès qu'on l'éloigne des bords de l'eau ou bien qu'on la transporte sur les bords supérieurs des parois à pic ou surplombantes. Celles-ci sont constamment boisées et le porte-mire ne peut généralement pas, à cause du danger s'avancer suffisamment pour être vu de l'opérateur qui se trouve en bas au bord de la rivière.

Ces mêmes à pics obligent encore à faire des détours considérables pour les déplacements des points, ou pour la recherche d'un gué praticable sur la rivière.

A ce propos je dois dire que, par un hasard étrange, le pont de la Tuffière a été justement fermé pendant l'exécution de la seconde partie de mon levé topographique. Un éboulement produit le matin du 12 juillet, sur la rive gauche, en avait rendu le passage dangereux.

Ces explications fournies, jetons un coup d'oeil sur les deux cartes, celle au 25 000^{me} du Bureau topographique fédéral et celle au 10 000^{me}, afin d'établir entre elles une courte comparaison.

Il ne faut pas longtemps pour s'apercevoir qu'elles se ressemblent assez (la seconde étant basée sur la justesse d'ensemble de la première) mais que le détail de la rivière elle-même y offre des différences considérables.

Et tout d'abord l'activité du travail, jeune encore, de la Sarine n'est pas rendu, par la carte au 25 000^{me}, tandis qu'on en a une impression plus exacte et saisissante sur celle au 10 000^{me}.

Je m'empresse de dire qu'il ne faut cependant pas attribuer toutes les différences seulement à l'échelle du 25 000^{me}, encore moins au manque de soins apporté à l'exécution de la carte fédérale.

N'oublions pas que la Sarine a une pente qui lui permet de travailler continuellement et qu'elle peut changer totalement son lit après une crue violente. De plus, l'établissement du Barrage de Fribourg et nombre d'autres travaux de rectification, comme nous l'avons déjà vu, ont beaucoup contribué à certains changements du régime, du travail et de ses effets, dans le cours actuel de la Sarine.

Si l'on mesure en ligne droite la longueur du tronçon de la Sarine, depuis son point d'entrée au Sud, dans la carte au 10 000^{me}, jusqu'au point de sortie au Nord, on trouve une distance réelle de 4 km. 200 m. tandis que le même parcours mesuré sur la rivière au milieu du lit actuel donne une longueur de 10 km. environ. J'ajoute que le filet le plus rapide parcourt entre les mêmes points un trajet de 11 km., soit le 10 % d'accroissement de parcours. La différence de niveau entre les deux extrémités est de 40 m. ce qui donnerait 4 m. pour 1 km. de pente.

Les trois boucles reproduites se trouvent en amont du village de Hauterive qui est à 6 km. de la ville de Fribourg. Elles sont entièrement creusées dans le grès molassique marin qui est une roche homogène, étalée en bancs horizontaux offrant une résistance à l'érosion fluviale supérieure à la moyenne et supportant très bien les à-pics et les surplombs. Je rends d'abord le lecteur attentif à ce commentaire du levé topographique car nous avons été obligés d'adopter des modes de représentation qui ne sont pas classés au nombre des signes conventionnels de la topographie.

En effet, l'examen du levé permet de voir combien ces surplombs sont fréquents et par les photographies on peut se représenter leurs caractères.

J'ai essayé de figurer ces surplombs de la manière suivante : je cesse de signaler le filet le plus rapide du cours d'eau dès l'endroit où il passe sous la partie

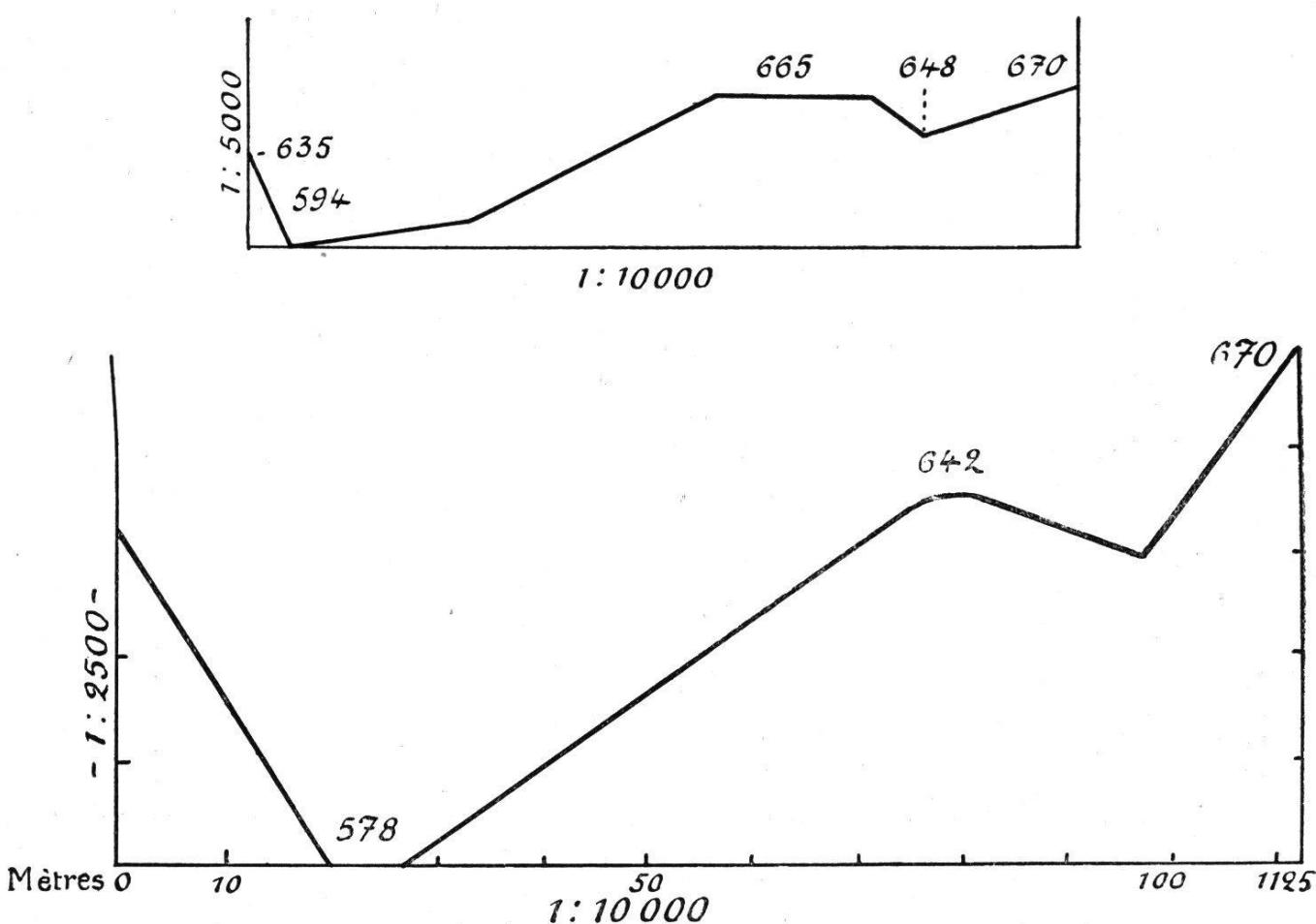


Fig. 17 et 18. PROFILS DES BOUCLES I ET III

(Voir levé topographique) montrant le commencement de la coupure du pédoncule.

des parois qui surplombent et je le représente à nouveau à sa sortie. La figuration des surplombs est légèrement exagérée, mais elle montre assez bien sous quel angle un observateur verrait depuis un point perpendiculaire et très élevé, le lit de la rivière et les parois surplombantes.

Pour démontrer la fréquence des éboulements, j'ai tâché de représenter jusqu'aux blocs relativement petits qui

se trouvaient au milieu du courant, à l'époque pendant laquelle le levé a été fait.

D'après la reconstitution approximative sur le papier transparent d'un tracé d'un des anciens cours de la Sarine, quand elle coulait à un niveau un peu supérieur à son niveau actuel, on peut se rendre compte d'une manière suffisamment nette de l'agrandissement progressif des méandres, mais surtout du déplacement général du cours de gauche à droite et de la migration, d'ailleurs encore très faible, de l'amont vers l'aval, sans oublier cependant, que entre un cours et l'autre la Sarine a pu passer par tous les intermédiaires possibles. Sur la même feuille sont indiqués les coupes ou profils transversaux avec le numéro correspondant dans le texte et sur la coupe exécutée à part.

Les profils des boucles I et III, ci-dessus sont destinés à démontrer le plus nettement possible, outre l'allure ordinaire des méandres, (paroi concave à pente très raide et

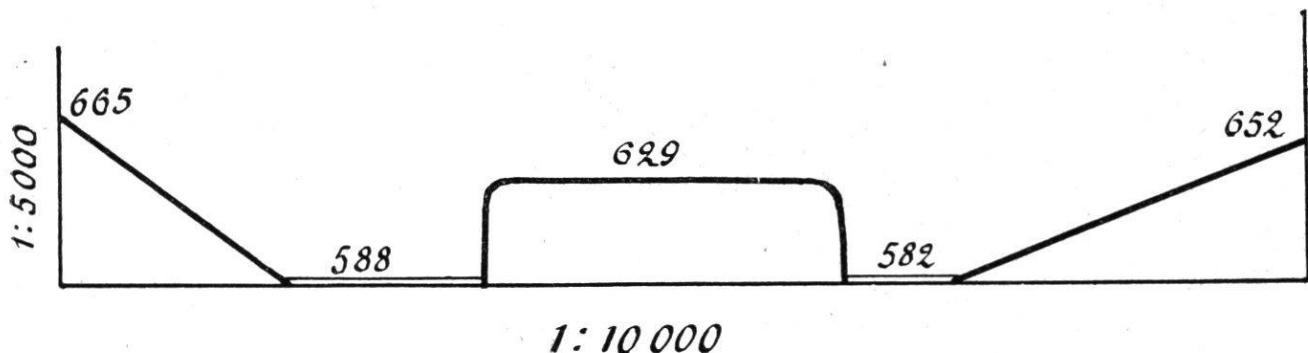


Fig. 19. COUPE TRANSVERSALE DU PÉDONCULE DE LA BOUCLE II montrant la puissance de l'érosion sur la rive droite des deux côtés du lobe.

rive convexe très douce), l'abaissement de la ligne de faîte opéré par le travail de rapprochement des deux points du courant à l'emplacement du pédoncule du lobe, qui finira tôt ou tard par être coupé, donnant lieu à un cours abandonné en forme de cercle autour d'un îlot¹. A l'époque

¹) W. M. DAVIS: La Seine, la Meuse et la Moselle, in *Annales de géographie*, T. V, p. 25 - 49. Voir spécialement p. 29 la repro-

des grandes crues seulement, l'ancien cours pourra être utilisé à nouveau et servira peut-être plus tard à la formation d'une mare ou d'un petit lac.

La coupure du pédoncule est en même temps considérablement anticipée par la présence de deux petits ruisseaux temporaires qui opèrent leur érosion indépendamment de la Sarine, mais réglés par son niveau de base, pendant les pluies.

Par rapport au même phénomène nous devons porter notre attention sur les deux ruisseaux qui se sont installés entre la boucle II et III, lesquels, à cause du rapprochement des deux niveaux de base, travaillent comme des organes à part et qui, marchant accidentellement l'un à la rencontre de l'autre par leur tête, permettent à la ligne de faîte de subir un abaissement considérable n'ayant rien à faire avec l'étranglement d'une boucle.

Il est intéressant de constater un phénomène que pour le moment nous nous bornerons à signaler sans en rechercher l'explication.

Généralement après une boucle et plutôt sur la rive droite il se forme un rentrant de la rive à forme semi-circulaire. Il reste en activité ou se trouve occupé par une grève que recouvrent les eaux des crues, (voir en face de la localité « les Prés d'en bas » à la deuxième boucle, en aval du petit pont d'Hauterive et en aval du pont de la Maigrauge à Fribourg. (Voir le plan de Fribourg et la fig. 15.)

Celle de la boucle II est formée par un grand remous qu'on voit d'ailleurs fort bien, comme je l'ai représenté schématiquement.

duction topographique (Karte des Deutschen Reiches) d'un des plus beaux exemples de double recouplement, donné par la Moselle.

Voir L. GALLOIS: Excursion géographique interuniversitaire autour de Paris et dans le Morvan, in *Ann. de géog.* 1907, p. 405. Ce croquis intéresse: « le méandre abandonné de l'Yonne à Chevrotte, près de Clamecy », que j'ai eu l'heureuse fortune de visiter, faisant partie de la dite excursion.

Pendant le mois de juillet 1907 la Sarine avait des eaux très basses, fait qui nous a permis de marquer par un pointillé de grève, ses biefs ou paliers qui traversent le lit et qui constituent, avec le phénomène précédent, un des caractères d'analogie avec l'érosion glaciaire, comme nous l'avons vu dans le chapitre précédent. Souvent nous nous sommes servis de ces biefs comme gués pour passer d'une rive à l'autre.

§ 5 Prédominance de l'érosion de la Sarine sur la rive droite.¹

Ce dernier chapitre forme la suite naturelle du commentaire de la carte, (celle-ci en ayant été la principale inspiratrice) qui se présente comme preuve indiscutable non pas de l'interprétation, mais de la réelle existence des faits exposés.

Nous voulons uniquement noter ici les cinq groupes de faits qui se rapportent à ce sujet :

1^o Les isthmes correspondant à chaque boucle de la Sarine tendent à s'amincir de plus en plus car de part et d'autre l'érosion s'efforce de couper ces pédoncules, *et cela parce que l'attaque maxima se produit des deux côtés sur la même rive, la rive droite. Cette localisation concentrée de l'attaque maxima explique même que les boucles prennent leur plus grand développement vers la gauche.* L'eau qui s'acharne contre la paroi droite est d'autant plus violemment renvoyée qu'elle attaque plus fortement et alors elle s'éloigne plus librement et tranquillement, dessinant vers la gauche une courbe harmonieuse, entre les rives qui la dominent moins ; souvent même les grèves s'alternent sur les deux bords et cette courbe vers la gauche avec l'extension des grandes boucles d'un cours d'eau vers la gauche, doit être considérée dans la réalité topographique et contrairement à la première impression, comme l'un des signes de l'érosion prédominante sur la rive droite².

1) Ce chapitre a déjà précédemment été l'objet d'une note à l'*Académie des sciences de Paris*, Voir : *De la prédominance de l'érosion de la Sarine sur sa rive droite*, Séance du lundi 17 février 1907, par J. BRUNHES et C. CALCIATI, présentée par le très regretté A. de Lapparent.

2) VIDAL de la BLACHE : *La France*, A page 64 : reproduction de la carte et d'une magnifique photographie montrant la Meuse à Fumay, qui décrit une boucle classique vers sa gauche, ou bien voir la même photographie à p. 420 du Traité de géographie physique de E. de Martonne.

2^o Les parois à pic et souvent surplombantes sont moins fréquentes à gauche qu'à droite. A la boucle I (la plus méridionale) le cours d'eau a même abandonné, sans aucune raison actuelle, son ancienne rive gauche, pour revenir s'acharner contre la rive droite. Les éboulement se produisent plus fréquents sur la rive droite et ils sont tout de suite balayés et emportés, (par ex. à la Madeleine, en aval de Fribourg), tandis que les masses éboulées de la rive gauche (au pont de Grandfey par exemple) sont respectées par la rivière qu'elles repoussent au lieu de disparaître elles-mêmes.

3^o Une forme curieuse d'hémicycle taillé dans la molasse, forme d'érosion petite mais très régulière, se reproduit souvent sur la rive droite, à l'aval du lobe développé de chaque méandre (voir aux boucles II et III).

4^o Les grèves sont plus développées et plus nombreuses sur la rive gauche: même dans les courbes des portions concaves de la rive gauche il arrive souvent que la rive concave est bordée de grèves et que le chenal se porte vers la droite (voir boucles II et III).

5^o Enfin si l'on considère l'ensemble de la topographie qui environne le cañon proprement dit, on constate que les pentes sont plus raides sur le versant droit que sur le versant gauche: le lit actuel de la Sarine est dans l'ensemble plus rapproché de la courbe de 700 m. sur la droite que sur la gauche. Cela se passe comme si la Sarine, même au fond de son lit si encaissé malgré les hautes parois de roche qui la maîtrisent et la limitent et en dépit des sinuosités de ses méandres, tendait à diriger son principal effort d'attaque et de direction du côté de son versant le plus élevé, le versant droit.

Et maintenant comment expliquer l'existence de ces faits? Nous avons cherché dans la géologie de la région, mais vainement. Il faut donc nous adresser ailleurs!

MM. Bernard et Jean Brunhes¹ ont précédemment

¹⁾ Voir BERNARD BRUNHES et JEAN BRUNHES: Les analogies des tourbillons atmosphériques et des tourbillons des cours d'eau et la

reprise sous une forme nouvelle la discussion de l'influence composée de la rotation terrestre sur les tourbillons et sur la direction des rivières. Il nous suffira de rapporter ici quelques lignes écrites dans les premières pages par les auteurs de l'article cité, pour voir clairement comment se pose la question : « Divers travaux récents ont, d'une part apporté des notions nouvelles sur le mécanisme de l'érosion fluviale, d'autre part agité à nouveau la question de la déviation des rivières vers leur droite.

« Cette question de la déviation des rivières à droite fut soulevée en 1859 et 1860, d'une façon indépendante, par Babinet à l'Académie des Sciences de Paris et par E. de Baer, à l'Académie de St Pétersbourg. Ces deux savants crurent remarquer et pouvoir affirmer qu'il y a dans l'hémisphère Nord une tendance des fleuves à incliner vers leur droite et ils eurent l'idée de rattacher cette tendance à la rotation terrestre.

« A leur suite plusieurs savants affirmèrent la réalité de cet effet, auquel on a pris l'habitude de donner le nom de « *loi de Baer* ». Parmi les nombreux travaux auxquels le sujet a donné lieu, et que l'on trouvera énumérés dans un court et très substantiel chapitre de l'excellente « Morphologie der Erdoberfläche » de Penck, nous citerons en particulier les études de Suess sur le Danube et celles de Baines et de Johnston sur les rivières, de la Nouvelle-Zélande et de l'Amérique du sud : les deux derniers auteurs ont cru observer sur les fleuves de l'hémisphère austral une tendance inverse à incliner sur leur gauche.

« Il s'en faut de beaucoup qu'on soit ici en présence d'une *loi* universellement acceptée. »

Et après avoir exposé comment, parmi les adversaires de cette loi il se trouvait des Géologues et des Géographes, ils écrivent plus loin : « Les autres adversaires de la

« loi de Baer », sont des mathématiciens ou physiciens qui, évaluant l'intensité de la *force centrifuge composée* qui résulte d'un mouvement relatif de l'eau sur un globe en mouvement, la trouvèrent beaucoup trop faible pour pouvoir exercer aucune action appréciable. Les auteurs du mémoire précédemment signalé, MM. Marchand et Fabre, n'ont garde d'ailleurs de négliger cet ordre de considérations, et ils montrent qu'en tenant compte du frottement de l'eau sur le fond, les molécules d'eau du Gers, par exemple, ne seraient soumises, du fait du mouvement de la terre, qu'à une action déviante égale au millionième de celle de la pesanteur. »

Voilà comment se poserait la question en face de laquelle nous nous trouvons, quand nous voulons comprendre et expliquer la série des cinq faits que nous avons énumérés plus haut.

Beaucoup se montrent sceptiques au sujet de cette interprétation ; ils voudront pourtant rendre cette justice à la théorie qui se dégage de la loi de Baer, qu'elle explique au moins d'une façon très satisfaisante, tous les faits observés dans la Sarine, au point de vue de son érosion sur la rive droite.

Nous-mêmes quand nous avons entrepris cette étude, nous étions sceptiques à propos de l'influence composée de la rotation terrestre sur le travail des eaux, mais il nous a fallu nous rendre à l'évidence des faits, lesquels pour le moment resteraient absolument inexplicables autrement¹.

¹⁾ On sait que la dyssymétrie des rives de plusieurs fleuves de la Russie centrale et méridionale, qui résulte d'une plus grande érosion sur la rive droite, est expliquée par Köppen disant que ces fleuves opèrent leur plus grand travail pendant la période du printemps, époque pendant laquelle prédominent les vents de l'Est.

A ce propos, causant avec M. Woeikof, professeur de géographie à l'Université de St Pétersbourg, il m'a signalé qu'au moins deux fleuves de la Russie, la *Zna* et la *Soura*, font exception, ayant la rive droite basse et la rive gauche escarpée.

D'ailleurs le fait étant démontré que la terre tourne, la surface de la terre se trouve entraînée dans un mouvement qui fait parcourir aux régions que nous habitons environ 1000 Kilomètres à l'heure ; nous nous demandons s'il est possible que ce mouvement n'opère absolument aucune influence. Au contraire il nous paraît que ce soit bien la moindre des influences qu'une rotation aussi constante puisse exercer, que celle d'imprimer leur sens de rotation à deux phénomènes de nature aussi continue que les cyclones atmosphériques et l'écoulement des eaux.

CONCLUSIONS

Tout l'ensemble de ce mémoire était déjà imprimé lorsqu'a paru dans le numéro du 15 juillet 1909 des «*Annales de Géographie*» l'article si intéressant de Mr Vacher sur les *Rivières à méandres encaissés et terrains à méandres*.

Nous ne pouvons que modifier les dernières pages de notre travail pour faire à cette étude la place qui lui est due¹.

Nous dégagerons de cet article les considérations les plus intéressantes et surtout celles, personnelles à l'auteur, tâchant de montrer brièvement jusqu'à quel point elles s'accordent avec telles et telles parties correspondantes de notre étude sur les méandres de la Sarine.

Nous laissons de côté toutes les objections particulières qui se présenteraient à l'esprit si l'on voulait considérer la théorie qui explique les méandres encaissés par les *rivières antécédentes*. Elle peut être vraie pour quelques cas particuliers ; mais nous croyons plutôt et d'une manière générale à la théorie pour laquelle se prononce Mr Vacher, à propos de la Creuse, l'Arnon, le Cher, l'Indre... et qui explique les méandres encaissés par les *rivières épigénétiques*.

Dans un cas analogue aux rivières que nous venons de rappeler, se trouve en effet la Sarine, car la couche

¹) Nous nous demandons si Mr Vacher a eu connaissance de la note présentée à l'Académie des Sciences : *De la prédominance de la Sarine sur sa rive droite*, par MM Jean Brunhes et Cesare Calciati, 17 Février 1908.

de dépôts fluvioglaciaires qui recouvre le plateau molas-
sique, correspond aux alluvions *Pléistocènes* descendues
du Massif central et recouvrant les roches anciennes ;
de même que le soubassement constitué par ces roches
et le soubassement du grès molassique se trouveraient,
et l'un et l'autre, parmi les *terrains à méandres*.

Cette expression, à laquelle Mr Vacher attache une vé-
ritable importance, est à notre avis très juste. Elle con-
corde aussi très bien avec les idées issues de notre étude
sur la Sarine. A la page 99 de ce même travail, lors-
que nous tâchons de faire sentir quel «*rapport*» doit
exister entre la force de résistance d'une roche, et la
force d'érosion d'un courant pour qu'il y ait formation
de méandres, il n'y a là autre chose qu'une espèce de
définition latente du *Terrain à méandres*.

A ce propos, sans chercher plus loin, nous pouvons
déjà dire que le Muschelkalk, les roches anciennes et
le grès molassique sont trois terrains à méandres. *Ce*
sont les mêmes terrains et les mêmes roches qui semblent
de nature telle que tout à la fois : 1^o ils supportent et con-
servent la sculpture des marmites¹ ; 2^o ils laissent entamer
par les eaux qui y creusent des cañons ou gorges rec-
tilignes dont les parois supportent la verticalité et 3^o
ils peuvent être comme le domaine par excellence des mé-
andres encaissés.

Nous nous empressons d'ajouter qu'à notre avis les
cañons ou les méandres encaissés trouveraient leur origine,
suivant le cas, par le fait d'une simple différence de pente
de la surface du plateau où ils se sont formés.

En somme il n'est pas *nécessaire* que sur le *terrain*
à méandres existe une couche quelconque moins résis-
tante pour que ces méandres encaissés puissent se former ;
mais (étant donné toujours un niveau de base placé très
bas) il suffit, pour leur formation, que la pente ori-

¹⁾ Fait confirmé non seulement par nos observations à propos
de la Sarine, mais aussi par la très belle photographie de Mr
Vacher, du lit du Cher près de l'ancien moulin de Chaud.

ginelle de la région soit assez faible pour que l'écoulement des eaux se fasse dès le début, plus ou moins en zigzagant. Si maintenant nous supposons la pente de la même région, trop forte, l'eau s'écoulera en droite ligne et donnera lieu dans le même terrain à un cañon ou à une gorge profonde grossièrement rectiligne.

Cela n'empêche que le manteau quelconque de dépôts recouvrant souvent la roche à méandres, puisse favoriser leur formation, mais seulement parce qu'il fait varier la pente *relativement* à sa faible résistance.

Nous avons vu en effet plusieurs fois se former tout naturellement, mais pour ainsi dire en miniature, des *cañons* et des *méandres encaissés* au bord des routes ou sur d'homogènes surfaces de sable, et vraiment nous sommes amené à croire que la simple différence de pente donnait lieu à l'un ou à l'autre de ces deux phénomènes. D'autre part, rappelons-nous aussi que les méandres divagants, caractéristique de certaines rivières arrivées à leur stade de décrépitude, décrivent cet ordre de méandres car précisément leur pente est devenue très faible.

Continuant le même ordre d'idées, nous sommes heureux de nous trouver parfaitement d'accord avec la conclusion de l'article de Mr Vacher qui croit décidément plutôt aux méandres encaissés qu'il propose d'appeler *cycliques* par opposition aux autres, certainement plus rares, et qu'il appelle *tectoniques*, mais avec la modification que nous venons d'exposer plus haut.

Comme Mr Vacher l'a fait à propos de ses études qui portent d'une manière particulière sur le haut Cher et la haute Creuse, nous nous sommes permis aussi d'exposer des considérations générales qui se dégagent de cette étude minutieuse que nous venons de faire seulement pour la Sarine.

Dans les différents paragraphes, au cours de ce modeste travail, nous avons tâché de démontrer, comme faits essentiels, le mode de travail de l'eau ou la tactique employée par le cours de la Sarine, pour opérer l'agran-

dissement de ses méandres encaissés. En effet bien que par place (surtout à cause des travaux artificiels) la Sarine ait presque achevé son travail d'approfondissement, elle continue encore à agrandir ses méandres au lieu de les démolir, opérant un travail latéral relativement très actif.

C'est alors que nous nous sommes aperçus de cette ressemblance dans le résultat du travail d'un cañon avec les formes qui résultent de l'érosion glaciare, mais c'est alors surtout que nous avons été frappés de cette puissante prédominance de l'érosion de la Sarine sur sa rive droite ! Tous ces faits, et bien d'autres encore trouvent leur expression parlante, (de la même façon qu'un portrait est l'expression d'une physionomie), sur le levé topographique au 10 000^{me} qui accompagne ce travail et auquel nous espérons que tous ceux qui s'intéressent à la question des méandres attacheront quelque importance. Nous laissons juger à nos lecteurs si les considérations tirées de la seule étude sur la Sarine sont peut-être prématurées, ou si elles ne le sont pas ; car nous sommes persuadés, nous-mêmes, que ce sera seulement quand les géographes disposeront, pour chaque groupe de phénomènes, d'un certain nombre de levés topographiques à grande échelle, qu'ils pourront avec une certitude documentée tirer des conclusions définitives pour l'interprétation des phénomènes de la géographie physique.

CESARE CALCIATI

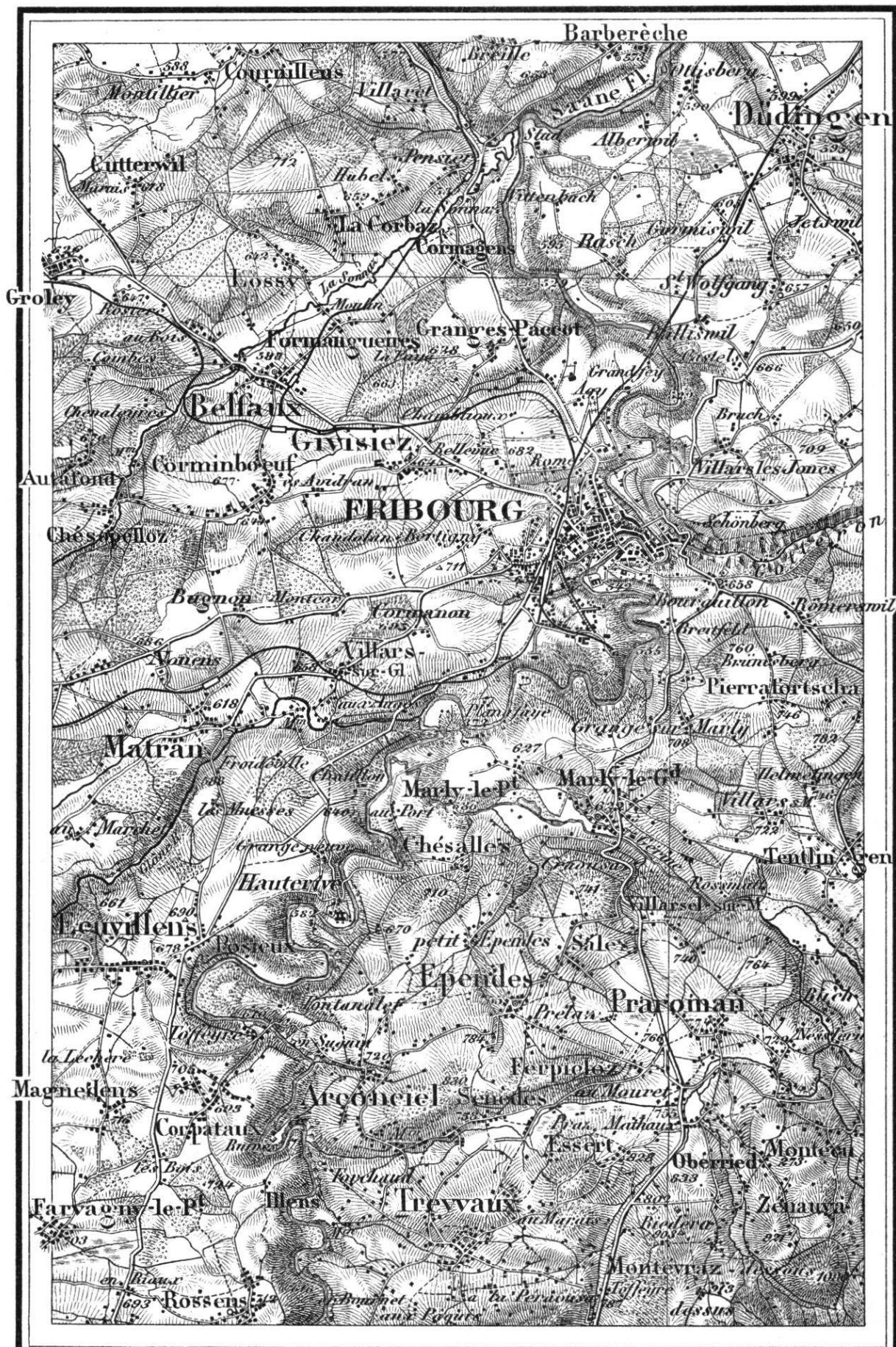
Planches hors texte

faisant suite au mémoire de Cesare Calciati.

Les méandres de la Sarine, extrait de la carte du service topographique fédéral à 1 : 100 000.

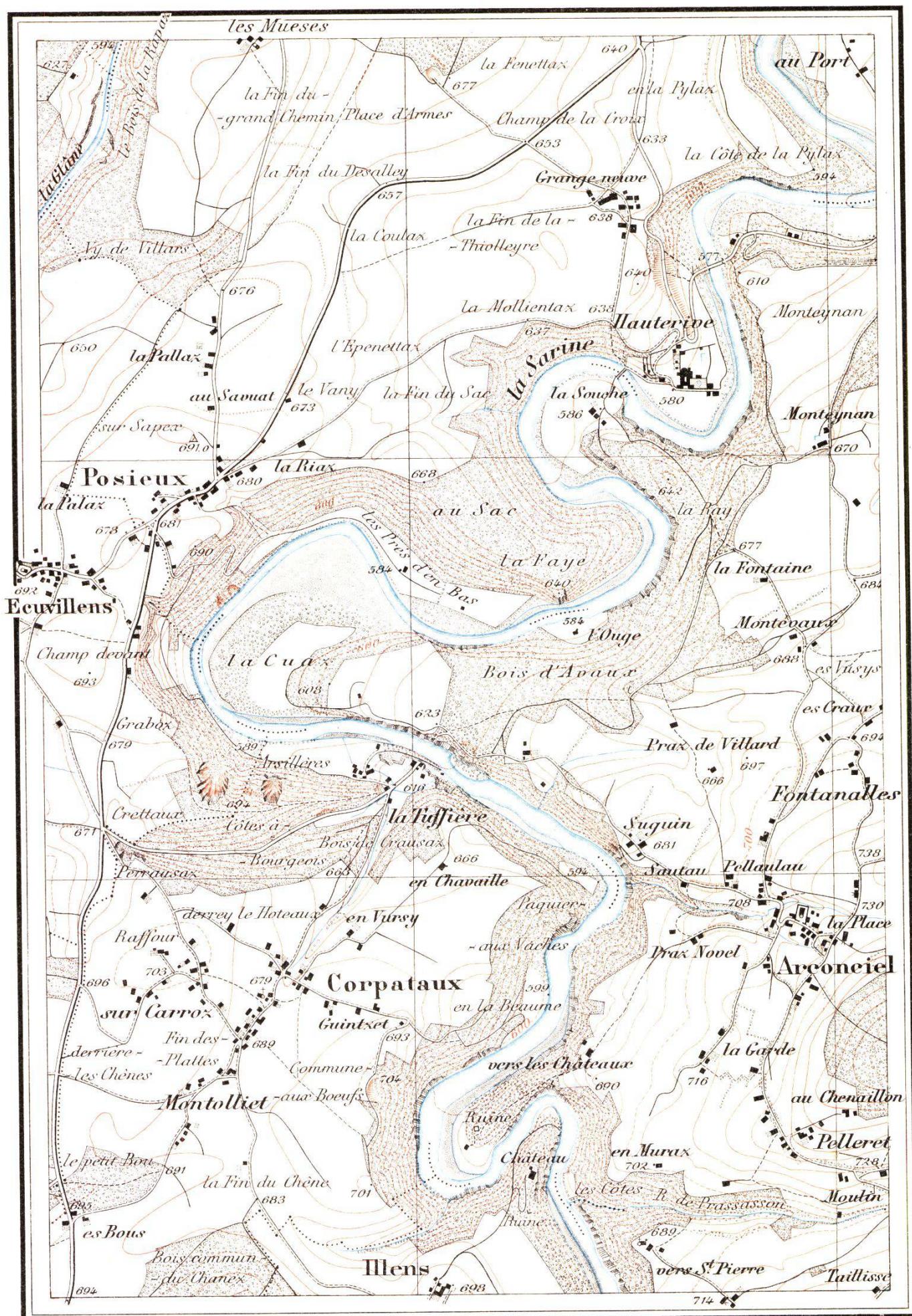
Les trois « boucles » levées par Calciati, d'après la carte du service topographique fédéral à 1 : 25 000.

« Trois boucles de la Sarine », levé à la règle à éclimètre par Cesare Calciati à 1 : 10 000.



Service topographique fédéral, Berne. Reproduction réservée Report sur pierre 1909.

Echelle de 1:1000000 1000m 500m 0 1 2 3 4 Kilom.



Service topographique fédéral, Berne.

Echelle de 1 : 25000

Report sur pierre 1909.

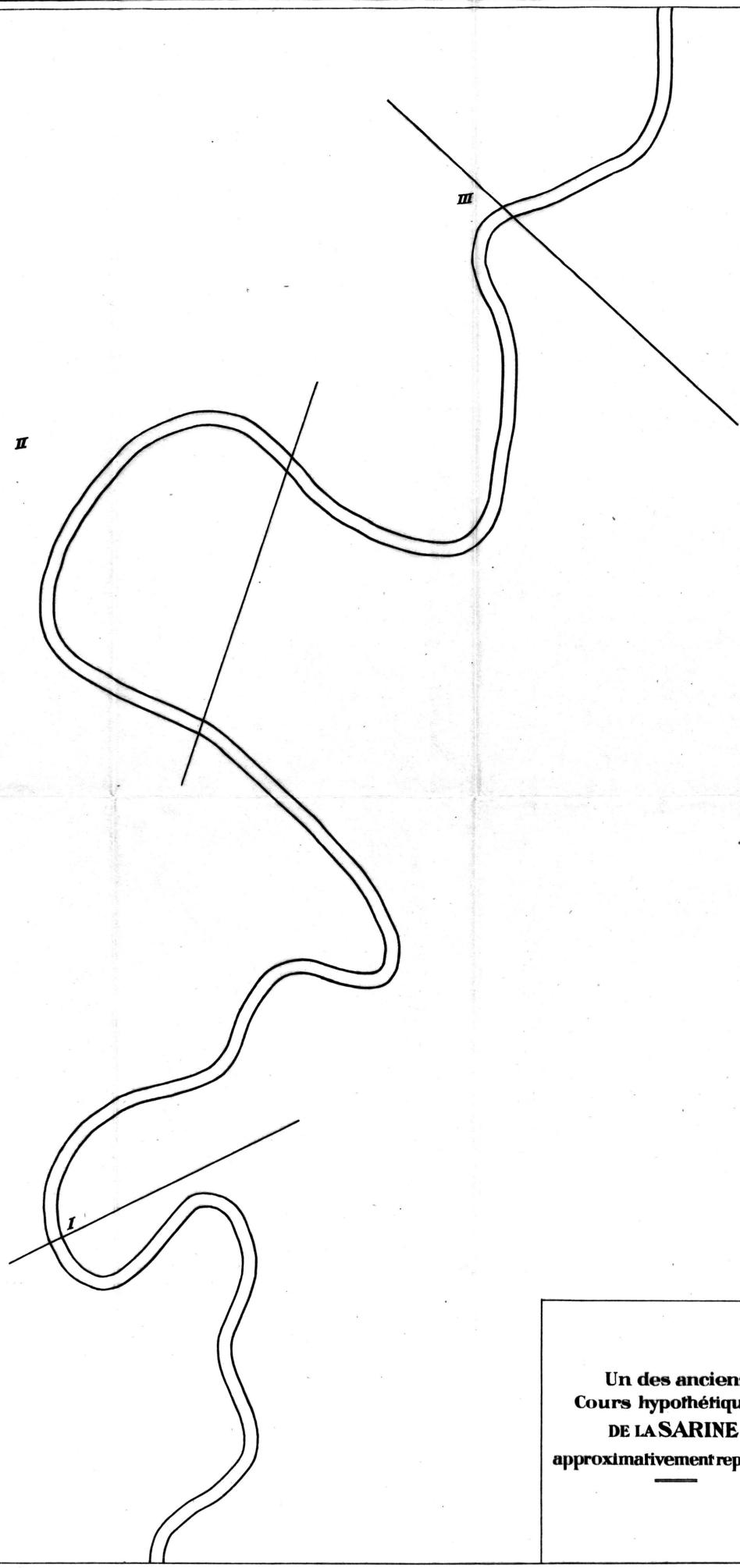
1 Kilom.

1000^m

500th

0

Reproduction réservée



Un des anciens
Cours hypothétiques
DE LA SARINE
approximativement représenté

