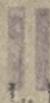


WYDZIAŁY POLITECHNICZNE KRAKÓW

BIBLIOTEKA GŁÓWNA



inw.

4664

Biblioteka Politechniki Krakowskiej



10000294659

1684

LE MÉCANISME
DU
LIT FLUVIAL

PAR

Y. LOKHTINE,

INGÉNIEUR DES VOIES DE COMMUNICATION.

Traduit par A. M. DANZIG, ingénieur des ponts et chaussées

SOUS LA RÉDACTION

DU BUREAU TECHNIQUE INTERNATIONAL A ST-PÉTERSBOURG.

F. Nr. 21407



ST-PÉTERSBOURG.

Imprimerie Trenké & Fusnot, Maximilianovsky pér., № 13.

1897.

29/5

29.41

28

Дозволено цензурою. С.-Петербургъ, 2 августа 1896 г.



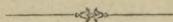
II 4664

Akc. Nr.

2948 | 50

ERRATA.

page:	ligne:	imprimé:	lire:
3	8	plupar	plupart
7	3	des	tous ces
8	3	flottés	flottants
"	19	tel ou tel autre	tel ou autre
9	15	amont	d'amont
11	3	aucuns	aucun
"	4	changement faute de quoi ces derniers auraient	changement faute de quoi ce dernier aurait
"	6	Imaginons	Imaginons-nous
13	24	du maigre	du même maigre
20	19	et à rapides	et à pentes rapides
24	14	quelque	quelques
27	2	celle	la
32	16	(tableau III)	(tableau III) et
"	21	4 fois	4 fois que
34	20	avec courant tranquille	avec un courant tranquil
35	8	ont	dont
40	9	étant donné	pendant
42	17	arriver	d'arriver
45	15	centimètres	centimètres cubes
47	25	▽ _o	△ _o
48	6	Si nous imaginons	Si nous nous imaginons
"	21	en tant que	en tant qu'el'e
51	17	changement	changements
52	5	près	près de
53	19	Tchernoboyl	Tchernobyl
57	8	en fin	à la fin



LE MÉCANISME DU LIT FLUVIAL.

Il n'y a pas bien longtemps, l'étude du régime des rivières était limitée, faute d'observations directes en quantité suffisante, à quelques tentatives d'en pénétrer les causes à l'aide de l'analyse mathématique. Celle-ci s'appliquait à découvrir des relations entre les divers éléments du lit de la rivière se rapportant pour la plupart aux profils en travers du lit mineur.

Malgré la diversité de ces tentatives et la perfection inhérente aux méthodes de l'analyse, qui dans certaines applications nous permettent de pénétrer avec audace au delà du réel dans le domaine des corrélations imaginaires, on n'est point parvenu dans cette voie à trouver la solution du problème du régime des rivières, et les questions du mouvement des eaux dans les rivières ainsi que de la formation de leur lit sont restées ouvertes à ce jour. — On a donc dû venir à la méthode d'observation directe, vers laquelle tend actuellement l'hydraulique fluviale.

Bien qu'actuellement ce domaine de l'observation se soit déjà enrichi d'études très détaillées, on chercherait en vain une description générale des propriétés physiques de la rivière, expliquant les causes de l'état présent du lit entier et non pas dans tel endroit particulier de son parcours. Il en est de même des actions réciproques du lit et de l'eau, ainsi que des différences que présentent à ce point de vue les diverses rivières, sous l'influence des circonstances locales. On trouve dans la littérature hydrotechnique les recherches les plus diverses sur les courants dans les rivières dans un cas particulier. Il y en a sur les tourbillons, le mouvement hélicoïdal de l'eau, etc., sur la corrélation existant entre la profondeur du lit à l'étiage et sa disposition en plan, le calcul du débit de l'eau en fonction de la pente et des éléments de la section vive considérée, etc., etc. Mais on chercherait en vain une réponse à une question d'ordre général, par ex. pourquoi telle section de la rivière a un lit fixe et profond, tandis qu'il y a toujours eu des dépôts sur telle autre, et pourtant le fait seul de la disposition constante de ces sections prouve jusqu'à l'évidence que la cause de ce phénomène n'est pas accidentelle, mais bien inhérente au lit même. — Pourtant le temps des explications élémentaires des phénomènes qui se passent dans les rivières est passé, on ne dit plus par exemple que les

bancs de sable proviennent de la destruction des berges et que pour empêcher leur formation il suffirait de protéger ces dernières. — La batellerie exige déjà depuis longtemps des changements radicaux dans le régime normal des rivières navigables pour obtenir un tirant d'eau plus grand, par le rétrécissement du lit naturel et le changement du profil en long. Mais si nous changeons si radicalement le régime naturel des eaux il faut se rendre compte bien nettement en quoi ce dernier consiste et prévoir si les mesures prises dans certaines circonstances n'entraîneraient point d'effets inattendus et même désastreux. Nous ne sommes sûrement pas les seuls qui aient eu à examiner ces questions sans pouvoir y trouver de réponse malgré le nombre et la diversité des recherches dans le domaine de l'hydraulique. Ayant cherché en vain et n'en ayant pas trouvé de solution faite, nous avons essayé de nous les expliquer par nos propres forces. Dans ce but nous avons fait pendant l'exécution de divers travaux les observations nécessaires, en rapport avec les moyens dont nous avons pu disposer. — La théorie que nous présentons est le résultat de nos essais. Des observations ultérieures indiqueront dans quelle mesure les idées émises sont justes. Mais s'il arrivait même que ces idées ne fussent point d'accord avec tout l'ensemble du mécanisme compliqué des cours d'eau, notre

travail n'en serait pas perdu, puisqu'il apporterait une méthode dans les nombreuses observations exécutées jusqu'ici. Celles-ci n'étant actuellement inspirées par aucune idée d'ensemble ni limitées par le but à atteindre, recherchent des résultats en tâtonnant. Le programme de ces observations étant trop vaste et trop universel par crainte de perdre de vue quelque point, il arrive que les chiffres réellement nécessaires sont enfouis dans un ballast inutile et souvent ne sont même pas recueillis malgré l'immense travail effectué.

Toute rivière considérée, non dans un endroit particulier de son parcours, mais dans son ensemble, est la résultante de trois facteurs absolument indépendants l'un de l'autre :

1^o Son débit, qui est la résultante des conditions du climat et du sol de la région traversée, ainsi que de la façon par laquelle l'eau tombée sur le bassin lui arrive par ses affluents.

2^o La pente résultant du relief du terrain traversé par la rivière.

et 3^o La plus ou moins grande destructibilité, voire résistance du lit de la rivière, résultante de la qualité des couches formant le lit.

Ces trois facteurs déterminent complètement le ca-

ractère de la rivière, lui donnent telles ou autres propriétés qui la distinguent des autres rivières; produisent des phénomènes hydrauliques que nous pouvons observer dans une section en travers quelconque, tels que: le niveau momentané du plan d'eau, la quantité qui coule à travers la section, la pente de la surface, les vitesses moyennes et locales, le périmètre mouillé, la quantité de matériaux charriés, etc.; tous ces phénomènes ne sont que des résultantes locales des trois facteurs naturels précités.

Nous n'entreprendrons pas l'étude détaillée de l'importance et du rôle joué par chacun de ces trois facteurs dans le régime naturel de la rivière, cela nous entraînerait à trop de détails, sans rapport avec le but proposé, et ne ferait que compliquer la chose. Ainsi nous n'examinerons pas séparément le premier des trois facteurs indiqués, celui du débit de la rivière résultat des conditions climatologiques, géologiques et autres du bassin fluvial. Les phénomènes qui s'y rapportent sont certes très intéressants en eux-mêmes, tels par exemple les traits pour ainsi dire géographiques de l'écoulement des eaux des affluents dans la rivière, qui donnent au phénomène de la crue la forme caractéristique d'une onde descendant la rivière; la plus ou moins grande rapidité de la propagation de la crue dépendant de sa hauteur, de l'état des berges et

d'autres conditions; la convexité en plan de la tête de l'onde, résultat de la vitesse croissante, qui a pour effet de repousser du milieu tous les corps flottés et de les rejeter contre les berges, et vice-versa la forme concave de la partie postérieure de cette onde, le phénomène de la baisse des eaux qui entraîne vers le milieu tout ce qui descend le courant; les changements subis par la forme même de l'onde de la crue dans son mouvement vers l'embouchure avec l'abaissement de son sommet, etc. Néanmoins ces phénomènes n'ont sur l'état du lit qu'une action indirecte, étant seulement la cause des oscillations du niveau de l'eau, lesquelles au contraire exercent une action directe sur le lit.

En ce qui concerne les deux autres facteurs déterminant le régime naturel des eaux, la pente et la résistance du lit, nous ne passerons pas non plus en revue tous leurs détails ni les cas particuliers de leur action sur le lit, et nous ne les examinerons qu'en tant qu'ils déterminent tel ou tel autre caractère général de la rivière.

En ce qui concerne la quantité d'eau qui traverse la rivière, son débit momentané n'est qu'un élément dans l'ensemble de la dépense des ressources d'eau du bassin fluvial; de même la pente locale du plan d'eau en un point donné, qui du reste varie au même endroit suivant les circonstances, ne forme qu'un chaî-

non dans l'ensemble de la distribution de la chute totale sur toute la longueur de la rivière.

En tombant d'une certaine hauteur suivant la pente de la vallée, la masse d'eau en mouvement exécute le travail de la trituration et de l'entraînement des matériaux arrivés dans le lit de la rivière; en même temps elle surmonte les divers obstacles rencontrés en route. En trouvant un passage étroit, l'eau s'accumule devant ce passage et rétablit l'équilibre général de l'écoulement au moyen du remous en accroissant à cet endroit la pente économisée sur la partie précédente de son parcours.

Lorsqu'elle trouve un élargissement, elle abaisse son niveau, et la perte de pente à cet endroit se répartit sur la partie amont en augmentant sa pente, par suite de quoi l'appel d'eau d'en haut augmente et le débit en aval diminue. Lorsqu'elle entre dans une région d'inondation la masse d'eau en mouvement y laisse séjourner une certaine quantité, jusqu'à ce que l'afflux cesse et qu'arrive la baisse des eaux.

Dans tous ces cas, qui revêtissent des formes diverses suivant le périmètre mouillé du lit, les pentes longitudinales de la rivière se disposent de façon que la pesanteur agissant sur chaque particule de la masse d'eau produise un équilibre entre l'eau arrivée d'amont et celle dépensée vers l'aval; la profondeur et la vi-

tesse du courant deviennent en chaque point ceux nécessaires pour l'établissement de l'équilibre général de l'ensemble du mouvement de l'eau expulsée par la nature de la région fluviale.

Mais tout l'ensemble de l'équilibre établi du mouvement sera dérangé dès que le débit viendra à changer et que le niveau de la rivière montera ou descendra.

Imaginons-nous pour un instant que le lit soit à sec, supposons ensuite qu'on y verse une quantité constante d'eau par unité de temps. En rencontrant la première surélévation du fond, l'eau arrivant d'amont s'arrêtera, jusqu'à ce qu'elle ait rempli cette première cavité jusqu'aux bords; après quoi elle débordera par-dessus cet obstacle, continuera à couler, remplira le second trou, etc. En un mot, à mesure que nous continuerons à amener à la rivière la même quantité d'eau par unité de temps, son lit se remplira peu à peu, le niveau de l'eau à chaque point et par conséquent la pente de sa surface y changeront à chaque instant jusqu'au moment où arrivera l'équilibre, — c'est-à-dire l'état où dans chaque section la quantité d'eau amenée d'amont égalera celle dépensée vers l'aval et par conséquent à celle versée par unité de temps en haut.

Ayant déterminé les niveaux de la surface de la rivière dans cet état, nous aurons son profil en long, correspondant à la quantité donnée de son débit. Ce

profil a la propriété suivante : il se reproduira chaque fois que la rivière sera alimentée par la même quantité d'eau, à condition que le lit n'ait subi aucuns changements, faute de quoi ces derniers auraient tout de suite une répercussion sur le profil en long.

Imaginons ensuite que la rivière ait commencé à être alimentée par une autre quantité d'eau, nous aurons, après le nouveau remplissage de son lit, un nouveau profil en long correspondant au nouveau débit, mais qui ne sera pas parallèle au profil précédent, parce que l'eau aura rencontré de nouvelles conditions dans le lit, qui exigent, pour obtenir l'équilibre entre la recette et la dépense, une nouvelle distribution des pentes. Ainsi, en passant d'un débit à l'autre, nous trouverons chaque fois de nouvelles formes de l'écoulement continu de l'eau, caractérisées par des profils en long non parallèles entre eux et indiquant chacun les diverses obstacles rencontrés par l'eau dans son mouvement pour les divers débits.

Ces circonstances sont pour ainsi dire le point de départ de tous les raisonnements concernant le niveau de l'eau dans la rivière ou sa profondeur dans un point donné dans tel ou tel autre état. Pour préciser notre pensée, prenons un exemple : si avec une certaine augmentation du débit nous avons en un point donné un exhaussement du niveau de l'eau, cet exhaussement

sera à tel autre endroit tout à fait différent avec la même augmentation, ce que, du reste, confirment avec toute évidence les observations faites sur les variations des niveaux de l'eau sur la même rivière. Prenons pour exemple les hauteurs des crues à différents points du Volga. Au tableau I, on voit que le niveau des plus hautes eaux de printemps pour les dernières 20 années (en 1888), a varié entre 3,96 sag. (à Poutchége) et 6,50 sag. (à Novaïa-Dérevnia); il y a donc une différence de plus de 2,5 sag. entre les deux niveaux. Nous ferons observer que si on voulait attribuer la cause de ces différences, non au relief du profil mouillé, mais à l'augmentation du débit en aval à cause de l'eau amenée par les affluents, la hauteur de la crue devrait aussi augmenter vers l'aval, tandis qu'en réalité cette hauteur varie sans rapport aucun avec la circonstance indiquée, tantôt augmentant, tantôt diminuant; de plus, il n'y a entre la plupart des points indiqués aucuns affluents considérables, et par conséquent il ne peut y avoir d'influence de l'augmentation du débit de l'eau.

En tout cas ces différences ne sont pas moins significatives même sur de petites sections, par exemple sur la longueur de quelques maigres, où, comme nous le verrons plus bas, ce phénomène a encore une importance particulière, et où il ne peut être question de variation dans le débit. Pour ne pas aller trop de

l'avant, qu'il suffise de citer le profil du maigre „Téliatchy Brod“ également sur le Volga; un peu en amont de ce maigre en 1881 la crue a atteint 5,83 sag. au-dessus de l'étiage, et immédiatement en aval 6,68 sag., ce qui fait une différence de 0,85 sag., le résultat du remous occasionné par le lit majeur d'aval plus étroit.

Pendant que nous traitons de l'importance de l'absence précitée de parallélisme entre les profils en long de la rivière correspondant à des débits différents, nous ferons une petite digression et nous appellerons l'attention sur une conséquence de cette circonstance: on ne peut déduire d'un profil obtenu par des mesures directes correspondant à un état donné de la rivière celui correspondant à un nouvel état de la même rivière par l'addition ou par la soustraction d'une même correction sur toute la longueur d'une section, correction égale à la différence des niveaux à ces deux états en un point donné. Pour ne pas citer d'autres exemples supposons qu'on ait exécuté des relevés du profil du fond lors des grandes eaux de 1881 et que pour obtenir son profil à l'étiage on ait diminué toutes les profondeurs de 6,68 sag., quantité dont les eaux avaient monté au-dessus de l'étiage sur l'échelle placée à l'aval du maigre. Comme cette différence n'avait comporté en amont du maigre que 5,93 sag., la ligne parallèle tracée à une distance de 6,68 sag. aurait passé à 0,85 sag.

plus bas que le vrai niveau de l'étiage, et dans les hauts fonds seraient complètement découverts. Cet exemple, qui mène à l'absurde, prouve d'une façon tout à fait évidente que pour passer d'un état de la rivière à un autre il faut mesurer directement les différences de niveau à chaque point, autrement dit, il faut faire pour chaque état de la rivière les profils en long correspondants.

Ici peut surgir la question: comment déterminer les profils correspondant à un débit donné, puisqu'avec les changements constants du niveau il n'existe presque pas d'état d'écoulement uniforme sur un parcours un peu grand; mais nous ferons observer qu'il est inutile d'attendre un état pareil, puisqu'on peut déterminer ce niveau dans divers points en faisant ses observations le long de la rivière, en marchant pour ainsi dire de front avec l'eau, et en observant la répercussion de l'état donné sur le profil; on peut choisir par ex. le moment des plus basses eaux, à un certain moment, le sommet d'une onde de crue, l'intervalle entre deux crues, etc.

En tout état de cause, quels qu'aient été les moyens par lesquels on aura trouvé les profils de la rivière, correspondant aux débits différents, ils représentent dans leur ensemble, d'après les considérations précitées, l'influence du relief du lit sur la distribution des pentes

entre les limites des plus basses eaux jusqu'à celles des plus hautes. De plus, l'action réciproque de la chute totale de la rivière et de la distribution des pentes le long de celle-ci ne se borne pas à l'influence que cette action exerce sur le niveau du plan d'eau, elle subordonne encore aux conditions de l'équilibre l'état même du lit dans chaque point. Ayant la série de profils en long correspondant aux débits, nous verrons les variations des pentes à chaque point en corrélation avec les oscillations du niveau de l'eau; nous trouverons ainsi des endroits où avec l'augmentation du débit la pente augmente, et d'autres où dans les mêmes conditions celle-ci diminue.

Le rôle prépondérant dans la formation du lit est joué par les hautes eaux parce que: 1) leur vitesse est, à pente égale, deux et même plus de fois considérable que la vitesse aux eaux basses, rien qu'à cause de la diminution des frottements; 2) parce que c'est pendant cette période qu'il arrive du bassin entier dans le lit de la rivière le plus de matières charriées; ces matières sont transportées par le courant et distribuées ensuite dans le lit suivant les circonstances locales. Pour cette raison l'augmentation de la pente sur une section de la rivière aux hautes eaux indique clairement qu'il n'y aura pas de dépôts, et que par conséquent cette section présentera un lit plus ou moins profond. Au con-

traire, aux endroits où la pente superficielle diminue aux hautes eaux et arrive à son minimum aux plus hautes eaux, il se formera des dépôts à cause de la diminution de la vitesse du courant, et il y aura formation de bancs de sable ou de maigres.

Nous n'insisterons pas avec grands détails sur les circonstances qui occasionnent dans tel endroit une augmentation ou une diminution des pentes avec l'augmentation du débit, et produisent ainsi un lit profond ou non.

Ces circonstances sont tellement variées qu'il n'y a qu'une étude détaillée des particularités locales de chaque rivière qui puisse les faire ressortir. Comme nous ne voulons pas entrer dans des détails nous ne citerons que celles qui se rencontrent le plus souvent sur la plupart des rivières et produisent les phénomènes généraux.

On sait qu'aux courbes et coudes des rivières le lit est presque toujours régulier et profond et que les maigres sont situés sur les alignements qui les précèdent. Ce fait, qui est un phénomène presque constant, a attiré depuis longtemps l'attention de nombreux hydrauliciens et parmi ceux-ci il faut citer en premier lieu MM. Fargue et Dubois, ingénieurs français, qui ont tenté de trouver par la voie de l'analyse la relation existant entre la situation en plan de la rivière et sa

profondeur. Ces messieurs ont cherché l'explication de ce phénomène dans les conditions seules de l'écoulement continu des basses eaux, notamment dans ce fait que l'eau se portant vers la rive concave, il se produit une pente transversale de la surface de l'eau et un courant de fond en travers de la rivière de la rive concave à la rive convexe. Mais bien que ce fait soit évident et que son action sur l'entretien de la profondeur soit hors de doute, nous n'avons pourtant pas l'explication pourquoi il se forme des maigres sur les alignements en amont des courbes, ni pourquoi le lit se trouve approfondi non seulement sur la courbe même, mais encore en aval, quand après un coude plus ou moins prononcé la rivière continue à couler, le plus souvent au pied des montagnes, dans une direction absolument droite; il est impossible alors de supposer aucune pente transversale ni courant transversal de fond provoqués par cette dernière. La cause de ce fait ne réside pas dans l'action du courant de l'étiage, qui lui-même se trouve régi par la forme du lit, produit de facteurs plus puissants, et qu'il ne peut changer que très peu, comme nous le verrons plus bas, mais bien dans l'action du courant des hautes eaux, qui, suffisamment fort pour apporter des modifications dans le lit, agit à l'aide des modifications du profil en long de la surface d'eau.

Chaque coude ou courbe, présentant un obstacle à l'eau se mouvant en ligne droite, produit un remous, qui provoque une augmentation de pente en aval et une diminution de celle-ci en amont, sur l'alignement de la rivière. Aux eaux basses, quand le peu d'eau qui coule se loge facilement dans le lit, les circonstances précitées ne peuvent exercer que des influences secondaires sur la distribution des pentes. Il n'en est plus de même quand, le débit augmentant, la quantité d'eau devient assez grande pour se trouver à l'étroit dans le lit limité par les berges; c'est alors que le remous devient très appréciable et produit la distribution indiquée des pentes, qu'on peut très bien voir sur les profils en long des rivières.

Comme exemple nous donnons sur la planche II le plan du maigre de Kosten suivi d'un coude brusque du Volga vers Poutchége. Comme le montre le profil en long, ce coude provoque lors des hautes eaux immédiatement en amont un exhaussement considérable du niveau de la rivière, relativement à celui des autres endroits, par la suite la pente des hautes eaux est plus grande sur la section aval, ce qui provoque une profondeur considérable ainsi que la fixité du lit dans cette section, bien qu'elle n'ait pas en plan de forme convexe, et qu'elle soit au contraire concave, de sorte qu'il ne peut être question ici de force centrifuge. L'existence d'une

penne plus forte aux hautes eaux en aval des coudes et des courbes, conséquence des conditions mécaniques du courant, doit avoir le caractère d'un phénomène général et peut être prouvée par le profil en long de n'importe quelle rivière. Nous prendrons comme second exemple la Garonne, qui a servi, ainsi que le Rhône, de principal objet d'études aux ingénieurs Fargue et Dubois. Nous profiterons du profil très complet exécuté pour les différentes hauteurs de l'eau sur la section de 56 verstes en aval du Lot, publiée dans les annales des ponts et chaussées en 1848, relevé par le prédécesseur de M. Fargue, M. l'ingénieur Baumgarten.

Nous avons extrait de ce profil toutes les parties correspondant aux courbes et nous avons donné dans le tableau II les pentes correspondantes aux hautes et basses eaux. On a en moyenne pour toute la section considérée :

	Basses eaux, pente par kilom.	Hautes eaux, pente par kilom.
Pente moyenne de la section entière.	0,2652 m.	0,2652 m.
Pente dans les courbes	0,1075 "	0,3440 "
" " " aligne- ments. .	0,4000 "	0,2610 "

On voit par ce tableau qu'aux eaux basses, lorsque la disposition du lit ne peut avoir d'influence, les pentes dans les courbes sont en moyenne presque 4 fois plus petites que dans les alignements; par contre, lors des hautes eaux, à cause des remous formés en amont des courbes, elles y deviennent très considérables, augmentent en moyenne de près de trois fois relativement à l'étiage, et dépassent même presque de moitié celle des alignements. Avec l'augmentation du débit la pente change pour ainsi dire de place et passe des alignements aux parties en courbe, et comme ce sont les hautes eaux qui ont une prépondérance dans les changements de la forme du lit, ce fait explique ce phénomène général, que les courbes tranquilles aux basses eaux et rapides aux hautes ont un lit profond, tandis que les alignements qui les précèdent se comblent de dépôts, à cause de la diminution de la pente pendant les hautes eaux, et présentent aux basses eaux des sections à lit irrégulier et à rapides.

On peut encore voir le même fait sur le profil en long du Dniestre. La section de cette rivière de 200 versets de longueur en aval de Mohilev présente une pente moyenne de 0,000189; si nous défalquons de toute cette longueur les parties courbes et que nous calculions la somme des pentes correspondantes, nous trouverons qu'aux basses eaux la pente moyenne est de 0,000134,

tandis qu'elle est de 0,000,252 sur les alignements. Ainsi nous trouvons encore sur le Dniestre qu'aux basses eaux, les pentes dans les courbes sont faibles, inférieures à la pente moyenne, tandis que les alignements présentent le phénomène contraire. Mais le tableau change complètement dès que nous passons de l'étiage aux hautes eaux. Dans les courbes, où pendant l'étiage la pente n'est que de 0,000134 et où on a à cette époque des bas-fonds avec courant tranquille, la pente monte aux hautes eaux à 0,000225, provoquant une augmentation de vitesse, ce qui à son tour produit le lit profond et fixe indiqué plus haut. En même temps, dans les alignements qui présentent aux basses eaux des pentes plus fortes et un courant plus rapide, aux hautes eaux les pentes ne sont plus que de 0,000,174 et produisent un tel ralentissement du courant, qu'il s'y forme des dépôts et par suite des hauts fonds.

Le même effet se produit sur le Volga à Saratov (planche 6).

Un autre facteur parmi les circonstances locales d'ordre aussi général, et qui agit également sur la distribution des pentes sur les profils en long des rivières, c'est l'influence des affluents.

Tout le monde a remarqué les effets des déjections des torrents, surtout si le voisinage immédiat de la rivière est montagneux. Ordinairement tout à fait à sec

ou bien avec un petit filet d'eau, voire un méchant ruisseau dans le fond, ils deviennent impétueux à chaque pluie et surtout à chaque orage, ils amènent alors dans la rivière des quantités de sable, de gravier et souvent même de pierres; ils forment des cônes de déjection qui s'avancent dans le lit de la rivière; ces cônes ont reçu des noms particuliers dans beaucoup de localités. A chaque nouvel orage le cône augmente et les eaux basses ne pouvant l'enlever à cause de la grosseur de ces éléments constitutifs, la rivière se trouve repoussée vers la rive opposée, qui, minée par en bas, se détruit encore par la chute dans la rivière des couches supérieures se trouvant en surplomb. Dans ce recul d'une des rives du lit, l'autre ne reçoit pas de dépôts pendant les eaux basses et n'avance pas vers la rive en destruction, mais reste dans son premier état. Par la suite, les hautes eaux, se répandant sur le lit majeur élargi par le recul d'une berge d'une part et par le cône de déjection de l'autre, trouvent un lit plus vaste, d'où abaissement du plan d'eau à cet endroit et diminution de la pente. A chaque nouvel orage le cône avance de plus en plus dans le lit, le courant des eaux basses recule d'autant; de là augmentation croissante du lit majeur et diminution constante de la vitesse des hautes eaux, provoquant à son tour de nouveaux dépôts de matières charriées. Au bout d'un certain temps

le lit majeur devient tellement vaste que la masse d'eau perd sa cohésion et sa vitesse uniforme; il se trouve dans ce lit des directions où l'eau coule avec une vitesse plus grande, tandis que dans les intervalles la vitesse se trouve considérablement diminuée; ces intervalles reçoivent alors des dépôts en quantités encore plus considérables et se comblent souvent avec une rapidité extraordinaire. A la fin du compte ces dépôts, limités par les berges du courant plus énergique se produisant aux hautes eaux, et remplissant la partie du lit inutile aux hautes eaux, deviennent des îles. Ce fait prouve avec évidence la non coïncidence à l'endroit donné entre les directions des courants des basses et hautes eaux occasionnée par l'influence de l'affluent, qui a été régularisée par le seul moyen d'action de la rivière, sa pente, à l'aide du changement de son profil en long.

Mais pour provoquer des effets semblables, produire un lit irrégulier au lieu d'un lit régulier, il n'est pas nécessaire que l'affluent soit un torrent, ni que les dépôts soient de nature pierreuse.

Même si c'est une rivière tranquille, elle amènera néanmoins à son embouchure une certaine quantité de dépôts, que la rivière principale enlèvera bien dans une certaine mesure, mais qui la feront pourtant reculer vers la berge opposée, entraînant sa destruc-

tion et son recul avec toutes les suites indiquées plus haut.

L'existence des îles aux embouchures des affluents est un phénomène très répandu sur les rivières et qui indique qu'il y a à ces endroits des causes spéciales provoquant une diminution de pente lors des hautes eaux et comme suite le dépôt des matières entraînées.

Comme troisième facteur parmi les influences locales sur le profil longitudinal de la rivière nous citerons la non homogénéité du sol dans tel ou tel endroit du lit. A part le cas où la berge est formée par des rochers à nu, et en considérant le cas général, on peut dire que quelque résistantes que soient les berges, la rivière les attaque quand même dans une certaine mesure et les fait reculer là où le courant et la glace s'appuient contre, par ex. dans les courbes.

Tant que ce recul d'une berge est accompagné du déplacement simultanément des courants d'étiage et de hautes eaux, la partie du nouveau lit majeur qui n'est pas nécessaire à l'emplacement des hautes eaux se comble, non pas par la formation d'îlots décrite ci-dessus, mais par l'accroissement normal de la rive abandonnée, accroissement qui se fait simultanément avec le recul à l'aide de dépôts même à l'étiage, de sorte que la rive abandonnée avance vers la rivière

d'autant que l'autre berge recule, et ce de façon à entretenir de tout temps la régularité du lit et la même distribution des pentes sur le profil en long. Tel ne sera pas le résultat si on trouve plus avant dans la berge un terrain plus compact, de l'argile, des poulingues, etc. Lors de la marche du lit vers la rive attaquée, les couches supérieures plus facilement attaquables continueront à être détruites, les couches inférieures plus dures ne le seront pas et empêcheront le courant d'étiage de suivre celui des hautes eaux dans leur nouveau lit élargi, et empêcheront ainsi la formation de dépôts sur la rive opposée, près de laquelle le courant d'étiage a été obligé de rester. Ainsi la largeur démesurée du lit majeur ne pourra être diminuée à temps. De là abaissement du niveau des hautes eaux sur le lit élargi, ralentissement de leur courant et formation de dépôts qui se produit chaque fois qu'il se trouve un barrage naturel ou artificiel, tel qu'un bateau coulé, empêchant l'action destructive du courant de la rivière.

Mais quelles que soient les causes qui produisent les différentes pentes lors des eaux basses et des hautes eaux, quelle que soit leur variété, chaque pente locale changeant avec les oscillations du débit ne forme qu'un élément du profil d'équilibre de la rivière. Cette pente locale produit à chaque endroit tel ou tel

effet sur le lit, suivant qu'elle augmente avec l'accroissement du débit ou qu'elle diminue. Comme nous l'avons déjà dit, ce sont les hautes eaux qui dominent la formation du lit et lui donnent sa forme grâce à la force vive de leur masse en mouvement rapide; si dans leur descente le long de la rivière les hautes eaux rencontraient partout les mêmes conditions, tout leur travail serait aussi distribué d'une façon uniforme, le lit aurait une pente égale, comme nous le verrons plus loin dans le cas des rivières qui coulent dans un sol meuble.

En laissant en dehors ce cas particulier, on peut affirmer que dans chaque rivière, parmi les facteurs qui régissent la distribution des pentes longitudinales il y en a qui, liés d'une façon intime à la nature même du lit ou de la vallée de la rivière, ne peuvent être éliminés ni modifiés d'aucune façon. — Par exemple on ne peut changer la disposition en plan d'une rivière, enlever les courbes ni les coudes du lit, disposés souvent le long de hautes montagnes ou bien de promontoires rocheux de la berge; il faut admettre que dans certains endroits la berge est plus facilement attaquable dans une de ses parties que dans les autres, ce qui entraîne des destructions et des élargissements, etc.; si ces circonstances existent on ne peut plus s'attendre à des pentes et des vitesses uniformes des hautes eaux sur toute la longueur du lit. La conséquence inévitable

de ces faits est la subdivision de la rivière en sections avec pentes au-dessus et au-dessous de celle moyenne, un lit fixe et profond aux endroits à fort courant pendant les crues, et formation de dépôts là où, par suite de la diminution de la pente, l'énergie des hautes eaux se trouvant affaiblie, il y a abandon d'une partie des matériaux entraînés.

En dehors des considérations émises au sujet des pentes du profil en long, il faut s'appliquer, si on veut pénétrer plus en avant dans les causes de ce phénomène, au troisième des facteurs cités au commencement du présent exposé parmi ceux qui déterminent l'état naturel de la rivière, notamment aux propriétés du fond au point de vue de sa résistance et de l'entraînement des dépôts. Toute rivière, quel que soit son cours, quelle que soit la région qu'elle traverse, est la voie par laquelle les eaux tombant sur la surface de son bassin sont entraînées à la mer; en même temps elle exécute le travail du transport des matériaux, qui descendent avec l'eau. D'après les témoignages historiques les plus reculés, les rivières ont été de tout temps dans le même état général que celui où elles sont aujourd'hui, en tout cas les dimensions de leur lit n'ont pas été inférieures à celles d'aujourd'hui, de sorte que leurs rives et leur lit—(nous ne parlons que de leur ensemble et négligeons les emplacements

isolés) — n'ont pas été détruits ni ne se détruisent, et par conséquent n'ont pu servir d'origine aux matériaux qui descendent les rivières avec l'eau et dont les amas ont atteint des dimensions aussi considérables dans les estuaires des fleuves.

Les dépôts ne sont pas amenés dans les rivières par la destruction des berges, qu'il suffirait de protéger, suivant une opinion assez généralement répandue, pour en diminuer la quantité dans le lit; ils arrivent avec l'eau de la surface entière du bassin, et leur quantité ne dépend nullement de l'état du lit; ils sont inévitables, de même que le sont les propriétés des éléments de ces dépôts, sur lesquels la rivière agit uniquement par trituration à la suite de leur frottement mutuel, et qui par leurs amas déterminent le caractère de la rivière.

La chute totale de la rivière détermine la valeur de ses pentes ainsi que la vitesse du courant et la force destructive des eaux. D'un autre côté les propriétés de la vallée, du fond et des berges de la rivière opposent une certaine résistance à l'action destructrice du courant; cette résistance maintient la masse d'eau en mouvement dans les limites de son lit. Ces deux éléments naturels, la raideur de la pente et la résistance du lit, sont tout à fait indépendants l'un de l'autre, et malgré toute la diversité de leurs réactions mutuelles, ils arri-

vent toujours à se faire équilibre ; c'est pourquoi les rivières restent à présent dans le même état qu'elles présentaient dans le temps. On arrive donc à se demander comment cet équilibre s'établit dans des circonstances aussi contraires, comme par ex. dans le cas d'une rivière à forte pente et lit peu résistant d'une part, et dans celui d'une rivière à faible pente et lit très résistant d'autre part.

Quand une rivière a un lit résistant et que sa pente est faible, son courant relativement lent ne peut déplacer les matériaux qui se sont déposés sur son fond, que sur les sections où par suite de quelque cause locale la pente des hautes eaux est relativement considérable, par exemple dans les courbes et les endroits rétrécis. Sur la section où la vitesse du courant se trouve ainsi augmentée aux hautes eaux, les dépôts ou au moins leurs éléments les plus menus descendront la rivière pendant les hautes eaux, mais dès leur arrivée dans une section à pente plus faible les matériaux entraînés s'arrêteront de nouveau et ils commenceront à se déposer, d'abord les plus gros, ensuite les plus menus.

A chaque crue les masses de dépôts continueront à se déplacer de la même façon, et à la fin du compte, après un certain nombre de successions de hautes et de basses eaux, il se sera formé un bas-

fond à l'emplacement de la forte pente et une obstruction du lit produite par l'amas des plus gros éléments des dépôts à l'endroit des pentes plus faibles.

Mais toute obstruction ainsi croissante a une limite, parce qu'à chaque nouvelle couche déposée correspond un nouveau renflement du niveau des eaux basses et par conséquent une augmentation de l'énergie destructive de leur courant, qui arrivera à être suffisamment forte pour entraîner, dans l'intervalle de deux crues, les dépôts transportés par celles-ci sur les maigres vers les bas-fonds, d'où ils seront de nouveau entraînés par une nouvelle crue.

Tel est l'état d'équilibre de rivières à lit résistant et à pente faible. La seule force dont la rivière dispose pour débarrasser son lit des obstructions qui l'encombrent, est sa pente; comme celle-ci est dans sa moyenne insuffisante pour lutter avantageusement contre celles-là, la rivière l'économise pour ainsi dire et la concentre tantôt à un endroit tantôt à un autre suivant les besoins. Aux hautes eaux la chute est concentrée aux bas-fonds pour les débarrasser des dépôts; aux basses eaux elle l'accumule aux maigres pour enlever les matériaux que les hautes eaux y avaient laissés par suite du peu de force que leur courant y possédait. Ainsi les sections différentes de la rivière, les bas-fonds et ses maigres, sont des instruments indispensables et inévitables dans

l'œuvre de l'entraînement des dépôts; ces sections ont des limites fixes et des emplacements constants déterminés par les propriétés locales du lit.

Les considérations qui viennent d'être émises comme étant la suite naturelle et logique des conditions locales du mécanisme du lit trouvent leur confirmation dans la réalité partout où on a fait jusqu'à présent des observations à ce sujet. Nous avons déjà cité (v. pl. II) le profil en long, très instructif pour notre cas, du célèbre maigre du Volga, le „Téliatchy Brod“, qui, d'après les documents historiques, — se trouve situé depuis des temps immémoriaux au même endroit, à 10 verstes en aval de Nijni-Novgorod. Aux basses eaux ce maigre a une chute totale de 0,94 sag. sur 18 verstes de longueur (sur le dessin les verstes 455 à 473 s.), ce qui fait une pente de 0,0522 s. par verste deux fois plus forte que la moyenne du Volga dans la partie correspondante, et qui n'est que de 0,0254 sag. par verste. On voit sur le profil que dès que l'eau commence à monter, la pente raide du maigre commence à diminuer, et quand le niveau de l'eau atteint 4,88 sag. au-dessus du zéro, elle n'est plus que de 0,0111 sag. par verste; quand les hautes eaux arrivent à la cote de 5,80 sag. au-dessus du zéro, elle tombe à 0,0083 par verste, soit trois fois moins que la pente générale de la rivière. Il va de soi qu'avec

une pente aussi minime toute la surface d'eau de la section considérée du Volga présente l'aspect d'un lac immense ayant envahi les berges sur une grande largeur, avec dépôt inévitable d'une grande quantité de matières entraînées, qui par leur accumulation produiront à leur tour en amont un exhaussement du niveau, à son tour donc une pente plus raide à l'étiage.

Ce mécanisme de maigres et de bas-fonds se remarque d'une façon aussi évidente sur des sections entières de rivières. Nous pouvons illustrer notre thèse très facilement par l'exemple déjà cité de la Garonne, qui appartient évidemment à la série de rivières à fond résistant et pour laquelle on a toutes les données nécessaires, grâce aux observations si précises et si détaillées de M. Baumgarten. — Du tableau donné dans l'annexe (tableau III) dressé par M. Baumgarten lui-même il résulte qu'aux eaux basses les bas-fonds présentent dans la section considérée une pente moyenne de 0,0119 m. par kilomètre, tandis que celle des maigres est à la même époque de 1,020 m., soit près de 9 fois plus grande que celle des fonds et 4 fois la pente moyenne de la section entière. En ce qui concerne les pentes des bas-fonds et des maigres pendant l'époque des hautes eaux, M. Baumgarten ne les donne pas dans son tableau, et nous avons été obligés de les relever sur les profils en long; les résultats de ce tra-

vail ont été ajoutés au tableau dans des colonnes spéciales. Il arrive qu'aux maigres cités par M. Baumgarten et qui présentent des pentes aussi raides à l'étiage, celles-ci descendent aux hautes eaux en moyenne à 0,219 m. par kilomètre, tombant au-dessous de la pente moyenne de la section (0,2546 m. par kil.); sur les bas-fonds au contraire la pente, faible à l'étiage, atteint aux hautes eaux 0,261 m. par kil., ayant augmenté de 2 fois et demie. Ce profil est tellement remarquable, il indique avec une telle évidence la cause de la disposition des maigres par suite de la pente moins forte à leur endroit et son augmentation sur la section qui leur fait immédiatement suite, qu'on est en droit de s'étonner que M. Baumgarten, qui nous a donné une analyse aussi complète du profil en long de la Garonne, se soit borné à faire remarquer qu'aux hautes eaux la pente s'approchait partout de la pente moyenne, sans remarquer une circonstance aussi évidente. Et pourtant ce fait est essentiel, parce que du moment que la diminution de la pente existe, cette dernière ne peut être provoquée que par l'état naturel du lit majeur, et non par celui du lit mineur, qui lui-même est formé par les hautes eaux et est le résultat de l'énergie de leur courant. — C'est là que consiste la cause de l'analyse insuffisante de la question dans les recherches, si remarquables à tous les autres points

de vue, de MM. Fargue et Dubois et de bien d'autres tentatives. Si l'on n'a pu expliquer la formation du lit des rivières c'est qu'on n'en a examiné que le lit mineur, qu'on en a étudié les éléments, et cherché en lui seul, dans l'analyse des courbes, des courants, etc., les causes de sa formation, ce qui du reste a amené M. Dubois à avouer qu'il lui était impossible d'étudier l'effet des hautes eaux sur les maigres.

C'est encore au type de rivières à fond résistant qu'appartient l'autre exemple déjà cité, le Dniestre, avec son lit et ses berges très résistantes et la subdivision de la rivière en sections bien tranchées de bas-fonds et de maigres se succédant l'une à l'autre. On doit donc observer également sur cette rivière cette division du travail dans le transport des dépôts, qui s'obtient par le déplacement de la pente des bas-fonds aux maigres et vice-versa avec la baisse et la montée des eaux.

En effet, presque les deux tiers de la section étudiée de 200 verstes de longueur à l'aval de Mohilev présentent des sections régulières et profondes avec courant tranquille et une pente moyenne de 0,043 sag. par verste aux eaux basses, tandis que le troisième tiers est pris par des maigres très peu profonds à courant rapide et avec une pente moyenne de 0,223 sag. par verste aux eaux basses. Aux hautes eaux, de même que sur la Garonne, cette distribution de pentes change;

sur les fonds elles montent à 0,107 sag. par verste, en s'abaissant sur les maigres à 0,084 sag. par verste en moyenne; ces chiffres prouvent encore une fois ce jeu de la succession de bas-fonds et de maigres, qui est caractéristique pour les rivières à lit résistant.

Nous croyons inutile de multiplier les exemples et de comparer entre elles les pentes de différentes sections des rivières, qui indiquent la manière dont s'établit l'équilibre entre le courant relativement faible et la résistance relativement grande du lit. Du reste, dans la littérature de l'hydraulique il y a très peu de profils en long de hautes et de basses eaux suffisamment détaillés et appropriés à la question qui nous intéresse, encore moins de ceux où les cotes soient disposées de façon qu'on puisse en tirer séparément les pentes des bas et des hauts fonds.

Pourtant il aurait suffi d'avoir le profil seul de l'étiage, et si ce profil présentait la forme d'un escalier par suite de la succession de pentes fortes et faibles, ce fait seul servirait à indiquer l'insuffisance de la pente vis-à-vis de la résistance des dépôts, et classerait la rivière parmi celles à fond résistant dont c'est le caractère distinctif. En tout état de cause, sans citer de nouveaux profils de rivières de la même catégorie, nous passerons à leur seconde propriété provoquée par la même insuffisance de pente: le dépôt périodique

de matériaux sur les maigres causé par la diminution de la vitesse des hautes eaux en cet endroit. — Ce phénomène étant une conséquence aussi logique des raisonnements qui précèdent que les propriétés des profils en long, que le déplacement des pentes, devrait se trouver confirmé par des observations directes, s'il y en avait. En effet les habitants ont observé sur plusieurs rivières que pendant les hautes eaux les maigres s'obstruaient, qu'ils se nettoyaient et s'approfondissaient avec la baisse des eaux malgré même la continuation de cette baisse. Dans certains cas ces faits sont tellement évidents et frappants, qu'ils n'exigent même pas d'observations spéciales. On connaît des exemples où sur certains maigres après un abaissement rapide du niveau des eaux le lit se trouvait tellement obstrué sur toute sa largeur par les matériaux déposés lors des hautes eaux, que le mouvement de la batellerie devait s'arrêter pour un certain temps en attendant que les basses eaux aient délayé et emmené ces dépôts.

Néanmoins, quoique des dépôts isolés et bien caractéristiques de ce genre aient été observés depuis fort longtemps, ce phénomène n'a pas été étudié dans son ensemble jusqu'en ces derniers temps, jusqu'à ce qu'une raison d'ordre pratique n'ait donné l'impulsion dans cette direction. Je parle de l'étude des résultats de l'action des barrages mobiles employés sur le Volga

pour l'approfondissement des maigres. Pour apprécier ces résultats en général peu satisfaisants, il a été nécessaire d'examiner si l'approfondissement des maigres remarqué dans certains cas pendant les basses eaux était la suite des facteurs naturels ou bien de l'emploi des barrages. Dans ce but M. l'ingénieur Makarov a entrepris une étude détaillée en relevant simultanément les niveaux de l'eau et les profondeurs des maigres. Ces relevés se faisaient tous les jours par les hommes chargés de la surveillance du balisage.

En tout, M. Makarov a fait des relevés pour 75 maigres du Volga et sur chacun pendant 5 ans du 1^{er} Juin au 1^{er} Octobre; il a dressé 350 épures qui indiquent le changement du niveau de fond des maigres en regard de celui du niveau de l'eau. Il serait oiseux de citer ici tous les chiffres et les épures de M. Makarov, et nous renvoyons ceux que cette question intéresse au travail original; nous croyons parfaitement suffisant de citer la conclusion de toute cette étude, qui démontre l'exactitude de notre supposition sur l'obstruction périodique des maigres, vu qu'elle indique la constance remarquable avec laquelle le fond se relève et s'abaisse avec la montée et la baisse du plan d'eau. Nous ferons remarquer que les chiffres des profondeurs sur les maigres donnés dans l'étude de M. Makarov, sont pris dans les relevés exécutés sur le Volga par

les chefs de poste des maigres; ces relevés méritent toute confiance, vu leur importance pour la batellerie et le contrôle constant qu'ils subissent de la part des bateaux de passage; quant aux oscillations du plan d'eau, elles n'ont été relevées à l'échelle que sur le maigre de Kouchnikovo; sur tous les autres points, à cause de l'absence d'échelles hydrométriques, il a fallu procéder par interpolation entre les hauteurs relevées aux deux postes voisins. Les petites erreurs inévitables avec ce genre d'interpolation se sont sûrement contrebalancées dans la quantité des observations et n'ont pu influencer la conclusion qu'au point de vue quantitatif et sans pouvoir l'altérer en tant que principe (et c'est que ce principe seul qui nous intéresse); en plus le maigre d'Ourakovo, sur lequel se trouvait une échelle hydrométrique, a fait ressortir le même fait de l'exhaussement et de l'abaissement du fond avec la montée et la baisse du plan d'eau. Néanmoins, pour écarter encore cette source d'erreurs, 12 échelles hydrométriques ont été installées en 1894 sur les maigres mêmes et on a pu ainsi suivre directement les variations de la hauteur du plan d'eau ainsi que celles du fond. Des résultats de ces observations rapportés sur des épures (v. pl. III) on peut tirer avec plus d'évidence même que des observations de M. Makarov, la même conclusion que ce dernier avait

trouvée, on voit ce parallélisme remarquable entre les courbes des variations du niveau des fonds et de celles du plan d'eau.

On peut faire observer qu'aussi bien les observations de M. Makarov, que celles exécutées en 1894 ont été faites pendant que le plan d'eau a oscillé entre des limites relativement faibles, sans qu'il ait approché seulement du niveau des plus hautes eaux du Volga (nous croyons du reste qu'il serait extrêmement difficile de mesurer les profondeurs du Volga sur les maigres à cette époque). Par conséquent le fait de l'exhaussement périodique du fond ne peut être attribué aux dépôts qui s'opèrent aux hautes eaux et il faut l'expliquer par la considération suivante: quand les eaux montent, les sables déposés sur le maigre sont noyés, le courant se dirige à travers ces sables en suivant une ligne plus droite que lors des eaux tout à fait basses et comble le sillon que les eaux basses s'étaient creusé en se frayant un chemin à travers la barre de sable. Quoi qu'il en soit, bien que les observations aient été nécessairement bornées, dans le cas présent, aux limites des oscillations estivales du Volga, elles prouvent néanmoins que les sables sont amenés par le courant d'amont sur les maigres pendant la montée du plan d'eau, et qu'avec son abaissement ils sont transportés vers l'aval; on voit quand même le

mécanisme des maigres des rivières à lit fixe que nous avons déjà indiqué.

En revenant à la question comment les rivières à pente faible et à lit fixe et résistant arrivent à un état d'équilibre en empêchant leur obstruction complète par les dépôts, nous tirons aussi bien du raisonnement que de l'observation directe la conclusion, que *cet équilibre a été obtenu par la concentration temporaire de la pente là où elle était le plus nécessaire étant donné le niveau momentané du plan d'eau*. La constance de l'emplacement des maigres qui ne changent jamais de place, la division tranchée en bas-fonds et maigres, la forme en escalier du profil de la rivière, le déplacement des pentes plus fortes des maigres aux fonds lors de la montée des eaux, le phénomène inverse lors de la baisse du plan d'eau — tels sont les traits caractéristiques des rivières à lit résistant et qui sont la condition essentielle de leur existence immuable dans l'état équilibré qu'elles ont atteint après une longue série de siècles.

Supposons maintenant que la pente générale de la rivière augmente et que la résistance de son lit reste la même (à plus forte raison si elle venait à diminuer), le caractère si net et si tranché que la rivière possédait jusque-là changera peu à peu. Ses maigres deviendront à pente moins raide aux eaux basses, leur emplacement deviendra moins stable, il se produira des bancs de sable

temporaires par ci par là suivant le concours des circonstances, la rivière dans son ensemble perdra son caractère de fixité et deviendra plus mobile, son profil en long aussi bien aux hautes eaux qu'à l'étiage perdra de plus en plus sa forme en escalier. Dans l'hypothèse d'une augmentation croissante de la pente ou de la diminution plus grande de la résistance du lit, toutes ces propriétés ressortiront avec plus de vigueur, et il arrivera enfin un moment où la pente deviendra égale ou même supérieure à celle nécessaire à l'entraînement continu des matières charriées. Il ne sera plus nécessaire de les déposer périodiquement par suite d'insuffisance de force d'entraînement. A partir de ce moment l'état d'équilibre stable de la rivière, caractérisé par la prépondérance de la résistance du lit, passe à l'état d'équilibre instable. Cet état est caractérisé par la prépondérance de la trop grande énergie du courant, qui a la force suffisante pour enlever rapidement tous les obstacles rencontrés dans le mouvement des eaux sans qu'il soit nécessaire de concentrer dans ce but cette force à un endroit donné du profil. En même temps toutes les conditions locales qui dans les rivières à lit résistant provoquaient aux hautes eaux une certaine distribution de pentes fortes et faibles sur les différentes sections, ne jouent plus de rôle. Avec la prépondérance de la force du courant et un lit insuffisamment résis-

tant, la moindre concentration ou augmentation de pente occasionnerait un délavement du sol tellement énergique et tellement rapide, que le remous qui se serait formé là accidentellement, se trouverait tout de suite anéanti et la pente se rétablirait immédiatement.

En dehors d'une augmentation locale accidentelle même la pente moyenne et uniforme sur toute la longueur, plus forte que celle que comporterait pour un état d'équilibre le fond de la rivière, mais qui est pourtant la plus petite pente possible, produit aux hautes eaux une vitesse tellement grande que l'écoulement des eaux s'accompagne nécessairement de la destruction continue du fond et des berges et de l'entraînement continu de matériaux sur toute la surface du lit. C'est en dépensant l'excès d'énergie en destruction et charriage des produits de cette destruction que la nature trouve dans ce cas le moyen arriver à l'équilibre nécessaire. Le courant démolit une langue de terre pour en former en même temps une autre ailleurs, il démolit une berge pour accroître l'autre d'autant qu'elle a diminué la première; il se fraie un nouveau chemin et y établit son nouveau lit pour abandonner l'ancien et le combler rapidement. Pour citer un exemple prenons quatre situations en plan de l'Amou-Daria à l'endroit où le chemin de fer transcaspien le traverse (v. pl. IV).

Ces plans ont été relevés pendant 4 années consécutives et les contours du fleuve et de ses bras sont tellement différents, qu'il paraît invraisemblable que ce soit l'emplacement du même fleuve. Le tableau si accentué d'un lit peu résistant et divaguant à l'excès est la suite inévitable d'un courant beaucoup trop fort pour la résistance de la vallée; l'équilibre ne peut s'y établir qu'à la condition du recul constant des berges dans leur lutte avec le courant, à la condition d'une dépense constante de l'excès de la force du courant au déplacement des dépôts le long du cours et du déplacement continu de ce dernier. L'état toujours changeant, dynamique, du lit, tel est l'état d'équilibre seul possible dans ce cas; la seule forme possible du profil en long est une ligne droite de pente uniforme avec des inflexions infimes et de caractère essentiellement temporaire, causées par les remous produits par les matériaux déposés par les hautes eaux à la suite de leur abaissement rapide, et qu'à la crue suivante elles reformeront à un tout autre endroit et sous une forme entièrement différente.

Ces conditions du courant dans un lit peu résistant peuvent se traduire en chiffres si nous comparons deux rivières de caractères différents. Prenons comme exemple le Dniestre et la Vistule, qui prennent tous les deux leur origine tout près l'un de l'autre sur le ver-

sant Nord des Carpathes et coulent ensuite, l'une vers le Nord à la mer Baltique, l'autre vers le Sud-Ouest à la mer Noire; ces fleuves présentent, comme nous le verrons plus loin, des caractères bien différents de leur état naturel.

Le Dniestre, comme nous l'avons vu, a dans sa partie supérieure une pente moyenne de 0,0945 et se présente à l'étiage comme une succession de bas-fonds tranquilles occupant près des deux tiers du parcours de la rivière, séparés par des maigres à courants rapides présentant une pente moyenne de 0,22 sag. par verste, et dont quelques-uns atteignent même celle de 0,70 sag. par verste.

La pente aussi forte à l'époque de l'étiage et comme conséquence une vitesse atteignant de 3 à 7 pieds à la seconde, sont d'après ce qui précède indispensables à l'entraînement des dépôts arrêtés sur les maigres. Ces dépôts consistent en un mélange de sable, de vase et de gros graviers; quelques morceaux atteignent 5 à 10 pouces, et présentent une grosseur moyenne de 1 à 4 centimètres cubes, comme on peut le voir dans le tableau ci-dessous. Ces moyennes ont été établies par la mesure directe d'une quantité considérable d'échantillons pris dans les dépôts.

Verstes depuis la frontière d'Autriche.	Noms des endroits où les échantillons ont été pris.	Pour cent.		Poids spécifique.	Poids moyen en grammes.	Volume moyen en cm. ³
		Gravier de plus de 0,2 cm ³ d'un seul morceau.	Sable, vase, etc.			
2	Jvanetz.	64,30	35,70	2,60	4,27	2,77
45	Oustie	43,00	57,00	2,15	8,66	4,03
260	Soroki	63,45	36,55	2,43	6,59	2,70
362	Kamenka	55,46	44,54	2,56	4,03	1,57
374	Erjev	47,16	52,84	2,53	2,66	1,05

Voilà les caractères distinctifs du Dniestre : pente moyenne de 0,0945 sag. par verste et lit composé de graviers de 1 à 4 centimètres.

Examinons à présent pour comparer le lit de la Vistule. La pente de parcours en Russie est de 0,1475 sag. par verste, donc une fois et demie plus forte que celle du Dniestre ; quant aux dépôts, au lieu de gros graviers ce sont des amas de sable fin. dont les éléments, mesurés par un procédé indiqué plus loin, ne mesurent en moyenne que $\frac{1}{16}$ de centimètre de diamètre.

Avec une pente aussi forte, qui détermine une vitesse de courant de 3 à 4 pieds à l'étiage, jusqu'à 7 pieds aux fortes eaux, d'une part, et avec des ma-

tériaux aussi menus, il ne peut être question ni d'une stabilité quelconque du lit, ni de la division du cours de la rivière en bas-fonds et maigres, ni de la forme en escalier du profil en long, ni de l'accroissement de la pente là où cela deviendrait nécessaire pour le transport des dépôts. Ici tout le lit présente l'aspect d'une obstruction continue constamment enlevée et déplacée par la force démesurée du courant. L'ensemble de la rivière prend l'aspect d'un cours d'eau divaguant à pente uniforme et à profondeur constamment changeante.

Telles sont les solutions que la nature nous présente dans les deux cas extrêmes, celui d'une faible pente et d'un lit résistant et celui d'une pente trop forte pour un lit insuffisamment résistant.

Il va de soi que dans ce qui précède nous avons pris pour plus de clarté les cas extrêmes et types de l'équilibre, entre lesquels viendront s'intercaler toutes les autres rivières caractérisées dans une plus ou moins grande mesure par un lit fixe ou divaguant. Le classement d'une rivière dans l'une ou dans l'autre de ces catégories, très important comme nous le verrons au point de vue hydrotechnique, ne peut être fait qu'à la suite de l'étude de son profil en long et des matières qu'elle charrie.

Malheureusement l'état actuel de l'hydraulique ne

permet pas de traduire en formules précises et déterminées les phénomènes du mouvement de l'eau dans les rivières, et si on peut en faire usage dans le cas présent c'est uniquement pour traduire les corrélations établies par nous, sans qu'on puisse en tirer de résultats numériques.

Supposons que chaque parcelle des matières entraînées ait la forme d'une sphère (en réalité elle se rapproche de celle d'un ellipsoïde, au moins les mesures d'un grand nombre de morceaux de gravier ont donné comme rapport des diamètres moyens 1:1,64:2,43), soit d —son diamètre, f —le coefficient de frottement, Δ —le poids de l'unité de volume, P —la résistance de la parcelle au mouvement; on a

$$P = f \Delta \frac{\pi d^3}{6}$$

ou bien en désignant par c_1 le produit des facteurs constants

$$P = c_1 d^3$$

Sur cet élément agit la pression de l'eau en mouvement P_1 égale à

$$P_1 = \Delta_0 \frac{V^2}{2g} \frac{\pi d^2}{4}$$

où Δ_0 est le poids de l'unité de volume de l'eau et V la vitesse de son mouvement. Nous ferons remarquer

qu'on commettrait une erreur en prenant comme valeur de la vitesse celle qu'on obtient dans la rivière après que celle-ci a surmonté toutes les résistances du fond déterminées par les formules du type bien connu $V=k\sqrt{ri}$ en fonction de la pente et du périmètre mouillé. Si nous imaginons deux cours d'eau indentiques en tous autres points mais avec la différence que dans l'un le lit soit couvert d'une couche de dépôts, tandis que le lit de l'autre, tout en conservant les mêmes dimensions et la même forme, soit complètement lisse, la vitesse moindre dans le premier de ces courants sera le résultat de la force dépensée pour vaincre la résistance des dépôts et pour les entraîner. Ces résistances sont introduites dans la formule $V=k\sqrt{ri}$ sous la forme du coefficient de frottement de l'eau contre le fond et le périmètre mouillé du lit et par l'introduction de la pente au lieu de la hauteur totale de la chute qui donnerait la vitesse du mouvement accéléré de l'eau le long de la rivière.

Le problème dans le cas actuel consiste à exprimer les propriétés de la rivière en tant que véhicule des dépôts; ce n'est donc pas la vitesse définitivement établie dans le lit déterminée par la formule précédente et qui est celle de la masse d'eau qui a traversé la section considérée, qui nous intéresse, mais bien la provision de la force vive à dépenser par unité de lon-

gueur, déterminée par la chute totale de la rivière sur cette section et par la formule $V = \sqrt{2 g h}$.

Si cette provision est trop grande relativement à la résistance des matériaux déposés, le lit sera sujet à une destruction continuelle, dans le cas contraire il sera plus ou moins fixe. En substituant dans l'expression de P , à V sa valeur $\sqrt{2 g h}$ et en réunissant tous les facteurs constants en une seule constante c_2 , on a

$$P_1 = c_2 h d^2,$$

en comparant cette valeur à celle de P , nous avons

$$\frac{P_1}{P} = \frac{c_2}{7} \frac{d}{h}$$

d'où l'on voit que la fixité du lit est directement proportionnelle à la dimension linéaire des éléments des dépôts et inversement proportionnelle à la pente.

Pour se faire une idée des propriétés comparatives des rivières au point de vue de la fixité de leur lit on a recueilli dans plusieurs d'entre elles des échantillons de dépôts; ensuite, pour déterminer la dimension moyenne de leurs éléments, on les a fait passer successivement à travers 4 tamis dont les mailles étaient de $1/4$, $1/8$, $1/16$ et $1/30$ de centimètre. De cette façon chaque échantillon s'est trouvé partagé en 5 parties pour lesquelles on connaissait les dimensions moyennes des

éléments de sable; en notant le poids de chacune de ses parties on a pu facilement déterminer la dimension moyenne de l'échantillon de dépôt. Les valeurs des dimensions ainsi trouvées sont indiquées dans le tableau IV; quant aux pentes, elles ont été prises en partie dans le recueil de nivellements publié par M. Tillo, en partie dans des monographies, et ce sous forme de la pente moyenne précisant le caractère de la rivière dans cet ordre d'idées. En divisant la dimension linéaire des éléments de dépôts par la pente, on a trouvé les chiffres, placés dans la dernière colonne, qui d'après l'exposé présentent la fixité relative du lit de la rivière.

D'après les résultats ainsi obtenus, parmi les rivières considérées, c'est la Vistule qui a le fond le plus faible; viennent ensuite, dans l'ordre d'une résistance croissante, le Boug Occidental, la Pina, le Pripete, le Dnièpre et le Don; même ce dernier présente encore un lit très faible. Dans un état d'équilibre plus stable se présente le Volga, ce à quoi il fallait s'attendre par la description que nous en avons donnée, par les dépôts sur les maigres à l'époque des hautes eaux; viennent ensuite dans le même ordre le Niémene, la Dvina occidentale et enfin comme rivière la plus fixe le Dniestre.

Comme nous l'avons déjà dit plus haut, plus le lit d'une rivière est résistant, plus ce caractère doit se

traduire par un profil accentué en escalier par suite de l'intermittence de fortes et faibles pentes et avec une distribution différente suivant la hauteur du plan d'eau; au contraire, plus le lit est faible, plus les pentes devraient être uniformes et ne présenter que des oscillations partielles de forme indéfinie. Il serait donc très intéressant de mettre en parallèle les profils en long des rivières indiquées dans le tableau à côté des coefficients de stabilité déterminés par la méthode indiquée. Malheureusement, pour le moment cela est impossible, parce qu'on possède en général très peu de données relatives aux pentes des rivières aux diverses hauteurs de l'eau, et là où on les possède les points ont été pris au hasard, sans système, de sorte qu'il est impossible de faire ressortir la pente des sections présentant des caractères différents, et le profil de la rivière a alors une tendance à devenir uniforme, les changements locaux de pente, qui sont la chose essentielle pour nous, s'effaçant.

Nous pouvons néanmoins citer le profil en long du Dniestre joint au présent travail, qui caractérise complètement les propriétés de la rivière à lit éminemment résistant, comme du reste cela a déjà été indiqué par l'énumération de ses pentes dans les courbes, bas-fonds et maigres aux hautes et basses eaux. Nous avons déjà également cité le profil du maigre „Téliatchi Brod“

sur le Volga, qui fait clairement voir l'augmentation de sa pente aux basses eaux et sa diminution aux crues. On se rend compte avec non moins d'évidence des mêmes qualités sur le profil en long d'une autre partie du Volga près Poutchège (v. pl. V), sur laquelle les relevés des cotes des hautes eaux ont été exécutés en 1893 en vue de ce travail. Il y a sur ce parcours 4 maigres, ceux de Kosten, Yatchmen, Pestoff et Perelom, dont la chute à l'étiage est plus forte; la chute totale est de 1,30 s. sur une longueur de 33,8 v., soit 0,0384 s. par verste (la pente moyenne de la section est de 0,0263 s. par verste); aux hautes eaux cette chute totale ne comporte plus que 0,59 s., diminuant de plus de deux fois et demie, ce qui ne fait plus que 0,0174 par verste. En même temps, pour les 5 fonds intermédiaires on a à l'étiage une chute totale de 0,45 s. sur une longueur cumulée de 32,6 v. ou bien 0,0138 s. par verste, tandis qu'aux hautes eaux la chute s'élève à 0,92 s., produisant une pente moyenne de 0,0282 s. par verste supérieure à la moyenne de la section.

Ces faits sont en accord parfait avec la conclusion tirée du tableau en ce qui concerne la fixité du Volga. En ce qui concerne les rivières divaguant à fond peu résistant, quoique nous n'en ayons pas de profils détaillés, nous croyons que le fait de l'uniformité

de leur pente avec faibles oscillations autour de cette moyenne et d'un ordre purement accidentel nous paraît suffisamment prouvé pour la Vistule, les ingénieurs chargés de sa rectification ayant l'intention de transformer entièrement son profil en lui donnant la forme régulière d'une parabole.

Une autre conclusion à tirer du tableau, c'est l'augmentation appréciable de la fixité du lit produite là où des travaux de rectification ont été exécutés. Ainsi sur la Vistule à Ivangorod, où la rivière est restée dans son état naturel, le coefficient de fixité a été trouvé égal à 3,70; à Varsovie, où on exécute des travaux, il s'élève à 4,20. Sur le Dnièpre à Glébovka il n'est que de 4,84, tandis qu'aux endroits où des travaux de rectification ont été entrepris on trouve à Krémentchoug 8,38, à Ecatherinoslav 9,36, à Kiew 12,0. De même sur le Pripete dans son état naturel on trouve à la Pina 5,96 et à Mozyr 7,35; sur la section rectifiée le coefficient monte à Tchernebobyl à 13,21. Il est évident que le rétrécissement du lit a comme effet l'enlèvement des plus menues parties des dépôts, tandis que les plus gros éléments restent; ce fait est également prouvé par les échantillons prélevés. Nous ferons remarquer qu'en général les éléments de dépôts sont de grosseur différente, suivant qu'ils se trouvent dans des eaux rapides ou tranquilles. Ainsi prenons des échantillons

dans une même langue de sable à plusieurs endroits, en commençant par sa tête située dans la direction du courant et en finissant par sa queue abandonnée par celui-ci; la série de ces échantillons nous fera voir très nettement la transition graduelle du sable le plus gros trouvé dans la rivière jusqu'au plus fin et même jusqu'à la vase. Mais ce qui nous intéresse c'est la résistance du lit à la force destructrice de l'eau déterminée par la nature des choses, ce sont les dépôts en éléments les plus gros qui caractérisent telle ou telle rivière et non pas les plus menus, qui dans toute rivière sont limités à la vase. Nous faisons cette remarque parce qu'il n'y a que les échantillons relevés avec cette précaution qui puissent servir à comparer la stabilité de diverses rivières, et encore faut-il que ces échantillons soient en quantité assez grande pour qu'on puisse déterminer avec une précision suffisante le caractère particulier des dépôts de chaque rivière. Par cette raison on ne peut non plus considérer le présent tableau de coefficients de fixité de certaines rivières comme déterminant d'une façon définitive cette qualité, vu que nous n'avons pas eu un nombre d'échantillons suffisant au but proposé. En la publiant comme exemple nous nous permettons de faire observer combien, vu la grande facilité et la simplicité de la méthode, il serait désirable que les spécialistes exécutant des

travaux sur les rivières complétassent les éléments nécessaires à cette recherche.

Nous venons d'indiquer la façon dont on peut trouver le coefficient de fixité d'une rivière, mais nous ferons remarquer que la seule relation entre la grosseur des dépôts et la pente n'épuise pas toutes les circonstances qui agissent au point de vue de cette fixité.

On peut indiquer tout d'abord que le lit ne se compose pas uniquement du fond couvert de dépôts, qu'il y a encore les berges, dont la plus ou moins grande résistance à la destruction exerce également une influence sur la fixité relative; il serait certes très intéressant d'introduire dans le coefficient de fixité ce facteur, en comparant les résistances relatives des couches formant les berges, mais l'absence totale d'observations à ce sujet nous rend actuellement impossible cette tâche. Ensuite voici une autre circonstance qui a indubitablement sa part dans le phénomène des changements du lit des rivières, nous parlons de la durée de l'action des forts courants; il est évident que si l'action du courant dure dans un cas quinze jours seulement, et deux mois dans l'autre, le travail effectué par le courant ne sera pas le même dans ces deux cas.

Il y a encore l'influence considérable que le mode de la formation des crues peut exercer sur les changements du lit, ainsi que le rapport entre la force vive des

hautes eaux à celle des basses eaux, la formation et le mouvement des glaces dans les rivières, l'état des berges et une foule d'autres circonstances que nous avons dû négliger en comparant les coefficients de fixité des rivières. Certes, chacun de ces facteurs apporte sa part d'influence sur l'état naturel des rivières, en complice le caractère et donne à leurs traits distinctifs l'aspect produit par l'action simultanée de plusieurs causes; quoi qu'il en soit, dans toute l'action d'ensemble de ces diverses causes, le rôle prépondérant et constant est joué par la pente de la rivière et les propriétés des couches de son lit; comme nous l'avons vu plus haut, c'est la relation qui existe entre ces deux derniers facteurs qui détermine pour chaque rivière son rang parmi les autres, lui donne ses propriétés distinctives et lui appartenant en propre.

Sans nous arrêter à ces conditions qui compliquent les phénomènes indiqués, nous donnerons pour finir les conclusions générales qu'on peut tirer de la théorie exposée au point de vue de la solution de la question des améliorations des cours d'eau.

Tout le monde sait que pour approfondir une rivière on rétrécit la largeur de son lit. A cet effet on dispose près de l'endroit à approfondir un système correspondant de digues, qui rétrécissent la largeur du courant, dont la vitesse vient à augmenter à cause du re-

mous produit en amont; le courant parvient alors à entraîner les matériaux déposés entre les digues en les transportant en aval des ouvrages exécutés et produisant ainsi l'approfondissement du lit. Si la rivière appartient au type à fond résistant, que le rétrécissement ait été exécuté sur un maigre, et que les travaux aient été poussés assez loin en aval, les dépôts enlevés par le courant plus fort se déposeront en fin du compte dans les limites du bas-fond suivant, où la pente plus forte aux hautes eaux suivantes produira l'entraînement ultérieur de ces dépôts par le jeu naturel des bas-fonds et des maigres que nous avons exposé. Mais si la rivière appartient au type divaguant et qu'à cause de la pente trop forte pour son lit elle ne possède pas de sections tranchées de bas-fonds et de maigres, les dépôts formés immédiatement en aval des travaux ne coïncideront plus avec aucun renforcement de pente propre à l'endroit dit de la rivière, et comme par leur faible saillie ils ne peuvent produire de remous ni conséquemment de renforcement du courant, ils y resteront finalement; le banc de sable n'aura fait que se déplacer vers l'aval. Il devient donc nécessaire d'allonger l'étendue des travaux vers l'aval au delà desquels se disposeront de nouveau les sables chassés d'en haut et ainsi de suite jusqu'à ce que la rivière divaguante se soit modifiée sur toute la longueur de la partie à améliorer. Parmi les

deux facteurs essentiels de cette rivière, sa pente et la résistance de son lit, celui-là se trouve avoir une valeur beaucoup trop forte pour celui-ci, et il est absolument impossible de le modifier; l'ingénieur ne peut alors pour arriver à un état d'équilibre plus favorable faire qu'une chose, augmenter la résistance du lit. Il y arrive en lui donnant sur tout son parcours des berges artificielles plus résistantes et en provoquant par la vitesse plus grande des eaux la sortie vers l'aval des dépôts les plus menus en laissant en place les plus gros; ce fait se trouve confirmé par l'augmentation notable des valeurs des coefficients de fixité dans les parties améliorées (v. tableau IV). Changement complet de la nature de la rivière: diminution dans la mesure du possible de l'influence de la pente excessive pour le lit en la rendant absolument uniforme sur toute la longueur de la rivière sans aucune augmentation locale au-dessus de cette moyenne; dans ce cas, la pente minimum possible d'une part, augmentation artificielle de la résistance du lit sur toute sa longueur d'autre part, telle est la conclusion logique à laquelle mènent les raisonnements sur la méthode d'amélioration des rivières divagantes, et c'est sous cette forme qu'elle est appliquée à l'étranger.

Passons au cas où la rivière possède le caractère de la fixité grâce à la résistance des couches compo-

sant son lit et sa pente relativement faible. Supposons qu'on ait appliqué à une rivière de ce genre la même méthode d'amélioration, qu'on ait modifié entièrement son cours en lui donnant un profil régulier et une largeur normale. Alors la rivière améliorée ne conserverait plus ses bas-fonds tranquilles, ni ses maigres rapides, ni la forme en escalier de son profil avec la succession des pentes raides et douces du plan d'eau; tout le lit aurait pris l'aspect d'un chenal uniforme, à largeur uniforme, à pente moyenne uniforme et à vitesse également uniforme du courant.

Mais nous avons dit plus haut que le caractère distinctif d'une rivière à lit résistant était sa division en sections à pentes raides et douces, que c'était la condition indispensable de l'équilibre entre la force motrice de l'eau et la résistance des dépôts; enfin que les dépôts sur les maigres étaient le résultat de l'action des hautes eaux qui, à certains endroits, à la suite de causes diverses, pour la plupart inaltérables, pour ainsi dire d'ordre géographique, subissent un ralentissement dans leur mouvement, ce qui provoque ces dépôts; ces derniers seront délavés et enlevés après la baisse des eaux par le courant plus fort ici à l'étiage. Les maigres sont ici des instruments indispensables du travail d'entraînement des dépôts, et les pentes plus fortes ici à l'étiage sont le seul moyen pour y arriver. Donc, si on venait à

supprimer ces maigres avec leur courant plus rapide et qu'on arrivât à un lit uniforme dans lequel les eaux couleraient avec une vitesse uniforme, correspondant à la pente moyenne, cette vitesse, moyenne et égale sur toute la longueur du cours, sera sur le maigre de beaucoup inférieure à celle que la rivière y avait précédemment et qui était proportionnée à la résistance des dépôts; le courant n'aura donc plus la force nécessaire pour le transport en aval des dépôts laissés chaque fois par les hautes eaux; ceux-ci s'accumuleront nécessairement à l'endroit même des maigres où ils se formaient auparavant, et ainsi petit à petit l'ancien profil de la rivière sera rétabli. Rappelons les chiffres des pentes et des vitesses du courant de l'exemple de la rivière à fond résistant, le Dniestre. Dans l'état actuel il existe sur ses maigres des vitesses de courant de 5 à 7 pieds, et même avec cette vitesse considérable son fond, composé de gros gravier, reste dans un état invariable, sans s'exhausser ni se délayer; nous en concluons que ces valeurs de la vitesse et de la pente sont indispensables pour l'équilibre de ce genre de lit. Eh bien, si on donnait à tout le cours du Dniestre la pente moyenne uniforme de 0,000289, la vitesse de son courant tomberait un peu au-dessous de 2 pieds à la seconde. Il est évident qu'un lit pareil, avec des dépôts exigeant pour leur déplacement des vitesses de 5 à 7 pieds et avec un courant

n'ayant plus que celle de 2 pieds, ne pourrait avoir d'existence durable dans la nature et reviendrait avec le temps à son état précédent.

Le raisonnement ci-dessus prouve avec évidence qu'autant la méthode de l'amélioration de toute la longueur du lit est rationnelle et même seule possible dans le cas d'une rivière divaguante, autant elle serait inapplicable et même nuisible dans le cas d'une rivière d'un caractère opposé, c'est-à-dire à lit résistant.

La conservation de l'équilibre établi par la nature au moyen de la division du travail de l'entraînement des dépôts entre les hautes et basses eaux, l'étude des profils en long correspondant aux divers niveaux de l'eau, le classement de la rivière en sections à pente renforcée lors des hautes eaux, où par conséquent le lit est garanti d'obstructions, qui doivent rester après l'amélioration dans leur état naturel, et en sections à pente plus faible pendant la même époque, où le lit est sujet à l'accumulation de dépôts, ensuite l'étude du mécanisme de chaque maigre en ce qui concerne la provision d'énergie dont il dispose aux basses eaux et de la dépense à en faire, l'étude de la disposition des langues de sable et des courants, enfin l'emploi plus rationnel, plus économe de cette force vive par une disposition rationnelle et la rectification correspondante du lit sur toute la longueur comprise entre les

deux bas-fonds situés en amont et en aval — voilà la méthode à employer pour trouver la solution de l'amélioration des rivières de ce type.

Nous n'entrerons pas dans les détails de ces considérations, qui trouveraient plutôt leur place dans un ouvrage spécial sur l'art de l'amélioration des rivières, nous ne ferons que quelques remarques en rapport direct avec les idées émises. Nous avons mentionné plus haut que si, exécutant les travaux d'amélioration d'un maigre d'une rivière du type fixe, on a poussé ces travaux suffisamment en aval jusqu'à leur jonction avec la section des bas, la vitesse accrue qui se produit à ce bas-fond aux hautes eaux entraînera les dépôts que le courant d'étiage aura déplacés au delà du maigre. Ainsi il paraîtrait que d'après les conditions seules du mouvement mécanique des eaux dans un endroit donné on peut naturellement limiter l'étendue des travaux par la longueur du maigre sans les étendre sur les bas-fonds voisins; dans la pratique, pour obtenir un certain approfondissement permanent, il ne faut pourtant pas oublier que l'enlèvement des dépôts du maigre par les eaux basses exige un certain temps et s'il est insuffisant, les dépôts peuvent s'y accumuler en barrant le chenal navigable. On connaît ce fait que les maigres deviennent surtout impraticables si l'eau baisse très rapidement, et qu'au contraire la baisse lente des

eaux provoque une disposition de dépôts favorable à la navigation. Mais si on change artificiellement ces conditions naturelles d'un maigre en augmentant la vitesse du courant des basses eaux, on augmente par cela même la vitesse et la force d'entraînement des dépôts vers l'aval au delà des limites du maigre; on augmentera ainsi également la possibilité de leur accumulation temporaire à l'endroit qui sert de transition du maigre au bas-fond voisin. Ensuite si la partie de celui-ci située dans le voisinage immédiat du maigre est bien profonde, les matériaux amenés trouveront assez de place pour s'y loger sans gêner la navigation; ce fait se trouve confirmé par des résultats souvent satisfaisants de l'amélioration d'endroits semblables. Mais si le passage du maigre au fond ne se fait pas brusquement et qu'il présente plutôt un intervalle de transition, les dépôts descendant avec énergie du maigre amélioré peuvent obstruer cette partie du lit et nécessiter l'extension encore vers l'aval de la section artificiellement rétrécie. Ce sont des échecs de ce genre, assez fréquents dans la pratique, qui ont donné naissance aux doutes, aussi fréquents dans l'esprit des ingénieurs, sur la possibilité d'une amélioration d'une partie seulement d'une rivière, quel que soit son caractère, et à l'extension à toutes les rivières de la méthode de la transformation générale de tout leur cours, sans remarquer

qu'on se mettait dans beaucoup de cas en contradiction avec la nature même des choses.

Quoi qu'il en soit, il résulte aussi bien du raisonnement sur les conséquences logiques des phénomènes du mouvement de l'eau et des dépôts que des faits tirés de la pratique des améliorations des rivières que l'endroit le plus délicat au point de vue de l'approfondissement à obtenir, c'est le point de passage de la partie aval du maigre à la partie amont du bas-fond; il faut, pour éviter des mécomptes possibles, concentrer son attention sur ce point spécial. Dans ce cas il s'agit d'utiliser le mieux possible le courant à l'époque des basses eaux avec la pente naturelle correspondante à cet état; nous entrons ainsi dans le champ des considérations sur la corrélation existante entre le lit mineur des rivières et les conditions du mouvement uniforme, dont l'étude est si riche en recherches aussi diverses que nombreuses. Ces recherches, incapables de faire ressortir le caractère même de la rivière dans son ensemble, déterminé par les facteurs plus généraux et plus puissants de l'ensemble du mouvement *non* uniforme des eaux, sont loin d'être restées inutiles en ce qui concerne le lit mineur, elles ont prouvé que le mouvement uniforme seul donne, à la condition d'une action suffisamment prolongée, une forme bien définie au relief des rivières. En effet, en plus des pentes lon-

gitudinales qui avec leurs variations dépendant du niveau des eaux produisent les effets décrits des courants longitudinaux, il se forme encore à certains endroits (suivant la disposition en plan), à cause de l'inertie des masses d'eau en mouvement, des pentes transversales, qui provoquent des courants transversaux, indépendamment de l'état uniforme ou non de la rivière. Comme nous l'avons indiqué plus haut, ce phénomène se produit à l'emplacement des courbes, le long desquelles, à cause du remous formé à la rive concave et de la pression d'eau qui y est plus élevée, les masses liquides en y arrivant descendent vers le fond, et chassent les couches inférieures vers la rive convexe, naturellement suivant la résultante des mouvements longitudinal et transversal. Ainsi se produit dans l'ensemble des eaux en mouvement un courant hélicoïdal permanent qui déplace les dépôts du fond de la rive concave à la rive convexe, ce qui a été du reste prouvé par des expériences faites en petit sur l'influence du mouvement tourbillonnaire sur le fond de sable. A la fin du compte il se produit un bas-fond le long de la rive concave et une langue de terre à la rive opposée, ce fait est inhérent à chaque tournant du lit.

Ce sont ces phénomènes des courants, traités analytiquement par les ingénieurs français MM. Fargue et Dubois, ainsi que par quelques autres, qui servent, avec

ce qu'on appelle la largeur normale, de bases pour le tracé des nouvelles rives d'une rivière à améliorer.

Certes elles sont loin d'épuiser les causes déterminant l'état du lit, et souvent elles n'y touchent même pas; pour cette raison elles ne peuvent nous garantir contre des surprises désagréables lors de l'exécution de travaux de rectification, si l'on n'a pas fait simultanément attention aux propriétés naturelles de la rivière, mais étant exactes pour le mouvement des eaux à l'étiage, elles doivent servir de moyens d'action nécessaires lors de l'utilisation des eaux basses pour arriver à la profondeur proposée. Nous ne répèterons pas les considérations exposées avec tant de talent par lesdits ingénieurs français sur la disposition en plan du lit rectifié; nous reviendrons seulement à la question indiquée plus haut de l'obstruction possible par les dépôts du point critique de passage du maigre au bas-fond aval voisin; nous ferons remarquer que pour éviter cet ensablement il faut établir la jonction entre le maigre et le fond suivant une courbe concave, soit au moyen de rives naturelles si c'est possible, soit par voie artificielle en élevant des digues en forme de courbe concave, ce qui produit toujours, comme la pratique l'a prouvé, des bas-fonds à leur pied, souvent avec assez de vigueur pour qu'on ait à défendre la digue elle-même contre la destruction. La jonction suivant une courbe concave

étant exécutée, il s'ajoutera au phénomène de l'entraînement périodique longitudinal des dépôts celui de l'entraînement permanent transversal; à la suite de ce dernier les matériaux se déposeront pendant leurs arrêts temporaires dans le lit sur les rives convexes, sans obstruer les parties concaves; ainsi par la disposition rationnelle des courbes on peut arriver à passer avec une profondeur suffisante continue du maigre au bas-fond aval voisin.

Nous n'entrerons pas dans plus de détails sur l'amélioration des maigres, qui est du domaine du génie fluvial. Nous avons limité notre problème aux considérations tout à fait générales; nous répèterons encore une fois, avant de finir, qu'il n'y a que les recherches ultérieures exécutées suivant un programme uniforme qui nous donneront les chiffres (actuellement si rares et qu'on ne possède souvent pas du tout) nécessaires aux comparaisons à faire et qui permettront de juger combien les idées émises sont d'accord avec toute la complexité harmonieuse et la diversité des phénomènes du courant des rivières de types différents. Moins de formules, plus d'observations, voilà le souhait que l'œuvre de l'étude des rivières dans son état actuel peut adresser aux spécialistes dans l'intérêt de son développement.

Tableau I.

Niveaux de la montée des plus hautes eaux sur le
Volga au printemps de 1888.

Depuis Rybinsk.	POINTS OBSERVÉS.	Dates.	Hauteurs au- dessus de l'é- tiage en centiè- mes de sagène.	Depuis Rybinsk.	POINTS OBSERVÉS.	Dates.	Hauteurs au- dessus de l'é- tiage en centiè- mes de sagène.
Vers.				Vers.			
0	Rybinsk.	Mars. 26	541	746	Novaïa Dérevnia.	Avril. 15	650
50	Romanovo-Boris- soglébsk.	—	—	825	Verkhni-Ouslon .	15	598
85	Yaroslavl	28	489	896	Bogorodskoïé . .	18	615
140	Khartcheven. . .	—	—	945	Tetiouchi	19	620
		Avril.		1040	Simbirsk	21	628
160	Kostroma	4	527	1187	Morkvachi.	24	—
214	Ples.	4	509	1247	Samara	24	625
260	Kinechma	4	468	1530	Vol-k	27	614
320	Youriévetz	4	396	1655	Saratow.	27	590
360	Poutchège. . . .	8	389	1869	Kamychine	30	554
404	Gorodetz	10	442	2035	Tzaritzyn	30	414
455	Nijni	10	586	2230	Tchorny Yar . . .	Mai. 4	452
483	Zimyanskaïa. . .	10	636	2355	Enotaevsk.	6	325
438	Issady.	11	695	2495	Astrakhan.	10	171
605	Vassil.	12	638				
700	Tcheboksary. . .	13	606				

Tableau II.

Pentes des parties courbes de la Garonne en aval de l'embouchure du Lot.

(d'après les expériences de M. Baumgarten. Ann. des ponts et chaussées 1848).

N ^o d'ordre.	Limites des parties courbes d'après le plan et le profil de M. Baumgarten.		Chute sur la courbe, l'eau se trouvant à 0,62 m. au-dessus du 0 de l'échelle de Tomniens.	Chute sur la courbe, la crue étant de 9,32 au-dessus de 0 Tomniens.	Idem. la crue étant de 7,92 m.	OBSERVATIONS.
	du k.	au k.				
			mètres.	mètres.		
1	55	55,5	0,08	0,20		<p style="text-align: center;">Les pentes en sens inverse sont marquées d'un trait.</p> <p style="text-align: center;">*) Sur 4 seulement des courbes citées ici, la pente devient aux hautes eaux plus petites qu'aux basses ou même inverse. Pour vérifier ces exceptions on a fait d'après le profil le calcul des chutes correspondant à une hauteur de crue de 7,92; on a trouvé pour ce second cas des chiffres beaucoup plus élevés; par conséquent même ces quatre cas ne font pas exception à la règle générale que la pente sur les courbes augmente aux hautes eaux.</p> <p style="text-align: center;">**) Ce chiffre a été obtenu en remplaçant les quatre chiffres douteux de la crue de 9,32 par ceux de la crue de 7,92.</p>
2	56,5	57,5	0,03	0,37		
3	59,5	60,5	0,07	0,77		
4	61,0	61,6	0,14	0,		
5	63,0	64	0,04	0,63		
6	65,0	65,5	0,06	0,24		
7	68,5	69,5	0,05	0,02 *)	0,37	
8	70,5	72,0	0,07	1,01		
9	74,5	75,5	0,01	0,21		
10	77,0	78	0,16	0,13 *)	0,15	
11	79,5	81,0	0,22	0,44		
12	83,0	83,5	0,03	0,14		
13	84,5	85,5	0,15	0,27		
14	86,3	86,9	0,06	0,10		
15	87,5	92,0	0,59	1,34		
16	94,0	95,0	0,19	0,34		
17	97	100	0,53	0,74		
18	102	103	0,14	0,30		
19	104	104,5	0,07	0, *)	0,07	
20	105	106,5	0,02	0,52		
21	107,5	108,5	0,07	0,03 *)	0,42	
Totaux. 25,1 . .			2,70	7,70		
Pente moyenne par kim. de courbe			0,1075	0,3070	**)	
Chute totale sur les 27,4 klm. restants d'alignements			10,93	7,15	0,344	
Pente moyenne par klm. d'alignements			0,4000	0,2610		

Tableau III.

Pentes des bas-fonds et des maigres de la Garonne
en aval de son confluent avec le Lot.

(D'après M. Baumgarten. Ann. des ponts et chaussées 1848).

Kilomètres.	M A I G R E S.					B A S F O N D S.				
	Longueurs.	Chutes.		Pentes par kilomètre.		Longueurs.	Chutes.		Pentes par kilomètre.	
		aux basses eaux.	aux hautes eaux.	aux basses eaux.	aux hautes eaux.		aux basses eaux.	aux hautes eaux.	aux basses eaux.	aux hautes eaux.
	kilom.	mètres.	mètres.	mètres	mètres.		mètres.	mètres.	mètres	mètres.
54,50						7,294	0,862	—	0,118	—
61,72	1,172	1,370	0,62	1,168	0,528					
62,68						4,570	0,273	1,12	0,058	0,245
66,36	0,773	0,563	0,15	0,728	0,194					
67,16						2,545	0,197	0,48	0,077	0,188
69,83	0,773	0,633	0,03	0,817	0,038					
70,61						4,990	0,395	1,68	0,079	0,336
75,50	0,928	0,532	0,24	0,573	0,258					
76,50						2,405	0,357	0,55	0,149	0,229
78,89	0,509	0,732	0,18	1,438	0,353					
79,41						4,690	0,721	0,90	0,154	0,192
83,95	0,270	0,532	0,08	1,970	0,296					
84,27						1,472	0,221	0,37	0,150	0,251
85,86	0,429	0,943	0,13	2,200	0,305					
8,625						3,255	0,411	0,99	0,126	0,304
89,52	0,130	0,203	0,04	1,560	0,307					
89,65						5,299	0,210	1,68	0,040	0,317
94,82	2,173	1,610	0,26	0,741	0,119					
97,00						7,279	1,435	2,17	0,197	0,298
104,50	8,500	0,780	0,04	1,560	0,080					
105,00						1,716	0,098	0,62	0,057	0,061
106,75	0,754	0,677	0,07	0,897	0,093					
107,50						2,884	0,483	—	0,167	—
110,35										
—	8,411	8,575	1,840	Moyenne. 1,020	Moyenne. 0,219	47,499	5,663	10,560	Moyenne. 0,119	Moyenne. 0,261



Tableau IV.

Détermination de la fixité des rivières par la comparaison de leurs pentes moyennes et de la grosseur des dépôts.

ENDROITS DE PRISE DES ÉCHANTILLONS.		Poids en grammes des dépôts passés à travers des tamis dont les mailles sont de :					Poids de l'échantillon entier en gramm.	Dimension moyenne du diamètre en mm.	Pente moyenne de la section de la rivière.	Rapport entre la pente et le diamètre du dépôt.
		$\frac{1}{30}$ de mm.	$\frac{1}{16}$ de mm.	$\frac{1}{12}$ de mm.	$\frac{1}{8}$ de mm.	plus gros qu' $\frac{1}{8}$ de mm.				
La Vistule.	à Ivangorod	—	202,70	113,60	30,10	7,17	353,04	0,546	0,1475	3,70
—	à Varsovie (partie rectifiée)	—	130,07	97,40	83,80	52,87	355,79	0,617	—	4,18
—	d°	—	148,17	83,20	96,80	64,13	392,30	0,621	—	4,21
Le Boug Occidental.	à Brest Litowski	43,82	262,04	40,20	7,50	2,47	356,03	0,309	0,0770	4,01
Le Pripète.	à Pinsk	246,12	94,37	4,50	—	—	344,99	0,185	0,0310	5,96
—	au confluent du Styret de la Pina	272,42	55,17	—	—	—	327,59	0,171	0,0352	4,85
—	à Mozyr	82,22	264,82	4,75	—	—	351,79	0,259	—	7,35
—	à Tchernobyl (partie rectifiée)	4,47	276,72	74,20	16,90	—	372,29	0,465	—	13,21
Le Dnièpre.	à Glebovka	203,39	165,80	—	—	—	368,69	0,201	0,0415	4,84
—	à Kiev (partie rectifiée)	6,12	156,22	129,40	70,10	21,17	383,01	0,497	—	12,00
—	d°	5,39	190,21	113,40	46,90	16,97	372,87	0,488	—	11,75
—	à Kremenchoug d°	28,02	280,32	50,10	10,57	1,18	370,19	0,348	—	8,38
—	à Ecatherinoslav d°	9,77	244,35	103,52	8,99	1,68	368,31	0,431	—	9,36
Le Don.	sur le maigre de Kourmoïarsk	4,97	265,10	76,20	11,27	2,19	359,73	0,461	0,0318	14,49
—	d°	6,92	245,12	61,00	8,50	1,97	323,51	0,436	—	13,71
—	sur le maigre de Troïlin	61,27	289,90	1,85	—	—	345,52	0,289	—	9,08
—	à Rostov sur le Don	38,37	262,90	23,65	5,27	13,67	343,86	0,317	—	9,97
L'Oka.	à Kolomna	—	44,47	147,75	132,90	35,97	361,09	0,735	0,0276	26,63
—	à Kassimov au commencement du maigre	—	61,97	207,00	89,30	11,37	369,64	0,680	—	24,63
—	d° à la fin	—	9,77	55,50	180,40	95,57	341,24	9,952	—	34,49
Le Volga.	à Youryevetz	—	145,17	145,46	67,10	24,77	382,50	0,602	0,0211	28,53
—	sur le maigre d'Orehov	—	239,27	72,90	19,90	10,47	342,54	0,523	—	24,78
—	" de Sokol	10,12	149,67	79,00	78,50	90,40	407,69	0,471	—	22,32
—	à Yatchmenka près de la digue longitudinale	—	106,57	117,70	94,18	58,77	377,22	0,649	—	30,75
—	sur le maigre de Perelom	2,23	193,37	126,20	49,60	18,70	394,56	0,529	—	25,07
—	" de Vetlansk	69,02	294,17	64,30	32,70	11,37	371,56	0,602	—	28,53
—	" de Reviatsk	—	215,17	120,90	10,75	—	346,52	0,535	—	25,35
—	" de Borsk au commencement	—	252,87	104,10	69,90	49,27	373,14	0,599	0,0253	23,67
—	" aux nouveaux dépôts	17,82	175,96	73,10	57,90	66,97	401,75	0,413	—	16,32
—	" Teliatchy au commencement	56,42	284,97	23,60	5,20	—	370,19	0,629	—	24,86
—	" à la fin	—	216,77	116,50	29,85	13,67	376,79	0,550	—	21,73
—	" sur les nouveaux dépôts	10,12	210,47	112,00	27,80	8,07	368,46	0,438	—	17,31
—	" d'Ourakov au commencement	—	153,67	133,38	65,83	37,94	396,82	9,549	—	23,67
—	" à la fin	41,74	306,67	4,68	—	—	353,09	0,310	—	12,25
Le Niémene.	à Grodno	—	—	—	—	—	—	7,000	0,1535	45,00
La Dvina Occidentale.	à Dvinsk	—	—	—	—	—	—	7,500	0,1254	60,00
—	à Vitebsk	—	—	—	—	—	—	12,000	0,1254	96,00
Le Dniestre.	à Soroki	—	—	—	—	—	—	15,600	0,0945	166,00

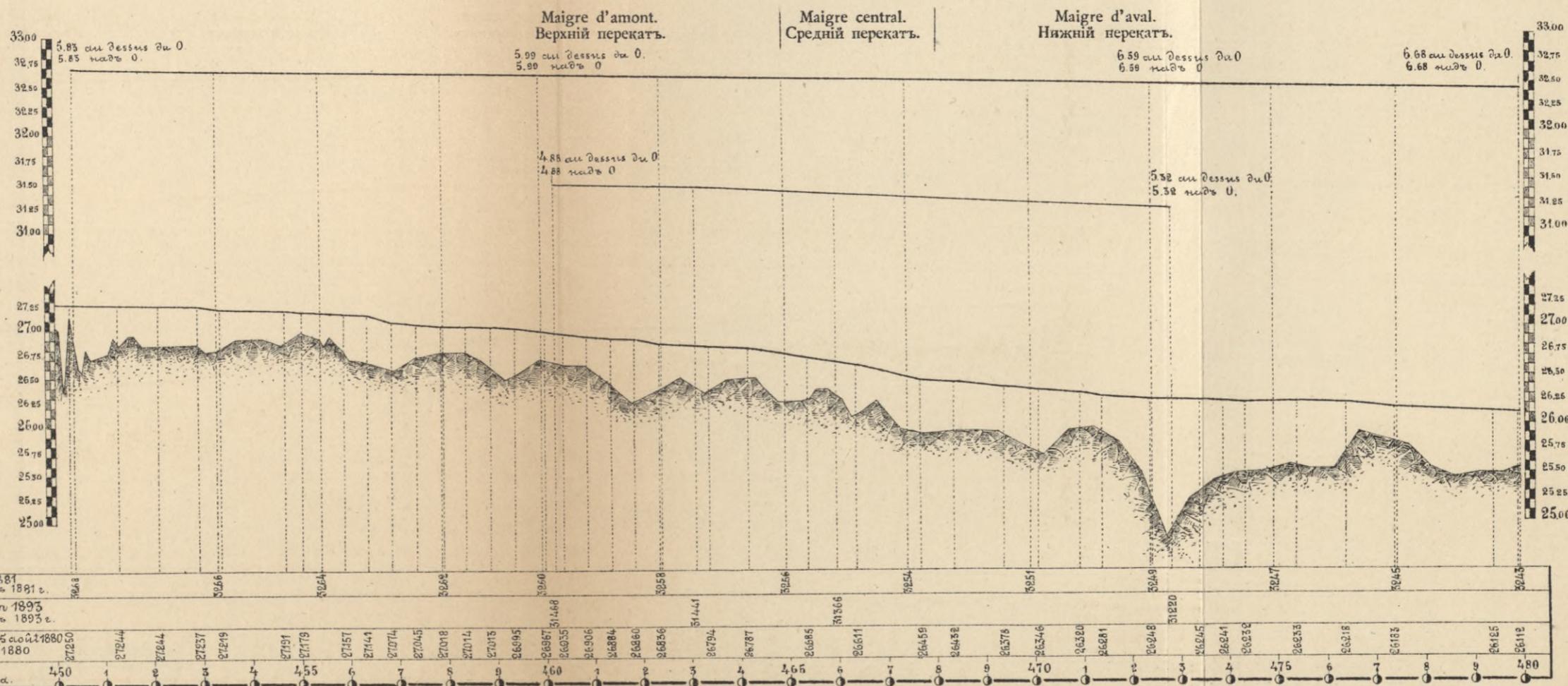
Observation: Les échantillons des rivières à fond sablonneux ont été pris avec tout leur contenu; pour les rivières, Niémen, Dvina Occidentale et Dniestre avec leurs dépôts de caractère pierreux on n'a considéré que les gros éléments qui après la séparation de l'échantillon du sable fin et de la vase qui ne servent dans les rivières de ce genre que de remplissage des vides et ne caractérisent nullement la résistance du lit. Pour le Dniestre l'analyse a été faite pour un grand nombre d'échantillons, suivant la méthode indiquée dans le texte. Quant au Niémen et à la Dvina Occidentale la grosseur de leurs dépôts n'a pu être déterminée que d'après un ou deux échantillons, qui peuvent avoir un caractère tout à fait accidentel.



PROFIL EN LONG
DU MAIGRE «TELIATCHY BROD»
sur le Volga

ПРОДОЛЖНАЯ ПРОФИЛЬ
ПЕРЕКАТА «ТЕЛЯЧИЙ БРОДЪ»
на р. Волгѣ.

Teliatchy brod—Телячий бродъ.



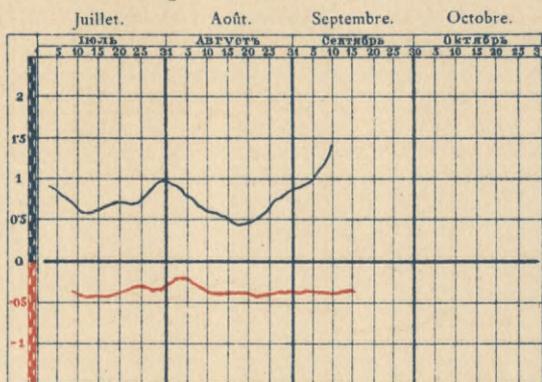




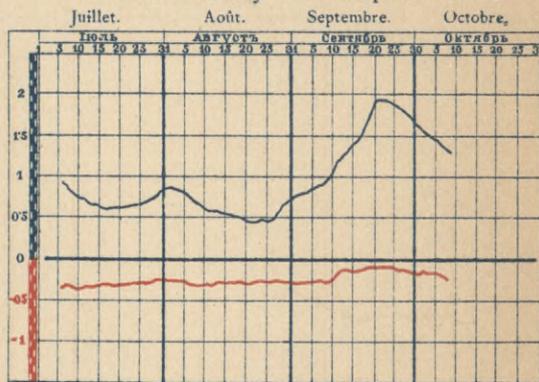
EPURES DES OSCILLATIONS
DU NIVEAU DU FOND SUR LES MAIGRES DU VOLGA
par rapport à celles du niveau d'eau.

ГРАФИЧЕСКОЕ ИЗОБРАЖЕНИЕ
КОЛЕБАНИЯ ВЫСОТЫ ДНА НА ПЕРЕКАТАХЪ Р. ВОЛГИ
ВЪ ЗАВИСИМОСТИ ОТЪ КОЛЕБАНИЯ УРОВНЯ ВОДЫ.

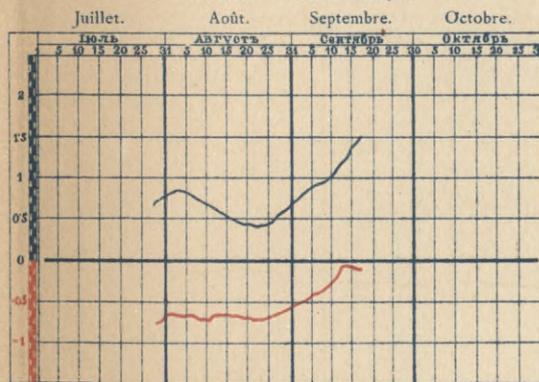
Maigre de Kstov—Кстовскій.



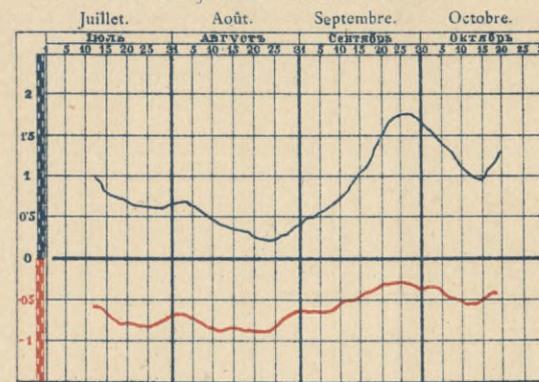
de Tchekoksary—Чебоксарскій.



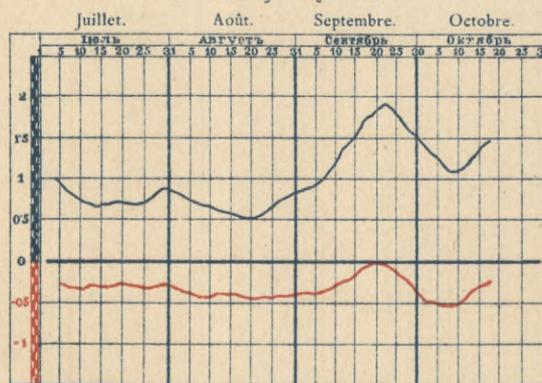
d' Anischen—Анишенскій.



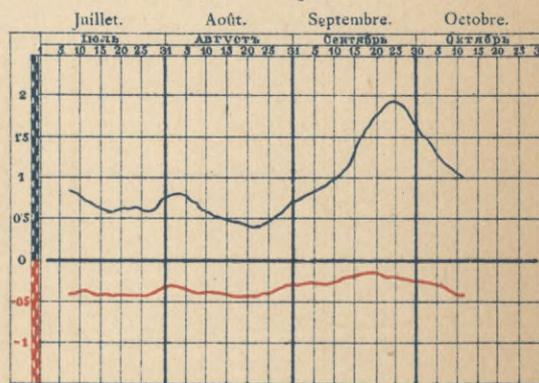
de Lobychkin—Лобышкнскій.



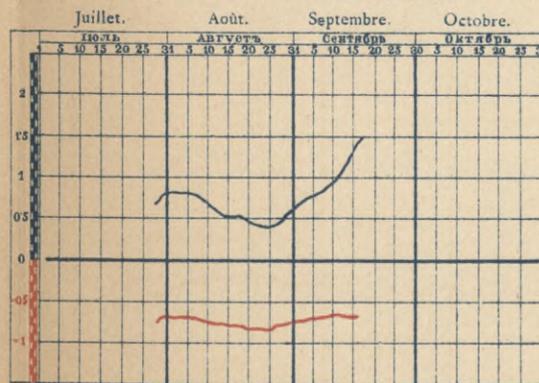
de Soumy—Сумскій.



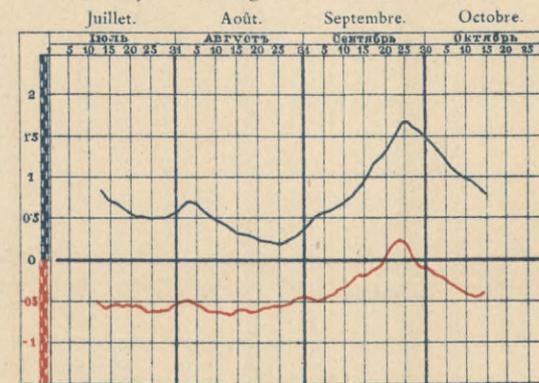
d' Ourakov—Ураковскій.



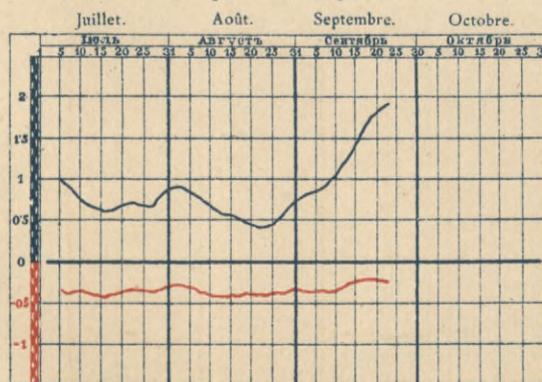
de Kabatchichtchen—Кабачищенскій.



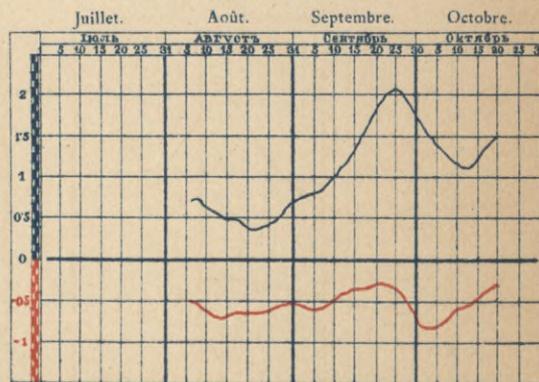
de Nijni-Schelangov—Н.-Шеланговскій.



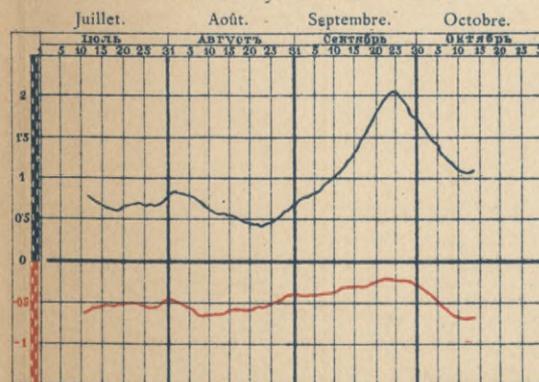
de Koptar—Коптарскій.



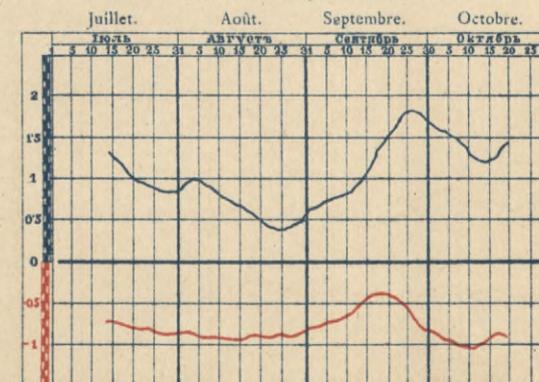
de Kouchnikov—Кушниковскій.



de Verchni-Vassily—В.-Васильевскій.



de Krasnovidov—Красновидовскій.



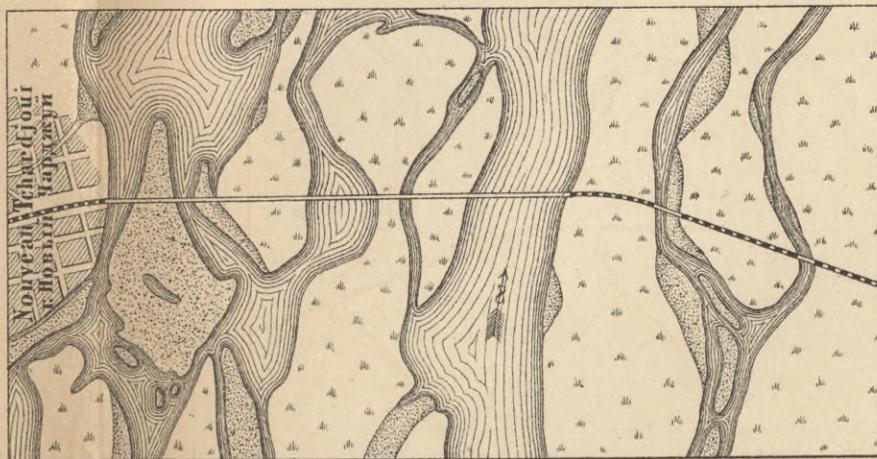
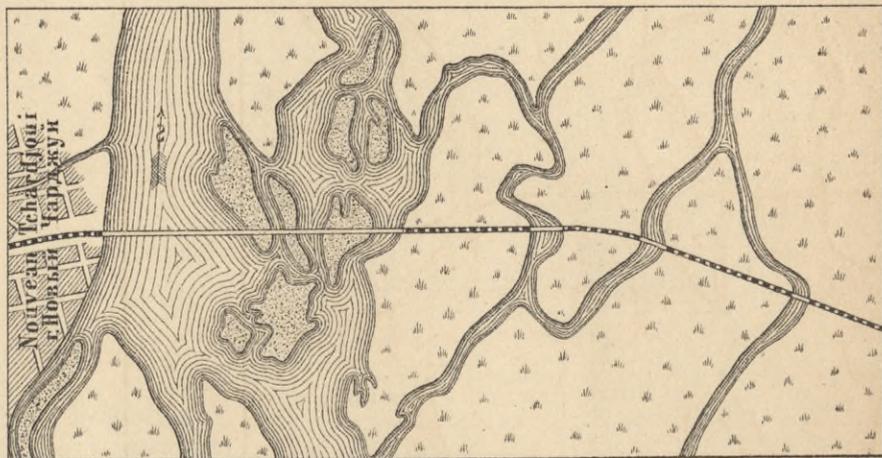


PLANS DE L' AMOU-DARIA
PRÈS DU PONT DU CHEMIN DE FER TRANSCASPIEN
au niveau des basses eaux.

ПЛАНЫ Р. АМУ-ДАРЬИ
У МОСТА ЗАКАСПИЙСКОЙ ЖЕЛЕЗНОЙ ДОРОГИ
при горизонтѣ низкихъ водъ.

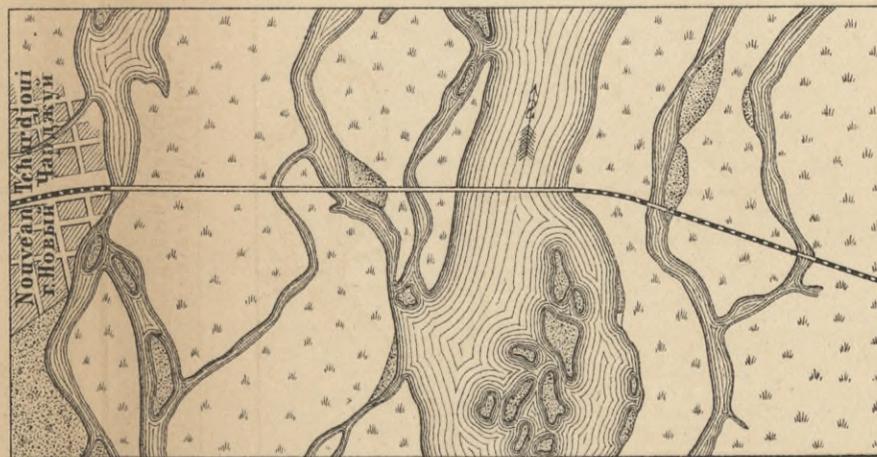
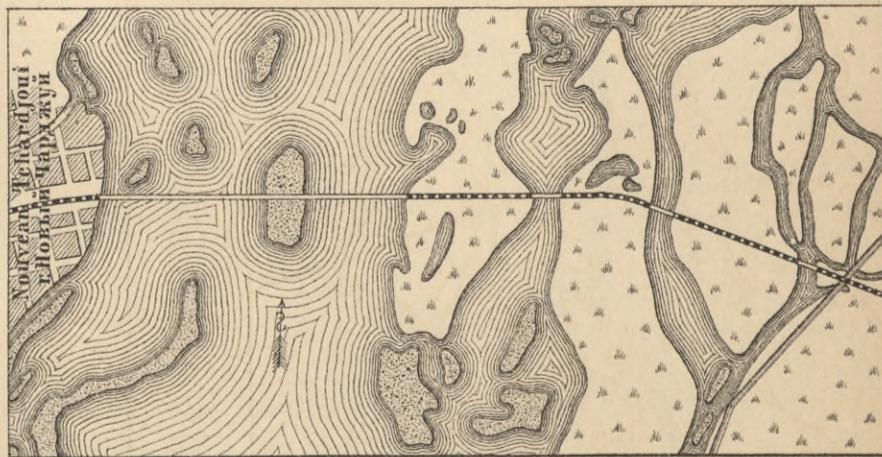
en 1888 г.

en 1890 г.



en 1889 г.

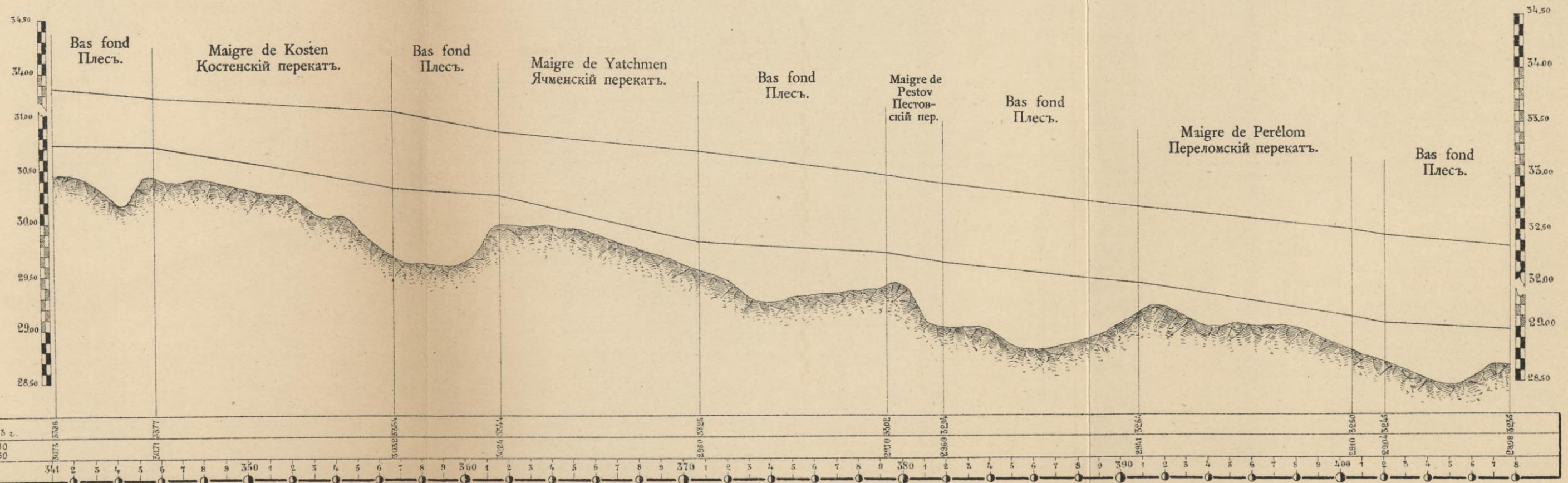
en 1891 г.





PROFIL EN LONG
DU VOLGA
aux environs de la ville Pouchége

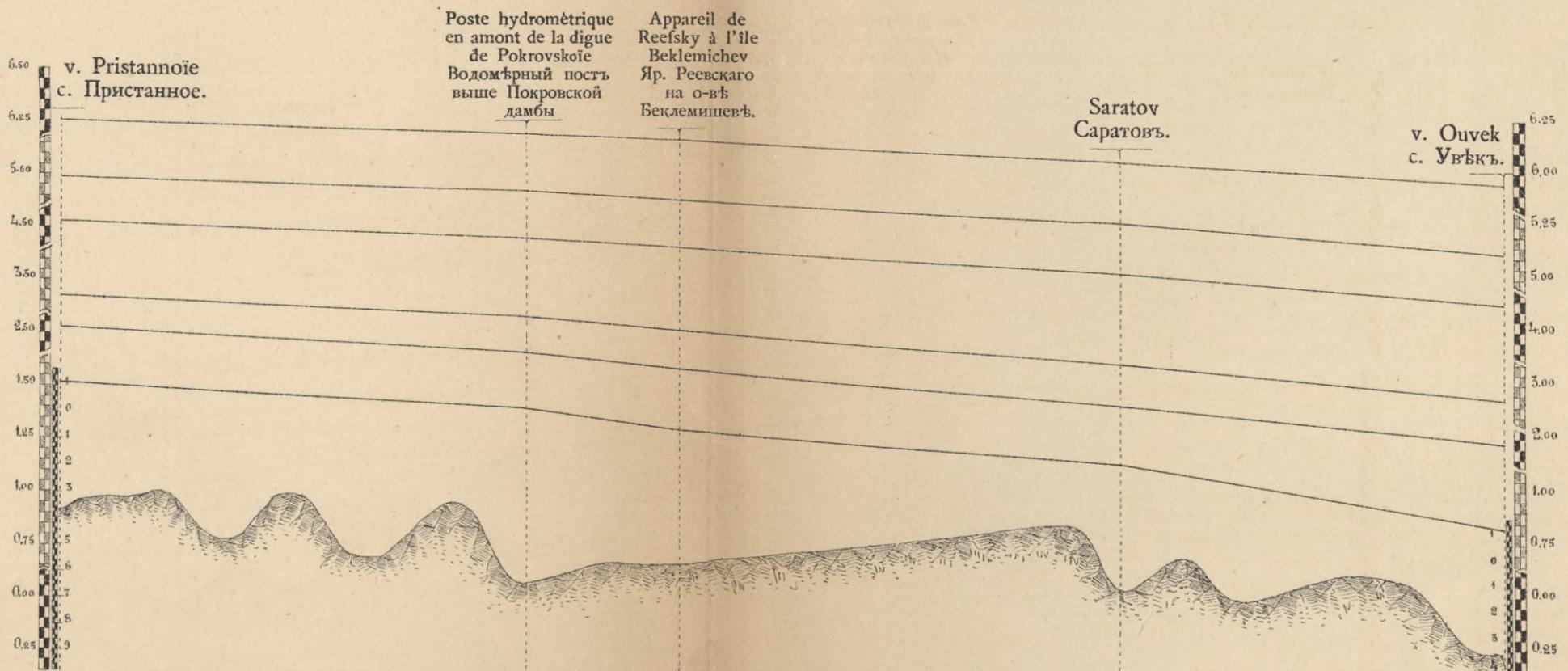
ПРОДОЛЬНАЯ ПРОФИЛЬ
ЧАСТИ Р. ВОЛГИ
около города Пучежа.



PROFIL EN LONG

DE LA SECTION DU VOLGA PRÈS DE LA VILLE DE SARATOV
entre les villages Pristannoïe et Ouvek.

ПРОДОЛЬНАЯ ПРОФИЛЬ
ЧАСТИ Р. ВОЛГИ ОКОЛО Г. САРАТОВА
отъ с. Пристаннаго до с. Увѣка.



Нiveau deau du	29 Mai 1895	6260						
Horizontъ воды	29 Мая 1895 г.							
Нiveau deau du	9 Juin 1895							
Horizontъ воды	9 Июня 1895							
Нiveau deau du	16 - 1895							
Horizontъ воды	16 - 1895							
Нiveau deau du	23 - 1895							
Horizontъ воды	23 - 1895							
Нiveau deau du	1 Juillet 1895							
Horizontъ воды	1 Июля 1895							
Нiveau deau du	22 Aout 1894							
Horizontъ воды	22 Августа							
Distances. - Разстоянія.								
			Сажене 4270 саж.		Саг 1420 саж.		Сажене 4062 саж.	
							Сажене 3550 саж.	

RECEIVED
FEDERAL BUREAU OF INVESTIGATION
U. S. DEPARTMENT OF JUSTICE

RECEIVED
FEDERAL BUREAU OF INVESTIGATION
U. S. DEPARTMENT OF JUSTICE

6-06

S. 61

Biblioteka Politechniki Krakowskiej



10000294659